

Амплітуда сакад і тривалість фіксацій у дітей із ретинопатією недоношених у статичному та динамічному тестах

Олександр Артамонов, аспірант; Сергій Кацан, доктор медичних наук

ДУ «Інститут очних хвороб і тканинної терапії ім. В. П. Філатова НАМН України», Одеса (Україна)

Saccade amplitudes and fixation durations measured during static and dynamic fixation tasks in children with retinopathy of prematurity

Oleksandr Artamonov, Serhii Katsan

SI «The Filatov Institute of Eye Diseases and Tissue Therapy of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Odesa (Ukraine)

Резюме

Мета. Порівняти розподіл сакад за амплітудою та фіксацій за тривалістю між п'ятьма клінічними групами дітей без та з ретинопатією недоношених у статичному й динамічному тестах та оцінити вплив виключення записів, пов'язаних із морганням.

Матеріал та методи. Проаналізовано записи рухів очей дітей 6–13 років п'яти груп: доношених з еметропією, доношених з міопією, передчасно народжених без ретинопатії недоношених (РН), дітей після лазерної коагуляції з приводу РН та дітей після самовільного регресу РН. Записи отримано за допомогою EyeLink® 1000 Plus із частотою 2000 Гц. Дані для аналізу сакад були доступні у 119 дітей у статичному тесті та у 123 – у динамічному; для фіксацій – у 113 та 118 дітей. Сакади поділяли за амплітудою, фікса-

ції – за тривалістю. Групи порівнювали з урахуванням кількох вимірювань в одній дитині. Аналіз повторили після виключення записів, пов'язаних із морганням.

Результати. У статичному тесті виявлено міжгрупові відмінності частки сакад амплітудою 5–10° ($p=0,0028$) та $\geq 5^\circ$ ($p=0,0126$). Для класу 5–10° після поправки Холма доношені діти з еметропією (18,9 %) відрізнялися від дітей після самовільного регресу РН (6,8 %; $p=0,0032$) та від доношених дітей з міопією (7,7 %; $p=0,014$). Для класу $\geq 5^\circ$ частки становили 32,8 % у доношених дітей з еметропією, 19,9 % після лазерної коагуляції та 18,8 % після самовільного регресу РН; після поправки Холма жодна пара груп статистично значущо не відрізнялася. Відмінностей частки сакад $< 1^\circ$ не виявлено ($p=0,133$). Після виключення записів, пов'язаних із морганням, загальні відмінності для класів 5–10° і $\geq 5^\circ$ зберігалися ($p=0,0033$ і $p=0,030$). У динамічному тесті відмінностей для сакад $\geq 5^\circ$ ($p=0,701$) та класів тривалості фіксацій ($p=0,060$ – $0,920$) не виявлено.

Висновки. У статичному тесті міжгрупові відмінності виявлено для сакад більшої амплітуди: частка сакад 5–10° у доношених дітей з еметропією була вищою, ніж у дітей після самовільного регресу РН та в доношених дітей з міопією. Для сакад $\geq 5^\circ$ загальна відмінність між групами не підтверджувалася в жодній парі після поправки на множинні порівняння. Результати потребують перевірки з урахуванням віку та не встановлюють причини цих особливостей.

Ключові слова: ретинопатія недоношених, сітківка, айтрекер-технологія, рухи очей, сакади, діти, лазерна коагуляція, міопія.

DOI: <https://doi.org/10.31288/Ukr.j.ophtalmol.202653845>

UDC: 617.7-053.2:159.931

Corresponding Author: Oleksandr O. Artamonov, SI "The Filatov Institute of Eye Diseases and Tissue Therapy of the NAMS of Ukraine", 49/51 Frantsuzkyi Bulvar, Odesa, 65015, Ukraine. Email: artamonov.eyedoc@gmail.com

Received 2026-08-17

Accepted 2026-10-08

Cite this article as: Artamonov OO, Katsan SV. Saccade amplitudes and fixation durations measured during static and dynamic fixation tasks in children with retinopathy of prematurity. Ukr. j. ophthalmol. 2026;5:38-45.



This is an open access article under the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) license

© The Authors, 2026

Abstract

Purpose. *TPurpose:* To compare the distributions of saccade amplitude and fixation duration measured during static and dynamic fixation tasks across five clinical groups of children with and without retinopathy of prematurity (ROP) and to assess the effect of excluding blink-related records.

Methods. We analyzed eye movements in five groups of children aged 6–13 years (full-term emmetropic children, full-term myopic children, preterm children without ROP, children after laser photocoagulation for ROP and children after spontaneous regression of ROP). Eye movement records were made using an EyeLink 1000 Plus® at 2000 Hz. Saccade data were available for 119/123 children and fixation data for 113/118 in the static/dynamic fixation tasks. Comparisons accounted for repeated measures in children and were repeated after excluding blink-related records.

Results. In the static fixation task, there were between-group differences in the proportions of saccades with an amplitude of 5–10° ($p=0.0028$) and $\geq 5^\circ$ ($p=0.0126$). The proportion of 5–10° saccades after Holm correction was higher in full-term emmetropic children (18.9%) than in children after spontaneous regression of ROP (6.8%; $p=0.0032$) and in full-term myopic children (7.7%; $p=0.014$). For saccades

with amplitude of $\geq 5^\circ$, proportions were 32.8% in full-term emmetropic children, 19.9% after laser photocoagulation and 18.8% after spontaneous regression of ROP; no pair-wise comparison remained significant after Holm correction. No difference occurred for $<1^\circ$ ($p=0.133$). After excluding blink-related records, overall differences in the proportions of saccades with an amplitude of 5–10° and $\geq 5^\circ$ persisted ($p=0.0033$ and $p=0.030$). In the dynamic fixation task, no significant differences occurred for the proportions of saccades with an amplitude of $\geq 5^\circ$ ($p=0.701$) or fixation duration categories ($p=0.060$ – 0.920).

Conclusion. In the static fixation task, between-group differences involved larger saccades and the proportion of 5–10° saccades was higher in full-term emmetropic children than in children after spontaneous regression of ROP and in full-term myopic children. For the proportion of saccades $\geq 5^\circ$, the overall between-group difference was not confirmed in any pair after correction for multiple comparisons. The results need to be adjusted for age; these findings do not establish underlying mechanisms.

Keywords: retinopathy of prematurity, retina, eye tracking technology, eye movements, saccades, children, laser photocoagulation, myopia.

Вступ

У дослідженнях, проведених в одеському регіоні, описано зміни частоти ретинопатії недоношених (РН) [1] та зв'язок ризику РН і потреби в лікуванні з гестаційним віком і масою тіла при народженні [2]. У дітей після лазерної коагуляції також вивчали вікові зміни рефракції та довжини ока [3].

У недоношених дітей описано менш стабільну фіксацію та довший час реакції сакад [4, 5]. Дослідження дітей після РН за допомогою мікропериметрії дали різні результати щодо стабільності фіксації [6, 7]. Вони відрізнялися, зокрема, складом груп порівняння.

Навіть під час фіксації нерухокої мішені око виконує дрейф, тремор і дрібні сакади [8]. Дрейф і мікро-сакади впливають на розрізнення дрібних деталей [9]. Амплітуда сакади – це кутова відстань, на яку переміщується погляд. Середнє значення амплітуди не показує, як часто виникають рухи різного розміру: воно може знижуватися через меншу частку великих сакад.

У попередньому дослідженні ми виявили нижчу середню амплітуду сакад у статичному тесті в дітей після лазерної коагуляції з приводу РН, ніж у доношених дітей з еметропією. Статистично значущих відмінностей медіанної амплітуди між п'ятьма групами не виявлено [10]. Це спонукало порівняти частки сакад різної амплітуди.

Статичний тест характеризує утримання погляду на нерухокій мішені, а динамічний – завдання з послідовною зміною її положення. Моргання та втрати сигналу можуть впливати на обидва вимірювання.

Мета роботи – порівняти розподіл сакад за амплітудою та фіксації за тривалістю між п'ятьма клінічними групами дітей без та з ретинопатією недоношених

у статичному й динамічному тестах та оцінити вплив виключення записів, пов'язаних із морганням.

Матеріал та методи

Одноцентрове спостережне дослідження з проспективним збором даних проведено в ДУ «Інститут очних хвороб і тканинної терапії ім. В. П. Філатова НАМН України». Проаналізовано записи рухів очей дітей віком 6–13 років. Кількість учасників, дані яких були придатними для кожного виду аналізу, наведено в результатах і таблицях.

Учасників розподілили на п'ять груп: доношені діти з еметропічною рефракцією без офтальмологічних порушень (ЕМЕТ); доношені діти з міопією легкого або середнього ступеня без супутньої офтальмопатології (МІОП); передчасно народжені діти без РН (НН); діти після лазерної коагуляції аваскулярних зон сітківки з приводу РН (РНЛК); передчасно народжені діти після самовільного регресу РН без лікування (РНРЕГР). Ці позначення використано в таблицях.

Критеріями включення були вік 6–13 років, відповідність критеріям однієї з п'яти клінічних груп, здатність зрозуміти й виконати зорове завдання та наявність письмової інформованої згоди батьків або законних представників. Критеріями виключення були гострі захворювання ока, виражений ністагм або інші стани, що унеможливлювали стабільну реєстрацію погляду, неврологічні чи когнітивні порушення, які перешкоджали виконанню інструкції, неможливість пройти калібрування та недостатня якість айтрекінгового запису.

Дослідження проведено відповідно до Гельсінської декларації. Протокол схвалено Комітетом з біоетики ДУ «Інститут очних хвороб і тканинної терапії ім. В. П. Філатова НАМН України» (№ 1 від 18.10.2023). Батьки або законні представники надали письмову інформовану згоду. Перед аналізом дані учасників було знеособлено.

Рухи очей реєстрували айтрекером EyeLink® 1000 Plus (SR Research Ltd., Канада) з частотою 2000 Гц. Голову дитини стабілізували підборідником і лобовим фіксатором. Перед кожною пробою виконували дев'ятихвилинне калібрування з перевіркою точності. Освітлення, яскравість і контраст мішені, відстань до монітора та його положення були однаковими для всіх учасників.

У статичному тесті учасник протягом 10 секунд утримував погляд на нерухомій круглій мішені в центрі монітора на нейтральному фоні. У динамічному тесті мішень послідовно подавали в центрі, праворуч, ліворуч, угорі та вниз на кутовій відстані 12,5° від центральної позиції, по 5 секунд на позицію.

Фіксації та сакади визначали вбудованим алгоритмом EyeLink. Із програми Data Viewer експортували амплітуду кожної сакади та тривалість кожної фіксації. Амплітуда в експорті була подана з кроком 0,01°. Далі дані опрацьовували на вебплатформі IONDS (<https://ionds.app/>, алгоритм v2), призначеній для автоматизованого аналізу фіксацій і сакад. Платформа розподіляла сакади за амплітудою, а фіксації – за тривалістю, використовуючи наперед установлені межі, однакові для всіх учасників. Для кожної дитини вона розраховувала кількість і частку фіксацій та сакад у відповідних класах.

Сакади поділили на п'ять класів за амплітудою: $<1^\circ$, $1-2^\circ$, $2-5^\circ$, $5-10^\circ$ і $>10^\circ$. У цьому аналізі сакади $<1^\circ$ умовно називали мікросакадами. Виділення фіксацій і сакад та їх кількість залежать від алгоритму й налаштувань [11, 12]. Фіксації поділили на класи за тривалістю: <100 , $100-200$, $200-400$, $400-600$ і >600 мс.

За позначками EyeLink визначали сакади, під час яких реєструвалося моргання, та фіксації, біля яких програма позначала моргання. Спочатку аналізували всі записи, що відповідали критеріям включення. Потім аналіз повторювали після виключення записів із цими позначками. Так перевіряли, наскільки моргання могло вплинути на отримані показники.

Перед аналізом перевіряли відповідність записів переліку учасників і відсутність дублікатів. Залишали лише записи учасників досліджуваної вибірки. Сакади без значення амплітуди виключали. Також порівнювали тривалість доступного запису між групами за часом останньої фіксації; статистично значущих відмінностей не виявлено ($p=0,390$ у статичному та $p=0,899$ у динамічному тесті).

Статистичний аналіз

Для кожної групи обчислювали частку сакад або фіксацій певного класу від загальної кількості відпо-

відних записів у цій групі. Наприклад, частку сакад $\geq 5^\circ$ визначали як їх кількість, поділену на загальну кількість сакад групи. Це частка всіх сакад групи – внесок дитини з більшою кількістю зареєстрованих рухів був вагомим.

Щоб врахувати кілька вимірювань в одній дитині, статистичні процедури виконували на рівні учасника. Для 95% довірчих інтервалів (ДІ) багаторазово формували вибірки з учасників кожної групи з можливістю повторного вибору тієї самої дитини (кластерний бутстреп, 10 000 повторів). Усі її записи включали разом. Для порівняння груп випадково переставляли належність учасників до груп (перестановний тест, 100 000 повторів). Попарні порівняння виконували тим самим методом із 50 000 повторів і поправкою Холма на 10 порівнянь.

Показники до та після виключення записів, пов'язаних із морганням, порівнювали в тих самих дітей за допомогою критерія Вілкоксона для зв'язаних вибірок. Аналіз виконано в Python із використанням pandas, NumPy та SciPy. Усі критерії двосторонні; рівень значущості $p<0,05$. Початкове значення генератора випадкових чисел було фіксованим.

Результати

Проаналізовано 1 504 фіксації та 1 552 сакади статичного тесту й 3 078 фіксацій та 3 190 сакад динамічного (разом 4 582 фіксації та 4 742 сакади). Медіана на дитину – 13 фіксацій і 12 сакад у статичному тесті та 25 фіксацій і 25 сакад у динамічному.

У статичному тесті фіксації були доступні у 113 зі 126 дітей, сакади – у 119. У динамічному тесті фіксації проаналізовано у 118 зі 123 дітей, сакади – у всіх 123. Чисельність кожної групи та кількість записів наведено в табл. 1 і 2.

Медіана індивідуальної частки записів із позначками моргання становила 30,8% для фіксацій і 16,7% для сакад у статичному тесті та 17,2% і 9,4% – у динамічному. Частки від усіх записів групи (порядок: ЕМЕТ, МЮП, НН, РНЛК, РНРЕГР) для статичних фіксацій становили 36,1; 35,7; 34,2; 39,5; 35,8% ($p=0,957$), для сакад – 23,8; 19,5; 20,3; 23,6; 22,2% ($p=0,856$). У динамічному тесті – відповідно 26,5; 17,9; 18,9; 25,7; 17,2% ($p=0,126$) та 15,6; 10,3; 10,9; 13,2; 11,2% ($p=0,322$). Значущих міжгрупових відмінностей не виявлено.

Після виключення позначених записів зв'язок амплітуди сакад із піковою швидкістю [13] посилювався: p зростає із 0,612 до 0,923 у статичному тесті та з 0,766 до 0,929 у динамічному (усі $p<0,001$). Для записів із позначками моргання та без них медіани пікової швидкості становили 760 і 93 град/с у статичному тесті, 699 і 128 град/с у динамічному; тривалості сакад – відповідно 208 і 22 мс, 212 і 26 мс. Швидкість >1000 град/с мали 23,4% і 18,1% позначених записів та 0,1% решти в обох тестах.

Розподіл сакад за амплітудою наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Розподіл сакад за амплітудою. Частка, % [95 % ДІ].**Статичний тест**

Клас, °	ЕМЕТ	МІОП	НН	РНЛК	РНРЕГР	р
n / N	17 / 238	21 / 235	33 / 431	23 / 312	25 / 324	–
< 1	38,7 [30,7;46,8]	55,3 [46,3;64,3]	41,5 [33,7;49,5]	49,7 [41,3;58,8]	45,7 [36,4;54,8]	0,133
1–2	14,7 [10,2;19,8]	14,0 [9,6;18,9]	16,5 [12,8;20,2]	16,7 [12,7;20,4]	21,3 [16,2;26,8]	0,247
2–5	13,9 [8,4;19,3]	11,1 [6,5;15,9]	13,7 [9,2;18,9]	13,8 [9,5;18,4]	14,2 [8,5;20,4]	0,951
5–10	18,9 [13,7;24,4]	7,7 [4,3;10,9]	13,9 [9,7;18,4]	12,8 [8,5;17,6]	6,8 [3,7;9,9]	0,0028
> 10	13,9 [8,1;20,3]	11,9 [6,8;17,7]	14,4 [9,9;18,9]	7,0 [3,5;10,4]	12,0 [7,0;17,1]	0,251
≥ 5 (сума)	32,8 [25,5;40,6]	19,6 [13,2;26,1]	28,3 [22,2;34,0]	19,9 [14,1;25,4]	18,8 [12,5;25,0]	0,0126

Після поправки Холма для 5–10° значущі пари ЕМЕТ–РНРЕГР (p=0,0032) та ЕМЕТ–МІОП (p=0,014); для ≥5° значущих пар немає.

Динамічний тест

Клас, °	ЕМЕТ	МІОП	НН	РНЛК	РНРЕГР	р
n / N	19 / 483	23 / 453	34 / 912	23 / 687	24 / 644	–
< 1	38,3 [31,5;43,4]	36,0 [29,6;42,3]	35,5 [31,3;39,9]	33,6 [24,9;42,2]	34,9 [28,6;41,4]	0,926
1–2	16,1 [13,3;18,8]	19,0 [15,3;22,5]	17,3 [14,6;20,1]	19,8 [16,8;23,0]	20,0 [16,2;23,8]	0,464
2–5	14,3 [11,2;17,7]	12,1 [8,2;16,9]	13,1 [11,0;15,3]	17,2 [13,7;20,8]	14,1 [10,6;17,3]	0,285
5–10	8,1 [4,5;12,2]	5,3 [2,9;8,0]	9,2 [7,1;11,3]	9,6 [5,8;14,0]	8,8 [5,2;12,9]	0,545
> 10	23,2 [20,3;26,1]	27,6 [24,5;30,9]	24,9 [22,2;27,8]	19,8 [16,5;23,6]	22,1 [18,2;26,3]	0,050
≥ 5 (сума)	31,3 [26,5;36,4]	32,9 [30,4;35,7]	34,1 [30,5;37,8]	29,4 [23,8;35,4]	30,9 [24,8;37,6]	0,701

Примітки: n – кількість дітей; N – кількість сакад; ДІ – довірчий інтервал. Частки обчислено від усіх сакад групи до включення записів із позначками моргання; р – загальне порівняння п'яти груп.

ЕМЕТ – доношені діти з еметропією; МІОП – доношені діти з міопією; НН – передчасно народжені діти без РН; РНЛК – діти після лазерної коагуляції з приводу РН; РНРЕГР – діти після самовільного регресу РН без лікування; РН – ретинопатія недоношених.

У статичному тесті частка сакад <1° становила від 38,7% у групі ЕМЕТ до 55,3% у МІОП; значущих міжгрупових відмінностей не виявлено (p=0,133). Для класів 1–2°, 2–5° і >10° відповідні р становили 0,247, 0,951 і 0,251.

Для сакад 5–10° загальне p=0,0028. Їх частка становила 18,9% у групі ЕМЕТ, 12,8% у РНЛК і 6,8% у РНРЕГР; 95% ДІ наведено в табл. 1. Різниця ЕМЕТ–РНРЕГР дорівнювала 12,1 відсоткового пункту (p=0,0003; після поправки Холма – 0,0032), ЕМЕТ–МІОП – 11,3 відсоткового пункту (p=0,0016; після

поправки – 0,014). Для ЕМЕТ–РНЛК скориговане p=0,100.

Додатково об'єднали сакади амплітудою ≥5° (табл. 1). Їх частки становили 32,8% у групі ЕМЕТ, 28,3% у НН, 19,9% у РНЛК, 19,6% у МІОП та 18,8% у РНРЕГР (загальне p=0,0126). Різниця ЕМЕТ–РНРЕГР становила 14,0 відсоткового пункту (p=0,0091), ЕМЕТ–РНЛК – 12,9 (p=0,0107). Після поправки Холма на 10 порівнянь жодна пара не досягла рівня p<0,05.

У динамічному тесті для класу ≥5° p=0,701, для окремих класів – 0,050–0,926. Найнижче р отримано

Таблиця 2. Розподіл фіксацій за тривалістю. Частка, % [95 % ДІ].**Статичний тест**

Клас, мс	ЕМЕТ	МІОП	НН	РНЛК	РНРЕГР	p
n / N	15 / 205	20 / 252	34 / 468	22 / 314	22 / 265	–
< 100	5,8 [2,1;10,8]	14,3 [5,1;26,7]	3,2 [1,8;4,7]	8,6 [4,5;13,0]	6,0 [2,9;9,2]	0,050
100–200	16,6 [10,8;21,9]	15,5 [8,9;22,0]	20,1 [16,9;22,9]	17,2 [13,5;20,7]	18,9 [14,2;23,4]	0,597
200–400	32,2 [22,0;41,8]	26,6 [18,8;34,4]	31,0 [25,9;35,9]	24,2 [16,9;30,9]	23,8 [18,6;28,7]	0,334
400–600	9,3 [5,0;13,8]	11,5 [7,5;16,3]	13,7 [9,7;17,7]	13,7 [8,3;19,6]	10,9 [7,2;14,7]	0,695
> 600	36,1 [31,2;42,5]	32,1 [26,2;39,3]	32,0 [26,3;38,7]	36,3 [29,5;44,5]	40,4 [34,3;47,8]	0,443

Динамічний тест

Клас, мс	ЕМЕТ	МІОП	НН	РНЛК	РНРЕГР	p
n / N	18 / 476	23 / 476	33 / 921	23 / 670	21 / 535	–
< 100	10,7 [6,7;14,7]	7,8 [4,7;11,4]	9,0 [6,4;12,1]	9,2 [6,6;12,6]	8,4 [4,8;12,7]	0,883
100–200	23,7 [20,0;27,4]	21,9 [18,1;25,5]	22,7 [19,8;25,3]	24,2 [20,7;27,8]	23,2 [19,1;26,7]	0,920
200–400	23,7 [19,3;28,5]	22,1 [16,7;27,9]	25,3 [22,7;27,8]	24,8 [21,1;28,3]	19,8 [16,5;22,9]	0,271
400–600	9,7 [7,0;12,4]	9,9 [7,0;13,0]	11,3 [8,8;13,8]	13,0 [10,7;15,3]	12,2 [9,1;15,1]	0,461
> 600	32,1 [27,8;37,6]	38,5 [33,8;43,4]	31,7 [28,0;35,6]	28,8 [24,4;33,8]	36,5 [31,6;42,5]	0,060

Примітки: n – кількість дітей; N – кількість фіксацій; ДІ – довірчий інтервал. Частки обчислено від усіх фіксацій групи до виключення записів із позначками моргання; p – загальне порівняння п'яти груп.

ЕМЕТ – доношені діти з еметропією; МІОП – доношені діти з міопією; НН – передчасно народжені діти без РН; РНЛК – діти після лазерної коагуляції з приводу РН; РНРЕГР – діти після самовільного регресу РН без лікування; РН – ретинопатія недоношених.

для сакад $>10^\circ$: їх частка становила 27,6% у МІОП та 19,8% у РНЛК (попарне $p=0,0052$; після поправки Холма – 0,052). Діапазон часток сакад $<1^\circ$ у групах становив 34–38% проти 39–55% у статичному тесті, а сакад $>10^\circ$ – 20–28% проти 7–14%. Це описове зіставлення різних завдань.

Для тривалості фіксацій статичного тесту (табл. 2) міжгрупові p становили 0,050–0,695; найнижче – для класу <100 мс.

У динамічному тесті значущих відмінностей за класами тривалості фіксацій не виявлено ($p=0,060$ –0,920). Частка фіксацій >600 мс становила 38,5% у МІОП (95% ДІ 33,8–43,4) та 28,8–36,5% в інших групах. Загальне $p=0,060$; різниця МІОП–РНЛК становила 9,6 відсоткового пункту ($p=0,011$ без поправки). Це додаткове порівняння, яке без поправки на множинність не підтверджує міжгрупової відмінності.

На рис. 1 наведено медіани індивідуальних відносних змін після виключення позначених записів. Пікова

швидкість сакад зменшувалася на 40,9% у статичному та на 16,9% у динамічному тесті, частота фіксацій – на 30,8% і 17,2%, частота сакад – на 16,7% і 9,4% (усі $p<0,001$). Медіана змін середньої амплітуди сакад становила 0,0% в обох тестах ($p=0,89$ і $p=0,25$). Для середньої тривалості фіксацій вона становила 0,0% у статичному тесті ($p=0,86$) та +2,5% у динамічному ($p<0,001$).

Після виключення записів із позначками моргання частки сакад $\geq 5^\circ$ у статичному тесті становили 32,4; 20,0; 29,8; 18,8; 19,8% у порядку ЕМЕТ, МІОП, НН, РНЛК, РНРЕГР ($p=0,030$). Для сакад 5 – 10° відповідні частки дорівнювали 19,8; 6,8; 15,5; 12,1; 7,5% ($p=0,0033$). Найвищі частки зберігалися в ЕМЕТ, проте повний порядок груп змінився. Для сакад $<1^\circ$ значущих відмінностей не виявлено ($p=0,104$).

За почергового вилучення дітей загальне p залишалося $<0,05$ у 100% перевірок: 0,001–0,006 для сакад 5 – 10° та 0,005–0,031 для сакад $\geq 5^\circ$.

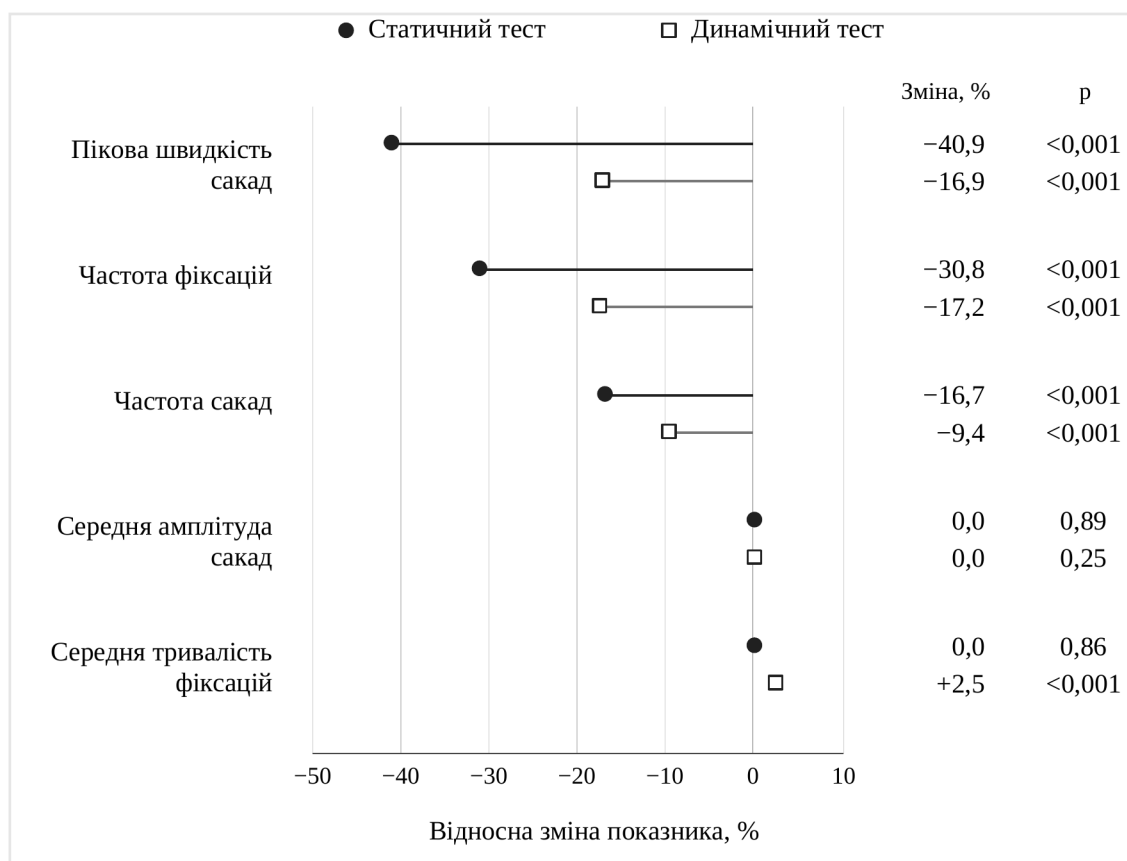


Рис. 1. Зміна показників після виключення записів, пов'язаних із морганнієм, у статичному та динамічному тестах. Наведено медіани індивідуальних відносних змін, обчислених як $100 \times (\text{значення після виключення} - \text{значення до виключення}) / \text{значення до виключення}$. Від'ємні значення відповідають зменшенню показника. Кола – статичний тест, квадрати – динамічний тест. Праворуч указано величину зміни та p за критерієм Вілкоксона для зв'язаних вибірок.

На повній вибірці ($n=119$) p становило 0,0028 для сакад $5-10^\circ$ та 0,0126 для $\geq 5^\circ$. За порога щонайменше 10 сакад ($n=83$) – 0,003 і 0,028, за порогу 15 сакад ($n=40$) – 0,147 і 0,272. Втрата значущості може бути пов'язана зі зменшенням вибірки або зміною її складу. Для $\geq 5^\circ$ розрахунок χ^2 без урахування повторних вимірювань дав $p=0,00006$; це лише порівняння з основним аналізом на рівні учасника ($p=0,0126$).

Обговорення

У статичному тесті міжгрупові відмінності виявлено для сакад більшої амплітуди. Частки сакад $<1^\circ$, $1-2^\circ$ та $2-5^\circ$ статистично значущо не відрізнялися. Це уточнює опис розподілу рухів, однак не доводить однаковості функції фіксації в усіх групах.

Для класу $5-10^\circ$ після поправки на множинні порівняння значущими були відмінності ЕМЕТ від РНРЕГР і МІОП. Тому цей результат не можна вважати специфічним для дітей із РН. Об'єднаний клас $\geq 5^\circ$ проаналізовано додатково: загальна міжгрупова відмінність зберігалася, проте жодна окрема пара після поправки Холма не досягла рівня значущості. Обидва результати слід розглядати з урахуванням цих обмежень, а не як доказ окремого наслідку лазерного лікування.

За даними мікропериметрії, результати досліджень дітей після РН різняться. Ozen Tunay та Idil не виявили відмінностей стабільності фіксації між недоношеними дітьми без РН, після її регресу та після лазерного лікування [6]. Unlu та співавт. виявили міжгрупові відмінності стабільності фіксації та частішу ексцентричну фіксацію після лазерного лікування; їхнє порівняння включало доношених дітей [7]. Ці показники безпосередньо характеризують фіксацію, тоді як наш аналіз описує частки сакад різної амплітуди.

У дослідженні Romero-Sanz та співавт. у недоношених дітей фіксація була менш стабільною, а час реакції сакад – довшим, ніж у доношених [4]. Подібні відмінності описано в багатоцентровому дослідженні Vilella та співавт. [5]. Проте ці роботи стосуються недоношеності загалом і не пояснюють причину меншої частки великих сакад у наших групах.

Сакади різної амплітуди беруть участь у зміні положення погляду [8, 9]. Менша частка великих сакад під час статичного тесту може мати різні пояснення. Зокрема, дитина могла рідше потребувати повернення погляду до мішені або інакше виконувати такі рухи. У цій роботі не вимірювали повільний дрейф і не визначали, чи кожна сакада наближала погляд до мішені.

Тому за самим розподілом амплітуд неможливо встановити причину відмінностей або назвати їх порушенням коригувальних рухів.

У динамічному тесті для об'єданого класу $\geq 5^\circ$ міжгрупових відмінностей не виявлено. Проте цей результат не доводить повного збереження механізмів виконання сакад. Статичне й динамічне завдання відрізняються умовами реєстрації, а їхні результати в цій роботі аналізували окремо. Для висновку, що виявлена особливість притаманна лише статичному тесту, потрібне безпосереднє статистичне порівняння двох завдань з урахуванням повторних вимірювань у тих самих дітей.

Стабільність фіксації та час реакції сакад змінюються з віком [14]. Вік у нашому аналізі не враховували, тому його внесок у міжгрупові відмінності залишається невідомим. Крім того, у частці всіх рухів групи більшу вагу мають діти з більшою кількістю сакад. Висновки слід перевірити з урахуванням віку та за індивідуальними частками.

Виключення записів, пов'язаних із морганніям, по-різному впливало на показники. Пікова швидкість і частота рухів зменшувалися, тоді як медіана змін середньої амплітуди сакад становила 0,0%. Після такого виключення загальні міжгрупові відмінності для великих сакад у статичному тесті зберігалися. Водночас повний порядок груп дещо змінювався.

Посилення зв'язку амплітуди зі швидкістю також узгоджується з впливом записів біля моргання на вимірювання. Ці перевірки зменшують імовірність того, що результат пояснюється лише такими записами. Однак вони не виключають інших похибок реєстрації та не підтверджують безпомилковості кожної сакади, яка залишилася в аналізі.

У публікаціях із клінічного айтрекінгу слід зазначати, які записи використано для обчислення кожного показника та які з них виключено [15]. Це особливо важливо для зіставлення пікової швидкості й частоти рухів між дослідженнями, оскільки ці показники в нашому аналізі істотно змінювалися після виключення записів, пов'язаних із морганніям.

Обмеження дослідження та перспективи

Дослідження проведено в одному центрі. Придатні записи були доступні не для всіх учасників, а чисельності вибірок для аналізу фіксацій і сакад відрізнялися.

Вік у статистичному аналізі не враховували. Тому частина міжгрупових відмінностей може бути пов'язана з віковим складом вибірки. Порівняння груп після лазерної коагуляції та після самовільного регресу також не дозволяє відокремити вплив лікування від особливостей перебігу РН.

Перспективною є перевірка отриманих даних з урахуванням віку, за індивідуальними частками сакад і в безпосередньому порівнянні статичного та динамічного завдань.

Таким чином, у статичному тесті групи відрізнялися лише за часткою сакад більшої амплітуди: сакади $5\text{--}10^\circ$ частіше реєстрували в доношених дітей з еметропією (18,9%), ніж у дітей після самовільного регресу РН (6,8%) та доношених дітей з міопією (7,7%). Для сакад $\geq 5^\circ$ загальна міжгрупова відмінність була значущою ($p=0,0126$), проте жодна пара груп після поправок на можливий порівняння не відрізнялася. Часток сакад $<1^\circ$, тривалості фіксацій і показників динамічного тесту ці відмінності не стосувалися. Після виключення записів, пов'язаних із морганніям, загальні відмінності для сакад $5\text{--}10^\circ$ і $\geq 5^\circ$ зберігалися, тоді як пікова швидкість і частота рухів істотно зменшувалися. Зв'язок виявлених особливостей із РН, її лікуванням, рефракцією та віком потребує окремої перевірки.

Авторський внесок

Артамонов О. О. – концепція та дизайн дослідження, збір і обробка даних, статистичний аналіз, написання тексту. Кацан С. В. – концепція дослідження, наукове редагування, критичний перегляд і остаточне затвердження рукопису. Всі автори узгодили результати і схвалили остаточний варіант рукопису.

Джерела підтримки

Дослідження виконано в межах планової науково-дослідної роботи ДУ «Інститут очних хвороб і тканинної терапії ім. В. П. Філатова НАМН України» «Дослідити стан зорових функцій у недоношених дітей та дітей після лазерної коагуляції при ретинопатії новонароджених з використанням сучасних технологій (Eye-tracker): особливості клінічного перебігу, патогенетичні механізми та підходи до корекції» (номер державної реєстрації 0125U002076, 2026–2028 рр.); окремого зовнішнього фінансування не залучалося.

Відмови від відповідальності

Висловлені у поданій статті думки є власними думками авторів, а не офіційною позицією установи.

Зв'язок з іншими публікаціями

Ми продовжуємо дослідження рухів очей у дітей із РН. Опубліковані результати статичного тесту наведено в [10]. У цій роботі ми аналізуємо розподіл сакад за амплітудою та фіксацій за тривалістю, а також вплив записів, пов'язаних із морганніям.

Конфлікт інтересів

Автори засвідчують про відсутність конфлікту інтересів, який міг би вплинути на їхню думку стосовно предмету чи матеріалів, описаних та обговорених в даному рукописі.

Заява про дотримання етичних норм

У дослідженні брали участь діти; досліджень на тваринах не проводили. Дослідження проведено відповідно до Гельсінської декларації. Протокол схвалено Комітетом з біоетики ДУ «Інститут очних хвороб і тканинної терапії ім. В. П. Філатова НАМН України» (№ 1 від 18.10.2023). Батьки або законні представники надали письмову інформовану згоду. Перед аналізом дані учасників було знеособлено.

Використання штучного інтелекту

Під час підготовки рукопису використано ChatGPT і Codex (OpenAI) для мовного редагування, скорочення тексту, перекладу, а також підготовки рисунків за наведеними результатами.

Заява про доступність даних

Знеособлений набір даних доступний в автора для листування за обґрунтованим запитом.

Скорочення

РН – ретинопатія недоношених; ЕМЕТ – доношені діти з еметропією; МІОП – доношені діти з міопією; НН – передчасно народжені діти без РН; РНЛК – діти після лазерної коагуляції з приводу РН; РНРЕГР – діти після самовільного регресу РН; ДІ – довірчий інтервал; ДУ – державна установа; НАМН – Національна академія медичних наук України.

Література

- Katsan SV, Zaichko ES. Changes in incidence rates of retinopathy of prematurity in Odessa region in the years of 2009 to 2016. *J Ophthalmol (Ukraine)*. 2017;5:21–25. doi.org/10.31288/oftalmolzh201752125.
- Katsan SV, Adakhovska AA. Risk of developing retinopathy of prematurity in infants varying in hematological parameters, gestational age and some treatment-related factors. *Ophthalmol. Journal (Ukraine)*. 2018; 4: 26–31. doi.org/10.31288/oftalmolzh201842631
- Adakhovska A, Boichuk I, Katsan S. Development of the refraction and axial length of the eye in preterm infants with retinopathy of prematurity after retinal laser coagulation depending on the age. *Klinika Oczna / Acta Ophthalmologica Polonica*. 2024;126(3):128–135. doi.org/10.5114/ko.2024.135698.
- Romero-Sanz M, Pérez-Roche T, Vilella Cenis M, Alejandro Escriche A, Esteban-Ibañez E, Ortín Obon M, et al. Oculomotor Control in Preterm Infants: Insights from Eye-Tracking Technology. *J Clin Med*. 2025;14(21):7742. doi.org/10.3390/jcm14217742.
- Vilella M, Gutiérrez D, Solanas D, Cedillo-Ley M, Ortín M, Esteban-Ibañez E, et al. Fixation and saccadic performance throughout childhood in children born preterm: A multicenter eye-tracking study. *Pediatr Res*. 2026 May 21. Online ahead of print. doi.org/10.1038/s41390-026-05081-6.
- Ozen Tunay Z, Idil A. Macular sensitivity assessment and fixation analysis using microperimetry in children with retinopathy of prematurity. *Br J Ophthalmol*. 2022;106(12):1767–1771. doi.org/10.1136/bjophthalmol-2021-319352.
- Unlu BH, Ural Fatihoglu O, Bozkurt Oflaz A, Ozturk T, Yaman A, Berk AT. Functional and microvascular sequelae of type 1 retinopathy of prematurity: insights from OCT-A and microperimetry. *Eye (Lond)*. 2025;39(17):3070–3075. doi.org/10.1038/s41433-025-04036-1.
- Martinez-Conde S, Macknik SL. Unchanging visions: the effects and limitations of ocular stillness. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*. 2017;372(1718):20160204. doi.org/10.1098/rstb.2016.0204.
- Intoy J, Rucci M. Finely tuned eye movements enhance visual acuity. *Nat Commun*. 2020;11:795. doi.org/10.1038/s41467-020-14616-2.
- Artamonov OO, Katsan SV. Eye tracking-based analysis of eye micromovements during a static fixation task in 6- to 13-year-old children who have undergone laser photocoagulation for retinopathy of prematurity. *Ukrainian Journal of Ophthalmology*. 2026;(3):81–90. doi.org/10.31288/Ukrj.ophtalmol.202638190.
- Hessels RS, Niehorster DC, Nyström M, Andersson R, Hooge ITC. Is the eye-movement field confused about fixations and saccades? A survey among 124 researchers. *R Soc Open Sci*. 2018;5(8):180502. doi.org/10.1098/rsos.180502.
- Andersson R, Larsson L, Holmqvist K, Stridh M, Nyström M. One algorithm to rule them all? An evaluation and discussion of ten eye movement event-detection algorithms. *Behav Res Methods*. 2017;49(2):616–637. doi.org/10.3758/s13428-016-0738-9.
- Gibaldi A, Sabatini SP. The saccade main sequence revised: A fast and repeatable tool for oculomotor analysis. *Behav Res Methods*. 2021;53(1):167–187. doi.org/10.3758/s13428-020-01388-2.
- Pueyo V, Yam JCS, Perez-Roche T, Balasanyan V, Ortín M, Garcia G, et al. Development of oculomotor control throughout childhood: A multicenter and multiethnic study. *J Vis*. 2022;22(13):4. doi.org/10.1167/jov.22.13.4.
- Dunn MJ, Alexander RG, Amiebenomo OM, Arblaster G, Atan D, Erichsen JT, et al. Minimal reporting guideline for research involving eye tracking (2023 edition). *Behav Res Methods*. 2024;56(5):4351–4357. doi.org/10.3758/s13428-023-02187-1.