

ЛАТЕНТНЫЙ ПЕРИОД ЗРИТЕЛЬНО-ВЫЗВАННЫХ САККАД У ДЕТЕЙ 2–9 ЛЕТ

Е.А. Буденкова* ORCID: [0000-0003-4854-5459](https://orcid.org/0000-0003-4854-5459)

Д.А. Швайко* ORCID: [0000-0001-7622-5853](https://orcid.org/0000-0001-7622-5853)

*Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта
(г. Калининград)

Большая часть исследований глазодвигательной активности у детей связана с изучением отклонений в развитии. Работ, относящихся к изучению глазодвигательной активности у детей в норме, значительно меньше. Целью данной работы является характеристика по годам латентного периода горизонтальных и вертикальных зрительно-вызванных саккад у детей с нормальным развитием с учетом разделения саккад на центрифугальные и центрипетальные. В исследовании приняли участие 418 детей в возрасте от 2 до 9 лет. Выбор данного возрастного диапазона обусловлен тем, что в этот период постнатального развития процессы нейрональной дифференциации протекают наиболее интенсивно. Регистрация саккад проводилась с помощью айтрекера RED250mobile. Целевая амплитуда саккад составляла $4,5^\circ$, стимул перемещался согласно временным схемам Step и Gap. Обнаружена корреляция между параметрами центрипетальных саккад и возрастом детей. Параметры центрифугальных саккад остаются стабильными на рассматриваемом возрастном промежутке. Значения латентного периода и гар-эффекта горизонтальных и вертикальных саккад не имеют статистически значимых различий, что свидетельствует о параллельном развитии в данном возрастном промежутке структур, опосредующих вертикальные и горизонтальные саккады. Выявлена асимметрия вертикальных саккад (только центрифугальных) в группах 7–9 лет и горизонтальных саккад в группе 6 лет. Такая «точечная» асимметрия может быть следствием гетерохронного созревания различных зон коры головного мозга. Результаты проведенного исследования могут оказаться полезными при изучении возрастной динамики саккад и создании базы данных с контрольными значениями параметров саккад.

Ключевые слова: латентный период саккад, гар-эффект саккад, окуломоторная активность у детей, айтрекинг, видеоокулография, центрифугальные саккады, центрипетальные саккады.

Существует большое количество исследований саккад у детей с нейропатологиями, например расстройством аутистического спектра или тревожным расстройством [1, 2]. Гораздо

меньше работ посвящено характеристике саккад у детей с нормальным развитием. Возраст обследуемых, как правило, от 7–8 лет и старше. В случае участия в исследовании детей более

Ответственный за переписку: Буденкова Екатерина Александровна, адрес: 236040, г. Калининград, ул. Университетская, д. 2; e-mail: KBudenkova@gmail.com

Для цитирования: Буденкова Е.А., Швайко Д.А. Латентный период зрительно-вызванных саккад у детей 2–9 лет // Журн. мед.-биол. исследований. 2020. Т. 8, № 3. С. 217–225. DOI: 10.37482/2687-1491-Z012

раннего возраста либо размер выборки был невелик, либо характеристика саккад этих участников рассматривалась не отдельно, а в составе группы широкого возрастного диапазона. Для подобных выборок отмечена высокая внутригрупповая изменчивость параметров саккад [3]. Не ясно, является ли это истинным отражением онтогенетического развития саккадической системы (гетерохронности созревания головного мозга) или следствием неадекватного подбора возрастного диапазона исследуемой выборки. Стоит отметить, что работ, посвященных изучению центрипетальных саккад (ЦПС) у детей, т. е. направленных к центру (или возвратных), не обнаружено. Имеются сведения о латентном периоде (ЛП) саккад у детей разных возрастов: 1–3 лет [4], от 2–3 до 9–11 лет [5, 6], от 4–5 до 9–12 лет [7], от 6–7 до 8–9 лет [8, 9], 8–19 лет [9]. Из указанных работ характеристика ЛП саккад по годам проводится у E.L. Irving et al. и J. Fukushima et al. [5, 7]. Все эти исследования различаются по объему выборки ($n = 6...99$), методу регистрации движений глаз (электроокулография, видеоокулография), стимульному материалу (форма стимульного объекта, характер его движения и др.), регистрируемыми движениями глаз (горизонтальные/вертикальные) и получаемым результатам.

Считается, что саккады взрослого человека быстрее и точнее, чем у детей. У взрослых горизонтальные саккады генерируются с относительно меньшим ЛП по сравнению с вертикальными, такая асимметрия формируется по мере взросления [2]. Регуляция горизонтальных саккад отличается от регуляции вертикальных саккад числом участвующих в движении экстраокулярных мышц, локацией нейрональных центров генерации саккад, а также локацией центров интеграции активности саккадических нейронов [2]. Однако однозначного мнения о наличии различия ЛП и возраста, когда оно формируется, нет.

Саккадическая система имеет представительство в разных отделах головного мозга, развитие которых гетерохронно завершается в

постнатальном периоде [10]. Полное созревание структур (особенно корковых), опосредующих саккады, завершается к 12–20 годам, и, соответственно, активное протекание процессов нейрональной специализации происходит до 9–10 лет [11]. Так, подкорковые структуры созревают преимущественно к 4–6 годам [2]. Сроки дифференциации и формирования корковых областей отличаются. Например, возраст 5–8 лет является переломным в процессе созревания нейронов лобной коры (происходит увеличение размеров нейронов, уплотнение нейронных группировок, развитие дендритных окончаний) и их функциональных корково-подкорковых связей [12]. К 5 годам укрепляются функциональные связи между лобными и височными отделами коры, а к 6 годам завершается формирование всех слоев большинства корковых полей [13]. С 5–6 до 19 лет созревают функциональные связи между лобной и теменной корой [10].

Несмотря на то, что большинство исследований связано с изучением только горизонтальных саккад, сравнение вертикальных и горизонтальных саккад в детском возрасте можно найти в составе малочисленных работ, посвященных изучению нормальной динамики параметров саккад на протяжении всего онтогенеза [14, 15]. Однако интересующий нас возрастной период в этих работах представлен небольшой выборкой. В данных исследованиях обнаружено снижение ЛП по мере взросления и более высокие значения ЛП для вертикальных саккад по сравнению с горизонтальными (асимметрия ЛП саккад) [2, 11, 16]. Но не все исследования подтверждают эти данные. Кроме того, остается неясным, существует ли асимметрия между вертикальными саккадами, направленными из нижней части поля зрения в верхнюю (восходящие) и направленными из верхней части поля зрения в нижнюю (нисходящие). В одних исследованиях установлено, что ЛП восходящих саккад ниже по сравнению с нисходящими [17], в других – различия не обнаружены [11, 16, 18]. В работе A. Matiz et al. [18] показано сниже-

ние скорости и точности восходящих саккад с возрастом, при этом гипометричные саккады (амплитуда саккады недостаточна для достижения зрительной цели) регистрируются чаще, чем гиперметричные (амплитуда саккад избыточна). В работе W. Becker, R. Jürgens [19] отмечено, что скорость восходящих саккад с возрастом повышается. С другой стороны, в исследовании C. Gaertner et al. [16] возрастные изменения не зафиксированы вообще. Связь ЛП с полом у детей в литературе не установлена [9].

С учетом вышеизложенного нами был выдвинут ряд гипотез: вне зависимости от пола у детей с возрастом сокращается ЛП саккад; разница значений между вертикальными и горизонтальными саккадами увеличивается, а гар-эффект (уменьшение ЛП, обусловленное наличием задержки между предъявлениями зрительных стимулов и сопровождающим ее «сбросом» внимания) становится более выраженным. Выбор данного возрастного диапазона обусловлен тем, что в этот период постнатального развития процессы нейрональной дифференциации протекают наиболее интенсивно. Принимая во внимание гетерохронность развития мозга и высокую чувствительность саккад к воздействиям разного рода факторов, ЛП саккад следует изучать по годам для выявления как можно более точной возрастной динамики.

Таким образом, цель исследования – изучить возрастную динамику ЛП зрительно-вы-

званных саккад у детей 2–9 лет с нормальным развитием. Цель достигается через решение следующих задач: 1) проанализировать ЛП вертикальных и горизонтальных саккад; 2) проанализировать ЛП центрипетальных и центрифугальных саккад; 3) сравнить гар-эффект вертикальных и горизонтальных, центрипетальных и центрифугальных саккад.

Материалы и методы. В исследовании приняли участие 418 человек в возрасте 2–9 лет (табл. 1): 236 учеников вторых классов МАОУ гимназии № 32 (г. Калининград) и МБОУ СОШ «Школа будущего» (Калининградская обл., пос. Большое Исаково) и 182 воспитанника детских садов № 132 и 45 (г. Калининград). Участники исследования не имели отклонений в развитии. Перед началом исследования родители подписали информированное согласие. Исследование одобрено независимым этическим комитетом при Национальном медицинском исследовательском центре психиатрии и неврологии им. В.М. Бехтерева, чья деятельность согласуется с принципами Хельсинкской декларации и регулируется законами Российской Федерации.

Обследуемые располагались на расстоянии 60 ± 5 см от монитора и выполняли задание – отслеживать взглядом перемещения стимульного объекта по экрану. Стимул – черный кружок ($d = 7$ мм) с белой точкой по центру – перемещался на светло-сером фоне экрана. Стимуляция зрительно-вызванных саккад проводилась

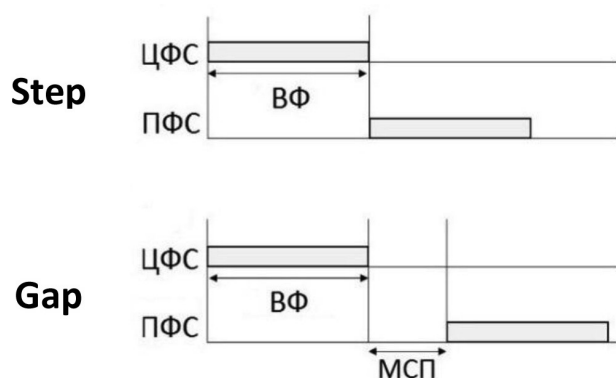
Таблица 1

ПОЛОВОЗРАСТНОЙ СОСТАВ ОБСЛЕДОВАННЫХ ДЕТЕЙ

Параметр	Группа, годы							
	2	3	4	5	6	7	8	9
Средний возраст (Me; SE), годы	2,5; 0,3	3,4; 0,4	4,4; 0,2	5,4; 0,2	6,3; 0,2	7,4; 0,3	8,5; 0,1	9,5; 0,4
Общее количество (число мальчиков)	10 (5)	30 (15)	38 (15)	78 (37)	26 (10)	48 (20)	178 (93)	10 (5)

Примечание: Me – медиана; SE – стандартное отклонение.

согласно временным схемам Step и Gap (см. рисунок). В каждой временной схеме центральный фиксационный стимул (ЦФС) возникал в центре экрана, после его исчезновения появлялся периферический фиксационный стимул (ПФС) в одном из четырех положений (справа, слева, сверху, снизу). В схеме Step каждый новый стимул возникал одновременно с исчезновением предыдущего, а в схеме Gap новый стимул возникал после межстимульной паузы (МСП) в 500 мс. В обеих временных схемах стимул перемещался по пути «центр – периферия – центр» в псевдослучайном порядке.



Временные схемы предъявления стимула Step и Gap: ЦФС – центральный фиксационный стимул; ПФС – периферический фиксационный стимул; МСП – межстимульная пауза (500 мс); ВФ – время предъявления стимула (800–1300 мс)

Для предотвращения эффекта привыкания продолжительность экспозиции ПФС и ЦФС варьировала в диапазоне 800–1300 мс. В рамках каждой схемы стимулировалось 40 саккад амплитудой $4,5^\circ$ (20 ПФС и 20 ЦФС). С целью соблюдения экологической валидности регистрация окуломоторной активности проводилась в более привычной для участников обстановке, т. е. в помещении дошкольной образовательной организации (дети 2–6 лет) и помещении общеобразовательной организации (дети 7–9 лет). Исследование осуществлялось в утреннее время, с 9 до 12 ч.

Движения глаз регистрировались с помощью айтрекера RED250mobile. Данная система соответствует европейским стандартам медицинского оборудования. Частота регистрации – 120 Гц, разрешающая способность – $0,1^\circ$. Исходные данные обрабатывались программой BeGaze 3.0 (SMI, Германия). Калибровка айтрекера проводилась индивидуально. Оцениваемые параметры: ЛП (промежуток времени между появлением зрительного стимула и началом саккады) и гар-эффект (разница значений между ЛП саккад в схемах Step и Gap) для ЦФС и ЦПС.

Статистическая обработка осуществлялась с использованием SPSS 21.0. Оценка распределений на нормальность проведена при помощи критерия Колмогорова–Смирнова (при $p < 0,05$ принимается гипотеза о нормальности распределения). Для проверки связи между полом, возрастом и показателями саккад использовались дисперсионный анализ ANOVA (F – значение критерия, достоверность наличия взаимосвязи – при $p < 0,05$), коэффициент корреляции Спирмена (r – значение критерия, достоверность наличия взаимосвязи – при $p < 0,05$). Для внутригруппового сравнения двух выборок применялся W -критерий Вилкоксона (z – стандартизованное значение критерия, наличие различий – при $p < 0,05$).

Результаты. Дисперсионный анализ не выявил достаточных оснований для предположения наличия взаимосвязи между полом испытуемых и значениями ЛП саккад. В табл. 2 представлены значения ЛП ЦФС и ЦПС, стимулированных согласно схеме Step. ЛП ЦПС в среднем имеет меньшие значения по сравнению с ЦФС, корреляция с возрастом не обнаружена, также отсутствуют статистически значимые различия между ЛП вертикальных и горизонтальных саккад. Дисперсионный анализ показал вероятность наличия взаимосвязи ЛП вертикальных ЦФС с возрастом ($F = 3,6$; $p = 0,047$). Стоит отметить значительный разброс значений ЛП саккад вправо в группе 2 лет. Асимметрия вертикальных саккад обнаружена в группах 7–9 лет: ЛП восходящих саккад выше, чем нисходящих ($z = -4,84$, $p < 0,01$; $z = -6,50$, $p < 0,01$; $z = -2,26$, $p = 0,023$). Асимметрия

Таблица 2

ЛАТЕНТНЫЙ ПЕРИОД САККАД, СТИМУЛИРОВАННЫХ ПО СХЕМЕ STEP,
У ОБСЛЕДОВАННЫХ ДЕТЕЙ (Me; CI), мс

Вид саккад	Группа, годы							
	2	3	4	5	6	7	8	9
Центрифугальные:								
вниз	274; 21	232; 19	223; 26	198; 21	228; 19	310; 16	285; 10	274; 20
вверх	242; 15	212; 20	247; 66	213; 37	232; 31	254; 19	230; 9	227; 19
вправо	375; 131	218; 26	193; 30	197; 39	134; 55	255; 15	248; 9	241; 29
влево	251; 38	198; 20	221; 32	178; 27	201; 20	264; 16	235; 12	234; 14
Центрипетальные:								
вниз	198; 38	205; 23	188; 36	154; 24	174; 19	148; 38	123; 35	94; 110
вверх	295; 83	201; 25	203; 37	164; 23	97; 39	144; 43	85; 44	78; 101
вправо	184; 21	176; 20	156; 19	153; 31	162; 15	137; 41	135; 29	114; 78
влево	342; 119	191; 31	167; 37	193; 52	256; 48	187; 23	168; 23	167; 51

Примечание: Me – медиана; CI – доверительный интервал.

горизонтальных саккад зафиксирована в группе 6 лет: ЛП саккад, направленных влево, ниже, чем направленных вправо ($z = -2,37, p = 0,018$).

Для возвратных саккад обнаружена слабая отрицательная корреляция ЛП с возрастом ($r = -0,3; p < 0,01$). В группах 2 и 9 лет выявлены максимальные показатели разброса значений ЛП.

Статистически значимых различий между значениями ЛП вертикальных и горизонтальных саккад не установлено. У детей 6 лет отмечена асимметрия горизонтальных саккад: ЛП саккад вправо ниже ($z = -3,12; p < 0,01$).

В табл. 3 представлены численные значения гар-эффекта ЦФС и ЦПС. Выявлено, что

Таблица 3

ГАР-ЭФФЕКТ САККАД У ОБСЛЕДОВАННЫХ ДЕТЕЙ (Me; CI), мс

Вид саккад	Группа, годы							
	2	3	4	5	6	7	8	9
Центрифугальные:								
вниз	8; 46	-4; 36	-39; 76	-31; 46	-56; 47	92; 22	65; 16	59; 18
вверх	-95; 126	-50; 65	8; 83	19; 37	-60; 57	22; 21	23; 14	31; 32
вправо	168; 105	28; 27	-23; 55	17; 50	76; 50	66; 19	69; 14	67; 28
влево	1; 51	10; 35	36; 44	15; 39	-32; 50	76; 18	62; 15	61; 38
Центрипетальные:								
вниз	-49; 85	45; 27	35; 32	15; 30	-30; 34	266; 61	249; 60	334; 120
вверх	23; 111	12; 43	-20; 74	-33; 52	-14; 52	379; 75	335; 63	339; 165
вправо	12; 44	39; 18	7; 32	12; 34	-25; 32	395; 75	369; 58	425; 114
влево	132; 98	37; 34	10; 55	53; 45	80; 50	421; 57	343; 46	410; 83

Примечание. Гар-эффект – разница между значениями ЛП саккад, стимулированных с помощью схем Step и Gap.

гар-эффект в среднем выше для ЦПС. Гар-эффект горизонтальных и нисходящих ЦФС с возрастом не меняется, в то время как гар-эффект восходящих саккад имеет положительную корреляцию с возрастом ($r = 0,23$; $p < 0,05$). Различий между гар-эффектом вертикальных и горизонтальных саккад не обнаружено. Отмечена асимметрия вертикальных саккад в группах 7 и 8 лет: для саккад вниз значения гар-эффекта выше, чем для саккад вверх ($z = -4,72$, $p < 0,01$; $z = -4,57$, $p < 0,01$). Асимметрия горизонтальных саккад наблюдается в группе 6 лет: значения гар-эффекта выше для правонаправленных саккад ($z = -2,46$; $p = 0,014$).

Анализ ANOVA показал наличие взаимосвязи между возрастом и гар-эффектом ЦПС, как вертикальных ($F = 22,13$; $p < 0,05$), так и горизонтальных ($F = 18,05$; $p < 0,05$). Гар-эффект ЦПС во всех направлениях статистически значимо увеличивается с 7 лет ($r = 0,48$, $p < 0,01$; $r = 0,53$, $p < 0,01$; $r = 0,64$, $p < 0,01$; $r = 0,62$, $p < 0,01$). Асимметрия наблюдается лишь для горизонтальных саккад в группе 6 лет: гар-эффект левонаправленных саккад выше, чем правонаправленных ($z = -2,88$; $p = 0,04$).

Обсуждение. Полученные результаты отчасти согласуются с выдвинутой гипотезой о снижении ЛП и увеличении гар-эффекта саккад у детей по мере взросления. Принято считать, что ЛП горизонтальных саккад в норме ниже, чем ЛП вертикальных, что обусловлено разными центрами генерации саккад и отличиями в эффективности синаптической передачи в этих центрах [2]. С эволюционной точки зрения, это объясняется большей приспособленностью глаз человека к смещению в горизонтальной плоскости. Так как ЦПС выполняются согласно предварительно сформированной двигательной программе, а гар-эффект связан со «сбросом» внимания и подготовкой к восприятию следующего объекта, то наблюдаемые по мере взросления снижение ЛП и увеличение гар-эффекта ЦПС свидетельствуют о созревании систем произвольного двигательного контроля саккад и произвольного внимания. Различия темпов изменения исследуемых па-

раметров ЦПС может говорить об относительно независимом созревании опосредующих их структур. Статистически значимое снижение ЛП и увеличение гар-эффекта в отношении ЦПС, но не ЦФС, вероятно, связано с большей поддержкой ЦПС системой произвольной регуляции движений, созревающей на более ранних этапах онтогенеза.

Обнаруженная гомогенность значений параметров горизонтальных и вертикальных ЦФС у детей, возможно, закономерно связана с относительной функциональной незрелостью зон коры, осуществляющих когнитивный контроль саккад [4]. С другой стороны, отсутствие различий в значениях ЛП саккад может быть обусловлено иными разнообразными факторами эндогенной природы, например утомлением и мотивацией [2]. Все полученные в результате данного эксперимента значения ЛП выше, чем литературные, за исключением исследования R.M. Eenshuistra et al. [8]. Выявленные значения ЛП горизонтальных ЦФС соотносятся с одной частью литературных данных [4, 9, 11], но противоречат другой [5, 8]. Полученные значения ЛП вертикальных ЦФС для детей возраста 6–7 лет отличаются от результатов M.P. Bucci, M. Seassau [11], в то же время исследование M.S. Salman et al. [9] подтверждает выявленный результат для детей 7–9 лет. Как и в работе A. Tiadi et al., в нашем исследовании обнаружена асимметрия вертикальных саккад только в группах 7–9 лет [17]. Данные, полученные в нашем исследовании, противоречат результатам M.P. Bucci, M. Seassau [11], E.L. Irving, L. Lillakas [14], C. Gaertner et al. [16] и A. Matiz et al. [18], где асимметрия в пределах вертикальных саккад не найдена. Более высокие значения ЛП и гар-эффекта нисходящих ЦФС, по сравнению с восходящими ЦФС, могут объясняться особенностями зрительного восприятия в верхней и нижней частях поля зрения у детей [2].

Асимметрия горизонтальных ЦФС в общем массиве данных нами не обнаружена, что соотносится с исследованиями, проведенными на взрослых [2]. Подобная «точечная» асим-

метрия в отдельных возрастных группах, вероятнее всего, обусловлена особенностями гетерохронного созревания различных зон коры головного мозга и проводящих путей. Так, например, к 6 годам завершается формирование подкорковых структур, и на это же время приходится этап активного развития лобной коры. Различия между значениями параметров вертикальных и горизонтальных ЦПС, а также асимметрия в пределах вертикальных и горизонтальных ЦПС нами не обнаружены. Толь-

ко в одной возрастной группе (6 лет) для гар-эффекта горизонтальных ЦПС наблюдается статистически значимая асимметрия значений, которую затруднительно объяснить.

Несмотря на необходимость дальнейшего уточнения и конкретизации, результаты проведенного исследования могут быть полезными при создании базы данных контрольных значений параметров саккад.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Rommelse N.N., Van der Stigchel S., Sergeant J.A. A Review on Eye Movement Studies in Childhood and Adolescent Psychiatry // *Brain Cogn.* 2008. Vol. 68, № 3. P. 391–414.
2. Leigh R.J., Zee D.S. *The Neurology of Eye Movements.* New York: Oxford University Press, 2015. 1109 p.
3. Yakovlev P.L., Lecours A.R. The Myelogenetic Cycles of Regional Maturation of the Brain // *Regional Development of the Brain in Early Life* / ed. by A. Minkowski. Oxford: Blackwell, 1967. P. 3–70.
4. Lemoine-Lardennois C., Alahyane N., Tailhefer C., Collins T., Fagard J., Doré-Mazars K. Saccadic Adaptation in 10–41-Month-Old Children // *Front. Hum. Neurosci.* 2016. № 10. P. 1–13.
5. Irving E.L., Steinbach M.J., Lillakas L., Babu R.J., Hutchings N. Horizontal Saccade Dynamics Across the Human Life Span // *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2006. Vol. 47, № 6. P. 2478–2484.
6. Kovarski K., Siwiaszczyk M., Malvy J., Batty M., Latinus M. Faster Eye Movements in Children with Autism Spectrum Disorder // *Autism Res.* 2019. Vol. 12, № 2. P. 212–224.
7. Fukushima J., Hatta T., Fukushima K. Development of Voluntary Control of Saccadic Eye Movements: I. Age-Related Changes in Normal Children // *Brain Dev.* 2000. Vol. 22, № 3. P. 173–180.
8. Eenshuistra R.M., Ridderinkhof K.R., Weidema M.A., van der Molen M.W. Developmental Changes in Oculomotor Control and Working-Memory Efficiency // *Acta Psychol. (Amst.)*. 2007. Vol. 124, № 1. P. 139–158.
9. Salman M.S., Sharpe J.A., Eizenman M., Lillakas L., Westall C., To T., Dennis M., Steinbach M.J. Saccades in Children // *Vision Res.* 2006. Vol. 46, № 8-9. P. 1432–1439.
10. *Working Memory: The Connected Intelligence* / ed. by T.P. Alloway, R.G. Alloway. New York: Psychology Press, 2013. 321 p.
11. Bucci M.P., Seassau M. Vertical Saccades in Children: A Developmental Study // *Exp. Brain Res.* 2014. Vol. 232, № 3. P. 927–934.
12. Casey B.J., Tottenham N., Liston C., Durston S. Imaging the Developing Brain: What Have We Learned About Cognitive Development? // *Trends Cogn. Sci.* 2005. Vol. 9, № 3. P. 104–110.
13. *Brain Maturation and Cognitive Development: Comparative and Cross-Cultural Perspectives* / ed. by K.R. Gibson, A.C. Petersen. Routledge, 2017. 390 p.
14. Irving E.L., Lillakas L. Difference Between Vertical and Horizontal Saccades Across the Human Lifespan // *Exp. Eye Res.* 2019. Vol. 183. P. 38–45.
15. Hopf S., Liesenfeld M., Schmidtmann I., Ashayer S., Pitz S. Age Dependent Normative Data of Vertical and Horizontal Reflexive Saccades // *PLoS One.* 2018. Vol. 13, № 9. Art. № e0204008.
16. Gaertner C., Wiener-Vacher S., Kapoula Z. Up/Down Anisotropies of Vertical Saccades in Healthy Children Depending on the Mode and the Depth of Execution // *Int. J. Dev. Neurosci.* 2016. Vol. 52. P. 82–92.
17. Tiadi A., Seassau M., Bui-Quoc E., Gerard C.-L., Bucci M.P. Vertical Saccades in Dyslexic Children // *Res. Dev. Disabil.* 2014. Vol. 35, № 11. P. 3175–3181.

18. Matiz A., Crescentini C., Fabbro A., Budai R., Bergamasco M., Fabbro F. Spontaneous Eye Movements During Focused-Attention Mindfulness Meditation // *PLoS One*. 2019. Vol. 14, № 1. Art. № e0210862.

19. Becker W., Jürgens R. Human Oblique Saccades: Quantitative Analysis of the Relation Between Horizontal and Vertical Components // *Vision Res.* 1990. Vol. 30, № 6. P. 893–920.

References

1. Rommelse N.N., Van der Stigchel S., Sergeant J.A. A Review on Eye Movement Studies in Childhood and Adolescent Psychiatry. *Brain Cogn.*, 2008, vol. 68, no. 3, pp. 391–414.

2. Leigh R.J., Zee D.S. *The Neurology of Eye Movements*. New York, 2015. 1109 p.

3. Yakovlev P.L., Lecours A.R. The Myelogenetic Cycles of Regional Maturation of the Brain. Minkowski A. (ed.). *Regional Development of the Brain in Early Life*. Oxford, 1967, pp. 3–70.

4. Lemoine-Lardennois C., Alahyane N., Tailhefer C., Collins T., Fagard J., Doré-Mazars K. Saccadic Adaptation in 10–41-Month-Old Children. *Front. Hum. Neurosci.*, 2016, no. 10, pp. 1–13.

5. Irving E.L., Steinbach M.J., Lillakas L., Babu R.J., Hutchings N. Horizontal Saccade Dynamics Across the Human Life Span. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, 2006, vol. 47, no. 6, pp. 2478–2484.

6. Kovarski K., Siwiaszczyk M., Malvy J., Batty M., Latinus M. Faster Eye Movements in Children with Autism Spectrum Disorder. *Autism Res.*, 2019, vol. 12, no. 2, pp. 212–224.

7. Fukushima J., Hatta T., Fukushima K. Development of Voluntary Control of Saccadic Eye Movements: I. Age-Related Changes in Normal Children. *Brain Dev.*, 2000, vol. 22, no. 3, pp. 173–180.

8. Eenshuistra R.M., Ridderinkhof K.R., Weidema M.A., van der Molen M.W. Developmental Changes in Oculomotor Control and Working-Memory Efficiency. *Acta Psychol. (Amst.)*, 2007, vol. 124, no. 1, pp. 139–158.

9. Salman M.S., Sharpe J.A., Eizenman M., Lillakas L., Westall C., To T., Dennis M., Steinbach M.J. Saccades in Children. *Vision Res.*, 2006, vol. 46, no. 8-9, pp. 1432–1439.

10. Alloway T.P., Alloway R.G. (eds.). *Working Memory: The Connected Intelligence*. New York, 2013. 321 p.

11. Bucci M.P., Seassau M. Vertical Saccades in Children: A Developmental Study. *Exp. Brain Res.*, 2014, vol. 232, no. 3, pp. 927–934.

12. Casey B.J., Tottenham N., Liston C., Durston S. Imaging the Developing Brain: What Have We Learned About Cognitive Development? *Trends Cogn. Sci.*, 2005, vol. 9, no. 3, pp. 104–110.

13. Gibson K.R., Petersen A.C. (eds.). *Brain Maturation and Cognitive Development: Comparative and Cross-Cultural Perspectives*. Routledge, 2017. 390 p.

14. Irving E.L., Lillakas L. Difference Between Vertical and Horizontal Saccades Across the Human Lifespan. *Exp. Eye Res.*, 2019, vol. 183, pp. 38–45.

15. Hopf S., Liesenfeld M., Schmidtman I., Ashayer S., Pitz S. Age Dependent Normative Data of Vertical and Horizontal Reflexive Saccades. *PLoS One*, 2018, vol. 13, no. 9. Art. no. e0204008.

16. Gaertner C., Wiener-Vacher S., Kapoula Z. Up/Down Anisotropies of Vertical Saccades in Healthy Children Depending on the Mode and the Depth of Execution. *Int. J. Dev. Neurosci.*, 2016, vol. 52, pp. 82–92.

17. Tiadi A., Seassau M., Bui-Quoc E., Gerard C.-L., Bucci M.P. Vertical Saccades in Dyslexic Children. *Res. Dev. Disabil.*, 2014, vol. 35, no. 11, pp. 3175–3181.

18. Matiz A., Crescentini C., Fabbro A., Budai R., Bergamasco M., Fabbro F. Spontaneous Eye Movements During Focused-Attention Mindfulness Meditation. *PLoS One*, 2019, vol. 14, no. 1. Art. no. e0210862.

19. Becker W., Jürgens R. Human Oblique Saccades: Quantitative Analysis of the Relation Between Horizontal and Vertical Components. *Vision Res.*, 1990, vol. 30, no. 6, pp. 893–920.

DOI: 10.37482/2687-1491-Z012

*Ekaterina A. Budenkova** ORCID: [0000-0003-4854-5459](https://orcid.org/0000-0003-4854-5459)

*Dar'ya A. Shvayko** ORCID: [0000-0001-7622-5853](https://orcid.org/0000-0001-7622-5853)

*Immanuel Kant Baltic Federal University
(Kaliningrad, Russian Federation)

LATENCY OF VISUALLY GUIDED SACCADES IN CHILDREN AGED 2–9 YEARS

A great number of studies on saccades in children deal with neuropathology, while much less is known about saccades in healthy children. This research aimed to explore the yearly latency and the gap-effect characteristics of horizontal and vertical (both centrifugal and centripetal) visually guided saccades in healthy children. The study involved 418 subjects aged between 2 and 9 years. This age range was chosen due to the fact that during this postnatal period the processes of neuronal differentiation are most intensive. The RED250 mobile eye tracker was used to record saccadic eye movements. The target saccade amplitude was 4.5° in response to dot stimuli in the Step and Gap paradigms. A correlation was found between the child's age and the parameters of centripetal saccades, while no age effect was identified for centrifugal saccades between 2 and 9 years. The parameters of centrifugal saccades remain stable between the age of 2 and 9 years. The vertical and horizontal saccades showed no statistically significant differences in latency and gap-effect. This indicates a parallel development of structures mediating vertical and horizontal saccades between 2 and 9 years. Asymmetry was observed in the groups of 7–9-year-olds (in vertical centrifugal saccades) and in 6-year-olds (horizontal saccades). This asymmetry could be caused by the heterochronic development of different oculomotor areas in the brain. Our results can contribute to the study of age-related saccadic dynamics and help to create a saccadic control database.

Keywords: *saccade latency, saccadic gap effect, oculomotor activity in children, eye tracking, video-oculography, centrifugal saccades, centripetal saccades.*

Поступила 15.11.2019

Принята 09.04.2020

Received 15 November 2019

Accepted 9 April 2020

Corresponding author: Ekaterina Budenkova, *address:* ul. Universitetskaya 2, Kaliningrad, 236040, Russian Federation; *e-mail:* KBudenkova@gmail.com

For citation: Budenkova E.A., Shvayko D.A. Latency of Visually Guided Saccades in Children Aged 2–9 Years. *Journal of Medical and Biological Research*, 2020, vol. 8, no. 3, pp. 217–225. DOI: 10.37482/2687-1491-Z012