Сибирский психологический журнал.
2019. № 73. С. 141–158. DOI: 10.17223/17267080/73/9

УДК 159.9

СПЕЦИФИКА ГЛАЗОДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ДЕТЕЙ ПРИ ЧТЕНИИ ТЕКСТОВ РАЗНЫХ ВИЗУАЛЬНЫХ ФОРМАТОВ

О.В. Защиринская[a], К.А. Скуратова[b], Е.Ю.Шелепин[b]

[a] *Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Россия, Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 7/9*
[b] *Институт физиологии им. И.П. Павлова РАН, 199034, Россия, Санкт-Петербург, Набережная Макарова, д. 6*

Статья посвящена исследованию параметров глазодвигательной активности учащихся с дислексией на ранних этапах формирования навыка чтения для изучения отклоняющихся паттернов и выявления стратегии анализа текста, характерной для детей с данным нарушением. Полученные результаты показывают, что дети с дислексией по сравнению с детьми без нарушения навыка чтения совершают большее количество фиксаций и большее число регрессивных саккад, также отмечается меньшая амплитуда их саккад. Наиболее эффективным визуальным форматом отображения текста является цветовое акцентирование слогов.

Ключевые слова: навык чтения; дислексия; движения глаз; фиксации; амплитуда саккад; регрессивные саккады.

Введение

По данным ВОЗ, дислексия – это специфическое нарушение способности овладеть навыком чтения, несмотря на сохранный интеллект, адекватное школьное обучение, социокультурные возможности и отсутствие дефектов зрения и слуха. В первую очередь у детей с дислексией страдает слогослияние, что приводит к невозможности целостного чтения слов [1], а также скорость чтения и качество понимания прочитанного. Скорость чтения вслух немецкоязычных учащихся начальных классов с дислексией ниже в 2,7–2,9 раза по сравнению с контрольной группой [2], италоязычных – в 2–6 раз [3]. Трудности с пониманием прочитанного у детей с дислексией обусловлены нарушениями как операций морфемного анализа и синтеза, так и грамматического строя речи, что приводит к неточному и ошибочному пониманию не только отдельных слов, но и всего текста [4].

Помимо нарушения навыка чтения к основным симптомам относятся слабая фонологическая обработка, включающая в себя процессы рекодирования и декодирования текста, орфографические трудности и неаккуратное письмо [5]. Дислексия также часто сочетается с другими проблемами в обучении, в основном с расстройствами развития речи [6] и синдромом дефицита внимания и гиперактивности [7].

Одно из общепринятых объяснений причины развития дислексии ставит в основу центральный дефицит на фонологическом уровне обработки речи. В частности, так называемая фонологическая теория утверждает, что у людей с дислексией возникают специфические нарушения в представлении, хранении и воспроизведении звуков речи и соответствующих им фонем, а также затруднения в поиске соответствий графем фонемам, что является необходимым условием для обучения чтению [8].

Несмотря на теорию фонологического дефицита, есть данные, указывающие на роль нарушений визуального восприятия [9], а также окуломоторных (связанных с движениями глаз) нарушений в развитии дислексии [10]. На биологическом уровне эти нарушения связаны с дисфункцией магноцеллюлярного пути (или М-потока), который, как предполагается, участвует в низкочастотной пространственной обработке и управлении движением глаз. Магноцеллюлярная зрительная система отвечает за восприятие формы, движения, глубины и более чувствительная к низким пространственным частотам.

Действительно, люди с дислексией часто сообщают о таких нарушениях зрительного восприятия, как «прыгающие буквы» и «танцующие строки», а также размытый текст [11]. Многие типичные ошибки при чтении, такие как пропуск строки, переворот букв (например, чтение «b» как «d») и зеркальное письмо, рассматриваются как проявления основного дефицита визуальной обработки.

Большинство современных исследований сосредоточено на изучении глазодвигательных реакций как детей, так и взрослых с дислексией без учета их взаимодействия с более высокими процессами, например лингвистическими. В основном изучается два вида глазодвигательных реакций – саккады и фиксации. Саккады – быстрые, скачкообразные движения глаз, перевод взора с одного объекта фиксации на другой. При этом именно во время фиксаций происходит восприятие информации. Необходимо учитывать, что термин «фиксация» условный и обозначает скорее фиксацию на объекте, нежели остановку движения: на самом деле глаз продолжает совершать движения (микросаккады, дрейф, тремор), но с небольшой амплитудой.

Результаты исследований показывают, что для читателей с дислексией характерна аномально большая задержка перед саккадами. Более того, отмечается, что у детей с дислексией возникают трудности с координацией саккад и фиксаций в ситуации рассматривания картины [12]. Подобные результаты были обнаружены и при чтении детьми текста [10]. Исследователи предполагают, что эти особенности связаны с незрелостью механизмов управления движениями глаз. Однако дальнейшие эксперименты, направленные на изучение пространственно-временных параметров глазодвигательной активности детей с дислексией в ситуации свободного изучения пространства, не выявили значимых различий по сравнению с детьми без нарушений навыка чтения [11]. Подобные противоречивые результаты могут отражать неоднородность проявлений дислексии у детей, а также быть

обусловлены различными экспериментальными задачами (чтение против исследования естественного пространства).

На данный момент ведутся серьезные споры о том, являются ли подобные нарушения причиной дислексии и отражают ли они основной дефицит в визуальной обработке текста. Некоторые авторы предполагают, что нарушение окуломоторного поведения является лишь следствием, а не причиной затруднений при чтении [11].

Рассмотрим основные особенности глазодвигательной активности детей с дислексией при чтении текстов.

В целом по сравнению с детьми из контрольной группы, подобранными по возрасту и не имеющими нарушений, движения глаз дислексиков при чтении отдельных слов, псевдослов и целых предложений характеризуются более длительными фиксациями, более короткими саккадами и большим количеством регрессивных саккад [11, 13, 14].

Кроме того, было обнаружено, что для детей с дислексией характерны большее количество слов со множественными фиксациями и частые возвраты не только внутри слов, но и к предыдущим, уже прочитанным, а также заметное влияние лингвистических свойств слов, таких как длина и частотность, на количество и продолжительность фиксаций [14, 15]. Также было выявлено, что дети без нарушений навыка чтения могут адаптировать амплитуду саккад к длине слова, тогда как дети с дислексией способны применить данную стратегию лишь для коротких слов [16]. Пытаясь установить связь между двусистемной каскадной моделью визуального опознавания слов и чтения вслух (DRC) [17] и моделью E-Z Reader [18], авторы проинтерпретировали данную закономерность как сбой в распознавании орфографически целого слова и как неэффективный лексический паттерн, вследствие которого возникает чрезмерная зависимость от сублексического декодирования [19].

Важно отметить, что при фиксации на одной букве воспринимаются также и соседние буквы. Для свободного чтения необходимо, чтобы в минимальное поле зрения при чтении, или «область обзора» [Ibid.], попадали две буквы справа и слева от фиксации. Данная область может быть расширена путем обработки парафовеальной (область вокруг фовеа, центральной ямки, отвечающей за восприятие информации с высокой детализацией в центре зрительного поля) информации опытными читателями [20]. Этот общий диапазон восприятия асимметричен относительно точки фиксации и может охватывать до 5 или 15 букв. Короткие амплитуды саккад, обнаруженные у детей с дислексией [2, 16] указывают на узкий диапазон восприятия. Подобное снижение объема зрительного восприятия обнаружено и у франкоязычных детей с дислексией при чтении вслух [21]. Иные исследователи связывают количество фиксаций с особенностями детского внимания, вследствие которых объем обрабатываемых параллельно символов также ограничен, что наиболее характерно для детей с дислексией [22, 23].

Процент регрессивных (т.е. возвратных, совершающихся по направлению справа налево) саккад в исследовании немецкоязычных учащихся

начальной школы [2] был лишь незначительно увеличен в группе с дислексией (19,2%) по сравнению с контрольной группой (12,9%) и оказался нормальным в той же группе во время чтения отдельных слов. Аналогичным образом P. Hutzler и H. Wimmer [14] не обнаружили различий в проценте регрессий у немецкоязычных детей с дислексией и без данного нарушения (19% в обеих группах). Напротив, большинство авторов сообщают о более высоком проценте регрессий (19–36%) у англоязычных детей младшего школьного возраста без нарушений навыка [24] и об увеличении показателя у детей с дислексией [25]. G. Pavlidis [26] описал более низкие показатели – 12% в контрольной группе и 35% у дислексиков. Это различие для англоязычных детей может быть объяснено высокой степенью регулярности соотношения графем и фонем в немецком и итальянском языках по сравнению с английским. Данная особенность этих языков поддерживает последовательный анализ слова и позволяет немецкоязычным детям с дислексией использовать косвенный сублексический маршрут для анализа сочетания графемы–фонемы при обработке текста, тогда как дети, говорящие на английском языке, могут предпочесть прямой лексический маршрут, позволяющий читать слово сразу целиком. Тот факт, что процент регрессивных саккад увеличивается при чтении текстов по сравнению с задачей чтения отдельных слов, отражает необходимость ребенка с нарушением навыка чтения убедить себя в значении слова, совершая возврат при чтении непрерывного текста, что не имеет значения при чтении отдельных слов. Кроме того, в конце предложения может понадобиться повторное прочтение из-за недостаточного или неверного понимания части или целого предложения.

По мнению российских авторов, именно регрессивные саккады отражают индивидуальные особенности глазодвигательных паттернов при чтении [27].

Исследования немецкоязычных детей показали, что продолжительность фиксаций оказывается выше в группе детей с дислексией и при этом не зависит от сложности текста: дети с дислексией совершают большее количество фиксаций, не увеличивая их продолжительности при чтении сложного текста. С увеличением возраста и совершенствованием навыка чтения продолжительность фиксаций заметно снижается у детей без дислексии, но изменения у детей с дислексией незначительны и оказываются статистически не значимы [2]. Напротив, стратегия прямого декодирования, характерная для английского языка, приводит к увеличению продолжительности фиксаций, но не их количества, при чтении сложных текстов детьми с дислексией [24]. Зависимость продолжительности фиксаций от сложности текста у русскоговорящих детей растет по мере развития навыка чтения [28].

Анализ движений глаз во время чтения может быть необходим для выявления стратегии, используемой для декодирования слов и изучения паттерна чтения у детей с дислексией. Тем не менее природа связи между отклоняющимися от нормы глазодвигательными паттернами и дислексией все еще обсуждается.

Объектом нашего исследования выступил навык чтения. Предметом исследования является взаимосвязь глазодвигательной активности и навыка чтения.

Гипотеза состоит в существовании связи между параметрами глазодвигательной активности и развитостью навыка чтения, в первую очередь с крайними значениями развитости навыка – дислексией и нормально развитым читательским навыком.

Цель работы заключается в выявлении параметров глазодвигательной активности, указывающих на развитость читательского навыка.

Методы исследования

Для изучения особенностей восприятия текстов различных визуальных форматов нами было проведено исследование по чтению текстов учащимися вторых классов.

В качестве стимульного материала были выбраны 5 текстов-фрагментов из сборника для чтения для вторых классов начальной школы. Тексты были отобраны одинаковой длины, со схожей структурой и статистическими характеристиками. Объем каждого текста составлял 55 слов. Было использовано 5 различных визуальных форматов текстов, применяемых в качестве вспомогательных форматов для дислексиков и рекомендованных в том числе Британской Ассоциацией Дислексии для чтения на экране монитора:

A. Белый фон, черный текст, стандартная длина строки.

B. Белый фон, черный текст, стандартная длина строки, иллюстрации в форме пиктограмм после ключевых слов.

C. Черный фон, желтый текст, стандартная длина строки.

D. Белый фон, текст с цветовым выделением слогов, стандартная длина строки.

E. Белый фон, черный текст, укороченная длина строки.

Исследование проводилось на ноутбуке с диагональю экрана 15 дюймов с применением айтрекера EyeTech VT3 mini. Использовалось программное обеспечение MangoldVision.

Схема исследования выглядит следующим образом:

1. Испытуемый садится за компьютер и получает инструкцию.
2. Проводится калибровка айтрекера.
3. Случайным образом выбирается не показанный ранее текст.
4. Проводится опрос на понимание текста.
5. Повтор пунктов 2–4 до окончания текстов.

В проведенном исследовании приняли участие 95 человек: 55 второклассников без нарушений навыка чтения (средний возраст 8 лет) и 40 второклассников с дислексией (средний возраст 8,1 лет).

На основании собранных паттернов движений глаз были обнаружены различия в паттернах в зависимости от навыка чтения, подтверждающие литературные данные.

Для анализа были отобраны следующие параметры глазодвигательной активности:

1. Амплитуда саккад.
2. Количество фиксаций.
3. Соотношение регрессивных и прогрессивных саккад.

Стоит отметить, что программное обеспечение MangoldVision предоставляет в качестве исходных данных пространственно-временные значения фиксаций. Чтобы превратить исходные данные в параметры глазодвигательной активности, был разработан программно-математический комплекс по обработке исходных данных.

Амплитуда саккад

В работе использовался подход к детекции амплитуды саккад по расстоянию между двумя фиксациями – предшествующей перед и последующей после саккады. Известно, что амплитуда саккад является идиосинкразической, т.е. индивидуальной для каждого человека [29], но в то же время обусловливается целым рядом внешних условий [Там же]. К факторам, влияющим на снижение амплитуды саккад, относят: сложность визуального поиска, увеличенную ментальную нагрузку, чтение вслух, необходимость адаптации при запоминании информации. Данные факторы связаны с навыком чтения, что отмечается многими авторами [24].

В табл. 1 приведены средние значения и стандартные отклонения амплитуды саккад по каждому тексту для второклассников без нарушений речи и для второклассников с дислексией.

Таблица 1

Амплитуда саккад при чтении текстов различных визуальных форматов второклассниками без нарушений навыка чтения и второклассниками с дислексией

Визуальный формат	Навык чтения			
	Без нарушений		Дислексия	
	среднее	ст. откл.	среднее	ст. откл.
A	118,35	34,24	72,61	18,12
B	132,77	28,51	87,57	21,22
C	123,14	36,71	79,73	26,33
D	117,28	26,36	76,48	18,53
E	116,58	20,18	74,37	19,78
Все визуальные форматы	121,62	30,18	78,15	21,45

На рис. 1 представлена диаграмма размаха, на которой изображены медиана, первый и третий квартили, а также минимальное и максимальное значение амплитуды саккад по каждому тексту для двух групп учащихся.

В табл. 2 представлены результаты дисперсионного анализа с повторными измерениями по факторам «навык чтения» и «визуальный формат». Обнаружено статистически значимое влияние данных факторов на амплитуду саккад ($p < 0,001$). Взаимодействия факторов не обнаружено.

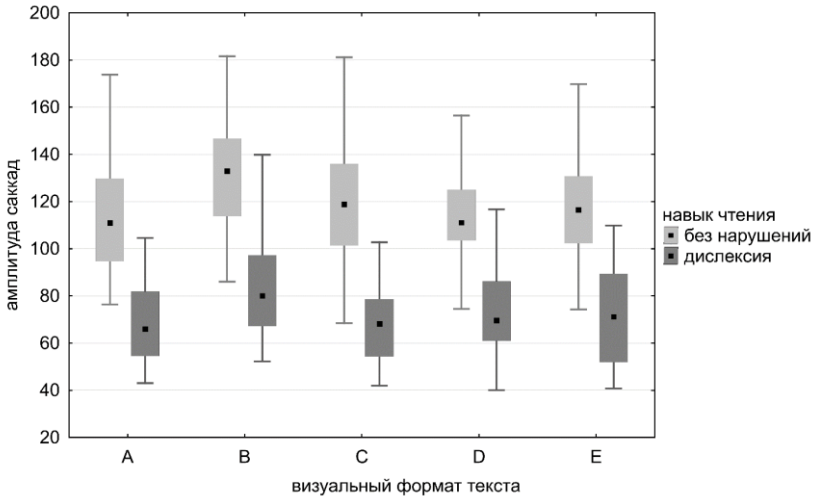

Рис. 1. Амплитуда саккад при чтении текстов различных визуальных форматов второклассниками без нарушений навыка чтения и второклассниками с дислексией

Таблица 2

Результаты дисперсионного анализа с повторными измерениями

Фактор	F	p
Навык чтения	107,62	**0,000**
Визуальный формат	9,85	**0,000**
Навык чтения * визуальный формат	0,27	0,900

Для попарного сравнения амплитуды саккад при чтении текстов различного визуального формата был использован апостериорный тест (тест Тьюки), результаты которого приведены в табл. 3.

Таблица 3

Влияние визуального формата текста на амплитуду саккад (значимость различий)

Навык чтения	Сравниваемые визуальные форматы									
	A/B	A/C	A/D	A/E	B/C	B/D	B/E	C/D	C/E	D/E
Без нарушений	**0,001**	0,271	0,804	0,682	**0,027**	**0,000**	**0,000**	0,178	0,132	0,872
Дислексия	**0,000**	**0,013**	0,173	0,535	**0,006**	**0,000**	**0,000**	0,251	0,059	0,456

Амплитуда саккад выше у детей без нарушения навыка чтения: в среднем от 116,58 до 132,77 пикселей, у детей с дислексией амплитуда саккад в среднем составляет от 72,61 до 87,57 пикселей. Статистически значимые различия обнаружены между следующими парами текстов: иллюстрированный текст – стандартный текст ($p < 0,005$ для учащихся без нарушений навыка чтения и $p < 0,001$ для учащихся с дислексией), иллюстрированный текст – текст на черном фоне ($p < 0,05$ и $p < 0,01$ соответственно), иллюстрированный текст – текст с цветовым выделением слогов ($p < 0,001$ и $p < 0,001$), иллюстрированный текст – текст с укороченной длиной строки

($p < 0,001$ и $p < 0,001$). Также для второклассников с дислексией обнаружены различия между стандартным текстом и текстом на черном фоне ($p < 0,05$).

Таким образом, наибольшая амплитуда саккад совершается учащимися при чтении иллюстрированного текста, наименьшая – при чтении текста с укороченной длиной строки (второклассники без нарушения навыка чтения) и стандартного текста (второклассники с дислексией).

Соотношение регрессивных и прогрессивных саккад

Регрессивные саккады – это саккады, совершаемые в противоположном тексту направлении (справа налево для русского языка). Регрессии, совершаемые «внутри» (между буквами) слова традиционно относят к процессу понимания слова, а регрессии между словами – к пониманию предложения [29]. При отсутствии сегментации регрессий необходимо учитывать также регрессию, связанную с переводом взора на новую строку. Высокий процент регрессивных саккад традиционно связывают с проблемами дислексии [Ibid.].

В табл. 4 приведены средние значения и стандартные отклонения отношения регрессивных саккад к прогрессивным по каждому тексту для второклассников без нарушений речи и для второклассников с дислексией.

Таблица 4

Соотношение регрессивных и прогрессивных саккад при чтении текстов различных визуальных форматов второклассниками без нарушений навыка чтения и второклассниками с дислексией

Визуальный формат	Навык чтения			
	Без нарушений		Дислексия	
	среднее	ст. откл.	среднее	ст. откл.
A	0,264	0,093	0,430	0,107
B	0,326	0,068	0,490	0,089
C	0,189	0,076	0,347	0,083
D	0,138	0,053	0,248	0,044
E	0,176	0,048	0,286	0,058
Все визуальные форматы	0,219	0,097	0,360	0,119

На рис. 2 представлена диаграмма размаха, на которой изображены медиана, первый и третий квартили, а также минимальное и максимальное значение соотношения регрессивных и прогрессивных саккад по каждому тексту для учащихся без нарушения навыка чтения и учащихся с дислексией.

В табл. 5 представлены результаты дисперсионного анализа с повторными измерениями по факторам «навык чтения» и «визуальный формат». Обнаружено статистически значимое влияние данных факторов на амплитуду саккад ($p < 0,001$). Также обнаружено взаимодействие данных факторов.

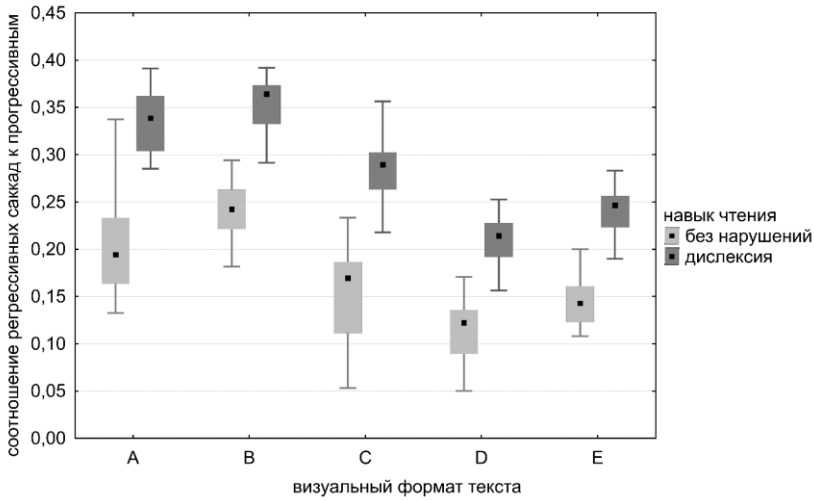

Рис. 2. Соотношение регрессивных и прогрессивных саккад при чтении текстов различных визуальных форматов второклассниками без нарушений навыка чтения и второклассниками с дислексией

Таблица 5

Результаты дисперсионного анализа с повторными измерениями

Фактор	F	p
Навык чтения	131,03	**0,000**
Визуальный формат	295,24	**0,000**
Навык чтения * визуальный формат	7,88	**0,000**

С помощью теста Тьюки обнаружены статистически значимые попарные различия между всеми текстами, кроме текста на черном фоне и текста с укороченной длиной строки (для учащихся без нарушения навыка чтения). Значимость различий приведена в табл. 6.

Таблица 6

Влияние визуального формата текста на соотношение регрессивных и прогрессивных саккад (значимость различий)

Навык чтения	Сравниваемые визуальные форматы									
	A/B	A/C	A/D	A/E	B/C	B/D	B/E	C/D	C/E	D/E
Без нарушений	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	0,141	**0,000**
Дислексия	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,001**

Наибольший процент регрессов к предыдущим элементам текста по отношению к прогрессивным саккадам совершают второклассники с дислексией (24,8−49,0% в зависимости от визуального формата текста) по сравнению с второклассниками без нарушения навыка чтения (13,8−32,6%). Анализ амплитуды регрессивных саккад показал, что для детей без нарушения навыка чтения характерны возвраты к предыдущим словам, а для детей с дислексией – множественные возвраты внутри слова. Предположительно, это связано с тем, что у второклассников, не имеющих нарушения

навыка чтения, происходит становление синтетических приемов чтения, тогда как второклассники с дислексией все еще находятся на более раннем этапе – этапе послогового чтения.

Наибольшее соотношение регрессивных и прогрессивных саккад характерно для чтения иллюстрированного текста (32,6 и 49% для детей без нарушения навыка чтения и детей с дислексией соответственно), наименьшее – текста с цветовым выделением слогов (13,8% и 24,8%).

Таким образом, по сравнению со стандартным текстом чтение иллюстрированного текста наименее эффективно, а чтение текстов с измененным визуальным форматом (в порядке снижения процента регрессов: текст на черном фоне, текст с укороченной длиной строки, текст с цветовым выделением слогов), наоборот, наиболее эффективно.

Количество фиксаций

Количество фиксаций – один из важнейших параметров окуломоторной активности. В исследованиях он используется как для всего стимула, так и для зон интереса; выделяют также частоту фиксаций. В нашей работе мы использовали число фиксаций для всего стимула, так как стимулы были константны по размеру; в дальнейшем имеет смысл использовать также частоту фиксаций при ненормированности времени. Число фиксаций связывают с такими параметрами, как семантическая важность, эффективность поиска информации, сложность восприятия информации, опыт, запоминание информации, характеристики слов. Увеличение числа фиксаций при дислексии, по всей видимости, может быть вызвано низким диапазоном внимания, уменьшенным зрительным полем. Косвенно это связано также с регрессивными движениями (каждая регрессия требует 1–2 дополнительные фиксации).

В табл. 7 приведены средние значения и стандартные отклонения количества фиксаций по каждому тексту для второклассников без нарушений речи и для второклассников с дислексией.

Таблица 7

Количество фиксаций при чтении текстов различных визуальных форматов второклассниками без нарушений навыка чтения и второклассниками с дислексией

Визуальный формат	Навык чтения			
	Без нарушений		Дислексия	
	среднее	ст. откл.	среднее	ст. откл.
A	102,25	29,85	199,48	76,68
B	150,49	39,51	279,95	114,59
C	86,80	22,34	187,28	68,67
D	86,53	22,36	182,55	73,41
E	98,16	23,37	215,40	95,74
Все визуальные форматы	104,85	36,73	212,93	93,60

На рис. 3 представлена диаграмма размаха, на которой изображены медиана, первый и третий квартили, а также минимальное и максимальное значение количества фиксаций по каждому тексту для учащихся без нарушения навыка чтения и учащихся с дислексией.

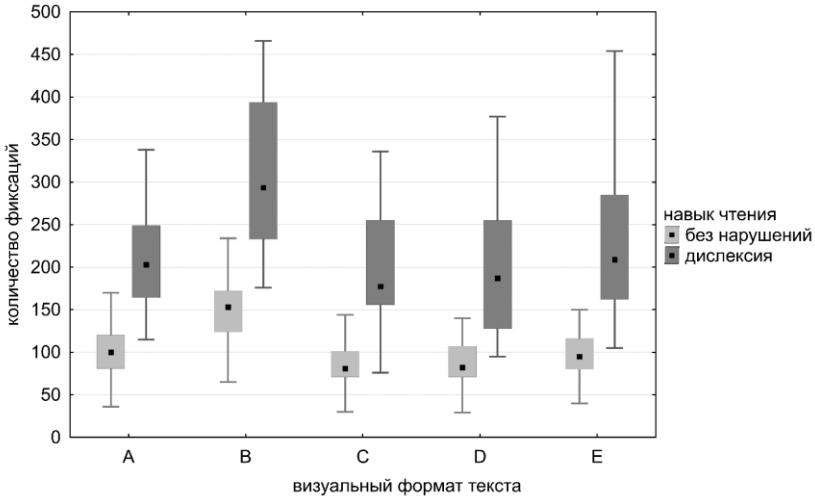

Рис. 3. Количество фиксаций при чтении текстов различных визуальных форматов второклассниками без нарушений навыка чтения и второклассниками с дислексией

С помощью дисперсионного анализа с повторными измерениями обнаружено влияние фактора навыка чтения и фактора визуального формата на количество фиксаций, совершаемых учащимися при чтении. Также обнаружено взаимодействие факторов. Результаты приведены в табл 8.

Таблица 8

Результаты дисперсионного анализа с повторными измерениями

Фактор	F	p
Навык чтения	94,35	**0,000**
Визуальный формат	98,92	**0,000**
Навык чтения * визуальный формат	4,94	**0,001**

Результаты апостериорного теста приведены в табл. 9.

Таблица 9

Влияние визуального формата текста на количество фиксаций (значимость различий)

Навык чтения	Сравниваемые визуальные форматы									
	A/B	A/C	A/D	A/E	B/C	B/D	B/E	C/D	C/E	D/E
Без нарушений	**0,000**	**0,000**	**0,000**	0,180	**0,000**	**0,000**	**0,000**	0,929	**0,000**	**0,000**
Дислексия	**0,000**	0,231	0,097	0,118	**0,000**	**0,000**	**0,000**	0,642	**0,006**	**0,001**

Учащиеся вторых классов, не имеющие нарушения навыка чтения, совершают в среднем 86,53−150,49 фиксаций, что статистически значимо

меньше количества фиксаций, совершаемых второклассниками с дислексией (187,28−279,95 фиксаций).

Статистически значимо различается количество фиксаций при чтении следующих пар текстов: стандартный / иллюстрированный; стандартный / на черном фоне (только для детей без нарушения навыка чтения); стандартный / с цветовым выделением слогов (только для детей без нарушения навыка чтения); иллюстрированный / на черном фоне; иллюстрированный / с цветовым выделением слогов; иллюстрированный / с укороченной длиной строки; на черном фоне / с укороченной длиной строки; с цветовым выделением слогов / с укороченной длиной строки.

Таким образом, наиболее сложным для восприятия оказался иллюстрированный текст (150,49 и 279,95 фиксаций, совершаемых детьми без нарушения навыка чтения и детьми с дислексией соответственно), а наиболее легкими – текст с цветовым выделением слогов (86,53 и 182,55 фиксаций соответственно) и текст на черном фоне (86,80 и 187,28 фиксаций соответственно).

Эффективность цветового акцентирования слогов

Согласно теоретическим моделям развития навыка чтения, дети переходят от медленного побуквенного декодирования к чтению по слогам и только затем переходят на этап синтетического чтения, на котором возможно восприятие слова как целого [30]. Эмпирические исследования предполагают важность слога как сублексической единицы, которая связывает фонологические и лексические особенности слова [31] и положительно влияет на беглость распознавания слов.

Дети на ранних этапах освоения навыка чтения, а также школьники и взрослые с дислексией испытывают трудности при декодировании последовательностей букв в слоги. Это наблюдение согласуется с результатами G. Scheerer-Neumann, предъявлявшего испытуемым списки псевдослов, состоящих из слогов, которые характерны для настоящих немецкоязычных слов [32]. Учащиеся с нарушениями навыка чтения показали более высокие результаты в условиях графической сегментации на слоги. Так как учащиеся с дислексией испытывают трудности с перекодированием слоговых единиц и синтетическим чтением, распознавание целостных слов для них низкоэффективно и требует большего количества когнитивных ресурсов, что замедляет чтение и негативно сказывается на понимании прочитанного.

Одним из эффективных способов сегментации на слоги является выделение их при помощи цвета на основании такого принципа гештальтизма, как схожесть [33, 34]. Таким образом, цвет может влиять на группировку, форму и процесс сегментации слов [35].

Проведенное нами исследование показало положительное влияние цветовой сегментации текста на слоги как для детей с дислексией, так и для детей без нарушения навыка чтения.

Выводы

В работе подтвердились гипотеза о существовании взаимосвязи между параметрами глазодвигательной активности (амплитудой саккад, количеством фиксаций и соотношением регрессивных и прогрессивных саккад) и навыком чтения. Тем самым подтверждаются данные о том, что важной характеристикой, сопровождающей низкий навык чтения, помимо увеличенной длительности чтения, являются специфические паттерны движения глаз, отличающиеся от паттернов у школьников с хорошо развитым навыком. Некоторые «неправильные» паттерны, такие как регрессивные саккады, могут быть связаны с большим набором явлений, характерных для дислексии, – увеличением числа фиксаций, времени чтения, проблемами с пониманием информации.

Были обнаружены различия в параметрах глазодвигательной активности при чтении текстов разных визуальных форматов. Это дает основания полагать, что предоставление текстов в «удобных» для чтения форматах может обеспечить более высокую скорость чтения и бóльшую степень понимания текстов у школьников с нарушениями. Текст с картинками (B) оказался наименее удачным с этой точки зрения; наиболее оптимальным мы считает вариант текста с цветовым акцентированием слогов (D). Иллюстрации выступают дополнительным дистрактором, что мешает читателю с низко развитым навыком; сегментация на слоги, напротив, повышает эффективность чтения.

Несмотря на подтверждение гипотезы, остается открытым вопрос о первопричине во взаимосвязи навыка чтения и глазодвигательной активности при чтении: что является решающим – навык, развиваемый в ходе тренировок, или физиологические характеристики, обеспечивающие оптимальные параметры движений глаз? Требуются также дальнейшие исследования взаимосвязи форматов представления текстов с показателями скорости чтения и понимания текстов.

Литература

1. Корнев А.Н., Ишимова О.А. Методика диагностики дислексии у детей : метод. пособие. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2010.
2. Trauzettel-Klosinski S., Koitzsch A.M., Dürrwächter U., Sokolov A.N., Reinhard J., Klosinski G. Eye movements in german-speaking children with and without dyslexia when reading aloud // Acta Ophthalmologica. 2010. Vol. 88 (6). P. 681–691. DOI: 10.1111/j.1755-3768.2009.01523.x.
3. Zoccolotti P., De Luca M., Marinelli C.V., Spinelli D. Modeling individual differences in text reading fluency: a different pattern of predictors for typically developing and dyslexic readers // Frontiers in Psychology. 2014. Vol. 5, Nov. DOI: 10.3389/fpsyg.2014.01374.
4. Мигурская А.А. Сравнительный анализ уровней понимания читаемого у младших школьников с дислексией и без нарушений чтения // Вестник Череповецкого государственного университета. 2012. № 3 (41). С. 166–169
5. Vellutino F.R., Fletcher J.M. Developmental dyslexia // The science of reading : a handbook / M.J. Snowling, C. Hulme (eds.). Oxford : Blackwell Publishing, 2005.

6. Snowling M.J. Language skills and learning to read: the dyslexia spectrum // Dyslexia – Speech and Language / M.J. Snowling, J. Stackhouse (eds.). Chichester : Whurr Publishers, 2006. P. 1–14.
7. Pennington B.F. How neuropsychology informs our understanding of developmental disorders // Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines. 2009. Vol. 50 (1-2). P. 72–78. DOI: 10.1111/j.1469-7610.2008.01977.x.
8. Ramus F., Ahissar M. Developmental dyslexia: the difficulties of interpreting poor performance, and the importance of normal performance // Cognitive Neuropsychology. 2012. Vol. 29, is. 1-2. P. 104–122. DOI: 10.1080/02643294.2012.677420.
9. Boden C., Giaschi D. M-stream deficits and reading-related visual processes in developmental dyslexia // Psychological Bulletin. 2007. Vol. 133 (2). P. 346–366. DOI: 10.1037/0033-2909.133.2.346.
10. Jainta S., Kapoula Z. Dyslexic children are confronted with unstable binocular fixation while reading // PLoS one. 2011. Vol. 6 (4). DOI: 10.1371/journal.pone.0018694.
11. Shovman M.M., Ahissar M. Isolating the impact of visual perception on dyslexics' reading ability // Vision Research. 2006. Vol. 46 (20). P. 3514–3525. DOI: 10.1016/j.visres.2006.05.011.
12. Bucci M.P., Brémond-Gignac D., Kapoula Z. Latency of saccades and vergence eye movements in dyslexic children // Experimental Brain Research. 2008. Vol. 188 (1). P. 1–12. DOI: 10.1007/s00221-008-1345-5.
13. Rayner K. Eye movements and the perceptual span in beginning and skilled readers // Journal of Experimental Child Psychology. 1986. Vol. 41 (2). P. 211–236. DOI: 10.1016/0022-0965(86)90037-8.
14. Hutzler F., Wimmer H. Eye movements of dyslexic children when reading in a regular orthography // Brain and Language. 2004. Vol. 89 (1). P. 235–242. DOI: 10.1016/S0093-934X(03)00401-2/
15. Hawelka S., Gagl B., Wimmer H. A dual-route perspective on eye movements of dyslexic readers // Cognition. 2010. Vol. 115 (3). P. 367–379. DOI: 10.1016/j.cognition.2009.11.004.
16. McKeben M., Trauzettel-Klosinski S., Reinhanrd J., Duerrwaechter U., Adler M., Klosinski G. Eye movement control during single-word reading in dyslexics // Journal of Vision. 2004. Vol. 4 (5). P. 388–402. DOI: 10.1167/4.5.4.
17. Coltheart M., Rastle K., Perry C., Langdon R., Ziegler J. DRC: a dual route cascaded model of visual word recognition and reading aloud // Psychological Review. 2001. Vol. 108 (1). P. 204–256. DOI: 10.1037/0033-295X.108.1.204.
18. Pollatsek A., Reichle E.D., Rayner K. Tests of the E-Z reader model: exploring the interface between cognition and eye-movement control // Cognitive Psychology. 2006. Vol. 52 (1). P. 1–56. DOI: 10.1016/j.cogpsych.2005.06.001.
19. Legge G.E., Ahn S.J., Klitz T.S., Luebker A. Psychophysics of reading – XVI. The.visual span in normal and low vision // Vision Research. 1997. Vol. 37 (14). P. 1999–2010. DOI: 10.1016/S0042-6989(97)00017-5.
20. Inhoff A.W., Rayner K. Parafoveal word processing during eye fixations in reading: effects of word frequency // Perception & Psychophysics. 1986. Vol. 40 (6). P. 431–439. DOI: 10.3758/BF03208203.
21. Prado C., Dubois M., Valdois S. The eye movements of dyslexic children during reading and visual search: impact of the visual attention span // Vision Research. 2007. Vol. 47 (19). P. 2521–2530. DOI: 10.1016/j.visres.2007.06.001.
22. Tiadi A., Gérard C., Peyre H., Bui-Quoc E., Bucci M.P. Immaturity of visual fixations in dyslexic children // Frontiers in Human Neuroscience. 2016. Vol. 10, Feb. DOI: 10.3389/fnhum.2016.00058.
23. Masulli F., Galluccio M., Gerard C., Peyre H., Rovetta S., Bucci M.P. Effect of different font sizes and of spaces between words on eye movement performance: an eye tracker

study in dyslexic and non-dyslexic children // Vision Research. 2018. Vol. 153. P. 24–29. DOI: 10.1016/J.VISRES.2018.09.008.
24. Rayner K., Pollatsek A. The Psychology of Reading. Englewood Cliffs, NJ : Prentice Hall, 1989.
25. Eden G.F., Stein J.F., Wood H.M., Wood F.B. Differences in eye movements and reading problems in dyslexic and normal children // Vision Research. 1994. Vol. 34 (10). P. 1345–1358. DOI: 10.1016/0042-6989(94)90209-7.
26. Pavlidis G.T. Do eye movements hold the key to dyslexia? // Neuropsychologia. 1981. Vol. 19 (1). P. 57–64. DOI: 10.1016/0028-3932(81)90044-0.
27. Оганов С.Р., Корнев А.Н. Окуломоторные характеристики как показатель сформированности навыка анализа письменного текста у детей 9–11 и 12–14 лет // Специальное образование. 2017. № 3. С. 112–121
28. Безруких М.М., Иванов В.В. Движения глаз в процессе чтения как показатель сформированности навыка // Физиология человека. 2013. № 1 (39). С. 83–93
29. Holmqvist K., Andersson R. Eye tracking: a comprehensive guide to methods, paradigms, and measures. 2nd ed. CreateSpace Independent Publishing Platform, 2017.
30. Ehri L.C. Learning to read words: theory, findings, and issues // Sci. Stud. Read. 2005. Vol. 9. P. 167–188. DOI: 10.1207/s1532799xssr0902_4.
31. Hautala J., Aro M., Eklund K., Lerkkanen M.-K., Lyytinen H. The role of letters and syllables in typical and dysfluent reading in a transparent orthography // Read. Writ. 2012. Vol. 26. P. 845–864. DOI: 10.1007/s11145-012-9394-3.
32. Scheerer-Neumann G. The utilization of intraword structure in poor readers: experimental evidence and a training program // Psychol. Res. 1981. Vol. 43. P. 155–178. DOI: 10.1007/BF00309827.
33. Rubin E. Visuell Wahrgenommene Figuren: Studien in psychologischer Analyse. Kobenhaven : Gyldendalske boghandel, 1921
34. Wertheimer M. Untersuchungen zur Lehre von der Gestalt, II // Psychologische Forschung. 1923. Vol. 4. P. 301–350.
35. Pinna B., Shelepin E.Y., Deiana K. Chromatic accentuation in dyslexia: Useful implications for effective assistive technology // Video and Audio Signal Processing in the context of Neurotechnology : IEEE international symposium, SPCN 2016. St.-Petersburg, Russia, 2016. P. 34–36.

Поступила в редакцию 08.04.2019 г.; повторно 06.06.2019 г.; принята 06.06.2019 г.

Защиринская Оксана Владимировна – доктор психологических наук, доцент кафедры педагогики и педагогической психологии Санкт-Петербургского государственного университета.
E-mail: zaoks@mail.ru
Скуратова Ксения Андреевна – научный сотрудник Института физиологии им. И.П. Павлова Российской академии наук.
E-mail: k.a.skuratova@gmail.com
Шелепин Евгений Юрьевич – научный сотрудник Института физиологии им. И.П. Павлова Российской академии наук.
E-mail: ShelepinEY@infran.ru

For citation: Zashchirinskaya, O.V., Skuratova, K.A., Shelepin, E.Yu. Specifics of Children's Oculomotor Activity while Reading Texts with Various Visual Formatting. *Sibirskiy Psikhologicheskiy Zhurnal – Siberian journal of psychology.* 2019; 73: 141–158. doi: 10.17223/17267080/73/9. In Russian. English Summary

Specifics of Children's Oculomotor Activity while Reading Texts with Various Visual Formatting

O.V. Zashchirinskaya[a], K.A. Skuratova[b], E.Yu. Shelepin[b]

[a] *Saint-Petersburg State University, 7/9 Universitetskaiya Emb., St.-Petersburg, 199034, Russian Federation*
[b] *Pavlov Institute of Physiology, Russian Academy of Sciences, 6 Makarova Emb., St.-Petersburg, 199034, Russian Federation*

Abstract

Currently, eye movements during the reading process are viewed as a reflection of complex cognitive processes associated with the perception of the text, its semantic analysis and information processing, that is, as an indicator of human cognitive processes.

Difficulties in learning, that children encounter, are often correlated not only by imperfect cognitive abilities, but also by the lack of visual perception. It is noted that visual perception is one of the most sensitive and integrative indicators for evaluating the development of a young child in a primary school, and the deficit of the visual perception maturation has the greatest impact on the process of learning how to read. At the same time, immaturity of the visual perception as a whole and its individual components creates specific learning problems.

The purpose of the study was to identify the parameters of the oculomotor activity, which indicate the development of reading skills. The task was to find the most optimal visual format for displaying a text.

The study involved 95 second grade students: 55 children without reading disabilities and 40 children with dyslexia. Subjects were given a task to read out loud stimuli texts. A total of five stimuli were used, the volume of each was around 55 words: standard text, illustrated text, text on a black background, text with syllables highlighted in colour, text with a shortened line length. In the process of reading, eye movements were recorded.

The study revealed statistically significant differences in the spatial-temporal parameters of the oculomotor activity of children with dyslexia and children without reading disabilities. Second grade students with dyslexia are characterized by a greater number of fixations, a smaller amplitude of saccades and a larger ratio of regressive saccades to progressive ones. The data obtained allows to judge that children with dyslexia utilize a sublexical reading route and are at the stage of a syllable-reading. Second grade students without any reading disabilities, on the contrary, show the development of synthetic reading and mastering of the lexical reading route.

Illustrated text is shown to be less effective for reading; illustrations act as an additional distractor and interfere with the readers who have poorly developed reading skills. The segmentation into syllables, on the contrary, improves the quality of reading. Since children with dyslexia have difficulties in recoding syllable units and synthetic reading, the recognition of complete words for them is inefficient and requires more cognitive resources, which slows down reading and negatively affects reading comprehension. One of the effective ways to segment into syllables is to highlight them with the colour based on the similarity principle of gestaltism.

Keywords: reading skill; dyslexia; eye movements; oculomotor activity; fixations; saccade amplitude; regressive saccades.

References

1. Kornev, A.N. & Ishimova, O.A. (2010) *Metodika diagnostiki disleksii u detey* [A technique for diagnosing dyslexia in children]. St. Petersburg: Izd-vo Politekhn. un-ta.
2. Trauzettel-Klosinski, S., Koitzsch, A.M., Dürrwächter, U., Sokolov, A.N., Reinhard, J. & Klosinski, G. (2010) Eye movements in german-speaking children with and without dyslexia when reading aloud. *Acta Ophthalmologica*. 88(6). pp. 681–691. DOI: 10.1111/j.1755-3768.2009.01523.x

3. Zoccolotti, P., De Luca, M., Marinelli, C.V. & Spinelli, D. (2014) Modeling individual differences in text reading fluency: a different pattern of predictors for typically developing and dyslexic readers. *Frontiers in Psychology*. 5. DOI: 10.3389/fpsyg.2014.01374
4. Migurskaya, A.A. (2012) Sravnitel'nyy analiz urovney ponimaniya chitaemogo u mladshikh shkol'nikov s disleksiey i bez narusheniy chteniya [A comparative analysis of reading comprehension levels in primary school students with dyslexia and without reading disorders]. *Vestnik Cherepovetskogo gosu-darstvennogo universiteta*. 3(41). pp. 166–169
5. Vellutino, F.R. & Fletcher, J.M. (2005) Developmental dyslexia. In: Snowling, M.J. & Hulme, C. (eds) *The Science of Reading*. Oxford: Blackwell Publishing.
6. Snowling, M.J. (2006) Language skills and learning to read: the dyslexia spectrum. In: Snowling, M.J. & Stackhouse, J. (eds) *Dyslexia – Speech and Language*. Chichester: Whurr Publishers. pp. 1–14.
7. Pennington, B.F. (2009) How neuropsychology informs our understanding of developmental disorders. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*. 50(1-2). pp. 72–78. DOI: 10.1111/j.1469-7610.2008.01977.x
8. Ramus, F. & Ahissar, M. (2012) Developmental dyslexia: the difficulties of interpreting poor performance, and the importance of normal performance. *Cognitive Neuropsychology*. 29(1-2). pp. 104–122. DOI: 10.1080/02643294.2012.677420
9. Boden, C. & Giaschi, D. (2007) M-stream deficits and reading-related visual processes in developmental dyslexia. *Psychological Bulletin*. 133(2). pp. 346–366. DOI: 10.1037/0033-2909.133.2.346
10. Jainta, S. & Kapoula, Z. (2011) Dyslexic children are confronted with unstable binocular fixation while reading. *PLoS one*. 6(4). DOI: 10.1371/journal.pone.0018694
11. Shovman, M.M. & Ahissar, M. (2006) Isolating the impact of visual perception on dyslexics' reading ability. *Vision Research*. 46(20). pp. 3514–3525. DOI: 10.1016/j.visres.2006.05.011
12. Bucci, M.P., Brémond-Gignac, D. & Kapoula, Z. (2008) Latency of saccades and vergence eye movements in dyslexic children. *Experimental Brain Research*. 188(1). pp. 1–12. DOI: 10.1007/s00221-008-1345-5
13. Rayner, K. (1986) Eye movements and the perceptual span in beginning and skilled readers. *Journal of Experimental Child Psychology*. 41(2). pp. 211–236. DOI: 10.1016/0022-0965(86)90037-8
14. Hutzler, F. & Wimmer, H. (2004) Eye movements of dyslexic children when reading in a regular orthography. *Brain and Language*. 89(1). pp. 235–242. DOI: 10.1016/S0093-934X(03)00401-2/
15. Hawelka, S., Gagl, B. & Wimmer, H. (2010) A dual-route perspective on eye movements of dyslexic readers. *Cognition*. 115(3). pp. 367–379. DOI: 10.1016/j.cognition.2009.11.004
16. McKeben, M., Trauzettel-Klosinski, S., Reinhanrd, J., Duerrwaechter, U., Adler, M. & Klosinski, G. (2004) Eye movement control during single-word reading in dyslexics. *Journal of Vision*. 4(5). pp. 388–402. DOI: 10.1167/4.5.4
17. Coltheart, M., Rastle, K., Perry, C., Langdon, R. & Ziegler, J. (2001) DRC: a dual route cascaded model of visual word recognition and reading aloud. *Psychological Review*. 108(1). pp. 204–256. DOI: 10.1037/0033-295X.108.1.204
18. Pollatsek, A., Reichle, E.D. & Rayner, K. (2006) Tests of the E-Z reader model: exploring the interface between cognition and eye-movement control. *Cognitive Psychology*. 52(1). pp. 1–56. DOI: 10.1016/j.cogpsych.2005.06.001
19. Legge, G.E., Ahn, S.J., Klitz, T.S. & Luebker, A. (1997) Psychophysics of reading – XVI. The.visual span in normal and low vision. *Vision Research*. 37(14). pp. 1999–2010. DOI: 10.1016/S0042-6989(97)00017-5
20. Inhoff, A.W. & Rayner, K. (1986) Parafoveal word processing during eye fixations in reading: effects of word frequency. *Perception & Psychophysics*. 40(6). pp. 431–439. DOI: 10.3758/BF03208203
21. Prado, C., Dubois, M. & Valdois, S. (2007) The eye movements of dyslexic children during reading and visual search: impact of the visual attention span. *Vision Research*. 47(19). pp. 2521–2530. DOI: 10.1016/j.visres.2007.06.001

22. Tiadi, A., Gérard, C., Peyre, H., Bui-Quoc, E. & Bucci, M.P. (2016) Immaturity of visual fixations in dyslexic children. *Frontiers in Human Neuroscience*. 10. DOI: 10.3389/fnhum.2016.00058
23. Masulli, F., Galluccio, M., Gerard, C., Peyre, H., Rovetta, S. & Bucci, M.P. (2018) Effect of different font sizes and of spaces between words on eye movement performance: an eye tracker study in dyslexic and non-dyslexic children. *Vision Research*. 153. pp. 24–29. DOI: 10.1016/J.VISRES.2018.09.008
24. Rayner, K. & Pollatsek, A. (1989) *The Psychology of Reading*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
25. Eden, G.F., Stein, J.F., Wood, H.M. & Wood, F.B. (1994) Differences in eye movements and reading problems in dyslexic and normal children. *Vision Research*. 34(10). pp. 1345–1358. DOI: 10.1016/0042-6989(94)90209-7
26. Pavlidis, G.T. (1981) Do eye movements hold the key to dyslexia? *Neuropsychologia*. 19(1). pp. 57–64. DOI: 10.1016/0028-3932(81)90044-0
27. Oganov, S.R. & Kornev, A.N. (2017) Okulomotornye kharakteristiki kak pokazatel' sformirovannosti navyka analiza pis'mennogo teksta u detey 9–11 i 12–14 let [Oculomotor characteristics as an indicator of the formation of written text analysis skills in children 9–11 and 12–14]. *Spetsial'noe obrazovanie – Special Education.* 3. pp. 112–121
28. Bezrukikh, M.M. & Ivanov, V.V. (2013) Dvizheniya glaz v protsesse chteniya kak pokazatel' sformirovannosti navyka [Eye movements during reading as an indicator of skill formation]. *Fiziologiya cheloveka*. 1(39). pp. 83–93.
29. Holmqvist, K. & Andersson, R. (2017) *Eye tracking: a comprehensive guide to methods, paradigms, and measures*. 2nd ed. CreateSpace Independent Publishing Platform.
30. Ehri, L.C. (2005) Learning to read words: theory, findings, and issues. *Scientific Studies of Reading*. 9. pp. 167–188. DOI: 10.1207/s1532799xssr0902_4
31. Hautala, J., Aro, M., Eklund, K., Lerkkanen, M.-K & Lyytinen, H. (2012) The role of letters and syllables in typical and dysfluent reading in a transparent orthography. *Reading and Writing*. 26. pp. 845–864. DOI: 10.1007/s11145-012-9394-3
32. Scheerer-Neumann, G. (1981) The utilization of intraword structure in poor readers: experimental evidence and a training program. *Psychological Research*. 43. pp. 155–178. DOI: 10.1007/BF00309827
33. Rubin, E. (1921) *Visuell Wahrgenommene Figuren: Studien in psychologischer Analyse*. Kobenhaven Gyldendalske boghandel.
34. Wertheimer, M. (1923) Untersuchungen zur Lehre von der Gestalt, II. *Psychologische Forschung*. 4. pp. 301–350.
35. Pinna, B., Shelepin, E.Y. & Deiana, K. (2016) Chromatic accentuation in dyslexia: Useful implications for effective assistive technology. *Video and Audio Signal Processing in the context of Neurotechnology: IEEE international symposium*. SPCN 2016. St.-Petersburg, Russia. pp. 34–36.

Received 08.04.2019; Revised 06.06.2019;
Accepted 06.06.2019

Oksana V. Zashchirinskaya – Associate Professor, Department of Pedagogy and Educational Psychology, St.-Petersburg State University. D. Sc. (Psychol.).
E-mail: zaoks@mail.ru
Kseniya A. Skuratova – Researcher, Pavlov Institute of Physiology, Russian Academy of Sciences.
E-mail: k.a.skuratova@gmail.com
Evgenij Yu. Shelepin – Researcher, Pavlov Institute of Physiology, Russian Academy of Sciences.
E-mail: ShelepinEY@infran.ru