

LATVIJAS UNIVERSITĀTE
FIZIKAS UN MATEMĀTIKAS FAKULTĀTE
OPTOMETRIJAS UN REDZES ZINĀTNES NODAĻA

**VERĢENCES ATBILDES IZMAIŅAS ILGSTOŠAS
TUVUMA SLODZES IETEKMĒ**

MAGISTRA DARBS

Autore: **Ilga Gičevska**

Studentu apliecības Nr.: ig12088

Darba vadītāja: docente, Dr. phys. Aiga Švede

RĪGA 2017

ANOTĀCIJA

Maģistra darbs ir uzrakstīts latviešu valodā uz 29 lappusēm. Tas satur 17 attēlus, 3 tabulas un 29 atsauces uz literatūras avotiem.

Darba mērķis bija novērtēt, kā atkarībā no sakādiskā acu kustību uzdevuma mainās fiksācijas disparitāte. Sešiem dalībniekiem tika mērīta fiksācijas disparitāte pirms un pēc lielu un mazu sakāžu uzdevuma. Viennozīmīgas fiksācijas disparitātes izmaiņas pēc lielu un mazu sakāžu uzdevuma netiek novērotas, bet atsevišķos gadījumos ir būtiskas izmaiņas, kas norāda uz individuālām vergēnces sistēmas darbības īpatnībām.

Atslēgvārdi: vergēnces sistēma, fiksācijas disparitāte, sakādes, lasīšana.

ABSTRACT

The Master Thesis are written in Latvian on 29 pages. It contains 17 figures, 3 tables, and 29 references.

The purpose was to assess possible changes in fixation disparity depending on the saccadic task. Six participants had measurements of fixation disparity before and after large and small saccadic stimuli. Definite changes in fixation disparity before and after saccadic eye movements were not observed, but, in some cases, there were significant changes, that demonstrate individual features of the vergence system.

Key words: vergence system, fixation disparity, saccades, reading

SATURS

Ievads	1
1. Literatūras pārskats	2
1.1. Verģences sistēma	2
1.2. Konverģence un diverģence	4
1.3. Sakādes	6
1.5. Verģences un sakāžu savstarpējā saistģba	7
1.6. Verģences sistēmas nogurums pēc sakādes uzdevumiem	10
1.7. Fiksācijas disparitāte	12
2. Pētģjuma daļa	14
2.1. Pētģjuma dalģbnieki	14
2.2. Iekārta	14
2.3. Eksperimenta gaita	15
2.4. Rezultāti	16
2.4.1. Fiksācijas disparitātes atkārtojamģba	16
2.4.2. Fiksācijas disparitātes izmaiņas pēc lielu sakāžu uzdevuma	17
2.4.3. Fiksācijas disparitātes izmaiņas pēc mazu sakāžu uzdevuma	19
2.4.4. Fiksācijas disparitātes izmaiņas pēc lielu un mazu sakāžu uzdevuma	21
2.5. Diskusģja	22
Secināģjumi	24
Nobeģgums	25
Pateicģbas	26
Izmantotā literatģra	27

IEVADS

Mūsdienās ļoti lielai daļai cilvēku ikdienas dzīve ir saistīta ar darbu tuvumā. Šo slodzi rada gan telefoni, gan datori, gan lasīšana, kas ir iemesls vispārējam redzes sistēmas nogurumam. Tuvuma slodze ietekmē gan sakādes, gan vergence kustības.

Binokulārā fiksācijas pārslēgšanās no vienas interesējošās vietas uz otru interesējošo vietu nodrošina kombinētas versiju un vergenču acu kustības. Atsaucoties uz *Zee et al.* (1992), lasīšanas process sastāv no sakāžu un vergenču kopdarbības. Lasīšanas procesā galvenā ir vergences sistēma, kura arī galvenokārt izjūt izmaiņas pēc darba tuvumā. *Jaschinski* (2017) apgalvo, ka attiecīgais lasīšanas attālums ietekmē gan vergences fiksācijas disparitāti, gan arī astenopisko sūdzību daudzumu. Ja šī slodze tuvumā ir liela, tad var rasties sūdzības, kuras no attiecīgās slodzes var būt gan īslaicīgas, gan ilglaicīgas. Atkarībā no sakāžu darbības un lieluma attiecīgi tiek radīts arī vergenču sistēmas nogurums.

Darba mērķis: novērtēt, kā atkarībā no sakādiskā acu kustību uzdevuma mainās fiksācijas disparitāte.

Darba uzdevumi:

1. Izvērtēt fiksācijas disparitātes izmaiņas pirms un pēc liela apjoma sakādiskām acu kustībām.
2. Izvērtēt fiksācijas disparitātes izmaiņas pirms un pēc maza apjoma sakādiskām acu kustībām.
3. Salīdzināt fiksācijas disparitātes izmaiņas pirms un pēc liela un maza apjoma sakādiskām acu kustībām.

1. LITERATŪRAS PĀRSKATS

1.1. Verģences sistēma

Verģences sistēma ir atbildīga par konverģentām un diverģentām acu kustībām, kas ļauj izvērtēt stimula dziļumu. Šīs acu kustības tiek veiktas ar mediālo un laterālo taisno muskuļu palīdzību, kas ļauj kustēties acs ābolam līdz attēls ir nonācis uz abu acu fovejām. (Alvarez, et al., 2005).

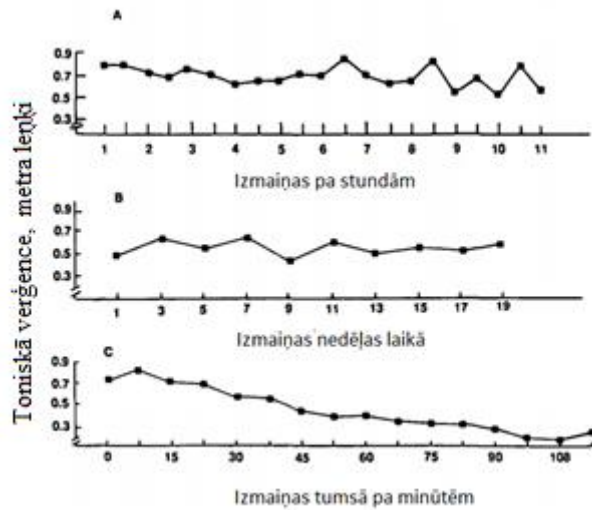
Kopējai verģences atbildēsi izšķir četras komponentes:

- toniskā verģence,
- akomodatīvā verģence,
- fuzionālā verģence,
- proksimālā verģence.

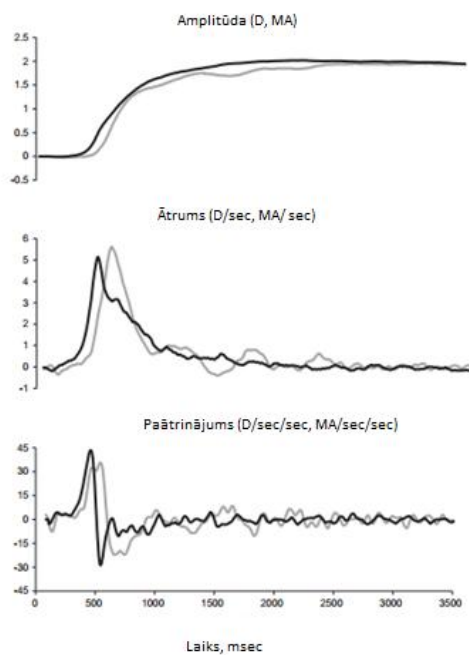
Toniskā verģence ietekmē okulomotoro inervāciju, kas nepieciešama, lai sasniegtu un saglabātu fiksāciju konkrētā attālumā. Praksē toniskās verģences mērijumus var ietekmēt fiksācijas disparitāte, forija, verģences darbības spēja, piemēram, konverģences amplitūda. Ilgā laika posmā toniskās verģences stabilitāti pavisam precīzi ir grūti nomērijt, jo vienmēr tiek iesastīta akomodatīvā verģence.

Fisher, et al. (1988) savā pērijumā apskatīja toniskās verģences izmaiņas dažādos laika periodos (skat. 1.1. att.). Vidējās toniskās verģences vērtību izmaiņas dienas laikā bija no 0,47 MA līdz 0,82 MA (metra leņķi). Tomēr lielākās toniskās verģences izmaiņas tika novērotas tieši divu stundu periodā tumsā, kur vērtības svārstījās no 0,21 MA līdz 0,86 MA. Toniskā verģence tumsā kļūst mazāk konverģenta, ja tumsā tiek pavadīts ilgāks laika posms.

Akomodatīvās verģences izmaiņu stimulē akomodācijas izmaiņa, kas rodas kā atbilde uz izplūdušu tīklenes attēlu, piemēram, izmainoties fokusa attālumam. Kā redzams 1.2. attēlā, tad atšķirība starp akomodatīvās verģences un akomodācijas latenci konkrētajam dalībniekam ir 100 ms, vidēji šī atšķirība ir 110-115 ms (Maxvell, et al., 2010).



1.1. att. Toniskās vergēnces izmaiņas (A) dienas laikā, sekojot pa stundām, (B) izmaiņas nedēļas laikā un (C) izmaiņas pilnīgā tumsā, sekojot pa minūtēm (*Fisher, et al., 1988*).



1.2. att. Akomodatīvās vergēnces (melnās līnijas) un akomodācijas (pelēkā līnija) amplitūdas, ātruma un paātrinājuma izmaiņas vienam dalībniekam (*Maxvell, et al., 2010*).

Akomodatīvās vergēnces un akomodācijas attiecību var izteikt ar AK/A lielumu. Ja AK/A attiecība ir paaugstināta vai pazemināta, tas liecina par vergēnces sistēmas traucējumiem. Paaugstināta AK/A attiecība liecina par konverģences ekscesu (*Hughes, 1967*). Pētījumi liecina, ka AK/A lielums ir visaugstākais miopiem, emetropiem AK/A attiecība ir zemāka nekā miopiem un hipermtropiem tā ir viszemākā. Ja AK/A attiecība ir nedaudz

paaugstināta emetriem, tad tas var liecināt par vēlāku miopijas attīstību. AK/A attiecība ar gadiem būtiski nemainās (*Mutti, et al., 2000*).

Fuzionālā verģence jeb disparitātes verģence darbojas, lai samazinātu tīklenes disparitāti un lai attēls tiktu nobīdīts pēc iespējas tuvāk foveai.

Proksimālā verģence rodas liela konverģences leņķa izmaiņu dēļ, tas ir, kad ir nepieciešams pāriet no tāluma uz tuvumu, piemēram, skatoties uz kādu objektu tālumā un tad strauji paskatīties uz kādu tekstu avīzē, kur strauji tiek mainīts diezgan liels konverģences leņķis (*Salmon, 2007*).

1.2. Konverģence un diverģence

Ja skata virziens tiek mainīts no tāluma uz tuvumu, to sauc par konverģentām acu kustībām, bet, ja skata virziens tiek mainīts no tuvuma uz tālumu, to sauc par diverģentām acu kustībām. *Hung, et al. (1986)*, *Hung, et al. (1994)* un *Zee, et al. (1992)*, analizējot savus pētījuma datus, ir nonākuši pie kopēja secinājuma, ka konverģences darbība ir ātrāka nekā diverģences darbība. *Hung, et al. (1994)* pētījumā konverģences darbība bija pat divas reizes ātrāka nekā diverģences darbība. Tomēr citos pētījumos šī teorija tiek apgāzta, jo rezultāti liecina par to, ka tīrai diverģences un konverģences sistēmas darbībai ir ļoti līdzīgs darbības ātrums (*Collewijn, et al., 1995*).

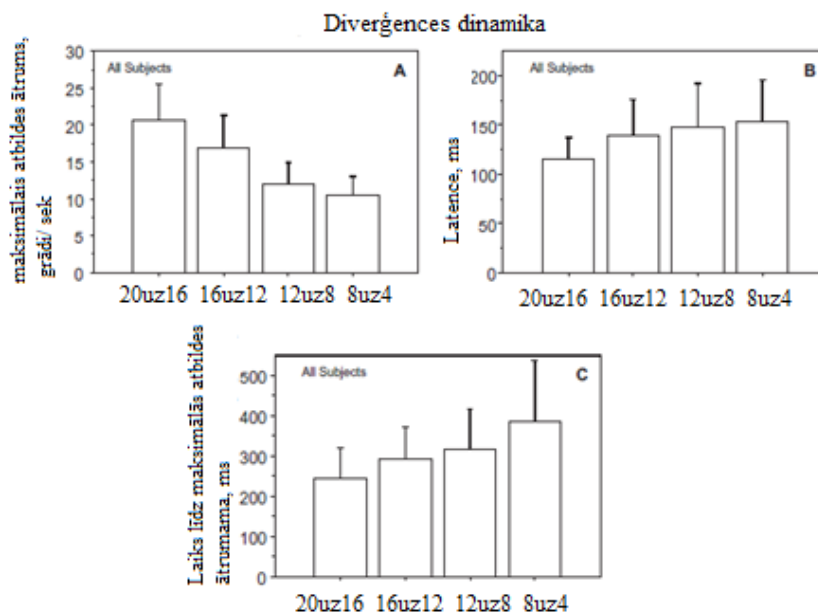
1.1. tabula.

Konverģences un diverģences latences lielumi dažādos pētījumos.

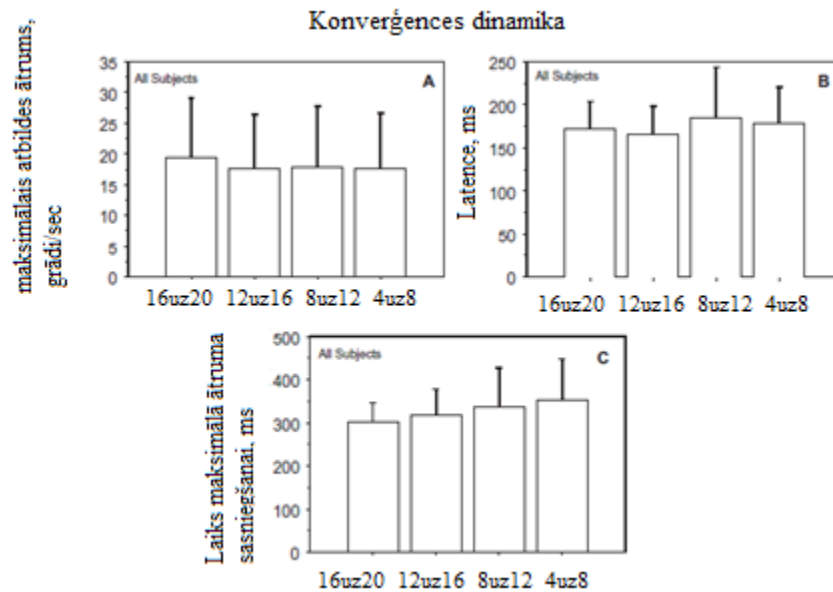
Pētījums	Konverģences latence (ms)	Diverģences latence (ms)
Krishnan, et al. (1973)	250	210
Semmlow and Wetzel (1979)	180	190
Hung, et al. (1997)	161	182
Yang, et al. (2002)	219 ± 7	198 ± 8

Kā ir redzams 1.1. tabulā, tad pētījumu rezultāti, protams, ir dažādi, tātad to iegūtie secinājumi arī ir dažādi. *Semmlow* un *Wetzel (1979)* savā pētījumā apgalvo, ka konverģences latence ir mazāka nekā diverģences latence. Turpretī *Yang, et al. (2002)* ar savu iegūto rezultātu palīdzību apgalvo, ka konverģencei ir lielāka latence nekā diverģencei.

Alvarez, et al. (2005) apskatīja diverģences acu kustības (skat. 1.3. att.) un konverģences acu kustības (skat. 1.4. att.), to maksimālo atbildes ātrumu, latenci un laiku līdz maksimālās atbildes ātruma sasniegšanai. Tika apskatītas četras sākotnējās pozīcijas – diverģences gadījumā sākotnējās pozīcijas bija 20 grādi, 16 grādi, 12 grādi un 8 grādi, konverģences gadījumā sākotnējās pozīcijas bija 16 grādi, 12 grādi, 8 grādi un 4 grādi. Solis starp pozīcijām bija 4 grādi. Diverģences kustībām tika novērota sakarība, kur maksimālā atbilde tuvumā, tas ir, sākotnējā pozīcija ir 20 grādi, ir gandrīz pat divas reizes lielāka nekā maksimālais atbildes ātrums tālumā, tas ir, sākotnējā pozīcija 8 grādi. Diverģences acu kustības ir atkarīgas no sākotnējā stimula pozīcijas. Jo tuvāk stimuls atrodas pie dalībnieka, jo ātrāk tiek sniegta atbilde. Konverģentās acu kustības nebalstās uz šādu principu par stimula novietojuma savstarpējo ietekmi. Veicot diverģentas acu kustības, latence un laiks, kurā tiek sasniegts maksimālās atbildes ātrums, pieaug. Konverģences gadījumā maksimālajai atbildei un latencei neveidojas sakarības. Lai gan apskatot laiku, kurā tiek sasniegta maksimālā ātruma atbilde, tas nedaudz pieaug, tomēr statistiski to pierādīt neizdevās.



1.3. att. Diverģences acu kustības pie dažādām sākuma pozīcijām: 20, 16, 12 un 8 grādos. A grafikā ir attēlots maksimālais atbildes ātrums, B grafikā latence un C grafikā ir attēlots laiks, kurā tiek sasniegts maksimālais atbildes ātrums (Alvarez, et al., 2005).



1.4. att. Konverģence acu kustības pie dažādām sākuma pozīcijām: 16, 12, 8 un 4 grādos. A grafikā ir attēlots maksimālais atbildes ātrums, B grafikā latence un C grafikā ir attēlots laiks, kurā tiek sasniegts maksimālais atbildes ātrums (*Alvarez, et al., 2005*)

Šiem dažādajiem rezultātiem ir arī savi iemesli. Pirmkārt, tas ir ļoti atkarīgs no katra cilvēka individuālās verģences sistēmas darbības. Otrkārt, svarīgs faktors ir arī vecums, jo cilvēks ir vecāks, jo verģences atbildes amplitūda un maksimālais ātrums samazinās. Protams, verģences sistēmas darbību var ietekmēt arī dažādi traucējumi, traumas un slimības. Visvairāk to ietekmē galvas smadzeņu traumas un slimības, piemēram, insults, disleksija. Tās arī var būt acu traumas un traucējumi, kas neļauj pilnvērtīgi darboties acīm, piemēram, šķielēšanas un nistagma gadījumā. Acis nespēj veikt kopīgu kustību vienlaicīgi ātri, jo viena acs kustēsies ātrāk, bet otra lēnāk, tātad arī nenotiek simetriska abu acu kopdarbība. Konverģences traucējumu gadījumā kā konverģences nepietiekamība, kad ir attālināts konverģences tuvuma punkts, verģences sistēmas darbību ir iespējams uzlabot vai pat pilnībā likvidēt, ja tiek piemēroti piemērotie redzes treniņi un tie tiek precīzi pildīti (*Chen, et al., 2010*).

1.3. Sakādes

Sakādes ir ātras acu kustības, kur tiek mainīts skata virziens no viena interesējošā objekta uz otru. Ar sakāžu palīdzību attēls tiek novietots uz foveolas, kur ir vislielākais redzes aums (*Leigh, & Zee, 2006*). Sakāžu latences periods ir 150 – 300 ms (*Enderle, 1999*).

1.2. tabula.

Sakāžu maksimālā ātruma un latences izmaiņas atkarībā no vārda lieluma grādos

(Bahill, et al, 1981).

Lielums (Grādos)	Maksimālais ātrums un standartnovirze (grādi/sekundē)	Latence un standartnovirze (ms)
5	261 ± 42	42 ± 8
10	410 ± 67	51 ± 8
15	499 ± 43	54 ± 7
20	657 ± 78	64 ± 6

Kā redzams 1.2. tabulā, atkarībā no vārda lieluma, mainās arī sakādes parametri. Jo lielāks ir vārds (garāks), jo attiecīgi palielinās šī vārda sakādes maksimālais ātrums, kā arī pieaug latence (Bahill, et al., 1981).

Ja uzdevumā ir lielas sakādes, acu kustības notiek ļoti strauji, lai pēc iespējas ātrāk sasniegtu mērķa objektu. Ja uzdevumā ir mazas sakādes, tiek veiktas nelielas un lēnas sakādes. Liela uzdevuma sakādes brīdī, kad notiek sakādes kustība, attēls paliek neskaidrs, pat var pazust uz mirkli, bet maza uzdevuma sakādes brīdī, attēls paliek redzams un skaidrs (Harris, & Wolpert, 2006).

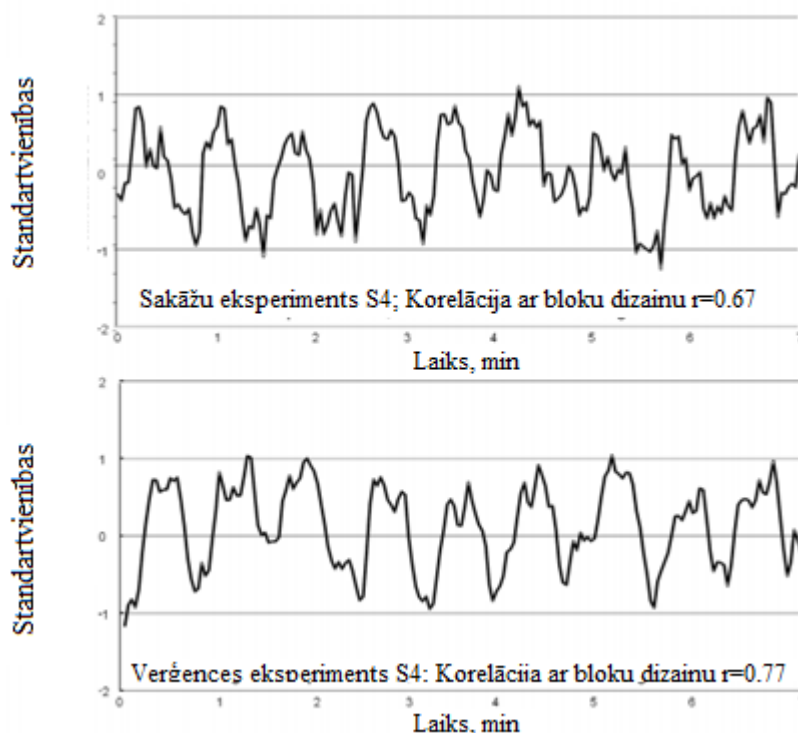
Sakāžu darbību papildina arī fiksācijas, kuras ir novērojamas starp sakādēm. Fiksācija ilgst aptuveni 200 – 250 ms. Kā arī tiek izdalīts tremors, dreifs un mikrosakādes. Tremors ir viļņveidīgas acu kustības ar aptuveni 90 Hz lielu frekvenci. Tremors vairāk līdzinās un atgādina nistagmu. Mikrosakādes ir ātras acu kustības, kuru uzdevums ir koriģēt dreifa kustības. Dreifs ir lēnākas acu kustības nekā mikrosakādes. Dreifs piedalās fiksācijas nodrošināšanā (Martinez-Conde, et al., 2004).

1.5. Vergences un sakāžu savstarpējā saistība

Patī būtiskākā atšķirība starp vergencēm un sakādēm ir tā, ka vergences acu kustības ir lēnākas par sakādiskām acu kustībām (Bahill & Stark, 1979). Lai gan Yang, et al. (2002) nonāca pie secinājuma, ka vergences un sakādiskās acu kustības ir samērā līdzīgas. Šim apgalvojumam piekrita arī Alkan, et al. (2011), kur uzmanība tika pievērsta arī smadzeņu funkcionālajai darbībai.

Tā kā lielākajā daļā pētījumu vergences un sakādes tiek izolētas viena no otras un tiek mēģināts salīdzināt to darbību, tad Alkan, et al. (2011) mēģināja izprast katras sistēmas funkcionālo darbību smadzenēs. Sakāžu un vergencu smadzeņu funkcionālā darbība ir līdzīga

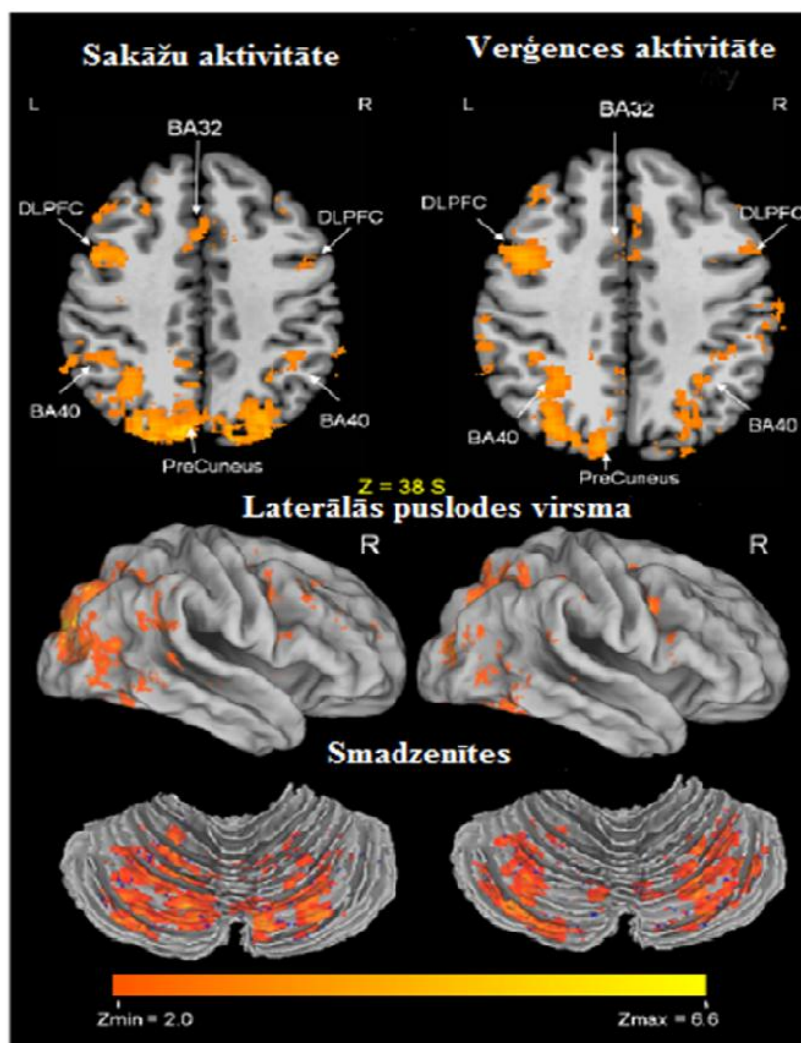
(skat. 1.5. att.). Sakāžu darbība norit straujāk nekā verģenču darbība. Ja sīkāk apskata vienu laika posmu, tad ir redzams, ka sakāžu un verģenču darbība ir atšķirīga, bet amplitūdas un latences ziņā būtiski nozīmīgu atšķirību nav.



1.5. att. Viena dalībnieka (S4) sakāžu un verģenču references vektoru dati (Alkan, et al., 2011).

Alkan, et al. (2011) galvenā hipotēze bija tāda, ka starp sakāžu un verģences acu kustībām būs novērojama būtiska atšķirība funkcionālajā aktivitātē, bet šī izvirzītā hipotēze bija daļēji aplama. Sīkāk pētot iegūtos rezultātus un iedziļinoties tajos, tika secināts, ka ar funkcionālās magnētiskās rezonanses palīdzību ir iespējams izdalīt nozīmīgi atšķirīgu funkcionālo darbību starp verģences un sakāžu acu kustībām tieši frontālajā redzes zonā un visusmadzenēs (skat. 1.6. att.). Salīdzinājumā ar citām smadzeņu zonām, nozīmīga atšķirība netika novērota. Vidussmadzenēs tika novērota lielāka verģenču funkcionālā darbība, bet sakādiskā funkcionālā darbība bija vairāk novērojama frontālajā smadzeņu daivā.

Parietālā smadzeņu daiva atbild par fiksācijas neprecizitātēm un darbību, kā arī vairāk kreisā parietālā smadzeņu daiva atbild par mehānismiem, kuri atbild par mērķi un par objektiem, kas ir tuvāk vai tālāk no mērķa. Smadzeņu stumbra un okulomotorie neironi atbild par ātrumu kodējošām šūnām un par pozīcijas kodējošām šūnām.



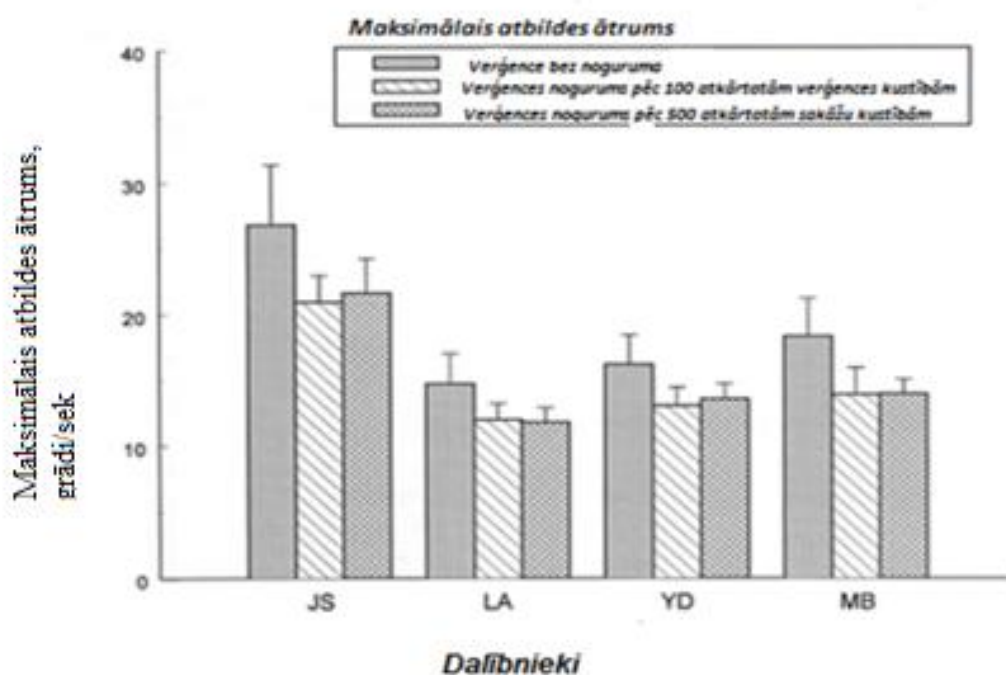
1.6. att. Smadzeņu darbības attēli, kas parāda frontālo redzes lauku funkcionālo aktivitāti (FEF) sakāžu un vergences acu kustību laikā (Alkan, et al., 2011).

Semmlow, et al. (2008) pierādīja, ka lielākajā daļā vergences atbildes novērojamas arī sakādes. Lielākajai daļai dalībnieku, t.i., vairāk nekā pusei, katra atbilde saturēja vismaz vienu sakādi. Pie līdzīgiem secinājumiem nonāca arī Coubard un Kapoula (2008), kur gan vertikālās, gan horizontālās sakādes ir 84 % no vergences atbildes. Ja apskata vergences, tad sakādes visbiežāk tika novērotas diverģences gadījumā un lielu amplitūdu gadījumā (Zee, et al., 1992). Šim apgalvojumam piekrita arī Collewijn, et al. (1995), papildinot, ka šī sakarība visbiežāk ir novērojama diapozonā, kurā vergences kustība ir 5 – 25 grādus liela.

1.6. Verģences sistēmas nogurums pēc sakādes uzdevumiem

Nogurums nav tikai fizioloģisks stāvoklis, bet gan arī psiholoģisks. Kopumā izšķir četrus noguruma veidus: fiziskais, mentālais, sensoriskais un emocionālais nogurums. Redzes sistēmas noguruma faktori var būt gan fiziskais nogurums, gan slodze, kas ļoti spilgti izpaužās pēc ilgstoša darba tuvumā, gan ārējie vides apstākļi, gan kāds redzes defekts. Kā simptomi redzes sistēmas noruram var būt acu asarošana, sāpēšana, diskomforts, galvassāpes, redzes pasliktināšanās.

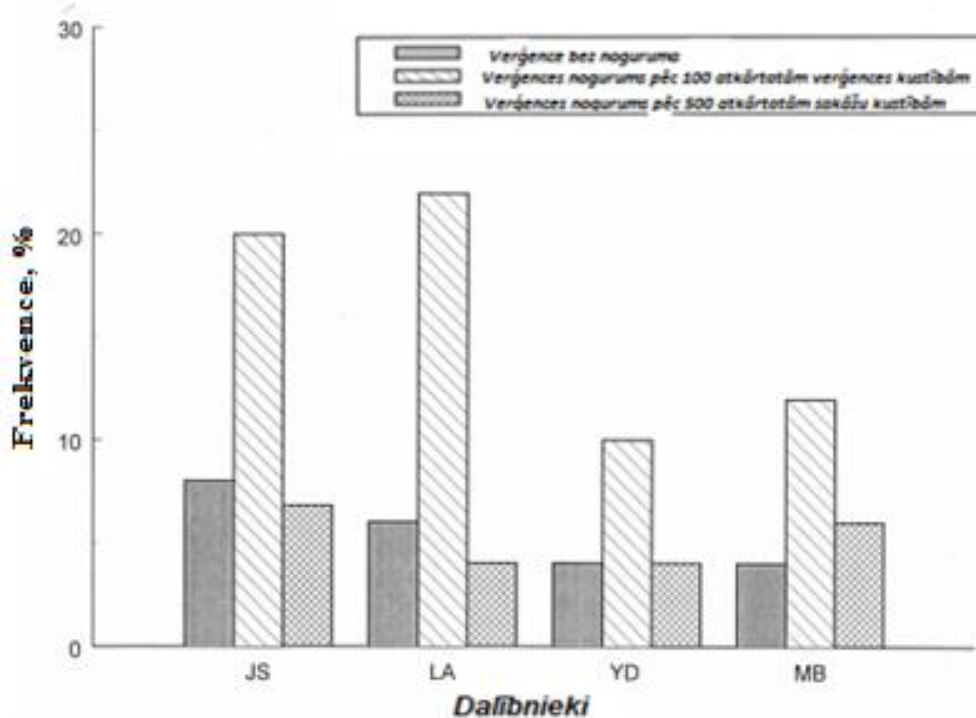
Fuch un Binder (1983) savā pētījumā jau sākotnēji uzsvēra to, ka katram cilvēkam verģences sistēma darbojas individuāli. Veicot tālāku pētījumu, kurā bija nepieciešams veikt 31 minūti garu sakāžu uzdevumu, rezultātā tika iegūts sakādes atbildes reakcijas laika samazinājums par 10 % pēc konkrētā sakāžu uzdevuma. Šo reakcijas laika samazinājumu skaidroja ne tikai kā individuālu verģences sistēmas darbību, bet arī kā fizisko nogurumu, kas tika saistīts ar uzmanības trūkumu.



1.7. att. Maksimālā ātruma salīdzinājums dažādiem dalībniekiem bez verģences sistēmas noguruma, pēc 100 atkārtotām verģences kustībām un pēc 500 atkārtotām sakādes kustībām (*Yuan & Semmlow, 2000*).

Tomēr *Fuch* un *Binder* (1983) iemesli nebija pārliecinoši un *Yuan* un *Semmlow* (2000) pierādīja pretējo, ka verģenču sistēmu var nogurdināt pēc attiecīgā sakāžu uzdevuma. 1.7. attēlā ir parādīts maksimālā ātruma salīdzinājums ar normālu verģences sistēmas atbildi, t.i., bez nekāda uzdevuma, un verģences sistēmas atbildes pēc 100 atkārtotām 4 grādu soļu lielām verģences kustībām un arī pēc 500 atkārtotām 10 grādu lielām sakādēm. Kā jau ir redzams, visiem dalībniekiem ir novērojams maksimālā ātruma samazinājums par 20 % pēc uzdevumu veikšanas. Ja salīdzina verģences atkārtotās kustības un sakādes uzdevumu, tad abi šie faktori izraisa salīdzinoši vienādu maksimālā ātruma samazinājumu un nav novērojama nozīmīga atšķirība.

Tā kā *Fuch* un *Binder* (1983) savus rezultātus balstīja uz uzmanības trūkumu, tad *Yuan* un *Semmlow* (2000) šo faktoru centās izslēgt, jo šīs 100 atkārtotās verģences kustības aizņēma aptuveni 8 min laika, un tika uzsvērts un uzraudzīts, lai šim uzdevumam, tā veikšanas laikā, tiktu pievērsta maksimāla uzmanība.



1.8. att. Dubulto verģenču biežuma izmaiņas bez verģences sistēmas noguruma, pēc 100 atkārtotām verģences kustībām un pēc 500 atkārtotām sakādes kustībām (*Yuan & Semmlow*, 2000).

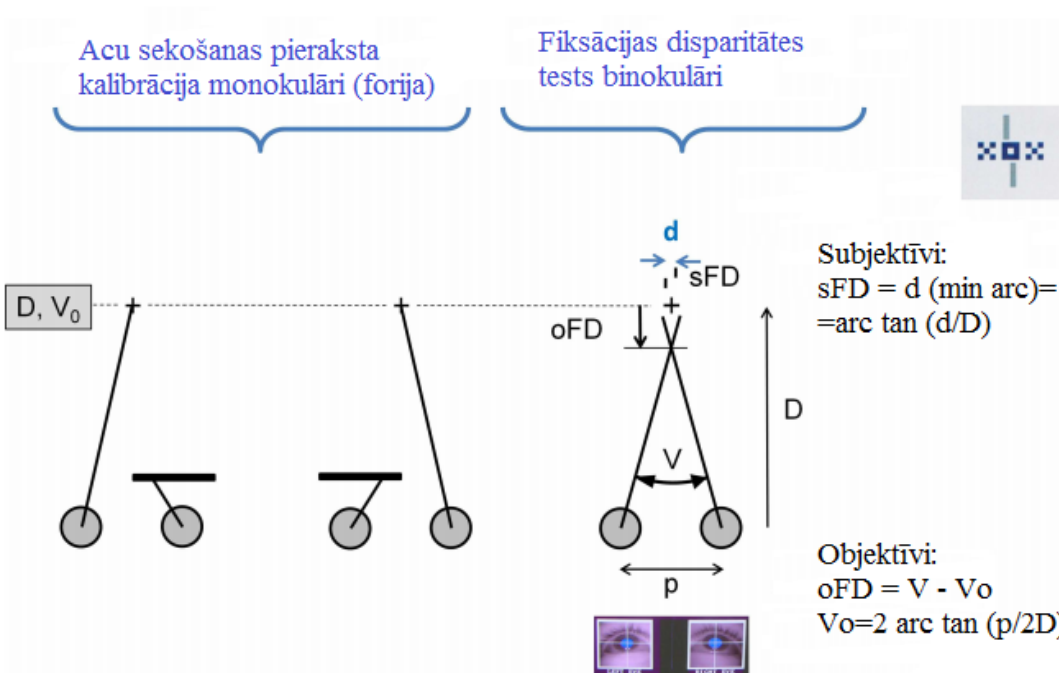
Rezultāti parādīja frekvences biežuma palielināšanos dubultām verģencēm pēc atkārtotām verģences kustībām, tomēr pie atkārtotām sakādiskām kustībām netika novērotas nekādas dubultās verģences frekvences izmaiņas (skat. 1.8. att.).

Nogurums, ko izraisa liela skaita sakādiskas acu kustības, samazina maksimālo atbildes ātrumu vergēnces sistēmai. Šo nogurumu saista ar izmaiņām okulomotorās sistēmas darbībā. Pēc atkārtotām vergēnces kustībām samazinājās vergēnces maksimālās atbildes ātrums, bet taja pašā laikā palielinājās frekvences biežums dubultās vergēnces atbildēm. Šie divi efekti tika saistīti kā vergēnces neironu darbības nogurumu, kas atbild par signālu pārvadi. Atkārtotās lēnās vergēnces kustības neizraisīja nekādas izmaiņas vergēnces atbildē, kas noved pie secinājuma, ka uzmanības trūkums neietekmē noguruma izraisītos efektus (*Yuan, & Semmlow, 2000*).

Var secināt, ka vergēnces sistēmu var nogurdināt, ja tiek veikts konkrēts uzdevums vismaz 30 minūtes un vairāk. Tā kā vergēnce laikā novēro līdz pat 84 % sakādes (*Coubard, & Kapoula, 2008*), tātad ir svarīgs uzdevums, kāds tiek veikts, lielu vai mazu sakāžu uzdevums. Ilgstoši veicot dotos uzdevumus, veidojas nogurums: gan okulomotorās sistēmas nogurums, gan vergēnces neironu darbības nogurums. Tātad nogurums ietekmē gan muskuļu darbību, gan arī smadzeņu darbību, kas apstrādā iegūto informāciju.

1.7. Fiksācijas disparitāte

Viens no binokulārās redzes aspektiem ir fiksācijas disparitāte, kas tiek rakurota kā individuāls acu novietojuma stāvoklis attiecībā uz binokulāro acu kustību kontroli un tālāko informācijas neirālo apstrādi. Objektīvā fiksācijas disparitāte ir vergēnces lenķis starp redzes vizuālajām asīm, kas tiek nomērīts ar acu kustību pieraksta palīdzību. Subjektīvā fiksācijas disparitāte tiek veikta, atdalot binokulāro redzes informāciju un salīdzinot Tās savstarpējo nobīdi, bet ar nosacījumu, ka fūzijas mehānisms tiek saglabāts (skat. 1.9. att.). Subjektīvā un objektīvā fiksācijas disparitāte sniedz informāciju par atšķirībām motorās un sensorās fūzijas fizioloģiskajos mehānismos (*Jaschinski, 2017*).



1.9. att. Objektīvā un subjektīvā disparitāte (*Jaschisnki, 2017*). Acu novietojuma pozīcijas monokulāras kalibrēšanas laikā, kur otra acs tiek aizsegta, un binokulāra testa laikā, kas ļauj novērtēt subjektīvo (sFD) un objektīvo (oFD) fiksācijas disparitāti; D – attālums līdz ekrānam, p – starpzīlīšu attālums, V – verģences leņķis, V_0 – verģences leņķis, fiksējot ekrāna plaknē.

Ģeometriski sagaidāmais verģences leņķis ir $V_0 = 2 \text{ arc tan } (p/2D)$, kas ir atkarīgs no fiksācijas attāluma (D) un starpzīlīšu attāluma p . Objektīvo fiksācijas disparitāti var izrēķināt attiecīgi kā verģences kļūdu $oFD = V - V_0$ (skat. 1.8. att.). Ja fiksācijas ass krustojas pirms mērķa stimula, tad tas ir attiecināms kā ezo stāvoklis un fiksācijas disparitāte ir ar pozitīvu zīmi. Ja fiksācijas ass krustojas aiz mērķa stimula, tad tas ir ekso stāvoklis un fiksācijas disparitāte ir ar negatīvu zīmi (*Jaschisnki, 2017*).

Tuvuma redzei ir liela nozīme. Cilvēkiem ar izteiktām astenopiskām sūdzībām ir lielāks ekso subjektīvās fiksācijas disparitātes mērījumos tuvumā, bet ne tālumā. Tātad cilvēkiem ar lielāku ekso tuvumā astenopiskās sūdzības ir daudz izteiktākas un viņi dod priekšroku lielākam lasīšanas attālumam (*Jaschisnki, 2017*).

Erkelens, et al. (1989) savā pētījumā mainīja fiksācijas attālumu no 91 cm uz 10 cm. Tika secināts, ka objektīvā fiksācijas disparitāte pamatā ir ekso un jo vairāk fiksācijas attālums tika samazināts, jo vairāk fiksācijas disparitāte kļuva ekso, kuras pamatā ir paraboliska funkcija, smazinot fiksācijas attālumu. Subjektīvā fiksācijas disparitāte netika apskatīta.

2. PĒTĪJUMA DAĻA

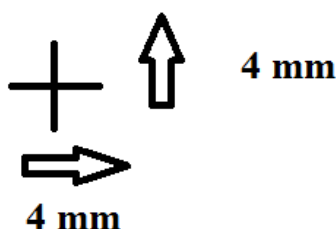
2.1. Pētījuma dalībnieki

Pētījumā piedalījās 6 dalībnieki, kuru vecums bija no 22 līdz 24 gadiem. Visu dalībnieku redzes asums ar korekciju bija vismaz 1,0 decimālajās vienībās un bez nekādiem redzes sistēmas traucējumiem. No visiem dalībniekiem diviem pētījuma dalībniekiem nebija nepieciešama redzes korekcija, bet četriem dalībniekiem bija nepieciešama korekcija. Šie dalībnieki tika koriģēti ar kontaktlēcām, kur divu dalībnieku korekcija bija $-4,00$ D, trešā dalībnieka korekcija $-1,25$ D un otrs $-1,50$ D, un ceturtā dalībnieka korekcija $-1,50$ D.

Pētījums ir apstiprināts LU ētikas komisijā.

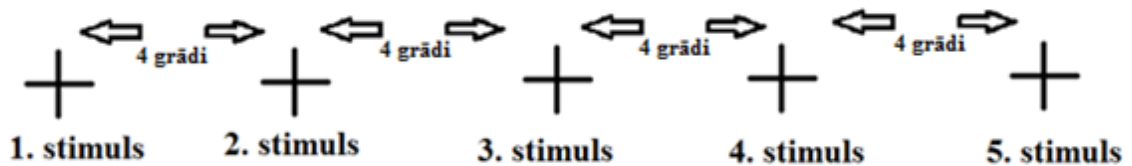
2.2. Iekārta

Pētījumā tika izmantota iViewX Hi-Speed videokulogrāfijas iekārta (SMI, Vācija), lai veiktu acu kustību pierakstu. Tika izmantots datora ekrāns, kas atradās 60 cm attālumā un uz kura tika rādīti stimuli, ar kuru palīdzību tika noteikta kalibrēšana un fiksācijas disarīte (skat. 2.1. att.).



2.1. att. Stimuls fiksācijas disarītes noteikšanai, kura lielums ir 4x4 mm.

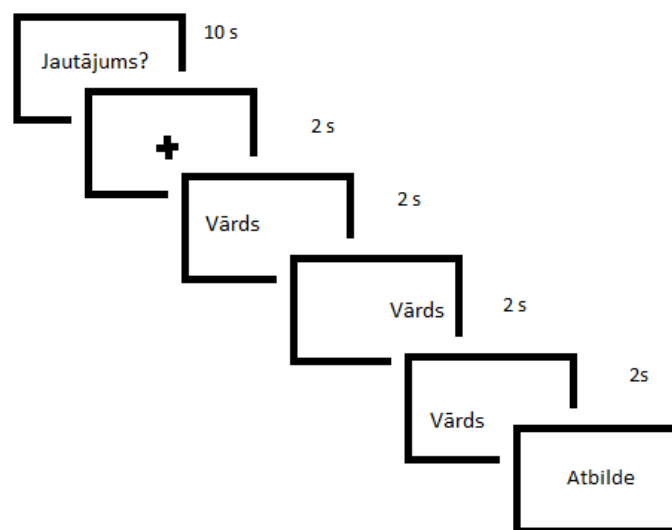
Sākumā tika veikta binokulāra kalibrēšana, ko piedāvā iViewX Hi-Speed videokulogrāfijas iekārta. Pēc kalibrēšanas ekrāna centrā parādījās fiksācijas krusts (skat. 2.1. att.) uz 4 sekundēm, kam sekoja 5 fiksācijas stimuli, kuri parādījās uz 1,5 sekundēm katrs ar 4 grādu attālumu starp tiem: pirmais stimulss ar 8 grādu lielu nobīdi pa kreisi no centra, otrais stimulss ar 4 grādu nobīdi pa kreisi no centra, trešais stimulss, kurš atradās tieši centrā, ceturtais stimulss atradās 4 grādus pa labi no centra un piektais stimulss atradās 8 grādus pa labi no centra (skat. 2.2. att.). Cikls tika atkārtots piecas reizes, pēc kā atkal parādījās centrālais krusts.



2.2. att. Fiksācijas stimuli un to novietojums uz ekrāna fiksācijas disparitātes noteikšanai.

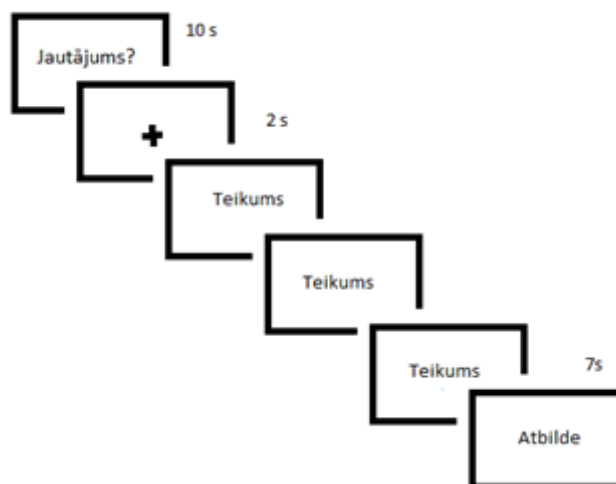
2.3. Eksperimenta gaita

Vergences atbilde tika mērīta pirms un pēc sakāžu uzdevuma. Katram dalībniekam bija jāveic divi dažādi sakāžu uzdevumi, kur viens no tiem bija mazu sakāžu uzdevums, bet otrs – lielu sakāžu uzdevums. Katrs no šiem uzdevumiem ilga aptuveni 30 min un katrs no šiem uzdevumiem tika veikts divās atsevišķās dienās. Sakāžu uzdevumi tika veikti pie datora ekrāna pacientam 60 cm attālumā.



2.3. att. Lielu sakāžu uzdevums.

Kā pirmais vienmēr tika veikts lielu sakāžu uzdevums (skat. 2.3. att.). Sākumā uz datora ekrāna 10 sekundes parādās jautājums, piemēram, "Kādi sieviešu vārdi parādījās?", jo šādi dalībnieks tiek vairāk motivēts pievērsties veicamajam uzdevumam. Kad dalībnieks ir gatavs, tad viņš spiež podu „Sākt!” un tad uz 2 sekundēm parādās fiksācijas krusts. Tālāk seko pats sakāžu uzdevums. Sākumā ekrāna kreisajā pusē parādās vārds uz 2 sekundēm. Pēc šīm 2 sekundēm šis vārds pazūd un uzreiz parādās cits vārds ekrāna labajā pusē uz 2 sekundēm. Šādi vārdi tiek mainīti ik pēc 2 sekundēm. Kad lielu sakāžu uzdevums ir beidzies, tad dalībnieks sniedz atbildi uz jautājumu.



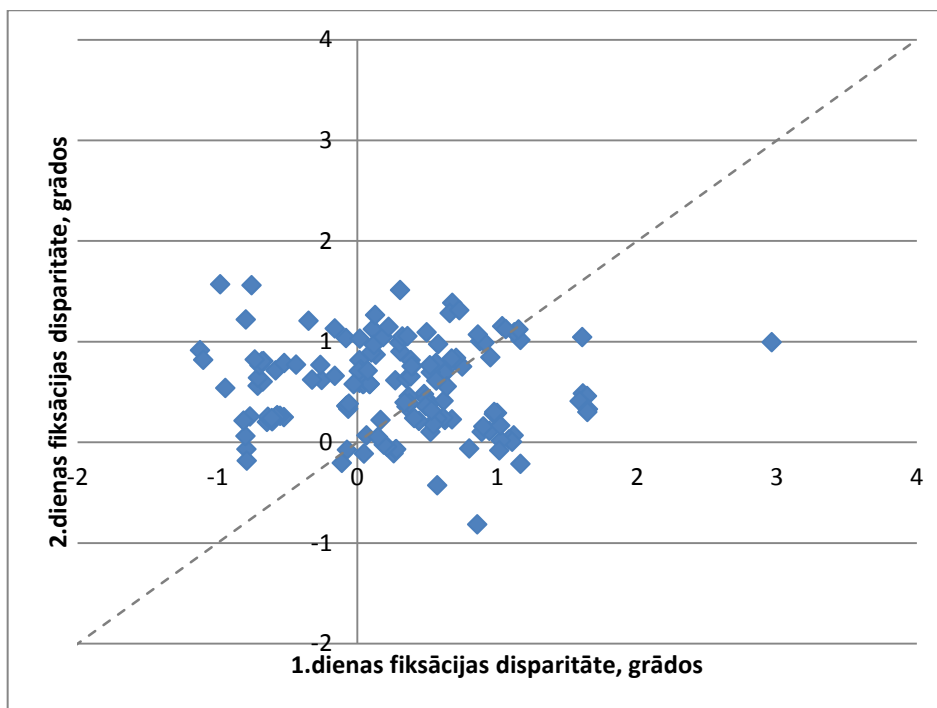
2.4. att. Mazu sakāžu uzdevums.

Citā dienā tiek veikts mazu sakāžu uzdevums (skat. 2.4. att.). Sākumā uz datora ekrāna parādās jautājums uz 10 sekundēm, piemēram, "Par kādām tēmām ir dotie ticējumi?". Kad dalībnieks ir gatavs, tad viņš spiež podu „Sākt!”. Uz 2 sekundēm parādās fiksācijas krusts, kam seko mazu sakāžu uzdevums. Uz ekrāna centrā parādās teikums, kad dalībnieks šo teikumu ir beidzis lasīt, viņš pats pārslēdz nākamo ticējumu. Kad mazu sakāžu uzdevums ir beidzies, tad dalībnieks sniedz atbildi uz jautājumu.

2.4. Rezultāti

2.4.1. Fiksācijas disparitātes atkārtojamība

Tika mērīta fiksācijas disparitāte pieciem dažādiem punktiem divās dienās pirms lielu un mazu sakāžu uzdevumu veikšanas. 2.5. attēlā ir parādīta fiksācijas disparitāte 6 dalībniekiem Tika salīdzināta fiksācijas disparitātes atkārtojamība pa dienām.

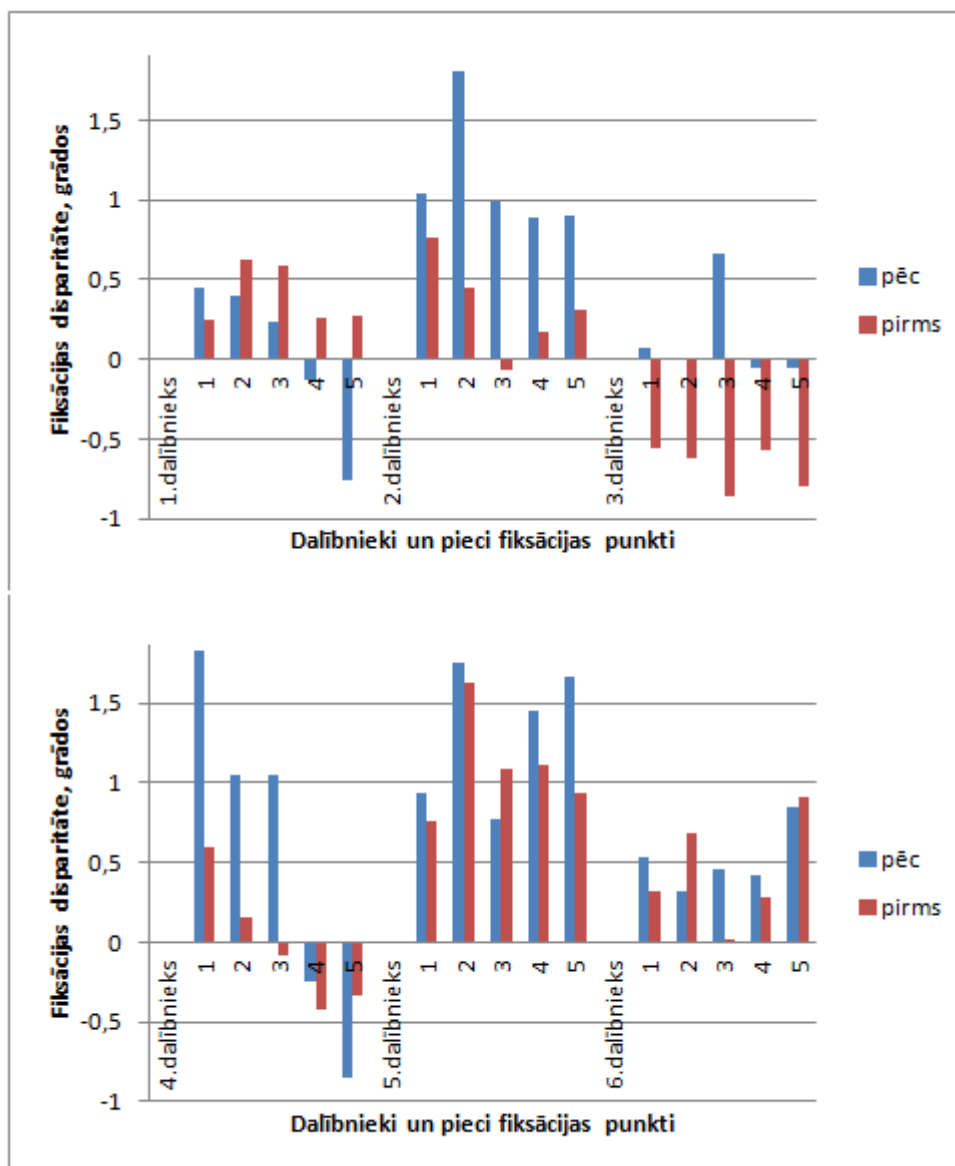


2.5. att. Fiksācijas disparitātes mērījumi divās dienās.

Statistiski apskatot katra punkta fiksācijas disparitātes atkārtojamību divās dažādās dienās pirms sakāžu uzdevumu veikšanas, ir redzams, ka statistiski nozīmīga atšķirība pastāv (t-Test: Paired Two Sample for Means, $p = 0,0005$). Tātad fiksācijas disparitāte ir statistiski mainīga dažādās dienās un tā nav atkārojama. To var skaidrot kā katra dalībnieka jau esošo nogurumu vai arī dienas laiku, kad tests ir ticis veikts un vai pirms tam dalībnieks jau ir veicis kādu tuvuma darbu. Tātad ir nepieciešams katrā mērījumā dienā pārlicināties par sākotnējo acu stāvokli, lai varētu pārlicināties par iegūto datu rezultātiem pēc veiktā sakāžu uzdevuma.

2.4.2. Fiksācijas disparitātes izmaiņas pēc lielu sakāžu uzdevuma

Ja salīdzina fiksācijas disparitātes izmaiņas pirms un pēc lielu sakāžu uzdevuma (skat. 2.6. att.), tad pēc lielu sakāžu uzdevuma palielinās ekso stāvoklis. Protams, katra dalībnieka vergences sistēma darbojas atšķirīgi, tāpēc arī 2., 3. un 4. dalībniekam fiksācijas disparitāte ir statistiski nozīmīgi atšķirīga (Wilcoxon signed-rank tests, $p < 0,05$), bet 1. un 5., 6. dalībniekam tiek novērotas fiksācijas disparitātes atšķirības, bet tās nav statistiski nozīmīgas (Wilcoxon signed-rank tests, $p > 0,05$). Ir redzams, ka lielākajai daļai ir novērojams ezo stāvoklis pēc veiktā sakāžu uzdevuma.



2.6. att. Fiksācijas dispartitāte 5 fiksācijas punktos pirms un pēc lielu sakāžu uzdevuma 6 dalībniekiem.

Ja salīdzina fiksācijas dispartitātes izmaiņas pirms un pēc lielu sakāžu uzdevuma, tad rezultāti katrā no pieciem fiksācijas punktiem atšķirās, jo pirmajam, trešajam un ceturtajam fiksācijas punktam ir statistiski atšķirīga fiksācijas dispartitāte, bet otrajam un piektajam fiksācijas punktam nav statistiski nozīmīgas atšķirības.

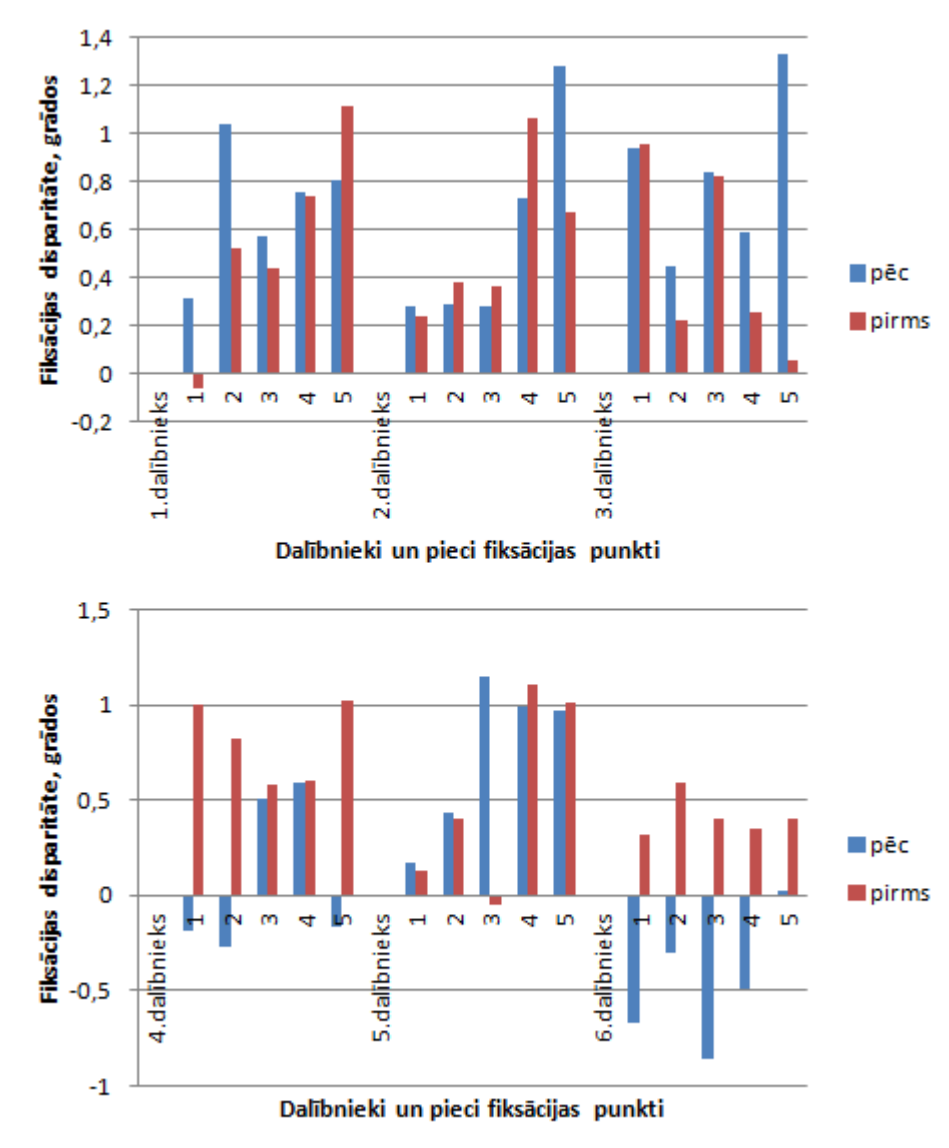
Statistiski apskatot katra punkta fiksācijas dispartitāti pirms un pēc lielu sakāžu uzdevumu veikšanas, tad:

1. Pirmajam fiksācijas punktam, kas atradās 8 grādos pa kreisi no centra, salīdzinot pirms un pēc lielu sakāžu uzdevuma iegūto fiksācijas dispartitāti, veicot Wilcoxon signed-rank testu statistiski nozīmīga atšķirība tiek novērota ($p = 0,01$).

2. Otrajam fiksācijas punktam, kas atradās 4 grādus pa kreisi no centra, salīdzinot pirms un pēc lielu sakāžu uzdevuma iegūto fiksācijas disparitāti, veicot Wilcoxon signed-rank testu statistiski nozīmīga atšķirība netiek novērota ($p > 0,05$).
3. Trešajam fiksācijas punktam, kas atradās centrā, salīdzinot pirms un pēc lielu sakāžu uzdevuma iegūto fiksācijas disparitāti, veicot Wilcoxon signed-rank testu statistiski nozīmīga atšķirība tiek novērota ($p = 0,0005$).
4. Ceturtajam fiksācijas punktam, kas atradās 4 grādus pa labi no centra, salīdzinot pirms un pēc lielu sakāžu uzdevuma iegūto fiksācijas disparitāti, veicot Wilcoxon signed-rank testu statistiski nozīmīga atšķirība tiek novērota ($p = 0,02$).
5. Piektajam fiksācijas punktam, kas atradās 8 grādus pa labi no centra, salīdzinot pirms un pēc lielu sakāžu uzdevuma iegūto fiksācijas disparitāti, veicot Wilcoxon signed-rank testu statistiski nozīmīga atšķirība netiek novērota ($p > 0,05$).

2.4.3. Fiksācijas disparitātes izmaiņas pēc mazu sakāžu uzdevuma

Ja salīdzina fiksācijas disparitātes izmaiņas pirms un pēc mazu sakāžu uzdevuma (skat. 2.7. att.), ir redzams, ka izmaiņas ir svārstīgas, nav novērojama kopēja tendence fiksācijas disparitātei palielināties vai samazināties. 4. dalībniekam ir novērojama tendence, ka pēc mazu sakāžu uzdevuma acu stāvoklis pāriet vairāk uz ekso stāvokli un ir novērojama statistiski nozīmīga atšķirība (Wilcoxon signed-rank tests, $p < 0,05$). Ja apskata pārējo dalībnieku datus, ir redzamas izmaiņas pēc mazu sakāžu uzdevuma, bet šīs izmaiņas nav statistiski nozīmīgas (Wilcoxon signed-rank tests, $p > 0,05$). Ir redzams, ka lielākajai daļai ir novērojams ezo stāvoklis pēc veiktā sakāžu uzdevuma.



2.7.att. Fiksācijas disparitāte 6 dalībniekiem 5 fiksācijas punktos pirms un pēc mazu sakāžu uzdevuma.

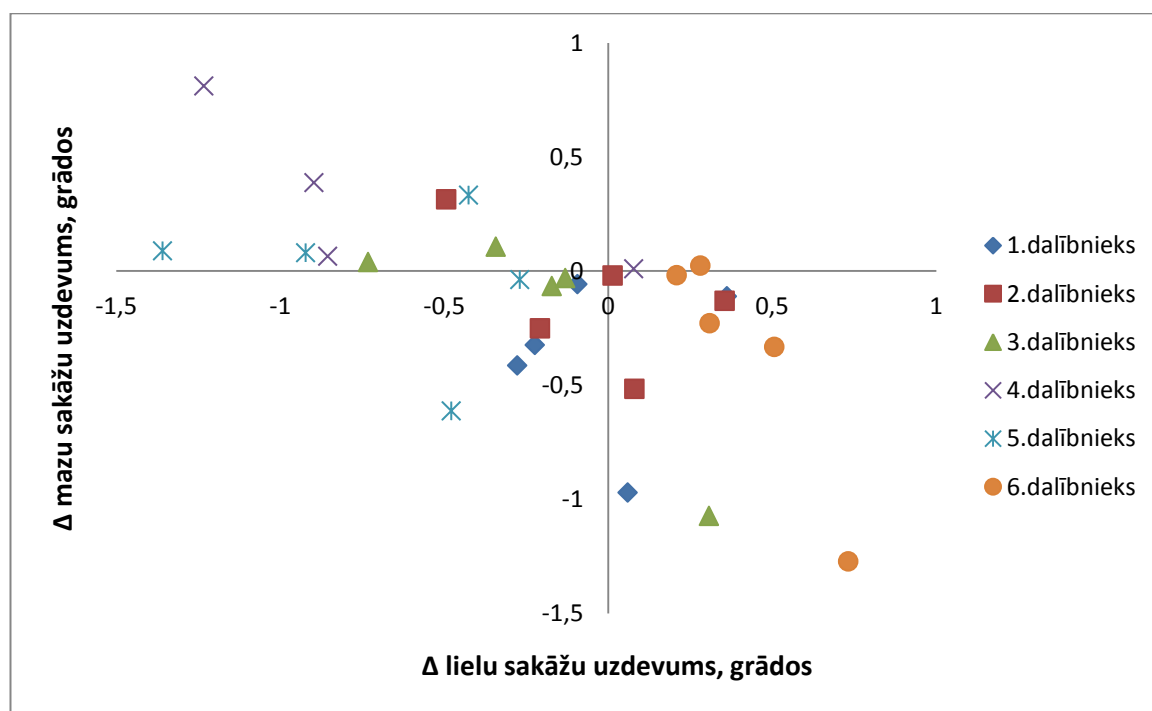
Statistiski apskatot katra punkta fiksācijas disparitāti pirms un pēc mazu sakāžu uzdevumu veikšanas, tad:

1. Pirmajam fiksācijas punktam, kas atradās 8 grādos pa kreisi no centra, salīdzinot pirms un pēc mazu sakāžu uzdevuma iegūto fiksācijas disparitāti, veicot Wilcoxon signed-rank testu statistiski nozīmīga atšķirība netiek novērota ($p > 0,05$).
2. Otrajam fiksācijas punktam, kas atradās 4 grādos pa kreisi no centra, salīdzinot pirms un pēc mazu sakāžu uzdevuma iegūto fiksācijas disparitāti, veicot Wilcoxon signed-rank testu statistiski nozīmīga atšķirība netiek novērota ($p > 0,05$).

3. Trešajam fiksācijas punktam, kas atradās centrā, salīdzinot pirms un pēc mazu sakāžu uzdevuma iegūto fiksācijas disparitāti, veicot Wilcoxon signed-rank testu statistiski nozīmīga atšķirība netiek novērota ($p > 0,05$).
4. Ceturtajam fiksācijas punktam, kas atradās 4 grādus pa labi no centra, salīdzinot pirms un pēc mazu sakāžu uzdevuma iegūto fiksācijas disparitāti, veicot Wilcoxon signed-rank testu statistiski nozīmīga atšķirība netiek novērota ($p > 0,05$).
5. Piektajam fiksācijas punktam, kas atradās 8 grādus pa labi no centra, salīdzinot pirms un pēc mazu sakāžu uzdevuma iegūto fiksācijas disparitāti, veicot Wilcoxon signed-rank testu statistiski nozīmīga atšķirība netiek novērota ($p > 0,05$).

2.4.4. Fiksācijas disparitātes izmaiņas pēc lielu un mazu sakāžu uzdevuma

Δ lielu sakāžu uzdevumu fiksācijas disparitātes starpību aprēķina: fiksācijas disparitāte pirms lielu sakāžu uzdevuma, no kura atņem fiksācijas disparitāti pēc lielu sakāžu uzdevuma. Δ mazu sakāžu uzdevumu fiksācijas disparitātes starpību aprēķina: fiksācijas disparitāte pirms mazu sakāžu uzdevuma, no kura atņem fiksācijas disparitāti pēc mazu sakāžu uzdevuma.



2.8. att. Fiksācijas disparitātes katrā punktā 5 mērījumā reizēs starpība lielu un mazu sakāžu uzdevumos.

Salīdzinot fiksācijas disparitātes izmaiņas katram punktam pirms un pēc lielu un mazu sakāžu uzdevumiem (skat. 2.8. att.), ir novērojams, ka lielu sakāžu uzdevuma ietekmē fiksācijas disparitāte ir bijusi ar lielāku atšķirību nekā ar mazu sakāžu uzdevumu. Tomēr šis novērojams nav statistiski nozīmīgs (Kruskal-Wallis tests, $p > 0,05$).

Statistiski apskatot katra punkta fiksācijas disparitātes izmaiņas starpību pirms un pēc mazu un lielu sakāžu uzdevumu veikšanas, tad:

1. Pirmajam fiksācijas punktam, kas atradās 8 grādus pa kreisi no centra, salīdzinot fiksācijas disparitātes izmaiņas starpību pirms un pēc mazu un lielu sakāžu uzdevuma, veicot Kruskal-Wallis testu statistiski nozīmīga atšķirība netiek novērota ($p > 0,05$).
2. Otrajam fiksācijas punktam, kas atradās 4 grādus pa kreisi no centra, salīdzinot fiksācijas disparitātes izmaiņas starpību pirms un pēc mazu un lielu sakāžu uzdevuma, veicot Kruskal-Wallis testu statistiski nozīmīga atšķirība netiek novērota ($p > 0,05$).
3. Trešajam fiksācijas punktam, kas atradās centrā, salīdzinot fiksācijas disparitātes izmaiņas starpību pirms un pēc mazu un lielu sakāžu uzdevuma, veicot Kruskal-Wallis testu statistiski nozīmīga atšķirība netiek novērota ($p > 0,05$).
4. Ceturtajam fiksācijas punktam, kas atradās 4 grādus pa labi no centra, salīdzinot fiksācijas disparitātes izmaiņas starpību pirms un pēc mazu un lielu sakāžu uzdevuma, veicot Kruskal-Wallis testu statistiski nozīmīga atšķirība netiek novērota ($p > 0,05$).
5. Piektajam fiksācijas punktam, kas atradās 8 grādus pa labi no centra, salīdzinot fiksācijas disparitātes izmaiņas starpību pirms un pēc mazu un lielu sakāžu uzdevuma, veicot Kruskal-Wallis testu statistiski nozīmīga atšķirība netiek novērota ($p > 0,05$).

2.5. Diskusija

Pētījumā iegūtie rezultāti norāda uz to, ka viennozīmīgas fiksācijas disparitātes izmaiņas netika novērotas ne pie mazu sakāžu uzdevuma, ne arī pie lielu sakāžu uzdevuma. Protams, statistiski nozīmīgas fiksācijas disparitātes izmaiņas tika novērotas atsevišķiem dalībniekiem vai kādos atsevišķos fiksācijas punktos pēc konkrētā sakāžu uzdevuma. Kā arī fiksācijas disparitātes izmaiņas ir novērojamas arī dažādās dienās pirms sakāžu uzdevuma.

Bija sagaidāms, ka fiksācijas disparitātes būs būtiski atšķirīgas gan pēc mazu sakāžu uzdevuma veikšanas, gan pēc lielu sakāžu uzdevumu veikšanas, kas nepierādījās. Kā arī bija

sagaidāms, ka pēc lielu sakāžu uzdevumu būs lielāka fiksācijas disparitātes izmaiņa salīdzinājumā ar mazu sakāžu uzdevumu, jo lielu sakāžu uzdevums ir daudz nogurdinošāks nekā mazu sakāžu uzdevums. Pēc dalībnieku teiktā, viņi jutās daudz vairāk noguruši pēc lielu sakāžu uzdevuma nekā pēc mazu sakāžu uzdevuma.

Ja salīdzina iegūtos rezultātus ar literatūrā pieejamajiem datiem, tad *Jainta, et al. (2015)* pētījumā tika apskatīta gan horizontālā, gan vertikālā fiksācijas disparitāte, kur arī tika novērotas individuālas izmaiņas kādam no dalībniekiem, bet viennozīmīgas izmaiņas visai dalībnieku kopai netika novērotas kopumā. Tomēr viņi nonāca pie secinājuma, ka, lasot tekstu binokulāri, horizontālā fiksācijas disparitāte samazinās, tātad lasīšanas sākumā tā ir lielāka nekā beigās.

Pētījumā pirms un pēc sakāžu uzdevuma būtiskas atšķirības neuzrādījās, bet kādā atsevišķā punktā vai atsevišķam dalībniekam bija novērojamas būtiskas atšķirības pie lielu sakāžu uzdevuma. Kopumā vērtēkot iegūtos rezultātus viennozīmīga atšķirība neuzrādījās.

Lasīšanas procesā vertikālās fiksācijas disparitātes amplitūda bija no -1 grāda līdz 1 grādam, bet horizontālās fiksācijas disparitātes amplitūda bija no -1,5 grādiem līdz 0,5 grādiem (*Jainta, et al., 2015*). Tika novērota horizontālās fiksācijas disparitātes un vergences sistēmas pielāgošanos lasīšanas uzdevumos, bet vertikālās fiksācijas disparitātes izmaiņas bija ļoti mazas un tika novērotas mazas vertikālās vergences kustības (*Jainta, et al., 2015*).

Ir novērojama tendence par fiksācijas disparitātes izmaiņām pēc attiecīgā sakāžu uzdevuma, bet tā statistiski nav būtiska. Atsevišķas būtiskas fiksācijas izmaiņas ir novērojamas, bet šajā konkrētajā dalībnieku grupā tās nav viennozīmīgas. Tā kā fiksācijas disparitātei ir nozīme lasīšanas un fiksēšanas procesos, tad ir svarīgi, cik liela šī fiksācijas disparitāte ir, jo pēc ilgāka darba tuvumā, notiek fiksācijas disparitātes izmaiņas un palielinās gan nogurums, gan arī astenopiskās sūdzības pēc darba tuvumā.

SECINĀJUMI

1. Fiksācijas disparitātes mērījumi ir statistiski dažādi, ja tie tiek veikti dažādās dienās pirms sakāžu uzdevuma.
2. Salīdzinot fikācijas disparitāti pirms un pēc lielu sakāžu uzdevuma, statistiski nozīmīga atšķirība parādījās tikai trīs no sešiem dalībniekiem visos piecos fikācijas punktos. Kopumā vērtējot fikācijas disparitāti pirms un pēc lielu sakāžu uzdevuma, statistiski nozīmīga atšķirība parādījās 1., 3. un 4. punktā.
3. Salīdzinot fikācijas disparitāti pirms un pēc mazu sakāžu uzdevuma, statistiski nozīmīga atšķirība novērojama tikai 6. dalībniekam visos piecos fikācijas punktos. Kopumā skatoties statistiski nozīmīga fikācijas disparitātes atšķirība neuzrādījās nevienā no fikācijas punktiem.
4. Salīdzinot izmaiņas pirms un pēc mazu un lielu sakāžu uzdevuma veikšanas, fikācijas disparitātes izmaiņas nav statistiski nozīmīgas.

NOBEIGUMS

Kopējie rezultāti nenorāda uz viennozīmīgām fiksācijas disparitātes izmaiņām pēc lielu vai mazu sakāžu uzdevuma. Tomēr atsevišķiem dalībniekiem bija novērojamas izmaiņas, kas norāda uz to, ka vergēnces sistēma katram dalībniekam darbojas dažādi.

Tā kā pētījumā piedalījās neliels skaits dalībnieku, tad kā pētījuma turpināšanai būtu lietderīgi palielināt dalībnieku skaitu. Svarīgi būtu dažādot dalībnieku vecuma grupas un salīdzināt kā atkarībā no vecuma un attiecīgā sakāžu uzdevuma tiek ietekmēta fiksācijas disparitāte. Varētu pētīt ne tikai horizontālās fiksācijas disparitāti, bet arī vertikālo fiksācijas disparitāti pēc lielu un mazu sakāžu uzdevuma.

PATEICĪBAS

Lielu paldies vēlos teikt savai darba vadītājai Aigai Švedei par savu veltīto laiku, par padomiem, par palīdzību un atsaucību darba tapšanas laikā.

Paldies vēlos teikt arī Ilzei Laicānei par palīdzību un padomiem, kā arī sava laika veltīšanu.

Liels paldies pētījuma dalībniekiem, kuri veltīja savu laiku un bija ļoti pacietīgi.

IZMANTOTĀ LITERATŪRA

- Alkan, Y., Biswal, B. B., & Alvarez, T. L. (2011). Differentiation between vergence and saccadic functional activity within the human frontal eye fields and midbrain revealed through fMRI. *PLoS One*, 6(11), e25866.
- Alvarez, T. L., Semmlow, J. L., & Pedrono, C. (2005). Divergence eye movements are dependent on initial stimulus position, *Vision Research*, 46(14), 1847-1855.
- Bahill, A. T., Brockenbrough, A., & Troost, B. T. (1981). Variability and development of a normative data base for saccadic eye movements. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 21, 116-125.
- Bahill, A., & Stark, L. (1979). The trajectories of saccadic eye movements. *Scientific American*, 240(1), 108-117.
- Chen, Y. F., Lee, Y. Y., Chen, T., Semmlow, Y. L., & Alvarez T. L. (2010). Review: behaviors, models, and clinical applications of vergence eye movements. *Journal of Medical and Biological Engineering*, 30(1), 1-15.
- Collewijn, H., Erkelens, C. J., & Steinman, R. M., (1995). Voluntary binocular gaze-shifts in the plane of regard: dynamics of version and vergence. *Vision Research*, 35(23-24), 3335-3358.
- Coubard, O., & Kapoula, Z. (2008). Saccades during symmetrical vergence. *Graefe's Archive for Clinical Experimental Ophthalmology*, 246(4), 521-536.
- Enderle, J.D. (1999). *The fast eye movement control system*. In: The biomedical engineering handbook, 2, CRC Press.
- Erkelens, C. J., & Steinman, R. M., & Collewijn, H. (1989). Ocular vergence under natural conditions. II. Gaze shifts between real targets differing in distance and direction. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 236(1285), 441-465.
- Fisher, S. K., Ciuffreda, K. J., Tannen, B., & Super, P. (1988). Stability of tonic vergence. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 29(11), 1577-1581.
- Fuchs, A. F., & Binder, M. (1983). Fatigue resistance of human extraocular muscles. *Journal of Neurophysiology*, 49(1), 28-34.
- Harris, M. C., & Wolpert, D. M. (2006). The main sequence of saccades optimizes speed-accuracy trade-off. *Biological Cybernetics*, 95(1), 21-29.
- Hughes, A. (1967). AC/A ratio. *British Journal of Ophthalmology*, 51(11), 786-787.

- Hung, G. K., Ciuffreda, K. J., Semmlow, J. L., & Horng, J.-L. (1994). Vergence eye movements under natural viewing conditions. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 35(9), 3486–3492.
- Hung, G. K., Semmlow, J. L., & Ciuffreda, K. J. (1986). A dual-mode dynamic model of the vergence eye movement system. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 33(11), 1021–1028.
- Hung, G. K., Zhu, H., & Ciuffreda, K. J. (1997). Convergence and divergence exhibit different response characteristics to symmetric stimuli. *Vision Research*, 37(9), 1197–1205.
- Jainta, S., Blythe, H. I., Nikolova, M., Jones, M. O., & Liversedge, S. P. (2015). A comparative analysis of vertical and horizontal fixation disparity in sentence reading. *Vision Research*, 110(PtA), 118–127.
- Jaschinski, W. (2017). Individual objective and subjective fixation disparity in near vision. *PloS One*, 12(1), e0170190.
- Krishnan, V. V., Farazia, F., & Stark, L. (1973). An analysis of latencies and prediction in the fusional vergence system. *American Journal of Optometry and Archives of American Academy of Optometry*, 50(12), 933–939.
- Leigh, R. J., & Zee, D. S. (2006). *The neurology of eye movements, 4th Edition*. New York-Oxford University Press.
- Martinez-Conde, S., Macknik, S. L., & Hubel, D.H. (2004). The role of fixational eye movements in visual perception. *Nature Reviews. Neuroscience*, 5(3), 229-240.
- Maxwell, J., Tong, J., & Schor, C. M. (2010). The first and second order dynamics of accommodative convergence and disparity convergence. *Vision Research*, 50(17), 1728–1739.
- Mutti, D. O., Jones, L. A., Moeschberger, M. L., & Zadnik, K. (2000). AC/A ratio, age, and refractive error in children. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 41(9), 2469-2478.
- Salmon, T. O. (2007) *Motor fusion & vergence eye movements*. Vision Science III -Binocular Vision Module, Lecture 4.
- Semmlow, J. L., Chen, Y. F., Pedrono, C., & Alvarez, T. (2008). Saccadic behavior during the response to pure disparity vergence stimuli: I. General properties, *Journal of Eye Movement Research*, 1(2):1, 1-11.
- Semmlow, J. L., & Wetzell, P. (1979). Dynamic contributions of the components of binocular vergence. *Journal of the Optical Society of America*, 69(5), 639–645.

- Yang, Q., Bucci, M. P., & Kapoula, Z. (2002). The latency of saccades, vergence, and combined eye movements in children and in adults. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 43(9), 2939-2940.
- Yuan, W., & Semmlow, J. L. (2000). The influence of repetitive eye movements on vergence performance. *Vision Research*, 40(22), 3089–3098.
- Zee, D. S., Fitzgibbon, E. J., & Optican, L. M. (1992). Saccade–vergence interactions in humans. *Journal of Neurophysiology*, 68(5), 1624–1641.

Maģistra darbs „Vergēnces atbildes izmaiņas ilgstošas tuvuma slodzes ietekmē”
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:

Ilga Gičevska
Stud.apl.nr. IG12088

Rekomendēju/nerekomendēju darbu aizstāvēšanai

Vadītāja: docente, Dr. phys. Aiga Švede

Recenzents: docents, Dr. phys. Gatis Ikaunieks

Darbs iesniegts Optometrijas un redzes zinātnes nodaļā _____

Dekāna pilnvarotā persona: metodiķe Dzintra Holsta

Darbs aizstāvēts Valsts pārbaudījuma komisijas sēdē

_____. protokola Nr. _____

Komisijas sekretārs: