



LATVIJAS  
UNIVERSITĀTE

Promocijas darba  
kopsavilkums

---

Evita Šerpa

SKATA FIKSĀCIJAS  
NOVĒRTĒŠANA  
SKOLAS VECUMA BĒRNIEM

Rīga 2025



**LATVIJAS**  
UNIVERSITĀTE

EKSAKTO ZINĀTŅU UN TEHNOLOĢIJU FAKULTĀTE

**Evita Šerpa**

# **SKATA FIKSĀCIJAS NOVĒRTĒŠANA SKOLAS VECUMA BĒRNIEM**

PROMOCIJAS DARBA KOPSAVILKUMS

Doktora grāda iegūšanai dabaszinātnēs  
fizikas un astronomijas nozarē  
Apakšnozare: medicīniskā fizika

Rīga 2025

Promocijas darbs izstrādāts Latvijas Universitātes Eksakto zinātņu un tehnoloģiju fakultātē, Optometrijas un redzes zinātnes nodaļā laika posmā no 2021. gada līdz 2024. gadam.

Darbs sastāv no ievada, literatūras pārskata daļas, metodiskās daļas, galvenajiem rezultātiem, kopsavilkuma, literatūras saraksta.

Darba forma: publikāciju kopa fizikas un astronomijas nozarē, medicīniskās fizikas apakšnozarē.

Darba zinātniskā vadītāja: *Dr. phys.* **Gunta Krūmiņa**, profesore, Latvijas Universitāte.

Darba recenzenti:

- 1) *Dr. habil. phys.* **Māris Ozoliņš**, Latvijas Universitāte;
- 2) *Dr. phys.* **Aleksejs Kataševs**, Rīgas Tehniskā universitāte;
- 3) *Dr.* **Ilona Heldal**, Rietumnorvēģijas Lietišķo zinātņu universitāte, Norvēģija.

Promocijas darba aizstāvēšana notiks Latvijas Universitātes Fizikas un astronomijas zinātņu nozares promocijas padomes atklātajā sēdē 2025. gada 31. janvārī.

Ar promocijas darbu un tā kopsavilkumu var iepazīties Latvijas Universitātes bibliotēkā Rīgā, Raiņa bulvārī 19.

LU Fizikas un astronomijas zinātņu nozares promocijas padomes priekšsēdētājs: *Dr. habil. phys.* **Jānis Spīgulis**  
padomes sekretāre: **Sintija Siliņa**

© Latvijas Universitāte, 2025  
© Evita Šerpa, 2025

ISBN 978-9934-36-330-6  
ISBN 978-9934-36-331-3 (PDF)

# ANOTĀCIJA

Šis darbs ir veltīts skata fiksācijas novērtēšanai skolas vecuma bērniem. Promocijas darbā tika izvērtēta dažādu faktoru ietekme uz skata fiksācijas parametriem, tādējādi pilnveidojot metodoloģiju skata fiksācijas novērtēšanai.

Pētījuma rezultāti sniedz jaunas atziņas par skata fiksācijas attīstību un acs dominances ietekmi uz skata fiksācijas stabilitāti skolas vecuma bērniem, kas ir būtiskas, pilnveidojot metodiku bērnu monokulārās fiksācijas stabilitātes novērtēšanai. Tika noteikta saistība starp binokulāro skata fiksācijas stabilitāti un stereoredzi, kas ir svarīga redzes funkcija. Tika secināts, ka objektīvu skata fiksācijas parametru novērtēšanai var pielietot acu kustību pieraksta iekārtas ar dažādām darbības frekvencēm. Veicot objektīvu acu kustību novērtējumu lasīšanas apstākļiem pietuvinātā *DEM* testa izpildes laikā, tika konstatēts, ka skata fiksāciju parametri šī testa izpildes laikā atšķiras no fiksāciju parametriem lasīšanas uzdevuma izpildes laikā, kas liecina, ka *DEM* tests ietver atšķirīgus informācijas apstrādes procesus, līdz ar to ir mazāk saistāms ar kopējo lasītprasmes sniegumu.

**Atslēgvārdi:** video-okulogrāfija, skata fiksācijas stabilitāte, lasīšanas fiksācijas, lasītprasme, objektīva metode.

# SATURS

1. IEVADS .....	5
1.1. Tēmas aktualitāte .....	5
1.2. Darba mērķis un uzdevumi .....	6
1.3. Autores ieguldījums .....	6
1.4. Darba novitāte .....	7
1.5. Aizstāvāmās tēzes .....	7
1.6. Promocijas darbā izmantotās autores zinātniskās publikācijas .....	7
1.7. Dalība konferencēs .....	8
2. PĀRSKATA DAĻA .....	11
2.1. Acu kustību novērtēšanas metodes .....	11
2.2. Skata fiksācijas raksturojums .....	13
2.2.1. Fiksācijas stabilitāte .....	15
2.3. Acu kustību kontrole .....	17
2.3.1. Acu kustību raksturojums lasīšanas laikā .....	17
3. METODIKAS DAĻA .....	20
3.1. Metodikas izstrāde .....	20
3.1.1. Izveidotie redzes stimuli .....	21
3.1.2. Acu kustību pieraksta iekārta .....	23
3.1.3. Mērījumu veikšanas gaita .....	23
4. REZULTĀTI .....	27
4.1. Acs dominances ietekme uz skata fiksācijas stabilitāti .....	27
4.2. Fiksācijas stabilitātes saistība ar stereoredzes novērtējumu ....	30
4.3. Acu kustību pieraksta iekārtas darbības frekvences ietekme uz fiksācijas stabilitātes novērtējumu .....	31
4.4. Lasīšanas uzdevumā analizēto parametru saistība ar lasītprasmes novērtējumu .....	33
4.5. DEM testā veikto fiksāciju ilguma saistība ar lasītprasmes novērtējumu .....	35
DISKUSIJA .....	36
KOPSAVILKUMS .....	39
IZMANTOTĀS LITERATŪRAS SARAKSTS .....	40

# 1. IEVADS

## 1.1. Tēmas aktualitāte

Lasišana ir sarežģīta apgūtā prasme, kas ietver daudzu kognitīvo procesu iesaisti un koordināciju. Tā ir viena no būtiskākajām prasmēm, kas nepieciešama arī veiksmīgam kopējam akadēmiskajam sniegunam mācībās un studijās. Lasišanas procesa laikā būtiska loma ir arī redzes uztverei un okulomotorajām spējām. Pateicoties okulomotorās sistēmas darbībai, lasīšanas procesa laikā ir iespējams veikt skata pārnesei no vārda uz vārdu un noturēt stabilu skata pozīciju skata fiksācijas laikā. Precīza acu kustību kontrole ir būtiska ne vien lasīšanas procesā, bet arī sportā, dažādu ikdienas uzdevumu veikšanā, kā arī sociālajā saskarsmē (*Land, 2006*).

Acu kustību pieraksta iekārtu izmantošana sniedz objektīvu acu kustību veikšanas stratēģiju novērtējumu dažādu uzdevumu veikšanas laikā (*Land, 2006*). Acu kustību novērtējums lasīšanas laikā var tikt izmantots, lai identificētu bērnus ar netipisku lasītprasmes attīstību (*Gran Ekstrand et al., 2021*). Bērniem ar lasīšanas grūtībām var tikt novērota nestrukturēta un neorganizēta acu kustību veikšanas stratēģija lasīšanas laikā (*Lefton et al., 1979*). Izmantojot acu kustību pieraksta iekārtas ir iespējams sekot acu kustībām, neprasot uzdevuma laikā sniegt verbālu vai motorisku reakciju, tādējādi veicot objektīvu prasmju novērtējumu.

Tieši skata fiksācijas brīdī, tiek uztverta vizuālā informācija (*Rayner, 2009*), un skata fiksācija vislabāk norāda, kur vērsta cilvēka redzes uzmanība (*Duchowski et al., 2017*). Redzes speciālisti praksē acu kustības novērtē manuāli, kas bieži ir subjektīvs vērtējums. Manuālās acu kustību novērtēšanas metodes, kurām ir standartizēts vērtēšanas protokols, nav paredzētas skata fiksācijas parametru novērtēšanai. Turklāt manuāla acu kustību novērtēšana nespēj sniegt kvantitatīvu acu kustību parametru vērtējumu, kas ir būtisks, piemēram, novērtējot skata fiksācijas stabilitāti vai veikto fiksāciju ilgumu un skaitu dažādos ar lasīšanu saistītos uzdevumos. Tā kā mūsdienās pieejamās acu kustību pieraksta iekārtas kļūst arvien ērtāk lietojamas ārpus zinātniskajām laboratorijām, objektīva metode skata fiksācijas novērtējumam skolas vecuma bērniem būtu noderīga ne tikai redzes speciālistiem, bet arī citiem veselības aprūpes jomā strādājošajiem. Tā kā aptuveni 90% procenti no laika, ko mēs pavadām skatoties, tiek veltītas fiksācijām (*Irwin, 1992*), īpaši būtiski ir novērtēt, kā skata fiksācijas parametri ir saistīti ar redzes funkcijām un lasītprasmi un kā dažādi iekšēji un ārēji vadīti faktori var ietekmēt skata fiksācijas parametrus.

## 1.2. Darba mērķis un uzdevumi

Darba mērķis ir attīstīt metodoloģiju skata fiksācijas novērtēšanai skolas vecuma bērniem, izvērtējot dažādu faktoru ietekmi uz skata fiksācijas parametriem, tādējādi veicinot objektīvu redzes funkciju novērtēšanas pieeju redzes speciālistu praksē. Lai sasniegtu pētījuma mērķi, ir izvirzīti sekojoši uzdevumi:

1. novērtēt skata fiksācijas stabilitāti skolas vecuma bērniem vadošajā un nevadošajā acī;
2. novērtēt saistību starp skata fiksācijas stabilitāti un stereoredzes asumu;
3. novērtēt acu kustību pieraksta iekārtas darbības frekvences ietekmi uz skata fiksācijas novērtēšanas precizitāti;
4. noteikt izstrādātā lasīšanas uzdevuma izpildes laika, veikto fiksāciju ilguma un fiksāciju skaitu saistību ar bērna lasīšanas sniegumu;
5. novērtēt fiksācijas parametrus *DEM* testa un lasīšanas uzdevuma izpildes laikā.

## 1.3. Autores ieguldījums

Promocijas darbā aprakstītais pētījums ir izstrādāts Latvijas Universitātes Optometrijas un redzes zinātnes nodaļā. Pētījums tapis projekta “Redzes funkcijas bērniem ar lasīšanas traucējumiem” ietvaros, pateicoties Latvijas Zinātņu padomes (projekta nr. lzp-2021/1-0219), Latvijas Universitātes (projekta Nr. Y5-AZ77-ZF-N-100), un Latvijas Universitātes Fonda un SIA “Mikrotikls” (projekta Nr. 2260) atbalstam.

Darba autore izstrādāja metodoloģiju skata fiksācijas stabilitātes novērtēšanai un izveidoja katram vecumam piemērotus lasīšanas stimulus, kas tika izmantoti acu kustību novērtēšanai lasīšanas uzdevuma izpildes laikā. Acu kustību mērījumus, izmantojot video-okulogrāfu *Tobii Pro Fusion*, veica darba autore un Optometrijas un redzes zinātnes nodaļas studentes Līva Volberga un Viktorija Goliškina. Citu pētījumā nepieciešamo datu ievākšanā palīdzēja Optometrijas un redzes zinātnes nodaļas studentes Madara Alecka, Elizabete Ozola, Daniela Toloka, Anete Kļavinska, Marija Koļeda, Asnate Bērziņa, Rita Miķelsone un Sofija Vasiljeva. Gan acu kustību novērtējums, gan citi mērījumi tika veikti pētījumā iesaistīto bērnu mācību iestādēs – Mārupes Valsts ģimnāzijā, Mārupes pamatskolā, Rīgas Kultūru vidusskolā un Kuldīgas Centra vidusskolā. Pētījumā iesaistīto bērnu lasītprasmes pārbaudi ar *Acadience™ Reading* testu veica skolu logopēdes Jolanta Hanzovska, Linda Meiersone, Madara Vorza, Ivīta Petuhova, Solvīta Depša un Sigita Jirgensone.

Ar pētījumā izmantoto datu apkopošanu palīdzēja studentes Madara Alecka, Elizabete Ozola, Daniela Toloka, Anete Kļavinska un Marija Koļeda. Darbā aprakstīto rezultātu analīzi un datu statistisko apstrādi veikusi darba autore. Darba rezultātus autore ir prezentējusi gan starptautiska, gan vietēja mēroga

konferencēs, piedaloties tajās gan ar mutiskiem, gan stenda referātiem. Darba autore kā galvenā autore bijusi piecām promocijas darbā iekļautajām publikācijām un līdzautore vienai promocijas darbā iekļautajai publikācijai.

#### 1.4. Darba novitāte

Pētījuma gaitā tika izveidoti redzes stimuli skata fiksācijas parametru novērtēšanai un veikts objektīvs skata fiksācijas parametru novērtējums skolas vecuma bērniem, kā arī tika novērtēta dažādu iekšēji un ārēji vadītu faktoru ietekme uz skata fiksācijas parametru. Pētījuma ietvaros iegūtas jaunas atziņas par skata fiksācijas attīstību un acs dominances ietekmi uz skata fiksācijas stabilitāti skolas vecuma bērniem, ko svarīgi ņemt vērā monokulārās fiksācijas stabilitātes novērtēšanā. Iegūtas arī atziņas par skata fiksācijas stabilitātes saistību ar stereoredzi, atklājot, ka nestabila skata fiksācija var norādīt uz pazeminātu stereoredzes asumu gados jaunākiem bērniem. Veicot objektīvu acu kustību novērtējumu lasīšanas apstākļiem pietuvinātā DEM testa izpildes laikā, iegūtas jaunas atziņas par šajā testā veikto fiksāciju ilguma saistību ar fiksācijas ilgumu lasīšanas laikā un kopējo lasītprasmes novērtējumu, kā arī gūtas atziņas par lasīšanas stimula izvēles nozīmi, novērtējot lasīšanas fiksāciju parametru un to saistību ar lasītprasmes sniegumu.

Šī pētījuma rezultātu zinātnisko novitāti apliecina pieci publicētie raksti starptautiskos izdevumos, kas iekļauti SCOPUS datubāzē.

#### 1.5. Aizstāvāmās tēzes

1. Pierādīts, ka bērniem līdz astoņu gadu vecumam vadošās acs fiksācija ir ievērojami stabilāka nekā nevadošās acs fiksācija, savukārt pēc deviņu gadu vecuma fiksācijas stabilitātes atšķirība starp vadošo un nevadošo aci izlīdzinās (Serpa et al., 2023, *JEMR*, 16(3), 6).
2. Bērniem līdz astoņu gadu vecumam pēc binokulārās fiksācijas stabilitātes novērtējuma var spriest par stereoredzes kvalitāti (Serpa et al., 2023, *Proc SPIE*, 12624, 126241F).
3. Skata fiksācijas ilgums kā objektīvs parametrs lasīšanas laikā būtiskāk saistāms ar lasītprasmes novērtējumu nekā DEM testa izpildes laikā veikto fiksāciju ilgums (Serpa et al., 2023, *Psychological Applications and Trends* 2023, (pp. 416–418)).

#### 1.6. Promocijas darbā izmantotās autores zinātniskās publikācijas

- [P1] Krumina, G., Ceple, I., Goliskina, V., Kassaliete, E., Ruza, T., **Serpa, E.**, Svede, A., & Volberga, L. (2023). The Development of Objective



and Quantitative Eye-Tracking-Based Method for the Diagnostics of Oculomotor Dysfunctions. In: Dekhtyar, Y., Saknite, I. (eds) *19<sup>th</sup> Nordic-Baltic Conference on Biomedical Engineering and Medical Physic, IFMBE Proceedings*, (pp. 9–17), Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-37132-5\\_31](https://doi.org/10.1007/978-3-031-37132-5_31)

- [P2] **Serpa, E.**, Alecka, M., Ceple, I., Krumina, G., Svede, A., Kassaliete, E., Goliskina, V., Volberga, L., Berzina, A., Mikelsone, R., Ozola, E., Toloka, D., Ruza, T., Klavinska, A., Vasiljeva, S., & Koleda, M. (2023). The impact of eye dominance on fixation stability in school-aged children. *Journal of Eye Movement Research*, 16(3), 6. <https://doi.org/10.16910/jemr.16.3.6>
- [P3] **Serpa, E.**, Alecka, M., Berzina, A., Goliskina, V., Kassaliete, E., Klavinska, A., Koleda, M., Mikelsone, R., Ozola, E., Ruza, T., Svede, A., Toloka, D., Vasiljeva, S., Volberga, L., Ceple, I., & Krumina, K. (2023). The effect of fixation stability on stereopsis in school-age children. *Proceedings of SPIE*, 12624, 126241F. <https://doi.org/10.1117/12.2675493>
- [P4] **Serpa, E.**, Ceple, I., Kassaliete, E. & Krumina, G. (2024). Impact of eye tracker sampling rate on fixation stability measurement. *Proceedings of SPIE*, 12998, 129981L. <https://doi.org/10.1117/12.3022364>
- [P5] **Serpa, E.**, Alecka, M., Berzina, A., Goliskina, V., Kassaliete, E., Klavinska, A., Koleda, M., Mikelsone, R., Ozola, E., Ruza, T., Svede, A., Toloka, D., Vasiljeva, S., Volberga, L., Ceple, I., & Krumina, K. (2023). Assessment of Children Eye Movement Performance: An Eye-Tracker Approach. In: Dekhtyar, Y., Saknite, I. (eds) *19<sup>th</sup> Nordic-Baltic Conference on Biomedical Engineering and Medical Physic, IFMBE Proceedings*, (pp. 246–250). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-37132-5\\_31](https://doi.org/10.1007/978-3-031-37132-5_31)
- [P6] **Serpa, E.**, Ozola, E., Alecka, M., Berzina, A., Goliskina, V., Kassaliete, E., Klavinska, A., Koleda, M., Mikelsone, R., Ruza, T., Svede, A., Toloka, S., Vasiljeva, S., Volberga, L., Ceple, I., & Krumina, G. (2023). Cognitive Demand in the DEM Test from the Perspective of Fixation Duration Analysis. *Psychological Applications and Trends 2023*, (pp. 416–418), p-ISSN: 2184-2205 e-ISSN: 2184-3414 ISBN: 978-989-35106-0-5. <https://doi.org/10.36315/2023inpact095>

## 1.7. Dalība konferencēs

1. 20<sup>th</sup> International Young Scientist Conference “Developments in Optics and Communication 2024 (Rīga, Latvija, 2024. gada 2.–3. maijs). “Visual functions in children with reading disorders”. Ceple, I., Ozola, E., Alecka, M., Berzina, A., Goliskina, V., Kassaliete, E., Klavinska, A., Koleda, M., Mikelsone, R., Ruza, T., **Serpa, E.**, Svede, A., Toloka, D., Truksa, R., Vasiljeva, S., Volberga, L., Krumina, G., – mutisks referāts

2. SPIE Photonics Europe 2024 (Strasbūra, Francija, 2024. gada 7.–11. aprīlis). “Impact of eye tracker sampling rate on fixation stability measurement”, **Serpa, E.**, Ceple, I., Kassaliete, E., Krumina, G., – stenda referāts
3. 82<sup>th</sup> International Scientific Conference of the University of Latvia (Rīga, Latvija, 2024. gada 16. februāris). “Mikrosakāžu parametri un fiksācijas stabilitāte”, Valujeva, L., **Šerpa, E.**, Ozola, E., Alecka, M., Berziņa, A., Goliškina, V., Kassaliete, E., Kļavinska, A., Koļeda, M., Miķelsone, R., Ruža, T., Švede, A., Toloka, D., Vasiļjeva, S., Volberga, L., Ceple, I., Krumiņa G., – mutisks referāts
4. 82<sup>th</sup> International Scientific Conference of the University of Latvia (Rīga, Latvija, 2024. gada 16. februāris). “Fiksācijas parametru analīze DEM testa un lasīšanas uzdevuma izpildes laikā”, Porauska, P., **Šerpa, E.**, Ozola, E., Alecka, M., Berziņa, A., Goliškina, V., Kassaliete, E., Kļavinska, A., Koļeda, M., Miķelsone, R., Ruža, T., Švede, A., Toloka, D., Vasiļjeva, S., Volberga, L., Ceple, I., Krumiņa G., – mutisks referāts
5. European Conference on Vision perception, ECVF 2023 (Pafa, Kipra, 2023. gada 27.–31. augusts). “Fixation stability in reading and non-reading task”, **Serpa, E.**, Ozola, E., Alecka, M., Berzina, A., Goliskina, V., Kassaliete, E., Klavinska, A., Koleda, M., Mikelsone, R., Ruza, T., Svede, A., Toloka, D., Vasiļjeva, S., Volberga, L., Ceple, I., Krumina G., – stenda referāts
6. SPIE Digital Optical Technologies Conference (Minhene, Vācija, 2023. gada 26.–28. jūnijs). “The effect of fixation stability on stereopsis in school-age children”, **Serpa, E.**, Ozola, E., Alecka, M., Berzina, A., Goliskina, V., Kassaliete, E., Klavinska, A., Koleda, M., Mikelsone, R., Ruza, T., Svede, A., Toloka, D., Vasiļjeva, S., Volberga, L., Ceple, I., Krumina G., – stenda referāts
7. 19<sup>th</sup> Nordic-Baltic Conference on Biomedical Engineering and Medical Physics, NBC 2023 (Liepāja, Latvija, 2023. gada 12.–14. jūnijs). “Assessment of children eye movement performance: An eye-tracker approach”, **Serpa, E.**, Ozola, E., Alecka, M., Berzina, A., Goliskina, V., Kassaliete, E., Klavinska, A., Koleda, M., Mikelsone, R., Ruza, T., Svede, A., Toloka, D., Vasiļjeva, S., Volberga, L., Ceple, I., Krumina G., – stenda referāts
8. 19<sup>th</sup> Nordic-Baltic Conference on Biomedical Engineering and Medical Physics, NBC 2023 (Liepāja, Latvija, 2023. gada 12.–14. jūnijs). “The development of objective and quantitative eye-tracking-based method for the diagnostics of oculomotor dysfunctions”, Krumina, G., Goliskina, V., Kassaliete, E., Ruza, T., **Serpa, E.**, Svede, A., Volberga, L. – mutisks referāts
9. Scottish Vision Group Meeting 2023 (Danī, Lielbritānija, 2023. gada 21.–23. aprīlis). “The effect of stimulus contrast and direction on saccadic eye movement parameters”, Goliskina, V., Ceple, I., Truksa, R., Fomins, S., Ikaunieks, G., Svede, A., **Serpa, E.**, Volberga, L., Krauze, L., Kassaliete, E., Vasiļjeva, S., Krumina, G., – stenda referāts

10. International Psychological Applications Conference and Trends, InPACT 2023 (Lisabona, Portugāle, 2023. gada 22.–24. aprīlis). “Cognitive demand in the DEM test from the perspective of fixation duration analysis”, **Serpa, E.**, Ozola, E., Alecka, M., Berzina, A., Goliskina, V., Kassaliete, E., Klavinska, A., Koleda, M., Mikelsone, R., Ruza, T., Svede, A., Toloka, D., Vasiljeva, S., Volberga, L., Ceple, I., Krumina G., – stenda referāts
11. 19<sup>th</sup> International Young Scientist Conference “Developments in Optics and Communication 2023 (Rīga, Latvija, 2023. gada 13.–14. aprīlis). “Effect of eye dominance on fixation stability”, Alecka, M., **Serpa, E.**, Ozola, E., Berzina, A., Goliskina, V., Kassaliete, E., Klavinska, A., Koleda, M., Mikelsone, R., Ruza, T., Svede, A., Toloka, D., Vasiljeva, S., Volberga, L., Ceple, I., Krumina G. – stenda referāts
12. 19<sup>th</sup> International Young Scientist Conference “Developments in Optics and Communication 2023 (Rīga, Latvija, 2023. gada 13.–14. aprīlis). “Fixation stability in children with and without reading difficulties”, Ozola, E., **Serpa, E.**, Alecka, M., Berzina, A., Goliskina, V., Kassaliete, E., Klavinska, A., Koleda, M., Mikelsone, R., Ruza, T., Svede, A., Toloka, D., Vasiljeva, S., Volberga, L., Ceple, I., Krumina G. – stenda referāts
13. 81<sup>th</sup> International Scientific Conference of the University of Latvia (Rīga, Latvija, 2023. gada 13. februāris). “Acs dominances ietekme uz fiksācijas stabilitāti”, Alecka, M., **Šerpa, E.**, Ozola, E., Berziņa, A., Goliškina, V., Kassaliete, E., Kļavinska, A., Koļeda, M., Miķelsone, R., Ruža, T., Švede, A., Toloka, D., Vasiljeva, S., Volberga, L., Ceple, I., Krumiņa G., – mutisks referāts
14. 81<sup>th</sup> International Scientific Conference of the University of Latvia (Rīga, Latvija, 2023. gada 13. februāris). “Fiksācijas stabilitāte bērniem ar un bez lasīšanas grūtībām”, Ozola, E., **Šerpa, E.**, Alecka, M., Berziņa, A., Goliškina, V., Kassaliete, E., Kļavinska, A., Koļeda, M., Miķelsone, R., Ruža, T., Švede, A., Toloka, D., Vasiljeva, S., Volberga, L., Ceple, I., Krumiņa G., – mutisks referāts
15. 81<sup>th</sup> International Scientific Conference of the University of Latvia (Rīga, Latvija, 2023. gada 13. februāris). “Fiksācijas stimula ietekme uz fiksācijas stabilitāti bērniem un pieaugušajiem”, Toloka, D., **Šerpa, E.**, Alecka, M., Berziņa, A., Goliškina, V., Kassaliete, E., Kļavinska, A., Koļeda, M., Miķelsone, R., Ozola, E., Ruža, T., Švede, A., Vasiljeva, S., Volberga, L., Ceple, I., Krumiņa G., – mutisks referāts
16. 18<sup>th</sup> International Young Scientist Conference “Developments in Optics and Communication 2022 (Rīga, Latvija, 2022. gada 21.–22. aprīlis). “The effect of object shape and location on fixation disparity”, **Serpa, E.**, Kremera E. A., Ceple I., Krumina, G., – stenda referāts
17. 80<sup>th</sup> International Scientific Conference of the University of Latvia (Rīga, Latvija, 2022. gada 11. februāris). “Acu kustības un lasītprasme”, **Šerpa, E.**, Ceple, I., Krūmiņa, G., – mutisks referāts

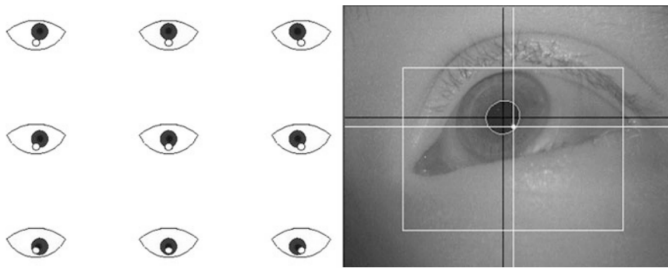
## 2. PĀRSKATA DAĻA

### 2.1. Acu kustību novērtēšanas metodes

Acu kustību novērtēšanai tiek izmantoti dažādi testi un metodes. Viena no metodēm ir tiešā klīniskā novērošana, kur acu kustību novērtējums balstās uz novērotāja subjektīvu vērtējumu. Viens no tiešās novērtēšanas testiem ir *NSUCO* (*Northeastern State University College of Optometry oculomotor test*) tests, kurš, novērotājam piešķirot skaitlisku vērtību gradācijas skalā, paredzēts lēnas sekošanas un sakādisko acu kustību novērtēšanai. Ir novērota saistība starp *NSUCO* testa rezultātiem un lasītprasmi – prasmīgāki lasītāji testā uzrāda labākus rezultātus (*Maples & Flickin*, 1990). Acu kustību novērtēšanai tiek izmantoti arī netiešās novērtēšanas testi. Viens no šādiem testiem ir *DEM* (*Developmental eye movement*) tests. Tas sastāv no A un B testa kartēm, kas paredzētas skaļai ciparu lasīšanai vertikālā virzienā, un C testa kartes, kas paredzēta skaļai ciparu lasīšanai horizontālā virzienā, līdzīgi kā lasot tekstu. Laiks, kas nepieciešams ciparu saukšanai, un testā pieļauto kļūdu skaits tiek salīdzināts ar vecumam un valodai atbilstošajām normām. Testa normas un sasniegtais rezultāts palīdz noteikt, vai testa veicējam ir problēma ar automātisko saukšanu, acu kustībām (pamatā sakādēm), vai abiem minētajiem (*Facchin*, 2021). Lai arī secināts, ka arī *DEM* testa rezultāti korelē ar lasītprasmi skolas vecuma bērniem (*Serdjukova et al.*, 2017), arī šis tests nesniedz kvantitatīvu acu kustību parametru novērtējumu, līdzīgi kā tas ir pielietojot *NSUCO* testu.

Acu kustību novērtēšanai tiek pielietotas arī elektroфизиoloģijas metodes, piemēram, elektromiogrāfija (EMG) un elektrookulogrāfika (EOG). EMG ir metode, kurā, izmantojot adatu elektrodus, tiek reģistrēts muskuļu biopotenciāls. Acu kustību analizē EMG pielieto, reģistrējot biopotenciālu acu kustību veikšanā iesaistītajos muskuļos (*Reuben & Gonzalez*, 1964). EOG laikā, izmantojot elektrodus, tiek reģistrētas acu kustību radītās elektropotenciāla izmaiņas starp diviem elektrodiem, kas novietoti horizontālā vai vertikālā virzienā. Šī metode balstās uz to, ka cilvēka acs ir elektriskais dipols, kas sastāv no pozitīvi uzlādētas radzenes un negatīvi uzlādētas tiklens. Acij, veicot kustību, radzene pietuvojas vienam elektrodam, bet tiklene pretējam elektrodam. Izmaiņas dipola orientācijā izraisa EOG signāla izmaiņas. Ja acs ābols kustas elektroda virzienā, elektroda elektropotenciāls palielinās, bet samazinās, ja acs kustas virzienā prom no elektroda (*Jia & Tyler*, 2019). Galvenās acu kustības, ko var noteikt ar EOG, ir sakādes un fiksācijas, kā arī analizējot reģistrētās potenciāla izmaiņas, ir iespējams noteikt mirkšķināšanas brīžus (*López et al.*, 2019). Lai arī šīs metodes sniedz detalizētu un precīzu acu kustību novērtējumu, tās ir invazīvas un precizitāte lielā mērā atkarīga no mērījumu veicēja pieredzes.

Mūsdienās visbiežāk acu kustību novērtēšanai tiek izmantotas acu kustību pieraksta iekārtas, kas balstās uz radzenes atspīduma un acs zīlītes pārvietojuma noteikšanu iekārtās esošajā videokameras nodrošinātajā attēlā. Acu kustību pieraksta iekārtās kā gaismas avotu visbiežāk izmanto infrasarkanā gaismu. Gaismas avota radītais radzenes atspīdums tiek mērīts attiecībā pret acs zīlītes centra atrašanās vietu (skatīt 2.1. att.). Infrasarkanās gaismas avots parasti ir novietots fiksētā pozīcijā attiecībā pret aci, tādēļ radzenes atspīdums ir relatīvi stabils, kamēr acij veicot kustības, tiek radīts acs zīlītes pārvietojums. Radzenes atspīdumi ir pazīstami arī kā Purkinje atspīdumi vai Purkinje attēli. Acu kustību pieraksta iekārtas, kas darbojas uz videokamerām balstīta principa, pamatā lokalizē pirmo Purkinje attēlu (*Duchowski, 2017*). Pastāv arī iekārtas, kuras mēra pirmo un ceturto Purkinje atspīdumu. Abi šie atspīdumi pārvietojas vienādā attālumā acs translācijas kustības laikā, bet pārvietojas dažādos attālumos acs rotācijas kustības laikā. Pirmais Purkinje atspīdums veidojas radzenes priekšējai virsmai atstarojot gaismu, bet ceturtais Purkinje atspīdums veidojas acs lēcas aizmugurējai virsmai atstarojot gaismu (*Clark, 1975*).

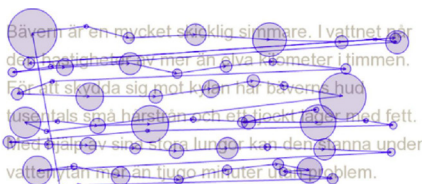


**2.1. att.** Attēlā pa kreisi parādīta acs zīlītes un radzenes atspīduma relatīvās pozīcijas, fiksējot dažādās ekrāna vietās. Pa labi redzams acu kustību pieraksta iekārtas kameras uzņemts attēls, kur baltais krusts parāda radzenes atspīduma ģeometrisko centru, bet melnais krusts acs zīlītes ģeometrisko centru (*Majaranta & Bulling, 2014*).

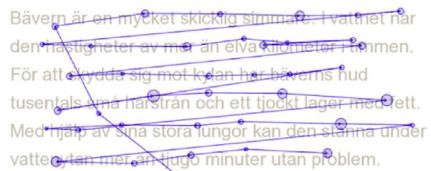
Viens no acu kustību pieraksta iekārtu parametriem ir to darbības frekvence (Hz), kas norāda, cik reizi sekundes laikā iekārta reģistrē acu pozīciju. Pētījumi liecina, ka acu kustību pieraksta iekārtas darbības frekvencei ir svarīga loma sakāžu kinemātisko parametru kā latences precizitātes un maksimālā ātruma noteikšanā (*Raynowska et al., 2018*). Iekārtas ar augstāku darbības frekvenci reģistrē vairāk sakāžu un spēj precīzāk noteikt to ilgumu lasīšanas laikā, kā arī spēj precīzāk noteikt fiksāciju ilgumu (*Leube et al., 2017*). Iekārtu frekvences radītā kļūda mērījumu laikā nav praktiska problēma, ja izmanto acu kustību pieraksta iekārtas, kas darbojas ar 200 Hz vai lielāku frekvenci. Nosakot fiksācijas un sakādes ilgumu, nav novērotas būtiskas atšķirības starp 250 Hz un 1250 Hz darbības frekvencēm, bet rezultāti atšķiras pie zemākām darbības

frekvencēm. Sakādes ilgums ir jutīgāks pret darbības frekvenci nekā fiksācijas ilgums (Andersson et al., 2010).

Izmantojot acu kustību pieraksta iekārtas, ir iespējams sekot acu kustībām lasīšanas laikā, neprasot uzdevuma laikā sniegt verbālu vai motorisku reakciju (skatīt 2.2. att.). Acu kustību novērtēšana, izmantojot acu kustību pieraksta iekārtas, ir objektīva, efektīva un precīza skrīninga metode, ko var izmantot, lai iegūtu novērtējumu par bērna lasīšanas prasmēm, tādējādi identificējot bērnus ar netipisku lasīšanas attīstību (Gran Ekstrand et al., 2021). Veicot objektīvu acu kustību novērtējumu lasīšanas laikā, var atklāt arī agrīnu kognitīvo spēju pasliktināšanos gados vecākiem cilvēkiem (Fraser et al., 2017). Acu kustību pieraksta iekārtas tiek izmantotas arī sporta zinātnē, lai gūtu izpratni par acu kustību veikšanas stratēģiju profesionāliem sportistiem (Kassem et al., 2022). Mūsdienās pieejamās acu kustību pieraksta iekārtas ir mazinvažīvas, tādēļ tās kļuvušas arvien piemērotākas mērījumu veikšanai bērniem, kā arī šīs iekārtas mēdz būt ērti pārvietojamas, tādēļ objektīvu acu kustību novērtēšanu iespējams veikt arī ārpus laboratorijām (Sim & Bond, 2021).



Bävaren är en mycket skicklig simmare. I vattnet rör den hastigheter av mer än elva kilometer i timmen. För att skydda sig mot kylan har bäverns hud tusentals små hårstrån och ett tjockt lager med fett. Med hjälp av sina stora lungor kan den stanna under vattenytan mer än tjugio minuter utan problem.



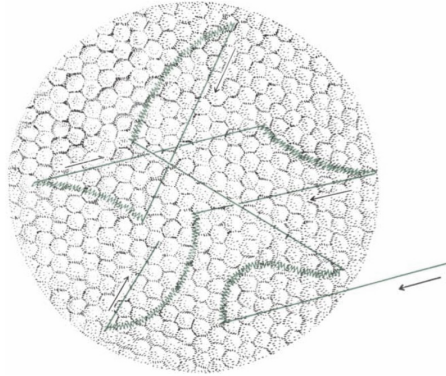
Bävaren är en mycket skicklig simmare. I vattnet rör den hastigheter av mer än elva kilometer i timmen. För att skydda sig mot kylan har bäverns hud tusentals små hårstrån och ett tjockt lager med fett. Med hjälp av sina stora lungor kan den stanna under vattenytan mer än tjugio minuter utan problem.

**2.2. att.** Acu kustību vizualizācija lasīšanas laikā. Aplī attēlo fiksācijas (jo lielāks aplis, jo ilgāks fiksācijas laiks), līnijas starp fiksācijām ir sakādes (jo garāka līnija starp divām fiksācijām, jo lielāka veiktās sakādes amplitūda). Lasītājs pa kreisi veic ilgākas fiksācijas un īsākas sakādes nekā lasītājs pa labi (Gran Ekstrand et al., 2021).

## 2.2. Skata fiksācijas raksturojums

Aptuveni 90% procenti no laika, ko mēs pavadām skatoties, tiek veltīts fiksācijām, kuru laikā acis atrodas relatīvi stabilā stāvoklī (Irwin, 1992). Fiksāciju laikā tiek uztverta vizuālā informācija (Rayner, 2009), un tieši fiksācijas vislabāk norāda, kur vērsta cilvēka redzes uzmanība (Duchowski et al., 2017). Fiksācijas dabiski atbilst vēlmei uzturēt skatienu uz interesējošu objektu (Duchowski et al., 2017). Viens no fiksāciju raksturojošajiem parametriem ir to ilgums. Tipiski veiktās fiksācijas ir vismaz 150 milisekundes garas (Irwin, 1992). Tiek uzskatīts, ka arī kognitīvais pieprasījums ietekmē fiksācijas ilgumu, proti, lielāks pieprasījums izraisa ilgāku fiksāciju (Zegermann et al., 2016). Fiksācijas ilgums ir arī faktors, kas raksturo kognitīvo pieprasījumu ar lasīšanu saistītos uzdevumos (Reney et al., 2014). Veikto fiksāciju ilgums tiek analizēts arī, lai novērtētu lēmumu pieņemšanas ātrumu (Kassem et al., 2022).

Lai gan fiksācijas laikā acis atrodas relatīvi stabilā stāvoklī, tās laikā novērojamas pavisam nelielas gribai nepakļautas acu kustības: dreifs, tremors un mikrosakādes (skatīt 2.3. att.). Šo fiksācijas acu kustību pamatuzdevums ir novērst tīklenes šūnu neirālo adaptāciju, lai relatīvi nemainīgais attēls fiksācijas laikā neizbalē un ir skaidri saskatāms visu fiksācijas laiku (*Martinez-Conde et al., 2004*).



**2.3. att.** Fiksācijas acu kustības pārvieto attēlu pāri tīklenes fotoreceptoriem. Tremors norisinās vienlaicīgi ar dreifu (izliektās līnijas). Mikrosakādes (taisnās līnijas) parasti pārnēs attēlu uz fovejas centrālo daļu. Fiksācijas acu kustību lielums ir ļoti mazs; attēlotā fovejas laukuma diametrs ir 0,05 mm (*Pritchard, 1961*).

Tremors ir vismazākā no fiksācijas acu kustībām, kura norisinās vienlaicīgi ar dreifu. Tremors ir augstas frekvences (līdz 100 Hz) acu kustības, kuru amplitūda tipiski ir aptuveni 0,008 grādi, un visbiežāk nepārsniedz vienas tīklenes receptorās šūnas diametru. Kā viens no iemesliem, kādēļ tremora loma fiksācijas laikā nav pilnībā izprasta, tiek minēts tā vienlaicīgā norise ar dreifu, kā arī to ir grūti reģistrēt, jo tremora amplitūda un frekvence bieži ir acu kustību pieraksta iekārtas radītās kļūdas diapazonā (*Martinez-Conde et al., 2004; Alexander & Martinez-Conde, 2019*).

Dreifs ir lēnas acu kustības, kuru ātrums parasti ir mazāks par 0,5 grādiem sekundē (°/s) un amplitūda nepārsniedz 0,13 grādus (*Rolfs, 2009*). Dreifa laikā fiksācijas objekts var tikt pārvietots vairāku fotoreceptoru attālumā. Lai gan tiek uzskatīts, ka dreifu rada okulomotorās sistēmas nestabilitāte, tomēr dreifam ir arī kompensējoša loma stabilas fiksācijas nodrošināšanā, ja traucēta mikrosakāžu sistēmas darbība (*Martinez-Conde et al., 2004*).

Mikrosakādes ir fiksācijas laikā veiktas nelielas sakādes, kuru amplitūda visbiežāk nepārsniedz 0,5 grādus, bet var sasniegt arī 1 grādu. Fiksācijas laikā mikrosakādes tiek veiktas 1–2 reizes sekundē, un to galvenais uzdevums ir novērst tīklenes neirālo adaptāciju un dreifa radīto fiksācijas neprecizitāti. Mikrosakādes



ir aptuveni 25 milisekundes ilgas, kuru laikā fiksācijas objekts var tikt pārvietots pat vairāku simtu tīklenes fotoreceptoru attālumā (*Martinez-Conde et al.*, 2004; *Rolfs*, 2009). Lai gan tiek uzskatīts, ka arī dreifam ir loma attēla neizbalēšanas nodrošināšanā fiksācijas laikā, tomēr pēc attēla izbalēšanas tikai mikrosakādes spēj atjaunot skaidru attēlu, ko saista ar mikrosakāžu ātrumu un amplitūdu (*Alexander & Martinez-Conde*, 2019).

### 2.2.1. Fiksācijas stabilitāte

Fiksācijas stabilitāte raksturo spēju saglabāt stabilu skatienu un fiksācijas mērķi. Dzimšanas brīdī bērna fiksācija nav pilnībā attīstījusies. Šo redzes funkciju var sākt novērot bērna viena mēneša vecumā, kad bērns ir spējīgs īslaicīgi fiksēt uz lieliem, spožiem, tuvumā esošiem objektiem. Pateicoties redzes nerva mielinizācijas procesam un citu centrālās nervu sistēmas (CNS) struktūru attīstībai, turpmākajos dzīves mēnešos spēja veikt fiksāciju stabilizējas (*Zimmermann et al.*, 2019). Bērnam kļūstot vecākam, pati fiksācija kļūst arvien stabilāka (*Aring et al.*, 2007; *Pueyo et al.*, 2022), un tā dzīves laikā mainās, kļūstot nestabilākai pēc 50 gadu vecuma (*Altemir et al.*, 2021).

Parasti binokulārā fiksācija jeb fiksācija ar abām acīm vienlaicīgi ir stabilāka nekā monokulārā fiksācija (*González et al.*, 2012; *Raveendran et al.*, 2019). Ja vien nav novērojama kāda patoloģija, labās un kreisās acs fiksācija ir praktiski vienlīdz stabila (*González et al.*, 2012; *Subramanian et al.*, 2013). Savukārt patoloģiskos gadījumos tiek novērots, ka fiksācija vienā acī ir stabilāka. Piemēram, makulopātijas gadījumā fiksācija ir stabilāka veselākajā acī (*Samet et al.*, 2018), bet ambliopijas gadījumā fiksācija ir mazāk stabila ambliopajā acī (*González et al.*, 2012; *Aizenman & Levi*, 2021). Lai arī ambliopajā acī fiksācija ir nestabilāka, tieši ne ambliopās acs fiksācijas stabilitāte ir tā, kurai ir saistība ar lasīšanas ātrumu – nestabilākas fiksācijas gadījumā tiek novērots lēnāks lasīšanas ātrums (*Kelly et al.*, 2017). Nestabila skata fiksācija var negatīvi ietekmēt arī redzes funkcijas, piemēram, redzes asumu (*Aizenman & Levi*, 2021) un stereoredzes kvalitāti (*Birch et al.*, 2013; *Aizenman & Levi*, 2021).

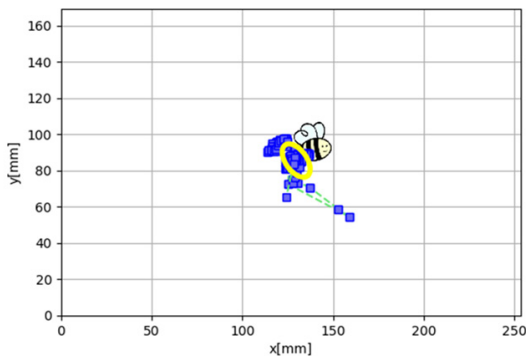
Skata fiksācijas stabilitāti var kvantitatīvi novērtēt, izmantojot dažādas metodes. Viena no metodēm ir Gravitācijas centra metode, kurā tiek aprēķināts vidējais fiksācijas attālums no fiksācijas centra. Jo lielāks ir attālums, jo fiksācija tiek raksturota kā nestabilāka (*Aring et al.*, 2007). Fiksācijas stabilitāte tiek raksturota arī pēc tā, cik proporcionāli liels ir acu skata pozīcijas īpatsvars noteiktā apgabalā fiksācijas brīdī. *Fujii et al.* (2002) klasificē fiksāciju kā stabilu, ja 75% skata pozīcijas fiksācijas laikā atrodas mazāk kā 2 grādu attālumā no fiksācijas centra; fiksācija ir relatīvi nestabila, ja mazāk kā 75% skata pozīcijas atrodas 2 grādu robežās, bet vairāk nekā 75% atrodas ne vairāk kā 4 grādu robežās, bet fiksācija tiek raksturota kā nestabila, ja vairāk kā 75% skata pozīcijas atrodas vairāk kā 4 grādu attālumā no fiksācijas centra. *Thaler et al.* (2013) novērtēja



fiksācijas stabilitāti, analizējot fikācijas izkliedi un fikācijas laikā novēroto mikrosakāžu daudzumu. Lielāks mikrosakāžu daudzums tiek saistīts ar nestabilāku fikāciju. Tomēr visbiežāk izmantotā metode, lai kvantitatīvi novērtētu fikācijas stabilitāti, ir divu mainīgo elipses laukuma (BCEA) aprēķināšanas metode, kur elipses aprēķināšanai tiek ņemta vērā skata fikācijas standartnovirze gan horizontālajā, gan vertikālajā meridiānā (Crossland & Rubin, 2002; Subramanian et al., 2013; Altemir et al., 2021). Mazāks elipses laukums norāda uz stabilāku fikāciju (Crossland & Rubin, 2002). Lai veiktu kvantitatīvu fikācijas stabilitātes novērtējumu, nepieciešams veikt objektīvu acu kustību pierakstu, jo manuāli novērtējot skata fikāciju nav iespējams pamanīt nelielas skata pozīcijas izmaiņas fikācijas laikā.

Pētījumos, kuros apraksta skata fikācijas stabilitāti, metodoloģija mēdz atšķirties. Lai raksturotu fikācijas stabilitāti, tā var tikt analizēta gan binokulāri, kad skata pozīcija tiek aprēķināta kā vidējā vērtība no labās un kreisās acs skata pozīcijas (Kim et al., 2022), gan monokulāri, kad skata fikācijas stabilitātes analizē tiek iekļauta vienas acs skata pozīcija. Izvēloties, kuras acs fikācijas stabilitāte tiks analizēta, uzmanība var tikt pievērsta tam, kura acs ir vadošā un analizēta tieši šīs acs fikācijas stabilitāte (Jones et al., 2016), bet var tikt izvēlēta acs, ņemot vērā vadošās acs principu (Crossland & Rubin, 2002; Thaler et al., 2013).

Skata fikācijas stabilitāti var ietekmēt arī izvēlētais fikācijas stimuluss (Thaler et al., 2013). Lai gan mazāka izmēra fikācijas stimuli nodrošina stabilāku fikāciju (Hirasawa et al., 2016), fikācijas stabilitātes analizē bērniem tiek izmantoti dažādi stimuli. Tas var būt gan vienkāršs neliela izmēra aplis (Aring et al., 2007; Kim et al., 2022), gan dažādas animācijas (skatīt 2.4. att.). Izmantotās animācijas var būt gan formu un krāsu mainošas (Vinueza – Navaro et al., 2017), gan ar papildus pievienotu kustību elementu, piemēram, statistiskai bitei pievienota spārnu kustība/vibrācija (Altemir et al., 2021).



**2.4. att.** Fiksācija uz stimulu, kuru veido stilizēta bite un divu mainīgo elipses laukums (dzeltenā elipse), kas raksturo fikācijas stabilitāti (Altemir et al., 2021).

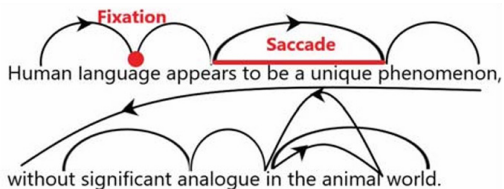
## 2.3. Acu kustību kontrole

Sakādes ir ātras acu kustības, kuras nodrošina skata pārnese no viena interesejoša objekta uz citu. Tās ir ballistiskas un konjugētas acu kustības (*Richardson et al.*, 2007; *Purves et al.*, 2004). Par sakādisko acu kustību uzsākšanu un precīzu virzību atbildīga vidussmadzeņu struktūra *superior colliculus* un Brodmana 8. laukā esošais priekšējais acu lauks (*frontal eye field* – FEF). Abu šo struktūru augšējie neironi, no kuriem katrs satur topogrāfisku motoro karti, aktivējas tieši pirms sakādes veikšanas. Tādējādi, aktivējoties konkrētai vietai *superior colliculus* vai priekšējā acu laukā, tiek izraisīta sakādiska acu kustība noteiktā virzienā un noteiktā attālumā, kas nav atkarīga no acu sākotnējās pozīcijas orbītā (*Purves et al.*, 2004).

Pēc katras veiktās sakādes seko fiksācija, kuras laikā tiek uztverta vizuālā informācija (*Rayner*, 2009). Lai gan fiksācijas laikā acis šķiet nekustīgas, acu fiksācija ir dinamisks process, kura kontrolē iesaistītas vairākas smadzeņu struktūras, kas iesaistītas arī acu kustību kontrolē. Acu pozīcija fiksācijas laikā tiek kontrolēta un ir atkarīga no bilaterālās aktivācijas *superior colliculi* un *medioposterior cerebellum* (MPC). Aktivitātes traucējumi šajās struktūrās izraisa sistēmiskas novirzes acu pozīcijā gan fiksācijas, gan lēnas sekošanas acu kustību laikā. *Superior colliculi* un *medioposterior cerebellum* nosaka vietu, kur acīm jāpaliek fiksācijas pozīcijā, gan to, kad uzsākt nākamo sakādi. Fiksācijā ir iesaistīti arī omnipauzes neironi, kas atrodas retikulārās formācijas *raphe interpositus* kodolā. Fiksācijas brīdī novērojams, ka šo neironu aktivitāte palielinās, bet sakādisko acu kustību laikā samazinās (*Krauzlis et al.*, 2017).

### 2.3.1. Acu kustību raksturojums lasīšanas laikā

Lasīšanas laikā sakādes veic skata pārnese no vārda uz vārdu (skatīt 2.5. att.). Lasīšanas laikā veikto sakāžu garumu un ilgumu ietekmē tas, vai teksts tiek lasīts skaļi vai klusi. Lasot klusām, vidējā sakādes amplitūda ir apmēram 2 grādi jeb 7–9 burti, bet lasot skaļi amplitūda ir vidēji 1,5 grādi. Lasot skaļi veiktās fiksācijas ir ilgākas, jo lasītājam skaļi jāizrunā katrs lasītais vārds. Vidējais fiksācijas ilgums, lasot tekstu skaļi, ir aptuveni 275–325 milisekundes, bet, lasot klusi, aptuveni 225–250 milisekundes. Vienas fiksācijas laikā lasītājs spēj uztvert informāciju par 3–4 simboliem pa kreisi no fiksācijas vietas un 14–15 simbolus pa labi no fiksācijas (*Rayner*, 2009). Minētā sakāžu amplitūda, uztveres apgabals un vidējie fiksācijas ilgumi raksturīgi prasmīgiem lasītājiem.



**2.5. att.** Lasīšanas laikā veikto sakādisko acu kustību un fiksāciju grafisks paraugs (Gündüz & Najjar, 2018).

Bērniem, uzsākot lasīšanas procesa apguvi, ar lasīšanu saistītie acu kustību un teksta skenēšanas ieradumi nav dziļi integrēti, tādēļ fiksācijas laikā uztveres apgabals jeb, cik daudz simbolu tiek uztverti pa labi un pa kreisi no fiksācijas vietas, ir simetrisks uz abām pusēm. Apmēram pēc 1 gada no lasīšanas apguves uzsākšanas uztveres apgabals kļūst asimetrisks un novirzās lasīšanas virzienā. Ja prasmīgi lasītāji fiksācijas laikā spēj uztvert informāciju par 14–15 simboliem pa labi no fiksācijas vietas, tad lasītāji, kuri vēl apgūst lasītprasmi, spēj uztvert informāciju par 11 simboliem. Uztveres apgabala lielumu ietekmē teksta sarežģītība. Tomēr lasītāju, kuri ir iesācēji lasīšanas procesā, uztveres apgabala lielums neietekmē lēno lasīšanas tempu (Rayner, 1986).

Attīstoties lasītprasmei, samazinās lasīšanas laikā veikto sakāžu skaits (Wertli et al., 2023), palielinās lasīšanas virzienā veikto sakāžu amplitūda, kā arī samazinās lasīšanas laikā veikto regresijas sakāžu skaits (Strandberg et al., 2022). Pilnveidojoties lasītprasmei, samazinās uz vienu vārdu veikto fiksāciju skaits (Wertli et al., 2023; Spichtig et al., 2017), kā arī kopējais lasīšanas laikā veikto fiksāciju skaits (Spichtig et al., 2017). Lasīšanas laikā veikto fiksāciju ilgums kļūst īsāks (Strandberg et al., 2022; Spichtig et al., 2017), kā arī kopējais lasīšanas ātrums palielinās līdz ar lasītprasmes attīstību (Wertli et al., 2023; Spichtig et al., 2017). Bērniem sākumskolas klasēs var tikt novērots lielāks veikto sakāžu un fiksāciju skaits, ja dzimtā valoda atšķiras no valodas, kādā tiek apgūta lasītprasme un norisinās mācības skolā, salīdzinot ar vienaudžiem, kuri lasītprasmi apgūst dzimtajā valodā. Tomēr 11–12 gadu vecumā atšķirība acu kustībās lasīšanas laikā bērniem vairs netiek novērota (Wertli et al., 2023). Acu kustību parametrus lasīšanas laikā ietekmē ne tikai lasītprasme, bet arī teksta sarežģītība. Pieaugot tā sarežģītībai, samazinās sakāžu amplitūda, palielinās veikto regresijas sakāžu skaits un fiksācijas ilgums (Rayner, 1998).

Izmaiņas acu kustībās lasīšanas laikā norisinās ne tikai attīstoties lasītprasmei. Bērniem ar lasīšanas grūtībām tiek novērota nestrukturēta un neorganizēta acu kustību veikšanas stratēģija lasīšanas laikā, salīdzinot ar bērniem, kuriem lasīšanas grūtību nav (Lefton et al., 1979). Bērni ar lasīšanas grūtībām lasa ilgāk (Spichtig et al., 2017), lasīšanas laikā veic vairāk regresijas sakāžu (Lefton et al., 1979), kā arī veic vairāk fiksāciju un tās ir ilgākas nekā bērniem, kuriem

lasīšanas grūtību nav (*Lefton et al.*, 1979, *Spichtig et al.*, 2017). Jaunāko klašu skolēnu vidū acu kustību novērtējums ne tikai korelē ar esošo lasītprasmi, bet lasīšanas virzienā vērsto sakāžu amplitūda un vidējais fiksācijas ilgums spēj arī paredzēt lasītprasmes rezultātus, kas tiks sasniegti pēc gada (*Strandberg et al.*, 2023). *Spichtig et al.* (2017) pētījumā tika secināts, ka ilgākas fiksācijas, lielāks to daudzums un vairāk veikto regresijas sakāžu lasīšanas laikā tiek novērots ne tikai bērniem, kuri saskaras ar lasīšanas grūtībām jaunākajās klasēs, bet arī skolēniem vidusskolas vecumā.

## 3. METODIKAS DAĻA

### 3.1. Metodikas izstrāde

Metode skata fiksācijas novērtēšanai skolas vecuma bērniem balstās uz acu kustību novērtējumu dažādu redzes uzdevumu laikā, izmantojot acu kustību pieraksta iekārtu, un rezultātu analīzei pielāgojot dažādus to apstrādes algoritmus. Redzes stimuli izstrādāti, pamatojoties uz zinātnisko literatūru, un izvērtējot līdz šim pielietoto metodiku acu kustību novērtēšanā [P1].

Pētījumā tika iesaistīti 378 skolas vecuma bērni no Mārupes Valsts ģimnāzijas, Mārupes pamatskolas, Rīgas Kultūras vidusskolas un Kuldīgas Centra vidusskolas. Pētījumā tika iesaistīti 1.–6. klases skolēni, kuru vecums bija no 6 līdz 13 gadiem. Kopējais bērnu skaits katrā klašu grupā parādīts tabulā 3.1.

3.1. tabula

Bērnu kopējais skaits katrā klašu grupā.

Klase	Zēni	Meitenes	Kopā
1.	33	26	59
2.	34	29	63
3.	31	36	67
4.	39	38	77
5.	26	28	64
6.	20	28	48

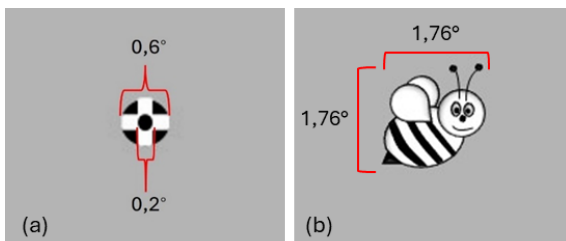
Bērnu dalība pētījumā bija brīvprātīga, un iesaistīti tika tikai tie bērni, kuru vecāki vai likumiskie aizbildņi bija snieguši rakstisku piekrišanu bērnu dalībai pētījumā. Pirms piekrišanas sniegšanas vecāki un likumiskie aizbildņi tika iepazīstināti ar pētījuma protokolu. Pētījums tika apstiprināts Latvijas Universitātes Ētikas komisijā un norisinājās saskaņā ar Helsinku deklarāciju.

Pētījumā iesaistīto bērnu atlasīti veica skolas logopēdi pēc nejaušības principa. Pirms izstrādātās metodes testēšanas, skolu logopēdi atlasītajiem bērniem veica lasītprasmes novērtējumu ar *Acadience™ Reading* testu. Šis lasītprasmes novērtēšanas tests ietver vairākus apakštestus, kas paredzēti dažādu veiksmīgai lasīšanai nepieciešamo prasmju novērtēšanai. Apakštestu kopas un vērtēšanas kritēriji ir izstrādāti atbilstoši bērnu vecumam un laika periodam mācību gada ietvaros, kurā tests tiek veikts. Saliktais punktu skaits, kas apvieno katra apakštesta rezultātus, sniedz visprecīzāko novērtējumu par bērna lasītprasmes līmeni (*Kaminski et al., 2008*).

### 3.1.1. Izveidotie redzes stimuli

#### Fiksācijas stabilitātes novērtēšana

Fiksācijas stabilitātes novērtēšanai tika izveidoti divi stimuli (skatīt 3.1. att.). Vienu no tiem veidoja melnu apļu (RGB: 0; 0; 0) un balta (RGB: 255; 255; 255) krusta kombinācija. Šis stimulš tika izvēlēts, pamatojoties uz *Thaler et al.* (2013) pētījumu, kur šis stimulš tika atzīts kā stabils fiksāciju nodrošinošs. Gados jaunāku bērnu iesaisti acu kustību mērījumos veicina uzmanību piesaistošu stimulu izmantošana (*Irving et al.*, 2011), tādēļ otrs stimulš tika izveidots kā nekustīga animācija, proti, bite. Fiksācijas stimuli tika demonstrēti ekrāna centrā. Pirms tika demonstrēts kāds no fiksācijas stimuliem, ekrāna centrā 3 sekundes tika rādīts melns punkts (RGB 255; 255; 255) uz pelēka fona (RGB 180; 180; 180). Pirms fiksācijas uzdevuma sākuma bērns tika instruēts skatīties tikai fiksācijas stimulu centrālajā daļā, tiklīdz stimulš parādīsies ekrānā. Fiksācijas stimula demonstrēšanas ilgums ir 10 sekundes, bet fiksācijas analizē tiek iekļautas vidējās 9 sekundes, neņemot vērā pirmās un pēdējās 0,5 sekundes.



3.1. att. Fiksācijas stimuli: (a) apļu un krusta kombinācija, (b) bite.

#### Fiksācijas novērtēšana lasīšanas laikā

Lai novērtētu acu kustības lasīšanas laikā, tika izveidoti katram vecumam atbilstoši lasīšanas stimuli, kas bērniem bija jālasa lasīšanas uzdevuma laikā. Šos stimulus veidoja īss, katram vecumam gan saturiski piemērots, gan teksta tehnisko parametru ziņā atbilstošs teksts (skatīt 3.2. tabulu). Teksti aizgūti no metodikas grāmatas skolotājiem “Lasītprasmes pārbaudes darbi 1.–4. klasei” (Logina, 2002). Teksta burti bija melnā krāsā (RGB 255; 255; 255) uz balta fona (RGB 0; 0; 0).

### 3.2. tabula

Katrai klasei sagatavotie lasīšanas stimuli.

<b>1. klase</b>	Viena burta leņķiskais izmērs: ~ 0,71 grādi Rindstarpa: ~ 1,17 grādi Teksta platums: 14,9 grādi Vārdu skaits: 24 Burtu skaits: 123
Reiz kādā mājiņā uz maza zemes stūrīša dzīvoja māte ar dēlu. Katru dienu viņus apmeklēja zaķis. Tas nopostīja viņu dārziņu un noēda visus kāpostus.	

### 3.2. tabulas turpinājums

<b>2. klase</b>	Viena burta leņķiskais izmērs: ~ 0,66 grādi Rindstarpa: ~ 1,17 grādi Teksta platums: 14,9 grādi Vārdu skaits: 24 Burtu skaits: 137
Pāri mežam vēlās lietus mākonis un lejup birdināja aukstas lāses. Tās pakšķēja lācītim uz pleciem, un bija gaužām nepatīkami. Viņš meklēja vietu, kur patverties.	
<b>3. klase</b>	Viena burta leņķiskais izmērs: ~ 0,60 grādi Rindstarpa: ~ 0,88 grādi Teksta platums: 14,9 grādi Vārdu skaits: 31 Burtu skaits: 147
Te sniega un zaru mājoklī janvārī un februārī piedzimst mazie lācēni, parasti viens, divi vai trīs. Dažus mēnešus tie pavada kopā ar māti ik minūti, jo tā no migas nemaz neiziet.	
<b>4.–6. klase</b>	Viena burta leņķiskais izmērs: ~ 0,60 grādi Rindstarpa: ~ 0,88 grādi Teksta platums: 14,9 grādi Vārdu skaits: 24 Burtu skaits: 150
Pārbijušās peles uzrāpās Pelēkā kalna virsotnē. Ar šausmām viņas skatījās uz trakojošo upi. Bet ūdens cēlās arvien augstāk un augstāk, apdraudēdams Pelēkā kalna iedzīvotājus.	

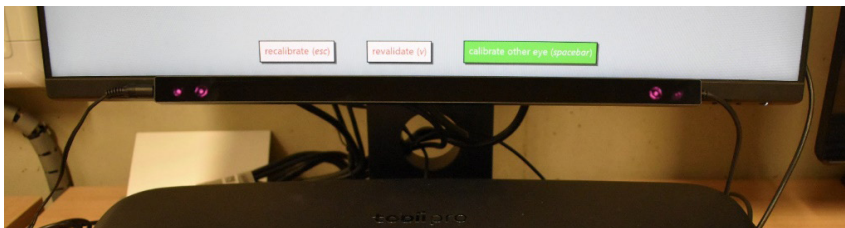
Kā lasīšanas stimuls tika izmantota arī *DEM* testa C karte, kas paredzēta ciparu saukšanai horizontālā virzienā, līdzīgi kā lasot tekstu. Oriģināli testa kartē ir 80 cipari (*Facchin, 2021*), bet tā kā mērķis ir novērtēt acu kustības relatīvi isā laika periodā, lai saglabātu bērnu interesi, testa karte tika modificēta un izmantota kartes isāka versija, kurā ir 40 cipari. Mazākā atstarpe starp diviem cipariem bija 1,4 grādi, lielākā 6,7 grādi. Attālums no rindiņas pirmā cipara līdz pēdējam bija 14,9 grādi, līdzīgi kāds tas ir izveidotajiem lasīšanas stimuliem. Ciparu izmērs bija 0,55 grādi, rindstarpa 0,33 grādi (skatīt 3.2. att.). *DEM* testa C kartes lasīšanas laikā uzdevums bija skaļi nosaukt ciparus pēc iespējas ātrāk un precīzāk.

3	5		2		7	6
2		7		4	9	8
1			6	3	5	2
7	9		4			2
4			7	3	1	9
5		6			9	1
7	4		2	3		2
9			7	4	8	6

3.2. att. *DEM* testa C testa karte.

### 3.1.2. Acu kustību pieraksta iekārta

Visi acu kustību mērījumi tika veikti, izmantojot acu kustību pieraksta iekārtu *Tobii Pro Fusion* (*Tobii AB, Zviedrija*), (skatīt 3.3. att.).



3.3. att. Acu kustību pieraksta iekārta *Tobii Pro Fusion* (*Tobii AB, Zviedrija*).

Iekārtas darbības princips balstās uz radzenes atspīduma un acs zilītes pārvietojuma noteikšanu. Iekārtai ir divas videokameras, kas ļauj uztvert attēlus no abām acīm, nodrošinot stabilu un precīzu acu skatiena un acu stāvokļa novērtējumu trīs dimensiju telpā. Radzenes atspīduma radīšanai tiek izmantots infrasarkanās gaismas avots. Iekārta darbojas gan tumšas, gan gaišas zilītes apgaismojuma režīmā. Ar *Tobii Pro Fusion* iekārtu iespējams veikt acu kustību pierakstu, izmantojot 30 Hz, 60 Hz, 120 Hz un 250 Hz darbības frekvences. Iekārtas precizitāte (*accuracy*) ir 0,3 grādi, atkārtojamība (*precision*) ir 0,2 grādi. Precizitāte raksturo, cik tuvu acu kustību pieraksta iekārtas novērtētais skata punkts ir reālajam skata punktam, bet atkārtojamība to, cik uzticami iekārta spēj atkārtot mērījumu. Ar *Tobii Pro Fusion* acu kustību pieraksts tiek veikts binokulāri jeb abām acīm vienlaicīgi.

### 3.1.3. Mērījumu veikšanas gaita

Pirms mērījumu veikšanas pie acu kustību pieraksta iekārtas tika novērtēts pētījumam atlasīto bērnu redzes asums un redzes raksturs. Mērījumi ar acu kustību pieraksta iekārtu tika veikti tikai tiem bērniem, kuriem ir binokulāra redze (novērtēta ar TNO testu<sup>1</sup>) un, kuru nekoriģētais redzes asums monokulāri atbilda vismaz  $V_{\text{visus}} = 0,4$  (decimālvienībās), kas nozīmē, ka katrai acij atsevišķi jāspēj saskatīt optotipus, kuri tuvuma redzes asuma tabulā atbilda noteiktajam redzes asumam. 65 cm attālumā ar šādu redzes asumu mazākais objekts, ko var skaidri saskatīt, ir aptuveni 0,24 cm jeb 0,21 grādus liels. Šis redzes asuma sliekšnis tika izvēlēts, lai nodrošinātu, ka bērns spētu skaidri saskatīt gan tekstu, gan citus redzes stimulus datora ekrānā bez brillēm, ja tās tiek lietotas ikdienā.

<sup>1</sup> Uz izkļiedēto punktu metodi balstīts tests, kas paredzēts kvantitatīvam stereoredzes novērtējumam un ietver arī testa karti redzes rakstura novērtēšanai (*Walraven, 1975*).



Mērījumu veikšanas laikā netika atļauts lietot brilles, jo atspīdumi no brillu lēcu virsmām var ietekmēt mērījumu precizitāti (Gwon *et al.*, 2014).

Pirms mērījumu veikšanas pie acu kustību pieraksta iekārtas, bērniem tika novērtētas arī citas redzes funkcijas, tai skaitā stereoredze, lai analizētu saistību starp redzes funkciju traucējumiem un novērtētajiem acu kustību parametriem. Pirms mērījumu uzsākšanas papildus tika noteikta arī katra bērna vadošā acs tuvumā (40 cm), jo vadošā acs ir tā, kas sensoro informāciju apstrādā ātrāk un spēcīgāk (Shneor & Hochstein, 2005).

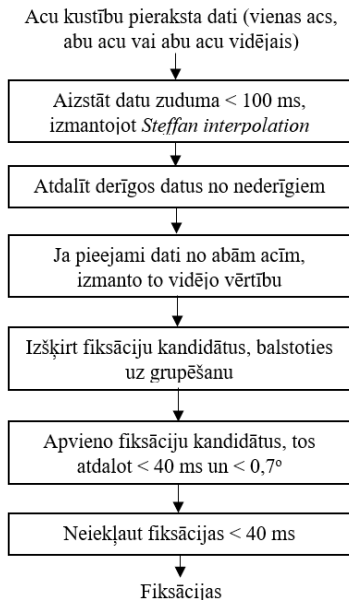
Izveidotie redzes stimuli tika demonstrēti uz datora monitora 65 cm attālumā no pētījuma dalībnieka. Monitora fiziskais izmērs bija 53,4 cm × 35,6 cm, bet tā displeja laukuma izmērs 52,70 cm × 29,64 cm. Ekrāna izšķirtspēja 1920 × 1080 pikseļi (horizontāli × vertikāli). Pirms katra pētījuma dalībnieka mērījuma uzsākšanas tika veikta kalibrācijas procedūra, kurai sekoja kalibrācijas validēšanas procedūra. Kalibrācijas laikā pētījuma dalībniekam dažādās ekrāna vietās tiek demonstrēti fiksācijas punktu, uz kuriem pēc iespējas precīzāk tiek lūgts skatīties. Šajā gadījumā tika veikta piecu punktu kalibrācija, kas nozīmē, ka fiksācijas stimul tika demonstrēti piecos ekrāna punktos. Kalibrācijas procedūra tika veikta monokulāri, proti katrai acij atsevišķi. Gan kalibrācijas procedūras laikā, gan pašu mērījumu laikā, bērna galva tika atbalstīta zoda un pieres balstā, lai izvairītos no liekām galvas kustībām, kas varētu ietekmēt mērījuma rezultātus un, lai bērna galva mērījumu laikā tiktu vērsta pret datora monitora centrālo daļu (skatīt 3.4. att.).



3.4. att. Mērījumu veikšanas vietas iekārtojums.

Acu kustības tika pierakstītas abām acīm vienlaicīgi, izmantojot *Tobii Pro Fusion* iekārtas 250 Hz darbības frekvenci. Redzes uzdevumu eksperimentālais dizains tika veidots *Titta Master* programmā (*Niehorster et al., 2020*), un acu kustību pieraksta laikā tās darbība tika sinhronizēta ar acu kustību pieraksta iekārtu. *Titta Master* programma nodrošina arī monokulārās kalibrācijas iespējas, un tās darbība ir sinhronizējama ne tikai ar *Tobii Pro Fusion* acu kustību pieraksta iekārtu, bet arī ar citām iekārtām.

Redzes uzdevumu izpildes laikā katram bērnam tika ierakstīts neapstrādātu datu (RAW datu) fails. Acu kustību pieraksta RAW datu fails ietver informāciju par skata koordinātām uz ekrāna labajai un kreisajai acij, acs zīlītes izmēru, iztrūkstošajiem datiem, acu kustību pieraksta laiku un citiem datiem. Lai no šiem datiem izdalītu fiksācijas brīžus un iegūtu informāciju par to ilgumu, skaitu, vietu uz ekrāna un katras veiktās fiksācijas stabilitāti, tika izmantots I2MC (*identification by two-means clustering*) algoritms. Salīdzinot ar citiem līdzīgiem algoritmiem (piemēram, *Binocular-Individual Threshold (BIT)* (*van der Lans et al., 2011*) vai C-DT algoritms (*Veneri et al., 2011*), kas paredzēti fiksācijas brīžu izdalīšanai acu kustību pieraksta RAW datos, I2MC algoritms tiek atzīts par piemērotāko tādu datu analīzei, kuros ir augsts trokšņu līmenis un iztrūkstošo datu daudzums, padarot to īpaši piemērotu bērnu datu analīzei (*Hessels et al., 2017*). Algoritma blokshēma redzama 3.5. attēlā.



3.5. att. I2MC algoritma darbības blokshēma (*Hessels et al., 2017*).

I2MC algoritms sniedz iespēju analizēt gan katras acs fiksāciju atsevišķi, gan analizēt binokulāro fiksāciju, kad vērā tiek ņemti abu acu pieraksta dati. Šī algoritma iespēja ir īpaši noderīga skata fiksācijas stabilitātes analizē, jo sniedz iespēju analizēt gan monokulāro skata fiksācijas stabilitāti, gan binokulāro skata fiksācijas stabilitāti. Skata fiksācijas stabilitāte tika izteikta kā divu mainīgu elipses laukums (BCEA), kas tika aprēķināta pēc sekojošas formulas:

$$BCEA = 2k\pi\sigma_H\sigma_V(1 - \rho^2)^{\frac{1}{2}}$$

$\sigma_H$  apzīmē fiksāciju standartnovirzi horizontālajā meridiānā;

$\sigma_V$  apzīmē fiksāciju standartnovirzi vertikālajā virzienā;

$\rho$  ir Pīrsona produkta momenta korelācijas koeficients starp abām meridiānām;

$k$  ir 1,14, jo izvēlētais apgabals ietver 68 % fiksācijas datu (*Crossland & Rubin, 2002*).

BCEA vērtība tiek izteikta mērvienībā grādi<sup>2</sup>. Mazāka BCEA vērtība norāda uz stabilāku fiksāciju.

## 4. REZULTĀTI

### 4.1. Acs dominances ietekme uz skata fiksācijas stabilitāti

Acs domināncei var būt ietekme uz tādiem acu kustību parametriem kā sakādisko acu kustību ātrums (*Oishi et al.*, 2005) un lēnas sekošanas acu kustību precizitāte (*Elbaum et al.*, 2017). Tā kā nav zināms, vai pastāv atšķirība starp vadošās un nevadošās acs fiksācijas stabilitāti bērniem un vai acu dominanci vajadzētu ņemt vērā pētījumos, kas analizē skata fiksācijas stabilitāti, izvēloties vienu aci, pielietojot izstrādāto metodiku tika novērtēta acs dominances ietekme uz skata fiksācijas stabilitāti skolas vecuma bērniem [P1].

Bērni, kuriem tika novērtēta fiksācijas stabilitāte un tika noteikta vadošā acs, tika sadalīti 6 vecuma grupās (skatīt 4.1. tabulu). Tika izmantoti rezultāti, kas iegūti, veicot fiksācijas stabilitātes novērtējumu, izmantojot fiksācijas stimulu (a).

4.1. tabula

Kopējais bērnu skaits un dominējošo acu sadalījums katrā vecuma grupā.

Vecums (gadi)	Bērnu skaits ( <i>n</i> )	Vadošā acs	
		Labā	Kreisā
7	44	31	13
8	49	34	15
9	47	33	14
10	54	37	17
11	55	41	14
12	31	19	12

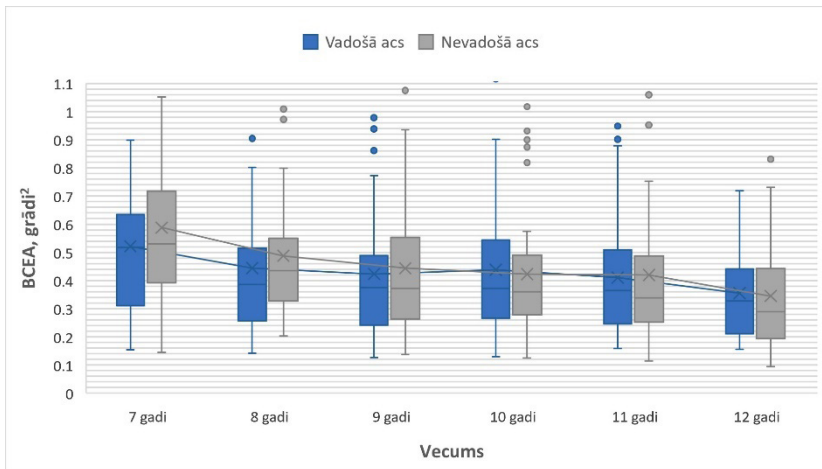
Tā kā Šapiro-Vilka testa rezultāts parāda, ka pētījuma dalībnieku fiksācijas stabilitātes mērījumu vērtības neatbilst normālam sadalījumam ( $p < 0,05$ ), tika izmantots neparametriskais Vilkoksona rangu zīmju tests, lai salīdzinātu, vai katrā no vecuma grupām pastāv būtiska atšķirība fiksācijas stabilitātē starp vadošo un nevadošo aci. Rezultāti liecina, ka fiksācija vadošajā acī ir ievērojami stabilāka nekā nevadošajā acī 7 gadus veciem bērniem ( $Z = -2,101$ ,  $p = 0,036$ ) un 8 gadus veciem bērniem ( $Z = -2,601$ ,  $p = 0,009$ ), kamēr pārējo vecuma bērnu vidū atšķirība starp vadošās un nevadošās acs fiksācijas stabilitāti nav būtiska (skatīt 4.2. tabulu).

4.2. tabula

Fiksācijas stabilitāte (vidējā vērtība  $\pm$  standartnovirze) vadošajā un nevadošajā acī katrā vecuma grupā. Izceltas tās vecuma grupas, kurās tika novērota nozīmīga fiksācijas stabilitātes atšķirība starp vadošo un nevadošo aci [P2].

Vecums (gadi)	Vadošā acs, BCEA (grādi <sup>2</sup> ) $\pm$ SD	Nevadošā acs, BCEA (grādi <sup>2</sup> ) $\pm$ SD	P
7	<b>0,52 <math>\pm</math> 0,26</b>	<b>0,59 <math>\pm</math> 0,32</b>	<b>0,036</b>
8	<b>0,44 <math>\pm</math> 0,27</b>	<b>0,49 <math>\pm</math> 0,29</b>	<b>0,009</b>
9	0,42 $\pm$ 0,23	0,44 $\pm$ 0,25	0,634
10	0,44 $\pm$ 0,24	0,42 $\pm$ 0,22	0,651
11	0,41 $\pm$ 0,24	0,42 $\pm$ 0,26	0,880
12	0,40 $\pm$ 0,29	0,40 $\pm$ 0,34	0,601

Spīrmena ranga korelācijas koeficients  $r_s$  norāda, ka pastāv korelācija starp bērnu vecumu un fiksācijas stabilitāti vadošajā acī ( $r_s = 0,181$ ,  $n = 280$ ,  $p = 0,02$ ) un nevadošajā acī ( $r_s = 0,272$ ,  $n = 280$ ,  $p < 0,001$ ). Tāpat tiek novērots, ka pieaugot vecumam, fiksācija kļūst stabilāka gan vadošajā, gan nevadošajā acī (skatīt 4.1. att.).



4.1. att. Vadošās un nevadošās acs fiksācijas stabilitātes salīdzinājums visās vecuma grupās. Vērtībampļūtības diagrammā attēlots starpkvartīļu apgabali, mediānas, kas atzīmētas ar līnijām un vidējās vērtības, kas atzīmētas ar krustiņiem. Diagrammas kastītes savienotas ar tendences līniju to vidējās vērtībās [P2].

Tika salīdzināts, vai pastāv atšķirība starp labās un kreisās acs fiksācijas stabilitāti, neņemot vērā acu dominanci. Izmantojot Vilksoksona rangu zīmju testu,

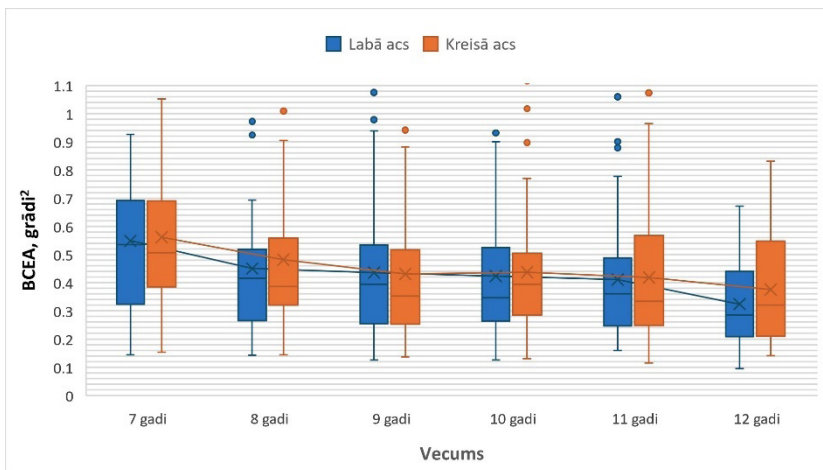
tika konstatēts, ka nav statistiski nozīmīgas atšķirības starp labās un kreisās acs fiksācijas stabilitāti nevienā no vecuma grupām (skatīt 4.3. tabulu).

**4.3. tabula**

Labās un kreisās acs fiksācijas stabilitāte (vidējā vērtība ± standartnovirze) visās vecuma grupās [P2].

Vecums (gadi)	Labā acs, BCEA (grādi <sup>2</sup> ) ± SD	Kreisā acs, BCEA (grādi <sup>2</sup> ) ± SD	P
7	0,55 ± 0,27	0,56 ± 0,31	0,852
8	0,45 ± 0,26	0,48 ± 0,29	0,441
9	0,44 ± 0,24	0,43 ± 0,25	0,751
10	0,42 ± 0,23	0,44 ± 0,23	0,265
11	0,41 ± 0,24	0,42 ± 0,26	0,675
12	0,32 ± 0,14	0,38 ± 0,20	0,078

Spīrmena ranga korelācijas koeficients norāda uz korelāciju starp bērnu vecumu un labās acs ( $r_s = 0,245$ ,  $n = 280$ ,  $p < 0,001$ ) un kreisās acs ( $r_s = 0,213$ ,  $n = 280$ ,  $p < 0,001$ ) fiksācijas stabilitāti. Tiek novērots, ka pieaugot vecumam, fiksācija kļūst stabilāka abās acīs (skatīt 4.2. attēlu).



**4.2. att.** Labās un kreisās acs fiksācijas stabilitātes salīdzinājums visās vecuma grupās. Vērtībamplicitūdas diagrammā attēlots starpkvartīļu apgabali, mediānas, kas atzīmētas ar līnijām un vidējās vērtības, kas atzīmētas ar krustiņiem. Diagrammas kastītes savienotas ar tendences līniju to vidējās vērtībās [P2].

## 4.2. Fiksācijas stabilitātes saistība ar stereoredzes novērtējumu

Tā kā pētījumi liecina, ka dažādu trīs dimensiju vizualizāciju izmantošana izglītības procesā palīdz mācību vielas apguvei, bet, lai šīs vizualizācijas varētu veiksmīgi izmantot, nepieciešama laba stereoredze jeb dziļuma uztvere (Wainman *et al.*, 2020; Bogomolova *et al.*, 2021), tika apskatīts, vai pastāv saistība starp binokulāro skata fiksācijas stabilitāti un stereoredzes asumu [P3].

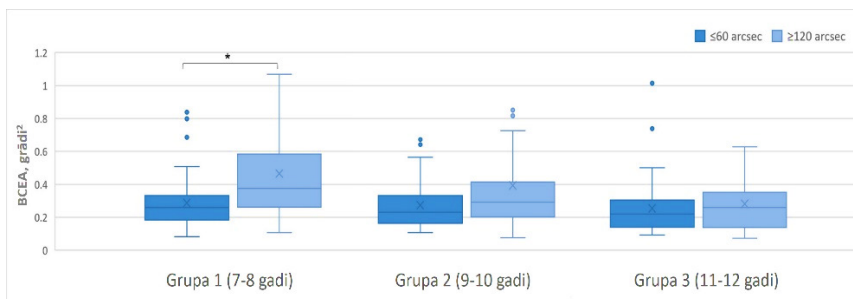
Bērni, kuriem tika novērtēta fiksācijas stabilitāte un novērtēts stereoredzes asums, tika sadalīti grupās pēc vecuma un stereoredzes novērtējuma (skatīt 4.4. tabulu). TNO testā samazināts stereoasums tiek uzskatīts 120 loka sekundes (*arcsec*) vai sliktāks, bet normālas stereoredzes gadījumā tam jāatbilst vismaz 60 loka sekundēm (Williams *et al.*, 1988). Binokulārās fiksācijas stabilitātes novērtējumam tika izmantoti rezultāti, kas tika iegūti, izmantojot fiksācijas stimulu (a).

4.4. tabula

Bērnu sadalījums grupās pēc vecuma un stereoredzes novērtējuma [P3].

	Grupa 1 (7–8 gadi)	Grupa 2 (9–10 gadi)	Grupa 3 (11–12 gadi)
<b>Normāls stereoasums (<math>\leq 60</math> arcsec)</b>	$n = 49$	$n = 37$	$n = 38$
<b>Samazināts stereoasums (<math>\geq 120</math> arcsec)</b>	$n = 36$	$n = 32$	$n = 27$

Manna-Vitnija  $U$  testa rezultāti parāda, ka binokulārā fiksācijas stabilitāte starp bērniem ar samazinātu un normālu stereoasumu būtiski atšķiras tikai pirmajā grupā ( $U = 507$ ,  $p = 0,001$ ), t.i., bērniem ar nestabilāku fiksāciju bija arī samazināts stereoasums. Otrajā grupā bērniem ar normālu stereoasumu fiksācija bija stabilāka nekā bērniem ar samazinātu stereoasumu, bet atšķirība nebija nozīmīga ( $U = 580$ ,  $p = 0,09$ ). Trešajā grupā tika novērota tendence, ka bērniem ar normālu stereoasumu ir stabilāka fiksācija nekā bērniem ar samazinātu stereoasumu, bet atšķirība nebija nozīmīga ( $U = 455$ ,  $p = 0,44$ ), (skatīt 4.3. attēlu).



**4.3. att.** Fiksācijas stabilitāte bērniem ar normālu un samazinātu stereoasumu katrā vecuma grupā [P3].

Kruskala-Valisa testa rezultāti arī atklāja, ka fiksācijas stabilitāte būtiski atšķīrās starp vecuma grupām bērniem ar samazinātu stereoasumu ( $\chi^2(2) = 7,785$ ,  $p = 0,02$ ). Fiksācijas stabilitāte atšķīrās arī starp vecuma grupām bērniem ar normālu stereoasumu, taču šī atšķirība nebija nozīmīga ( $\chi^2(2) = 3,589$ ,  $p = 0,15$ ), (skatīt 4.5. tabulu).

**4.5. tabula**

Ar vecumu saistītās izmaiņas fiksācijas stabilitātē bērniem ar normālu un samazinātu stereoasumu [P3].

	Grupa 1 (7–8 gadi)	Grupa 2 (9–10 gadi)	Grupa 3 (11–12 gadi)	<i>p</i>
<b>BCEA (bērni ar normālu stereoasumu)</b>	0,29 ± 0,16 grādi <sup>2</sup>	0,27 ± 0,14 grādi <sup>2</sup>	0,25 ± 0,18 grādi <sup>2</sup>	0,15
<b>BCEA (bērni ar samazinātu stereoasumu)</b>	0,47 ± 0,32 grādi <sup>2</sup>	0,39 ± 0,36 grādi <sup>2</sup>	0,28 ± 0,16 grādi <sup>2</sup>	0,02

### 4.3. Acu kustību pieraksta iekārtas darbības frekvences ietekme uz fiksācijas stabilitātes novērtējumu

Lai gan pētījumos, kuros analizē skata fiksācijas stabilitāti, izsakot to kā divu mainīgo elipses laukumu (BCEA), mērījumi tiek veikti, izmantojot dažādas acu kustību pieraksta iekārtu darbības frekvences, nav plaši analizēts, vai iekārtu darbības frekvence ietekmē šī fiksāciju parametra novērtējumu. Tādēļ skata fiksācijas stabilitāte tika novērtēta un pie dažādām frekvencēm salīdzināta 11 pieaugušajiem vecumā no 20 līdz 30 gadiem (vidējais vecums 24 gadi). Fiksācijas stabilitātes mērījumi tika veikti, izmantojot trīs *Tobii Pro Fusion* acu kustību pieraksta iekārtas darbības frekvences – 60 Hz, 120, Hz un 250 Hz. Fiksācijas uzdevumam tika izmatots stimul (a) [P4].



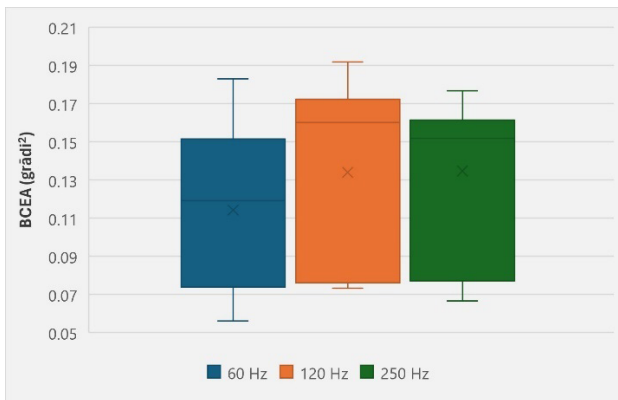
Binokulārās fiksācijas stabilitātes vidējās vērtības (BCEA), kas noteiktas veicot mērījumus ar dažādām acu kustību iekārtas darbības frekvencēm, parādītas tabulā 4.6.

4.6. tabula

BCEA vērtības, kas noteiktas, izmantojot dažādas acu kustību iekārtas darbības frekvences [P4].

	Iekārtas darbības frekvence		
	60 Hz	120 Hz	250 Hz
<b>BCEA, grādi<sup>2</sup> (vid. ± SD)</b>	0,114 ± 0,044	0,134 ± 0,045	0,135 ± 0,04

Veicot ANOVA testu atkārtotiem mērījumiem, rezultāti norāda, ka netiek novērots būtiski atšķirīgs fiksācijas stabilitātes novērtējums, veicot mērījumus ar dažādām acu kustību pieraksta iekārtas darbības frekvencēm ( $F(2, 20) = 2,955$ ,  $p = 0,075$ ), (skatīt 4.4. att.).



4.4. att. Fiksācijas stabilitātes salīdzinājums pie dažādām acu kustību pieraksta iekārtas darbības frekvencēm [P4].

Rezultāti parāda, ka pastāv cieša korelācija starp katra dalībnieka fiksācijas stabilitātes mērījumiem pie dažādām acu kustību pieraksta iekārtas frekvencēm (skatīt 4.7. tabulu).

4.7. tabula

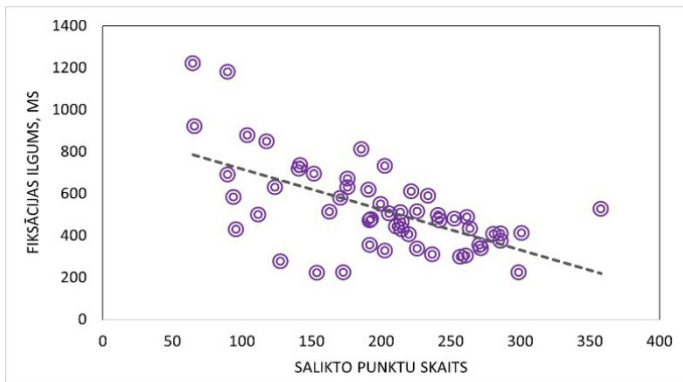
Korelācija starp BCEA vērtībām visās acu kustību pieraksta iekārtas darbības frekvencēm [P4].

Frekvence	60 Hz	120 Hz	250 Hz
60 Hz		$r = 0,706, p = 0,015$	$r = 0,766, p = 0,006$
120 Hz	$r = 0,706, p = 0,015$		$r = 0,725, p = 0,012$
250 Hz	$r = 0,766, p = 0,006$	$r = 0,725, p = 0,012$	

#### 4.4. Lasīšanas uzdevumā analizēto parametru saistība ar lasītprasmes novērtējumu

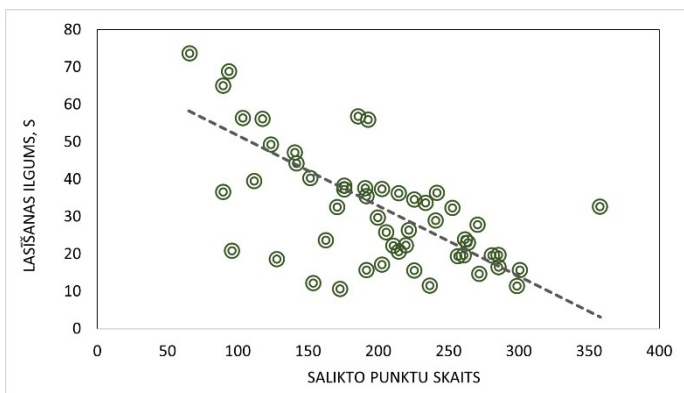
Izmantojot izstrādāto metodoloģiju, tika veikts acu kustību novērtējums lasīšanas uzdevuma izpildes laikā. Lai noskaidrotu saistību starp acu kustību parametriem un lasītprasmes sniegumu, tika analizēta tādu parametru, kā katra bērna lasīšanas uzdevuma kopējā izpildes laika, vidējā fiksācijas ilguma un veikto fiksāciju skaita korelācija ar bērna individuālo salikto punktu skaitu *Acadience™ Reading* testā [P5].

Analizējot 53 2.klases bērnu rezultātus, tika noskaidrots, ka pastāv vidēji cieša saistība starp salikto punktu skaitu un lasīšanas laikā veikto vidējo fiksācijas ilgumu ( $r = -0,604$ ,  $n = 53$ ,  $p < 0,001$ ), (skatīt 4.5. att.). Lasītprasmes novērtējums ar *Acadience™ Reading* testu uzrādīja, ka šajā bērnu grupā 28% bērnu novērotas lasītprasmes grūtības. Sadalot bērnus divās apakšgrupās pēc viņu lasītprasmes novērtējuma, tika noteikts, ka tie bērni, kuriem ir lasīšanas grūtības, veic būtiski ilgākas fiksācijas (vid. = 701 ms,  $SD = 286$ ), salīdzinot ar tiem, kuriem lasīšanas grūtību nav (vid. = 462 ms,  $SD = 132$ ), ( $t(16) = 3,106$ ,  $p < 0,007$ ).



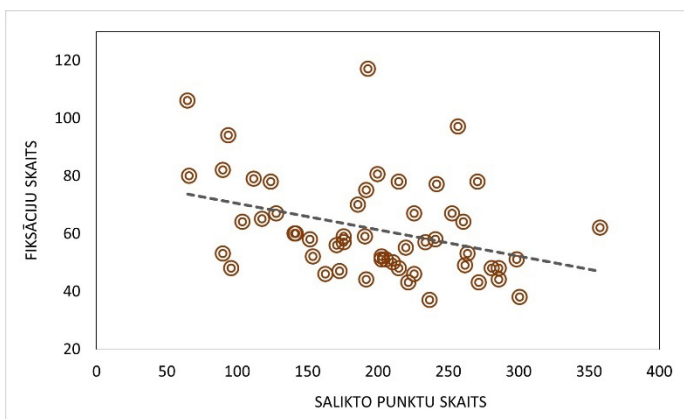
4.5. att. Saistība starp vidējo fiksācijas ilgumu lasīšanas uzdevuma izpildes laikā un salikto punktu skaitu [P5].

Analizējot saistību starp kopējo izveidotā lasīšanas uzdevuma izpildes laiku un salikto punktu skaitu, tā tiek novērota vidēji cieša ( $r = -0,619$ ,  $n = 53$ ,  $p < 0,001$ ), (skatīt 4.6. att.).



4.6. att. Saistība starp lasīšanas uzdevuma izpildes laiku un salikto punktu skaitu [P5].

Lai gan korelācijas koeficients ir zemāks nekā diviem iepriekšminētajiem parametriem, tomēr par vidēji ciešu saistību var uzskatīt arī starp salikto punktu skaitu un kopējo fiksāciju skaitu novēroto ( $r = -0,400$ ,  $n = 53$ ,  $p = 0,003$ ), (skatīt 4.7. att.).

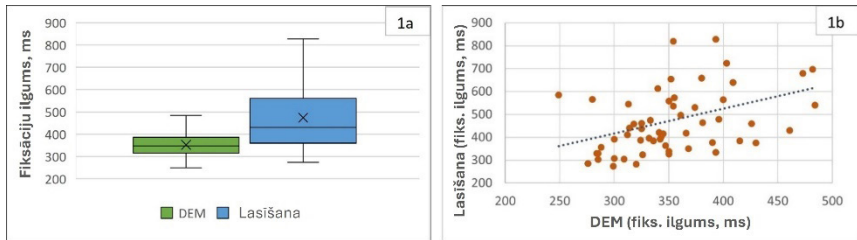


4.7. att. Saistība starp veikto fiksāciju skaitu lasīšanas uzdevuma izpildes laikā un salikto punktu skaitu [P5].

## 1.6. DEM testā veikto fiksāciju ilguma saistība ar lasītprasmes novērtējumu

Lai gan *DEM* tests ir veidots, lai novērtētu acu kustības lasīšanai pietuvinātos apstākļos, pielietojot šo testu klinikā, tā izpildes laikā netiek veikts acu kustību kvantitatīvs novērtējums. Izmantojot acu kustību pieraksta iekārtas, arī šī testa izpildes laikā ir iespējams veikt padziļinātu acu kustību analīzi un noteikt, cik būtiski tādi acu kustību parametri kā, piemēram, fiksācijas ilgums saistāms ar lasītprasmes sniegumu un lasīšanas laikā veikto fiksāciju ilgumu [P6].

Salīdzinot 57 4.klases bērnu (9–11 gadi, vidējais vecums 10 gadi) vidējo fiksācijas ilgumu *DEM* testā (vid. = 353 ms, *SD* = 53) un lasīšanas uzdevuma izpildes laikā (vid. = 472 ms, *SD* = 163), tika iegūts, ka *DEM* testa izpildes laikā fiksācijas bija ievērojami īsākas ( $t(56) = -6,01, p < 0,001$ ). Korelācijas analīzes rezultāti parāda, ka lai gan vāja, tomēr pastāv saistība starp fiksācijas ilgumu *DEM* testā un lasīšanas uzdevumā ( $r = 0,349, n = 57, p = 0,008$ ), (skatīt 4.8. att.).



4.8. att. vidējais fiksāciju ilgums *DEM* testā un lasīšanas uzdevuma izpildes laikā (1a) un korelācija starp *DEM* testa un lasīšanas laikā veikto fiksācijas ilgumu (1b) [P6].

Veicot korelācijas analīzi, tika novērota vidēji cieša saistība starp fiksācijas ilgumu lasīšanas laikā un *Acadience<sup>TM</sup> Reading* testa salikto punktu skaitu ( $r = 0,698, n = 57, p < 0,001$ ), bet saistība starp salikto punktu skaitu, kas raksturo lasītprasmes sniegumu, un vidējo fiksācijas ilgumu *DEM* testā bija vāja ( $r = 0,141, n = 57, p = 0,295$ ).

## DISKUSIJA

Manuālās acu kustību novērtēšanas metodes nesniedz iespēju detalizēti un precīzi novērtēt okulomotorās sistēmas darbību, tai skaitā skata fiksāciju un to raksturojošos parametrus. Šie manuālo acu kustību novērtēšanas metožu ierobežojumi aktualizē nepieciešamību izmantot objektīvu acu kustību novērtēšanas pieeju.

Šī pētījuma ietvaros tika veikts objektīvs skata fiksācijas novērtējums 378 skolas vecuma bērniem. Metode skata fiksācijas novērtējumam skolas vecuma bērniem balstījās uz acu kustību novērtējumu dažādu redzes uzdevumu laikā, izmantojot acu kustību pieraksta iekārtu. Redzes stimuli tika izstrādāti, pamatojoties uz zinātnisko literatūru, un izvērtējot līdz šim pielietoto metodiku acu kustību novērtēšanā [P1]. Lai pilnveidotu metodoloģiju skata fiksācijas novērtēšanai, pētījuma ietvaros tika veikts dažādu iekšēji un ārēji vadītu faktoru ietekmes novērtējums uz skata fiksācijas parametriem.

Objektīvam skata fiksāciju parametru novērtējumam var pielietot dažādas acu kustību pieraksta iekārtas, kurām var būt atšķirīgi to raksturojošie parametri. Novērtējot acu kustību pieraksta iekārtas darbības frekvences ietekmi uz fiksācijas stabilitātes mērījuma rezultātiem, kas izteikti kā divu mainīgo elipses laukums (BCEA), tika secināts, ka šīs acu kustību pieraksta iekārtas raksturojošais parametrs būtiski neietekmē fiksācijas mērījumu rezultātu, norādot, ka ierīces ar zemākām darbības frekvencēm arī var tikt izmantotas precīzam fiksācijas stabilitātes novērtējumam [P4]. Līdzīgi rezultāti iegūti arī salīdzinot fiksācijas stabilitātes mērījumus, kas veikti, izmantojot mikroperimetrus ar integrētu acu kustību pieraksta tehnoloģiju (*Liu et al.*, 2015). Tomēr šo mikroperimetru acu kustību pieraksta frekvences bija 25 Hz un 8 Hz, kas uzskatāmas par ļoti zemām acu kustību novērtēšanai (*Andersson et al.*, 2010). Novērots, ka acu kustību pieraksta iekārtas darbības frekvence neietekmē fiksācijas stabilitātes novērtējumu arī *Maniarasu et al.* (2023) pētījumā. Atšķirībā no šī darba ietvaros veiktā pētījuma, *Maniarasu et al.* (2023) pētījumā tika veikts viens acu kustību pieraksts, izmantojot 500 Hz iekārtas frekvenci, un tika samazināta sākotnējā datu kopa, lai iegūtu zemākām frekvencēm raksturīgu datu kopu apjomu. Šajā pētījumā ar katru acu kustību pieraksta iekārtas darbības frekvenci, tika veikts atsevišķs pieraksts. Kopumā atziņas, ka arī ar zemākas frekvences iekārtām var veikt precīzu skata fiksācijas novērtējumu, parāda, ka acu kustību pieraksta iekārtām nav jābūt dārgām un izmantojamām tikai zinātniskajās laboratorijās, tādējādi iedrošinot redzes speciālistus izmantot acu kustību pieraksta iekārtas savās praksēs, lai veiktu objektīvu un kvantitatīvu acu kustību novērtējumu, ko ar līdz šim izmantojamajiem manuālajiem testiem nav iespējams veikt.

Līdzšinējie pētījumi pieaugušo populācijā liecina, ka vai nu acs dominancei nav būtiskas ietekmes uz skata fiksācijas stabilitāti (*Raveendran et al.*, 2019), vai arī vadošās acs fiksācija ir nedaudz stabilāka (*Vikesdal & Langaas*, 2016). Tā kā līdz šim nav analizēta acs dominances ietekme uz fiksācijas stabilitāti skolas vecuma bērniem, nav arī vienotu vadlīniju, kuras acs mērījumu rezultāti būtu jāizvēlas, analizējot monokulāro jeb vienas acs fiksācijas stabilitāti. Šajā pētījumā gūtie rezultāti sniedz būtisku ieguldījumu, pilnveidojot metodoloģiju bērnu monokulārās fiksācijas stabilitātes novērtēšanā [P2]. Ņemot vērā pētījumā gūtos rezultātus, acs dominance var būtiski ietekmēt rezultātus, tādēļ pētījumos, kuros tiek analizēti vienas acs dati, jāpievērš uzmanība tam, kura acs tiek izvēlēta. Īpaši būtiski to ir ņemt vērā pētījumos, kuros iesaistīti gados jaunāki bērni, jo bērniem līdz 8 gadu vecumam fiksācija vadošajā acī ir ievērojami stabilāka nekā nevadošās acs fiksācijas stabilitāte.

Novērtējot vecuma saistību ar skata fiksācijas stabilitāti, tika novērots, ka gan binokulārā [P3], gan monokulārā [P2] fiksācija kļūst stabilāka bērniem kļūstot vecākiem. Ņemot vērā, ka darbā veikts kvantitatīvs gan binokulārās skata fiksācijas stabilitātes novērtējums, gan monokulārās skata fiksācijas stabilitātes novērtējums, darbā aprakstītās fiksācijas stabilitātes vērtības var tikt izmantotas, kā atskaites vērtības, lai izdarītu secinājumus par bērna fiksācijas stabilitātes attīstību atbilstoši vecumam. Fiksācijas stabilitātes novērtējums ir būtisks ne tikai tādēļ, lai novērtētu tās attīstību, bet arī tādēļ, ka pēc binokulārās skata fiksācijas stabilitātes novērtējuma var spriest par stereoredzes kvalitāti, īpaši bērniem līdz 8 gadu vecumam [P3]. Samazināts stereoredzes asums var tikt saistīts arī ar lasīšanas grūtībām (*Christian et al.*, 2018).

Analizējot gan monokulāro, gan binokulāro skata fiksācijas stabilitāti, jāņem vērā, ka pētījumā bērnu fiksācijas stabilitāte tika novērtēta bez viņu lietotās refrakcijas korekcijas, ja bez tās izpildījās noteiktais redzes asuma kritērijs. Literatūrā tiek minēts, ka nelielas refrakcijas kļūdas būtiski neietekmē fiksācijas stabilitāti (*Ukwade & Bedell*, 1993), kamēr ambliopijas esamība gan ir faktors, kas var ietekmēt gan fiksācijas stabilitāti (*Aizenman & Levi*, 2021; *González et al.*, 2012), gan stereoredzes kvalitāti (*Aizenman & Levi*, 2021). Šajā pētījumā izvēlētais redzes asuma kritērijs, kas tika noteikts pirms tika veikti mērījumi ar acu kustību pieraksta iekārtu, pilnībā neizslēdz ambliopijas iespējamību bērnu vidū. Tas noteikti ir jāņem vērā kā faktors, kas var ietekmēt paša bērna skata fiksācijas stabilitātes novērtējumu, bet tā kā Eiropas valstīs ambliopijas izplatība ir apmēram 2,66 % (*Hu et al.*, 2022), ambliopijas izplatībai bērnu vidū nevajadzētu ietekmēt kopējo katras grupas skata fiksācijas stabilitātes novērtējumu. Tomēr kā pētījuma trūkumu var atzīmēt to, ka tajā netika novērtēta skata fiksācija bērniem, kuru redzes sistēmas problēmas neļauj neizmantot brilles patstāvīgi.

Lai novērtētu skata fiksāciju lasīšanas laikā, tika izveidoti īpaši lasīšanas uzdevumi, kurus veidoja īss, bērnu vecumam atbilstošs teksts. Vairākos pētījumos tiek minēts (*Lefton et al.*, 1979; *Spichtig et al.*, 2017; *Strandberg et al.*,

2022), ka ilgākas fiksācijas lasīšanas laikā raksturo bērņus ar sliktākām lasīšanas prasmēm, kā arī bērņi ar sliktāku lasītprasmi lasīšanas laikā veic vairāk fiksāciju (Lefton et al., 1979; Spichtig et al., 2017). Tika konstatēts, ka fiksāciju ilgums lasīšanas uzdevuma izpildes laikā korelē ar bērņu lasītprasmes novērtējumu, kas veikts ar *Acadience™ Reading* testu [P5, P6], un šī korelācija ir būtiskāka nekā fiksāciju skaita korelācija ar lasītprasmes novērtējumu [P5]. Neskatoties uz to, ka lasīšanas uzdevumi bija vien 24 vārdus gari, tika novērota pozitīva korelācija starp kopējo lasīšanas uzdevuma izpildes laiku un lasīšanas sniegumu [P5]. Izmantojot izstrādātos lasīšanas stimulus, ne tikai skata fiksācijas novērtēšana, bet arī kopējais acu kustību parametru novērtējums lasīšanas laikā var tikt veikts salīdzinoši īsā laikā.

Tā kā *DEM* testa C testa karte veidota, lai kartes lasīšanas laikā veiktās acu kustības būtu līdzīgas teksta lasīšanas laikā veiktajām, arī *DEM* testa C karte tika izmantota kā lasīšanas stimuluss. Skata fiksāciju parametrs, kas tika novērtēts šī stimula laikā, bija fiksācijas ilgums. Tika konstatēts, ka *DEM* testā veikto fiksāciju ilgums ir ievērojami īsāks nekā lasīšanas laikā veikto fiksāciju ilgums. Tā kā līdz šim veiktie pētījumi nav tieši salīdzinājuši fiksācijas ilgumu starp šiem diviem uzdevumiem, šis atklājums sniedz būtisku ieguldījumu izpratnē par acu kustību raksturojošajiem parametriem *DEM* testa izpildes laikā [P6]. Īsākas fiksācijas *DEM* testa izpildes laikā, salīdzinot ar veikto fiksāciju ilgumu lasīšanas laikā, varētu skaidrot ar atšķirīgo kognitīvo pieprasījumu, kas *DEM* testa izpildes laikā varētu būt zemāks (Reney et al., 2014; Zegermann et al., 2016). Lai gan *DEM* tests ir veidots, lai novērtētu acu kustības lasīšanas procesam pietuvinātos apstākļos, veikto fiksāciju ilgumam šajā testā ir vāja saistība ar lasītprasmes sniegumu [P6], lai gan lasīšanas laikā veikto fiksāciju ilgums raksturo lasītprasmes sniegumu (Lefton et al., 1979; Spichtig et al., 2017; Strandberg et al., 2022). Tā kā novērtētajiem skata fiksāciju parametriem izveidotajos teksta lasīšanas stimulus [P5, P6] ir būtiskāka saistība ar lasītprasmes sniegumu nekā lasīšanas stimulam, ko veido *DEM* tests [P6], var tikt izdarīts secinājums, ka *DEM* tests kā stimuluss nav piemērots, lai novērtētu ar lasīšanu saistītos skata fiksāciju parametrus.

## KOPSAVILKUMS

Promocijas darba ietvaros tika veikts objektīvs skata fiksācijas novērtējums skolas vecuma bērniem. Darbā detalizēti aprakstīti skata fiksācijas novērtēšanai izmantotie stimuli, kuru izvēles un izstrādes pamatojums meklējams zinātniskajā literatūrā un līdz šim sniegtajās atziņās par acu kustību novērtēšanas metodoloģiju. Aprakstīta arī skata fiksācijas parametru novērtēšanas gaita un rezultātu iegūšana.

Gūtie rezultāti sniedz jaunas metodoloģiskās atziņas precīzam monokulārās fiksācijas stabilitātes novērtējumam. Ir noskaidrots, ka binokulāro fiksācijas stabilitātes novērtējumu var izmantot, lai spriestu par stereoredzes kvalitāti, kas ir viena no būtiskākajām redzes funkcijām. Secināts arī, ka plaši izmantotajā *DEM* testā acu kustību parametri ir atšķirīgi no lasīšanas laikā veiktajiem, līdz ar to ar lasīšanu saistīto skata fiksācijas parametru novērtējumam piemērotāks ir stimul, kuru veido teksts. Kopumā lasītprasmes kā faktors būtiski ietekmē arī lasīšanas fiksāciju parametrus.

Darbā atrodamas binokulārās un monokulārās skata fiksācijas stabilitātes kvantitatīvās vērtības, kuras var tikt izmantotas kā references vērtības, lai izdarītu secinājumus par bērna fiksācijas stabilitātes attīstību. Tā kā noskaidrots, ka acu kustību pieraksta iekārtas darbības frekvence būtiski neietekmē skata fiksācijas novērtējuma rezultātus, kas izteikts kā divu mainīgo elipses laukums (BCEA), objektīvs un precīzs fiksācijas stabilitātes novērtējums var tikt veikts, izmantojot dažādas acu kustību pieraksta iekārtas.

Darbā atrodamas arī atsevišķu lasīšanas laikā veikto acu fiksāciju parametru kvantitatīvās vērtības, tomēr, lai varētu izdarīt secinājumus par šo acu kustību parametru izmaiņām atkarībā no vecuma, jāveic vēl papildus analīze.



## IZMANTOTĀS LITERATŪRAS SARAKSTS

- Aizenman, A. M., & Levi, D. M. (2021) Fixational stability as a measure for the recovery of visual function in amblyopia. *Proceedings. Eye Tracking Research & Applications Symposi-um 2021*, 10.
- Alexander, R. G. & Martinez-Conde, S. (2019). Fixational eye movements. In C. Klein & U. Ettinger (Eds.), *Eye Movement Research an Introduction to its Scientific Foundations and Applications* (pp. 73–115). Springer International Publishing.
- Altemir, I., Alejandre, A., Fanlo-Zarazaga, A., Ortín, M., Pérez, T., Masiá, B., & Pueyo, V. (2021). Evaluation of fixational behavior throughout life. *Brain sciences*, 12(1), 19.
- Andersson, R., Nyström, M., & Holmqvist, K. (2010). Sampling frequency and eye-tracking measures: how speed affects durations, latencies, and more. *Journal of Eye Movement Research*, 3(3), 6.
- Aring, E., Grönlund, M. A., Hellström, A., & Ygge, J. (2007). Visual fixation development in children. *Graefes' archive for clinical and experimental ophthalmology*, 245(11), 1659–1665.
- Birch, E. E., Subramanian, V., & Weakley, D. R. (2013). Fixation instability in anisometric children with reduced stereopsis. *Journal of AAPOS : the official publication of the American Association for Pediatric Ophthalmology and Strabismus*, 17(3), 287–290.
- Bogomolova K, Hierck B. P., Looijen A. E. M., Pilon J. E. M., Putter H., Wainman B., Hovius E. S. R. & van der Hage J. A. (2021). Stereoscopic three-dimensional visualization technology in anatomy learning: A meta-analysis. *Medical Education*, 55, 317–327.
- Bowers, N. R., & Poletti, M. (2017). Microsaccades during reading. *PloS one*, 12(9), e0185180.
- Christian, L. W., Nandakumar, K., Hrynychak, P. K., & Irving, E. L. (2018). Visual and binocular status in elementary school children with a reading problem. *Journal of optometry*, 11(3), 160–166.
- Clark, M. R. (1975). A two-dimensional Purkinje eye tracker. *Behavior Research Methods & Instrumentation*, 7 (2), 215–219.
- Crossland, M. D. & Rubin, G. S. (2002). The use of an infrared eyetracker to measure fixation stability. *Optometry and vision science : official publication of the American Academy of Optometry*, 79(11), 735–739.
- Duchowski, T. A. (2017). *Eye tracking: methodology theory and practice*. Springer International Publishing AG.
- Elbaum, T., Wagner, M., & Botzer, A. (2017). Cyclopean, Dominant, and Non-dominant Gaze Tracking for Smooth Pursuit Gaze Interaction. *Journal of eye movement research*, 10(1), 2.
- Facchin A. (2021). Spotlight on the Developmental Eye Movement (DEM) Test. *Clinical optometry*, 13, 73–81.
- Fraser, K. C., Fors, K. L., Kokkinakis, D. & Nordlund, A. (2017). An analysis of eye-movements during reading for the detection of mild cognitive impairment. *Proceedings of the 2017 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*, 1016–1026.

- Fujii, G. Y., de Juan, E., Jr, Sunness, J., Humayun, M. S., Pieramici, D. J., & Chang, T. S. (2002). Patient selection for macular translocation surgery using the scanning laser ophthalmoscope. *Ophthalmology*, *109*(9), 1737–1744.
- González, E. G., Wong, A. M., Niechwiej-Szwedo, E., Tarita-Nistor, L., & Steinbach, M. J. (2012). Eye position stability in amblyopia and in normal binocular vision. *Investigative ophthalmology & visual science*, *53*(9), 5386–5394.
- Gran Ekstrand, A. C., Nilsson Benfatto, M., & Öqvist Seimyr, G. (2021). Screening for Reading Difficulties: Comparing Eye Tracking Outcomes to Neuropsychological Assessments. *Frontiers in Education*, *6*, 643232.
- Gündüz, A., & Najjar, T. (2018). Analysis Eye Movements During Reading by Machine Learning Algorithms: A Review Paper. *2018 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI)*, 1069–1075.
- Gwon, S. Y., Cho, C. W., Lee, H. C., Lee, W. O., & Park, K. R. (2014). Gaze tracking system for user wearing glasses. *Sensors (Basel, Switzerland)*, *14*(2), 2110–2134.
- Hafed, Z. M., & Krauzlis, R. J. (2012). Similarity of superior colliculus involvement in microsaccade and saccade generation. *Journal of neurophysiology*, *107*(7), 1904–1916.
- Hessels, R. S., Niehorster, D. C., Kemner, C., & Hooge, I. T. C. (2017). Noise-robust fixation de tection in eye movement data: Identification by two-means clustering (I2MC). *Behavior re search methods*, *49*(5), 1802–1823.
- Hirasawa, K., Okano, K., Koshiji, R., Funaki, W., & Shoji, N. (2016). Smaller Fixation Target Size Is Associated with More Stable Fixation and Less Variance in Threshold Sensitivity. *PloS one*, *11*(11), e0165046.
- Hu, B., Liu, Z., Zhao, J., Zeng, L., Hao, G., Shui, D., & Mao, K. (2022). The global prevalence of amblyopia in children: a systematic review and meta-analysis. *Frontiers in pediatrics*, *10*, 819998.
- Irving, E. L., González, E. G., Lillakas, L., Wareham, J., & McCarthy, T. (2011). Effect of stimulus type on the eye movements of children. *Investigative ophthalmology & visual science*, *52*(2), 658–664.
- Irwin, D. E. (1992). Visual memory within and across fixations. In K. Rayner (Ed.), *Eye movements and visual cognition: Scene perception and reading* (pp. 146–165). New York: Springer Series in Neuropsychology.
- Jia, Y., & Tyler, C. W. (2019). Measurement of saccadic eye movements by electro-oculography for simultaneous EEG recording. *Behavior research methods*, *51*(5), 2139–2151.
- Jones, P. R., Yasoubi, N., Nardini, M. & Rubin, G. (2016). Feasibility of macular integrity assessment (MAIA) microperimetry in children: sensitivity, reliability, and fixation stability in healthy observers. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, *57*(14), 6349–6359.
- Kaminski, R., Cummings, K. D., Powell-Smith, K. A., & Good, R. H., III. (2008). Best practices in using dynamic indicators of basic early literacy skills for formative assessment and evaluation. In A. Thomas & J. Grimes (Eds.), *Best practices in school psychology V* (pp. 1181–1204). National Association of School Psychologists.
- Kassem, L., MacMahon, C., Quinn, J., Dogramaci, S., Pang, B., & Steel, K. A. (2022). Examining the Eye Movement Behaviors Associated With Skilled Decision-Making by Elite Australian Rules Football Players. *Frontiers in sports and active living*, *4*, 899217.

- Kelly, K. R., Jost, R. M., De La Cruz, A., Dao, L., Beauchamp, C. L., Stager, D., Jr, & Birch, E. E. (2017). Slow reading in children with anisometropic amblyopia is associated with fixation instability and increased saccades. *Journal of AAPOS : the official publication of the American Association for Pediatric Ophthalmology and Strabismus*, 21(6), 447–451.
- Kim, S. Y., Moon, B. Y., Cho, H. G., & Yu, D. S. (2022). Quantitative evaluation of the association between fixation stability and phoria during short-term binocular viewing. *Frontiers in neuroscience*, 16, 721665.
- Krauzlis, R. J., Goffart, L., & Haged, Z. M. (2017). Neuronal control of fixation and fixational eye movements. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 372(1718), 20160205.
- Land M. F. (2006). Eye movements and the control of actions in everyday life. *Progress in retinal and eye research*, 25(3), 296–324.
- Lefton, L. A., Nagle, R. J., Johnson, G., & Fisher, D. F. (1979). Eye movement dynamics of good and poor readers: Then and now. *Journal of Reading Behavior*, 11(4), 319–328.
- Leube, A., Rifai, K., & Rifai, K. (2017). Sampling rate influences saccade detection in mobile eye tracking of a reading task. *Journal of Eye Movement Research*, 10(3), 3.
- Liu, H., Bittencourt, M. G., Sophie, R., Sepah, Y. J., Hanout, M., Rentiya, Z., Annam, R., Scholl, H. P., & Nguyen, Q. D. (2015). Fixation Stability Measurement Using Two Types of Microperimetry Devices. *Translational vision science & technology*, 4(2), 3.
- Logina, I., (2002). *Lasitprasmes pārbaudes darbi 1.–4. klasei: skolotāju grāmata* (1. izd). Lielvārds.
- López, A., Ferrero, F., & Postolache, O. (2019). An Affordable Method for Evaluation of Ataxic Disorders Based on Electrooculography. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 19(17), 3756.
- Majaranta, P., Bulling, A. (2014). Eye Tracking and Eye-Based Human–Computer Interaction. In: Fairclough, S., Gilleade, K. (eds) *Advances in Physiological Computing. Human–Computer Interaction Series*. Springer, London.
- Maniarasu, P., Shasane, P. H., Pai, V. H., Kuzhuppilly, N. I. R., Ve, R. S., & Ballae Ganeshrao, S. (2024). Does the sampling frequency of an eye tracker affect the detection of glaucomatous visual field loss? *Ophthalmic & physiological optics : the journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)*, 44(2), 378–387.
- Maples, W. C. & Ficklin, T. (1990). Comparison of eye movement skills between above average and below average readers. *Journal of Behavioral Optometry*, 1(4), 87–91.
- 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.
- Martinez-Conde, S., Otero-Millan, J., & Macknik, S. L. (2013). The impact of microsaccades on vision: towards a unified theory of saccadic function. *Nature reviews. Neuroscience*, 14(2), 83–96.
- Niehörster, D. C., Andersson, R., & Nyström, M. (2020). Titta: A toolbox for creating PsychToolbox and Psychopy experiments with Tobii eye trackers. *Behavior research methods*, 52(5), 1970–1979.
- Nilsson Benfatto, M., Öqvist Seimyr, G., Ygge, J., Pansell, T., Rydberg, A., & Jacobson, C. (2016). Screening for Dyslexia Using Eye Tracking during Reading. *PloS one*, 11(12), e0165508.
- Oishi, A., Tobimatsu, S., Arakawa, K., Taniwaki, T., & Kira, J. (2005). Ocular dominance in conjugate eye movements at reading distance. *Neuroscience research*, 52(3), 263–268.

- Pritchard, R. M. (1961). Stabilized images on the retina. *Scientific American*, 204, 72–78.
- Pueyo, V., Yam, J., Perez-Roche, T., Balasanyan, V., Ortin, M., Garcia, G., Prieto, E., Pham, C., Gutiérrez, D., Castillo, O., Masia, B., Alejandre, A., Bakkali, M., Ciprés, M., Esteban-Ibañez, E., Fanlo-Zarazaga, A., Gonzalez, I., Gutiérrez-Luna, I., Pan, X. & Zhang, X. (2022). Development of oculomotor control throughout childhood: A multicenter and multiethnic study. *Journal of vision*, 22(13), 4.
- Purves, D., Augustine, G. J., Fitzpatrick, D., Hall, W. C., LaMantia, A.-S., McNamara, J. O., & Williams, S. M. (Eds.). (2004). *Neuroscience* (3rd ed.). Sinauer Associates.
- Rayner K. (1986). Eye movements and the perceptual span in beginning and skilled readers. *Journal of experimental child psychology*, 41(2), 211–236.
- Rayner K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological bulletin*, 124(3), 372–422.
- Rayner K. (2009). Eye movements and attention in reading, scene perception, and visual search. *Quarterly journal of experimental psychology*, 62(8), 1457–1506.
- Raynowska, J., Rizzo, J. R., Rucker, J. C., Dai, W., Birkemeier, J., Hershowitz, J., Selesnick, I., Balcer, L. J., Galetta, S. L., & Hudson, T. (2018). Validity of low-resolution eye-tracking to assess eye movements during a rapid number naming task: performance of the Eyetribe eye tracker. *Brain Injury*, 32(2), 200–208.
- Raney, G. E., Campbell, S. J., & Bovee, J. C. (2014). Using eye movements to evaluate the cognitive processes involved in text comprehension. *Journal of Visualized Experiments: JoVE*, (83), e50780.
- Raveendran, R. N., Bobier, W. R., & Thompson, B. (2019). Binocular vision and fixational eye movements. *Journal of vision*, 19(4), 9.
- Reuben, R. N., & Gonzalez, C. (1964). Ocular electromyography in brain stem dysfunction; clinical and electrophysiological analysis of a case with multiple eye movement disorders. *Archives of neurology*, 11, 265–272.
- Richardson, D. C., Dale, R., & Spivey, M. J. (2007). Eye movements in language and cognition: A brief introduction. In M. Gonzalez-Marquez, I. Mittelberg, S. Coulson, & M. J. Spivey (Eds.), *Methods in cognitive linguistics* (pp. 323–344). John Benjamins Publishing Company.
- Rima, S., & Schmid, M. C. (2021). Reading Specific Small Saccades Predict Individual Phonemic Awareness and Reading Speed. *Frontiers in neuroscience*, 15, 663242.
- Rolf M. (2009). Microsaccades: small steps on a long way. *Vision research*, 49(20), 2415–2441.
- Samet, S., González, E. G., Mandelcorn, M. S., Brent, M. H., & Tarita-Nistor, L. (2018). Changes in fixation stability with time during binocular and monocular viewing in maculopathy. *Vision*, 2(4), 40.
- Serdjukova, J., Ekimane, L., Valeinis, J., Skilters, J., & Krumina, G. (2017). How strong and weak readers perform on the Developmental Eye Movement test (DEM): norms for Latvian school-aged children. *Reading and Writing*, 30(2), 233–252.
- Shneur, E., & Hochstein, S. (2005). Effects of eye dominance in visual perception. *International congress series*, 1282, 719–723.
- Sim, G., & Bond, R. (2021). Eye tracking in child computer interaction: Challenges and opportunities. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 30, 1–15.
- Spichtig, A. N., Pascoe, J. P., Ferrara, J. D., & Vorstius, C. (2017). A Comparison of Eye Movement Measures across Reading Efficiency Quartile Groups in Elementary, Middle, and High School Students in the U.S. *Journal of Eye Movement Research*, 10(4), 5.

- Strandberg, A., Nilsson, M., Östberg, P. & Seimyr, G. Ö. (2023) Eye movements are stable predictors of word reading ability in young readers. *Frontiers in Education*, 8, 1077882.
- Strandberg, A., Nilsson, M., Östberg, P., & Öqvist Seimyr, G. (2022). Eye Movements during Reading and their Relationship to Reading Assessment Outcomes in Swedish Elementary School Children. *Journal of Eye movement Research*, 15(4), 3.
- Subramanian, V., Jost, R. M., & Birch, E. E. (2013). A quantitative study of fixation stability in amblyopia. *Investigative ophthalmology & visual science*, 54(3), 1998–2003.
- Thaler, L., Schütz, A. C., Goodale, M. A., & Gegenfurtner, K. R. (2013). What is the best fixation target? The effect of target shape on stability of fixational eye movements. *Vision research*, 76, 31–42.
- Ukwade, M. T., & Bedell, H. E. (1993). Stability of oculomotor fixation as a function of target contrast and blur. *Optometry and vision science*, 70(2), 123–126.
- van der Lans, R., Wedel, M., & Pieters, R. (2011). Defining eye-fixation sequences across individuals and tasks: the Binocular-Individual Threshold (BIT) algorithm. *Behavior research methods*, 43(1), 239–257.
- Veneri, G., Piu, P., Rosini, F., Federighi, P., Federico, A., & Rufa, A. (2011). Automatic eye fixations identification based on analysis of variance and covariance. *Pattern Recognition Letters*, 32, 1588–1593.
- Vikesdal, G. H., & Langaas, T. (2016). Saccade latency and fixation stability: Repeatability and reliability. *Journal Of Eye Movement Research*, 9(2), 3.
- Vinuela-Navarro, V., Erichsen, J. T., Williams, C., & Woodhouse, J. M. (2017). Saccades and fixations in children with delayed reading skills. *Ophthalmic & physiological optics : the journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)*, 37(4), 531–541.
- Wainman, B., Pukas, G., Wolak, L., Mohanraj, S., Lamb, J. & Norman, G. R. (2020). The Critical Role of Stereopsis in Virtual and Mixed Reality Learning Environments. *Anatomical sciences education*, 13(3), 401–412.
- Walraven J. (1975). Amblyopia screening with random-dot stereograms. *American journal of ophthalmology*, 80(5), 893–900.
- Wertli, J., Schöttau, A., & Palmowski-Wolfe, A. (2023). The Influence of Age on Eye Movements during Reading in Early Elementary School Children. Untersuchung der Augenbewegungen bei Kindern im frühen Grundschulalter während des Lesens. *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*, 240(4), 591–598.
- Williams, S., Simpson, A. & Silva, P. A. (1988) Stereoacuity levels and vision problems in children from 7 to 11 years. *Ophthalmic & physiological optics: the journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)*, 8(4), 386–389.
- Zagermann, J., Pfeil, U., & Reiterer, H. (2016). Measuring Cognitive Load using Eye Tracking Technology in Visual Computing. *Proceedings of the Sixth Workshop on Beyond Time and Errors on Novel Evaluation Methods for Visualization*, 78–85.
- Zimmermann, A., Carvalho, K. M. M., Atihe, C., Zimmermann, S. M. V., & Ribeiro, V. L. M. (2019). Visual development in children aged 0 to 6 years. *Arquivos brasileiros de oftalmologia*, 82(3), 173–175.