

LATVIJAS UNIVERSITĀTE
FIZIKAS UN MATEMĀTIKAS FAKULTĀTE
OPTOMETRIJAS UN REDZES ZINĀTNES NODAĻA

**ŠAPIRO – LU ILŪZIJAS UZTVERE REDZES LAUKA
PERIFĒRĪJĀ**

BAKALaura DARBS

Autors: **Justīne Aišpure**

Studenta apliecības Nr. ja14022

Darba vadītāji: *Prof. Māris Ozoliņš*

Mg. sc. Olga Daņiļenko

RĪGA 2017

ANOTĀCIJA

Bakalaura darbā tika aprakstītas iluzorās kustības īpatnības redzes lauka perifērijā, uztverot rotējoša objekta krišanu pa slīpu trajektoriju. Tika pētīta mācīšanās efekta esamība, salīdzināti “naivo” un “iemācīto” dalībnieku rezultāti, kā arī salīdzināti testa izpildes rezultāti divām vecuma grupām.

Literatūras pārskatā bija apkopota informācija no 1959. līdz 2014. gadam. Bakalaura darbs uzrakstīts latviešu valodā, tā apjoms ir 30 lpp. Darbs satur 18 attēlus, 1 tabulu un tajā tika izmantoti 47 literatūras avoti.

Atslēgvārdi: Iluzorā kustība, objekts, krītošs objekts, teksturēts objekts, trajektorija, uztvere redzes lauka perifērija

ANNOTATION

Illusory motion peculiarities in the visual field periphery, perceiving a rotating object falling on the sloping trajectory was described in Bachelor thesis. The learning effect existence was studied, “naive” and “taught” participants results were compared. Also was compared tests results for the two age groups.

Literature review concerns period from 1959 till 2014. Bachelor`s theses are written in Latvian, consist of 30 pages. The theses contain 18 pictures, 1 table and 47 references.

Key words: Illusory motion, object, falling object, textured object, trajectory, perception in peripheral vision field

APZĪMĒJUMU SARAKSTS

Paskaidrojumu saraksts psihofizikālās līknes interpretācijai:

2AFC – (*alternative forced choice*) psihofizikas metode, kurā dalībniekam piespiedus jāizvēlas viens no diviem eksperimentā uzdotā jautājuma atbilžu variantiem.

Sliksnis – psihofizikālās uztveres izmaiņu robeža, kur pieņemts, ka novērotājs pareizi detektē psihofizikālo lielumu.

Jutības sliksnis – psihofizikālā lieluma mazākā skaitliskā vērtība, kas atšķirīga no nulles, pie kuras pieņemts, ka novērotājs dotajos apstākļos pareizi atpazīst psihofizikālo lielumu 50 % no demonstrējamajiem gadījumiem.

Diskriminācijas sliksnis – mazākā psihofizikālā lieluma atšķirība no references lieluma, pie kuras pieņemts, ka novērotājs 50% gadījumu spēj saredzēt atšķirību.

PSE – (*point of subjective equality*). Vērtība uz psihofizikālās līknes ordinātu ass 2AFC metodē, kad novērotājs 50% gadījumu sniedz vienu atbildi un 50% gadījumu – otru..

JND – (*just noticeable difference*) vērtība attālumam no PSE līdz vietām uz ordinātu ass, par cik jānobīdās uz vienu vai otru pusi, lai novērotājs saprastu, ka ir novērojama stimulu atšķirība (psihofizikālā līkne ieņem 25% vai 75 % vērtību).

SATURS

IEVADS	1
1. LITERATŪRAS PĀRSKATS	2
1.1. Vizuālās informācijas ievākšana un pārvade	2
1.1.1. Redzes definīcija	2
1.1.2. Tīklenes uzbūve	3
1.1.3. Tīklenes receptīvie lauki.....	5
1.2. Redzes informācijas apstrādes ceļi	8
1.2.1. Magno, parvo un koniocelulārie ceļi.....	8
1.2.2. Primārā redzes garoza V1	11
1.2.3. Telpiskā summācija	12
1.2.4. Summācija laikā.....	14
1.3. Telpisko frekvenču, virziena un kustības uztvere	15
1.3.1. Telpisko frekvenču uztvere.....	15
1.3.2. Kustības uztvere	15
1.3.3. Virziena uztvere un atpazīšana	16
1.3.4. Iemācīšanās efekts.....	17
1.4. Ilūzijas	18
1.4.1. Redzes ilūzijas.....	18
1.4.2. Shapiro & Lu ilūzija	18
2. EKSPERIMENTĀLĀ DAĻA	20
2.1. Metodes un testēšana	20
2.1.1. Dalībnieku raksturojums.....	20
2.1.2. Stimuli un programma	20
2.1.3. Stimulu kustības lauka leņķiskie izmēri uz novērotāja tīklenes	22
2.1.4. Eksperimenta uzbūve un norise	22
2.1.5. Iegūto rezultātu analīze un prezentēšana	23
2.2. Rezultāti un diskusija	25

2.2.1.	Iemācīšanās efekta testēšana.....	25
2.2.2.	Testa izpildes reižu ietekme uz rezultātiem.....	26
2.2.3.	Testa rezultāti atkarībā no vecuma.....	27
2.2.4.	Ilūzijas norises vieta uztveres sistēmā.....	28
SECINĀJUMI.....		30
NOBEIGUMS		31
PATEICĪBAS.....		32
IZMANTOTĀ LITERATŪRA.....		33

IEVADS

Ikdienā lielākā daļa informācijas - apkārt esošo priekšmetu saturs redzes laukā, notiekošie procesi tiek uztverti, izmantojot redzes sistēmu. Būtiska loma apkārtējās pasaules uztverē ir kustībai. Kustības uztvere ikdienā palīdz orientēties telpā, ir ļoti svarīga gan priekšmetu, gan citu dzīvu būtņu novietojuma telpā novērtēšanai, kā arī ir nozīmīga paša novērotāja kustības attiecībā pret apkārtējo vidi uztverē.

2010. gadā ilūziju pētnieki *Shapiro & Lu* veica pētījumu par to kā objekta (beisbola bumbiņas) rotācija ar noteiktu telpiskās frekvences režģi, tai pārvietojoties redzes uztveres lauka perifērijā, ietekmē uztvertās bumbiņas kustības virzienu.

Pamatojoties uz šo parādību (autori lieto – *break of curveball effect*) tika izveidoti stimuli, lai radītu šo iluzoro kustību redzes lauka perifērijā. Katrs no mums ir saskāries ar bumbas spēli, kad tās noķeršanai vai izvairīšanai no tās, redzes lauka perifērijā un smadzenēs tiek paredzēta tās krišanas kustības trajektorija.

Šī bakalaura darba **mērķis**: izpētīt, kā spožuma modulācija un tās horizontālā maiņa ietekmē vertikāli krītoša objekta trajektorijas šķietamo slīpumu redzes lauka perifērijā.

Tādejādi tika izvirzīta **hipotēze**: iluzorā kustība, kas tiek radīta ar krītoša objekta spožuma modulāciju un tās horizontālu maiņu, redzes lauka perifērijā var šķietami mainīt patiesībā taisni krītošas bumbiņas krišanas leņķi.

Darbā izvirzītā mērķa īstenošanai tikai uzstādīti šādi darba **uzdevumi**:

- 1) Izveidot testu eksperimenta veikšanai un aprobēt eksperimenta demonstrācijas stimulu piemērotību psiho fizikāla efekta lieluma noteikšanai;
- 2) Izvērtēt, vai veicot eksperimentu vairākas dienas pēc kārtas, tiek novērots iemācīšanās efekts;
- 3) Izvērtēt atšķirību starp pieredzējušo un “naivo” dalībnieku eksperimenta rezultātiem;
- 4) Salīdzināt 20+ vecuma grupas un 40+ vecuma grupas rezultātus;
- 5) Ar mērķi uz nākotnes darbu, veikt monokulārus kontroles eksperimentus kustības veidošanās un uztveres vietas redzes sistēmā izolēšanai.

1. LITERATŪRAS PĀRSKATS

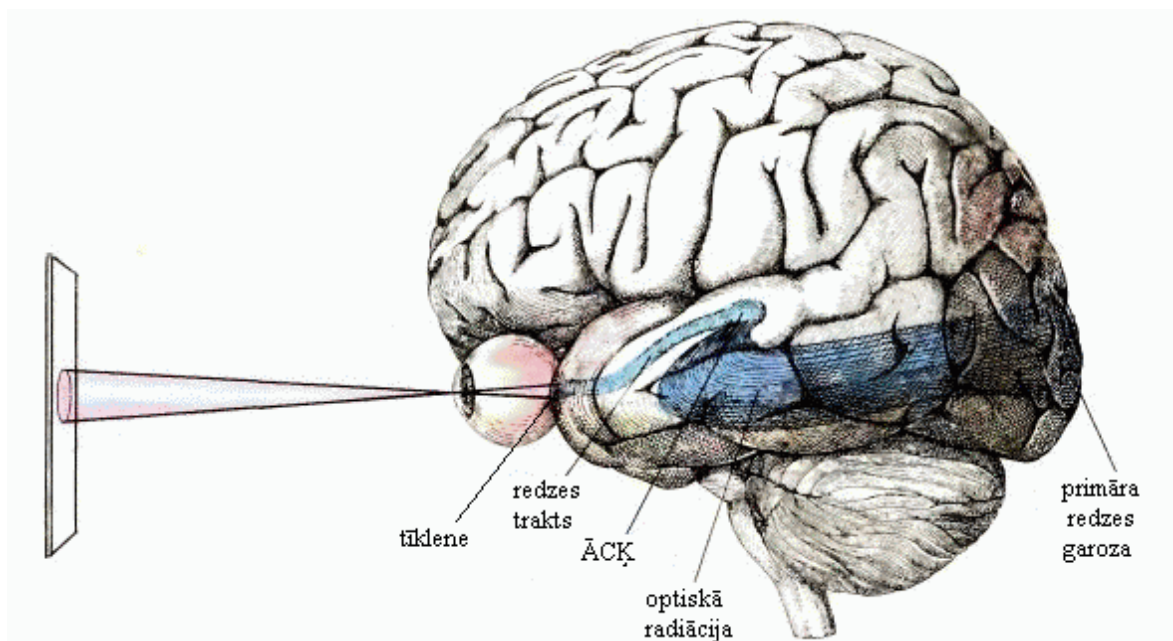
1.1. Vizuālās informācijas ievākšana un pārvade

1.1.1. Redzes definīcija

Blugers (1984) skaidro, ka redze ir bioloģisku procesu kopums, kas cilvēkam un dzīvniekam palīdz izzināt apkārtējo vidi, analizējot informāciju par gaismas stariem, kas nāk no apkārtējā vidē esošiem priekšmetiem. Redzes sajūta ir nozīmīga pareizai orientācijai telpā, ar tās palīdzību novērtotājs saņem informāciju par objektu formu, izmēru, krāsu.

Lai rastos redzes sajūta, redzes analizatoram jābūt normāli funkcionējošam. Redzes analizators sastāv no (skatīt 1.1. attēlu):

- 1) Perifērās jeb gaismas starus uztverošās daļas, kas sastāv no normāli funkcionējoša redzes analizatora (vesela acs, ar dzidrām optiskajām vidēm un veselu, nebojātu tīkli ar gaismas jūtīgiem fotoreceptoriem) (*Hubel*, 1988). Acs optiskās struktūras – radzene un lēca – fokusē un virza uz tīkles centrālo daļu (foveju) no objekta nākošo gaismu (*Hubel*, 1988). Gaismas kvants aktivē fotoreceptorus, tiek ierosināta bioķīmisko reakciju kopums, kura rezultātā tiek ģenerēts elektriskais stimuluss (*Hubel*, 1988).



1.1.att. Cilvēka redzes ceļš līdz V1 apgabalam smadzenēs (*Hubel*, 1988).

- 2) Vadītājceļiem jeb pārraidošās daļas (redzes nervs, hiazma, redzes trakts, optiskā radiācija, nervu šūnu sakopojumi galvas smadzenēs) – nervu šķiedras, kuras tīklenē ģenerēto elektrisko stimulu ar sinapšu palīdzību aizvada uz attiecīgajiem galvas smadzeņu apgabaliem (*Hubel*, 1988).

- 3) Kortikālā jeb analizējošā daļa (zemgarozas centri un augstākie redzes centri galvas smadzeņu pusložu garozas pakauša daivās) – no tīklenes sūtītais signāls tiek apstrādāts, tiek izvērtēti tā fizikālie parametri un definēts aplūkojamais objekts (*Hubel, 1988*).

1.1.2. Tīklenes uzbūve

Tīklene ir acs ābola iekšējais apvalks, savdabīgs “logs uz smadzenēm”, kas izklāj visu acs virsmu līdz ciliārajam ķermenim (*Vaļkova & Lūkina, 1990*). Tīklieni baro acs ābola vidējais apvalks – dzīslene (*chorioidea*), ar kuru tīklene ir cieši saistīta tikai pie tīklenes zobainās malas (*ora serrata*) un ap redzes nerva disku (*Vaļkova & Lūkina, 1990*).

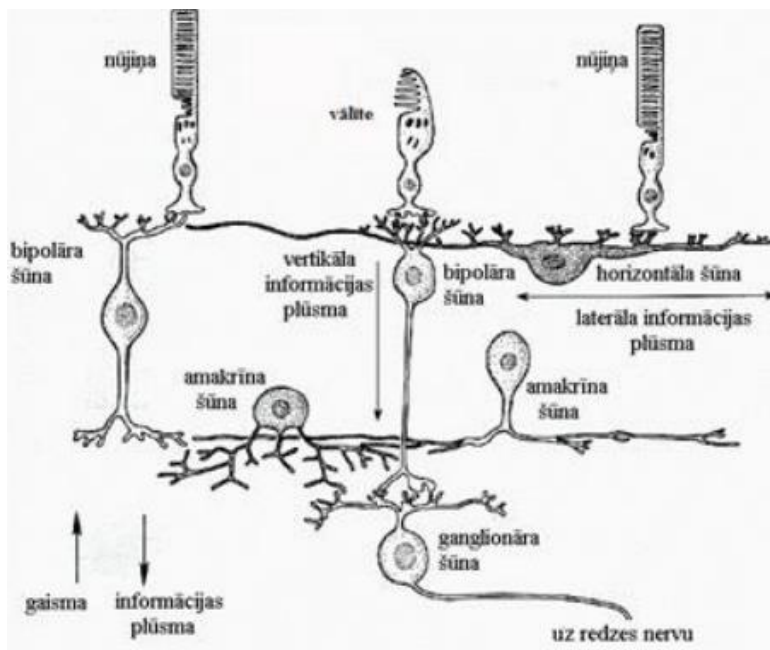
Nervu šūnas, kas atrodas tīklenē, pārveido gaismu neirālajos signālos (*Hubel, 1988*). Nervu šūnu spēja ar dažādu varbūtību absorbēt noteikta viļņa garumus, ļauj redzēt pie dažādiem apgaismojumiem, kā arī atšķirt krāsas (*Hubel, 1988*). Stimuli pēc to gaismas viļņu garumiem tiek izšķirti augstākos redzes centros, kur tiek salīdzināta informācija no dažādiem vāļišu tipiem, dažādiem receptīvajiem laukiem. Mikroskopiski tīklene sastāv no 10 slāņiem, kuri attēla uztveršanā veic katrs savas funkcijas (*Hubel, 1988*).

Vertikālajā pārvades ceļā signāls tīklenē tiek pārvadīts 3 neironu ķēdē: ārējā (fotoreceptori), vidējā (bipolārās šūnas) un iekšējā (ganglionārās šūnas) (*Vaļkova & Lūkina, 1990*). Signāls pārvietojas no fotoreceptoriem uz bipolārajām šūnām un no tām uz ganglionārajām šūnām (skatīt 1.2. attēlu) (*Vaļkova & Lūkina, 1990*). Šo 3 neironu ķēdi sauc par vertikālo neironu sistēmu, kas pārvada fotoreceptoru nervu impulsus uz galvas smadzenēm (*Hubel, 1988*). Horizontālā neironu sistēma pārvada signālu starp tīklenes nervu šūnām (*Hubel, 1988*). Tā sastāv no amakrīnajām un horizontālajām šūnām (*Hubel, 1988*).

Tīklenes galvenā funkcija ir gaismas fotona uztveršana un pārveidošana elektriskā signālā (*Stein et al., 1992*). Šo funkciju tīklenē pilda nūjiņas un vāļītes, kas atrodas tīklenes pigmentslānī.

Nūjiņas, kas lielākoties ir izvietotas perifērijā un ir skaitliski vairāk nekā vāļītes, atbild par redzi mezopiskos apstākļos (skotopisko redzi) (*Stein et al., 1992*). Samazinoties gaismas intensitātei, vāļišu ieguldījums redzes procesos samazinās, līdz, sasniedzot mezopiskus apstākļus, par objektu izšķiršanu atbild tikai nūjiņas. Vāļītes atbild par dienas jeb fotopisko redzi un lielākoties tiek pārstāvētas tīklenes centrālajā daļā (fovejā), ar tīklenes ekscentritāti to blīvums samazinās un palielinās lielums (*Stein et al., 1992*).

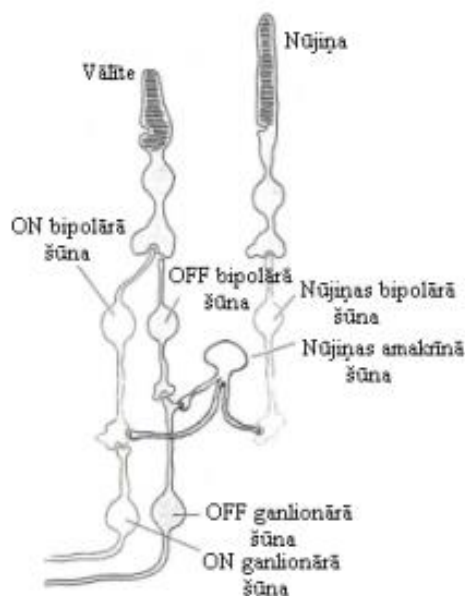
Fovejas centrā atrodas vislabākā redzes asuma apgabals, ko sauc par foveolu jeb centrālo bedrīti (*fovea centralis*) (Goldstein, 2005). Foveolā tīklene ir visplānākā un tajā ir vislielākais vāļišu blīvums (Goldstein, 2005). Fotoreceptoru nervu šķiedras ar sinapšu palīdzību konverģē punktā uz tīklenes – redzes nerva diskā (Goldstein, 2005). Redzes nerva diska rajonā ir tīklenes apgabals, kas nesatur fotoreceptorus – aklais plankums (Goldstein, 2005).



1.2. att. Tīklenes fotoreceptoru shematisks attēlojums (Schwartz, 2009).

Fotoreceptoru slānis ir primārais gaismas uztvērējs, kas atrodas visdziļāk tīklenē, tāpēc tā stimulēšanai gaismai jāiziet cauri visiem pārējiem tīklenes slāņiem (Hubel, 1988). Fotoreceptoros uztvertais signāls tiek raidīts pa vertikālajiem vadītājceļiem – no fotoreceptoriem uz bipolārajām šūnām. Bipolārās šūnas ir “starpnieki” starp vāļītēm un ganglionārajām šūnām (Hart, 2003).

Pie maziem tīklenes ekscentricitātes grādiem viena ganglionārā šūna saņem informāciju no vienas bipolārās šūnas, veidojot “tiešo kontaktu” no vāļītes uz ganglionāro šūnu (katra vāļīte savienojas ar vienu ON un vienu OFF bipolāro šūnu, bet nūjiņas savienojas tikai ar viena tipa bipolāro šūnu) (skatīt 1.3. attēlu) (Hart, 2003). Ganglionārā šūnā, kura sinapsē ar ON bipolāro šūnu, notiks hiperpolarizācija, ja uz vāļīti krīt gaisma, bet ganglionārā šūna, kas savienojas ar OFF bipolāro šūnu, signalizēs, ja vāļīte nesaņems gaismas fotonus (Kaplan, 2003).



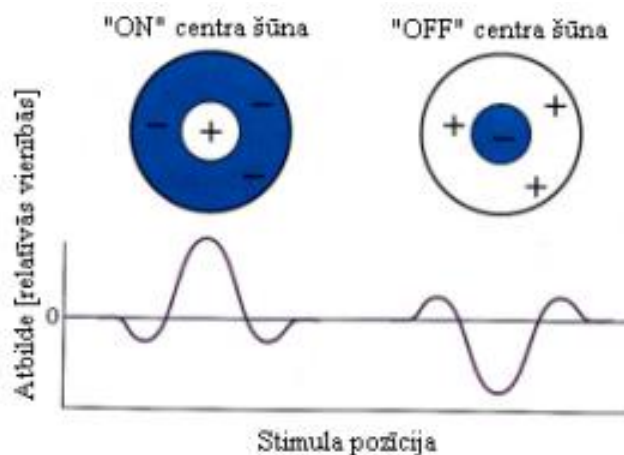
1.3. att. Viena vāļīte savienojas ar vienu ON un vienu OFF šūnu (Kaplan, 2003).

1.1.3. Tīklenes receptīvie lauki

Receptīvais lauks ir tīklenes apgabals, kura stimulācija ietekmē konkrētā sensorā neirona atbildi (Levine & Shefner, 1991). Šajā apgabalā pie vienas ganglionārās šūnas ir piesaistīti vairāki fotoreceptori. Receptīvie lauki, sākot ar visdziļāko tīklenes slāni – fotoreceptoru slāni, atrodami dažādos tīklenes slāņos (Hubel & Wiesel, 1959).

Receptīvais lauks sastāv no divām pretējām daļām - centra un perifērijas gredzena, kuru atbildes uz stimulāciju ir vērstas pretējā virzienā (*center – surround antagonism*) (Hubel & Wiesel, 1959). Šāda tipa atbildes reakcijas veido laterālo inhibīciju jeb telpisko antagonismu (Wade & Swanston, 2001). Tas nozīmē, ka stimulējot vienu receptīvā lauka apgabalu, atbildes reakcija būs savādāka, kā stimulējot citu receptīvā lauka apgabalu. Ganglionārās šūnas receptīvais lauks ietver vairāku atsevišķu bipolāro šūnu receptīvos laukus un aptver plašu apgabalu tīklenes fotoreceptoru slānī (Schwartz, 2009).

Receptīvo lauku reakcija uz gaismas stimulu atšķiras, tāpēc tos iedala divos veidos: ON centra (veido ON kanālus) un OFF centra (veido OFF kanālus) receptīvais lauks (skatīt 1.4. attēlu) (Hart, 2003). Tiklīdz ir apmēram vienāds skaits abu tipu receptīvo lauku (Wade & Swanston, 2001).

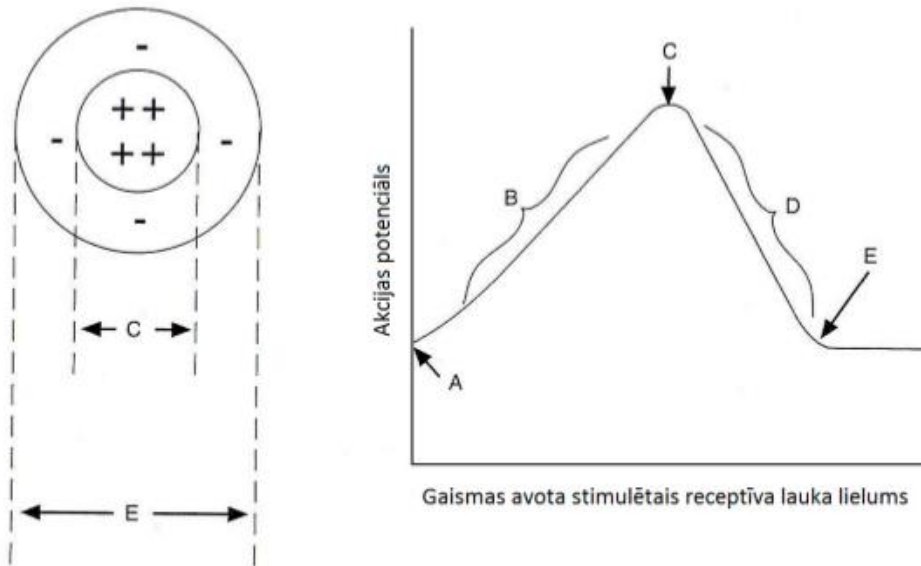


1.4. att. ON un OFF centru receptīvo lauku attēlojums (Snowden et al., 2006).

ON centra šūnai visstiprākā depolarizācija notiek, ja gaismas stimuls krīt uz ON centra receptīvā lauka centrālo rajonu, bet stimulam krītot uz šī lauka apkārtni, ganglionārās šūnas aktivitāte samazinās (Snowden et al., 2006). OFF centra receptīvā lauka darbība ir pretēja.

Attēlā 1.5. var novērot, ka šūnas atbilde ir vislielākā, ja tiek stimulēts viss ON apgabals, bet samazinās, ja stimulācija šķērso ON centra robežas un sāk pārklāt OFF apgabalu. Turklāt, stimulācija ārpus receptīvā lauka robežām, tāpat kā visa receptīvā lauka vienāda stimulācija, neizraisa šūnas atbildi (Wade & Swanston, 2001). Sadalījuma ON un OFF apgabalos dēļ, receptīvie lauki lielākoties reaģē uz tām vietām attēlos, kur ir apgaismojuma intensitātes izmaiņas (robežu un malu izšķiršana) (Schwartz, 2009). Zīmīgi, ka palielinot apgaismojuma intensitāti, palielinās arī receptīvais lauks.

Tikai pie atšķirīga apgaismojuma centrā un perifērijā iespējams noteikt lokālas apgaismojuma izmaiņas (Schwartz, 2009). To nosaka centra un perifērijas atbilžu starpība (Schwartz, 2009). To, ka šūnas atbildes stiprums ir tieši proporcionāls stimula diametram uz tīklenes, līdz brīdim, kad stimuls vairāk neatrodas šūnas ON laukā nosaka telpiskā summācija (Schwartz, 2009). Depolarizācijas rezultātā rodas signāls, kas tālāk virzās uz galvas smadzenēm. Šī signāla stiprums ir atkarīgs no depolarizācijas stipruma (Islam & Roach, 2015).



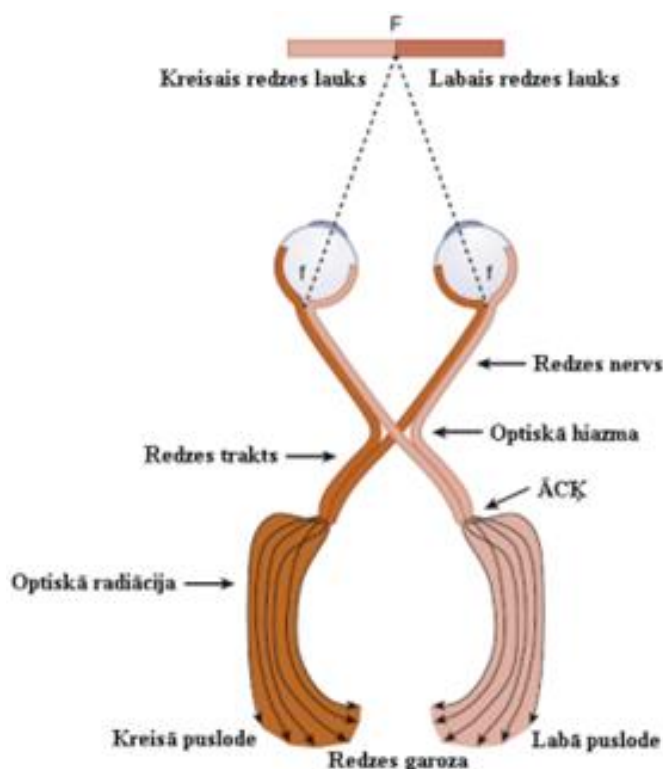
1.5.att. ON šūnas receptīvā lauka akciju potenciāls atkarībā no stimulētā lauka lieluma. A – receptīvā lauka miera stāvoklis, B – receptīvā lauka centra stimulācija pakāpeniski palielinās, C – receptīvā lauka centra un perifērijas robeža, D – receptīvā lauka perifērās daļas stimulācija pakāpeniski palielinās, E – receptīvā lauka robežas (*Schwartz, 2009*).

1.2. Redzes informācijas apstrādes ceļi

1.2.1. Magno, parvo un koniocelulārie ceļi

Ganglionāro šūnu aksoni, veidojot nervu šķiedru slāni, pa redzes nervu (*n. opticus*) virzās līdz rajonam virs turku sedliem, veidojot hiazmu, kurā krustojas šķiedras, kas pārvada informāciju no attiecīgās acs tīklenes nazālās daļas (*Schwartz, 1998*). Informācija no laterālās tīklenes daļas netiek krustota un turpina savu gaitu attiecīgajā smadzeņu puslodē (skatīt 1.6. attēlu) (*Hubel, 1988*). Hiazma ir pirmā redzes aparāta struktūra, kurā nonāk redzes informācija gan no labās, gan kreisās acs (*Steinman et.al., 2000*).

Pēc daļējas krustošanās hiazmā, veidojas divi redzes trakti (labais un kreisais), no kuriem viens (kreisais) pārvada informāciju par labo redzes lauka daļu, bet otrs (labais) – kreiso redzes lauka daļu (*Gycev et.al., 2000*). Redzes trakts beidzas ārējā ceļgalveida ķermenī (turpmāk tekstā ĀCK), uz kuru dodas apmēram 90 % no redzes trakta šķiedrām (*Hubel, 1988*).



1.6.att. Redzes informācijas apstrādes sistēma (ceļš no labās un kreisās acs tīklenēm līdz primārai redzes garozai) (*Schwartz, 2009*).

ĀCK ir smadzeņu struktūra, zemgarozas cents, kas atrodas aiz redzes uzkalna (*thalamus*) un veic pirmējo tīklenes sūtītās vizuālās informācijas šķirošanu un analīzi (*Шульговский, 2002*). ĀCK sastāv no sešiem slāņiem (*Schwartz, 2009*). Katrs no tiem saņem ienākošo vizuālo informāciju tikai no vienas acs tīklenes (*Palmer, 1999*). 1., 4., 6. slāņi saņem informāciju no pretējā pusē esošās acs (kontralaterālās) – no šķiedrām, kas tiek krustotas hiazmā (*Palmer,*

1999). Vizuālā informācija, kas nāk no šķiedrām, nekrustotām hiazmā, nonāk 2., 3., un 5. ĀCĶ slāņos. Šīs šķiedras sauc par ipsilaterālām – tās nāk no tajā pašā pusē esošās acs (*Palmer, 1999*).

Fizioloģiski un morfoloģiski ganglionārās šūnas tiek iedalītas magnocelulārajās, parvocelulārajās un koniocelulārajās šūnās (*Callaway, 2005*). Redzes informācijas pārvades ceļu sadalījums magno, parvo un koniocelulāros sākas no tīklenē esošajām vāļītēm (*Hart, 2003*).

Parvoganglionārās (P – šūnas) jeb *midget* šūnas ir ar samērā nelieliem ķermeņiem un dendrītu kokiem (*Islam & Roach, 2015*). P - šūnas aizņem 80% no visām tīklenes šūnām, lokalizējas pārsvarā tīklenes centrālajā daļā un veido parvocelulāro signālu pārvades ceļu (*Kaplan, 2003*). Parvo šūnām ir maz mialinizēti, tievi aksoni, kas sniedz lēnāku atbildi uz stimulu, tām ir nelieli receptīvie lauki (*Callaway, 2005*). Tīklenes centrālajā apgabalā katra parvo šūna saņem impulsu tikai no vienas bipolārās šūnas, kas savukārt uztver vienas vāļītes signālu (*Islam & Roach, 2015*). Parvo sistēma ir cieši saistīta ar formas, robežu atpazīšanu un materiāla izšķiršanu, kā arī ar krāsu izšķiršanu un smalkās centrālās redzes nodrošināšanu (*Callaway, 2005; Kaplan, 2003*).

Magnoganglionārās (M – šūnas) jeb *parasol* šūnas pārsvarā atrodas tīklenes perifērajā daļā, kur parvo un magno šūnu skaits ir aptuveni vienāds (*Islam & Roach, 2015*). *Parasol* šūnas aizņem ap 10% no visām tīklenes ganglionārajām šūnām (*Schwartz, 2009*). M – šūnas ātrāk sniedz atbildi uz kairinājumu, jo tām ir resni, mialinizētāki aksoni, kā arī lieli receptīvie lauki – informācija tiek iegūta no vairākām bipolārajām šūnām, ko tās saņem no vairākām vāļītēm (*Callaway, 2005*). Magno sistēmas šūnas reaģē uz mazākām kontrasta izmaiņām (ir jūtīgākas uz ahromatisko stimulu), nodrošina perifēro redzi un piedalās kustīgu objektu uztverē, par ko liecina lielāki receptīvie lauki. Magno sistēma spēj atpazīt kustību, jo tai ir lielāks kustībjūtīgo šūnu skaits sistēmas tālākos posmos (lielākoties V5/MT zonā) (*Rheingans, 2003*). Lielākā daļā šo šūnu ir spējīgas ne tikai uztvert kustības esamību, bet arī kustības ātrumu, virzienu, bet arī veikt spožuma (ahromātiskā) informācijas pārvadi (*Rheingans, 2003; Kaplan, 2003*). M ceļi arī palīdz novērtēt mūsu pozīciju attiecībā pret apskatāmo objektu.

Konioganglionārās (K – šūnas) jeb *konio* šūnas ir mazas, ar plašiem receptīvajiem laukiem (*Schwartz, 2009*). Tās aizņem apmēram 10% no tīklenes ganglionārajām šūnām (*Dacey & Petersen, 1992*). K – šūnas saņem informāciju no mazajām svītrainajām ganglionārajām šūnām (*Kaplan, 2003*). Konioganglionāro receptīvo šūnu *off – zona* ir saistīta ar sarkanās vai zaļās krāsas stimulu uztveršanu, bet to *on – zona* saistīta ar zilās gaismas stimuliem (*Dacey & Petersen, 1992*). No visām tīklenes ganglionārajām šūnām K-šūnas ir vismazāk izpētītas.

Konioganglionārās, magnoganglionārās un parvoganglionārās sistēmas apstrādā dažādas tīklenes attēla īpašības (Kaplan, 2003). Kaplan (2003) min, ka *parvo* šūnu informācija sniedz atbildi “Kas?” ceļam (ventrālajam jeb priekšējam), kas tiek asociēts ar formas un tēlu atpazīšanu, jo saistās ar ilgtermiņa atmiņu (Goldstein, 2005). Ventrālais ceļš ir diferencējies no parvocelulārā pārvades ceļa, tāpēc tas arī ir saistīts ar objektu krāsas un formas uztveri (Goodale & Milner, 1992).

Savukārt *magno* šūnu sniegtā informācija atbild “Kur?” ceļam (dorsālajam jeb mugurējam). Tas ir diferencējies no magnocelulārā pārvades ceļa un saistīts ar apskatāmā objekta lokalizācijas telpā noteikšanu, acs kustību mehānismu (kontroli), kā arī acu – roku koordinētām kustībām (Goodale & Milner, 1992).

Ventrālā un dorsālā redzes informācijas pārvades ceļu definīciju pirmie ieviesa Ungerleider & Mishkin 1982. gadā (Tootell et al., 1998). Šie termini redzes pētnieku, psihofiziķu un psihologu vidū tiek izmantoti arī mūsdienās (Tootell et al., 1998).

1.1. tabula Parvo, magno un konicelulāro pārvades ceļu salīdzinājums (Islam & Roach, 2015).

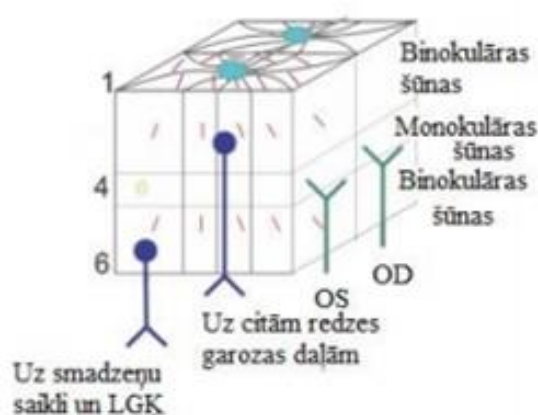
Īpašība	P pārvades ceļš	M pārvades ceļš	K pārvades ceļš
Veidojošās šūnas	P šūnas	M šūnas	K šūnas
Receptīvā lauka izmērs	mazs	liels	liels
Spektrālā oponente/selektivitāte	Ir	nav	daļēji ir (zilā krāsa)
Signālu pārvades ātrums aksonos	zems	ātrs	Zems/mainīgs
Projekcija ĀCK	parvocelulārie slāņi	magnocelulārie slāņi	starpšūnas
Procentuālais daudzums ĀCK	~ 80%	~ 10%	~ 10%
V1 projekcijas mērķis	4C β	4C α	2.-3. slānis

1.2.2. Primārā redzes garoza V1

ĀCK šūnu aksonu veidotā optiskā radiācija nes redzes informāciju uz visattīstītāko smadzeņu daļu – primāro redzes garozu (*Schwartz, 2009*). Primārā redzes garoza atrodas galvas smadzeņu pakauša daivā un atbild par optiskā starojuma saņemšanu no ārējā ceļgalveida ķermeņa un veic uztvertās redzes informācijas analīzi (*Hubel, 1988*). Tā ir visvairāk izpētītā, kā arī lielākā, sarežģītākā un nozīmīgākā zona galvas smadzenēs. Ar funkcionālo magnētisko rezonansi ir noskaidrots, ka V1 ir visaktīvākais smadzeņu apgabals. No ĀCK nākošā vizuālā informācija tiek sadalīta primārajā redzes garozā, kur, tāpat kā ĀCK, veido tīklines topogrāfiju – konkrēts tīklines punkts tiek projicēts kā konkrēts primārās redzes garozas punkts (*Hubel, 1988*).

Morfoloģiski primārā redzes garoza, tāpat kā ĀCK, tiek dalīta 6 slāņos (I līdz VI) (skatīt 1.7. attēlu) (*Wurtz & Kandel, 2000*). I slānis pārsvarā sastāv no neironu aksoniem un dendrītiem, neironu ķermeņu tajā ir ļoti maz (*Schmolesky, 2007*). II un III slāņi sastāv no projekcijas neironiem, kas informāciju ar aksoniem pārraida un citām garozas daļām (*Schmolesky, 2007*). V un VI slāņu projekcijas neironu aksoni nodrošina atgriezenisko saiti ar smadzeņu saiķi un ārējo ceļgalveida ķermeni (*Schmolesky, 2007*).

Wurtz & Kandel (2000) apzīmē IV garozas slāni kā vissvarīgāko, jo tajā ar aferentajām šķiedrām pienāk lielākā daļa no ĀCK nākošās informācijas. IV slānis tiek sadalīts četros apakšslāņos – 4A, 4B, 4C α un 4C β (*Wurtz & Kandel, 2000*). Informācija par parvocelulāro pārvades sistēmu (P neironu slāņiem) nonāk 4C α primārās redzes garozas slānī, bet 4C β kortikālais slānis saņem informāciju par magnocelulāro sistēmu (M neironu slāņiem) (*Islam & Roach, 2015*). Savukārt koniocelulārās sistēmas (K neironu slāņa) informācija tiek nodota nevis uz IV, bet uz I un III redzes garozas slāņiem (*Islam & Roach, 2015*).



1.7.att. Primārās redzes garozas slāņi (*Vilis, 2013*).

Visos redzes garozas slāņos šūnas, kas izvietotas vertikāli, tiek apvienotas kortikālās kolonnās, ko sauc par okulārās dominances kolonnām (*Hubel, 1988*). Katra no vertikālo šūnu kolonnām reaģē uz specifiskiem stimula parametriem, piemēram, stimula telpisko orientāciju (*Hubel, 1988*). Okulārās dominances kolonnu platums ir ap 0,05 mm, tās reaģē uz specifisko stimulu slīpumu no 0° līdz 180°, ar 10° lielu soli (pa vai pret pulksteņa rādītāja virzienu) (*Hubel, 1988*).

Labās un kreisās acs tīklenes attēli nav vienādi, jo katra acs redz attēlu vai objektu no cita leņķa, tāpēc veidojas 0,5 mm platas okulārās dominances kolonnas (*Hubel, 1988*). Attēls kolonnās tiek projicēts uz attiecīgajām tīklenes zonām, pamatojoties uz dziļumu (*Islam & Roach, 2015*). Primārā redzes garoza sastāv no vienkāršām un saliktām šūnām (*Vilis, 2013*). Tās 1959. gadā atklāja *Hubel & Wiesel*.

Vienkāršām šūnām, līdzīgi kā tīklenes ganglionārajām šūnām un ĀCK šūnām, ir mazs receptīvais lauks ar skaidrām robežām (*Hubel, 1988*). Tās ir monokulāras – saņem informāciju par stimulu tikai no vienas acs un veido primārās redzes garozas IV slāni (*Vilis, 2013*). Tās sakārto informāciju, kas nonāk redzes garozā (*Vilis, 2013*).

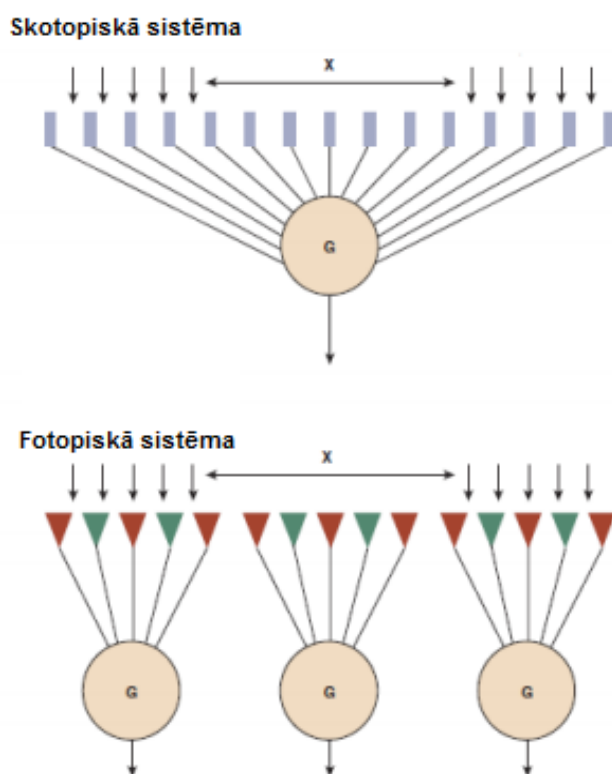
Saliktās jeb binokulārās šūnas atrodas augstākos slāņos un atbilst sarežģītākam redzes analīzes līmenim (*Hubel, 1988*). Salikto šūnu primārajā redzes garozā ir vairāk nekā vienkāršo. Saliktām šūnām salīdzinājumā ar vienkāršajām ir nedaudz lielāki receptīvie lauki (*Hubel, 1988*). Atbildi par stimula orientāciju saliktās šūnas sniedz tikai tad, ja stimulš iekļaujas receptīvā lauka robežās. Tās saņem un apstrādā informāciju no abām acīm, arī nodrošina dziļuma un telpas uztveri (*Vilis, 2013*).

Kopīga vienkāršo un salikto šūnu īpašība ir tikai spēja reaģēt uz pietiekami krasām spožuma izmaiņām (*Hubel, 1988*). Saliktajās šūnās apstrādātā informācija nonāk citos redzes garozas centros vai veido atgriezenisko saiti ar smadzeņu saikli un ĀCK (*Vilis, 2013*).

1.2.3. Telpiskā summācija

Telpiskā summācija ir viens no kustības uztveršanas palīgmehānismiem (*Schwartz, 2009*). Tā veidojas summējoties signāliem (gaismas kvantiem) no vizuālā lauka punktiem, kas atrodas blakus, noteiktā summācijas apgabalā (*Vasiliev et al., 2000*). Summācijas laikā uztvertie stimuli tiek summēti kopā un pārveidoti vienā signālā, to veic fotoreceptori (skatīt 1.8.attēlu).

Tīklenes perifērajā daļā izpildās *Ricco* likums, kas apraksta sakarību starp uztvertā stimula kontrastsliekšņa apgaismojumu un stimula laukumu, kas ir apgriezti proporcionāli (*Schwartz, 2009*). Kontrasta labākai izšķiršanai, tas ir jāizolē no apkārtējiem trokšņiem (*Nandy & Tjan, 2008*). Tas nozīmē, ka tīklenes perifērajā daļā, kam raksturīgi lielāki receptīvie lauki, arī summācijas apgabalu izmēri ir lielāki (*Nandy & Tjan, 2008*). *Vasiliev et.al.* (2009) *Ricco* likuma darbības apgabalu sauc par *Ricco* apgabalu. Tīklenes perifērijā esošo receptīvo lauku izmēri ir lielāki, tāpēc *Ricco* apgabala laukums palielinās ekscentriski (*Vasiliev et al., 2000*). Tas nozīmē, ka stimul ar lielāku izmēru tiek vieglāk uztverts, jo vizuālo informāciju saņem lielāks skaits tīklenes šūnu, kā arī ja stimula intensitāte ir lielāka.



1.8.att. Telpiskā summācija skotopiskos un fotopiskos apstākļos. Ar G burtiem ir apzīmētas ganglionārās šūnas, bet ar zaļiem un brūniem trīsstūriem un pelēkiem taisnstūriem – nūjiņas un vāļītes (*Schwartz, 2009*).

Aiz *Ricco* apgabala robežām telpiskā summācija notiek pēc cita principa – *Piper* likuma, kas paredz, ka uztvertā stimula kontrastsliekšņa apgaismojums ir apgriezti proporcionāls šī stimula laukuma kvadrātsaknei (*Vasiliev et al., 2000*).

Salīdzinājumā ar fotopiskiem (gaismas) apstākļiem skotopiskajos saskatīt objektus ir ievērojami grūtāk, jo nūjiņām, kas darbojas tumsas apstākļos, ir augsta gaismas jūtība, bet zema telpiskā izšķirtspēja. Augstāka jūtība pret stimulu uztveršanu tumsas apstākļos nosaka skotopiskās sistēmas ir labākas temporālās un telpiskās summācijas spējas (*Schwartz, 2009*).

Gaismas apstākļos temporālā un telpiskā summācija ir ierobežota, tāpēc pieaug spēja uztvert un atpazīt stimulu (*Schwartz, 2009*).

1.2.4. Summācija laikā

Schwartz (2009) skaidro, ka summācija laikā jeb temporālā summācija notiek, saskaitoties vairākiem presinaptiskā neirona signāliem, brīdī, kad postsinaptiskais neirons sasniedz sliekšni. Vāja apgaismojuma (skotopiskos) apstākļos notiek stiprāka presinaptisko neironu signālu summācija nekā dienas jeb fotopiskos apstākļos (*Schwartz, 2009*). Temporālā summācija izpaužas kā stimula atšķiršana no fona jeb ārējā trokšņa.

Temporālā summācija darbojas arī demonstrējot ar īsu pauzi (spotopiskos apstākļos zem 100 milisekundēm) divus zemsliekšņa spožuma stimulus, kuri, saskaitoties, sasniedz sliekšni un tiek uztverti kā viens stimuls (*Schwartz, 2009*). Lai vairāki stimuli (piemēram, gaismas zibšņi) tiktu uztverti kā viens stimuls, tiem jāsniedz kvantu sliekšnis kritiskajā laikā. Šajā gadījumā nav svarīgs veids, kādā sliekšnis sasniedz tīklēni, ja tas notiek kritiskajā laikā. Šī sakarība tiek saukta par *Bloch* likumu (*Schwartz, 2009*).

1.3. Telpisko frekvenču, virziena un kustības uztvere

1.3.1. Telpisko frekvenču uztvere

Objektu orientācijas un telpiskās frekvences noteikšana notiek V2, V4 smadzeņu apgabalos un zemdeniņu garozā (*inferotemporal cortex*) (Foster et al., 1985; Levitt, et. al., 2002).

V2 apgabalā šūnas spēj noteikt sarežģītu ģeometrisku struktūru raksturu: to kontūras, liekumus, kontūru krustojumus un objektu tekstūras (Peterhans & von der Heydt, 1991; Sheth et al., 1996; Leventhal et al., 1988; Hegdé & Van Essen, 2000).

1.3.2. Kustības uztvere

Viena no nozīmīgākajām redzes uztveres komponentēm ir kustības uztvere. Kustību raksturo pārvietojums, ātrums, laiks, paātrinājums un virziens (Krantz, 2012). Kustība tiek iedalīta vairākos veidos:

- šķietamā kustība (*apparent movement*) – ilūzijas;
- pēckustības efekts (*after – movement effect*) – ilgu laiku novērojot vienveidīgi, vienā virzienā kustīgu objektu un, pēcāk vērsot skatu uz nekustīgu objektu, šķiet, ka tas kustas iepriekš novērotā objekta kustības virzienā;
- kustības plūsmas lauks (*movement flow field*) (Wandell, 2005)

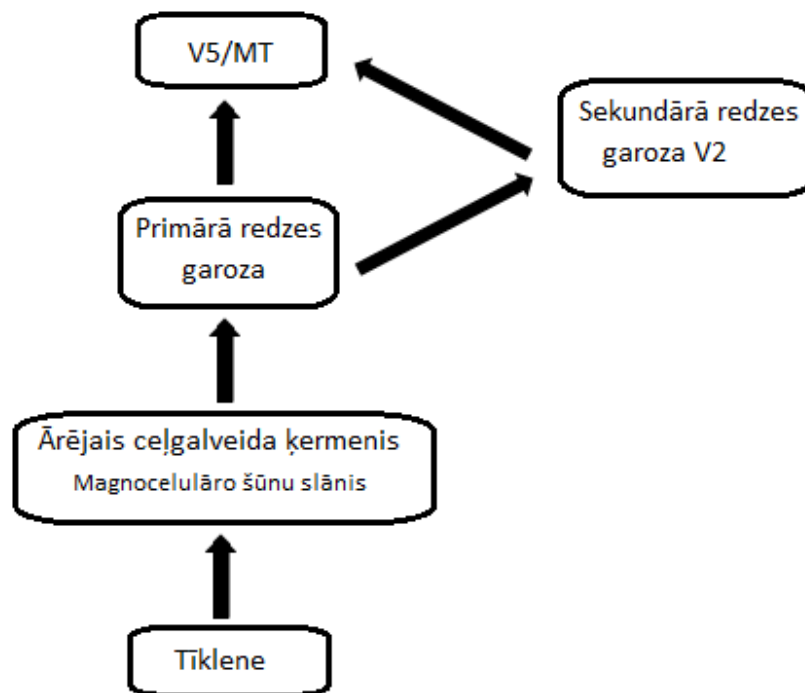
Redzes zinātnē runājot par “kustību” tiek saprasta redzes stimulu kustība. Veiksmīgai kustības uztverei nepieciešama ātra un precīza attēla, kas tiek attēlots uz tīklenes, atpazīšana. Redzes sistēmas informācija par kustību ne vienmēr tiek iegūta tikai balstoties uz tīklenes attēla izmaiņām (Snowden et.al., 2006). Nozīmīgs faktors kustības uztverē ir acu kustības un novērotāja pārvietošanās attiecībā pret apskatāmo objektu. Kustības uztveres ātrums ir atkarīgs gan no aplūkojamā stimula īpašībām, gan apkārtējiem apstākļiem, tādiem kā kustības koherence, stimula kustības ātrums, demonstrācijas ilgums.

Grossman et al. (2002) pētījumā tiek skaidrots, ka kustības uztveres un kustības informācijas pārvades neironi ir konstatēti vairākos dorsālo ceļu redzes laukos. Tie sākas primārajā redzes garozā, veido sinapses ar V5 garozas neironiem un noslēdzas augstākajos redzes līmeņos (skatīt 1.9. attēlu).

V5/MT (*middle temporal motion area*) smadzeņu garoza ir viena no svarīgākajām smadzeņu daļām kustības uztveršanā un atpazīšanā. MT zonā atrodas šūnas, kuru lielākā daļa atbild par kustības selektivitāti, bet daļa par disparitāti (Steinmann et.al, 2000). Bez MT zonas

(tās bojājuma gadījumā), piemēram pacientiem pēc smadzeņu insultiem, tiek zaudēta spēja uztvert kustību, novērtēt tās ātrumu un virzienu, tāpēc cilvēks redz tikai atsevišķus kadrus, piemēram, objekts atradās tālu no novērotāja, bet nākamajā brīdī jau atrodas tuvu tam, neuztverot pašu pārvietošanās momentu (*Ungerleider & Haxby, 1994*).

Centrāli augšējās deniņu daivas (MST) šūnām ir lielāki receptīvie lauki, kuri veic optiskās informācijas plūsmas uztveri un apstrādi. Šajā galvas smadzeņu daļā notiek trīsdimensionālas (3D) kustības analīze – kustības pietuvināšanās/attālināšanās, izplešanās vai satuvināšanās telpā analīze, kā arī objektu rotācijas analīze.



1.9.att. Vienkāršota kustības uztveres shēma (*Wandell, 2005*)

1.3.3. Virziena uztvere un atpazīšana

Viena no galvenajām kustības pamatīpašībām ir virziens. Virziena atpazīšana sākas amakrīnajās šūnās (*starburst amacrine cells*), kuru dendrītiskie zari pilda neirālo moduļu funkcijas (*Euler et.al., 2002*). Amakrīnās šūnas, kas atrodas pirms ganglionārās šūnas, vizuālo informāciju saņem no bipolārajām šūnām (*Euler et.al., 2002*).

Arī V5/MT apgabala (vidējās temporālās zonas) neironiem piemīt spēja atpazīt virzienu (*Seckel, 2009*). Šī apgabala šūnas uztver dominanto kustības virzienu un ir nedaudz jūtīgas pret stimula kustības blakusvirzieniem (piemēram, uz augšu un pa labi vai uz augšu un pa kreisi) (*Seckel, 2009*). Blakusvirzienu jūtības dēļ, tiek samazināta stimula dominantā kustības virziena

maksimāli precīza atpazīšana. Pārējos virzienos šūnu atbilde ir vāja, līdzinās šūnas miera potenciāla atbildei.

V4 apgabala šūnām ir lielāki receptīvie lauki, tās reaģē uz leņķu un loku kombinācijām un relatīvajiem stāvokļiem (*Pasupathy & Connor, 2001*), kā arī spožuma gradientiem (*Hanazawa & Komatsu, 2001*). Liela daļa V4 apgabala šūnu ir atbildīgas telpiskuma un virziena uztveršanu, bet ir arī šūnas, kas ir jūtīgas uz krāsu.

Van der Smagt et. al. (1999) pētījumā par kustības uztveres blakusefektus skaidro, ka novērotājam adaptējoties divām vienādu ātrumu, bet atšķirīgu virzienu kustībām, rodas kustības blakusefekts, pretējs abu adaptēto kustību summas vektoriem. Šī pētījuma rezultāti parādīja, ka vienlaicīgi demonstrējot kustību divās dažādās plaknēs, novērotājs starpību starp stimulu lielumiem uztver lielāku, nekā tā reāli ir (*van der Smagt et.al, 1999*). Šī īpatnība tiek saukta par kustības attālināšanos jeb virzienu attālināšanos (*van der Smagt et.al, 1999*).

Orientācijas un kustības adaptācija ir līdzīgi procesi, tāpēc orientācijas adaptācija tiek skaidrota ar kustības virziena adaptāciju. Kustības virziena adaptāciju pirmais ievēroja ķīmiķis *Addams* 19.gs pirmajā. Kādu laiku skatoties uz ūdenskritumu (notiek kustība uz leju), bet pēc tam paskatoties uz klinti (nekustīgu objektu), viņam radās sajūta, ka klints kustās uz augšu. Šis fenomens rodas, jo kustībai uz leju jūtīgās šūnas, ilgstoša kairinājuma ietekmē adaptējas (kļūst mazāk jūtīgas uz šo virzienu) (*Snowden et.al., 2006; Seckel, 2009*).

1.3.4. Iemācīšanās efekts

Atkārtoti pildot nemainīgu uzdevumu, dalībnieks gūst iemaņas, viņa neirālā sistēma var uzlabot stimulu atpazīšanu. To sauc par vizuālās uztveres iemācīšanos (*visual perceptual learning*) jeb mācīšanās efektu (*Sasaki et.al., 2010*). Vizuālās uztveres iemācīšanās ir izteikta, ja nepieciešams atpazīt objektus, kurus redzes sistēma agrāk ir uztvērusi (*Furmanski & Engel, 2000*). Mācīšanās efekts atspoguļo noteiktu galvas smadzeņu rajonu, kas nosaka spēju pielāgoties un izveidot stratēģiju veiksmīgai objektu atpazīšanai darbību (*Furmanski & Engel, 2000*).

1.4. Ilūzijas

1.4.1. Redzes ilūzijas

Vizuālās informācijas uztveres procesā ļoti bieži tiek novērotas dažādas ilūzijas un fenomeni. Arī ikdienā mēs katrs esam piedzīvojuši redzes ilūzijas vai apskatījuši attēlus, kas ir izveidoti ar mērķi “apmānīt” redzes sistēmu.

Ilūzijas rodas, apmānot novērotāja sensorās sistēmas un liekot tām veikt nepareizu vai nepilnīgu aplūkojamā objekta uztveri un secinājumus par to. Sajūta, ka ir radusies ilūzija, var izveidoties jebkurā sensorās sistēmas daļā. Ilūzijas tiek veidotas pamatojoties uz dažādām redzes uztveres īpašībām, tādām kā formas uztvere, attēla izmēri, tekstūras, perspektīva, krāsu uztvere, kustību uztvere un daudzām citām. Ilūzijas tiek dalītas divās grupās:

- 1) fizikālās – saistītas ar fizikāliem parametriem, piemēram, gaismas laušanas koeficientu atšķirības, kas, skatoties ūdenī, rada staru, priekšmetu kropļojumus;
- 2) psiholoģiskās – rodas ietekmējot novērotāja uztveri un radot tam subjektīvas sajūtas par objektiem vai attēlu.

Mūsdienās ir zināmas daudzas ilūzijas, kas rada šķietamu kustību vai šķietami izmaina objekta kustības virzienu, piemēram, panorāmas rats, rotējošās čūskas, Šapiro - Lu beisbola bumbiņas rotācija, Pinnas rotējošie riņķi.

1.4.2. Shapiro & Lu ilūzija

Ļoti bieži ilūzijas tiek radītas, ar mērķi radīt redzes sistēmai viltus kustības sajūtu vai mainīt kustības virzienu. Viena no interesantām kustības ilūzijām ir *Shapiro & Lu* 2011. gada pētījumā izmantotā rotējošas bumbiņas ilūzija (*curveball effect*). Uz “*curveball effect*” ilūzijas pamata tika izveidots šī bakalaura darba eksperiments.

Shapiro un viņa kolēģiem radās jautājums kā anatomiskas un fizioloģiskas atšķirības starp foveju un tīklenes perifēriju ietekmē redzes sistēmas uztveri. Viņi izveidoja rotējošas bumbiņas ilūziju, kas sastāv no diviem kustības signāliem, kas notiek vienlaicīgi (skatīt 2.10. attēlu):

- 1) globālas kustības signāls – bumbiņa, kas kustās no ekrāna augšas uz leju;
- 2) lokālas kustības signāls – iepriekšējā punktā aprakstītajā bumbiņā ir iekšējais režģis, kas pārvietojas no labās uz kreiso)

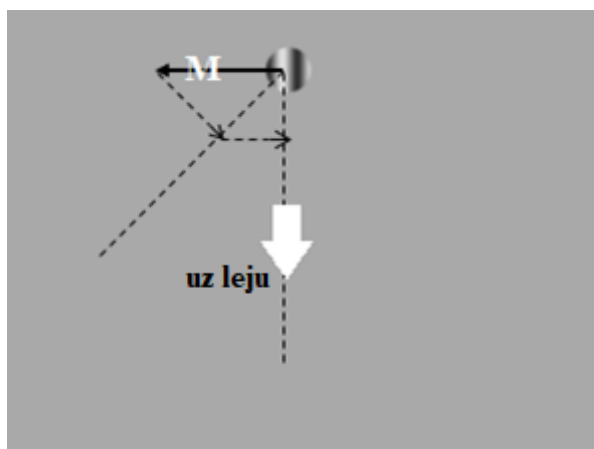
Novērotājam skatoties tieši uz kustības signālu (veicot signāla uztveri ar foveju) – bumbiņai notiek spožuma modulētā iekšējā režģa kustība pa kreisi, bet pati bumbiņa kustas

vertikāli uz leju. Kad signāla kustības analīze notiek ar perifēriju – dalībnieks skatās uz fiksācijas punktu, notiek iekšējā režģa maiņa pa kreisi, bet globālā kustība maina iepriekšējo kustības virzienu un notiek šķietamas bumbiņas kustības pa kreisi efekts. Tas notiek iekšējā režģa robežu horizontālas maiņas pa kreisi dēļ.



2.10.att. Kustības signāli rotējošajā bumbiņā. Ar bultiņām norādīti kustības virzieni (*Shapiro & Lu, 2011*). Bumbiņa veic kustību uz leju, bet tajā iekšā notiek iekšējā režģa kustība pa kreisi.

Pinna & Brelstaff (2000) pētījumā par rotējošu apļu relatīvu kustību, skaidro apļu kustību ar vektoru projekciju palīdzību. Izmantojot šo skaidrojuma ideju, tika izveidota vektoru shēma *Shapiro & Lu* ilūzijai (skatīt 2.11. attēlu), kur, attēlojot lokālās un globālās kustības vektorus, tiek projicēts iespējamais šķietamās kustības virziens, gadījumam, ja eksperimenta dalībnieks fiksē skatu uz fiksācijas punktu.



2.11.att. Vektoru shēma *Shapiro & Lu* ilūzijas kustības analīzei. Ar M ir atzīmēts iekšējā režģa kustības vektors, baltā bultiņa – kustības uz leju vektors. Attēls ir autora pārveidota ilustrācija pētāmā efekta analīzei dotajā darbā no *Pinna & Brelstaff (2000)* publikācijas.

2. EKSPERIMENTĀLĀ DAĻA

2.1. Metodes un testēšana

2.1.1. Dalībnieku raksturojums

Pētījumā piedalījās 18 cilvēki bez konstatētām redzes uztveres ceļu un acs patoloģijām un ar normālu vai izkorigētu līdz normālai redzi ($V > 0,8$). Visi dalībnieki pētījumā piedalījās brīvprātīgi, parakstot dalībnieka piekrišanas lapu, saskaņā ar LU EKMI Zinātniskās izpētes ētikas komisijas prasībām.

Dalībnieki tika sakārtoti 3 grupās atbilstoši darbā izvirzītajiem uzdevumiem:

- 1) Grupa I sastāvēja no 2 cilvēkiem ar vidējo vecumu 21 gads (1 sieviete, 1 vīrietis), kas veica testu vairākas dienas pēc kārtas, iemācīšanās efekta esamības novērtēšanai;
- 2) Grupas II sastāvā tika iekļauti 9 cilvēki vecumā no 21 līdz 26 gadiem (5 sievietes un 4 vīrieši), kas pildīja testu 1 reizi. Turpmāk darbā šī grupa tiek apzīmēta kā 20+ vecuma grupa.
- 3) Arī III grupas dalībnieki pildīja testu vienu reizi. Šajā grupā tika iekļauti 7 cilvēki vecumā no 43 līdz 49 gadiem (3 sievietes un 4 vīrieši). Turpmāk darbā – 40+ vecuma grupa.

Izņemot vienu no pirmās grupas dalībniekiem (darba autori), pārējie bija “naivie” dalībnieki – tiem nebija zināmas vēlamās testa atbildes un eksperimenta mērķi.

2.1.2. Stimuli un programma

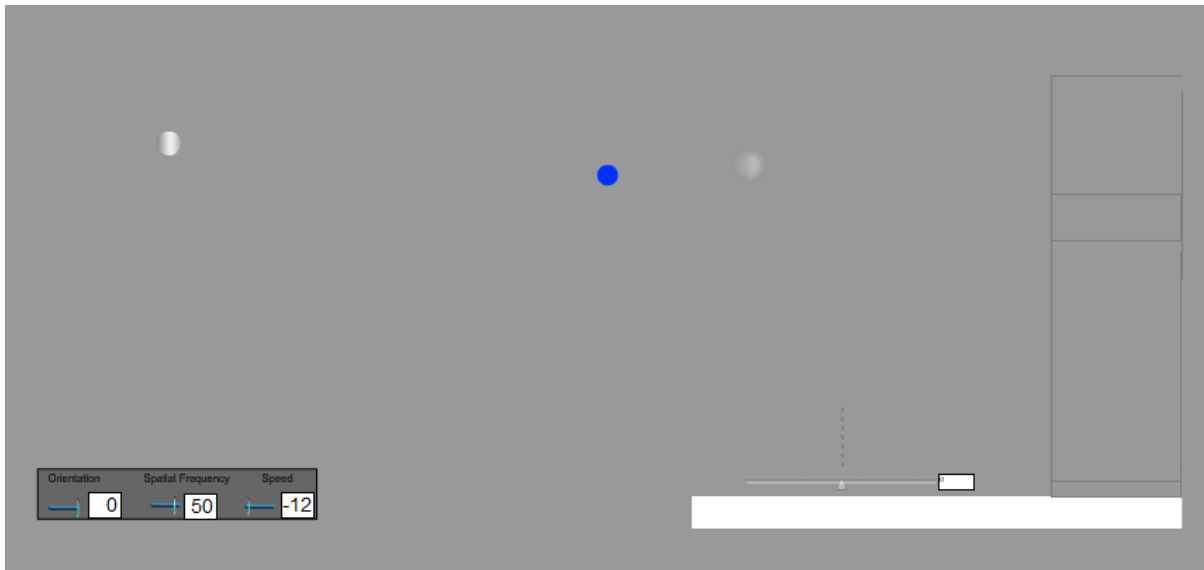
Eksperimenta veikšanai *Microsoft PowerPoint* ar *Adobe ShockWaveFlash2009* palīdzību tika izveidots tests, izmantojot *Shapiro & Lu* pētījuma pamatideju ar rotējošo bumbiņu. Bumbiņas rotācija tiek panākta ar noteiktas spožuma modulācijas vertikālu režģi, kurš tiek modulēts pēc sinusa likuma. Ar vertikāli krītošu rotējošu bumbiņu, kuru raksturo sekojoši parametri:

- 1) telpiskā frekvence – no tumšākās spožuma modulācijas režģa vietas līdz gaišākajai ir 18 pikseļi, bet no vienas tumšākās līdz otrai – 36 pikseļi. Bumbiņas telpiskā frekvence ir 0,11 cikli/grādā.
- 2) ekrāna un bumbiņas spožuma modulācija – stimulē tika radīts ar sekojošām RGB vērtībām: fonam (153; 153; 153), spožuma modulācijas režģa gaišākajai daļai (208; 208; 208), kā arī tumšākajai daļai (20; 20; 20). - attiecīgās spožuma vērtības (cd/m^2): 102, 10 un 150 cd/m^2 (mērīts ar Minolta100CS);

- 3) Spožuma modulētā režģa pārbīžu skaits bumbiņai krītot: vienā krišanas reizē (7,5 cm), bumbiņai notiek 16 spožuma režģa pārbīdes;
- 4) Bumbiņas krišanas ātrums: 0,16 cm/s.

Testa būtība ir izvērtēt, kā iluzorā kustība ietekmē bumbiņas krišanas leņķi redzes lauka perifērijā. Testa laikā uz ekrāna tiek demonstrēts zils fiksācijas punkts un divi stimuli, kas atrodas uz pelēka fona (skatīt 2.1.attēlu). Kreisajā ekrāna pusē esošajā stimulā ir uz leju krītoša bumbiņa ar iekšēju telpiski modulētu spožuma režģi. Šis stimuluss ekrāna kreisajā pusē ir nemainīgs visā testa sērijas garumā (references stimuluss). Savukārt, labajā pusē tiek novērots otrs stimuluss – ar “pelēku” bumbiņu, bez telpiskas tekstūras, ar noteiktu krišanas leņķi, kas katram jaunam mērījuma sērijas posmam tika mainīts. Labajā pusē esošās bumbiņas krišanas leņķis tiek mainīts intervālā no 10 līdz 45 grādiem. Ar katru no 8 pelēkās bumbiņas fiksētajām krišanas leņķu vērtībām, stimulu aina tiek demonstrēta 10 reizes. Dalībnieks tiek aicināts sniegt atbildi uz testa jautājumu katra sesijas posma bumbiņu pirmajā krišanas reizē, neatkarīgi no tā, vai viņš var atbildēt stimuliem uzsākot kustību, vai gaidot līdz to nokrišanas brīdim.

Testa izpildes laiks ilgst no 3 līdz 7 minūtēm, atkarīgi no tā, cik ātri dalībnieks sniedz atbildi uz testā uzdoto jautājumu: “Vai kreisajā pusē bumbiņa krīt slīpāk kā labajā pusē?”. Atbildi dalībnieks sniedz verbāli, es to pierakstu.



2.1.att. Eksperimentā demonstrējamā testa paraugs. Zilais - fiksācijas punkts. Kreisajā pusē atrodas stimuluss, kur krīt bumbiņa ar spožuma modulācijas režģi (režģis horizontāli pārvietojas), kas ir nemainīgs visā pētījuma laikā. Labajā pusē – stimuluss, kur krīt pelēka bumbiņa, kurai katrā testa sērijas posmā tiek mainīts krišanas leņķis.

2.1.3. Stimulu kustības lauka leņķiskie izmēri uz novērotāja tīklenes

Stimula fiziskajiem izmēriem, atkarībā no novērotāja attāluma līdz apskatāmajam objektam, atbilst noteikts stimula leņķiskais izmērs uz tīklenes, ko apraksta ar arktangensa sakarību $V = 2 \arctan\left(\frac{S}{2D}\right)$, kur V – redzes leņķis, °; S – attālums no fiksācijas punkta ass līdz stimulam, m; D – attālums no datora ekrāna līdz novērotājam, m. Zinot dotā eksperimenta attālumu starp fiksācijas punktu un stimuliem (tiek mērīts no stimulu augstākās pozīcijas), kā arī attālumu no novērotāja acs līdz datora ekrānam (nemainīgs pētījuma laikā – 50 cm), izmantojot šo sakarību, tika aprēķināts, kāds redzes leņķis nepieciešams stimula apskatīšanai.

Izmantojot šo aprēķinu, kopējais stimulu lauka leņķiskais izmērs ir 9,14°, tātad var secināt, ka stimulu uztveres procesā piedalījās apmēram 9° liels tīklenes centrālās zonas apgabals. Tas nozīmē, ka foveja, kuras diametrs ir 5°, kustības uztveršanā piedalās visa, bet makula, kuras diametrs ir 18°, kustības uztverē piedalās daļēji.

2.1.4. Eksperimenta uzbūve un norise

Bakalaura darbā izmantotais tests balstās un psihofizikālām metodēm. Psihofizika ir viena no psiholoģijas nozarēm, kas pēta organisma sensorās sistēmas psihisko atbildi uz stimulu un sensorās sistēmas reakcijai piekārto kādu noteiktu kategoriju sistēmu (Covey, 1980). Piekārtošanas gaitā tiek atrasta sakarība starp sensoro atbildi un apskatāmā notikuma kādu fizikālo lielumu. Tādēļ psihofizikas pētījumos tiek izmantoti stimuli, kuru fizikālās īpašības ir iespējams nomērīt.

No visām psihofizikālām metodēm, šajā pētījumā par izmantojamo tika izvēlēta konstantā stimulu metode. Šajā metodē tiek pielietoti divi stimuli: viens no tiem ir vienmēr nemainīgs, to sauc par referenci, otrs stimulss ir mainīgs un palīdz pielāgot skaitlisku vērtību novērojamam efektam. Pētījuma dalībniekam jāsalīdzina pētāmā stimula izsauktās sensorās sistēmas atbildes ar atbildi, ko sensorā sistēma izstrādā stimulam ar noteiktu psihofizikālu lielumu. Konstantās stimulu metodes būtiskākā priekšrocība ir samazināta dalībnieka adaptācija pētījumam (lai dalībnieks nevarētu paredzēt kāds būs nākamais stimulss un uzminēt to, stimuli tiek rādīti nejaušā secībā) (Covey, 1980).

Izmantojot konstanto stimulu metodi, tiek iegūti eksperimentālie dati, kas dod iespēju konstruēt psihometrisko funkciju. Tas apraksta saistību starp testa stimula intensitāti un atbilžu procentuālo daudzumu (Klein, 2001).

Eksperimenta dalībniekam, uztverot demonstrējamo stimulu, piespiedus jāizvēlas vienu no divām atbildēm – “jā” vai “nē”. Lai izvērtētu “jā” un “nē” atbilžu attiecību, katram no atbilžu variantiem ir piešķirta skaitliska vērtība. Atbildei “jā” tiek piešķirts 1 punkts, savukārt, atbildei “nē” tiek piekārtota nulles vērtība. Pētījuma dalībniekiem tika uzdots jautājums: “Vai kreisajā pusē bumbiņa krīt slīpāk kā labajā pusē?”.

Kopumā testā tika rādīti 8 stimuli, kuros kreisajā pusē esošais stimuluss vienmēr nemainījās un krita vertikāli, bet labajā pusē esošajam stimulam - pelēkai bumbiņai tika mainīts krišanas leņķis. Statistiskās ticamības iegūšanai, katrs no šiem 8 stimuliem tiek demonstrēts 10 reizes, tātad, katram dalībniekam testa laikā jāsniedz 80 atbildes, kas tiek summētas kopā. Apkopojot eksperimenta dalībnieku atbildes uz testa jautājumu, spējām novērtēt “jā” un “nē” atbilžu attiecību dažādiem labās puses bumbiņas krišanas leņķiem. Pie mazākiem pelēkās bumbiņas krišanas leņķiem (piemēram, 10°) dalībnieki gandrīz vienmēr sniedza “jā” atbildi uz testa jautājumu (kreisā tiek saukta kā slīpāk krītošā), bet lielāku krišanas leņķu gadījumā (piemēram, 45°) – par slīpāk krītošu tiek saukta labajā pusē esošā bumbiņa. Pie vidējiem bumbiņas krišanas leņķiem tika meklēta subjektīvās ekvivalences punkta vērtība PSE (*point of subjective equality*).

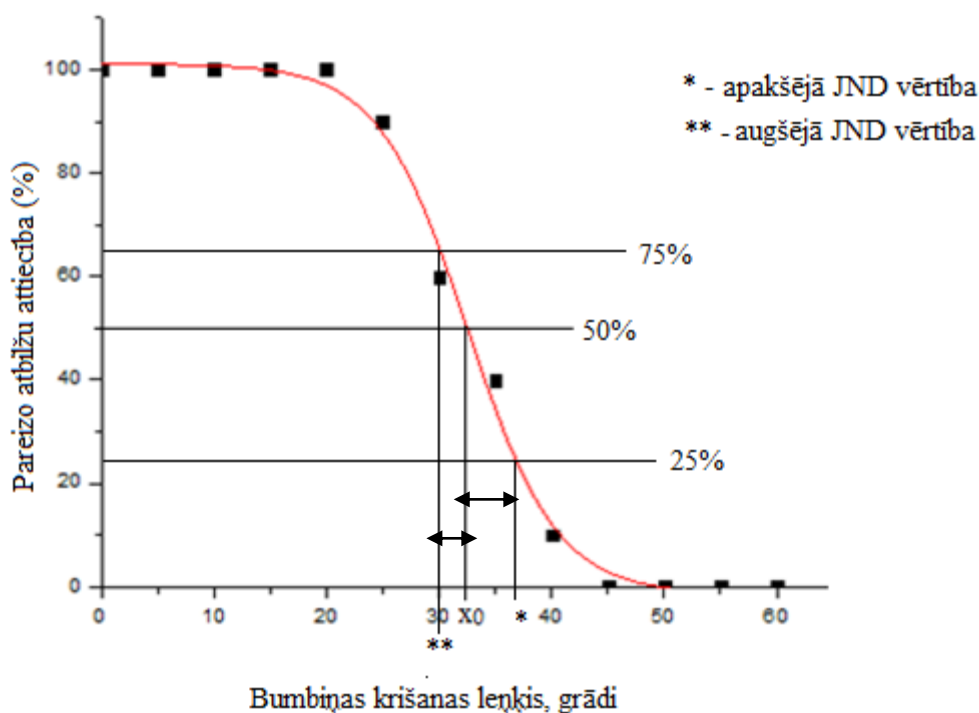
Eksperiments tika veikts binokulāri, sēdus pozīcijā, 50 cm attālumā no datora monitora. Visiem dalībniekiem tika ievērots nemainīgs telpas apgaismojums, tas netika mērīts, bet maksimālās rezultātu vienādības panākšanai, visi mērījumi tika veikti vienā telpā, pie vienāda apgaismojuma – cieši aizklāti logi un maksimāls augšējais apgaismojums. Tests tika veikts izmantojot Asus A540LA - DM927T portatīvo datoru ar ekrāna izmēru 15,6" un izšķirtspēju 1920 x 1080 pikseļi. Ja eksperimenta dalībniekam bija nepieciešama redzes korekcija, testa izpildes laikā tika lūgts to izmantot. Dalībniekiem tika izskaidrots tikai testā veicamais uzdevums, bet netika paskaidrota pētījuma būtība un mērķis. Pirms eksperimenta sākšanas, dalībniekiem tika nodemonstrēts tests, lai pārliecināties, ka ir saprasti testa izpildes nosacījumi. Dalībnieks visu laiku tiek instruēts skatīties uz fiksācijas punktu un nenovērsties uz stimuliem.

2.1.5. Iegūto rezultātu analīze un prezentācija

No visām psihofizikālajām metodēm, konstantā stimulu metodē ir visvienkāršākā PSE aprēķināšana, jo tajā uz testa jautājumu tiek pieļauti tikai 2 atbilžu varianti. Kā PSE vērtība tiek izvēlēts tas references lielums, ko dalībnieks ir uztvēris 50% gadījumu, jo psihometriskās līknes vērtības mainās robežās no 0% līdz 100%.

Grafiskie dati tika aproksimēti *OriginPro 8.1.* programmā ar Bolcmaņa tipa sigmoidālo funkciju, kur no 50% līnijas krustpunkta ar aproksimācijas līkni tika nolasīta PSE vērtība. PSE vērtība tiek definēta kā x_0 , kas parāda aproksimācijas līknes viduspunkta pozīciju uz ordinātu ass. Kā PSE vērtības noteikšanas kļūda var tikt izmantota sigmoidālās aproksimācijas parametrs σ , kas pēc būtības ir psihofizikālā eksperimenta JND vērtība.

2.2.attēlā tiek prezentēts grafiks viena dalībnieka iemācīšanās efekta pētīšanas pirmajā dienā (pirmajā testa izpildes reizē). Uz x ass tika atliktas uztvertās bumbiņas krišanas leņķu vērtības, bet uz y ass – dalībnieka subjektīvās atbildes, kas tiek prezentētas kā atbilžu sakarība, izteikta procentos.



2.2. att. Dalībnieka (1) psihometriskā līkne iemācīšanās efekta pētīšanas pirmajā dienā. Uz ordinātu ass atlikta noteiktā PSE vērtība – x_0 . Ar * atzīmēta JND apakšējā vērtība (pie 25%) un ar ** - augšējā vērtība (pie 75% atbilžu attiecības).

No dotā grafika var redzēt, ka PSE ir nobīdīts no nulles vērtības par 32,5 grādiem, tas nozīmē, ka, ideālā gadījumā, pie šāda labajā pusē esošās bumbiņas krišanas slīpuma, dalībnieks 50% gadījumu sniedz “jā” atbildi uz testā uzdoto jautājumu un 50% gadījumu – “nē”.

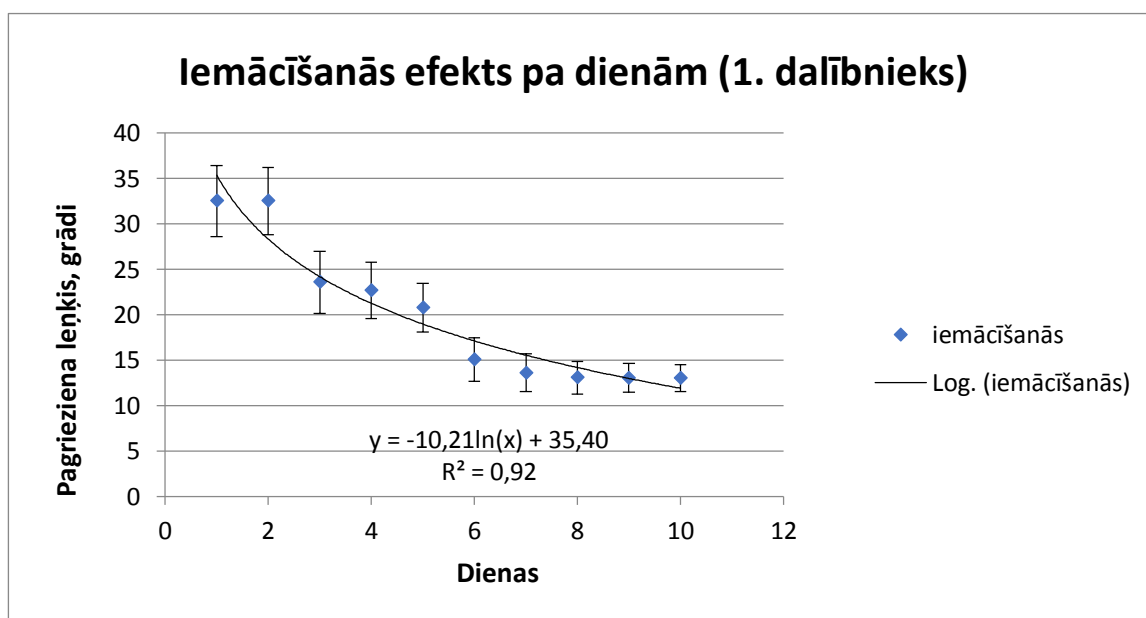
2.2. Rezultāti un diskusija

2.2.1. Iemācīšanās efekta testēšana

Sākotnēji testu vairākas dienas pēc kārtas veica viens eksperimenta dalībnieks (darba autore), lai pārlicināties par iemācīšanās efekta esamību. Tika pieņemts, ka iemācīšanās efekts ir noticis, un eksperiments turpmāk nav jāveic katru dienu, kad 3 dienas pēc kārtas PSE vērtība kļūst konstanta vai tuvu konstantai.

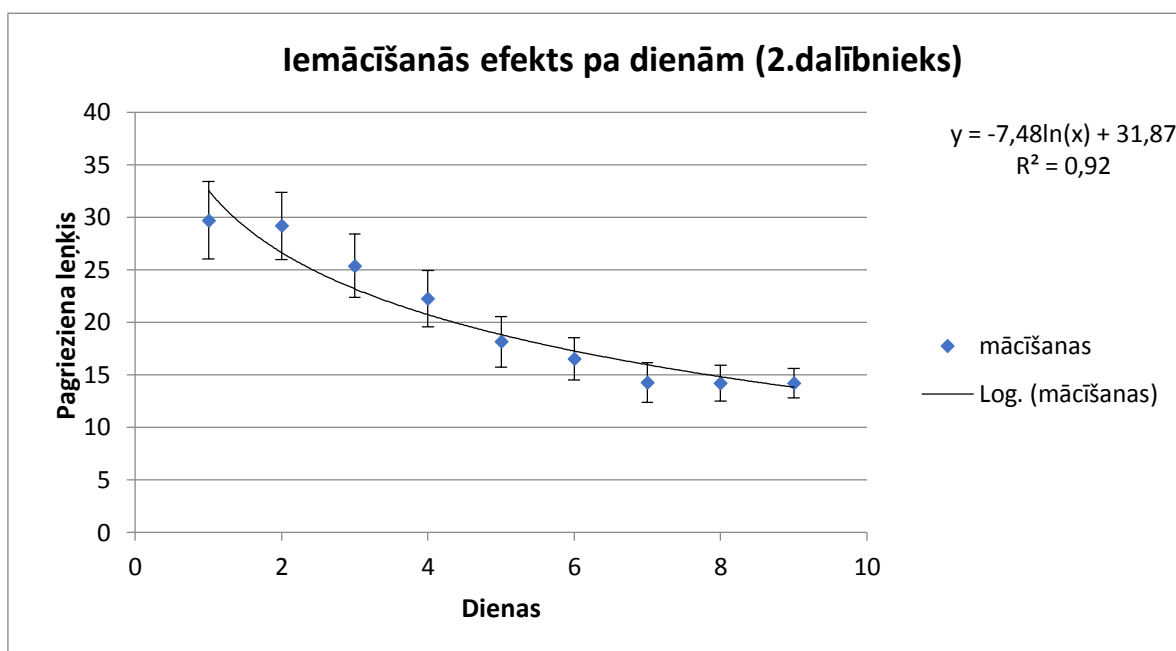
Ar katru pildīšanas dienu pieauga atbildes “nē” biežums (pakāpeniski samazinājās PSE vērtība), kā arī samazinājās JND vērtība, kas liecina, ka dalībniece arvien biežāk spēja atpazīt, ka labajā pusē bumbiņa krīt slīpāk nekā kreisajā. Pēc 7 dienu testa izpildes, 8-10 dienā atbildes uz testa jautājumiem gandrīz neatšķīrās, kā arī PSE vērtības bija tuvu konstantām.

2.3. attēlā var novērtēt, ka katru pildīšanas dienu samazinās PSE vērtība. Ja pirmajā testa izpildes dienā tā bija $32,5 \pm 3,9$, tad pēdējo trīs dienu PSE vidējā vērtība ir $13,2 \pm 0,2$.



2.3.att. Vairāku dienu testa izpildes uztverto kustības krišanas leņķu dati pirmajam dalībniekam. Nenoteiktības intervāli ar katru izpildi samazinās – stimulu atšķirības uztveršana kļūst vieglāka.

Veicot psihofizikālus eksperimentus, eksistē vairums faktoru, kas spēj ietekmēt iegūtos rezultātus, to lielumu, precizitāti un atkārtojamību. Viens no tādiem faktoriem ir dalībnieka “līdzestība” un garastāvoklis. Eksperimentos, kuros pēta dalībnieku subjektīvās sajūtas, jāņem vērā, ka smadzenēs notiekošie procesi var ietekmēt rezultātus. Ja dalībnieks ir uztraukts ar savām problēmām vai noguris, visticamāk viņš nespēs noturēt uzmanību testa veikšanai. Tā kā pirmais dalībnieks ir darba autore, kas ir ieinteresēta labākā testa izpildē, tika izlemts iemācīšanās efekta esamību pārbaudīt vēl vienam cilvēkam.



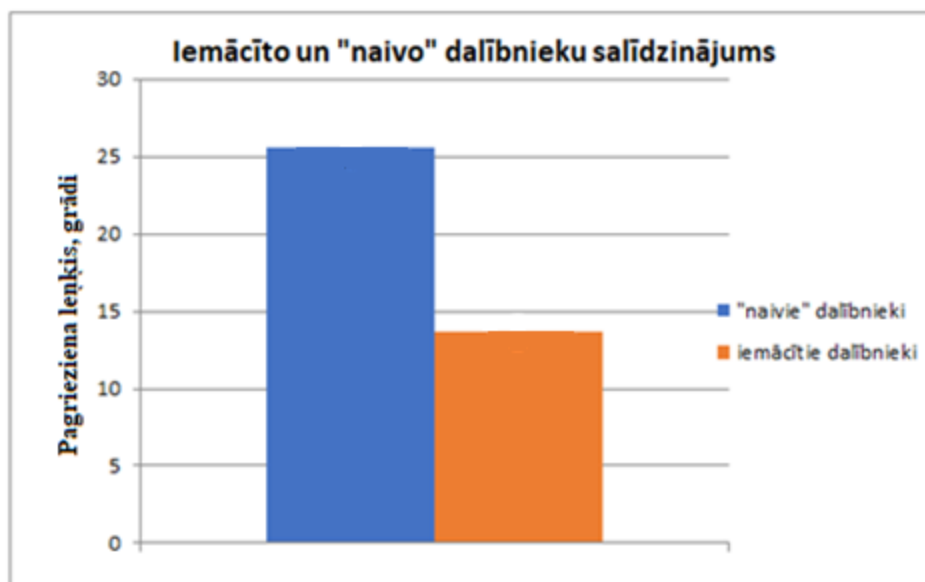
2.4.att. Vairāku dienu testa izpildes uztverto kustības krišanas leņķu dati otrajam dalībniekam. Nenoteiktības intervāli ar katru izpildi samazinās – stimulu atšķirības uztveršana kļūst vieglāka.

2.4. attēlā var novērtēt, ka otrajam dalībniekam arī ar katru pildīšanas dienu samazinās PSE vērtība. Šim dalībniekam, iemācīšanās procesa notikšanai, tests bija jāpilda mazāku dienu skaitu - pēc 6 dienu testa izpildes, 7-9 dienā PSE bija tuvu konstantām. Par iemeslu tam varētu būt zemāka sākotnējā (pirmās testa izpildes) PSE vērtība. Pirmajā testa izpildes dienā PSE vērtība bija $29,7 \pm 3,7$, bet pēdējo trīs dienu PSE vidējā vērtība - $14,2 \pm 0,4$. Līdz ar to var secināt, ka ieinteresētība labākā testa izpildē nedeva labākus rezultātus. Pēc *Excel* programmas statistiskā rīka *t – Test: Two – Sample Assuming Equal Variances* rezultātiem, atšķirība starp abu dalībnieku rezultātiem nav statistiski būtiska ($p > 0,05$) un ar 95% statistisko varbūtību var apgalvot, ka rezultāti nav būtiski atšķirīgi.

2.2.2. Testa izpildes reižu ietekme uz rezultātiem

Iegūstot divu, uztveres ilūzijai iemācīto, dalībnieku rezultātus, tie tika salīdzināti ar 9 līdzīga vecuma (20+ vecuma grupas) dalībnieku rezultātiem. Šo 9 dalībnieku testa rezultātiem tika veidotas aproksimācijas līknes un noteikta PSE vērtība.

“Naivo” dalībnieku un pieredzējušo dalībnieku testa rezultāti ir atspoguļoti 2.5. attēlā. Tika aprēķināta “naivo” dalībnieku PSE punktu vidējā vērtība un iemācīto dalībnieku vidējā PSE vērtība. Dalībniekiem, kas testu pildīja pirmo reizi, bija ievērojami sliktāki izpildes rezultāti. “Naivajiem” dalībniekiem PSE punktā references lielums ir $25,6 \pm 3,6$, savukārt, pieredzējušiem dalībniekiem – $13,6 \pm 1,2$.



2.5.att. Iemācīto dalībnieku un “naivo” dalībnieku kopas noteiktā krišanas leņķa rezultātu attēlojums. Nenoteiktības intervāls “naivo” dalībnieku kopai $\pm 3,6$ grādi, savukārt, pieredzējušo dalībnieku kopai $\pm 1,2$ grādi.

Veicot *Excel One – sample Student t - test* testu, tika noskaidrots, ka atšķirība starp abu dalībnieku rezultātiem ir statistiski būtiska ($p < 0,05$) un ar 95% statistisko varbūtību var apgalvot, ka rezultāti ir būtiski atšķirīgi.

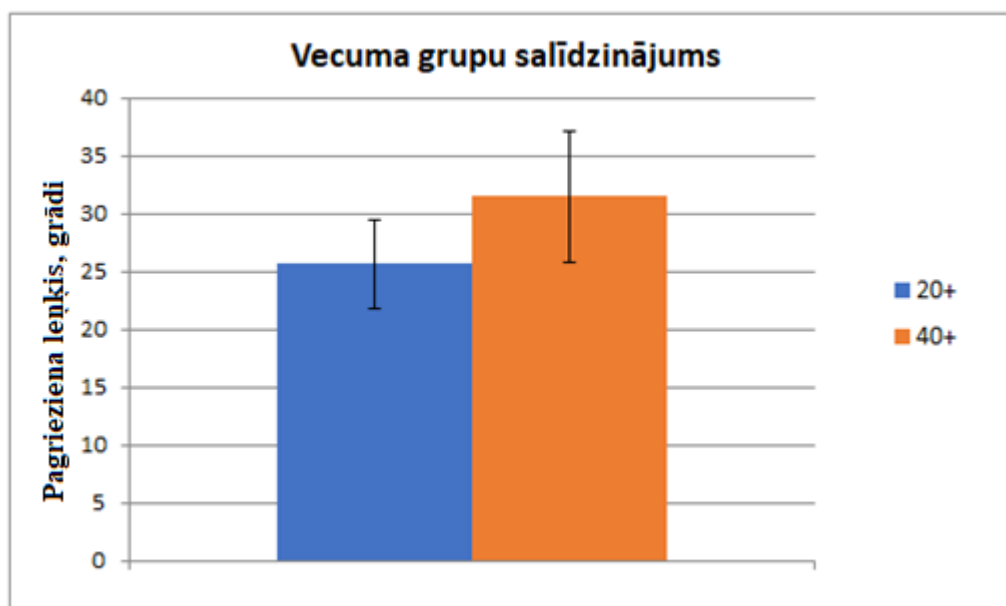
2.2.3. Testa rezultāti atkarībā no vecuma

Viens no bakalaura darbā izvirzītajiem uzdevumiem bija novērtēt atšķirību starp testa izpildes rezultātiem 20+ un 40+ vecuma grupām.

Visiem abu grupu dalībniekiem, izpildot eksperimenta testu, tika veidotas aproksimācijas līknes un noteiktas to PSE punktu vērtības. 2.6. attēlā esošajā stabiņu diagrammā tiek prezentētas 20+ un 40+ vecuma grupas līkņu PSE vidējās vērtības, kur par iespējamās kļūdas lielumu tika izmantota psiho fizikālā eksperimenta JND vērtība. 20+ vecuma grupai vidējā PSE vērtība ir $25,4 \pm 3,6$, savukārt 40+ vecuma grupai – $31,5 \pm 5,7$. Šo divu grupu rezultātu salīdzināšanai tika pielietots *t – test: Two – Sample Assuming Equal Variances* tests, kurš parādīja ka atšķirība starp šo vecuma grupu rezultātiem ir statistiski nozīmīga ($p < 0,05$) un ar ticamību 95% var apgalvot, ka 20+ un 40+ vecuma grupu rezultāti ir būtiski atšķirīgi.

Vēl pirms testa rezultātu iegūšanas bija sagaidāms, ka 40+ vecuma grupai būs sliktāki testa izpildes rezultāti. Par iemeslu tam kalpo literatūrā rakstītais, ka, novecojot, notiek izmaiņas ne tikai acs optiskajās struktūrās (presbiopijas sākums), bet arī redzes analizatorā. Organismam novecojot, notiek smadzeņu plasticitātes samazināšanās, kā arī reakcija paliek sliktāka. Iegūtie vecuma grupu vidējie rezultāti vēlreiz to apstiprina, un JND vērtība ļauj secināt, ka vecāka gada

gājuma cilvēkiem, fizioloģisku īpatnību dēļ, ir bijis grūtāk atpazīt mazāku bumbiņas slīpuma leņķi.

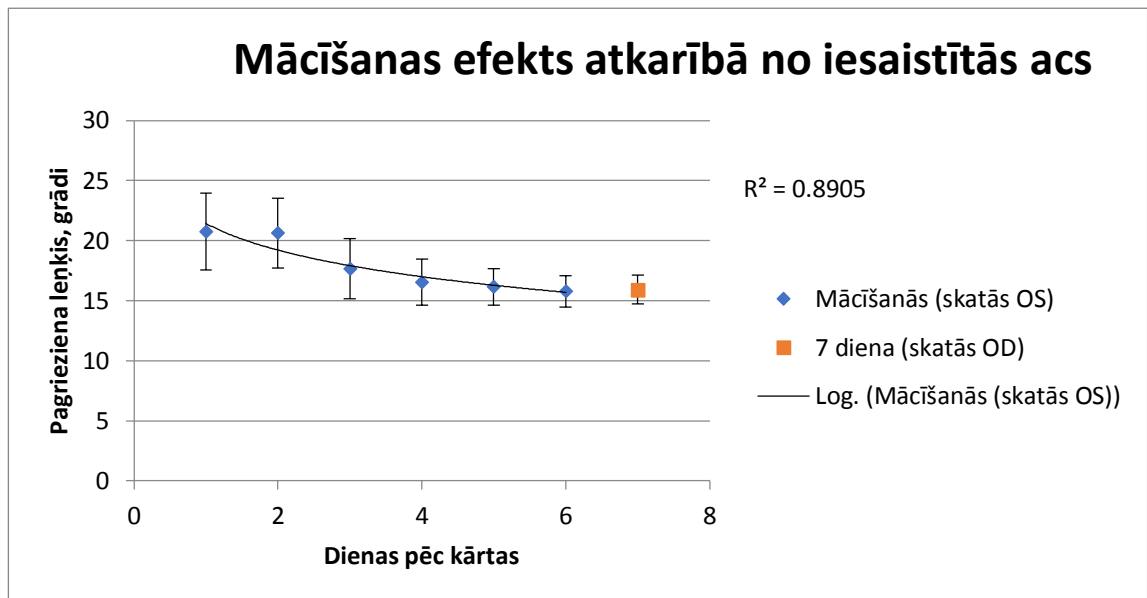


2.6.att. Uztvertās kustības krišanas leņķi un to nenoteiktības intervāli (20+ vecuma grupai $\pm 3,6$ un 40+ vecuma grupai $\pm 5,7$ grādi).

2.2.4. Ilūzijas norises vieta uztveres sistēmā

Veicot eksperimenta izpildi, rodas jautājums – vai ilūzija (*curveball effect*) notiek tīklenē vai smadzenēs. Lai to noskaidrotu, eksperimenta dalībniekam, ar Milesa testa palīdzību, tika noskaidrota vadošā acs – dalībniekam tā bija kreisā. Tika aizklāta nevadošā acs, un tika veiktas 6 eksperimenta sesijas monokulāri ar vadošo aci. Septītajā dienā dalībniekam tika aizklāta vadošā acs, un testa izpilde tika veikta ar nevadošo aci. Katras dienas testa izpildei tika veidotas aproksimācijas līknes, un noteiktas to PSE vērtības.

Ar katru vadošās acs testa izpildes reizi, “nē” atbilžu skaits palielinājās – tika novērots iemācīšanās efekts. Kad tika veikta testa izpilde ar nevadošo aci, PSE vērtība bija maz atšķirīga no vadošās acs testa pēdējām pildīšanas reizēm. To var novērot 2.7. attēlā esošajā grafikā. Līdz ar to var secināt, ka iemācīšanās efekts notiek nevis tīklenē, bet smadzeņu līmenī.



2.7.att. Iemācīšanās efekts atkarībā no testa izpildē iesaistītās acs. Ar ziliem rombiem atzīmētas dienas, kad tests tiek veikts ar vadošo aci (nevadošā aizklāta), savukārt zilais kvadrāts – diena, kad tests tiek veikts ar nevadošo aci.

SECINĀJUMI

Bakalaura darba ietvaros tika izpētīta stimula ar spožuma modulāciju iluzorās kustības ietekme uz vertikāli krītošas bumbiņas trajektorijas šķietamo slīpumu, ja krišana notiek redzes lauka perifērijā. Tika veikta mācīšanās efekta izpēte, testa rezultātu salīdzinājums divām vecuma grupām. Kā arī tika izpētīts, kurā redzes uztveres daļā šis iluzorais efekts norisinās.

Apkopojot veikto darbu, var noformulēt sekojošus secinājumus:

- 1) Eksperimenta veikšanai, *Microsoft PowerPoint* ar *Adobe ShockWaveFlash2009* palīdzību, tika izveidots tests, izmantojot *Shapiro & Lu* pētījuma pamatideju ar rotējošo bumbiņu, kas deva apmierinošus rezultātus.
- 2) Veicot testa izpildi vairākas dienas pēc kārtas, tiek novērots iemācīšanās efekts - testa novērošana mazina iluzorā efekta lielumu, kā arī dalībniekiem samazinās datu izkliede (par to liecina JND vērtības izmaiņa).
- 3) Dalībniekiem, kas eksperimentu veica pirmo reizi, un iemācītajiem dalībniekiem noteiktās krišanas leņķa vērtības psihofizikālā subjektīvās ekvivalences punktā (PSE) būtiski atšķiras. "Naivajiem" dalībniekiem noteiktā krišanas leņķa vērtības lielums ir $25,6 \pm 3,6$, savukārt, pieredzējušiem dalībniekiem – $13,6 \pm 1,2$. Veicot *Excel One – sample Student t - test* testu, tika noteikts, ka atšķirība starp abu dalībnieku rezultātiem ir statistiski būtiska ($p < 0,05$) un ar 95% statistisko varbūtību var apgalvot, ka rezultāti ir būtiski atšķirīgi.
- 4) Vecākiem novērotājiem "nē" atbilžu skaits uz testa jautājumu "Vai kreisajā pusē bumbiņa krīt slīpāk kā labajā pusē?" bija ievērojami mazāks. 20+ vecuma grupai vidējā leņķa PSE vērtība ir $25,4 \pm 3,6$, savukārt 40+ vecuma grupai – $31,5 \pm 5,7$. Šo divu grupu rezultātu starpības tiek pamatotas ar *t – test: Two – Sample Assuming Equal Variances* testu. Šo efektu var skaidrot ar organisma fizioloģiskās novecošanas radītām izmaiņām, tādām kā, smadzeņu plasticitātes samazināšanās, sliktāka reakcija.
- 5) Veicot iemācīšanās efekta izpēti ar aizklātu nevadošo aci un, pēc pieredzes gūšanas, izpildot testu ar vadošo aci, tika novērots, ka testa izpildes rezultāts vadošai acij no iemācītā rezultāta nevadošai acij atšķiras nebūtiski. Tas ļauj pieņemt, ka iluzorais efekts un pielāgošanās tam (iemācīšanās) notiek ne tīklenes, bet smadzeņu garozas līmenī.

NOBEIGUMS

Nosakot spožuma modulācijas un tās horizontālās maiņas ietekmi uz vertikāli krītoša objekta trajektorijas šķietamo slīpumu redzes lauka perifērijā, tika mēģināts ievērot konstantus testa izpildes apstākļus, bet nevar neminēt faktorus, kas varētu ietekmēt iegūto rezultātu:

- 1) Testa izpildei tika noteikts 50 cm darba attālums no datora ekrāna. Dalībnieki tika lūgti izvairīties no kustībām, bet, ņemot vērā testa izpildes laiku, aptuveni 7 minūtes, dalībniekam varētu būt grūti šo laiku pavadīt nekustīgi. Šī faktora izslēgšanai, būtu jālieto zoda un pieres balsts.
- 2) Eksperimenta dalībnieki tika lūgti skatīties uz fiksācijas punktu, bet nevar izslēgt varbūtību, ka testa izpildes laikā tie nenovērsās uz kustīgajiem stimuliem, tādējādi ietekmējot testa izpildes rezultātu.
- 3) Eksperimenta dalībnieka "līdzestība" un garastāvoklis. Veicot subjektīvo sajūtu noteikšanas eksperimentus, ir jādomā, ka citi smadzenēs notiekošie procesi ir spējīgi ietekmēt testa rezultātus (padarīt grūtāk uztveramus). Piemēram, testa izpildes dienā dalībnieks slikti jutās, bija noguris, tāpēc nespēja noturēt uzmanību eksperimenta izpildei un sniegt adekvātu atbildi.
- 4) Nejaušie faktori - neparedzami notikumi, kas var notikt testa izpildes laikā. Tie būtu, piemēram, šķaudiens vai negaidīts telefona zvans. Veicot eksperimentu, šādi atgadījumi bija reti, tāpēc to ietekme uz rezultātiem pielīdzināma nullei.

Eksperimentā tika veikta izpēte, kad rotējošā bumbiņa atradās kreisajā pusē, bet bumbiņa, kurai mainās krišanas slīpums – labajā pusē. Pētījumu vajadzētu turpināt, samainot bumbiņas vietām un variējot uztveres lauku, kā arī papildināt ar mainīgiem bumbiņu krišanas un rotāciju (spožuma modulācijas maiņu) ātrumiem. Varētu arī variēt bumbiņu spožuma un telpiskās modulācijas kontrasta vērtības un stimula un fona krāsu.

PATEICĪBAS

Vēlos izteikt vislielāko pateicību sava darba vadītājam profesoram Mārim Ozoliņam par interesantu pētījuma ideju un palīdzību pētījumā izmantotā testa izveidē, kā arī atbalstu un sapratni darba izstrādāšanā.

Pateicos darba vadītājai Olgai Daņiļenko par laiku, kas veltīts, lai rast atbildes uz jautājumiem, par sarežģītu lietu paskaidrošanu vienkāršiem vārdiem, par noderīgiem padomiem, kā arī par pacietību un atsaucību.

Pateicos Latvijas Universitātes Fizikas un Matemātikas fakultātes Optometrijas un Redzes zinātnes nodaļas pasniedzējiem par sniegtajām zināšanām bakalaura studiju laikā.

Paldies par atsaucību visiem eksperimenta dalībniekiem, kuri veltīja savu laiku, lai piedalīties manā pētījumā. Divkārsš paldies dalībniekam, kas piedalījās iemācīšanās efekta izpētē un pildīja testu vairākas reizes.

Īpašs paldies manai ģimenei par sapratni, atbalstu un palīdzību brīžos, kad tas bija visvairāk nepieciešams.

IZMANTOTĀ LITERATŪRA

- Callaway, E.M. (2005). Structure and function of parallel pathways in the primate early visual system. *The journal of Physiology*, 566, 13-19.
- Euler, T., Detwiler, P. & Denk, W. (2002). Directionally selective calcium signals in dendrites of starburst amacrine cells. *Nature*, 845-852.
- Foster, K.H., Gaska, J.P., Nagler, M. & Polen, D.A. (1985). Spatial and temporal frequency selectivity of neurons in visual cortical areas V1 and V2 of the macaque monkey. *Journal of Physiology*, 365, 331-68.
- Furmanski, C. & Engel, S. (2000). Perceptual learning in object recognition: object specificity and size invariance. *Vision Research*, 40, 473 – 484.
- Dacey, D.M., & Petersen, M.R. (1992). Dendritic field size and morphology of midget and parasol ganglion cells of the human retina. *Neurobiology*, vol. 89, 9666-9670.
- Goldstein, E. B. (2005). *Handbook of sensation and perception*. USA: Blackwells Press
- Goodale, M.A., & Milner, A.D. (1992). Separate pathways for perception and action. *Trends in Neuroscience*, 15, 20-25.
- Grossman, E., Donnelly, M., Price, R., Pickens, D., Morgan, V., Neighbor, G. & Blake, R. (2000). Brain areas involved in perception of biological motion. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(5), 711-712.
- Hanazawa, A., & Komatsu, H. (2001). Influence of the direction of elemental luminance gradients on the responses of V4 cells to textured surfaces. *Journal of Neuroscience*, 21(12), 4490-7.
- Hart Ed.W. (2003). *Adler`s physiology of the eye*. Tenth edition [edited by] Kaufman, P.L. & Alm, A. St. Louis: Mosby Year book.
- Hegd , J., & Van Essen, D.C. (2000). Selectivity for complex shapes in primate visual area V2. *Journal of Neuroscience*, 20, 61.
- Hoon, M., Okawa, H., Santina, L.D., & Wong, R.O.L. (2014). Functional Architecture of the Retina. *Development and Disease*, <https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2014.06.003>
- Hubel, D.H. (1988). *Eye, brain, vision*. USA: Henry Holt and Company.
- Hubel, D.H., & Wiesel, T.N. (1959). Receptive fields of single neurons in the cat`s striate cortex. *The journal of Physiology*, 148(3), 574 – 591.
- Islam, M.P., & Roach, E.S., (2007). *Handbook of Clinical Neurology*. Elsevier.

- Kaplan, E. (2003). The M, P, and K Pathways of the Primate Visual System. *The New Visual Neuroscience*, (Werner, J., & Chalupa, L., Eds), MIT Press.
- Krantz, J. (2012). *Experiencing Sensation and Perception*. 592.
- Leventhal, A.G., Wang, Y., Schmolesky, M.T. & Zhou, Y. (1988). Neural correlates of boundary perception. *Visual Neuroscience*, 15, 1107-18.
- Levine, M.W. & Shefner, J.M. (1991). *Fundamentals of sensation and perception*, 2nd ed. Pacific Groove, CA: Brooks/Cole.
- Levitt, J.B., Kiper, D.C., Movshon, J.A. (1994). Receptive fields and functional architecture of macaque V2. *Journal of Neurophysiology*, 71(6), 2517-42.
- Nandy, A.S., Tjan, B.S. (2008). Efficient Integration Across Spatial Frequencies for Letter Identification in Foveal and Peripheral Vision. *Journal of Vision*, 8(13), Issue 3, 1-20.
- Palmer, S.E. (1999). *Vision Science*. 1st edn. USA: The MIT Press.
- Pasupathy, A. & Connor, C.E. (2001). Shape representation in area V4: position – specific tuning for boundary conformation. *Journal of Neurophysiology*, 86, 2505-19.
- Peterhans, E. & von der Heydt, R. (1991). Subjective contours – bridging the gap between psychophysics and physiology. *Trends in Neurosciences*, 14,112-9.
- Pinna, B., Brelstaff, G.J. (2000). A new visual illusion of relative motion. *Vision Research*, 40, 2091 – 2096.
- Rheingans, P. (2003). *Motion and Interaction: essay*. Universty of Maryland Baltimore Country.
- Sasaki, Y., Nanez, J.E., Wanatabe T. (2010). Advances in Visual Perceptual Learning and Plasticity. *Nature Reviews Neuroscience*, 11(1), 53-60.
- Schmolesky, M. (2007). The primary Visual Cortex by Matthew Schmolesky. *Webvision: The Organization of the Retina anv Visual Systhem*. Pieejams:
<http://webvision.med.utah.edu/book/part-ix-psychophysics-of-vision/the-primary-visual-cortex/>
- Schwartz, S.H. (2009). *Visual perception: A clinical orientation*, 4th edn. USA: McGraw-Hill Medical.
- Seckel, A. (2009). *Optical Illusions: The Science of Visual Perception*. 3rd ed., Firefly Books.
- Shapiro, A.G., Knight, E.J., Lu, Z.L. (2010). A First- and Second-Order Motion Energy Analysis of Peripheral Motion Illusions Leads to Further Evidence of “Feature Blur” in Peripheral Vision, USA: *Plos One*, 6(4). doi:10.1371/journal.pone.0018719

- Sheth, B.R., Sharma, J., Rao, S.C. & Sur, M. (1996). Orientation maps of subjective contours in visual cortex. *Science*, 274, 2110-5.
- Snowden, R., Thompson, P., Troscianka, T. (2006). *Basic vision. An introduction to visual perception*. New York: Oxford UniPress.
- Stein, H. A., Slatt, B. J., Stein, R. M. (1992). *A primer in ophthalmology : a textbook for students*. USA: Mosby – Year Book.
- Steinman, S.B., Steinman, B.A., Garzia R.P. (2000). *Foundations of binocular vision: A clinical perspective*. The McGraw – Hill Companies.
- Tootell, R.B.H., Hadjikhani, N.K., Vanduffel, W., Liu, A.K., Mendola, J.D., & Sereno M.I. (1998). Functional analysis of primary visual cortex (V1) in humans. *Neuroimaging of Human Brain Function*. CA: The National Academy of Sciences.
- Ungerleider, L.G., Haxby, J.V. (1994). “What” and “where” in the human brain. *Current Opinion in Neurobiology*, 4:157-165.
- van der Smagt, M. J., Verstraten, F. A., & van de Grind, W. A. (1999). *A new transparent motion aftereffect*. Nature Neuroscience.
- Vasilev, A., Zlatkova, M., Manahilov, V., Krumov, A., Schaumberger, M. (2000). Spatial summation of blue – on – yellow light increments and decrements in human vision. *Vision Research*, 40, 989-100.
- Vilis, T., The Visual Cortex. *My Brain Notes for Medical Students*. Pieejams: <http://www.tutis.ca/NeuroMD/L2V123/V123.pdf>
- Wade, N., Swanston, M. (2001). *Visual Perception*, 2nd edn. UK: Psychology Press.
- Wandell, B.A. (2005). *Foundations of Vision*. Sinauer Press.
- Wurtz, R.H., Kandel, E.R. (2000). Central visual pathways. *Principles of Neural Science*. New York: Appelton & Lange, 523 – 557.
- Bļugers, A. (1984). *Populārā medicīnas enciklopēdija*. Rīga: Galvenā enciklopēdiju redakcija.
- Vaļkova, I., & Lūkina, R. (1990). *Acu slimības*. Rīga: Zvaigzne.
- Гусев, Е., Коновалов, А., Бурд, Г. (2000). *Неврология и нейрохирургия: Учебник*. Москва: Медицина.
- Шульговский, В. (2002). *Основы нейрофизиологии*. Москва: Аспект Пресс.

Bakalaura darbs „Šapiro – Lu ilūzijas uztvere redzes lauka perifērijā” izstrādāts LU Fizikas un matemātikas fakultātē.

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

Autors: Justīne Aišpure
Stud.apl.nr. ja14022

Rekomendēju/nerekomendēju darbu aizstāvēšanai
Vadītājs: profesors, Dr.habil. fiz. Māris Ozoliņš

Recenzents: lektors, Renārs Trukša

Darbs iesniegts Optometrijas un redzes zinātnes nodaļā _____
Dekāna pilnvarotā persona: metodiķe Dzintra Holsta

Darbs aizstāvēts bakalaura gala pārbaudījuma komisijas
sēdē _____. protokola Nr. _____

Komisijas sekretārs: _____