

LATVIJAS UNIVERSITĀTE  
FIZIKAS UN MATEMĀTIKAS FAKULTĀTE  
OPTOMETRIJAS UN REDZES ZINĀTNES NODAĻA

**VERĢENCES ATBILDES IZMAIŅAS ATKĀRTOTOS  
MĒRĪJUMOS**

BAKALaura DARBS

Autors: Agnese Varlamova

Studentu apliecības Nr.: av12053

Darba vadītājs: docente, Dr. phys. Aiga Švede

RĪGA 2015

## ANOTĀCIJA

Bakalaura darbs ir uzrakstīts latviešu valodā uz 31 lapām, satur 32 attēlus, 2 tabulas un 14 atsauces uz literatūras avotiem.

**Darba mērķis.** Izvērtēt verģences sistēmas noguruma reģistrēšanas iespējas verģences mērījumu laikā.

**Dalībnieki un metode.** 20 dalībniekiem analizēts verģences atbildes maksimālais ātrums un tā reģistrēšanas laiks, stimulējot verģenci ar 1° lielu verģences soli.

**Rezultāti.** Konverģences atbildes verģences maksimālais ātrums nemainījās visiem dalībniekiem, reģistrēšanas laiks – vienam dalībniekam. Diverģences atbildes maksimālais ātrums mainījās pieciem dalībniekiem, reģistrēšanas laiks – vienam dalībniekam.

**Secinājumi.** Izvēlētais eksperimenta dizains nerada iespējamās noguruma pazīmes konverģences atbildei, bet uzrāda ietekmi uz diverģences atbildi – pieciem dalībniekiem novēro maksimālā ātruma samazināšanos. Iepriekšējā verģences stimula virziens ietekmē diverģences maksimālā ātruma reģistrēšanas laiku.

**Atslēgas vārdi:** konverģence, diverģence, maksimālais ātrums, maksimālā ātruma reģistrēšanas laiks

## ABSTRACT

Bachelor thesis is written in Latvian on 31 pages, it contains 32 pictures, 2 tables, and 14 references.

**Aim:** To evaluate the appearance of vergence system fatigue during vergence measurements.

**Participants and method:** There were analyzed maximal velocity of vergence response and its appearance time in 20 participants if 1° vergence step stimuli were used.

**Results:** Maximal velocity of convergence showed no changes in all participants, appearance time – in one participant. Maximal velocity of divergence changed in five participants, appearance time – in one participant.

**Conclusions:** Experimental design showed no signs of possible fatigue and effect on convergence response, but affected divergence response – five participants showed decrease of maximal velocity. In divergence, appearance time of maximal velocity is affected by the direction of previous vergence response.

**Keywords:** convergence, divergence, maximal velocity, appearance time of maximal velocity



## IEVADS

Lai nodrošinātu binokulārās sistēmas pamatbūtību – savienot abu acu uztverto redzes informāciju –, acis fiksē objektu, lai tā attēls projicētos abu acu fovejās. Tā kā objekti telpā ir novietoti dažādos attālumos un virzienos, tiek iesaistītas acu kustības – versijas un vergences, lai interesējošā objekta attēls varētu vienmēr projicēties abu acu fovejas. Mūsdienu ieradumi, darbs, brīvā laika pavadīšana, aktīvi izmantojot datoru un citas elektroniskās ierīces, rada palielinātu slodzi redzes sistēmai un tai skaitā arī binokulārajai sistēmai un acu kustībām. Līdz ar to palielinās nepieciešamība izvērtēt visu iesaistīto sistēmu darbības īpatnības noguruma ietekmē.

Vergences darbību var izvērtēt gan ar klīniskām metodēm, gan ar eksperimentālām metodēm. Uzlabojoties tehniskajam aprīkojumam, aizvien vairāk pielieto objektīvās metodes – acu kustību pieraksta iekārtas, lai novērtētu vergences darbību. Šajos pētījumos pieraksta vergences atbildes izmaiņas laikā, ja tiek veikti atkārtotas vergences kustības – konverģences un/vai diverģences. Tiek analizēti vairāki vergenci raksturojošie parametri: vergences latence, atbildes amplitūda un ilgums, maksimālais ātrums un tā reģistrēšanas laiks, kā arī vergences precizitāte, ko raksturo fiksācijas disparitāte (pārlieku vai nepietiekama redzes asu savirze, lai fiksētu aplūkojamo objektu). Pēc šiem parametriem var spriest, vai vergences sistēmai ir kādi darbības traucējumi.

Lai nodrošinātu, ka pats mērījums nerada vergences sistēmas nogurumu, ņem vērā vairākus nosacījumus: (1) vergences stimuli – konverģences un diverģences – tiek rādīti pēc nejaušības principa (randomizēti) un (2) vergences stimulu skaits ir neliels. Tādēļ šī darba mērķis ir izvērtēt vergences sistēmas noguruma reģistrēšanas iespējas vergences mērījumu laikā. Lai realizētu darba mērķi, tiek izvirzīti vairāki darba uzdevumi:

1. Raksturot konverģences atbildes maksimālo ātrumu un trajektoriju vergences mērījumu laikā.
2. Raksturot diverģences atbildes maksimālo ātrumu un trajektoriju vergences mērījumu laikā.
3. Izvērtēt iepriekšējā vergences stimula (konverģenta vai diverģenta) ietekmi uz nākamās vergences atbildes maksimālo ātruma reģistrēšanas laiku.

# 1. LITERATŪRAS PĀRSKATS

## 1.1. Vergence un tās komponentes

Acu kustības nodrošina 6 ārējie acu kustību muskuļi. Aplūkojot objektus telpā, tiek iesaistīti divi galvenie acu kustību veidi – versijas un vergences. Versijas ir acu kustības, kad abas acis pagriežas vienā virzienā, piemēram, pa kreisi vai pa labi. Tā kā abas acis pagriežas vienā virzienā, versijas ir konjunktīvas jeb savienjošas kustības. [1] Savukārt vergences ir acu kustības, kur skata virziens ir nemainīgs, bet attālums līdz fiksācijas punktam mainās. Acis griežas pretējos virzienos, rotējot uz iekšu, tās konverģē, bet uz āru – diverģē, tāpēc šīs kustības ir disjunktīvas jeb atdalošas kustības [1]. Vergences kustības ir lēnas acu kustības – divu redzes asu (līnija, kas savieno objekta punktu ar tā tīklenes attēlu [2]) savstarpējais leņķis tiek pielāgots, ņemot vērā vizuālo atbildi par mērķa dziļumu [3].

Vergencei izšķir vairākas komponentes:

- toniskā vergence,
- disparitātes vergence,
- akomodatīvā vergence,
- proksimālā vergence,
- patvaļīgā vergence [1].

Binokulārās redzes darbības mērķis ir nodrošināt vienlaicīgu acu virzību uz fiksējamo objektu un tā monokulāro attēlu projicēšanu uz tīklenes korespondējošiem punktiem. Ja objekts atradīsies aiz vai pirms fiksācijas punkta, tas radīs dubultošanos [1]. Disparitāte ir starpība starp vietu uz tīklenes, kur projicējas objekta attēls, un foveju [3]. Disparitātes vergences uzdevums ir samazināt tīklenes disparitāti un novietot abu acu attēlus pēc iespējas tuvāk attiecīgās acs fovejai.

Disparitātes vergenci var iedalīt divās komponentēs: ātrā un lēnā disparitātes vergences. Ātrā disparitātes vergences kustību fāze ietekmē vergences dinamiku [1].

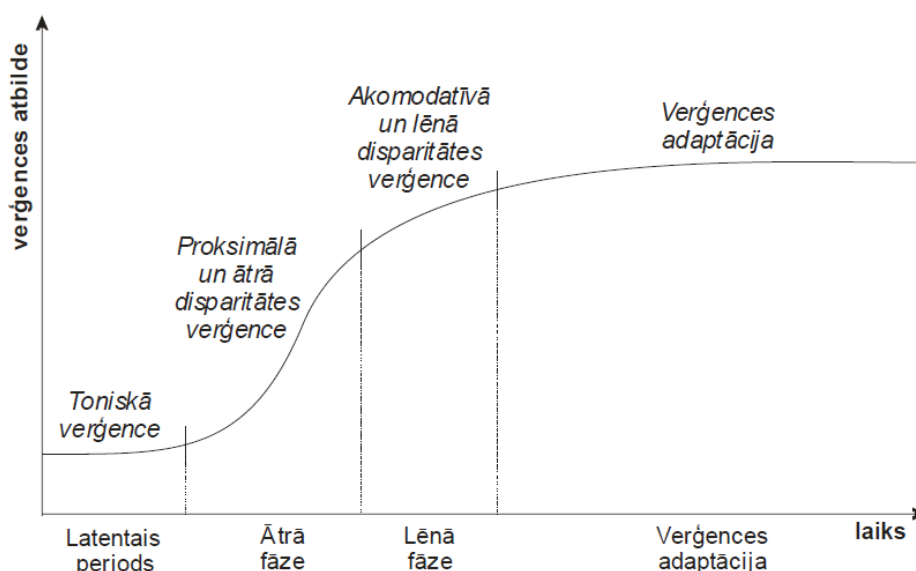
Akomodatīvo vergenci ierosina izplūdis objekta attēls, kas rodas mainoties objekta attālumam uz akomodācijas pieprasījumu, tādējādi mainot fokusa attālumu [3]. Akomodācija sakoncentrē skatu uz tuvu esošu fiksācijas objektu. Mainot skatu uz citu fiksācijas punktu, akomodācijas reflekss veidojas neapzināti. Konverģences reflekss ir cieši saistīts ar akomodācijas refleksu. Akomodācija palīdz konverģēt acis [1].

Toniskā vergence, saukta arī par tumsas vergenci, ir abu acu miera stāvoklis, kad nav disparitātes un akomodācijas stimulu [4]. Toniskā vergence raksturo anatomisko miera pozīciju [1].

Proksimālā verģence atšķiras no citiem verģences tiptiem un tiek stimulēta ar tuvumā uztvertā objekta attālumu. To neizraisa tīklenes disparitāte. Kad nepieciešama liela konverģence, piemēram, mainot skatu no tālas uz tuvu fiksāciju, proksimālā verģence ierosina lielu konverģences soli [1]. Proksimālo verģenci izraisa verģences leņķa izmaiņas, uztverot tuvumā esošu objektu [3].

Ar pakāpenisku fiksāciju tuvuma darbā, piemēram, lasot, disparitātes verģence un akomodatīvā verģence pakāpeniski samazinās un tiek aizvietota ar verģences adaptāciju. Disparitātes un akomodatīvajai verģencei ir ātra atbilde mainoties fiksācijas attālumam, bet verģences adaptācija pieprasa vairākas minūtes. Verģences adaptācija katram ir individuāla, vienam tā ir vāja, citiem labi izteikta. [1]

Patvaļīgā verģence var būt izraisīta neapzināti. Šo verģenci ir grūti saglabāt ilgstoši, jo tā var traucēt vizuālās informācijas apstrādei. [1]



**1.1. attēls.** Verģences atbildes izmaiņas laikā, parādot dažādo verģences komponentu iesaistīšanās brīžus [6]

Verģences sistēmas darbības procesu nodrošina stimula ierosināta skata maiņa no tuvumā esoša priekšmeta uz tālu esošu objektu. Sākotnēji verģences darbību nodrošina proksimālā verģence un ātrā disparitātes verģence, veicinot konverģences soli. Projicējoties objekta attēlam fovejā, ieslēdzas akomodatīvā un lēnā disparitātes verģence. Verģences darbībai beidzoties, tālāk nepieciešams darboties verģences adaptācijai un fiksētajam mērķim, lai saglabātu verģences pozīciju (skat. 1.1. att.) [5].

## 1.2. Verģences atbildi raksturojoģie parametri

Verģences acu kustģbu dinamiku raksturo latence, maksimālais ātrums un tā reģistrģšanas laiks, atbildes amplitģda un ilgums.

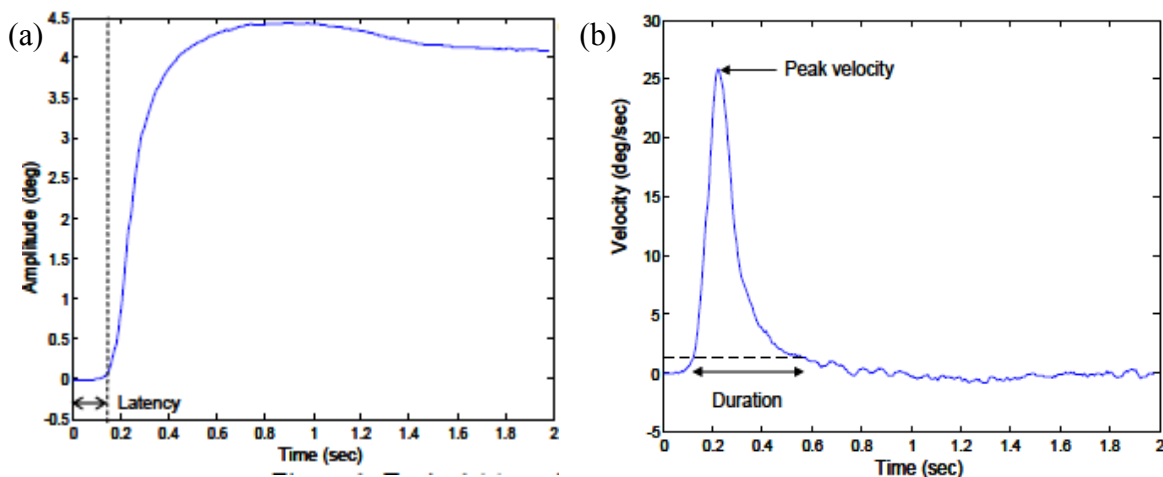
Verģences latence ir laika intervāls starp mģrģa parādģšanos un kustģbu sākumu uz parādģjuģos mģrģi (skat. 1.2.a att.) [2]. Verģences latences periods ilgst apmģram 160 līdz 200 ms, kā arī ir ģsāks par sakādes latento periodu, kas ilgst 200-250 ms [7]. *Rashbass un Westheimers* apgalvo, ka latence konverģencei un diverģencei ir vienāda robeģzās no 160 līdz 170 ms, kaut gan literatģrā tas ir strģdģgs jautājumus, jo latences lielums ir individuāli mainģgs (skat. 1.1. tab.). Diverģences ātruma atbilde un dinamika kopumā ir atkarģga no stimula sākotnģjā izvietojuma – jo tuvāk stimulš atradģsies dalģbģniekam, jo ātrāks bģs diverģences maksimālais ātrums, latences un laiks, kurā parādās maksimālais ātrums. [8]

### 1.1. tabula

Konverģences un diverģences latences izmaiņas (ms) dažādos pģtģjumš[8]

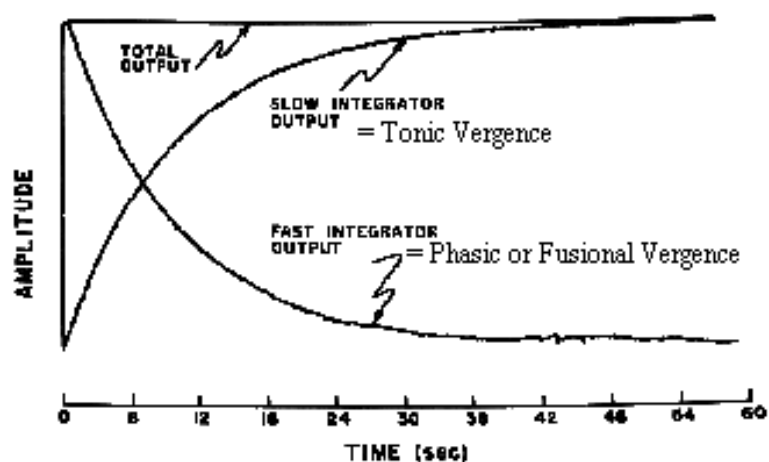
Latency, ms		Pģtģjums
Konverģence	Diverģence	
180	190	Semmlow and Wetzel (1979)
161	182	Hung et al. (1997)
250	210	Krishnan et al. (1973)
150 ± 30	130 ± 20	Alvarez et al. (2002)
219 ± 7	198 ± 8	Yang et al. (2002)

Salģdzinot kustģbu ilgumus, konverģencei tas ir ilgāks un ilgst 800 – 1000 ms [7]. Verģences ilgums un maksimālais ātrums tiek noteikti no ātruma profila (nolasģts grafikā) (skat. 1.2.b att.). Verģences ilgums tiek noteikts no tā brģža, kad tiek uzsākta verģence un līdz brģdim, kad acis ieņģm stabilu stāvokli. Maksimālais ātrums ir galvenais parametrs kvantitatģvai acu kustģbu pģtniecģbai. Diverģences dinamika tiek ietekmģja, ja izmaina ierosināģ mģrģa pozģciju [2].



1.2. attēls. (a) Verģences atbildes un (b) verģences atbildes ātruma izmaiņas laikā [3]

Verģences kustībām izšķir ātro un lēno fāzi. Ātrā verģences fāze iestājas kā pirmā atbilde uz tīklenes attēla disparitāti, kas to samazina. Pēc ātrās fāzes iestājas lēnā fāze, kas cenšas noturēt objekta attēlu tuvu fovejai, radot skaidru binokulāro redzi (skat. 1.3. att.). [9, 10]



1.3. attēls. Verģences atbildes sadalģjums ātrajā un lēnajā fāzē: sākumā tiek aktivizēta lēnā fāze, kurai pakāpeniski rimstot, aktivizējas lēnā fāze. Lēnās fāzes laikā tiek aktivizēta toniskā verģences jeb verģences adaptācija [11]

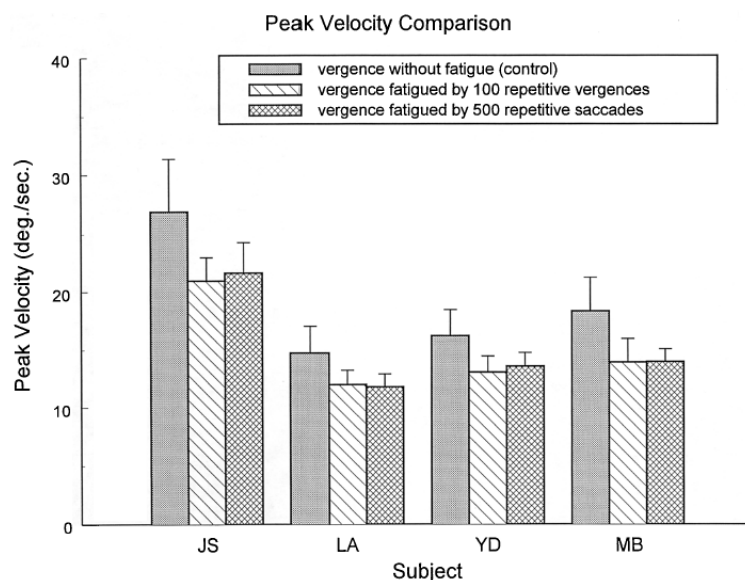
### **1.3. Objektīvi mērītas vergēnces atbildes eksperimentālā metode**

Klīniski pārbaudot, binokulāras acu kustības objektīvi nomērīt ir grūti, jo metode pieprasa precīzi izstrādātu mērīšanas iekārtu, testa procedūru un datu analīzi, tāpēc subjektīvā metode ir precīzāka

Objektīvi mērot vergēnces atbildes, tiek izmantota video ierakst programma EyeLinkII, kas ieraksta vienlaicīgi abu acu kustības. Lai nodrošinātu eksperimenta izpildi, ir nepieciešams fiksēt dalībnieka galvu, lai izvairītos no liekās kustībām. Ierakstīšanas programmas balstās uz tumšās zīlītes sistēmu, kas izseko zīlītes centru ar līdzīgu centroīda aprēķina algoritmu ar teorētisku trokšņa sliekšni 0,01 grādu (0,6 loka minūtes) un ar izšķirtspējas troksni <3grādi/s divdimensionālai acu izsekošanai. Pirms vergēnces soļu sērijas sākšanas, tiek veikta monokulāra iekārtas kalibrēšana: pacientam tiek lūgts fiksēt skatienu uz ekrānā attēlotiem stimuliem, kas pēc nejaušības principa parādās centrālā ekrāna daļā vai ar horizontālu nobīdi (1,5 vai 3,0 grādi) pa labi vai pa kreisi. Lai pievērstu uzmanību kalibrēšanas stimulam un atvieglotu eksperimenta dalībnieka fiksāciju stimulam, attēlotā stimula diametrs samazinājās. Šie dinamiskie attēli neradīja paliekošus seku attēlus, jo stimulš tika attēlots uz spoža ekrāna fona. Vergēnces lielums tiek rēķināts kā abu acu savstarpējā novietojuma atšķirība. Lai izvairītos no mirkšķināšanas un ekstrēmu acu kustību radītiem neprecīziem datiem, iegūtās vērtības, kas ir divas reizes lielākas nekā horizontālā kalibrēšanas intervāla vērtības. Lai novērtētu vergēnces atbildes izmaiņas, stimuli tika rādīti pēc nejaušības principa, tādējādi dalībniekam neļaujot nojaust par nākamā stimula soļa virzienu. [5]

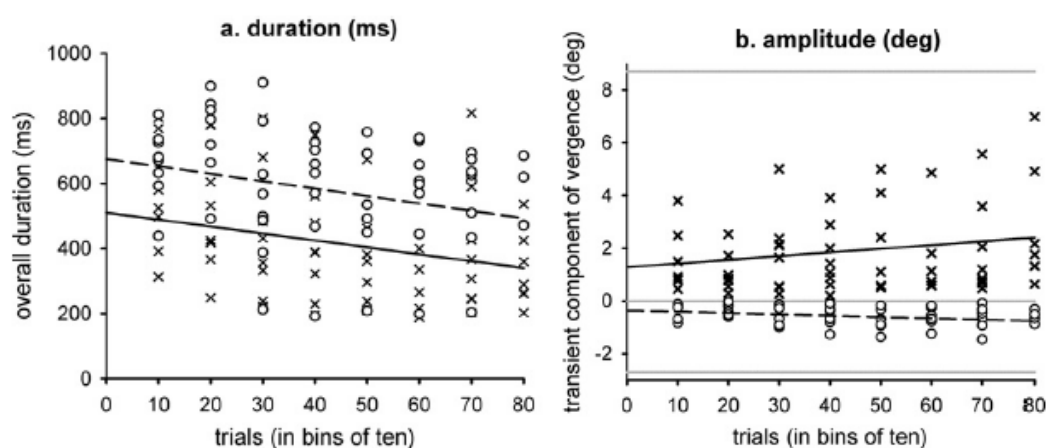
### **1.4. Vergēnces dinamikas izmaiņas atkārtotas stimulēšanas gadījumā**

*Semmlow* (2001) [4] savā pētījumā par atkārtotām vergēnces acu kustībām, pierādīja, ka visbūtiskāk tiek ietekmēts konverģences maksimālais laiks. Grafikā (skat. 1.4. att.) ir kvantitatīvi attēlots salīdzinājums vidējiem maksimālajiem vergēnces ātrumiem visiem četriem eksperimenta dalībniekiem. Redzams, ka konverģences laiks samazinās par 20 %, un šos rezultātus skaidro ar muskuļu nogurumu. Pētījumā tika secināts, ka daudzu sakāžu atkārojumu radīts nogurums, būtiski samazināja vidējos maksimālos ātrumus vergēnces atbildei. Šo nogurumu skaidro ar acu kustības sistēmas neiromuskulārajām izmaiņām.



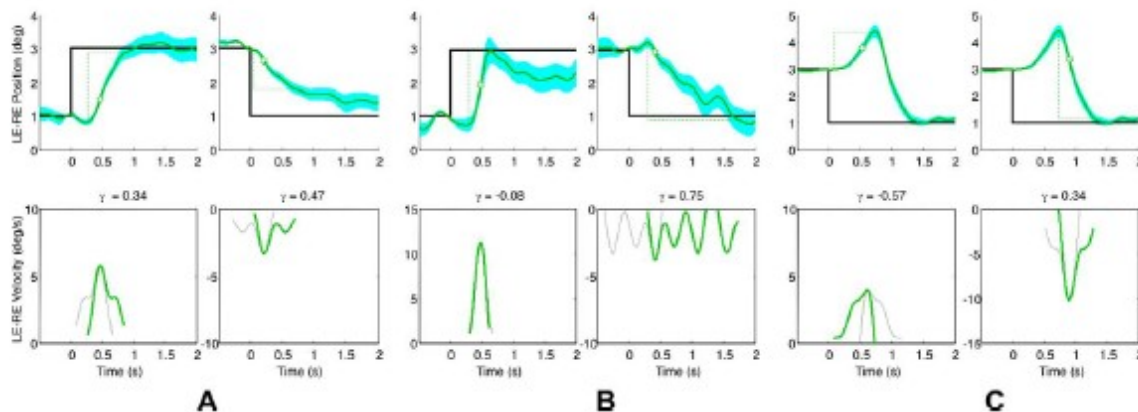
**1.4. attēls.** Maksimālo ātrumu vidējās vērtībass (grādi/s): pelēkie stabiņi – bez noguruma, svītrotie – pēc 100 atkārtotām vergences kustībām, un rūtotie – pēc 500 atkārtotām vergences kustībām [4]

*Jainta* (2011) pētījumā par vergences dinamikas izmaiņām ieguva, ka vergences ilgums arī mainās atkārtotu mērījumu laikā. Konverģences atbildes kopējais pirms un pēc eksperimenta izpildes ilgums samazinājās par 170 ms, bet diverģencei par 182 ms, jāatzīmē, ka diverģences atbildes bija garāka nekā konverģencei (skat. 1.5.a att.). Vergences amplitūda gan konverģencei, gan diverģencei pieauga ievērojami. Salīdzinot ar sākuma vergenču amplitūdām, konverģencei tā pieauga par 1,1 grādu, bet diverģencei par 0,4 grādiem (skat. 1.5.b att.) [3].



**1.5. attēls.** (a) Vergences ilguma (ms) samazināšanās gan konverģences (aplītis), gan diverģences gadījumā (krustiņš); (b) vergences amplitūdas (grādi) pieaugums [23]

Daudzi pētījumi apgalvo, ka konverģences dinamika ir ātrāka nekā diverģences, kamēr citi pētījumi apliecina, ka šīm verģencēm dinamikas iezīmes ir vienādas vai arī diverģence ir ātrāka par konverģenci. *Rashbass un Westheimer* [2] apraksta, ka diverģencei un konverģencei ir vienāds latences laiks, apmēram 160 – 170 ms.



**1.6. attēls.** Verģences atbildes (pirmā grafiku rinda) un maksimālo ātrumu (otrā grafiku rinda) vidējo vērtību asimetrija: (A) konverģences/diverģences atbildes grupai ar pietiekamu verģences ātrumu; (B) konverģences/diverģences atbildes grupai ar lēnu kādas verģences atbildi; (C) diverģences paraugs, kur novēro vienu un to pašu verģences atbildi gan uz konverģences, gan diverģences stimulu [12]

*Tyler* (2012) [12] savā pētījumā secināja, ka konverģences un diverģences ātrumi atšķiras individuāli un tie, secīgi atkārtojoties, ietekmē viens otru. Secināja, ka ir cilvēki ar vai nu izteikti lēnu, vai ātru konverģenci un diverģenci, bet stāvoklis ar abu verģenču vienādi izteiktu lielu vai mazu ātrumu nav konstatēts (skat. 1.6. att.). 1 grādu lielam verģences stimulam tipiska maksimālā ātruma vidējā vērtība ir  $10,3 \pm 2,8$  grādi/s konverģences atbildei un  $-9,1 \pm 1,9$  grādi/s diverģences atbildei. Viens no eksperimenta dalībniekiem parādīja lielu nespēju veikt disparitātes ierosinātu diverģenci, jo iepriekšējais stimuls bija konverģenci ierosinošs solis. Šī dalībnieka diverģence bija ilgāka par normālas diverģences laiku, to skaidro ar acu ātru nespēju nofiksēties pareizajā verģences stimula pozīcijā (skat. 1.6.c att.).

## 1.5. Kopsavilkums

Izanalizējot literatūru, tiek sagaidīts, ka veicot nelielu skaitu verģences kustību (piemēram, 20 konverģenti un 20 diverģenti stimuli), verģences atbildes parametri – maksimālais ātrums un tā reģistrēšanas laiks, statistiski būtiski nemainīsies. Eksperimenta rezultātu gaitā novēros stabilu konverģences atbildi (bez būtiskām izmaiņām). Turklāt diverģences gadījumā sagaidāmas izmaiņas, jo tā ir atkarīga no iepriekšējā verģences stimula, kas var mainīt verģences atbildes dinamiskos parametrus.

## 2. EKSPERIMENTĀLĀ DAĻA

### 2.1. Verģences mērijumi

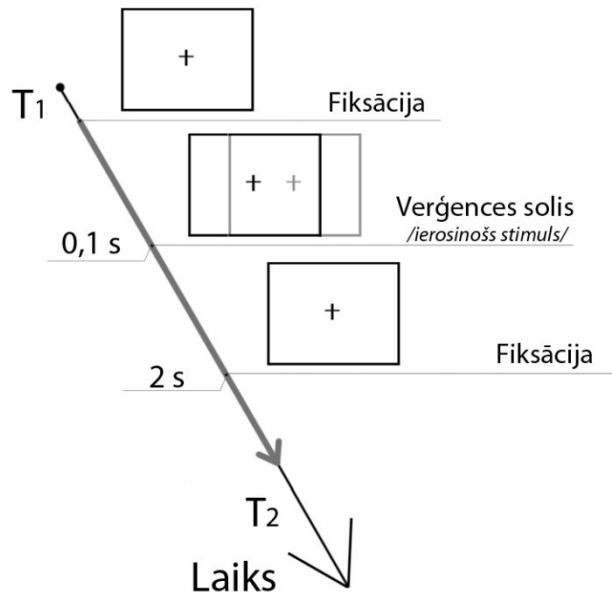
Darbā tika analizēti verģences mērijumi no eksperimenta, kuru savā promocijas darbā pielietojusi mana darba vadītāja Švede. Verģences mērijumi ievākti laika posmā no 2008. līdz 2009. gadam Dortmundes universitātes Darba vides un cilvēku faktoru pētniecības centrā (Leibniz - Institut fur Arbeitsforschung an der TU Dortmund (IfADo)), Dortmunde, Vācija.

Verģences atbildes izmaiņas tika mērijtas, izmantojot spoguļa stereoskopa sistēmu (lai nodrošinātu abu acu attēlu savstarpējo atdalīšanu), un objektīvi ierakstītas ar EyeLink II videookulogrāfijas iekārtu (SR Research Ltd., Osgoode, ON, Canada – binokulāri ar 500 Hz frekvenci). Precīzāka mērijumu procedūra aprakstīta Švedes promocijas darbā „Eksperimentāls verģences atbildes un fiksācijas disparitātes pētījums” (2013) [13].

Tā kā darba mērķis ir izvērtēt eksperimenta dizaina ietekmi uz verģences mērijumiem, tad es sākotnēji izpētīju, kā tika izveidots pats eksperiments [13]. Visi dalībnieki tika informēti par eksperimenta būtību un veicamo uzdevumu. Sākotnēji dalībniekam ļāva iepazīties ar uzdevumu, parādot 20 verģences soļa stimulus (10 konverģences un 10 diverģences stimuli, kas parādījās pēc nejaušības principa. Pēc tam tika veikta 9 punktu kalibrēšanas procedūra, kurai sekoja 40 verģences soļa stimuli (20 konverģences un 20 diverģences), kuru noslēgumā tika atkārtota 9 punktu kalibrēšanas procedūra.

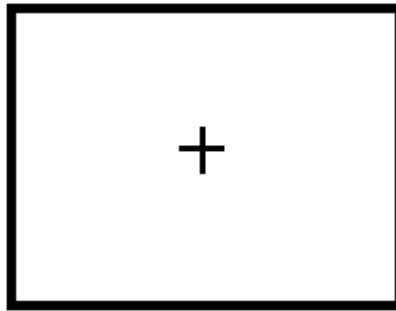
Bakalaura darba ietvaros tika analizēti tikai 40 verģences soļi, kas noteikti starp abām kalibrēšanas procedūrām. Šo verģences stimulu parādīšanas nosacījumi (eksperimenta gaita):

- 1) konverģences un diverģences stimuli tika rādīti pēc nejaušas izvēles principa, lai dalībnieks nevar paredzēt, kāds būs nākamais verģences solis,
- 2) katrs verģences stimulš tika rādīts 2 s, lai iegūtu pilnu verģences atbildi,
- 3) pēc katra verģences stimula parādīšanas (pēc 2 s), verģences sistēma atgriezās sākotnējā atskaites pozīcijā, kur palika ar 2,1 – 3,0 s intervālu (mainījās pēc nejaušas izvēles principa), lai dalībnieks nevar paredzēt, kad parādīsies nākamais verģences stimulš (skat. 2.1. att.),
- 4) mērijumi tika atkārtoti 3 dažādās dienās, kur katrā dienā bija 5 atsevišķi mērijumi; katrs mērijums ilga vidēji 6 min, kas varēja radīt verģences sistēmas nogurumu, jo tika veiktas ilgas (120) un vienveidīgas acu kustības.



**2.1. attēls.** Eksperimenta gaitas shematisks attēlojums

Kā stimulš tika izmantots attēls ar perifēru un centrālu fūzijas mērķi – taisnstūris (300 loka minūtes plats un 230 loka minūtes augsts; līnijas platums: 12 loka minūtes) un centrāls krusts (30 x 30 loka minūtes; līnijas platums: 6 loka minūtes). Izmantotais stimulš ir melns uz balta fona ar  $33 \text{ cd/m}^2$  spožumu (skat. 2.2. att.).



**2.2. attēls.** Fiksācijas attēls, ko izmantoja kā vergences stimulš

Vergences atbildes izmaiņas nosaka, rādot krustotu vai nekrustotu disparitāti, kas liek dalībniekam konverģēt vai diverģēt. Attēlojot krustotu disparitāti, kreisā acs redz labās puses attēlu un labā acs – kreisās puses attēlu. Lai tiktu saplūdināti abu acu attēli, dalībniekam nepieciešams veikt acu kustības konverģentā virzienā. Diverģentu acu kustību izraisa nekrustotā disparitāte, kad labā acs redz labās puses attēlu un kreisā – kreiso attēlu.

## 2.2. Eksperimenta dalībnieki

Eksperimentā piedalījās 20 dalībnieki vecumā no 16 līdz 34 gadiem (vidējais vecums 25 gadi). Visiem dalībniekiem monokulārais un binokulārais redzes asums tālumā (5 m) un tuvumā (60 cm) nav zemāks par 1,0 decimālajās vienībās, kā arī bija netraucēta binokulārā redze un acu kustības. Līdz ar to visiem dalībniekiem bija emetropija (sfēra un cilindra stiprums  $\pm 0,5$  D diapazonā), izņemot vienu, kurš eksperimenta laikā lietoja kontaktlēcas (-2,00 D abās acīs).

## 2.3. Datu apstrāde

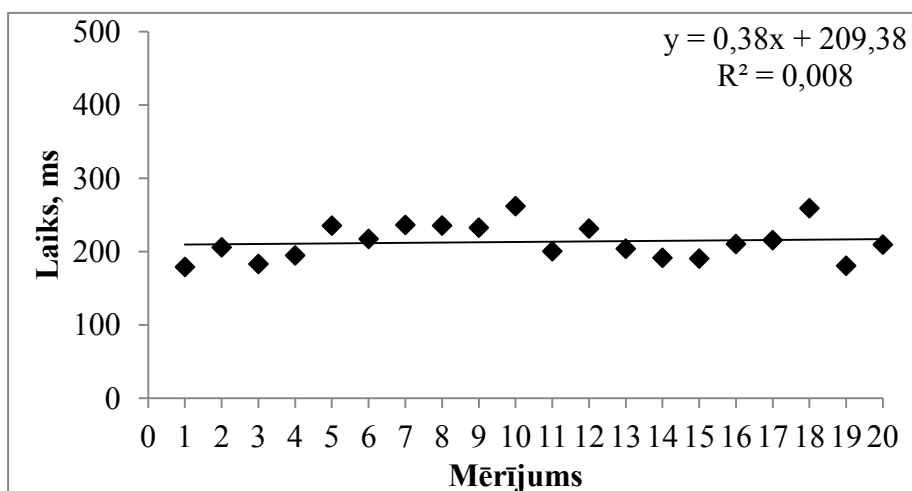
Vergences atbilde tika izrēķināta kā starpība starp kreisās un labās acs noteiktajām ekrāna koordinātēm, kas aprēķinātas, izmantojot abu kalibrēšanas procedūru rezultātu vidējās vērtības. Lai aprēķinātu vergences atbildes ātrumu, tika izmantots divu punktu centrālās diferences algoritms (*two-point central difference algorithm*) [14]. FFT filtrs (10 Hz *low-pass*) tika pielietots, lai izlīdzinātu vergences ātruma izmaiņu rezultātus un iegūtu no trokšņiem brīvu vergences ātruma ainu. No iegūtās līknes tika nolasīts maksimālais vergences ātrums un laiks, kādā tas tiek sasniegts (maksimālā ātruma reģistrēšanas laiks). Tā kā eksperiments atkārtots trīs dažādās dienās, tiek izvērtēts, kā rezultāti mainās katras dienas laikā un analizēts, kā rezultāti kopumā ir mainījušies visa eksperimenta laikā.

## 2.4. Rezultāti un to analīze

### 2.4.1. Konverģentās atbildes maksimālais ātrums un tā reģistrēšanas laiks

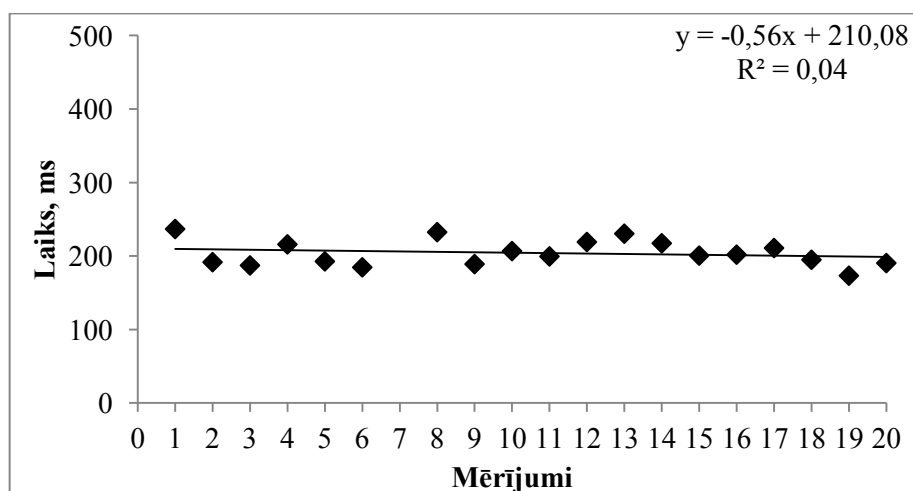
Daudziem dalībniekiem novēro maksimālā ātruma reģistrēšanas laika tendenci mainīties, atkārtoti veicot vergences kustības. Tādēļ tika vērtēts arī lineārās regresijas slīpuma koeficients un tā konfidences intervāls (95 % ticamības intervāls). Ja konfidences intervālā ietilpa nulles vērtībā, slīpuma koeficients nav statistiski nozīmīgs un vērtību izmaiņas atkārtotu mērījumu gadījumā neparādās. Savukārt, ja konfidences intervālā nulles vērtība neietilpst, ar 95 % ticamību var uzskatīt, ka iegūtajiem rezultātiem novēro tendenci mainīties, palielinoties mērījumu skaitam.

Izanalizējot visu dalībnieku ( $n = 20$ ) iegūtos rezultātus konverģences gadījumā, rezultāti parāda, ka 17 dalībniekiem nenovēroja statistiski būtiskas vergences maksimālā ātruma reģistrēšanas laika izmaiņas īslaicīgi atkārtotos mērījumos katras dienas ietvaros ( $p \geq 0,05$ ). Piemēram, attēlojot vidējos rezultātus D10 dalībniekam (skat. 2.3. att.), novēro, ka maksimālā ātruma reģistrēšanas laiks nemainās ( $0,38 \pm 0,98$ ;  $p > 0,05$ ). Vidējais maksimālā ātruma sasniegšanas laiks ir  $213 \pm 25$  ms. Dalībniekam novēro stabilu konverģences darbību.



**2.3. attēls.** D10 dalībnieka konverģences maksimālā ātruma reģistrēšanas laika vidējās vērtības no visu dienu atkārtotiem mērījumiem

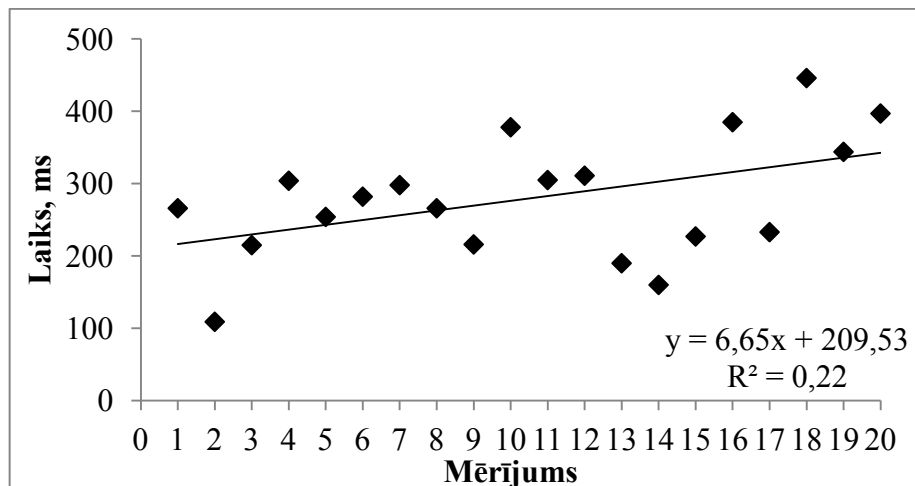
Līdzīgu tendenci novēro D12 dalībniekam (skat. 2.4. att.), jo rezultātu izkliede ir neliela un stabila visa mērījuma laikā (slīpuma koeficients:  $-0,56 \pm 0,69$ ;  $p \geq 0,05$ ). Konkrētā dalībnieka konverģences maksimālā ātruma sasniegšanas laiks ir  $279 \pm 40$  ms.



**2.4. attēls.** D12 dalībnieka konverģences maksimālā ātruma reģistrēšanas laika vidējās vērtības no visu dienu atkārtotiem mērījumiem

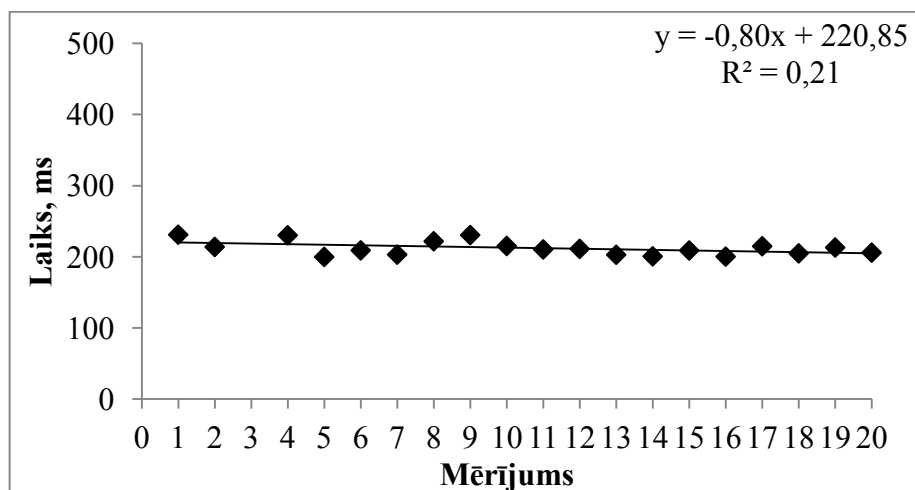
Novēro arī pretējus rezultātus, kad konverģences maksimālā ātruma reģistrēšanas laiks mainās. Trīs dalībniekiem (D3, D5, D9) izmaiņas tiek novērotas gan konkrētās eksperimenta dienas, gan visu eksperimenta dienu vidējām vērtībām. Piemēram, D3 dalībniekam novēro maksimālā ātruma reģistrēšanas laika pieaugumu pirmās eksperimenta dienas laikā (slīpuma koeficients:  $6,65 \pm 2,97$ ;  $p = 0,04$ ) (skat. 2.5. att.), ko nenovēro divās citās eksperimenta dienās (slīpuma koeficients: 2. diena:  $-0,05 \pm 6,1$ ;  $p > 0,05$ ; 3. diena:  $2,17 \pm 1,73$ ;  $p > 0,05$ ).

Vidējais maksimālā ātruma reģistrēšanas laiks pirmajā dienā ir  $279 \pm 84$  ms. Dalībniekam datu izkliede ir liela, maksimālā ātruma reģistrēšanas laika izmaiņas būtiski ietekmē arī vidējos dalībnieka eksperimenta datus (slīpuma koeficients:  $4,68 \pm 2,05$ ;  $p = 0,03$ ). Šādas izmaiņas pirmās dienas laikā varētu pieskaitīt pie noguruma radītām izmaiņām.



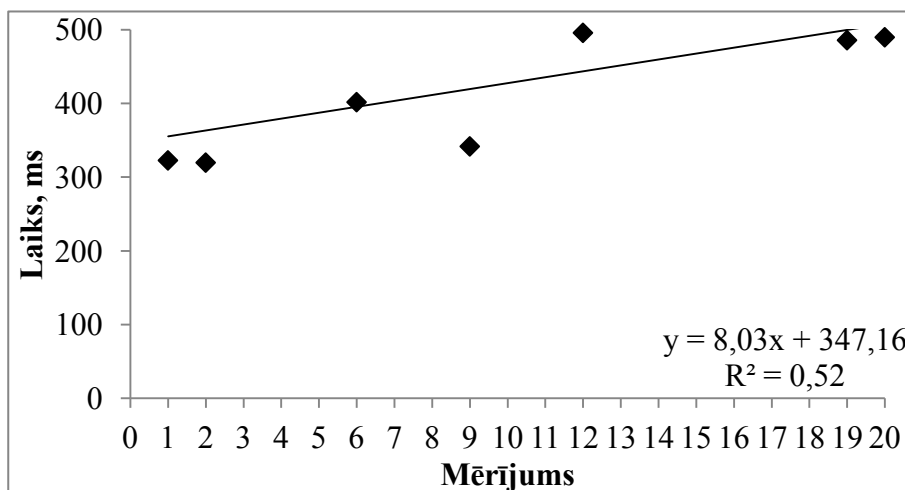
**2.5. attēls.** D3 dalībnieka konverģences maksimālā ātruma reģistrēšanas laika izmaiņas pirmajā dienā

Savukārt D5 dalībniekam trešās dienas mērījumu laikā novēro ļoti mazu datu izkliedi un nelielu laika samazināšanos mērījuma beigās (slīpuma koeficients:  $-0,80 \pm 0,37$ ;  $p = 0,04$ ) (skat. 2.6. att.), dalībniekam ir bijis nepieciešams mazāks laiks, lai sasniegtu konverģences stimula maksimālo ātrumu. Neskatoties uz šādu vienas dienas rezultātu, kopumā dalībnieka konverģences vidējie maksimālā ātruma reģistrēšanas laiki būtiski neatšķiras atkārtotu mērījumu ietekmē. Parādību var skaidrot kā personas labo spēju konverģēt, kas norāda uz stabilu acu kustību sistēmu, vai arī dalībnieku ietekmē mācīšanās efekts, kura laikā tiek uzlabota eksperimenta izpilde, uzrādot labākus rezultātus.



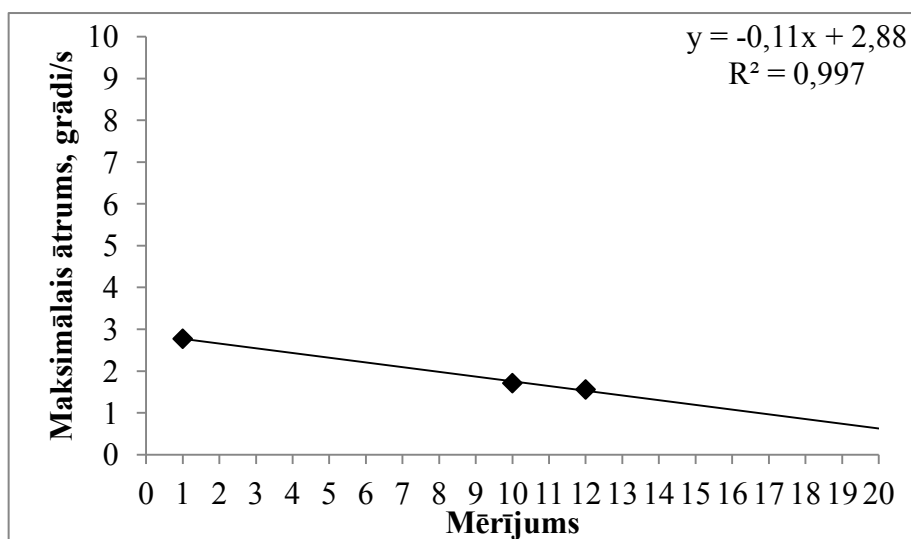
**2.6. attēls.** D5 dalībnieka konverģences maksimālā ātruma reģistrēšanas laika izmaiņas trešajā dienā

Dalībniekam D9 novēro statistiski būtiskas izmaiņas otrās dienas laikā (slīpuma koeficients:  $8,03 \pm 2,88$ ;  $p = 0,02$ ) (skat. 2.7. att.), kaut gan kopējos rezultātus tas neietekmē. Vidējais maksimālā ātrums reģistrēšanas laiks D9 dalībniekam ir  $337 \pm 36$  ms. Datu izkliedi var skaidrot zemo eksperimenta izpildes kvalitāti. Kā nederīgi tika atzīti mērījumi, kuru laikā dalībnieks ir mirkšķinājis [13]. Šis dalībnieks uzrāda, ka kopumā vidējiem rezultātiem nenotiek būtiski statistiska izmaiņa atkārtotu mērījumu laikā.



2.7. attēls. D9 dalībnieka konverģences maksimālā ātruma reģistrēšanas laika izmaiņas otrajā dienā

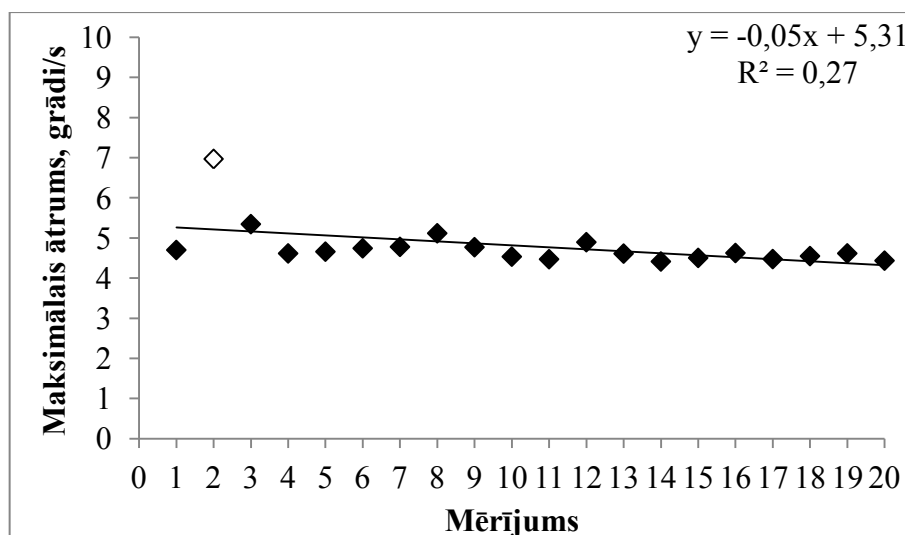
Papildus tika analizēts arī verģences atbildes ātrums atkārtotu mērījumu ietekmē. Atbildes ātrums konverģencei palika nemainīgs 16 dalībniekiem ( $n = 20$ ), bet 4 dalībniekiem (D2, D4, D11, D19) novēroja būtisku konverģences ātruma izmaiņu.



2.8. attēls D2 dalībnieka konverģences maksimālā ātruma izmaiņas otrajā dienā

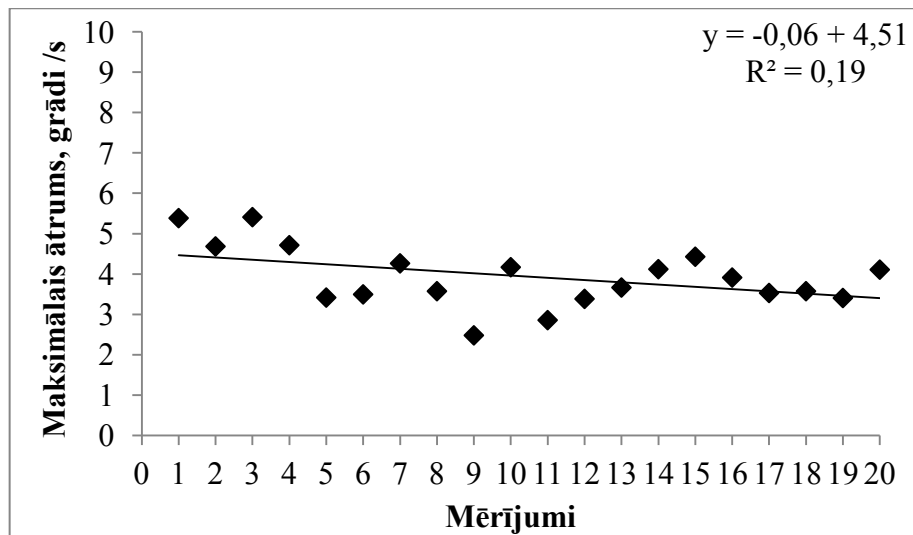
D2 dalībniekam novēro maksimālā ātruma izmaiņas otrās dienas mērījumiem (slīpuma koeficients:  $-0,11 \pm 0,006$ ;  $p = 0,03$ ) (skat. 2.8. att.). Negatīvs slīpuma koeficients norāda uz mācīšanās procesu eksperimenta laikā, tādējādi tiek uzlaboti rezultāti. Iegūtie rezultāti nav uzskatāmi, jo dalībniekam par derīgiem atzīti tikai 3 mērījumi no 20 (nederīgi dati biežās mirkšķināšanas dēļ), tāpēc īsti nevar spriests par to patiesumu. Ja apskata visu dienu vidējos rezultātus, nenovēro maksimālā ātruma izmaiņas atkārtotu mērījumu ietekmē (slīpuma koeficients:  $0,02 \pm 0,02$ ;  $p > 0,05$ ). Maksimālais konverģences ātrums (visu dienu vidējā vērtība) šim dalībniekam ir  $2,7 \pm 0,5$  grādi/s.

Dalībniekam D4 izmaiņas novēro konverģences ātruma vidējiem datiem, ko ietekmē pirmās dienas rezultātu izmaiņas (slīpuma koeficients:  $-0,05 \pm 0,02$ ;  $p = 0,02$ ) (skat. 2.9. att.). 2.9. attēlā neiekļautais punkts norāda uz vienu netipiski ātru konverģences maksimālo ātrumu (7 grādi/s liels). Tas ļoti atšķiras no vidējās vērtības, kas ir  $5 \pm 1$  grādi/s. Aprēķinot statistiskos datus bez šīs vērtības, iegūst, ka ātrums atkārtotos mērījumos statistiski būtiski nemainās (slīpuma koeficients:  $0,04 \pm 0,04$ ;  $p \geq 0,05$ ).



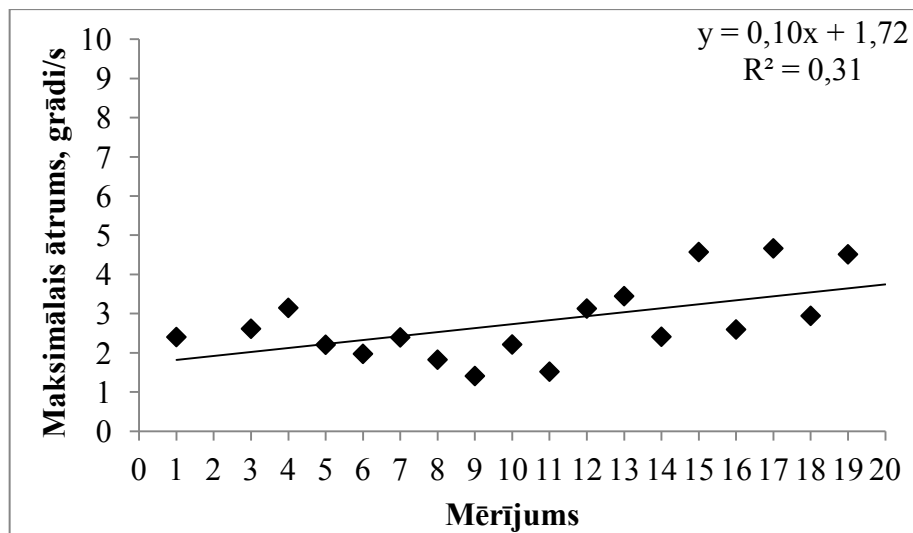
2.9. attēls. D4 dalībnieka konverģences maksimālā ātruma izmaiņas pirmajā dienā

D12 dalībniekam vizuāli apskatot rezultātus ir iespajds, ka konverģences gadījumā maksimālais ātrums samazinās eksperimenta sērijas laikā (skat. 2.10.att.). Taču veicot statistisko analīzi, rezultāti nav statistiski nozīmīgi (slīpuma koeficients:  $p = -0,06 \pm 0,03$ ;  $p > 0,05$ ). To varētu skaidrot ar lielo datu izkliedi dēļ.



2.10. attēls. D12 dalībnieka konverģences maksimālā ātruma izmaiņas visu dienu atkārtotiem mērījumiem

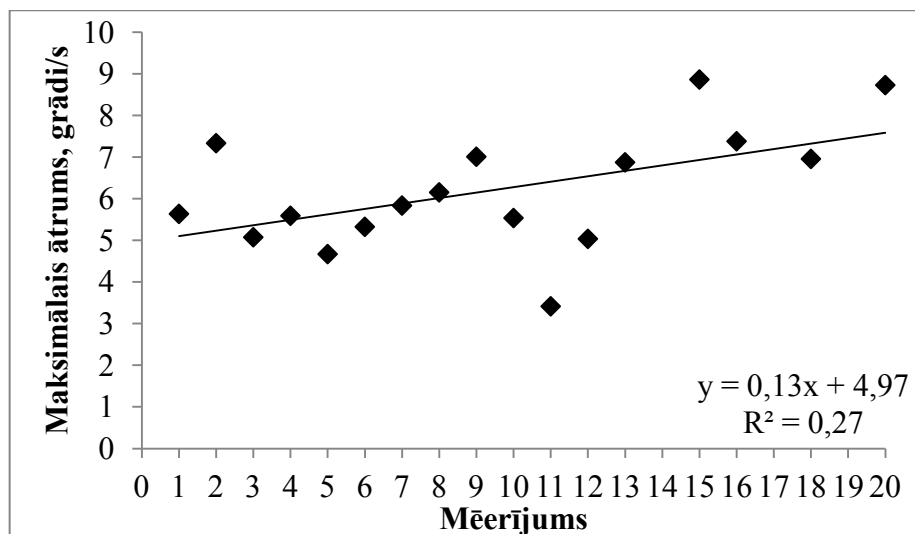
Dalībniekam D11 novēro maksimālā ātruma statistiski nozīmīgas izmaiņas otrās dienas laikā (slīpuma koeficients:  $0,10 \pm 0,03$ ;  $p = 0,04$ ) (skat. 2.11. att.). Dalībnieks atkārtotu mērījumu gaitā uzrāda maksimālā ātruma palielināšanos. Pozitīvs slīpuma koeficients norāda uz iespējamu mācīšanās faktora ietekmi, prasmīgāk veicot konverģences kustības.



2.11. attēls. D11 dalībnieka konverģences maksimālā ātruma izmaiņas otrajā dienā

Tomēr visu dienu vidējo rezultātu otrās dienas mērījumi neietekmē – visu dienu atkārtotiem mērījumiem nenovēro statistiski nozīmīgas izmaiņas atkārtotu mērījumu laikā (slīpuma koeficients:  $0,03 \pm 0,03$ ;  $p \geq 0,05$ ). To varētu skaidrot ar mazo verģences atbildes ātrumu (vidēji 1 grādu liels stimuluss var radīt konverģences atbildi ar  $10,3 \pm 2,8$  grādi/s lielu ātrumu [12]). Šim dalībniekam konverģences kustība ir vāja un mērījumu rezultāti parāda, ka

vājas konverģences atbildes gadījumā ir lietderīgi veikt atkārtotus mērījumus, lai pārliecinātos par rezultātu kvalitāti.



**2.12. attēls.** D19 dalībnieka konverģences maksimālā ātruma izmaiņas pirmajā dienā

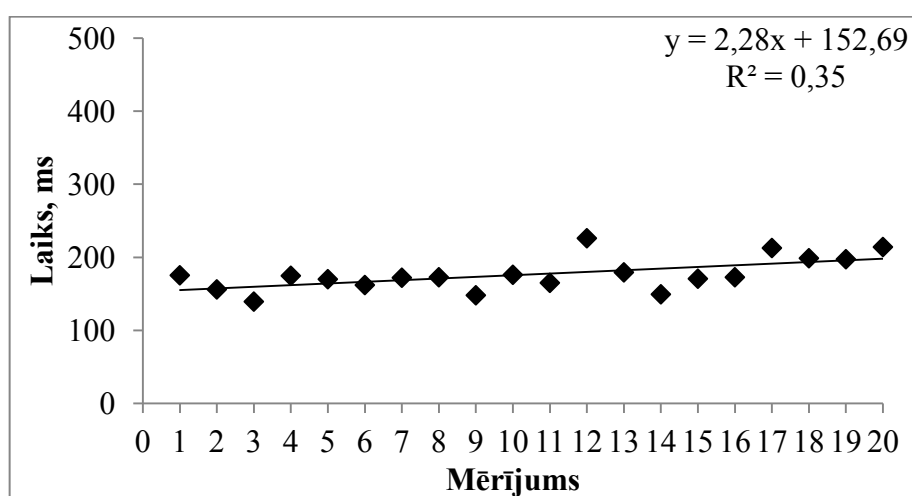
D19 dalībnieks uzrāda statistiski nozīmīgas maksimālā ātruma reģistrēšanas laika izmaiņas pirmās dienas laikā – maksimālā ātruma palielināšanos (slīpuma koeficients:  $-0,13 \pm 0,05$ ;  $p = 0,03$ ) (skat. 2.12. att.). Iespējams, līdzīgi kā D11 dalībnieks arī D19 dalībniekam pirmās dienas rezultātos varētu domāt par mācīšanās faktora ietekmi, prasmīgāk veicot konverģences kustības. Taču visās mērījumu dienās novēro lielu rezultātu izkliedi, kas norāda uz nestabilu konverģences sistēmas darbību. Visu dienu atkārtotiem mērījumiem nenovēro statistiski nozīmīgas izmaiņas atkārtotu mērījumu laikā (slīpuma koeficients:  $-0,17 \pm 0,24$ ;  $p \geq 0,05$ ).

Apkopojot iegūtos rezultātus konverģences maksimālajam ātrumam un maksimālā ātrums reģistrēšanas laikam, tiek secināts, ka visiem dalībniekiem konverģences atbildes laikā nenovēro noguruma parādīšanos. Konverģences maksimālā ātruma reģistrēšanas laiks palielinājās tikai D3 dalībniekiem gan eksperimenta laika gaitā iegūtajiem vidējiem datiem, gan arī pirmās dienas vidējiem datiem, kas varētu norādīt uz noguruma ietekmi, bet nenovēroja maksimālā ātruma izmaiņas. Tādēļ viennozīmīgi nevar spriest, ka izmaiņas radījis nogurums. Konverģences maksimālā ātruma reģistrēšanas laika izmaiņas skaidro gan ar neprecīzi analizētiem maksimālā ātruma reģistrēšanas laika datiem, gan ar lielu datu izkliedi. Tā kā dalībniekiem maksimālie ātrumi mainās individuāli, būtu būtiski pirms eksperimenta un arī pēc tam veikt anketēšanu par pašsajūtu un noguruma pakāpi.

#### 2.4.2. Diverģentās atbildes maksimālais ātrums un tā reģistrēšanas laiks

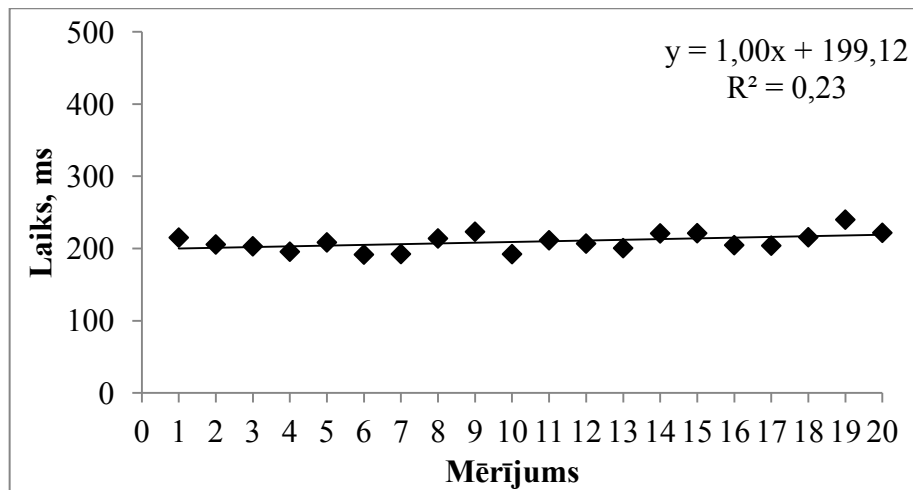
Diverģencei ir nedaudz mazāks skaits dalībnieku, kuriem nenovēro izmaiņas diverģences maksimālā ātruma reģistrēšanas laikam, tie ir 16. Pieciem dalībniekiem mainās diverģences maksimālā ātruma reģistrēšanas laiks – D3, D4, D10, D12 un D17.

Dalībniekam D3 rezultāti mainās trešās dienas laikā (slīpuma koeficients:  $2,28 \pm 0,74$ ;  $p = 0,01$ ) (skat. 2.13. att.). Vidējais maksimālā ātruma reģistrēšanas laiks ir  $177 \pm 23$  ms. Mērījumu gaitā maksimālā ātruma parādīšanās laiks pieaug – tas kļūst lēnāks. Ja aplūko visu dienu atkārtoto mērījumus nenovēro statistiski nozīmīgas izmaiņas ( $1,76 \pm 1,69$ ;  $p > 0,05$ ). Tā kā rezultāti ir samērā stabili trešās dienas laikā, iespējams, ka laika palielināšanos izraisījis nogurums.



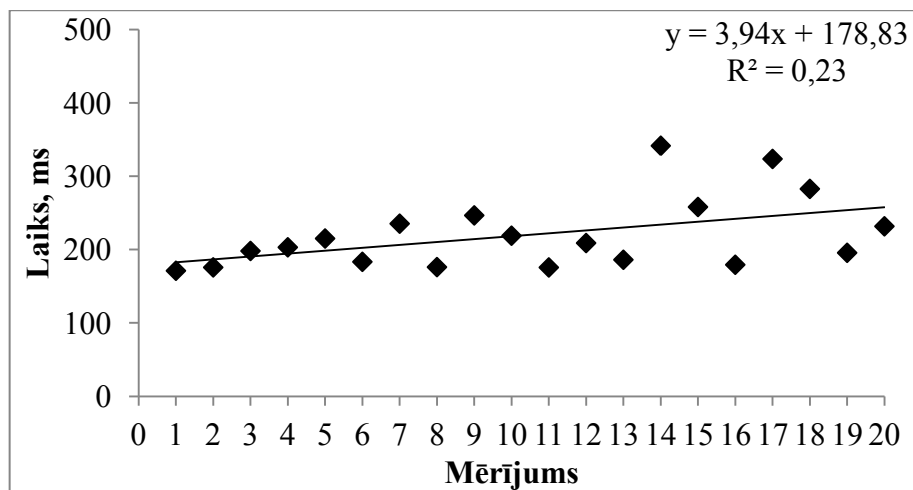
2.13. attēls. D3 dalībnieka diverģences maksimālā ātruma reģistrēšanas laika vidējās vērtības no visu dienu atkārtotiem mērījumiem

Dalībniekam D4 rezultāti katras eksperimenta dienas rezultātiem nenovēro maksimālā ātruma reģistrēšanas laika izmaiņas, taču vidējās vērtības parāda statistiski būtiskas izmaiņas (slīpuma koeficients:  $1,00 \pm 0,44$ ;  $p = 0,04$ ) (skat. 2.14. att.). Rezultāti attēlo stabilu diverģences maksimālā ātruma reģistrēšanas ātrumu. Datu izkliede neliela un dati samazinās pakāpeniski. Tā kā katrā eksperimenta dienā nenovēro izmaiņas, nevar spriest, ka visu dienu vidējo datu izmaiņas radījis nogurums.



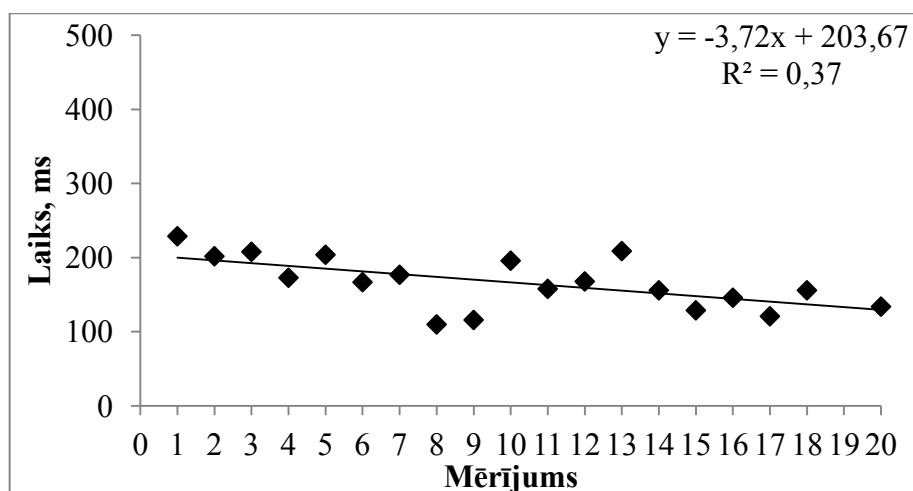
**2.14. attēls.** D4 dalībnieka diverģences maksimālā ātruma reģistrēšanas laika vidējās vērtības no visu dienu atkārtotiem mērījumiem

D10 dalībniekam izmaiņas novēro otrās dienas laikā (slīpuma koeficients:  $3,94 \pm 1,72$ ;  $p = 0,03$ ) (skat. 2.15. att.). Izrēķinot dienas vidējo ātruma rezultātu, iegūst  $220 \pm 49$  ms. Ne pārējās eksperimenta dienās, ne vidējiem datiem nenovēro laika pieaugumu. 2.15. attēlā redzams, ka mērījumu sākumā rezultāti ir mazāk izkliedēti nekā mērījumu beigās, tādēļ iespējama skaidrojums varētu būt nogurums.



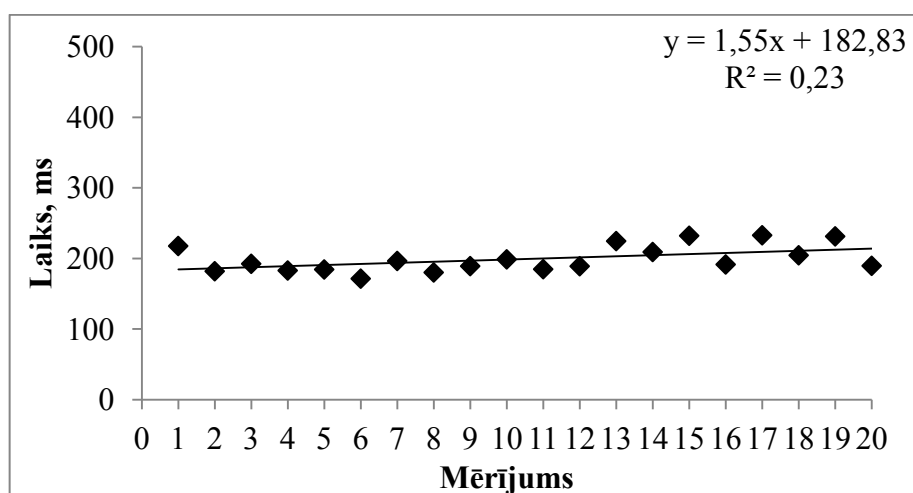
**2.15. attēls.** D10 dalībnieka diverģences maksimālā ātrums parādīšanas laika izmaiņas otrajā dienā

D12 dalībniekam maksimālā ātrums reģistrēšanas laika izmaiņas parādās pirmās dienas rezultātos – laiks būtiski samazinās (slīpuma koeficients:  $-3,72 \pm 1,88$ ;  $p = 0,03$ ) (skat. 2.16. att.). Aprēķinot šīs dienas vidējo maksimālā ātruma reģistrēšanas laiku, iegūst  $146 \pm 31$  ms. Pārējās eksperimenta dienās un vidējiem datiem nenovēro maksimālā ātruma reģistrēšanas laiku izmaiņas. Tā kā laiks samazinās, to varētu skaidrot ar mācīšanās faktoru ietekmi.



2.16. attēls. D12 dalībnieka diverģences maksimālā ātruma reģistrēšanas laika izmaiņas pirmajā dienā

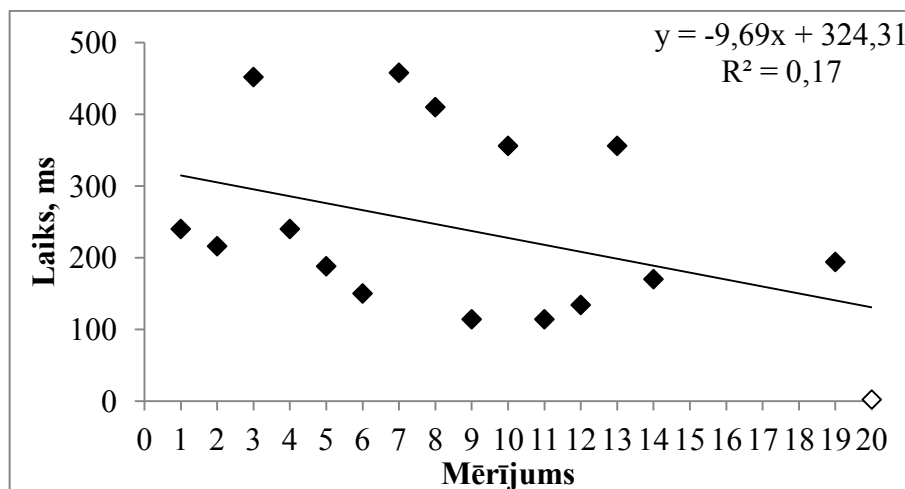
D17 dalībniekam mainās kopējie visu trīs dienu rezultāti (slīpuma koeficients:  $1,55 \pm 0,66$ ;  $p = 0,03$ ) (skat. 2.17. att.), kur vidējā laika vērtība ir  $199 \pm 19$  ms. Visu trīs dienu vidējiem rezultātiem novēro nelielu laika palielināšanos. Katrā atsevišķā eksperimenta dienā izmaiņas nenovēroja. Tādēļ nevar spriest par noguruma ietekmi.



2.17. attēls. D17 dalībnieka diverģences maksimālā ātruma reģistrēšanas laika vidējās vērtības no visu dienu atkārtotiem mērījumiem

D19 dalībniekam pirmās dienas rezultāti vizuāli uzrāda tendenci samazināties, taču statistiskā analīze to neapstiprina (slīpuma koeficients.:  $-9,69 \pm 5,74$ ;  $p > 0,05$ ) (skat. 2.18. att.). 2.18. attēlā redzams, ka ir liela datu izkliede. Vidējais reģistrēšanas laiks pirmās dienas ietvaros šim dalībniekam ir  $237 \pm 133$  ms. Neiekrāsotais punkts (2 ms) ir nederīga vērtība šajā rezultātu daļā, kas varētu ietekmēt kopējo rezultātu. Izņemot šī punkta vērtību, netiek izmainīts kopējais rezultāts pirmās dienas eksperimenta laikā (slīpuma koeficients:  $-5,39 \pm$

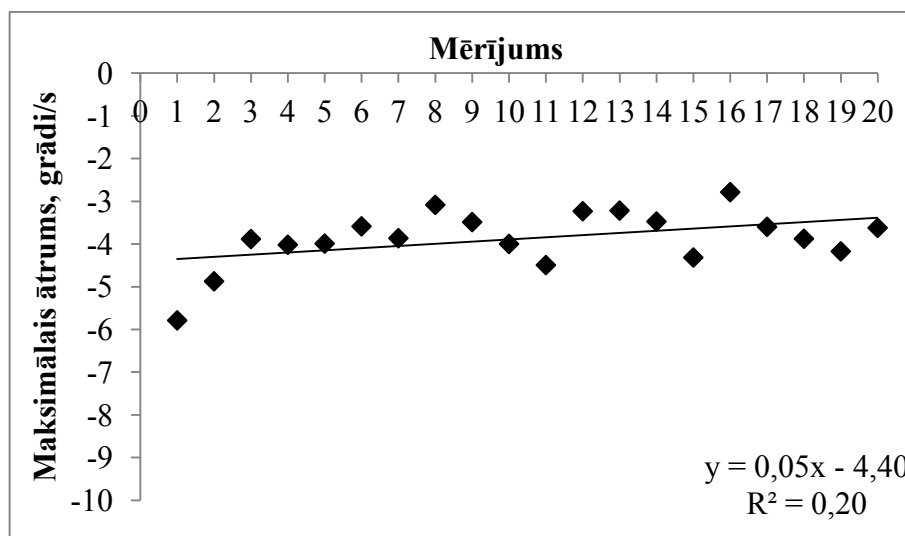
6,57;  $p > 0,05$ ). D19 dalībniekam novēro nepastāvīgus rezultātus vergēnces maksimālā ātruma reģistrēšanas laikam, kas norādītu uz diverģences sistēmas darbības nestabilitāti.



**2.18. attēls.** D19 dalībnieka diverģences maksimālā ātruma reģistrēšanas laika izmaiņas pirmajā dienā

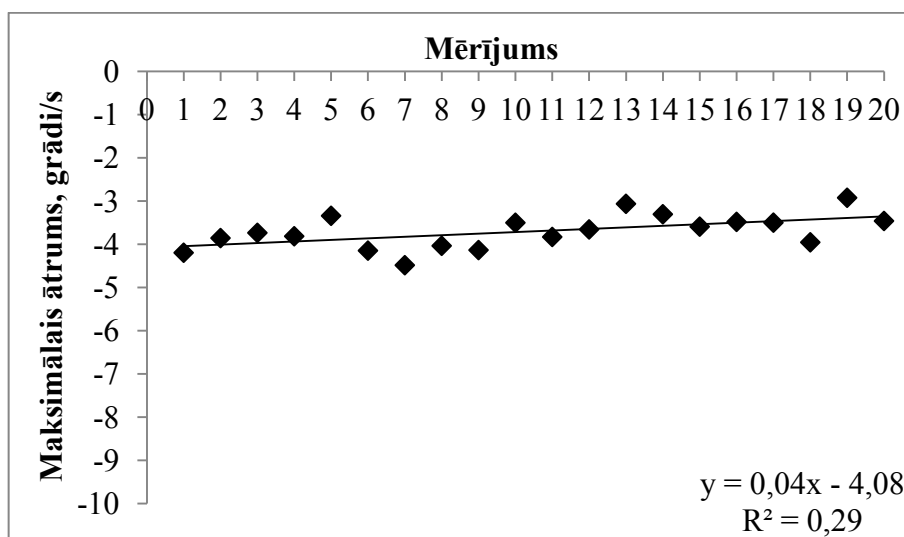
Apskatot vergēnces atbildes maksimālā ātruma izmaiņas diverģencei atkārtotos mērījumos, iegūst, ka 14 dalībniekiem nenovēro statistiski būtiskas izmaiņas. Salīdzinot ar vergēnces atbildes ātruma izmaiņām konverģencei, diverģences gadījumā 6 dalībniekiem mainās statistiski būtiski šis lielums (D3, D4, D5, D7, D15 un D19).

D3 dalībniekam pirmajā un otrajā eksperimenta dienā nenovēro nozīmīgu maksimālā ātruma izmaiņu. Taču trešās dienas rezultātiem ir tendence samazināties atkārtotu mērījumu ietekmē (slīpuma koeficients:  $0,05 \pm 0,02$ ;  $p = 0,047$ ). Tā kā trešās dienas laikā šim dalībniekam novēroja arī maksimālā ātruma reģistrēšanas laika statistiski nozīmīgu palielināšanos atkārtotu mērījumu ietekmē, kā skaidrojums varētu būt nogurums.

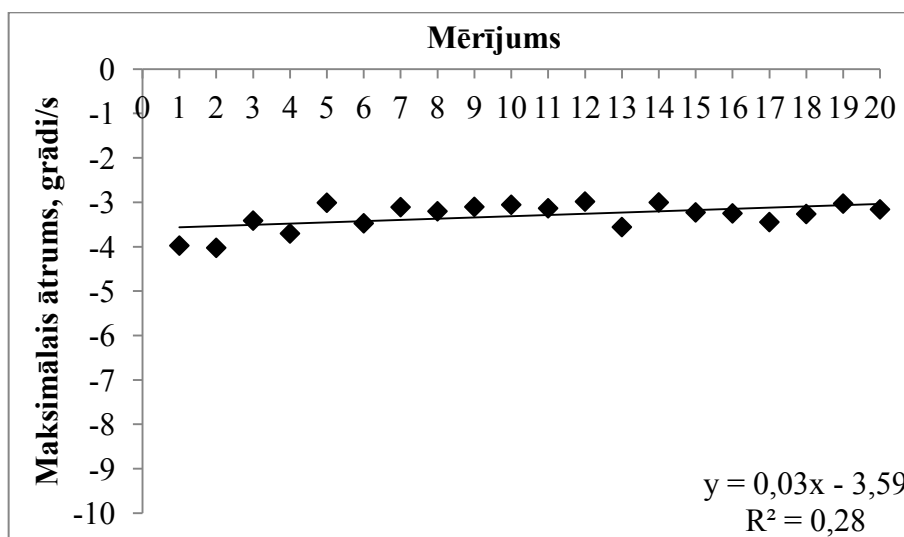


**2.19. attēls.** D3 dalībnieka diverģences maksimālā ātruma izmaiņas trešajā dienā

D4 dalībniekam statistiski nozīmīgi mainījās maksimālais ātrums tikai otrajā dienā (slīpuma koeficients:  $0,04 \pm 0,01$ ;  $p = 0,01$ ) (skat. 2.20. att.), tas samazinājās atkārtotu mērījumu ietekmē. Mērījumu izkliede ir neliela. Šajā dienā maksimālā ātruma parādīšanās laiks būtiski nemainījās. Tomēr var pieņemt, ka izmaiņas rada nogurums. Pirmajā un trešajā eksperimenta dienā šādas izmaiņas nenovēro. Vidējiem rezultātiem arī nenovēro maksimālā ātruma izmaiņas mērījumu ietekmē (slīpuma koeficients:  $0,02 \pm 0,01$ ;  $p > 0,05$ ).



2.20. attēls. D4 dalībnieka diverģences maksimālā ātruma izmaiņas otrajā dienā

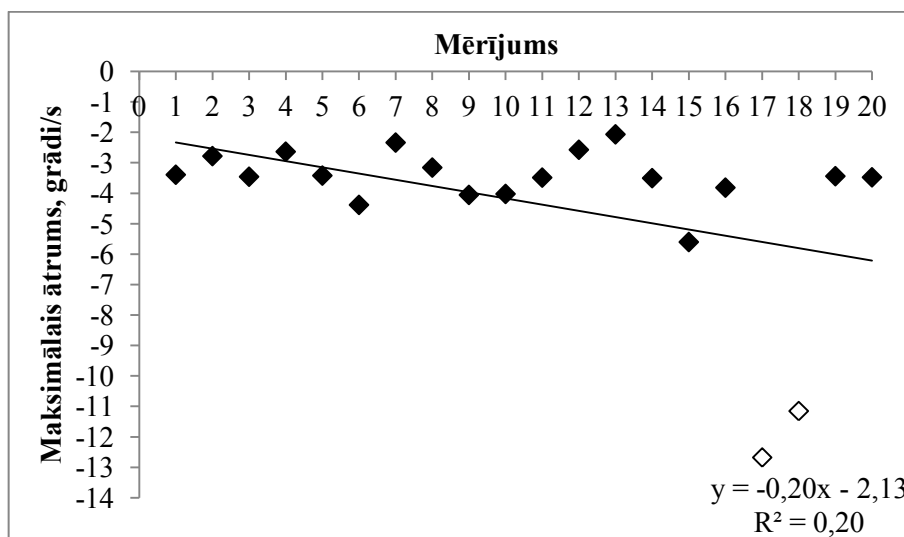


2.21. attēls. D5 dalībnieka diverģences maksimālā ātruma vidējās vērtības no visu dienu atkārtotiem mērījumiem

D5 dalībniekam statistiski būtiski mainījās maksimālais ātrums pirmās dienas laikā (slīpuma koeficients:  $0,05 \pm 0,02$ ;  $p = 0,01$ ) un trešās dienas laikā (slīpuma koeficients:  $0,04 \pm 0,02$ ;  $p = 0,047$ ). Tas ietekmēja arī vidējos visu dienu rezultātus (slīpuma koeficients:  $0,03 \pm$

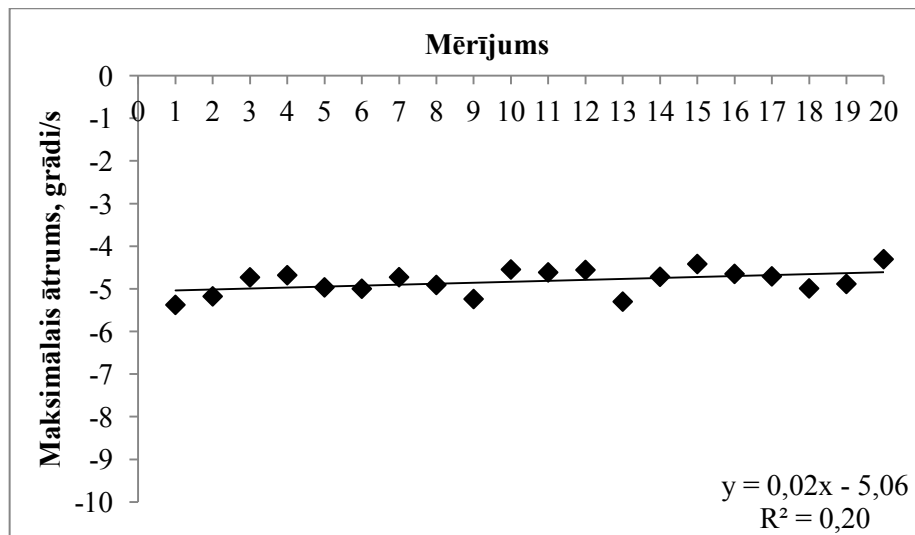
0,01;  $p = 0,02$ ) (skat. 2.21. att.). Rezultāti arī ir ar mazu izkliedi, tādēļ izmaiņas varētu skaidrot ar mērījumu radīto nogurumu.

D7 dalībniekam visu dienu vidējās vērtības uzrāda statistiski nozīmīgu maksimālā ātruma pieaugumu, ja veic lineārās regresijas analīzi (slīpuma koeficients:  $-0,20 \pm 0,10$ ;  $p = 0,05$ ). Šim dalībniekam ir reģistrētas divas anormāli lielas maksimālā ātruma vērtības (skat. 2.22. att., neiekrāsotās vērtības), kuras ir radušās aprēķina kļūdas gadījumā, jo tās vairāk norāda uz neizņemtiem mirkšķināšanas datiem. Normālos apstākļos vergences atbildes maksimālā vērtība, ja izmantots 1 grādu liels vergences stimuls, nepārsniedz  $-10$  grādi/s [12]. Izņemot ārā šīs vērtības, iegūst, ka D7 dalībnieka vergences atbildes maksimālais ātrums nemainās (slīpuma koeficients:  $-0,03 \pm 0,03$ ;  $p > 0,05$ ).



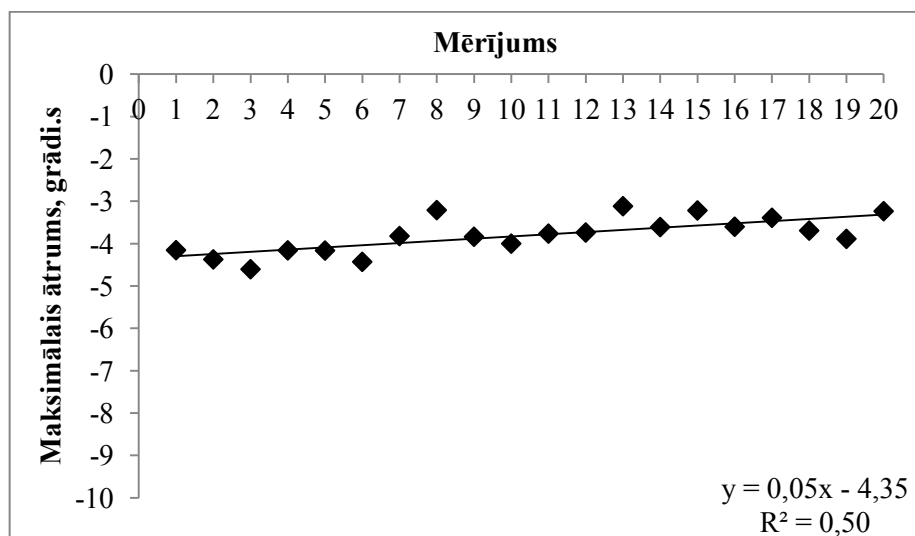
2.22. attēls. D7 dalībnieka maksimālā ātrums izmaiņas vidējās vērtības no visu dienu atkārtotiem mērījumiem

D15 dalībnieks pirmās dienas laikā (slīpuma koeficients:  $0,02 \pm 0,01$ ;  $p = 0,045$ ) (skat. 2.23. att.). Datu izkliede nav būtiski liela, tomēr novēro statistiski būtisku tendenci vergences maksimālajam ātrumam samazināties, tādēļ izmaiņas varētu skaidrot ar mērījumu radīto nogurumu.



**2.23. attēls.** D15 dalībnieka diverģences maksimālā ātruma izmaiņas pirmajā dienā

D19 dalībniekam visu dienu vidējās vērtības uzrāda statistiski nozīmīgu maksimālā ātruma pieaugumu, ja veic lineārās regresijas analīzi (slīpuma koeficients:  $0,05 \pm 0,01$ ;  $p = 0,004$ ) (skat. 2.24. att.). Rezultāti arī ir ar mazu izkliedi, tādēļ izmaiņas varētu skaidrot ar mērījumu radīto nogurumu.



**2.24. attēls.** D19 dalībnieka maksimālā ātrums izmaiņas vidējās vērtības no visu dienu atkārtotiem mērījumiem

Apkopojot visus rezultātus, redzams, ka diverģences maksimālā ātrums samazinās 5 dalībniekiem un kā šo izmaiņu cēloni nevar izslēgt verģences sistēmas nogurumu, kas parādījies eksperimenta laikā. Tikai D3 dalībniekam novēroja gan maksimālā ātruma, gan tā reģistrēšanas laika izmaiņas trešajā dienā. Anketējot dalībniekus, varētu izspriest, vai datus ietekmē eksperimenta specifika, vai arī dalībnieka vispārējais nogurums.

### 2.4.3. Vergēnces atbildes virziena ietekme uz nākamā vergēnces atbildi

Izanalizējot iepriekšējā vergēnces soļa atbildes virziena ietekmi uz nākamā vergēnces soļa atbildes virzienu, tiek iegūts, ka tikai vienam D4 dalībniekam konvergēnces maksimālā ātruma reģistrēšanas laiks bija ātrāks, ja iepriekšējais stimul bija konverģents, un diverģences atbildes maksimālā ātruma reģistrēšanas laiks bija ātrāks, ja iepriekšējais stimul bija diverģents. Turpretim pieciem no pārējiem deviņpadsmit dalībniekiem būtiski ātrāk notika diverģences kustība, ja pirms bijis diverģents stimul (skat. 2.1. tab.).

Lai apkopotu iegūto informāciju, būtiski izpētīt tos dalībniekus, kuriem izmaiņas maksimālā ātruma reģistrēšanas laikam norisinās gan konvergēnces, gan diverģences gadījumā, tomēr visi dalībnieki uzrāda vai nu stabilu vergēnces sistēmas darbību abos vergēnces virzienos (konverģents, diverģents), vai arī tikai vienā no šiem vergēnces virzieniem.

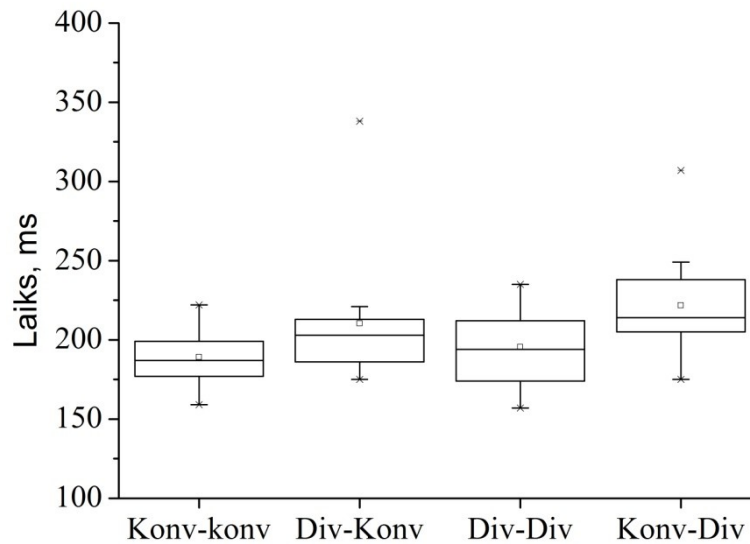
#### 2.1. tabula

Dalībnieku skaits, kuriem novēro iepriekšējā stimula ietekmi uz vergēnces atbildi

Dalībnieks	<i>Wilcoxon sign-rank tests; p</i>	
	Konverģencei	Diverģencei
D1	NS	0,02
D2	NS	0,047
D4	0,004	0,004
D10	NS	0,02
D18	NS	0,0002
D19	NS	0,005

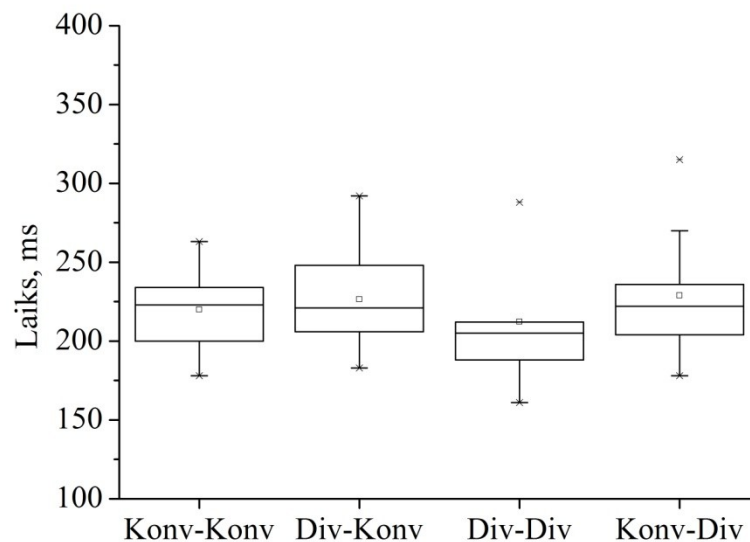
NS – Not Significant ( $p \geq 0,05$ )

Dalībnieks D4 uzrāda vergēnces atbildes atkarību no iepriekšējā stimula virziena konvergēnces un diverģences gadījumā (skat. 2.1. tab.). Konvergēnces atbildes maksimālā ātruma reģistrēšanas laiks būtiski samazinās (maksimālo ātrumu novēro agrāk), ja pirms tam bijusi konvergēnces atbilde (skat. 2.25. att. konv-konv) (*Wilcoxon sign-rank tests*:  $p = 0,04$ ). Diverģences maksimālā ātruma reģistrēšanas laiku arī ietekmē iepriekšējās vergēnces virziens, proti, maksimālais ātrums parādās agrāk, ja pirms bijusi diverģences atbilde (skat. 2.25. att. div-div) (*Wilcoxon sign-rank tests*:  $p = 0,04$ ). Savukārt, vislētāk vergēnces sistēma ir reaģējusi, ja pirms diverģences atbildes bijusi konvergēnces atbilde (skat. 2.25. att. konv-div).



**2.25. attēls.** D4 dalībnieka verģences atbildes maksimālā ātruma reģistrēšanas laika atkarģba no iepriekšējā verģences soģa virģiena (konv-konv: konverģence pirms konverģences; div-konv: diverģence pirms konverģences; div-div: diverģences pirms diverģences; konv-div: konverģence pirms diverģences)

Dalģbģniekiem D1, D2, D10, D18 un D19 novģro maksimālā ātruma reģistrēšanas laika bģtģsku atkarģbu no iepriekšējā verģences atbildes virģiena tikai diverģences gadģjumā, ja pirms bijģs diverģences stimuls (*Wilcoxon sign-rank tests*:  $p \leq 0,05$ ). Pģc statistikas datiem, dalģbģniekam D18 šģ atģķģrģba ir visģzteiktākā (skat. 2.1. tab. un 2.26. att. div-div).



**2.26. attēls.** D18 dalģbģnieka verģences atbildes maksimālā ātruma reģistrēšanas laika atkarģba no iepriekšējā verģences soģa virģiena (konv-konv: konverģence pirms konverģences; div-konv: diverģence pirms konverģences; div-div: diverģences pirms diverģences; konv-div: konverģence pirms diverģences)

Analizējot, vai verģences atbildes maksimālo ātrumu ietekmē iepriekšējās verģences virziens, iegūst, ka nevienam no 20 dalībniekiem maksimālais ātrums nav atkarīgs no iepriekšējās verģences virziena (*Wilcoxon sign-rank tests*:  $p \geq 0,05$ ). Neviens no dalībniekiem neuzrāda verģences maksimālā ātruma reģistrēšanas laika izmaiņas un līdz ar to arī verģences maksimālā ātruma izmaiņas, toties diverģences gadījumā, vienīgais dalībnieks D19 uzrāda statistiski būtiskas izmaiņas gan maksimālā ātruma vērtībām, gan verģences atbildes maksimālā ātruma reģistrēšanas laikam.

## SECINĀJUMI

1. Izvēlētajam eksperimenta dizainam konverģences atbildei maksimālais ātrums un maksimālā ātruma reģistrēšanas laiks nemainās atkārtotu mērījumu ietekmē.
2. Pieciem no divdesmit dalībniekiem novēro diverģences atbildes maksimālā ātruma samazināšanos atkārtotu mērījumu ietekmē, ko varētu skaidrot ar noguruma ietekmi, ko radījis izvēlētais eksperimenta dizains.
3. Rezultātu analīze parāda, ka ir nepieciešams uzlabot verģences ātruma algoritmu, jo rezultātus būtiski ietekmē kļūdaini noteikti verģences atbildes mērījumi.
4. Lai arī eksperimentā konverģences un diverģences stimuli tika rādīti pēc nejauša izvēles principa, iepriekšējā verģences stimula virziens būtiski ietekmēja diverģences maksimālā ātrums reģistrēšanas laiku pieciem no divdesmit dalībniekiem – tas ir nozīmīgi mazāks, ja pirms diverģences atbildes bijusi diverģences kustība, nekā gadījumos, kad pirms diverģences atbildes bijusi konverģences kustība.

## NOBEIGUMS

Darba izstrādei un datu analīzei tika izmantoti jau iepriekš ievākti dati, kas apskata verģences sistēmas darbību un to raksturojošos parametrus īslaicīgi atkārtotos mērijumos, ja izmanto 1 grādu lielu verģences stimulu. Tiek pētīts, kāda ietekme ir īslaicīgi atkārtotiem verģences soļiem konverģentā un diverģentā virzienā uz verģences atbildes maksimālo ātrumu un kādā laikā tas parādās.

Izanalizējot katra dalībnieka individuālos rezultātus un izvērtējot literatūrā minēto, var secināt, ka pati verģences atbildes mērijšanas metode nerada nozīmīgu konverģences sistēmas nogurumu, ja tiek izmantots 1 grādu liels verģences stimuls. Tomēr dažiem dalībniekiem novēroja diverģences sistēmas noguruma pazīmes – maksimālā ātruma samazināšanos. Tas apstiprina literatūras pētījumus, ka diverģences sistēma atšķirīgi reaģē kā konverģences sistēma. Lai pārliecinātos, ka tas ir tiešām verģences sistēmas nogurums, nevis dalībnieka vispārējais nogurums, pirms eksperimenta būtu lietderīgi veikt dalībnieka aptauju un noguruma izvērtējumu.

Kā verģences stimuls tika izmantots mazs verģences solis – 1 grāds, tādēļ turpmākai datu salīdzināšanai būtu lietderīgi izpētīt verģences atbildes parametrus dažāda lieluma verģences stimuliem, kā arī veikt mērijumus pirms un pēc konkrētas redzes slodzes, kas rada vispārējo dalībnieku nogurumu. Lietderīgi būtu nomērijt un izpētīt rezultātus dalībniekiem ar vāju un neizteiktu verģences sistēmas darbību.

Datu apstrādes neprecizitātes dēļ, jo verģences atbilde ir „trokšņaina”, dalībniekiem parādās nekorekti nomērijtas verģences atbildes maksimālā ātruma vērtības. Līdz ar to turpmākiem pētījumiem būtu nepieciešams pilnveidot maksimālā ātruma novērtēšanas metodes un datu filtrēšanas algoritmus.

## **PATEICĪBAS**

Bakalaura darba izstrādāšanas gaitā vēlos pateikties savai darba vadītājai Aigai Švedei par piedāvāto iespēju izstrādāt šo darbu un jaunu zināšanu sniegšanu, kā arī par atsaucību un sapratni. Pateicība par sava brīvā laika ieguldījumu un gudru padomu darba tapšanā.

Pateicību vēlos izteikt ģimenei un draugiem par atbalstu, un kursabiedriem par izpalīdzību grūtā brīdī.

Bakalaura darbs tapis ESF un LU līdzfinansētā projekta „Redzes pārslodzes fizioloģijas pētījumi un redzes stresa diagnostikas metodikas izstrāde” (Nr. 2013/0021/1DP/1.1.1.2.0/13/APIA/VIAA/001) ietvaros.

## IZMANTOTĀ LITERATŪRA

1. **Salmon, T.O.** Motor Fusion & Vergence Eye Movements. *Vision Science III -Binocular Vision Module, Lecture 4*, 2007.
2. **Chen, Y., Lee, Y., Chen, T., Semmlow, J.L., Alvarez, T.L.** Review: behaviors, models, and clinical applications of vergence eye movements. *Journal of Medical and Biological Engineering*, 2010, Vol. 30, Issue 1, p. 1-15.
3. **Jainta, S., Pia Bucci, M., Wiener-Vacher, S., Kapoula, Z.** Changes in vergence dynamics due to repetition. *Vision Research*, 2011, Vol. 51, Issue 16, p. 1845-1852.
4. **Yuan, W., Semmlow, J.L.** The influence of repetitive eye movements on vergence performance. *Vision Research*, 2000, Vol. 40, Issue 22, p. 3089-3098.
5. **Jainta, S., Hoormann, J., Jaschinski, W.** Objective and subjective measures of vergence step responses. *Vision Research*, 2007, Vol. 47, Issue 26, p. 3238-3246.
6. **Kucika, A.** *Fiksācijas disaritāte un dinamiskās vergences atbildes uz dažādos skata attālumos: bakalaura darbs*. LU Fizikas un matemātikas fakultāte. Rīga: Latvijas Universitāte, 2008. 9. lpp.
7. **Yang, Q., Bucci M.P., Kapoula, Z.** The latency of saccades, vergence, and combined eye movements in children and in adults. *Investigate Ophthalmology and Visual Science*, 2002, Vol. 43, Issue 9, p. 2939-2949.
8. **Alvarez, T., Semmlow, J.L., Pedrono, C.** Divergence eye movements are dependent on initial stimulus position. *Vision Research*, 2005, Vol. 45, Issue 14, p. 1847-1855.
9. **Clifton, S.** Fixation disparity: a steady state error of disparity-induced vergence. *American Journal of Optometry & Physiological Optics*, 1980, Vol. 57, No. 9, p. 618-631.
10. **Alvarez, T.L., Bhavsar, M., Semmlow, J.L., Bergen, M.T., Pedrono, C.** Short-term predictive changes in the dynamics of disparity vergence eye movements. *Journal of Vision*, 2005, Vol. 5, Issue 7, p. 640-649.
11. *Vergence eye movements*. [tiešsaistē] – [atsauce 18.01.2015.].  
Pieejams: [http://www.opt.indiana.edu/v665/CD/CD\\_Version/CH19/CH19.HTM](http://www.opt.indiana.edu/v665/CD/CD_Version/CH19/CH19.HTM)
12. **Tyler, C.W., Elsaid, A.M., Likova, L.T., Gill, N., Nicholas, S.C.** Analysis of human vergence dynamics. *Journal of Vision*, 2012, Vol. 12, Issue 11, p. 1-19.
13. **Švede, A.** *Experimental study of vergence response and fixation disparity*. Promocijas darbs, Rīga: Latvijas Universitāte, 2012. 88 lpp.
14. **Bahill, A.T., Kallman, J.S., Lieberman, J.E.** Frequency limitations of the two-point central difference differentiation. *Biological Cybernetics*, 1982, Vol. 41, N 1, p. 1-4.

Bakalaura darbs „Vergences atbildes izmaiņas atkārtotos mērījumos” 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: Agnese Varlamova

Rekomendēju/nerekomendēju darbu aizstāvēšanai

Vadītāja: docente, Dr.phys. Aiga Švede

Recenzents: profesors, Dr.habil.phys. Ivars Lācis

Darbs iesniegts Optometrijas un redzes zinātnes nodaļā \_\_\_\_\_

Dekāna pilnvarotā persona: metodiķe Dzintra Holsta

Darbs aizstāvēts bakalaura gala pārbaudījuma komisijas sēdē

\_\_\_\_\_. protokola Nr. \_\_\_\_\_

Komisijas sekretārs: docents, Dr.phys. Pēteris Cikmačs