

УДК 612.821

ФОРМИРОВАНИЕ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ МЕХАНИЗМОВ ПОНИМАНИЯ ПИСЬМЕННЫХ ТЕКСТОВ: РЕГИСТРАЦИЯ ДВИЖЕНИЙ ВЗОРА ПРИ ЧТЕНИИ У ДЕТЕЙ С ДИСЛЕКСИЕЙ 9–11 И 12–13 ЛЕТ И ЗДОРОВЫХ СВЕРСТНИКОВ

© 2019 г. А. Н. Корнев^{1, *}, С. Р. Оганов¹, Е. И. Гальперина^{1, 2}

¹Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет,
Санкт-Петербург, Россия

²Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова РАН,
Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: k1949@ya.ru

Поступила в редакцию 13.07.2018 г.

После доработки 04.09.2018 г.

Принята к публикации 01.11.2018 г.

Формирование психофизиологических механизмов чтения и понимания письменных текстов у детей является актуальной, но малоизученной проблемой. Особый интерес представляет изучение процессов обработки текста при чтении в реальном времени, онлайн-методами. Это создает широкие возможности для раскрытия природы такой социально значимой аномалии развития, как дислексия. Данное исследование посвящено исследованию окуломоторного поведения у детей 9–11 и 12–14 лет и их сверстников, страдающих дислексией, при чтении текстов. В эксперименте участвовало 58 детей, разделенных на 4 подгруппы по возрасту и клиническому статусу. Во время чтения текста, максимально приближенному к естественному, производилась регистрация движений взгляда с помощью айтрекера. В качестве стимульного материала использовали 2 вида текстов: художественные (повествовательные) и научные. Каждый испытуемый получал 4 текста. Предметом анализа были такие характеристики движений взгляда, как продолжительность и количество фиксаций, амплитуда, продолжительность и количество прогрессивных и регрессивных саккад и скоростные показатели саккад. Статистический *ANOVA* анализ полученных результатов выявил достоверные различия между детьми с дислексией и их здоровыми сверстниками по большинству окуломоторных характеристик. У детей 12–14 лет эти различия были наиболее выражены. Впервые описаны скоростные характеристики, различающие детей с дислексией и здоровых сверстников и возрастные подгруппы здоровых детей. Обсуждается двухуровневая модель церебральных механизмов регуляции движений взгляда, формирующихся при освоении навыков чтения и понимания текстов.

Ключевые слова: чтение, дислексия, окуломоторное поведение, дети.

DOI: 10.1134/S0131164619030081

Как известно, в ходе эволюции у человека сформировались церебральные механизмы, создающие возможность порождения и понимания речи. Некоторые из них обнаруживаются уже у человекообразных обезьян [1]. Формирование этих структур в ходе онтогенеза генетически детерминировано и по мере созревания нейрофизиологических предпосылок ребенок совершенствуется в овладении языком и речью. В отличие от этого письменная речь не имеет, специализированных для данного вида деятельности, генетических детерминированных физиологических предпосылок. Согласно *recycling*-гипотезе, в процессе обучения чтению происходит перенастройка некоторых структур коры головного мозга, специализированных на зрительном восприятии

лиц и изображений (*g. fuziformis*) [2]. С точки зрения функциональной организации процесс распознавания такого дискретного материала как текст существенно отличается от механизмов восприятия, как предметного мира, так и изображений. Структура текста состоит из набора иерархически организованных графических знаков разной степени дискретности (буква, слово, предложение, пробелы, знаки препинания). Освоение грамоты формирует новые функциональные возможности мозговых структур [3].

На протяжении последних пяти десятилетий психофизиологические механизмы чтения изучались посредством онлайн-методов регистрации движений взгляда во время чтения [4, 5]. Одновре-

менно велись исследования механизмов окуломоторного поведения у животных при восприятии элементарных изображений и предметного мира в свободном поведении. Описаны основные окуломоторные паттерны и церебральные механизмы регуляции движений глаз при зрительном восприятии [6, 7]. Сопоставление этих двух корпусов данных показывает, что дополнительно к уже сформированным стратегиям и механизмам зрительного восприятия при освоении чтения формируются новые окуломоторные навыки, связанные со сложными когнитивными процессами познания и когнитивными стратегиями анализа текста, механизмы которых отличаются от тех, которые являются общими для человека и животных. Поэтому есть основания полагать, что функциональные системы мозга, отвечающие за регуляцию движений зрака при чтении, имеют специфические характеристики, требующие специального изучения.

Адекватной моделью для изучения процессов формирования окуломоторных и когнитивных механизмов чтения является анализ их возрастных изменений у здоровых детей и при патологии. В частности, огромный массив новых данных получен при изучении детей с дислексией. Как известно, существует клиническая группа детей, не способных овладеть навыком чтения в той мере, которая позволяет успешно пользоваться письменными текстами для получения необходимой информации. Избирательные нарушения освоения навыков чтения при сохранном интеллекте и достаточном уровне общей обучаемости называют дислексией [8]. За почти столетний период изучения причин и механизмов дислексии было предложено много моделей, среди которых не последнее место занимают и физиологические, в которых трудности усвоения чтения связывают с нарушениями регуляции окуломоторных реакций [9] и связанных с ними процессов зрительного восприятия изображений с высокочастотными характеристиками (гипотеза магноцеллюлярного дефицита) [10].

Исследователями когнитивных механизмов чтения было предложено несколько моделей этого процесса. Большинство из них относятся к элементарным процессам распознавания букв и слов вне контекста [11, 12]. Существенно меньше сведений о механизмах чтения и понимания текстов в ситуациях, приближенных к естественным, когда понимание смысла текста является основной задачей. Самостоятельной проблемой является организация процесса усвоения навыков чтения. Ее исследователями предложено несколько моделей [13–15]. Но все они касаются “технической” стороны чтения: навыков перехода от печатного текста к его устному эквиваленту. Весьма мало данных о том, как формируются навыки смыслового анализа текста. Не имея воз-

можности подробно представить обзор этих исследований, следует остановиться на тех моделях, которые релевантны целям данного исследования и предоставляют большие возможности для междисциплинарного синтеза научных данных о чтении и его усвоении. Согласно модели *W. Kintsch*, процесс понимания включает 3 уровня: поверхностный (слова и фразы), информационный (*textbase*) и то, что можно назвать уровнем индивидуального смысла, моделью ситуации, созданной читающим. Последний нередко еще называют метатекстовым уровнем [16, 17]. Известно, что в зависимости от цели и задачи чтения человек использует разные стратегии обработки текста [18]. Формируются индивидуальные стратегии анализа текста на протяжении длительного времени, начиная с первых шагов в освоении грамоты [19].

Одним из наиболее адекватных онлайн-методов объективации мыслительных операций анализа текста является регистрация движений зрака при чтении. Использование айтрекинга позволяет описать феноменологию движений зрака, характеризующих аналитический процесс понимания и используемые стратегии. Как известно, считывание фрагмента текста происходит во время фиксации, за которой следует перемещение зрака на другой участок текста – саккада. Принято разделять следующие категории саккад: микросаккады (перемещение зрака в пределах слова) и макросаккады (перемещение зрака в пространстве текста); горизонтальные саккады (по строке) и вертикальные саккады (по тексту). Микросаккады связаны с распознаванием слов [20]. Макросаккады отражают поисковую, избирательную тактику анализа текста, как целого, поиска информации, выдвижения гипотез на основе частичной информации, содержащейся в заголовке и части прочитанного текста [21] и собственной базы знаний [22], перепроверке гипотез (регрессивные саккады). В данном исследовании предметом анализа были макросаккады. Описаны следующие категории макродвижений глаз: а) прогрессивные – переход в непрочитанную часть текста; б) регрессивные – возврат к уже прочитанной части предложения (регрессия на уровне предложения); в) возврат к прочитанному ранее фрагменту текста (регрессии на уровне текста); г) бегло сканирующие опережающие перемещения в непрочитанную часть текста с возвратом; и др. [21]. На эти показатели оказывает влияние и функциональная грамотность читателя, зависящая как от уровня компетентности, так и от возраста и читательского опыта читателя [23]. Немногочисленные исследования механизмов чтения с регистрацией движений зрака, проведенные на детях, показали, что дети с дислексией совершают при чтении больше прогрессивных саккад [24–26] и используют при чтении слов –

Таблица 1. Демографические и психологические характеристики испытуемых

№ группы	Типы испытуемых	Количество детей	Средний возраст	Класс	Результаты по тесту Кетелла $M(SD)$
1	Здоровые дети	16	10 лет 3 мес	3–4	116.6 (7.6)
2	Здоровые дети	14	13 лет 1 мес	5–6	106.6 (12.4)
3	Дети с дислексией	7	10 лет 1 мес	3–4	118.5 (3.6)
4	Дети с дислексией	6	12 лет 4 мес	5–6	104.7 (7.1)

Таблица 2. Параметры текстов, использовавшихся в качестве стимулов

Возрастная категория групп	Объем текстов-стимулов			
	научные тексты		повествовательные тексты	
	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2
Младшая	122	109	128	139
Старшая	117	108	177	259

более длительные фиксации. В большинстве работ исследовалось чтение отдельных слов.

Цель исследования – экспериментально-психологический анализ движений взора при чтении текста у здоровых детей 9–11 и 12–13 лет и их сверстников с дислексией.

МЕТОДИКА

Отбор здоровых детей производили методом случайной выборки. Были сформированы 2 экспериментальные группы детей: учащиеся 3 класса (9–11 лет; $N = 27$) и 6 класса (12–13 лет; $N = 21$). Критериями исключения являлись наличие умственной отсталости или нарушений чтения. Дети с дислексией отбирались на основании результатов обследования навыка чтения с помощью Стандартизованной методики исследования чтения (СМИНЧ) [8]. Решение о включении ребенка в эксперимент принимали при результате тестирования ниже 16 перцентиля и нормативной оценке по результатам исследования невербального интеллекта по культурно независимому тесту Кетелла (табл. 1).

В качестве стимульного материала испытуемым предъявлялись на экране монитора 2 научных текста и 2 художественных повествовательных текста (табл. 2). Научные тексты с астрономической тематикой по содержанию были далеки от школьной программы. Это позволило уравнивать детей по уровню осведомленности относительно содержания текста. Уровень сложности текстов подбирали соответственно возрасту детей, т.е. тексты для двух возрастных групп различались. Экспериментальной задачей было прочитать текст на экране и ответить на 5 (в научных текстах) и 7

(в художественных текстах) вопросов. Время чтения не ограничивали.

Исследование проводилось посредством видеорегистрации движений взора испытуемого, осуществляемой стационарной системой бинокулярного трекинга глаз *SMI RED500 (Hmbh)*. Частота работы системы фиксации взора – 500 Гц. Параметры монитора: *Dell P2213*, размер видимой области (по диагонали) – 55.88 см. Испытуемый находился перед монитором на расстоянии 50–55 см. Шрифт – 36, *Times New Roman*. После выполнения процедуры калибровки испытуемым демонстрировали стимульный материал, и проводили видеорегистрацию движений взора.

Из первичных данных исключали саккады с амплитудой $\leq 1^\circ$ (в данном тексте именуемые микросаккадами), т.к. по данным литературы они отражают процесс распознавания (декодирования) только отдельных слов или их частей [20], но не фраз и текста в целом, что являлось основной задачей эксперимента. Также были исключены фиксации длительностью менее 50 мс и больше 600 мс, т.к. согласно данным литературы их продолжительность слишком мала для распознавания букв или их сочетаний [20]. Слишком длительные фиксации являются артефактом, не связанным с когнитивным поведением. Кроме того, из обработки исключались не связанные с чтением саккады, выходящие за рамки текста. Первичную автоматическую обработку основных характеристик движений взора производили программой *BeGaze* установки *SMI RED500*. Статистический анализ полученных данных проводили посредством пакета *SPSS 17* и *MsExcel*.

Таблица 3. Параметры окулomotorного поведения при чтении художественного повествовательного текста здоровыми детьми 10 лет (группа № 1) и детьми с дислексией 10 лет (группа № 3)

Параметры	Группа № 1	Группа № 3	Достоверность различий	
	<i>M (SD)</i>	<i>M (SD)</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Продолжительность фиксаций (мс)	261.8 (57.3)	398.92 (227.8)	10.370	0.002
Фиксаций на 1 слово	2.25 (0.75)	4.71 (2.40)	27.590	0.000
Амплитуда прогр. саккад (град)	2.44 (0.49)	2.34 (0.45)	0.416	0.522
Продолжительность прогрессивных саккад (мс)	38.73 (6.41)	40.66 (4.67)	1.013	0.320
Прогрессивных саккад на 1 слово	1.66 (0.47)	4.02 (1.90)	44.493	0.000
Амплитуда регрессивных саккад (град)	4.7 (0.9)	3.21 (0.57)	32.372	0.000
Продолжительность регрессивных саккад (мс)	45.53 (5.56)	42.78 (3.98)	2.772	0.103
Регрессивных саккад на 1 слово	0.78 (0.27)	3.19 (1.84)	53.459	0.000

Таблица 4. Параметры окулomotorного поведения при чтении художественного повествовательного текста здоровыми детьми 12 лет (группа № 2) и детьми с дислексией 12 лет (группа № 4)

Параметры	Группа № 2	Группа № 4	Достоверность различий	
	<i>M (SD)</i>	<i>M (SD)</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Продолжительность фиксаций (мс)	186.6 (29.3)	324.8 (91.5)	52.813	0.000
Фиксаций на 1 слово	1.96 (0.72)	3.4 (1.14)	22.721	0.000
Амплитуда прогр. саккад (град)	3.12 (0.64)	2.07 (0.35)	28.025	0.000
Продолжительность прогрессивных саккад (мс)	42.24 (6.93)	33.61 (4.51)	15.625	0.000
Прогрессивных саккад на 1 слово	1.64 (0.66)	2.23 (0.63)	6.921	0.012
Амплитуда регрессивных саккад (град)	4.48 (1.0)	3.53 (0.49)	8.929	0.005
Продолжительность регрессивных саккад (мс)	44 (6.07)	38.53 (3.49)	8.450	0.006
Регрессивных саккад на 1 слово	0.92 (0.47)	1.15 (0.43)	2.056	0.160

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Статистический анализ данных, полученных в 4-х группах детей показал, что дети, страдающие дислексией, при чтении текста существенно различаются от здоровых сверстников по большинству окулomotorных показателей (табл. 3, 4).

В младшей возрастной группе у детей с дислексией средняя продолжительность фиксаций, число фиксаций на 1 слово и число саккад на 1 слово (прогрессивных и регрессивных) были достоверно выше, а амплитуда регрессивных саккад – меньше, чем у здоровых детей. В возрастной группе 12 лет дети с дислексией отличались от группы здоровых сверстников почти по всем параметрам окулomotorного поведения. Наши исследования, выполненные на взрослых, показали, что вид (жанр) текста существенно влияет на ряд окулomotorных показателей [23]. Для оценки влияния факторов “вид текста” и “возраст” у детей был проведен многофакторный дисперсионный анализ (*General linear model – GLM*). У здоровых детей оба фактора оказывали значимое влияние на большинство окулomotorных показателей.

Кроме вышеперечисленных параметров, которые традиционно регистрируются при анализе окулomotorного поведения при чтении, нами был предпринят анализ скоростных показателей саккад, которые у детей практически не изучены. Для прогрессивных и регрессивных саккад были вычислены среднегрупповые показатели средней скорости саккад (табл. 5, 6).

Как показал статистический анализ, у здоровых детей скоростные показатели в старшей возрастной группе достоверно выше, чем в младшей. У детей с дислексией в младшей возрастной группе скорость регрессивных саккад была достоверно ниже, чем у здоровых сверстников; в старшей второй возрастной группе от здоровых сверстников достоверно отставала скорость как прогрессивных, так и регрессивных саккад.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты исследования показали, что у детей с дислексией большинство окулomotorных характеристик при чтении текста значимо отличаются от аналогичных показателей у здоровых

Таблица 5. Влияние независимых переменных “возраст” и “вид текста” на показатели окулomotorного поведения

Независимые переменные	Здоровые дети			Дети с дислексией		
	<i>F</i>	достоверность <i>P</i> <	η^2	<i>F</i>	достоверность <i>P</i> <	η^2
Средняя длительность фиксации						
“Вид текста”	0.085	0.968	0.002	0.181	0.909	0.012
“Возраст”	61.553	0.000	0.355	1.730	0.195	0.039
Среднее число фиксаций на 1 слово						
“Вид текста”	9.94	0.000	0.21	0.998	0.403	0.065
“Возраст”	2.285	0.133	0.020	4.993	0.031	0.104
Средняя амплитуда прогрессивных саккад						
“Вид текста”	2.972	0.035	0.074	1.184	0.327	0.076
“Возраст”	47.711	0.000	0.299	4.087	0.049	0.087
Среднее число прогрессивных саккад на 1 слово						
“Вид текста”	8.72	0.000	0.19	1.068	0.372	0.069
“Возраст”	4.925	0.028	0.042	15.437	0.000	0.264

Таблица 6. Скорость движений взора в саккадах у детей 10 и 12 лет с дислексией и нормой развития

№	Группа	Скорость движения взора в прогрессивных саккадах (град/с)		Скорость движения взора в регрессивных саккадах (град/с)	
		<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
1	Здоровые дети 10 лет	70	14.6	105.9	23.7
2	Здоровые дети 12 лет	79	15.4	106.7	24.1
3	Дети с дислексией 10 лет	60	16.2	77.5	19.1
4	Дети с дислексией 12 лет	64.9	11.8	95.3	17.2
Достоверность различий					
группа сравнения		<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
1–2		19.98	0.000	0.031	0.860
1–3		1.61	0.21	30.4	0.000
2–4		15.94	0.000	4.446	0.038
3–4		0.419	0.521	12.0	0.001

детей того же возраста. В старшей возрастной группе эти различия были особенно велики. По-видимому, это объясняется тем, что у здоровых детей совершенствование навыка чтения и понимания текста продолжает совершенствоваться и меняться между десятью (± 1 год) и двенадцатью (± 1 год) годами, а у детей с дислексией динамика ряда показателей была инвертирована. У здоровых детей старшей возрастной группы амплитуда и продолжительность прогрессивных саккад были выше, чем в младшей возрастной группе (соответственно $M_{ампл10} = 2.44^\circ (0.49)$ $M_{ампл12} = 3.12^\circ (0.64)$; $M_{продолж10} = 38.73$ мс (6.41) $M_{продолж12} = 42.24$ мс (6.93)), а у детей с дислексией при таком же сравнении картина обратная (соответственно $M_{ампл10} = 2.34 (0.45)$ $M_{ампл12} = 2.07 (0.35)$; $M_{продолж10} =$

$= 40.66 (4.67)$ мс $M_{продолж12} = 33.61$ мс (4.51)). Аналогично соотносились возрастные отличия числа регрессивных саккад на 1 слово: у здоровых детей рост (соответственно $M_{сакк10} = 0.78 (0.27)$; $M_{сакк12} = 0.92 (0.47)$) и снижение у детей с дислексией (соответственно $M_{сакк10} = 3.18 (1.83)$; $M_{сакк12} = 1.15 (0.43)$). Из многочисленных исследований известно, что амплитуда прогрессивных саккад положительно коррелирует с объемом текстовой информации, извлекаемой за 1 фиксацию [20]. Таким образом, полученные в исследовании результаты свидетельствуют о росте продуктивности информационного анализа текста у здоровых детей второй возрастной группы, и наоборот – снижение этого показателя у детей с дислексией.

У детей с дислексией, по-видимому, страдает формирование именно высшего уровня механизмов регуляции движений взора при распознавании и смысловом анализе текста. Поэтому и через 5 лет обучения чтению у них когнитивные и окулomotorные стратегии обработки текста остаются малочувствительными к языковой и семантической составляющей текста. Это согласуется с данными других исследователей [27]. Однако принципиально новыми являются полученные нами данные об особенностях скоростных характеристик саккад у детей с дислексией, которые принято относить к механизмам низкого уровня. Пока еще мало экспериментальных данных, которые позволили бы объяснить причину снижения скоростных показателей движений взора у этих детей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как отмечалось выше, чтение в естественных условиях не сводится к распознаванию отдельных слов. Цель читающего — получение определенной информации, содержащейся в тексте. Для этого необходимо не только понять значение слов, но и правильно распознать смысловые и грамматические связи между ними. Каждый расшифрованный фрагмент текста создает смысловой контекст, который далее необходимо учитывать, как при чтении слов, так при конструировании смысла фраз и текста в целом. Исследования показали, что весь этот круг задач создает необходимость повторного прочтения слов и фрагментов текста, влияет на объем текста, который обрабатывается в каждую очередную фиксацию. Это влияет как на протяженность прогрессивных и регрессивных саккад, так и на число фиксаций и саккад. Как показали результаты нашего исследования, по мере возрастного увеличения когнитивного ресурса и совершенствования навыков декодирования меняется окулomotorное поведение в целом. Это выражается в изменениях в распределении временных, пространственных и скоростных характеристик фиксаций и саккад. Статистический анализ показал, что у здоровых детей на распределения окулomotorных характеристик влияет не только возраст, но и жанр текста, который читает испытуемый. Иначе говоря, в регуляции окулomotorного поведения правомерно различать два компонента: а) церебральные механизмы низкого уровня (средний мозг) и б) церебральные механизмы уровня высших психических функций, адаптивно реагирующие на языковую форму и содержание текста.

Этические нормы. Все исследования проведены в соответствии с принципами биомедицинской этики, сформулированными в Хельсинкской декларации 1964 г. и ее последующих обновлениях, и одобрены локальным биоэтическим комитетом Санкт-Петербургского государствен-

ного педиатрического медицинского университета Минздрава России.

Информированное согласие. Каждый участник исследования представил добровольное письменное информированное согласие, подписанное им после разъяснения ему потенциальных рисков и преимуществ, а также характера предстоящего исследования.

Финансирование работы. Исследование поддержано РФФИ (гранты №№ 14-06-00360 и 17-06-00542).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией данной статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Jurgens U.* A comparison of the neural systems underlying speech and nonspeech vocal utterances // *Becoming Loquens: More Studies in Language Origins*. 2000. V. 1. P. 1.
2. *Dehaene S., Cohen L., Morais J., Kolinsky R.* Illiterate to literate: behavioural and cerebral changes induced by reading acquisition // *Nature reviews. Neuroscience*. 2015. V. 16. № 4. P. 234.
3. *Dunabeitia J.A., Orihuela K., Carreiras M.* Orthographic coding in illiterates and literates // *Psychol. Sci*. 2014. V. 25. P. 1275.
4. *Rayner K.* Eye movements in reading and information processing: 20 years of research // *Psychological Bulletin*. 1998. V. 124. № 3. P. 372.
5. *Vitu F.* On the role of visual and oculomotor processes in reading / *The Oxford Handbook of Eye Movements* // Eds. Liversedge S.P., Gilchrist I.D., Everling S. Oxford: University Press, 2011. P. 731.
6. *Somppi S., Törnqvist H., Hänninen L. et al.* Dogs do look at images: eye tracking in canine cognition research // *Animal Cognition*. 2012. V. 15. № 2. P. 163.
7. *Vernet M., Quentin R., Chanes L. et al.* Frontal eye field, where art thou? Anatomy, function, and non-invasive manipulation of frontal regions involved in eye movements and associated cognitive operations // *Frontiers in Integrative Neuroscience*. 2014. V. 8. P. 1.
8. *Корнев А.Н.* Нарушения чтения и письма у детей. СПб.: Изд-во Речь, 2003. 330 с.
9. *Pavlidis G.T.* Eye movements in dyslexia: their diagnostic significance // *J. Learning Disabilities*. 1985. V. 18. № 1. P. 42.
10. *Badcock D., Lovegrove W.* The effects of contrast, stimulus duration, and spatial frequency on visible persistence in normal and specifically disabled readers // *J. Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 1981. V. 7. № 3. P. 495.
11. *Wimmer H., Mayringer H., Landerl K.* The double-deficit hypothesis and difficulties in learning to read a regular orthography // *J. Educational Psychology*. 2000. V. 92. № 4. P. 668.
12. *Ramus F., Rosen S., Dakin S.C. et al.* Theories of developmental dyslexia: insights from a multiple case study of dyslexic adults // *Brain*. 2003. V. 126. № 4. P. 841.

13. *Parrila R., Aunola K., Leskinen E. et al.* Development of individual differences in reading: Results from longitudinal studies in English and Finnish // *J. Educational Psychology*. 2005. V. 97. № 3. P. 299.
14. *Grainger J., Lété B., Bertand D. et al.* Evidence for multiple routes in learning to read // *Cognition*. 2012. V. 123. № 2. P. 280.
15. *Oakhill J.V., Cain K.* The precursors of reading ability in young readers: Evidence from a four-year longitudinal study // *Scientific Studies of Reading*. 2012. V. 16. № 2. P. 91.
16. *van Dijk T.A., Kintch W.* Strategies of discourse comprehension. N.Y.: Academic Press, 1983. 415 p.
17. *Kintsch W.* The role of knowledge in discourse comprehension: a construction-integration model // *Psychological Review*. 1988. V. 95. № 2. P. 163.
18. *Леонтьев А.А.* Язык и речевая деятельность в общей и педагогической психологии. Моск. психолого-социальный ин-т. М.: МПСИ, Воронеж: МОДЭК, 2004. 536 с.
19. *Корнев А.Н., Авраменко А.С.* Индивидуальная вариативность когнитивных механизмов: корреляционный анализ влияния пола на овладение чтением / Проблемы онтолингвистики-2012. Мат. междунар. науч. конф. СПб., 2012. С. 430.
20. *Rayner K., Chace K.H., Slattery T.J., Ashby J.* Eye movements as reflections of comprehension processes in reading // *Scientific Studies of Reading*. 2006. V. 10. № 3. P. 241.
21. *Hyona J., Lorch R.F., Kaakinen J.* Individual differences in reading to summarize expository text: evidence from eye fixation patterns // *J. Educational Psychology*. 2002. V. 94. P. 44.
22. *Залевская А.А.* Психолингвистические исследования. Слово. Текст. М.: Гнозис, 2005. 543 с.
23. *Корнев А.Н., Оганов С.Р.* Стратегии обработки письменного текста при чтении описательных текстов: анализ движений взгляда у студентов 2–4 курсов с разным уровнем читательских навыков / Когнитивная психология: методология и практика. СПб.: Изд-во ВВМ, 2015. С. 204.
24. *Olson R.K., Kliegl R., Davidson B.J.* Dyslexic and normal readers' eye movements // *J. Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 1983. V. 9. № 5. P. 816.
25. *Wonnacott E., Joseph H.S., Adelman J.S., Nation K.* Is children's reading "good enough"? Links between on-line processing and comprehension as children read syntactically ambiguous sentences // *The Quarterly J. Experimental Psychology*. 2016. V. 69. № 5. P. 855.
26. *Blythe H.I., Holly S.S.L., Joseph H.S.S.* Children's eye movements during reading / *The Oxford Handbook of Eye Movements* // Eds. Liversedge S.P., Gilchrist I.D., Everling S. Oxford: University Press, 2011. P. 643.
27. *Willows D.M., Ryan E.B.* The development of grammatical sensitivity and its relationship to early reading achievement // *Reading Research Quarterly*. 1986. V. 21. № 3. P. 253.

Development of the Psychophysiological Mechanisms in the Comprehension of Printed Texts: Eye Tracking during Text Reading in Healthy and Dyslexic Children Aged 9–11 and 12–14 Years

A. N. Kornev^{a, *}, S. R. Oganov^a, and E. I. Galperina^{a, b}

^a*Saint-Petersburg State Pediatric Medical University, St. Petersburg, Russia*

^b*Sechenov Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia*

*E-mail: k1949@ya.ru

The development of psycho-physiological mechanisms of reading and understanding written texts is an important issue, which is still poorly studied. From this perspective, on-line evaluation of text processing is a very promising method. This provides a wide range of opportunities for studying the nature of dyslexia, a socially significant developmental disability. In this study, the oculomotor behavior during text reading was studied in healthy and dyslexic children aged 9–11 and 12–14 years. A total sample of 58 subjects was divided into 4 groups basing on their age and clinical status. The gaze movements were recorded by an eye-tracker in the conditions of normal text reading. Two kinds of texts were presented to each participant, i.e. two narrative texts and two expository texts. We used the following parameters of gaze movements: (1) duration of fixations, (2) number of fixations, (3) amplitude, (4) duration, and (5) number of progressive and regressive saccades, and (6) saccade velocity. According to the results of ANOVA, most of eye tracking measures differ significantly between dyslexic and healthy children. The most pronounced differences were observed in children aged 12–14 years. This is the first study that describes the differences in saccade velocity between dyslexic and healthy children and between the age groups of healthy children. The article discusses a two-level model of the gaze regulation cerebral mechanisms that develop with reading skills.

Keywords: reading, dyslexia, oculomotor behavior, children.