

LATVIJAS UNIVERSITĀTE  
FIZIKAS UN MATEMĀTIKAS FAKULTĀTE  
OPTOMETRIJAS UN REDZES ZINĀTNES NODAĻA

**KOHERENTAS KUSTĪBAS UZTVERES ATKARĪBA  
NO STIMULA EKSCENTRITĀTES**

MAĢISTRA DARBS

Autors: **Beāta Marcinkeviča**  
Studenta apliecības Nr. bm12011  
Darba vadītāja: lektore, Dr.fiz. Evita Kassaliete

RĪGA 2017

## ANOTĀCIJA

Maģistra darbs ir uzrakstīts latviešu valodā uz 32 lapaspusēm. Tas satur 17 attēlus un 21 atsauci uz literatūras avotiem.

**Darba mērķis:** Novērtēt, pie kādas stimula fiksācijas cilvēkam ir augstāka kustības jutība.

**Darba uzdevumi:**

- Noteikt koherentas kustības uztveres sliekšņu vērtības pie centrālas un ekscentriskas stimula fiksācijas;
- Izpētīt, kā kadru skaita izmaiņas viena stimula ietvaros ietekmē koherentas kustības uztveres sliekšņu vērtības;
- Salīdzināt, vai kadru skaita izmaiņas vienādi ietekmē rezultātus gan pie centrālas, gan pie ekscentriskas stimula fiksācijas.

**Iegūtie rezultāti:** Koherentas kustības uztveres sliekšņu vērtības ir zemākas pie stimula centrālas fiksācijas. Palielinot ekscentrisko fiksāciju, koherentas kustības jutība samazinās.

**Atslēgvārdi:** kustība, kustības uztvere, koherence, ekscentritāte, izkliedēto punktu tests

## ANNOTATION

The master's thesis is written in Latvian. It comprises 32 pages, containing 17 images and 21 references.

**Aim of the thesis:** To analyze, for which fixation of a stimulus motion perception sensitivity is higher.

**Tasks of the thesis:**

- To measure coherent motion perception thresholds for centric and eccentric stimuli fixation;
- To analyze the influence of the number of frames of a stimulus on the coherent motion perception thresholds;
- To analyze if the changes in the number of frames equally influence results for centric and eccentric fixation.

**Results:** Coherent motion perception thresholds are lower for the centric fixation of stimuli. The higher the eccentricity, the lower is the coherent motion sensitivity.

**Keywords:** motion, motion perception, coherence, eccentricity, random dot kinematogram

# SATURS

Ievads .....	1
1. Literatūras pārskats .....	3
1.1. Koherenta kustība .....	3
1.2. Koherentas kustības uztveri ietekmējošie faktori .....	5
1.2.1. Stimula kustības ātrums .....	5
1.2.2. Programmas algoritms .....	6
1.2.3. Ekscentritāte .....	8
1.2.4. Vecums .....	9
1.2.5. Stimula kustības virziens un novērotāja atrašanās vieta .....	10
1.2.6. Kontrasts .....	11
1.2.7. Stimula rādīšanas ilgums .....	11
2. Eksperimentālā daļa .....	13
2.1. Eksperimenta apraksts .....	13
2.1.1. Pētījuma dalībnieki .....	13
2.1.2. Programmas apraksts .....	13
2.1.3. Stimula apraksts .....	14
2.1.4. Darba gaitas apraksts .....	15
2.2. Rezultāti un analīze .....	16
2.2.1. Tīklenes ekscentritātes ietekme uz koherentas kustības uztveri .....	17
2.2.2. Kadru skaita ietekme uz koherentas kustības uztveri .....	18
2.3. Diskusija .....	21
Secinājumi .....	29
Nobeigums .....	30
Pateicības .....	30
Izmantotā literatūra un avoti .....	31

## IEVADS

Kaut gan galvenās redzes sistēmas funkcijas pilda tīklenes centrālā daļa, tīklenes perifērijai arī ir svarīga loma vizuālās informācijas uztverē. Runājot par kustības uztveri globāli, tīklenes perifērija ir jūtīgāka pret kustības izšķiršanu no statiskā objekta. Savukārt, ja cilvēks sastopas ar sarežģītākiem kustības procesiem, t.i., objekts maina kustības ātrumu, kustības virzienu vai vienlaicīgi kustās vairāki objekti, tad labāka kustības uztvere ir novērojama tīklenes centrālajā daļā.

Apkopojot literatūrā pieejamu informāciju, šis pētījums tika veikts ar mērķi noskaidrot, vai praktiski iegūtie rezultāti atbilst teorētiskajiem pieņēmumiem un sakrīt ar citu autoru secinājumiem. Šajā pētījumā tika izmantotas uzlabotas koherentas kustības uztveres noteikšanas metodes, kā arī papildus tika novērtēta informācijas daudzuma ietekme uz kustības uztveri.

Jau daudzus gadus zinātnieki pēta kustības uztveri un tās ietekmi uz cilvēka orientēšanas spējām. Viens no faktoriem, kurš tiek aktīvi analizēts, ir stimula kustības ātruma ietekme uz koherentas kustības uztveri. Pētījumos tiek pielietotas dažādas metodes, kā arī ir mēģināts veikt pēc iespējas līdzīgākus pētījumus, lietojot identiskas programmas un parametrus. Bieži var novērot, ka autori savos darbos norāda vienādu stimula kustības ātrumu. Tomēr līdz šim nav iegūti vienādi rezultāti, kuri ļautu izdarīt viennozīmīgus secinājumus. Tāda problēma var rasties tādēļ, ka ātrums kā parametrs sastāv no diviem apakšparametriem – pārvietojuma un laika nobīdes. Tāpēc, pielietojot vienādu stimula kustības ātrumu, rezultāti tomēr var būt dažādi. Līdz ar to esošajā darbā tika novērtēts, vai kadru skaita izmaiņas (attiecīgi arī stimula pārvietojuma un laika nobīdes izmaiņas) ietekmē kustības uztveri.

**Darba mērķis:** Novērtēt, pie kādas stimula fiksācijas cilvēkam ir augstāka kustības jutība.

**Hipotēze:** Koherentas kustības jutība būs augstāka pie stimula centrālas fiksācijas.

**Darba uzdevumi:**

- Noteikt koherentas kustības uztveres sliekšņu vērtības pie centrālas un ekscentriskas stimula fiksācijas;
- Izpētīt, kā kadru skaita izmaiņas viena stimula ietvaros ietekmē koherentas kustības uztveres sliekšņu vērtības;
- Salīdzināt, vai kadru skaita izmaiņas vienādi ietekmē rezultātus gan pie centrālas, gan pie ekscentriskas stimula fiksācijas.

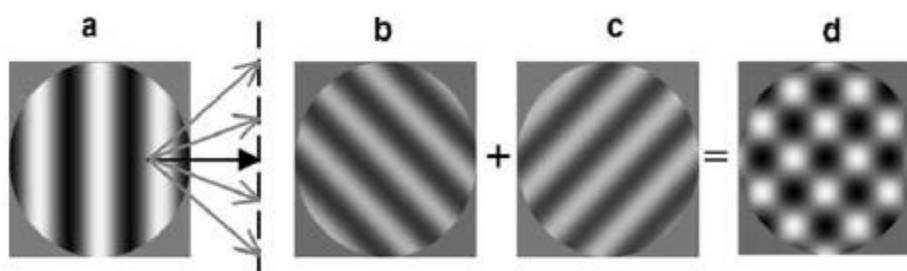
Darbs sastāv no divām daļām: teorētiskās daļas jeb literatūras pārskata un praktiskās jeb eksperimentālās daļas. Teorētiskā daļa iekļauj informācijas apkopojumu no zinātniskām publikācijām un noslēguma darbiem. Darba praktiskās daļas realizēšanai ir izmantots izklaidēto punktu testu.

# 1. LITERATŪRAS PĀRSKATS

## 1.1. Koherenta kustība

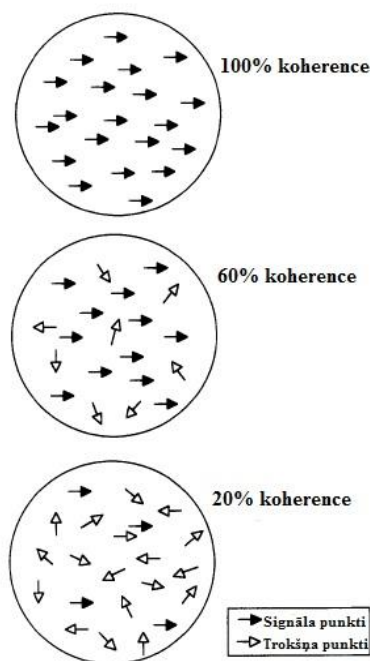
Kustības uztvere, tajā skaitā koherentas kustības uztvere, ir sarežģīts un nozīmīgs redzes sistēmas process (Arena, Hutchinson & Shimozaki, 2012). Tas palīdz atšķirt statisku objektu no dinamiska (Claassen *et al.*, 2016), noteikt kustīga objekta atrašanās vietu, pārvietošanas trajektoriju un ātrumu (Bogfjellmo, Bex & Falkenberg, 2013). Apkārt esošo kustīgo objektu atpazīšana un iegūtas informācijas apstrāde palīdz noteikt mūsu pašu kustību attiecībā pret pārējiem objektiem, orientēties un droši pārvietoties telpā (Arena, Hutchinson & Shimozaki, 2012).

Koherentas kustības izpētei pārsvarā tiek izmantoti divu veidu stimuli: režģa stimulsi (*plaid stimulus*) vai izkliedēto punktu tests (*random dot kinematogram*). Režģa stimulsi ir izveidoti no divām komponentēm (skat.1.1.att.). Katra komponente sastāv no paralēlām līnijām, kuras kustās savstarpēji perpendikulāros virzienos. Komponentēm pārklājoties, veidojas režģveidīgs stimulsi, kurš kustās citā, no komponentēm atšķirīgajā, virzienā (Hadad *et al.*, 2015). Stimula kustības virzienu nosaka ar vektoru palīdzību. Katrai komponentei tiek piešķirts kustības virziena vektors. Vektora virziens nosaka kustības virzienu un garums nosaka kustības ātrumu. Šo vektoru summārais vektors ir režģa stimula kustības virziens (Delicato & Derrington, 2005). Lai stimulsi tiktu uztverts kā koherenti kustošs vienā virzienā, komponentu īpašībām ir jābūt vienādām, t.i. līnijām jābūt vienādā izmēra, vienādā kontrasta, jākustas ar vienādu ātrumu u.c. (Hadad *et al.*, 2015).



**1.1. att.** Režģa stimula piemērs. A attēlā ir parādīts vertikāli orientēts režģis. Cilvēks uztvers, ka šis režģis kustās horizontāli jeb perpendikulāri režģa zīmējuma virzienam. Šajā gadījumā režģis kustās pa labi, uz ko norāda trekna bultiņa. Tomēr pastāv varbūtība, ka, novērojot stimulsi caur apertūru, uztvertais kustības virziens mainīsies (pelēkas bultiņas). B un C attēlā ir parādītas stimula komponentes, kuras ir perpendikulāras. Savienojot abas komponentes, veidojas režģa stimulsi (D attēls) ar atšķirīgu no komponentēm kustības virzienu (Delicato & Derrington, 2005).

Biežāk izmantojama programma ir izkliedēto punktu tests, jo tajā ir iespējams simulēt vairākus kustības virzienus un ātrumus (Pilly & Seitz, 2009). Tests sastāv no vairākiem punktiem (skat.1.2.att.). Daļa punktu tiek definēta kā signāla punkti, kuri kustās vienā, noteiktā virzienā. Pārējie punkti ir trokšņa punkti, kur katrs no tiem kustās nejaušā virzienā (Hadad et al., 2015). Izkliedēto punktu testa stimuluss sastāv no vairākiem viens otram sekojošiem kadriem, kur punkti kustās laikā un telpā pēc noteikta algoritma, simulējot koherentu kustību trokšņainajā vidē (Pilly & Seitz, 2009). Apskatot stimulu, novērotājam ir jānosaka koherentas kustības virzienu. Kustības jutība tiek izteikta kā koherentas kustības sliekšnis, kas ir attiecība starp signāla punktu skaitu pret trokšņa punktu skaitu. Jo mazāks ir signāla punktu skaits, pie kura cilvēks spēj noteikt kustības virzienu, jo labākas ir viņa kustības uztveres spējas (Hadad et al., 2015). Līdz ar to, jo zemāks ir koherentas kustības uztveres sliekšnis, jo grūtāk ir atpazīt kustības virzienu (Pilly & Seitz, 2009).



**1.2. att.** Koherentas kustības stimula algoritma piemērs. Ar melnām bultiņām ir norādīti signāla punkti, ar baltām bultiņām ir norādīti trokšņa punkti. Bultiņas virziens norāda punkta kustības virzienu. Pirmajā gadījumā visi punkti kustās vienā virzienā, tātad koherence ir 100%. Otrajā un trešajā gadījumā tikai daļa no punktiem kustās vienā virzienā, bet pārējie punkti kustās nejauši izvēlētajā virzienā. Tāpēc koherence samazinās (Barton et al., 1996).

Kā jau tika minēts, izkliedēto punktu testā trokšņa punkti kustas nejaušajā virzienā. Tomēr ir iespējami vairāki veidi, kā trokšņa punkti var uzvesties stimulā, t.i. punktiem var būt piešķirta kustības kārtība. Izšķir trīs trokšņa punktu uzvedības modeļus:

- Nejaušas pozīcijas troksnis (*random position noise*) - pirmajā kadrā katrs trokšņa punkts parādās savā nejaušajā vietā. Punkta novietojums nākamajā kadrā nav saistīts ar iepriekšējo kadru. Visi punkti ir vienmērīgi izkliedēti. Katram punktam ir nejaušs virziens un kustības ātrums;
- Nejauša gājiena troksnis (*random walk noise*) – visi punkti ir vienmērīgi izkliedēti un kustās dažādos virzienos, bet viena kadra ietvaros visiem punktiem ir vienāda nobīde;
- Nejauša virziena troksnis (*random direction noise*) – katram punktam ir nejauši izvēlēts sākotnējais nobīdes virziens, bet stimula rādīšanas laikā katrā kadrā šis punkts nobīdās vienā un tajā pašā virzienā (*Scase, Braddick & Raymond, 1996*).

Arī signāla punktiem stimulā ir divas kustības uzvedība iespējas. Nemainīgais modelis (*same rule*) nosaka, ka stimula radīšanas laikā signāla punkti nemainās un turpina kustēties koherentajā virzienā no viena kadra uz otru. Savukārt mainīgais modelis (*different rule*) nozīmē, ka ar jaunu kadru signāla punkti mainās, t.i. kopējais signāla punktu skaits un koherences virziens paliek viens un tas pats, bet katrā jaunajā kadrā signāla punkti ir citi. Piemēram, vienā kadrā punkts ir signāla punkts, bet nākamajā kadrā tas pārvēršas par trokšņa punktu, bet par signāla punktu kļūst kāds cits punkts (*Scase, Braddick & Raymond, 1996*).

## 1.2. Koherentas kustības uztveri ietekmējošie faktori

### 1.2.1. Stimula kustības ātrums

Stimula kustības ātrums ir viens no galvenajiem parametriem, kura ietekme uz koherentas kustības uztveri ir pierādīta. Literatūrā, kura ir saistīta ar kustības uztveres pētījumiem, tiek apgalvots, ka, jo ātrāk kustās stimul, jo labāk cilvēks spēj uztvert kustību. Gan *Arena, Hutchinson & Shimozaki (2012)*, gan *Bogfjellmo, Bex & Falkenberg (2013)* ieguva, ka neatkarīgi no dalībnieku vecuma, palielinoties stimula kustības ātrumam, koherentas kustības sliekšņu vērtības būtiski samazinās. Arī *Claassen et al. (2016)* novēroja, ka kopumā pie lēnākiem ātrumiem koherentas kustības sliekšņi ir augstāki. *Narasimhan & Giaschi (2012)* rezultāti rāda, ka bērniem koherentas kustības sliekšņi ir augstāki pie lēnāka stimula kustības ātruma ( $1^\circ/s$ ) un, palielinoties kustības ātrumam līdz  $4^\circ/s$ , sliekšņu vērtības samazinās. Savukārt ātruma ietekme uz pieaugušo cilvēku kustības jutību netika novērota – pie visiem nosacījumiem sliekšņu vērtības bija vienādas.

Kaut gan vairāki zinātnieki pielieto vienādus stimulus un parametrus savos pētījumos, tajā skaitā arī stimula kustības ātrumu, bieži vien tiek iegūti atšķirīgi rezultāti. Pēc *Meier &*

*Giaschi* (2014) domām šīs atšķirības var rasties tāpēc, ka pārsvarā pētījumos tiek noteikti kustības uztveres sliekšņi atkarībā no ātruma, bet ātrums kā parametrs sastāv vēl no diviem parametriem –  $\Delta x$  – stimula punktu telpiskās nobīdes,  $\Delta t$  – laika intervāla starp diviem kadriem. Tādējādi var panākt vienādu stimula kustības ātrumu ar atšķirīgām  $\Delta x$  un  $\Delta t$  vērtībām. Tāpēc savā pētījumā *Meier & Giaschi* (2014) nolēma analizēt, kā šo divu parametru maiņa ietekmē koherentas kustības sliekšņus. Pirmkārt, tika noteikti kustības uztveres sliekšņi pie  $\Delta t = 17$  ms, mainot  $\Delta x$  vērtības. Rezultāti parādīja, ka kustības jutība pie mazām  $\Delta x$  vērtībām ir zema. Palielinoties  $\Delta x$  vērtībai, t.i. palielinoties stimula kustības ātrumam, kustības jutība pieaug un samazinās kustības uztveres sliekšņi. Punktā  $\Delta x = 23$  arcmin kustības jutība ir visaugstākā, bet, palielinoties  $\Delta x$  vērtībai vēl vairāk, kustības jutība atkal samazinās. Otrkārt, kustības uztveres sliekšņi tika noteikti pie  $\Delta t = 50$  ms, mainot  $\Delta x$  vērtības. Līdzīgi kā pirmajā gadījumā, šajā eksperimentā arī tika novērots sliekšņu samazinājums, paaugstinoties  $\Delta x$  vērtībai, bet pēc  $\Delta x = 3$  arcmin, sliekšņi atkal pieauga. Kopumā rezultāti rāda, ka pie vienāda stimula ātruma, bet dažādiem  $\Delta t$  un  $\Delta x$  parametriem, sliekšņi atšķiras. Vienīgais ātrums, pie kura neatkarīgi no telpiskās un laika nobīdes sliekšņi bija vienādi, ir  $4^\circ/s$ .

*Barton et al.* (1996) sava pētījumā ievēroja, ka, palielinoties telpiskai nobīdei, koherentas kustības sliekšņi pieaug. Tā kā no telpiskās nobīdes ir atkarīgs stimula ātrums, tad šie dati rāda, ka pie lielākiem ātrumiem sliekšņa vērtības pieaug. Tomēr, lai pārbaudītu, vai sliekšņus ietekmē tikai telpiskā nobīde vai tomēr stimula kustības ātrums, papildus tika veikts eksperiments, kurā stimuli kustējās vienmēr ar vienādu ātrumu, bet tika mainīta telpiskā un laika nobīde. Rezultāti parādīja, ka pie vienāda ātruma rezultāti atšķiras. Sliekšņa vērtības pieauga, palielinoties gan telpiskai, gan laika nobīdei. Tātad koherentas kustības uztveri ietekmē ne tikai stimula kustības ātrums, bet arī stimula telpiskā nobīde.

### **1.2.2. Programmas algoritms**

Lai izpētītu cilvēka redzes sistēmas augstākos ceļus un saprastu, ka cilvēks uztver kustību, kādā gadījumā kustības uztvere ir labāka, kas un kā to ietekmē, zinātnieki veic pētījumus un mēģina salīdzināt savus rezultātus ar citu pētnieku iegūtajiem datiem. Tomēr ļoti bieži literatūrā atrodami dati atšķiras savā starpā, kaut gan izmantotie parametri (kustības ātrums, blīvums, izvēles virzieni u.c.) ir līdzīgi. Šīs nesakritības var rasties tādēļ, ka rezultāti ir atkarīgi ne tikai no izmantotiem parametriem, bet arī no izmantotas programmas darbības algoritma, kurš nosaka punktu uzvedību (*Pilly & Seitz*, 2009).

Izšķir četrus izklaidēto punktu testa algoritmus:

1. Baltais troksnis (*white noise*) – katrā kadrā tiek nejauši izvēlēti signāla punkti, kuri kustās koherentajā virzienā. Pārējie trokšņa punkti kustās nejauši, ar nejauši izvēlēto ātrumu un virzienu. Šis algoritms ir vienāds ar iepriekš minēto nejaušas pozīcijas trokšņa modeli, kas kombinējās ar mainīgo signāla punktu modeli.
2. Movšona-Njusoma algoritms (*Movshon/Newsome*) – algoritms ir izveidots pēc baltā trokšņa algoritma principa, bet atšķiras ar to, ka tiek ģenerēti trīs kadri, kuri atkārtojās. Tātad pirmajos trijos kadrus punkti kustās kā baltā trokšņa algoritmā, un, sākot ar ceturto kadru, atkārtojās.
3. Ierobežots radīšanas ilgums (*Limited lifetime*) – algoritms ir līdzīgs Movšona-Njusoma algoritmam ar piebildi, ka tajos trijos kadrus signāla punkti, kuru radīšanas laiks vienā kadrā ir visilgākais, ir pirmie, kas nākamajā kadrā pārvēršas par trokšņa punktiem un turpmāk kustās nejauši. Tas palīdz kontrolēt signāla punktu radīšanas ilgumu. Sākot ar ceturto kadru, trīs kadri atkārtojās.
4. Brauna kustība (*Brownian motion*) – katrā kadrā tiek nejauši izvēlēti signāla punkti. Trokšņa punkti kustās nejauši izvēlētajā virzienā, bet ar vienādu ātrumu. Šis algoritms ir pielīdzināms iepriekš minētajam nejauša gājiena trokšņa modelim kombinācijā ar mainīgo signāla punktu modeli (*Pilly & Seitz, 2009*).

*Pilly & Seitz (2009)* novērtēja kustības uztveri ar četriem iepriekš minētajiem algoritmiem. Rezultāti parādīja, ka visprecīzāk kustība tiek noteikta, ja programmā tiek izmantots Brauna kustības algoritms. Ar aptuveni vienādu, bet tomēr zemāku par Brauna kustības algoritma precizitāti kustība tiek uztverta, ja programmā tiek izmantots Movšona-Njusoma algoritms vai ierobežots radīšanas ilguma algoritms. Vissliktākā kustības novērtēšanas precizitāte tika iegūta, ja programmā tika izmantots baltā trokšņa modelis.

*Scase, Braddick & Raymond (1996)* pētījumā, kurā tika izmantoti trīs dažādi trokšņa punktu modeļi un divi dažādi signāla punktu modeļi, tika iegūts, ka, izmantojot nejauša virziena trokšņa punktu modeli, koherentas kustības jutība ir viszemākā, t.i. sliekšņu vērtības ir visaugstākās. Salīdzinot signāla punktu modeļus pie visiem trim trokšņa punktu modeļiem, tika iegūts, ka signāla punktu modeļi neietekmē kustības uztveri. Izmantojot nejauša gājiena trokšņa modeli kopā ar mainīgo signāla punktu modeli, koherentas kustības sliekšņi ir viszemākie. Šie rezultāti sakrīt ar *Pilly & Seitz (2009)* iegūtajiem rezultātiem, tādējādi rādot, ka ar Brauna kustības algoritma palīdzību ir iespējams iegūt precīzākus un ticamākus rezultātus.

Tātad dažādu pētījumu iegūtie rezultāti var nesakrist ne tāpēc, ka kāds no eksperimentiem tika veikts nekorekti vai kļūdaini, bet tāpēc, ka pētījumos tika izmantoti

dažādi programmas algoritmi. Tāpēc *Pilly & Seitz* (2009) pievērš uzmanību tam, ka, veicot eksperimentu, ir svarīgi norādīt ne tikai parametrus, bet pašas programmas un tās algoritma aprakstu pēc iespējas detalizētāk. Tas palīdzēs gan precīzāk atkārtot cita autora pētījumu, gan salīdzināt iegūtos rezultātus. Īpaši svarīgi to darīt, pētot bērnu koherentas kustības sliekšņus un nosakot kustības uztveres nobriešanas vecumu, jo līdz šim zinātnieki vēl nav vienojušies par to, kurā vecumā bērnu kustības uztvere kļūst līdzīga pieaugušajiem.

### 1.2.3. Ekscentritāte

*Tynan & Sekuler* (1982) pētīja koherentas kustības sliekšņus tīklenes perifērijā līdz 30°. Kā sliekšni pētnieki izvēlējās nevis minimālo punktu daudzumu, pie kura vēl ir iespējams redzēt koherentu kustību, bet minimālo kustības ātrumu, pie kura cilvēks ar tīklenes perifēriju spēj kopumā uztvert kustību. Rezultāti rāda, ka, palielinoties tīklenes ekscentriskai fiksācijai, sliekšņa vērtības pieaug, t.i. palielinājās minimālais stimula ātrums, kāds bija nepieciešams, lai dalībnieks spētu pamanīt kustību (pie ekscentritātes 30 grādi sliekšnis bija 0,45°/s). Citiem vārdiem, tīklenes perifērā daļa ir jutīgāka pret augstākiem kustības ātrumiem. Tāpēc, ja eksperimentā izvēlēties pārāk lēnu stimula kustības ātrumu, tad var sagaidīt, ka koherentas kustības sliekšņi perifērijā būs augstāki.

Arī *Tynan & Sekuler* (1982) novērtēja dalībnieku reakcijas laiku uz kustību tīklenes centrā un tuvajā perifērijā (līdz 10°). Rezultāti rāda, ka pie ļoti zema kustības ātruma (0,25°/s) reakcijas laiks pieaug, palielinoties ekscentriskai fiksācijai. Tas arī apstiprina iepriekš minētos rezultātus. Savukārt pie pārējiem kustības ātrumiem (1, 4 un 16 °/s) reakcijas laiks centrā un perifērijā bija nemainīgs. Kopumā, palielinoties kustības ātrumam, reakcijas laiks samazinājās.

*Mareschal, Bex & Dakin* (2008) noteica koherentas kustības sliekšņus tīklenes centrā un perifērijā līdz 16°. Vispirms programmā tika izmantoti 32 punkti. Rezultāti parādīja, ka sliekšņu vērtības bija vienādas, apskatot stimulus gan ar tīklenes centru, gan ar perifēriju. Tad tāds pats uzdevums tika veikts, izmantojot 256 punktus. Iegūtie rezultāti bija neviennozīmīgi, jo dažiem dalībniekiem sliekšņu vērtības tīklenes perifērijā samazinājās, bet citiem palielinājās. Šis pētījums rāda, ka kustības uztveri var ietekmēt arī blīvums. Izmantojot pārāk mazu punktu skaitu, pētījumā nevar sagaidīt ticamus rezultātus.

*Raymond* (1994) salīdzināja kustības jutību tīklenes perifērijā līdz 12,5° abos perifērajos virzienos. Pētījumā tika izmantots izkliedēto punktu tests, kurš sastāvēja no 134 punktiem, kuri kustējās 2,5° lielā kvadrātveida laukā. Punktu izmērs netika minēts. Autors ieguva, ka tīklenes centrā sliekšņu vērtības ir zemākas (1,38 logaritmiskas vienības jeb 14%), nekā

tīklenes perifērijā (no 1,49 līdz 1,55 logaritmiskas vienības jeb no 17 līdz 19%). Turklāt, pieaugot ekscentriskai fiksācijai, vidējās sliekšņu vērtības arī pieauga un bija vienādas gan tīklenes temporālajā, gan nazālajā pusē.

To, ka kustības jutības atšķiras tīklenes centrā un perifērijā, parādīja arī *Johnson & Leibowitz* (1976). Galvenokārt, autori vēlējas noskaidrot, kā mainās kustības uztvere atkarībā no stimula rādīšanas ilguma. Kā papildus faktors tika apskatīta ekscentritāte – 30° un 60°. Autori ieguva, ka tīklenes perifērijā sliekšņu vērtības ir vidēji 5 reizes augstākas. Kā arī gan tīklenes centrā, gan perifērijā, mainot stimula rādīšanas ilgumu, ir novērojamas vienādas sliekšņu izmaiņas.

#### 1.2.4. Vecums

Kustības uztvere mainās dzīves laikā. Uzreiz pēc dzimšanas bērns neuztver kustību tāpat kā pieaugušais cilvēks, šī spēja attīstās bērnības laikā. Pētot bērnu kustības uztveri ar VEP metodi, tika novērots, ka orientācijas izjūtas reakcija parādās vecumā no 3 līdz 6 nedēļām un turpina attīstīties vismaz līdz 6 mēnešu vecumam. Virziena izjūtas reakcija attīstās no 10-12 nedēļu vecuma. Bērniem rādot izkliedēto punktu testam līdzīgu stimulu, kurš sastāv no punktiem, kuri kustās pretējos virzienos, atbilde uz stimulu tika iegūta nedaudz ātrāk, sākot ar 7. dzīves nedēļu. Tomēr tāpat ir redzams, ka šīs reakcijas nav iestrādātas no dzimšanas. Turklāt, zīdaiņi spēj uztvert dinamiskus stimulus, kuri kustās ar ātrumu no 5 °/s līdz 10 °/s (*Braddick & Atkinson, 2011*).

Joprojām nav skaidrības par to, kurā vecumā bērnu kustības uztvere nobriest un kļūst līdzīga pieaugušajiem. *Meier & Giaschi* (2014) savā pētījumā ieguva, ka bērniem vecumā no 4 līdz 7 gadiem koherentas kustības sliekšņi ir augstāki nekā pieaugušajiem vecumā no 18 līdz 30 gadiem. Līdzīgus rezultātus ieguva *Narasimhan & Giaschi* (2012), salīdzinot 5-6 gadīgu bērnu un pieaugušo vecumā no 18 līdz 24 gadiem rezultātus.

Cilvēkam novecojot, kustības uztvere mainās, bieži tiek novērota kustības jutības samazināšana, ko saista ar fizioloģiskām izmaiņām gan acī, gan redzes sistēmā kopumā. *Arena, Hutchinson & Shimozaki* (2012) veica pētījumu, kurā piedalījās cilvēki vecuma no 20 līdz 79 gadiem, kuri tika sadalīti vecuma grupās pa dekādēm. Visiem dalībniekiem bija normāls redzes asums un netika atrastas nekādas acu slimības vai patoloģijas. Rezultāti parādīja, ka, pieaugot vecumam, ir tendence pieaugt koherentas kustības sliekšņiem, bet datu atšķirība nebija statistiski nozīmīga. Tomēr cilvēkiem vecuma grupā no 70 līdz 79 gadiem sliekšņu vērtības bija būtiski augstākas nekā pārējām grupām, pat ja pārējo grupu rezultāti tika apvienoti. Veicot dziļāko analīzi, tika konstatēts, ka šajā vecuma grupā lielākas sliekšņu

vērtības tika atrastas sievietēm, bet vīriešu rezultāti bija līdzīgi pārējo vecuma grupu rezultātiem. Pārējās vecuma grupās dzimuma atšķirības netika novērotas. Līdzīgus rezultātus ieguva *Bennett, Sekuler & Sekuler* (2007), parādot, ka līdz 70 gadu vecumam cilvēkiem ir vienāda kustības jutība, bet pēc 70 gadiem tā būtiski samazinās. Papildus pētnieki noteica, ka vecākiem cilvēkiem palielinās kustības virziena noteikšanas neprecizitātes.

*Bogfjellmo, Bex & Falkenberg* (2013) iegūtie rezultāti parādīja, ka vecums līdz 80 gadiem neietekmē kustības uztveres jutību. Savukārt pēc 80 gadiem kustības uztveres sliekšņi pieaug un ir būtiski atšķirīgi no sliekšņu vērtībām cilvēkiem trešajā vecuma dekādē.

Tādas atradnes ir skaidrojamas ar to, ka visas ar novecošanu saistītas izmaiņas organismā, un tajā skaitā redzes sistēmā, parādās pēc 70 gadu vecuma. Vecākiem cilvēkiem paliek grūtāk uztvert un integrēt informāciju par telpiskām izmaiņām. Šo procesu realizēšanai nepieciešams ilgāks laiks, līdz ar to koherentas kustības jutība samazinās.

Tā kā *Arena, Hutchinson & Shimozaki* (2012) pētījumā tomēr tika novērota tendence vecākiem cilvēkiem paaugstināties sliekšņu vērtībām, tad, lai iegūtu ticamākus datus, eksperimentā ir ieteicams iesaistīt vienas vecuma grupas cilvēkus vai dalīt dalībniekus pa vecuma grupām un analizēt datus atsevišķi.

#### **1.2.5. Stimula kustības virziens un novērotāja atrašanas vieta**

*Claassen et al.* (2016) savā darbā novērtēja dalībnieku novērošanas pozīcijas ietekmi uz koherentas kustības uztveršanu, kā arī analizēja, vai stimula kustības virzieni tiek uztverti vienlīdzīgi. Salīdzinot vertikālos virzienus, pie lēnas kustības (kā lēno kustību autori definē 0,1 °/s, 0,2 °/s un 0,4 °/s kustības ātrumu) sliekšņu vērtība bija augstākas, novērojot kustību uz augšu. Pie lielākiem stimula kustības ātrumiem sliekšņi, novērojot kustību uz augšu, samazinājās, bet, novērojot kustību uz leju, ātrums būtiski neietekmēja koherentas kustības sliekšņus. Datu analīze parādīja, ka stimula kustības virziens būtiski ietekmēja sliekšņu vērtības, kā arī būtiski augstāki rezultāti bija, novērojot kustību uz augšu, pie lēniem kustības ātrumiem. Dalībniekiem veicot to pašu uzdevumu guļus uz kreisā sāna, stimula kustības virziena ietekme uz koherentas kustības sliekšņiem netika novērota. Salīdzinot stimula horizontālus kustības virzienus, ieguva vienādas sliekšņu vērtības gan stimulam kustoties pa labi, gan stimulam kustoties pa kreisi. Bet, dalībniekiem veicot testu guļus uz kreisā sāna, pie lēnas stimula kustības, sliekšņu vērtības bija nedaudz augstākas, novērojot kustību pa labi. Tomēr šī atšķirība nebija statistiski nozīmīga.

Veicot kopējo datu analīzi, tika iegūts, ka pie lēniem stimula kustības ātrumiem sliekšņu vērtības, novērojot kustību uz augšu, bija būtiski lielākas, nekā novērojot kustību parējos trijos virzienos (*Claassen et al.*, 2016).

*Raymond* (1994) novērtēja stimula kustības virziena ietekmi uz koherentas kustības sliekšņiem gan tīklenes centrā, gan perifērijā. Tīklenes centrā stimula kustības virziena ietekme uz koherentas kustības sliekšņiem netika novērotas. Kustības virzienu uztvere visos četros virzienos (pa labi, pa kreisi uz augšu, uz leju) bija vienāda. Tīklenes perifērijā kustības virzienu jutība bija dažāda. Tīklenes temporālajā pusē koherentas kustības sliekšņi bija būtiski zemāki, novērojot kustību pa kreisi. Savukārt tīklenes nazālajā pusē koherentas kustības sliekšņi bija būtiski zemāki, novērojot kustību pa labi. Tīklenes augšējā daļā sliekšņu vērtības bija vienādas, novērojot kustību visos virzienos. Tīklenes apakšējā daļā sliekšņu vērtības bija būtiski zemākas, novērojot kustību uz augšu. Šīs vērtība arī bija zemākas nekā tīklenes centrā, novērtējot kustību uz augšu, tomēr dati nebija statistiski atšķirīgi.

#### **1.2.6. Kontrasts**

Kontrasta pazeminājums samazina kustības jutību un pat pilnībā izjauc kustības sajūtu. *Delicato & Derrington* (2005) veica kustības uztveres eksperimentu ar režģa stimulu. Rezultāti parādīja, ka, samazinoties stimula kontrastam, koherentas kustības virziena noteikšana arī samazinās. Pie ļoti zema kontrasta dalībniekiem koherentu kustību izšķirt neizdevās. Papildus tam, palielinot stimula vienas komponentes temporālās vai telpiskās frekvences, kustības uztvere samazinājās vēl straujāk. Šie rezultāti pierāda, ka, veicot pētījumus ar režģa stimulu, ir būtiski saglabāt stimula komponentu parametrus vienādus. Kā arī, vienlaicīgi mainot vairākus stimula parametrus, sliekšņu vērtības var gan pieaugt, gan samazināties, pat ja atsevišķi šiem parametriem nav būtiskas ietekmes uz kustības uztveri. Tādējādi, vērtējot kustības uztveri, primāri ir svarīgi noskaidrot katra parametra ietekmi uz kustības jutību, lai, kombinējot parametrus, būtu iespējams paredzēt rezultātus.

#### **1.2.7. Stimula rādīšanas ilgums**

Izkliedēto punktu testā ir iespējams uzstādīt stimula rādīšanas ilgumu. Daži pētnieki, veicot savus eksperimentus, veido stimulu ar neierobežotu rādīšanas laiku. Izmantojot tādus stimulus, var iegūt neadekvātus rezultātus. Ilgstoši apskatot kustīgus punktus, novērotājs var izsekot katram punktam atsevišķi, tādējādi novērojot lokālo, nevis globālo kustību. Tāpēc,

novērtējot kustības uztveri, svarīgi ir ierobežot stimula rādīšanas laiku, lai novērotājs nepaspētu izsekot individuālajiem punktiem.

Novērtējot koherentas kustības jutību atkarībā no stimula rādīšanas ilguma, *Bennett, Sekuler & Sekuler* (2007) ieguva, ka, palielinoties stimula rādīšanas laikam no 75 ms līdz 470 ms, kustības jutība pieauga. Salīdzinot rezultātus dažādās vecuma grupās, tika novērots, ka pie stimula rādīšanas ilguma lielāka par 170 ms, vecākiem cilvēkiem kustības jutība bija līdzīga jaunāko cilvēku kustības jutībai, novērojot stimulu ar īsāko rādīšanas laiku.

Stimula rādīšanas ilguma ietekmi uz kustības uztveres sliekšņiem savā darbā novēroja arī *Masson, Mestre & Stone* (1999). Autori salīdzināja kustības uztveri pie ekspozīcija laika 65 ms, 130 ms, 200 ms, 260 ms un 520 ms. Tika pierādīts, ka, palielinot stimula rādīšanas ilgumu, kustības uztveres sliekšņu vērtības samazinās ( $p < 0.001$ ). Būtiska datu atšķirība tika novērota, mainot stimula rādīšanas laiku no 65 ms līdz 200 ms. Palielinot parametru vairāk par 200 ms, sliekšņu vērtību samazinājums nebija būtisks. Tātad, lai mazinātu stimula rādīšanas ilguma ietekmi uz kustības uztveres sliekšņu vērtībām, veicot eksperimentu ieteicams izmantot ekspozīcijas laiku ne mazāku par 200 ms.

## **2. EKSPERIMENTĀLĀ DAĻA**

### **2.1. Eksperimenta apraksts**

#### **2.1.1. Pētījuma dalībnieki**

Pētījumā piedalījās 11 cilvēki vecumā no 21 līdz 24 gadiem. Vidējais dalībnieku vecums sastādīja  $22,3 \pm 0,3$  gadus. Dalībnieku monokulārs redzes asums tuvumā atbilda vismaz 0.8. Dalībnieki, kuriem bija nepieciešama redzes korekcija, eksperimenta uzdevumus veica ar kontaktlēcām.

#### **2.1.2. Programmas apraksts**

Koherentas kustības simulēšana tika nodrošināta ar Renāra Trukšas Visual Basic programmēšanas valodā izstrādāto izkliedēto punktu testa palīdzību. Koherentas kustības uztveres sliekšņu noteikšanai tika izmantota psihofizikālā adaptīvā trepjveida procedūra ar četru piespiedu izvēļu metodi. Trokšņa punkti kustējās astoņos dažādos virzienos: četros taisnajos virzienos jeb  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $270^\circ$  un četros slīpajos virzienos jeb  $45^\circ$ ,  $135^\circ$ ,  $225^\circ$ ,  $315^\circ$ . Koherentu kustību varēja novērot četros virzienos: pa labi jeb  $0^\circ$ , uz augšu jeb  $90^\circ$ , pa kreisi jeb  $180^\circ$  un uz leju jeb  $270^\circ$ . Lai nodrošinātu punktu vienmērīgu sadalījumu stimula radīšanas laukumā, katram punktam nejauši bija piekārtots numurs no 1 līdz 8, kurš apzīmēja kustības virzienu. Kopējais trokšņa punktu skaits bija 160. Līdz ar to katrā virzienā kustējās 20 trokšņa punkti. Papildus vienā virzienā kustējās stimula punkti, radot koherentas kustības sajūtu. Gan trokšņa, gan stimula punkti kustējās ar vienādu ātrumu, kas tika nodrošināts, katram punktam piekārtojot vienādu ātruma vektoru. Tā kā stimula radīšanas lauks bija ierobežots, bija iespējama situācija, kad kustoties punkts sasniedz laukuma pretējo malu un pazūd. Līdz ar to punktu skaits stimula radīšanas laikā samazinātos. Lai nepieļautu šādu iespēju, katram punktam, kurš sasniedza radīšanas laukuma pretējo malu, tika piešķirta sākotnējās atrašanās vietas koordinātes. Tādējādi, punkts atkal parādījās stimula radīšanas laukā un turpināja kustību pēc iepriekš noteiktā algoritma.

Testa sākumā dalībniekiem rādīja izkliedēto punktu testu ar 200 punktiem – 160 trokšņa punktiem un 40 stimula punktiem. Trokšņa punktu skaits eksperimenta laikā saglabājas konstants. Stimula punktu skaits varēja variēt no 0 līdz 40. Ja dalībnieks sniedza trīs secīgas, pareizas atbildes, tad esošais koherentu punktu skaits, t.i. 40 punkti, tika pieņemts kā maksimālā vērtība, bet 0 punkti – kā minimālā vērtība. Pēc formulas

$\frac{\text{maksimālā vērtība} + \text{minimālā vērtība}}{2}$  tika aprēķināts koherentu punktu skaits, kurš tiks rādīts tālāk. Tas nozīmē, ka jaunajā stimulā koherentu punktu skaits bija uz pusi mazāks nekā iepriekšējā. Savukārt, ja dalībnieks vienreiz kļūdījās, tad esošais koherentu punktu skaits tika pieņemts kā minimālā vērtība un iepriekšējais koherentu punktu skaits kā maksimālā vērtība, un pēc tās pašas formulas tika aprēķināts jauns koherences sliekšnis. Testa mērījumi turpinājās līdz tam brīdim, kad koherences maksimālā vērtība bija vienāda ar minimālo vērtību.

### 2.1.3. Stimula apraksts

Eksperimentā pielietoja sekojošus stimula parametrus:

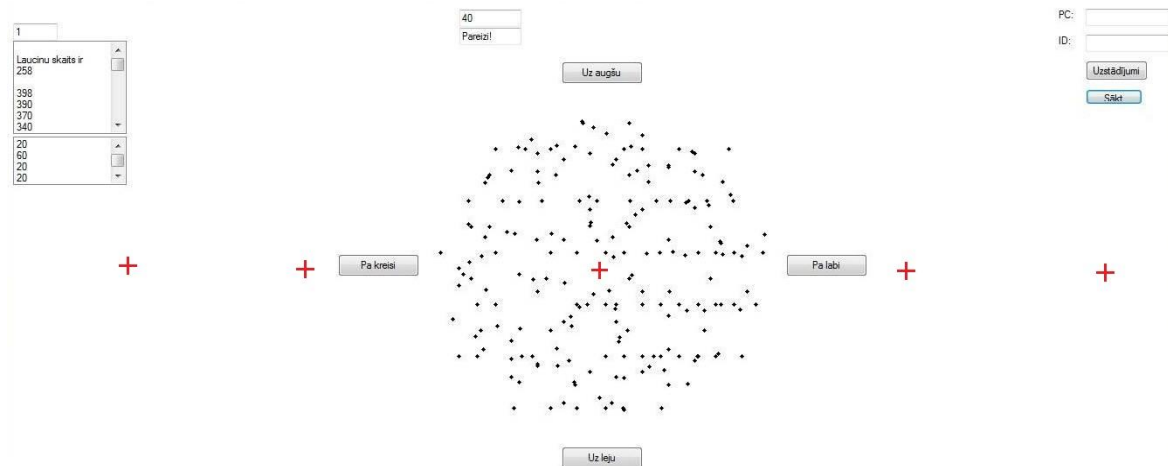
#### 1.) Konstanti parametri

- *Trokšņa punktu skaits*: 160 punkti
- *Punktu krāsa*: melnā (spožums 2,5 cd/m<sup>2</sup>)
- *Fona krāsa*: baltā (spožums 163 cd/m<sup>2</sup>)
- *Viena punkta izmērs*: 7 loka minūtes
- *Lauka izmērs*: 12° cirkulārā apertūra
- *Ekspozīcijas laiks*: 400 ms
- *Darba attālums*: 50 cm
- *Stimula novērošana*: monokulāri, ar vadošo aci
- *Stimula kustības ātrums*: 2 °/s

#### 2.) Mainīgie parametri

- *Koherentu punktu skaits*: no 0 līdz 40 punktiem
- *Tīklenes ekscentritāte*: 0°, 6° un 12°
- *Kadru skaits*: 10, 15, 20, 25 un 30 kadri (attiecīgi pārvietojumu mainīja no 0,201° līdz 0,057° un laiku no 100 ms līdz 33 ms).

Stimulu rādīja uz 17 collu liela datora monitora ar 1366 x 768 pikseļu izšķirtspēju. Eksperiments tika veikts fotopiskajos apstākļos, mākslīgi apgaismotajā telpā ar vidējo spožumu 493 lx. Lai nodrošinātu kustības novērtēšanu ar tīklenes centrālo daļu un perifēriju, uz datora monitora tika atzīmēti fiksācijas punkti. Ja dalībnieka vadošā acs bija labā acs, tad, novērojot kustību ar tīklenes perifēriju, dalībnieks fiksēja skatu uz punktiem, kuri atradās pa labi no stimula. Savukārt, ja dalībnieka vadošā acs bija kreisā acs, tad fiksācijas punkti atradās pa kreisi no stimula (skat.2.1.att.). Tādējādi, tika izslēgta iespēja, ka, veicot uzdevumu pie ekscentriskās fiksācijas, stimulš trāpīs dalībnieka aklajā plankumā.



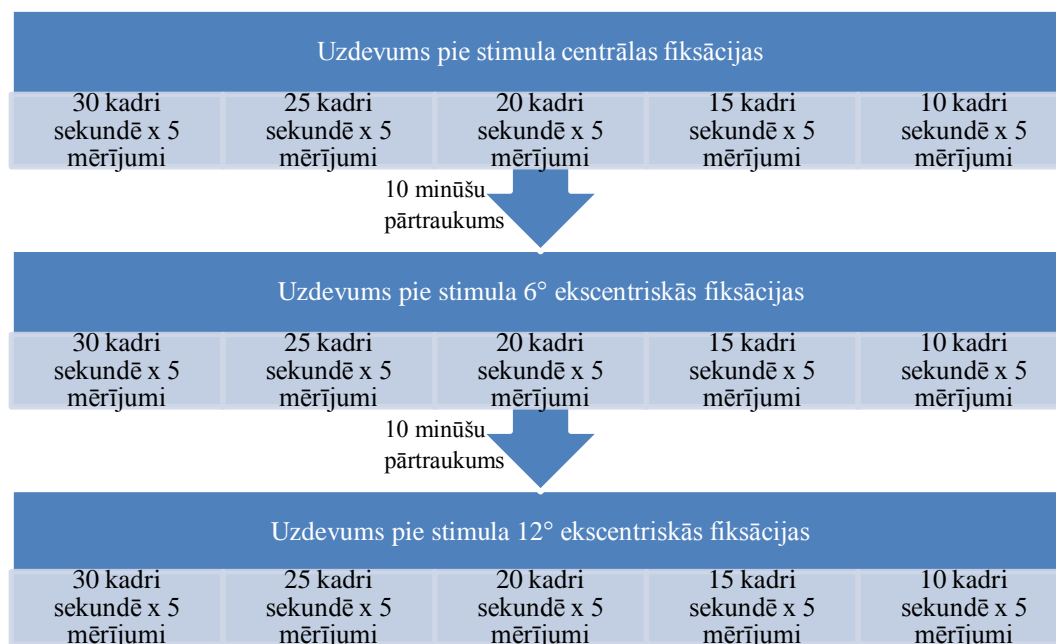
**2.1.att.** Izklaidēto punktu testa paraugs. Laukuma centrā atrodas testa stimuls, t.i., punkti. Blakus stimulam attiecīgajās pusēs atrodas atbilžu pogas ar koherentas kustības virzienu apzīmējumiem. Laukuma labajā augšējā pusē atrodas lodziņi dalībnieku datu ievadīšanai, kā arī uzstādījumu poga un programmas palaišanas poga „Sākt”. Ar sarkaniem krustiem ir atzīmēta aptuvena fiksācijas punktu atrašanas vieta.

#### 2.1.4. Darba gaitas apraksts

Eksperiments sastāvēja no trim sadaļām:

- 1.) Koherentas kustības uztveres sliekšņu noteikšana pie stimula centrālas fiksācijas;
- 2.) Koherentas kustības uztveres sliekšņu noteikšana pie stimula 6° ekscentriskas fiksācijas;
- 3.) Koherentas kustības uztveres sliekšņu noteikšana pie stimula 12° ekscentriskas fiksācijas.

Katrā sadaļā bija piedāvāti pieci nosacījumi – tika mainīts kadru skaits vienā stimula rādīšanas reizē. Pie katra nosacījuma dalībnieki veica uzdevumu piecas reizes. Pēc katras sadaļas dalībniekam piedāvāja 10 minūšu ilgu starpbrīdi. Darba gaitas shēma ir parādīta 2.2. attēlā.



**2.2.att.** Darba gaitas shematiskais attēlojums. Ir norādīts, kādā secībā dalībnieki pildīja uzdevumus.

Pirms uzdevumu veikšanas katram dalībniekam noteica vadošo aci tuvumā ar spoguļa testa palīdzību, kā arī monokulāru redzes asumu tuvumā. Dalībniekiem tika dota mutiskā instrukcija par testa veikšanu. Katram dalībniekam piedāvāja iekārtoties krēslā ērtākajā pozīcijā un tad tika nofiksēts darba attālums – 50 cm. Dalībnieki veica uzdevumu monokulāri, ar vadošo aci. Lai nodrošinātu uzdevuma saprašanu, dalībnieki vispirms divas reizes izpildīja izmēģinājuma testu, un tikai tad veica eksperimenta uzdevumus. Pirms uzsākt uzdevumu, dalībniekiem bija jāfiksē skats uz norādītu punktu uz ekrānu un tad jāspiež poga „Sākt”. Uz ekrāna parādījās kustīgie punkti. Kad punkti pazuda, dalībniekiem bija jāizvēlas, kurā no četriem virzieniem kustējās punkti un jānospiež attiecīgā poga. Atbilžu sniegšanas laiks bija neierobežots. Uzdevums beidzās, kad uz ekrāna parādījās rezultāts.

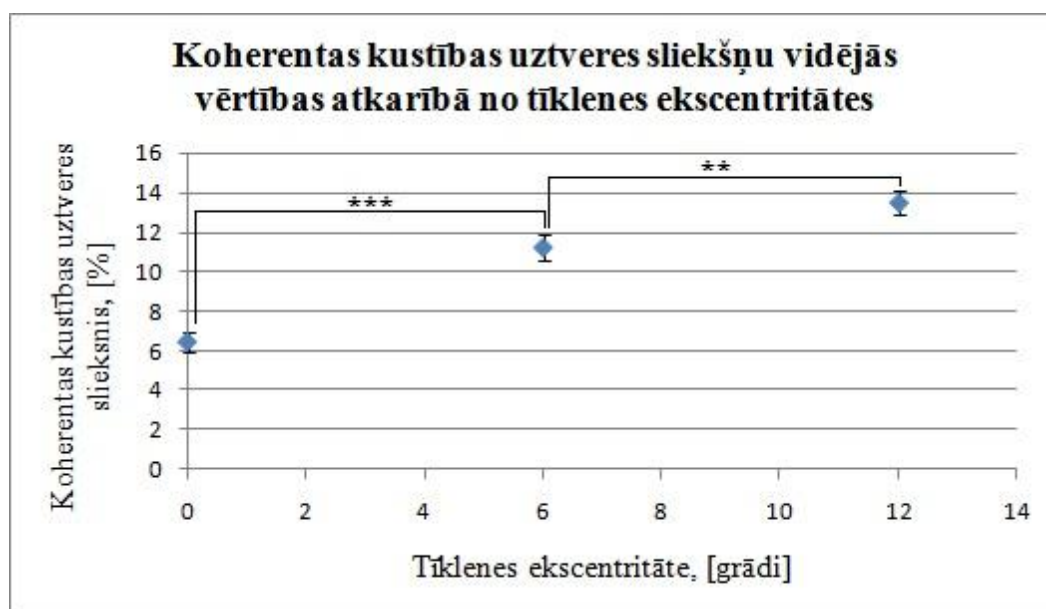
## 2.2. Rezultāti un analīze

Datu apstrādi un statistisko analīzi veica Microsoft Excel programmā. Datu statistiskai analīzei izmantoja Descriptive statistics rīku, ka arī T-test: Paired Two Sample For Means, ANOVA: Single Factor un ANOVA: Two-factor with replication.

## 2.2.1. Tīklenes ekscentritātes ietekme uz koherentas kustības uztveri

Lai novērtētu tīklenes ekscentritātes ietekmi uz koherentas kustības uztveri, koherentas kustības sliekšņu vērtības tika noteiktas pie trim stimula fiksācijām - tīklenes centrā, 6° un 12° ekscentriski.

Iegūtie rezultāti parāda, ka, virzoties prom no tīklenes centra jeb palielinot stimula fiksācijas leņķi, koherentas kustības jutība samazinās, t.i., koherentas kustības uztveres sliekšņi pieaug (skat.2.3.att.). Fiksējot stimulu tīklenes centrā, koherentas kustības uztveres sliekšnis ir  $6,41 \pm 0,50\%$ . Savukārt, novērtējot koherentu kustību 6° un 12° ekscentriski, sliekšņu vērtībās ir attiecīgi  $11,23 \pm 0,67\%$  un  $13,50 \pm 0,63\%$ . Sliekšņu vērtības tīklenes centrā un 6° vai 12° perifērijā ir būtiski atšķirīgi ar ticamības koeficientu  $p < 0,001$ . Savukārt, 6° un 12° ekscentriskās fiksācijas rezultāti ir būtiski atšķirīgi ar ticamības koeficientu  $p < 0,01$ .

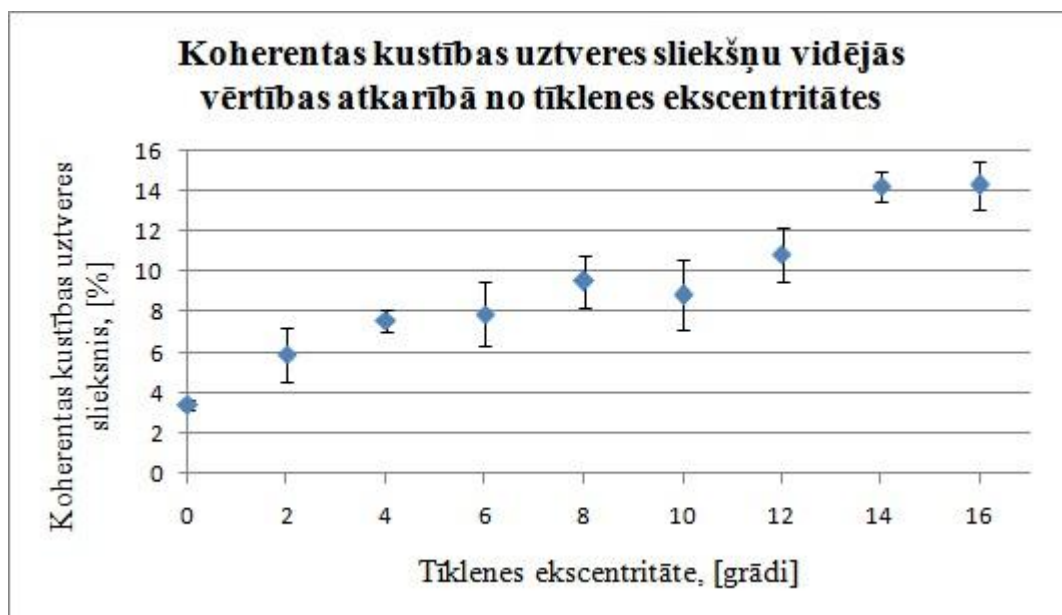


**2.3.att.** Koherentas kustības uztveres sliekšņu vidējās vērtības atkarībā no tīklenes ekscentritātes (visu dalībnieku rezultāti). \*\*Dati ir statistiski atšķirīgi ( $p < 0,01$ ).

\*\*\*Dati ir statistiski atšķirīgi ( $p < 0,001$ ).

Lai apskatītu detalizētāku koherentas kustības uztveres sliekšņu atkarību no tīklenes ekscentritātes, viens dalībnieks papildus veica kustības uztveres uzdevumus pie 2°, 4°, 8°, 10°, 14° un 16° ekscentritātes. Tika iegūtas sekojošas koherentas kustības uztveres sliekšņu vērtības: tīklenes centrā sliekšnis atbilda  $3,41 \pm 0,29\%$ , pie 2° ekscentritātes –  $5,88 \pm 1,33\%$ , pie 4° ekscentritātes –  $7,59 \pm 0,58\%$ , pie 6° ekscentritātes –  $7,91 \pm 1,57\%$ , pie 8° ekscentritātes –  $9,51 \pm 1,33\%$ , pie 10° ekscentritātes -  $8,84 \pm 1,72\%$ , pie 12° ekscentritātes –  $10,84 \pm 1,34\%$ , pie 14° ekscentritātes –  $14,25 \pm 0,74\%$  un pie 16° ekscentritātes –  $14,28 \pm 1,18\%$ . Statistiskā analīze parādīja, ka tīklenes ekscentritātei ir būtiska ietekme uz koherentas

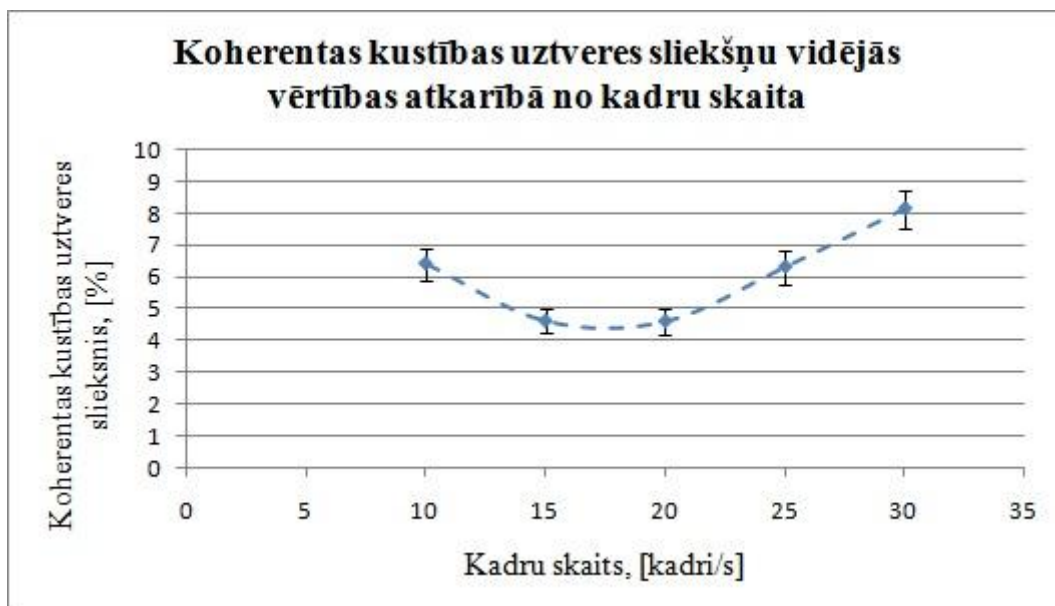
kustības uztveres sliekšņu vērtībām ( $p < 0,001$ ). Šie dati apstiprina iepriekš iegūtos rezultātus – jo tālāk no tīklenes centra fiksē stimulu, jo grūtāk ir uztvert koherentu kustību (skat.2.4.att.).



**2.4.att.** Koherentas kustības uztveres sliekšņu vidējās vērtības atkarībā no tīklenes ekscentritātes (viena dalībnieka rezultāti – detalizētāks tīklenes ekscentritātes un kustības uztveres mijiedarbības apskats).

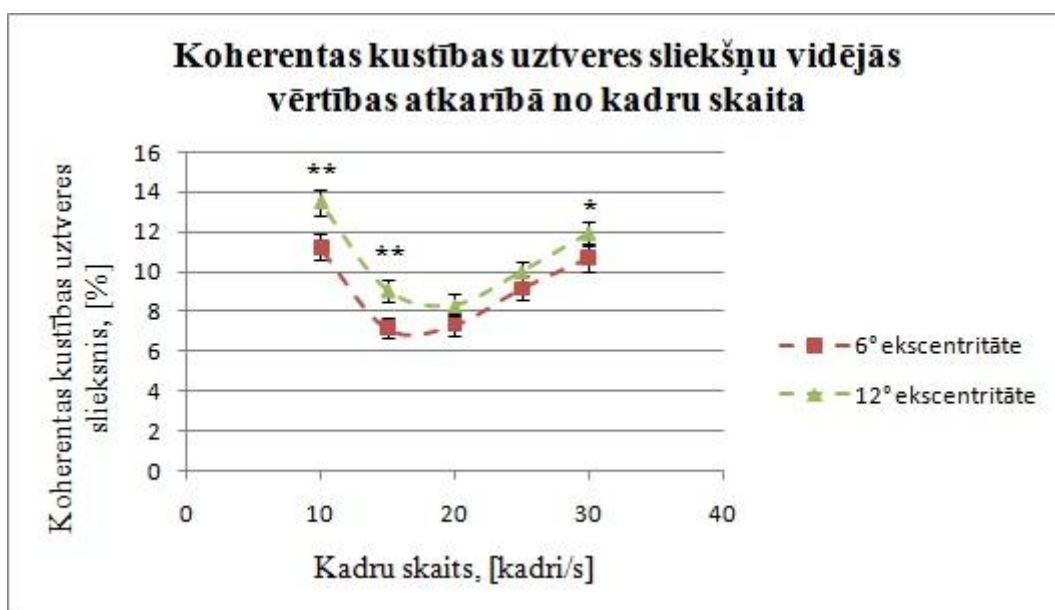
### 2.2.2. Kadru skaita ietekme uz koherentas kustības uztveri

Koherentas kustības uztveres sliekšņu atkarība no kadru skaita ir parādīta 2.5. attēlā. Ir novērojams, ka, neskatoties uz konstantu stimula kustības ātrumu  $2^\circ/s$ , mainot stimula pārvietojumu, koherentas kustības sliekšņu vērtības arī mainās. Vislabākais rezultāts, t.i., zemākais koherentas kustības uztveres sliekšnis ir novērojams pie 20 un 15 kadriem sekundē un ir attiecīgi  $16,52 \pm 0,38\%$  un  $16,53 \pm 0,32\%$  liels. Šiem datiem statistiska atšķirība netika pierādīta. Savukārt, gan pie mazāka, gan pie lielāka kadru skaita sekundē, sliekšņu vērtības pieaug. Augstākais koherentas kustības uztveres sliekšnis ir novērojams pie 30 kadriem sekundē un atbilsts  $19,56 \pm 0,50\%$ .



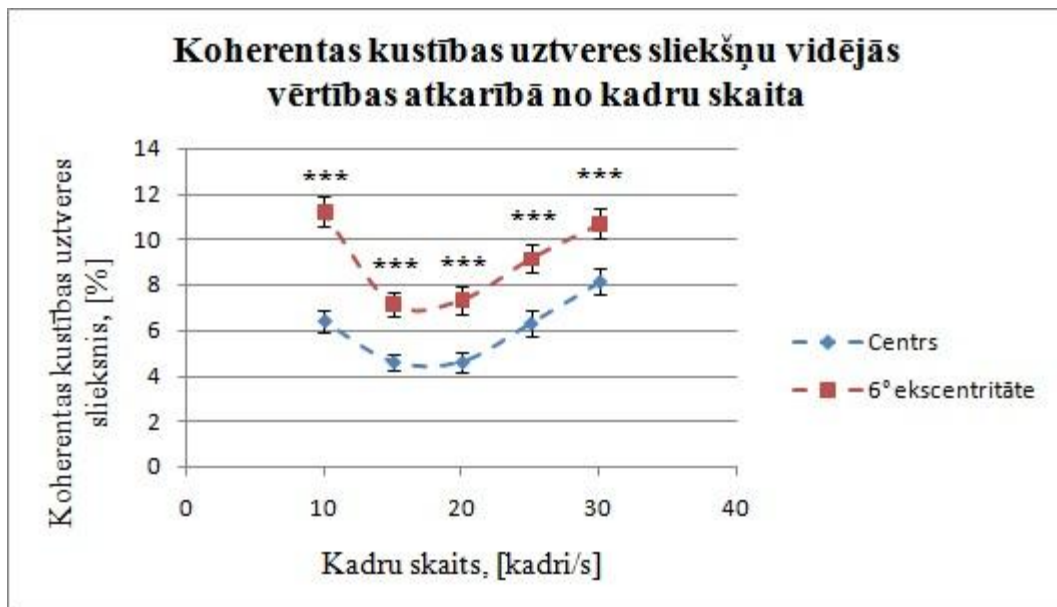
**2.5.att.** Koherentas kustības uztveres sliekšņu vidējās vērtības atkarībā no kadru skaita, fiksējot stimulu tīklenes centrā (visu dalībnieku rezultāti).

Līdzīgi rezultāti tika iegūti pie stimula ekscentriskās fiksācijas. Novērojot koherentu kustību pie 6° ekscentritātes, zemākas sliekšņu vērtības ieguva pie 20 kadriem sekundē ( $18,91 \pm 0,52\%$ ) un 15 kadriem sekundē ( $18,77 \pm 0,45\%$ ). Dati nav statistiski atšķirīgi. Augstākās vērtības ieguva pie 10 kadriem sekundē ( $22,32 \pm 0,58\%$ ) un 30 kadriem sekundē ( $21,86 \pm 0,59\%$ ), kuras arī nav statistiski atšķirīgas. Arī pie stimula 12° ekscentriskās fiksācijas augstāka koherentas kustības jutība novērojama pie 20 kadriem sekundē ( $19,77 \pm 0,49\%$ ) un 15 kadriem sekundē ( $20,44 \pm 0,50\%$ ), bet zemāka – pie 10 kadriem sekundē ( $24,32 \pm 0,55\%$ ) (skat.2.6.att.).



**2.6.att.** Koherentas kustības uztveres sliekšņu vidējās vērtības atkarībā no kadru skaita, fiksējot stimulu tīklenes 6° un 12° perifērijā (visu dalībnieku rezultāti). \*Dati ir statistiski atšķirīgi ( $p < 0,05$ ). \*\*Dati ir statistiski atšķirīgi ( $p < 0,01$ ).

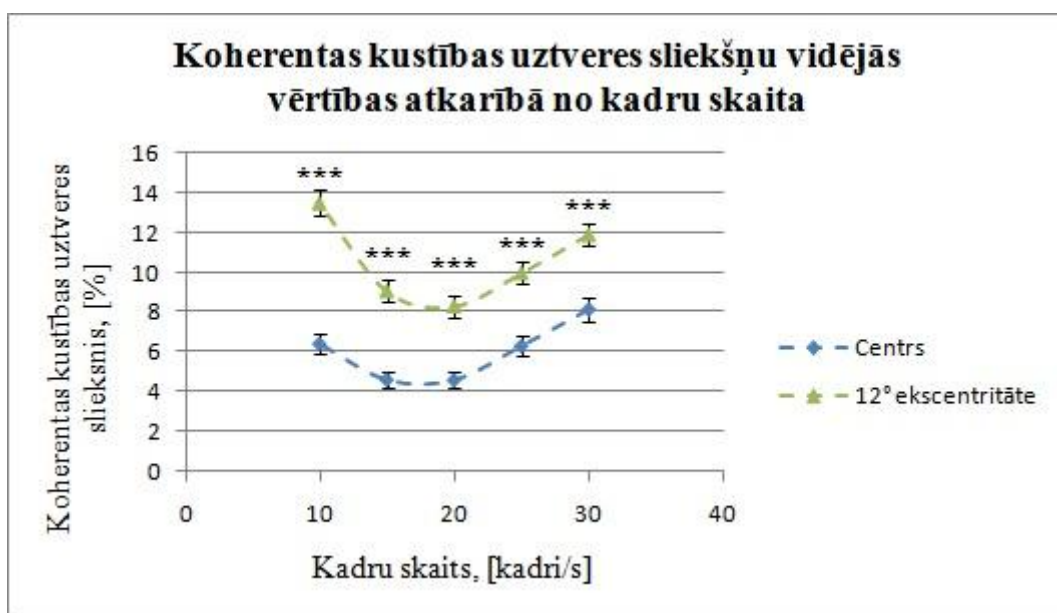
2.7.attēlā ir parādītas sliekšņu vidējās vērtības pie stimula centrālas fiksācijas un 6° ekscentriskās fiksācijas pie pieciem dažādiem kadru skaitiem sekunde. Rezultāti parāda, ka kadru skaits sekundē neietekmē tīklenes ekscentritātes un sliekšņu vērtību sakarību. Tātad, neatkarīgi no kadru skaita sekundē, koherentas kustības uztveres sliekšņi pieaug, palielinoties ekscentriskai fiksācijai.



**2.7.att.** Koherentas kustības uztveres sliekšņu vidējās vērtības atkarībā no kadru skaita, fiksējot stimulu tīklenes centrā un 6° perifērijā (visu dalībnieku rezultāti).

\*\*\* Dati ir statistiski atšķirīgi ( $p < 0,001$ ).

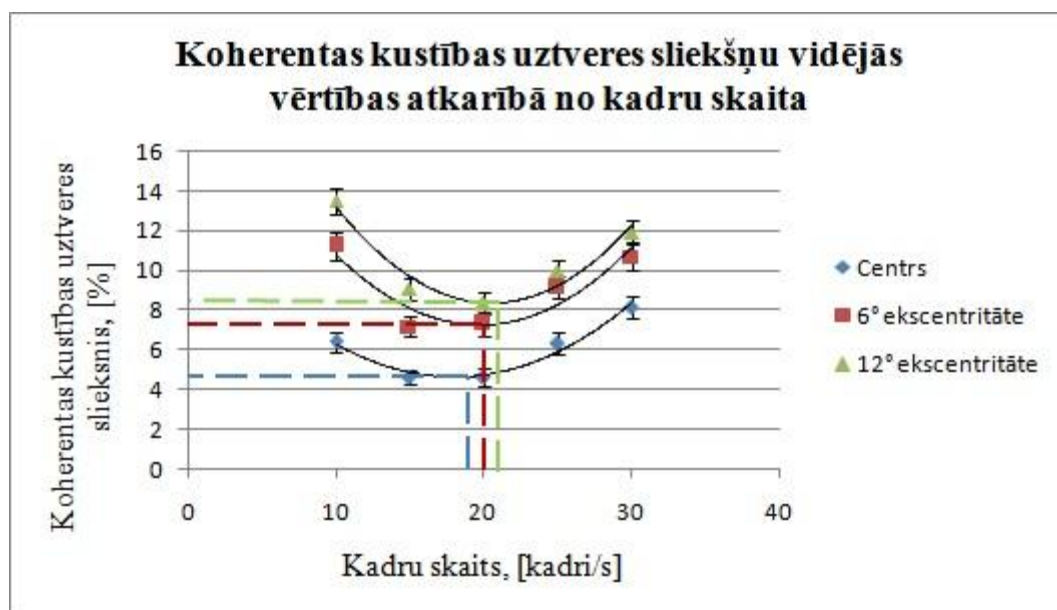
Līdzīga sakarība ir novērojama 2.8.attēlā, kur ir norādītas vidējās vērtības pie stimula centrālas fiksācijas un 12° ekscentriskās fiksācijas.



**2.8.att.** Koherentas kustības uztveres sliekšņu vidējās vērtības atkarībā no kadru skaita, fiksējot stimulu tīklenes centrā un 12° perifērijā (visu dalībnieku rezultāti).

\*\*\* Dati ir statistiski atšķirīgi ( $p < 0,001$ ).

Lai noteiktu minimālo vērtību, t.i., kadru skaitu, pie kura koherentas kustības uztveres sliekšnis ir viszemākais, rezultātiem tika piekārtota otrās kārtas polinoma funkcija (skat.2.9.att.). Novērojot kustību ar tīklenes centrālo daļu, visaugstāko kustības jutību ieguva pie 19 kadriem sekundē. Sliekšņa vērtība šajā punktā atbilst 4,38%. Pie stimula 6° ekscentriskās fiksācijas visaugstāko kustības jutību ieguva pie 20 kadriem sekundē un kustības sliekšņa vērtība atbilst 6,95%. Savukārt, fiksējot stimulu 12° ekscentriski, visaugstāko kustības jutību ieguva pie 21 kadriem sekundē un kustības sliekšņa vērtība atbilst 8,24%.



**2.9.att.** Koherentas kustības uztveres sliekšņu vidējās vērtības atkarībā no kadru skaita un stimula fiksācijas (visu dalībnieku rezultāti). Melnās nepārtrauktas līnijas reprezentē otrās kārtas polinoma funkcijas. Krāsainās pārtrauktas līnijas attēlo funkcijas minimālo vērtību un tās atrašanās vietu uz x un y ass (pie kāda kadru skaita sekundē kustības jutība ir visaugstākā).

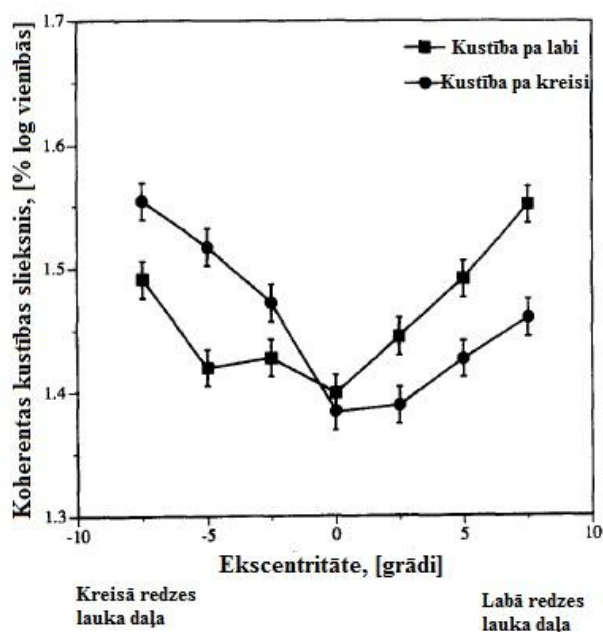
Kā iepriekš bija minēts, neatkarīgi no stimula fiksācijas, viszemākās koherentas kustības uztveres sliekšņu vērtības ieguva pie 15 un 20 kadriem sekundē un rezultāti nebija statistiski atšķirīgi. Polinoma funkcija rāda, ka augstāka koherentas kustības jutība ir tomēr pie 20 kadriem sekundē.

Kopumā statistiskā analīze parādīja, ka gan ekscentritāte, gan kadru skaits būtiski ietekmē koherentas kustības uztveres jutību ( $p < 0,001$ ).

### 2.3. Diskusija

Eksperimentā iegūtie rezultāti apstiprināja darbā izvirzīto hipotēzi: kustības jutība būs augstāka pie stimula centrālas fiksācijas. Rezultāti parādīja, ka, novērojot kustīgu stimulu ar

tīklenes perifēriju, koherentas kustības jutība samainās. Turklāt, jo tālāk no fovejas atrodas stimul, jo augstāki ir koherentas kustības uztveres sliekšņi. Līdzīgus rezultātus ieguva *Raymond* (1994), salīdzinot kustības sliekšņus tīklenes centrā un 2,5°, 5° un 7,5° perifērijā. Papildus *Raymond* (1994) salīdzināja kustības uztveri tīklenes nazālajā un temporālajā pusē. Tika noskaidrots, ka kustības uztvere ir atšķirīga tīklenes nazālajā un temporālajā daļā, kā arī to ietekmē kustības virziens (skat.2.10.att.). Ja salīdzināt vidējās vērtības, neņemot vērā kustības virzienu, tad iegūst, ka koherentas kustības uztveres sliekšņi simetriski pieaug abās tīklenes perifērajās daļās ( $p < 0,001$ ). Pie centrālās fiksācijas vidējās vērtības atbilst 24%, bet pie 7,5° ekscentritātes – 32%.



**2.10.att.** Koherentas kustības uztveres sliekšņu vidējās vērtības atkarībā no tīklenes ekscentritātes, rādot dalībniekiem kustību pa labi un pa kreisi. Sliekšņi pie ekscentriskās fiksācijas tika noteikti gan redzes lauka labajā pusē, gan redzes lauka kreisajā pusē (*Raymond* (1994)).

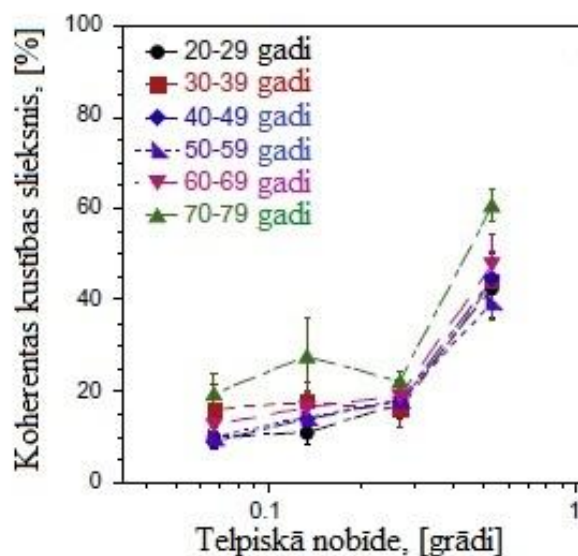
*Finlay* (1982) raksta, ka kustības uztvere tīklenes perifērijā ir atkarīga no kustības veida un parametra, kuru mēs gribam noteikt. Ja cilvēkam rāda statisku objektu un viņa uzdevums ir noteikt brīdi, kad šis objekts sāks kustēties, t.i., globāli atšķirts statisku stimulu no kustīga, tad tajā brīdī augstākā kustības jutība būs novērojama tīklenes perifērijā. Statisks objekts, kurš atrodas tīklenes perifērijā, nepievērš sev uzmanību un cilvēkam ir neredzams. Tāpēc pie mazākas objekta novietojuma izmaiņas telpā, cilvēks to spēj izšķirt. Savukārt, ja cilvēkam tiek dots precīzāks uzdevums, piemēram, noteikt kustības virzienu, novērtēt stimula kustības ātrumu u.c., tad šajā gadījumā tīklenes centrālā daļa būs precīzāka šāda uzdevuma izpildē.

Pētījums par tīklenes ekscentritātes ietekmi uz koherentas kustības uztveres sliekšņiem tika uzsākts 2015. gadā (*Marcinkeviča*, 2015). Šajā pētījumā salīdzināja sliekšņu vērtības pie

stimula centrālas fiksācijas, 12° un 22° ekscentriskās fiksācijas. Autors ieguva, ka, novērojot stimulu ar kustības ātrumu 2°/s, pie stimula centrālās fiksācijas koherentas kustības uztveres sliekšnis atbilda  $14,4 \pm 1,4\%$ , bet pie ekscentriskās fiksācijas 12° un 22° attiecīgi  $11,7 \pm 0,8\%$  un  $12,2 \pm 0,8\%$ . Savukārt, kad stimuls kustējās ar ātrumu 5°/s, sliekšņu vērtības atbilda  $25,9 \pm 1,5\%$  (stimulam atrodoties tīklenes centrā),  $30,9 \pm 1,7\%$  (stimulam atrodoties 12° perifērijā) un  $28,0 \pm 1,9\%$  (stimulam atrodoties 22° perifērijā). Iegūtie rezultāti ir neviennozīmīgi un atšķiras no šī pētījuma rezultātiem, kā arī no literatūras. Viens no faktoriem, kas varētu ietekmēt rezultātus, var būt izmantotais tests. 2015. gada pētījumā tika izmantots izkliedēto punktu tests ar atšķirīgu uzbūvi un stimula punktu kustības īpašībām.

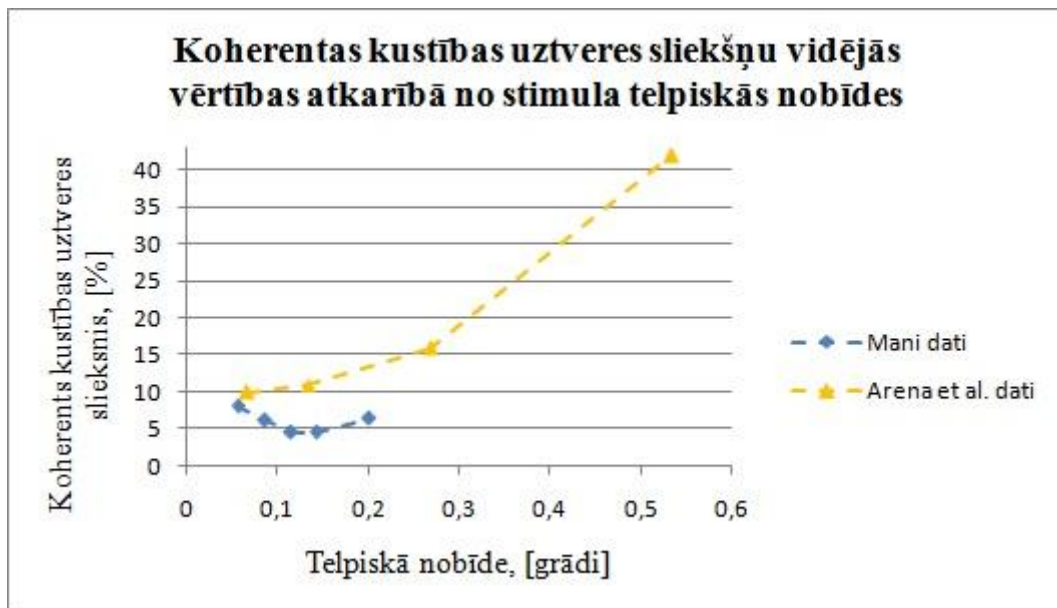
Maģistra darbā iegūtie rezultāti par kadru skaita izmaiņu ietekmi uz koherentas kustības uztveri daļēji sakrīt ar *Arena, Hutchinson & Shimozaki (2012)* iegūtajiem rezultātiem (skat.2.11.att.). Savā eksperimentā *Arena, Hutchinson & Shimozaki (2012)* mainīja stimula punktu pārvietojumu no 0,067° līdz 0,534° (attiecīgi mainot kadru skaitu no 32 līdz 4), saglabājot stimula kustības ātrumu 2,5°/s. Autoru rezultāti parāda, ka, palielinot stimula punktu pārvietojumu jeb samazinot kadru skaitu, koherentas kustības uztveres sliekšņi būtiski pieaug, turklāt neatkarīgi no dalībnieku vecuma. Koherentas kustības uztveres sliekšnis pie mazāka stimula pārvietojuma 0,067° atbilst aptuveni 10%, bet pie lielāka stimula pārvietojuma – 42%. Tas nozīmē, ka sliekšņa vērtības palielinās četras reizes. Tātad pie liela pārvietojuma un maza kadru skaita būtiski samazinās informācijas daudzums par kustību, kas samazina spēju izšķirt kustības virzienu.

Tā kā maģistra darba eksperimentā koherentas kustības uztveres sliekšņus novērtēja vienas vecuma grupas cilvēkiem, tad turpmāk tiks salīdzināti šajā pētījumā iegūtie rezultāti ar *Arena, Hutchinson & Shimozaki (2012)* datiem, kuri atbilst vecuma grupai 20-29 gadi (piedalījās 11 cilvēki). 2.11.attēlā redzams, ka mainot stimula pārvietojumu no 0,067° līdz 0,268°, sliekšņu vērtības palielinās, bet būtiskas izmaiņas nav redzamas. Visas sliekšņu vērtības atrodas 10% – 20% diapazonā. Savukārt, palielinot stimula punktu pārvietojumu līdz 0,534°, koherentas kustības uztveres sliekšnis būtiski pieaug līdz 42%. Kopumā ir novērojama tendence, ka, palielinot stimula punktu pārvietojumu, sliekšnis pieaug.



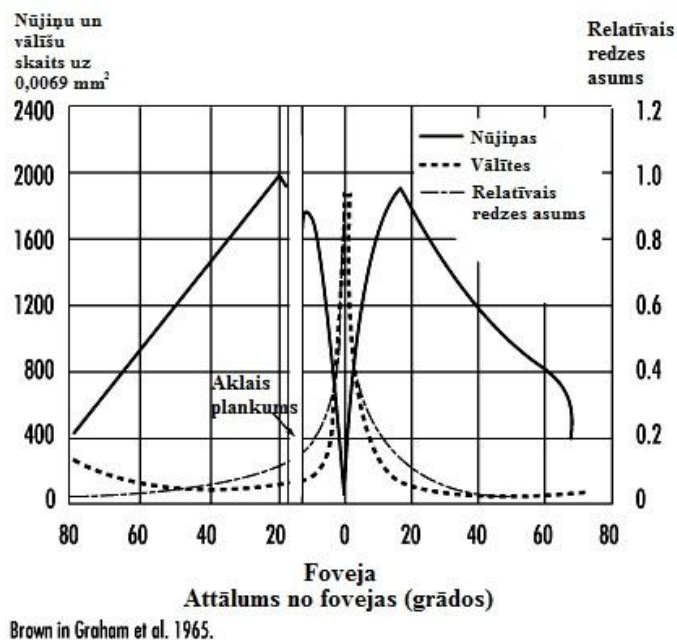
**2.11.att.** Koherentas kustības uztveres sliekšņu vidējās vērtības atkarībā no telpiskās nobīdes katrai vecuma grupai. Punktu telpisko nobīdi mainīja no  $0,067^\circ$  līdz  $0,543^\circ$ , saglabājot stimula kustības ātrumu konstantu  $-2,5^\circ/s$  (Arena, Hutchinson & Shimozaki (2012)).

Savukārt maģistra darbā nav novērojama šāda lineārā sakarība. Iegūtie rezultāti parāda, ka pie mazāka pārvietojuma (lielāka kadru skaita) sliekšņu vērtības ir augstas. Tad tās samazinās, veidojot minimālo vērtību pie 19 kadriem sekundē. Un, palielinot pārvietojumu vēl vairāk, sliekšņu vērtības atkal būtiski pieaug (skat.2.5.att.). Jā pārveido grafikus vienādās vienībās, tad sanāk, ka šis pētījums atbilst Arena, Hutchinson & Shimozaki (2012) apgabalam no  $0,067^\circ$  līdz  $0,268^\circ$  (skat.2.12.att.). Līdz ar to sanāk, ka, maģistra darba pētījums šajā apgabalā tika veikts detalizētāk, izmantojot vairākus stimula pārvietojumus. Tāpēc Arena, Hutchinson & Shimozaki (2012) pētījumā iegūtā lineārā sakarība, mūsu gadījumā nav lineāra. Tādēļ nav iespējams precīzi salīdzināt datus un apgalvot, ka abos pētījumos iegūtie dati ir līdzīgi vai atšķirīgi. Nav zināms, kādus rezultātus iegūtu Arena, Hutchinson & Shimozaki (2012), ja sava pētījumā autori izmantotu stimula pārvietojumus, kuri bija izmantoti šajā pētījumā. Tomēr, abi eksperimenti parādīja, ka stimula pārvietojums ietekmē koherentas kustības uztveri. Tāpēc, veicot pētījumu un aprakstot pielietotus parametrus, norādīt tikai stimula kustības ātrumu nav korekti, jo koherentas kustības jutību ietekmē ātruma iekšējais parametrs  $\Delta x$  jeb pārvietojums.



**2.12.att.** Koherents kustības uztveres sliekšņu vidējās vērtības atkarībā no stimula telpiskās nobīdes. Grafikā ir attēloti šī pētījuma iegūtie rezultāti un aptuvenie *Arena, Hutchinson & Shimozaki (2012)* dati (savā darbā autori nav norādījuši precīzas iegūtās vērtības).

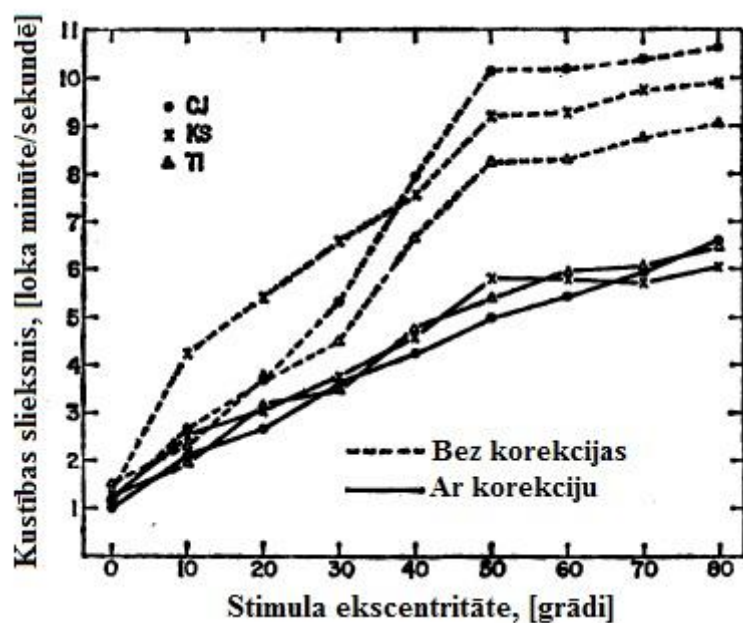
Iegūtā sakarība starp tīklenes ekscentritāti un koherents kustības uztveres sliekšņiem liek aizdomāties, kāpēc tīklenes perifērijā sliekšņu vērtības ir augstākas. Viens no iemesliem varētu būt redzes asuma samazinājums tīklenes perifērijā (skat.2.13.att.).



**2.13.att.** Nūjiņu un vāļiņu blīvuma grafiks salīdzinājumā ar relatīvo redzes asumu attiecīgajā redzes lauka daļā.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Stellman, J.M., Gillespie, R.M. (n.d.) *ILO Encyclopedia of Occupational Health and Safety*. Pieejams: <http://www.ilocis.org/documents/chpt11e.htm>

Eksperimentos lieto stimulus, kuru izmērs atbilst tīklenes centrālās daļas redzes asumam. Dalībniekam novērojot stimulu ekscentriski, stimula izmērs netiek mainīts un pielāgots tīklenes perifērijai. Varbūt tieši šis aspekts ietekmē iegūtos rezultātus. *Leibowitz, Johnson & Isabelle (1972)* aprakstīja eksperimentu, kurā novērtēja kustības uztveri ar un bez refraktīvās kļūdas korekcijas. Pētījumā salīdzināja kustības jutību tīklenes centrā un perifērijā līdz 80°. Ar dinamiskās retinoskopijas palīdzību dalībniekiem novērtēja refraktīvo kļūdu visos tīklenes punktos (gan centrā, gan perifērijā), kuros tika pārbaudīta kustības uztvere. Rezultātā ieguva, ka, gan ar, gan bez korekcijas, kustības jutība samazinājās, palielinoties perifērijai (skat.2.14.att.). Tomēr, ar refraktīvās kļūdas korekciju tīklenes perifērijā rezultāti uzlabojās, kaut gan palika augstāki nekā tīklenes centrā. Tātad *Leibowitz, Johnson & Isabelle (1972)* rezultāti rāda, ka redzes asums daļēji ietekmē kustības jutību, radot augstākus sliekšņus. Bet kopumā sakarība nemainās – palielinoties tīklenes ekscentritātei, kustības uztveres sliekšņu vērtības pieaug. Tomēr šiem rezultātiem nevar pilnīgi uzticēties, jo sava darba autori nav norādījuši dalībnieku redzes asumu ar un bez korekcijas. Līdz ar to paliek neskaidrs, vai refraktīvās kļūdas korekcija tīklenes perifērijā ietekmē redzes asumu. Turklāt, salīdzinot rezultātus ar un bez korekcijas tīklenes centrā, ir redzams, ka korekcija būtiski neietekmē kustības uztveres sliekšņus tīklenes centrā.



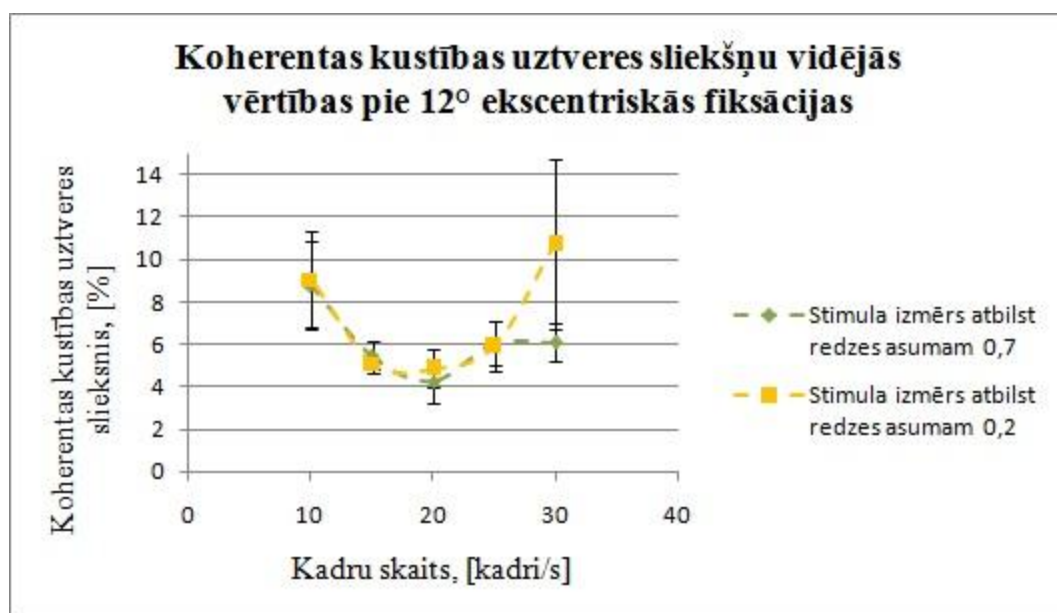
**2.14.att.** Kustības uztveres sliekšņi atkarībā no tīklenes ekscentritātes, veicot mērījumus ar un bez refraktīvās kļūdas korekcijas (*Leibowitz, Johnson & Isabelle (1972)*).

*Bower, Bian & Andersen (2012)* sava pētījuma arī novēroja tendenci, ka kustības uztveres sliekšņi pieaug palielinoties ekscentritātei. Papildus autori novērtēja dalībnieku redzes asumu. Protams, palielinoties tīklenes perifērijai, redzes asums samazinājās. Veicot

datu statistisko analīzi *Bower, Bian & Andersen (2012)* pierādīja, ka kustības atpazīšana nav atkarīga no redzes asuma. Kustības jutības samazinājums tīklenes perifērijā ir saistīts ar tīklenes uzbūvi (receptīvo lauku palielināšanos) un informācijas apstrādes izmaiņām augstākajos redzes centros.

Maģistra darba pētījuma ietvaros bija izmantoti stimuli, kuru izmērs sastādīja 7 loka minūtes. Novērojot stimulu 50 cm attālumā, stimul atbilda redzes asumam 0,7. Tā kā redzes asums tīklenes perifērijā samazinās un 12° perifērijā atbilst aptuveni 0,2 (skat.2.13.att.), var secināt, ka stimula izmērs bija pārāk mazs un neatbilda tīklenes perifērijas redzes asumam. Lai pārbaudītu, vai stimula izmērs ietekmē rezultātus, tika palielināts stimula izmērs. Tas tika panākts, projicējot izkliedēto punktu testu uz lielā ekrāna un mainot darba attālumu. Lai nodrošinātu attiecīgo stimula redzes asumu, dalībniekam bija jāatrodas 17 cm attālumā no ekrāna.

Koherentas kustības uztvere tīklenes perifērijā ar atbilstošu stimula izmēru tika pārbaudīta vienam dalībniekam pie 12° ekscentriskās fiksācijas. Rezultāti ir parādīti 2.15.attēlā. Papildus grafikā ir attēloti šī paša dalībnieka dati, novērojot kustību 12° ekscentriski ar stimula izmēru, kas atbilst redzes asumam 0,7. Salīdzinot rezultātus, var redzēt, ka dati, kuri tika iegūti, novērojot stimulu ar 12° perifērijai atbilstošu redzes asumu, gandrīz neatšķiras no sākotnējiem datiem. Šie rezultāti apstiprina *Bower, Bian & Andersen (2012)* teikto, ka, veicot koherentas kustības uztveres testus tīklenes centrā un perifērijā, stimula izmērs būtiski neietekmē rezultātus.



**2.15.att.** Koherentas kustības uztveres sliekšņu vidējās vērtības pie 12° ekscentriskās fiksācijas atkarībā no stimula izmēra (viena dalībnieka rezultāti).

Tomēr, apstrādājot viena dalībnieka rezultātus nevar apgalvot, ka šāda sakarība būs novērojama visiem cilvēkiem. Tāpēc, lai pārliecināties, ka šis pieņēmums ir patiess, būtu nepieciešams veikt mērījumus vairākiem cilvēkiem.

Novērtējot koherentas kustības uztveres sliekšņus tīklenes perifērijā ar tai atbilstošu stimula izmēru, tika noteikta sekojoša problēma. Lai radītu atbilstošu stimula izmēru, tika izmantots gan lielāks ekrāns, gan tika mainīts novērošanas attālums. Līdz ar to, iegūstot atbilstošu stimula izmēru ar novērošanas attāluma izmaiņu palīdzību, tika ierobežots kopēja stimula radīšanas lauka izmērs. Tāpēc dalībnieks nespēja redzēt visu stimula lauku. Tas noveda pie problēmas, ka dalībnieks vairs neredzēja 160 punktus, bet krietni mazāku punktu skaitu. Turklāt dalībnieks aplūkoja noteiktu rādīšanas laukuma daļu. Tādējādi, eksperimenta laikā dalībnieks redzēja atsevišķus testa punktus un sprieda par kustības virzienu, baltoties uz atsevišķu punktu kustība virzienu. Tātad, veicot testu tādos apstākļos, dalībniekam tiek novērtēta lokālas, nevis globālās kustības uztvere. Tāpēc rodas jautājums, vai šajā gadījumā vispār ir korekti runāt par koherentas kustības uztveri.

## SECINĀJUMI

1. Palielinot ekscentrisko fiksāciju, tīklenes jutība uz koherentu kustību samazinās, t.i., pieaug koherentas kustības uztveres sliekšņu vērtības.
2. Mainot kadru skaitu un attiecīgi punktu telpisko nobīdi un laika intervālu starp kadriem, bet, saglabājot stimula kustības ātrumu konstantu, būtiski mainās koherentas kustības uztveres sliekšņu vērtības. Augstāku kustības jutību var iegūt, rādot stimulu ar 15 vai 20 kadriem sekundē.
3. Balstoties uz otrās kārtas polinoma funkciju, koherentas kustības uztveres sliekšņu absolūtais minimums pie stimula centrālās fiksācijas ir novērojams pie 19 kadriem sekundē.
4. Kadru skaita izmaiņu ietekme uz koherentas kustības uztveres sliekšņiem ir līdzīga gan pie centrālas, gan pie ekscentriskas stimula fiksācijas.

## **NOBEIGUMS**

Ir apstiprināts, ka tīklenes centrālā daļa ir jūtīgāka pret koherentu kustību, īpaši ja, novērojot kustību, ir nepieciešams spriest par tās parametriem. Turpmākajos kustības uztveres pētījumos, ir ieteicams izvēlieties dabiskākus, ikdienā sastopamus stimulus (piemēram, video ar braucošu mašīnu), lai eksperimenta nosacījumus maksimāli pietuvinātu ikdienas apstākļiem. Vēl viens pētījuma virziens varētu būt saistīts ar padziļinātu kustības jutības novērtēšanu tīklenes perifērijā ar atbilstoša izmēra stimuliem.

Veidojot eksperimenta darba gaitas aprakstu, it īpaši ja darbā salīdzina stimula kustības ātruma ietekmi uz kustības uztveri, autoriem obligāti jānorāda ne tikai pielietotu kustības ātrumu, bet arī izmantotu stimula pārvietojumu un laika nobīdi. Tādējādi, citi pētnieki varēs precīzāk atkārtot pētījumus un būs korekti salīdzināt iegūtos rezultātus.

## **PATEICĪBAS**

Vēlos izteikt pateicību darba vadītājai Evitai Kassalietei par atsaucību un atbalstu visa maģistra darba tapšanas procesā, ka arī Renāram Trukšam par iespēju izmantot viņa izveidoto programmu.

Paldies dalībniekiem par piekrišanu piedalīties šajā pētījumā un izcilu pacietību.

## IZMANTOTĀ LITERATŪRA UN AVOTI

- Arena, A., Hutchinson, C. V., & Shimozaki, S. S. (2012). The effects of age on the spatial and temporal integration of global motion. *Vision Research*, 58, 27-32.
- Barton, J. J. S., Rizzo, M., Nawrot, M., & Simpson, T. (1996). Optical blur and the perception of global coherent motion in random dot cinematograms. *Vision Research*, 36(19), 3051-3059.
- Bennett, P. J., Sekuler, R., & Sekuler, A. B. (2007). The effects of aging on motion detection and direction identification. *Vision Research*, 47, 799-809.
- Bogfjellmo, L.-G., Bex, P. J., & Falkenberg, H. K. (2013). Reduction in direction discrimination with age and slow speed is due to both increased internal noise and reduced sampling efficiency. *Visual Psychophysics and Physiological Optics*, 54(8), 5204-5210.
- Bower, J. D., Bian, Z., & Andersen, G. J. (2012). Effects of retinal eccentricity and acuity on global motion processing. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 74(5), 942-949.
- Braddick, O., & Atkinson, J. (2011). Development of human visual function. *Vision Research*, 51, 1588-1609.
- Claassen, J., Bardins, S., Spiegel, R., Strupp, M., & Kalla, R. (2016). Gravity matters: Motion perceptions modified by direction and body position. *Brain and Cognition*, 106, 72-77.
- Delicato L. S., & Derrington, A. M. (2005). Coherent motion perception fails at low contrast. *Vision Research*, 45, 2310-2320.
- Finlay, D. (1982). Motion perception in the peripheral visual field. *Perception*, 11(4), 457-462.
- Hadad, B., Schwartz, S., Maurer, D., & Lewis, T. L. (2015). Motion perception: a review of development changes and the role of early visual experience. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 9(49), 1-18.
- Johnson, C. A., & Leibowitz, H. W. (1976). Velocity-time reciprocity in the perception of motion: foveal and peripheral determinations. *Vision Research*, 16(2), 177-180.
- Leibowitz, H. W., Johnson, C. A., & Isabelle, E. (1972). Peripheral motion detection and refractive error. *Science*, 177(4055), 1207-1208.
- Marcinkeviča, B. (2015). Koherentas kustības uztvere pie stimula centrālas un ekscentriskas fiksācijas (Bakalaura darbs). Latvijas Universitāte
- Mareschal, I., Bex, P. J., & Dakin, S. C. (2008). Local motion processing limits fine direction discrimination in the periphery. *Vision Research*, 48, 1719-1725.

- Masson, G. S., Mestre, D. R., & Stone, L. S. (1999). Speed tuning of motion segmentation and discrimination. *Vision Research*, 39, 4297-4308.
- Meier, K., & Giaschi, D. (2014). The maturation of global motion perception depends on the spatial and temporal offsets of the stimulus. *Vision Research*, 95, 61-67.
- Narasimhan, S., & Giaschi, D. (2012). The effect of dot speed and density on the development of global motion perception. *Vision Research*, 62, 102-107.
- Pilly, P. K., & Seitz, A. R. (2009). What a difference a parameter makes: A psychophysical comparison of random dot motion algorithms. *Vision Research*, 49, 1599-1612.
- Raymond, J. E. (1994). Directional anisotropy of motion sensitivity across the visual field. *Vision Research*, 34(8), 1029-1037.
- Scase, M. O., Braddick, O. J., & Raymond, J. E. (1996). What is noise for the motion system? *Vision Research*, 36(16), 2579-2586.
- Tynan, P. D., & Sekuler, R. (1982). Motion processing in peripheral vision: Reaction time and perceived velocity. *Vision Research*, 22, 61-68.

Maģistra darbs „Koherentas kustības uztveres atkarība no stimula ekscentritātes”  
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: Beāta Marcinkeviča  
Stud.apl.nr. bm12011

Rekomendēju/nerekomendēju darbu aizstāvēšanai  
Vadītāja: lektore, Dr.fiz. Evita Kassaliete

Recenzents: docents, Dr.fiz. Sergejs Fomins

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

Darbs aizstāvēts Valsts pārbaudījuma komisijas sēdē  
\_\_\_\_\_.protokola Nr. \_\_\_\_\_  
Komisijas sekretārs: \_\_\_\_\_