

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ОРГАНИЗМА ПРИ ЧТЕНИИ УЧЕБНОГО ТЕКСТА И ЕГО ЗАВИСИМОСТЬ ОТ СФОРМИРОВАННОСТИ НАВЫКА У ПОДРОСТКОВ

Комкова Ю.Н.^{1*}, Рябкова Т.С.²

¹ФГБНУ Институт развития, здоровья и адаптации ребенка

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

e-mail: *julie.komkova@gmail.com

АННОТАЦИЯ. Исследовано функциональное состояние организма по параметрам вариабельности ритма сердца (ВРС) у подростков 15 лет ($n=22$, 63.6%-девочки) при чтении сложного текста. На основании комплекса объективных показателей окулomotorной активности (ОМА) выделены группы с различным уровнем сформированности навыка (1 группа – высокий, 2 группа – низкий).

Анализ вегетативной нервной реакции подростков свидетельствует о том, что чтение продолжает оставаться сложной когнитивной задачей.

Выявлена высокая вариабельность показателей ВРС при выполнении сложной когнитивной задачи. Подростки с менее сформированным навыком чтения демонстрируют большую вариабельность.

Ключевые слова: чтение, подростки, навык чтения, вариабельность ритма сердца.

Komkova Yu. N., Ryabkova T.S.

The functional state of the body when reading an educational text and its dependence on the formation of a skill in adolescents

ABSTRACT. The functional state of the body was studied using heart rate variability (HRV) parameters in 15-year-old adolescents ($n=22$, 63.6% girls) while reading a complex text.

Based on a set of objective OMA parameters, groups with different levels of reading skills were identified (Group 1 – high, Group 2 – low).

The nature of the autonomic nervous response of adolescents indicates that reading continues to be a complex cognitive task.

High variability of HRV indices was revealed when performing a complex cognitive task. Adolescents with less developed reading skills demonstrate high variability.

Keywords: reading, adolescence, reading skill, heart rate variability.

По мере роста количества и качества цифрового чтения возникает необходимость в расширении знаний о навыках и процессах, связанных с чтением, и в понимании того, как чтение цифрового текста влияет

на адаптивные возможности, особенно в критические периоды развития. Один из таких этапов – подростковый возраст, который характеризуется напряжением нейрогуморальных и гормональных механизмов регуляции [28]. В этот период происходят важные функциональные и структурные изменения, в ходе которых наблюдается высокий уровень восприимчивости головного мозга к внешним раздражителям. В силу того, что сегодняшние подростки овладевают новым форматом чтения стихийно и школа практически не имеет отношения к становлению этого навыка [5], дополнительно обращает внимание на важность изучения цифрового чтения.

Многие исследователи указывают на прогностическую ценность сформированности навыка чтения в отношении успешности обучения [2, 20], при этом большинство работ сконцентрировано на изучении навыка у детей (начинающих читателей) и взрослых.

Подростковый возраст представляется важным критическим периодом не только физиологического созревания, но и когнитивного развития, в частности, формирование навыка чтения и полноценного восприятия прочитанного [6]. Как показали исследования, у подростков с низкой сформированностью навыка и низким показателем понимания текста, наблюдалась низкая частота чтения [15], «бедный» словарный запас и нехватка базовых знаний [14].

Кроме сформированности навыка чтения, понимание связано с морфосинтаксической структурой текста и его типовой принадлежностью [29]. Текст с простой синтаксической структурой позволяет подросткам делать более подробные и связанные выводы о прочитанном, понимание текста со сложными синтаксическими конструкциями, в сопровождении абстрактных слов, требует оценочных комментариев и необходимости перефразирования полученной информации [17].

Различаются и особенности функционального состояния организма подростков при чтении. Сравнительный анализ функционального состояния подростков при чтении с разного вида носителей информации выявил выраженную вегетативную реакцию при чтении с электронного устройства (ЭУ) [9]. Анализ гемодинамических параметров у студентов при чтении с бумажного и электронного носителей выявил гиперактивацию симпатической нервной системы при чтении с обоих носителей, при этом во втором случае эта активация, по мнению авторов, была вызвана повышением усталости, обусловленной, в первую оче-

редь, утомляемостью зрительного анализатора. Кроме того, при чтении с ЭУ было отмечено усиление активности парасимпатической нервной системы, наблюдаемое при возникновении трудностей с пониманием контекста предложений [10].

Изучение закономерностей развития адаптационных ресурсов у нормотипичных детей в свете возрастающей цифровизации образовательного процесса позволит составить представление об уровне функциональных возможностей приспособительных реакций в период подросткового возраста.

Всё это делает актуальным комплексное изучение этого сложного когнитивного навыка у подростков.

Цель настоящего исследования состояла в изучении и анализе функционального состояния организма подростка при чтении в зависимости от уровня сформированности навыка чтения.

Задачами исследования являлись: выявление особенностей вегетативной нервной регуляции сердечного ритма у нормотипичных подростков при чтении сложного текста с экрана ЭУ при разной степени сформированности навыка чтения, а также анализ индивидуальных вариантов оculoмоторной активности (ОМА) при разной степени сформированности навыка.

ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследовании вариабельности ритма сердца (ВРС) при чтении текста с ЭУ принимали участие 22 подростка 15 лет ($M = 15.46$, $SD = 0.44$; 63.6%-девочек, учащиеся 9 класса) с письменного согласия родителей.

Подростки-участники исследования, не имели выраженных трудностей чтения. Исследование проводилось в первой половине дня (с 9 до 13 часов).

Дизайн исследования подробно представлен и описан в ранее опубликованной работе [7].

Регистрация электрокардиограммы (ЭКГ) и обработка ВРС. Регистрация ЭКГ проводилась с каждым ребенком индивидуально, осуществлялась во II стандартном отведении с помощью прибора «Полиспектр-12» (Иваново, Россия). Одновременно с записью ЭКГ при чтении проводилась регистрация глазодвигательной активности. Для исследования автономной нервной регуляции сердечного ритма по параметрам ВРС анализировалась 3-5-минутная запись ЭКГ.

Анализ ВРС проводился в соответствии с методическими рекомендациями, разработанными группой российских авторов [1] и стандартом Европейского общества кардиологов и Северо-Американского общества электростимуляции и электрофизиологии [19]. При проведении временного анализа ВРС проводилось вычисление следующих показателей: RRNN (мс) – средняя длительность нормальных интервалов RR; SDNN (мс) – стандартное отклонение величин нормальных интервалов RR за рассматриваемый временной отрезок; RMSSD (мс) – квадратный корень из суммы квадратов разностей величин последовательных интервалов NN; pNN50% – процент NN50 (NN50 – количество пар последовательных интервалов NN, различающихся более, чем на 50 мс в течение всей записи) от общего количества последовательных интервалов, полученный за весь период записи; CV (%) – коэффициент вариации.

При проведении спектрального анализа ВРС оценивали следующие параметры спектрограммы: HF (мс²) – мощность спектра в диапазоне высоких частот (0.15 – 0.4 Гц); LF (мс²) – мощность спектра в диапазоне низких частот (0.04 – 0.15 Гц); очень низкочастотные колебания – (VLF мс²) – мощность спектра в диапазоне 0.003 – 0.04 Гц. TP (мс²) – общая мощность спектра или полный спектр частот, характеризующих ВРС. LF/HF (у.е.) – отношение низкочастотной составляющей спектра к высокочастотной. Анализировалась также частота сердечных сокращений (ЧСС, уд/мин) и индекс напряжения (ИН, у.е.).

Анализ окулomotorной активности подробно представлен в публикации [8]. В настоящей работе представлены индивидуальные варианты с целью иллюстрации зависимости функционального состояния организма и ОМА от сформированности навыка чтения.

В качестве стимульного материала был взят текст учебника «Обществознание» [4], который входит в программу изучения девятым классом. Исходные тексты были сокращены и модифицированы таким образом, чтобы в представленном материале содержалась законченная мысль. Материалы для чтения были подготовлены в соответствии с нормами СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 при чтении с экранов электронных устройств (ЭУ). Характеристики текста ранее были представлены в публикациях [7, 8]. Предложения текста в среднем содержали 17,28 слов длиной 6,61 символов; 51,68% предложений – сложные, отношение количества лемм к количеству слов составляло 96,27%. Расчет интегральных метрик сложности (удобочитаемости) текста, адаптированных

для русского языка показал: коэффициент Колемана-Лиау – 22,59 баллов, коэффициент Флеша – 10,58 баллов, коэффициент Флеша-Кинкайд – 16,42 баллов. Результаты проведенного анализа позволили считать этот текст сложным для подростков.

При определении сформированности навыка чтения мы руководствовались параметрами ОМА. Применяемый подход основан на результатах исследований, где доказана возможность использования в качестве критериев сформированности навыка чтения у детей пространственно-временных параметров ОМА [3]. Разделение по навыку (1-высокий, 2-низкий) происходило по ряду глазодвигательных показателей, к которым относились регрессии, прогрессивные фиксации, амплитуда, скорость чтения и количество фиксаций на слово. Каждому из оценочных показателей присваивались баллы (1, 2 или 3), которые в дальнейшем суммировались и формировался итоговый балл. На основании итогового балла формировались группы сравнения: группа 1 (высокий навык) — 10 баллов и выше; группа 2 (низкий навык) – менее 10 баллов.

Статистическая обработка. Для проверки статистических гипотез исследования использовался дисперсионный анализ (ANOVA). Статистическая оценка групповых различий временных и спектральных показателей ВРС, описанных выше, осуществлялась с помощью с помощью критерия Уилкоксона. Выбор данного критерия был продиктован объемом анализируемой выборки детей, а также характером распределения анализируемых переменных. Большинство анализируемых показателей сердечного ритма имело распределение отличное от нормального, вычислялись медиана (ME), и интерквартильный размах (25-й – Q1 и 75-й – Q3 квантили). Результаты статистической значимости множественных сравнений подвергались коррективке (p-values) методом контроля за false discovery rate (FDR) [12].

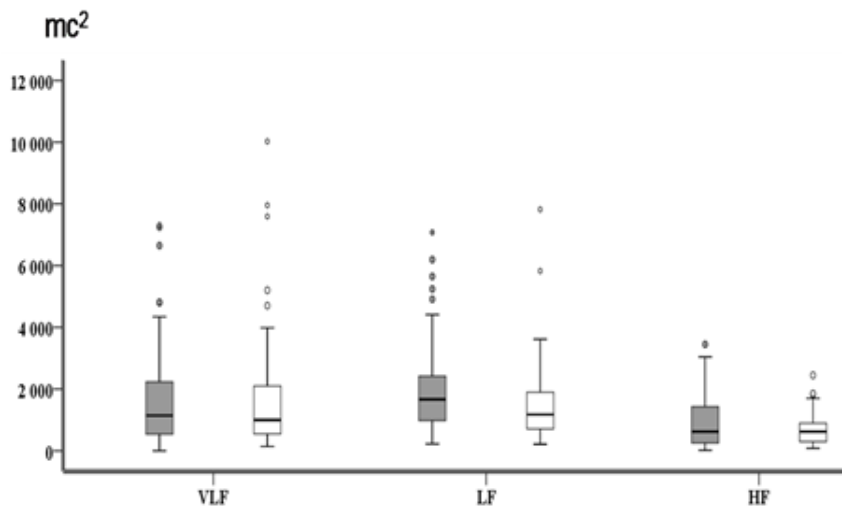
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Многогранная природа навыка чтения делает понимание чувствительным барометром общего развития чтения, особенно у детей старшего возраста. Низкий балл понимания зачастую не позволяет выявить трудности, которые этому способствуют [24]. При этом у детей с низкой степенью сформированности навыка чтения можно ожидать большую функциональную «цену».

Изолированное влияние фактора «НАВЫК ЧТЕНИЯ» наблюдалось на значения показателей: pNN50 ($F(1,146) = 4.262, p = 0.041$), LF/HF

($F(1,147) = 10.304, p = 0.002$), HF ($F(1,147) = 4.066, p = 0.046$), которые были выше у детей с высокой степенью сформированности навыка чтения (рис.1).

А



Б

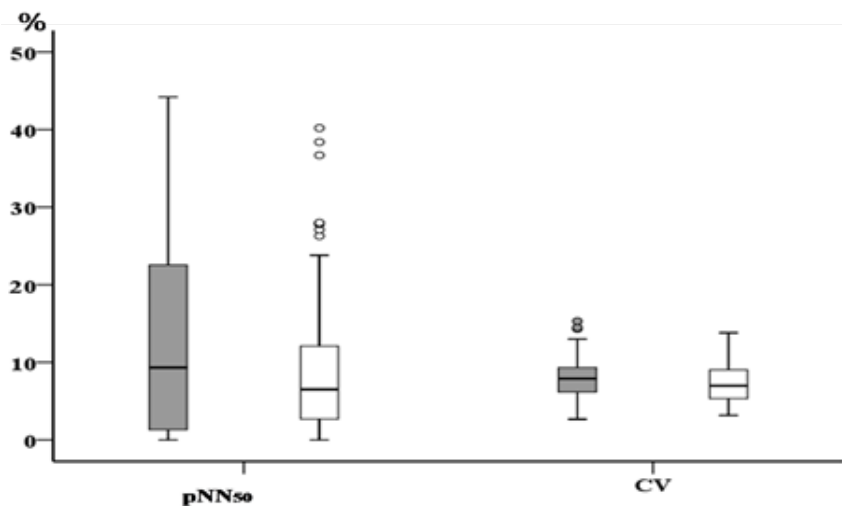


Рис.1. Спектральные (А) и временные (Б) показатели ВРС у учащихся девятых классов с разным навыком чтения.

По оси абсцисс – показатели, по оси ординат – значения. Столбики – группы исследования: темно-серые – с высоким навыком, белые – низким. Верхняя и нижняя границы каждого прямоугольника – первый и третий квартили (25-й и 75-й процентиля соответственно), горизонтальная линия внутри – медиана (50-й процентиль), концы отрезков – 10-й и 90-й процентиля, точки – индивидуальные значения в выборке.

Высокочастотный показатель спектра ритма сердца в литературе связывают с активностью парасимпатических нервной системы (ПНС). Согласно модели нейровисцеральной интеграции [27] и поливагусной теории [23] активность ПНС имеет решающее значение для поведения и познания высшего порядка за счет взаимосвязи между нервными и периферическими структурами, регулирующими поведение и физиологическое состояние [26].

Большая часть результатов исследований, представленных в литературе, сосредоточена на выводах о том, что более высокая активность ПНС в состоянии покоя часто служит признаком, подобным маркеру состояния регуляторных функций в разных контекстах [11].

В экспериментальном исследовании взрослые с высоким значением показателя HF в покое имеют более быстрое и менее изменчивое время реакции при выполнении задач по обнаружению целей [30], время реакции, на которое меньше оказывают влияние отвлекающие факторы [22], более точное выполнение задачи Струпа при наличии дополнительной когнитивной нагрузки [13] и др.

Несмотря на большое число исследований, предполагающих положительную связь между значением показателя HF в состоянии покоя и эффективностью выполнения когнитивных задач, интерпретация таких результатов довольно противоречива [31]. Один из вероятных объяснений этому является то, что активность ПНС в покое зачастую не связывают с познанием в широком смысле, а скорее с так называемыми «управляющими» процессами [16]. Так, в экспериментальном исследовании с участием взрослых отмечают взаимосвязи влияний ПНС с управляющими функциями при решении когнитивных задачах [18].

Основываясь на литературных данных, можно предположить, что преобладание значения HF у подростков с высоким уровнем навыка, по сравнению с подростками с низким навыком, может свидетельствовать о большей сформированности компонентов управляющих функций и произвольного контроля. Однако всё же это требует дальнейшего изучения, а также изучение взаимосвязей показателей ВРС с компонентами познавательного развития.

Из всего вышесказанного, в т.ч. литературных данных, предположим, что подростки с высокой степенью сформированности навыка чтения (1 группа) будут демонстрировать меньшее напряжение регулирующих систем организма при когнитивной деятельности.

В табл.1. представлена динамика изменений значений анализируемых показателей ВРС у учащихся 9 класса 1 группы при чтении сложного текста.

Как видно из таблицы при чтении отмечалось снижение спектральных показателей: VLF (покой – 520,00,00; 1510,00; 2079,00; чтение – 395,25;515,50; 724,00); LF (покой – 929,00,00; 1805,00; 2786,00; чтение- 675,25;921,50; 1637,25). Это отражалось на общей мощности, которая также снижалась TP (покой – 3042,00,00; 4395,00; 5156,00; чтение – 1391,25;1931,00; 3636,00).

Таблица 1.

Динамика изменения показателей ВРС при чтении у подростков с высоким уровнем сформированности навыка чтения (1 группа)

ПОКАЗАТЕЛИ		ЭТАП ИССЛЕДОВАНИЯ		
		покой-чтение	чтение-беседа	покой-восстановление
ВРЕМЕННЫЕ	RRNN			
	SDNN		p=0.050	
	RMSSD	p=0.124		
	pNN50			
	CV	p=0.074	p=0.045	
СПЕКТРАЛЬНЫЕ	LF/HF	p=0.102		
	TP	p=0.068	p=0.045	
	VLF	p=0.055	p=0.504	
	LF	p=0.102	p=0.045	
	HF			
	ЧСС	p=0.102		
	ИН	p=0.088	p=0.055	p=0.168

Примечание: цвет ячеек: светло-серые – рост, темно-серые – снижение, белые – без значимых изменений, p – values значимое при FDR = 0.2 коррекции на множественные сравнения.

Аналогичная динамика наблюдается и в значениях временных показателей ВРС – снижение: RMSSD (покой – 18,00; 39,00; 46,00; чтение – 14,00; 16,50; 42,50); CV (покой – 6,92; 7,58; 8,90; чтение – 5,00; 5,81; 7,22); и рост некоторых при беседе на вопросы.

На фоне снижения общей вариабельности у подростков отмечалось увеличение ЧСС (покой – 72,00; 82,50; 101,75; чтение – 75,00; 96,00; 106,00) и ИН (покой – 42,77; 58,70; 122,00; чтение – 79,90; 96,70; 285,00).

В литературе [21] снижение тонуса блуждающего нерва объясняется усилением компенсаторных возможностей. Сниженная ВРС рассматривается, как сниженная способность адаптироваться к требованиям окружающей среды и стрессовым факторам [25].

Изменения в значениях вагус-опосредованных временных и спектральных показателей ВРС можно рассматривать как один из вариантов адаптации, обеспечивающий выполнение сложной когнитивной задачи.

Наблюдаемая в настоящем исследовании такая вегетативная реакция может говорить о «значимости» даже непродолжительной (7 минутной) когнитивной нагрузки (чтение) для подростков, которая вызывает существенные изменения в функциональном состоянии регулирующих систем организма.

Восстановительный период характеризовался тем, что большинство временных и спектральных показателей возвращались к исходным значениям, при этом показатель ИН оставался выше исходного.

В табл. 2 представлена значимость различий в показателях ВРС на этапах исследования у учащихся 9 классов с низкой степенью сформированности навыка чтения.

Число анализируемых показателей ВРС при чтении у учащихся с низкой степенью сформированности навыка, которые значимо изменялись, было меньше. RNNN (покой – 656; 715,00; 747,50; чтение – 632,00; 673,50; 761,75); RMSSD (покой – 23,75; 29,00; 38,50; чтение – 16,25; 26,00; 30,50); PNN50 (покой – 1,72; 6,13; 8,90; чтение – 1,35; 4,80; 10,0722), ИН (покой – 70,57; 104,50; 149,00; чтение – 99,35; 216,50; 245,50).

Уровень *p-values* различий между показателями ВРС при чтении, у детей 2 группы был выше, по сравнению с аналогичным уровнем детей 1 группы. Это может свидетельствовать о большей вариативности и/или индивидуальных различиях в стратегиях адаптивного реагирования и вариантах вегетативной реакции при выполнении сложной когнитивной задачи.

Таблица 2

Динамика изменений показателей ВРС во время исследования у подростков с низкой степенью сформированности навыка чтения (2 группа)

ПОКАЗАТЕЛИ		ЭТАП ИССЛЕДОВАНИЯ		
		покой-чтение	чтение-беседа	покой-восстановление
ВРЕМЕННЫЕ	RRNN	p=0.135	p=0.135	
	SDNN		p=0.135	
	RMSSD	p=0.072		
	pNN50	p=0.135		
	CV		p=0.080	
СПЕКТРАЛЬНЫЕ	LF/HF			
	TP		p=0.134	
	VLF			
	LF		p=0.072	p=0.151
	HF			
	ЧСС		p=0.135	
	ИН	p=0.135	p=0.135	

Примечание: см. Табл.1.

Несмотря на, казалось бы, однонаправленную реакцию у детей с разным навыком чтения, у подростков с менее сформированным навыком чтения наблюдалась большая вариативность в анализируемых показателях ВРС, что скорее всего можно рассматривать как один из вариантов компенсаторных возможностей.

Индивидуальные варианты функционального состояния и оculoмоторной активности у подростков при чтении с экрана ЭУ

Вариации показателей оculoмоторной активности при чтении и разный характер вегетативного обеспечения этой деятельности у подростков позволяют рассмотреть индивидуальные возможности функцио-

нального реагирования при реализации когнитивной деятельности (чтение сложного текста) с учетом навыка чтения.

Текст, который читали подростки, содержал длинные предложения и сложные языковые конструкции, присущие тематике выбранного материала, что требует не только эффективного вовлечения внимания, восприятия, рабочей памяти для удержания и переработки информации, но и большого словарного запаса и опыта чтения сложных текстов. На рис.2 и рис.3 представлены фрагменты треков ОМА подростков анализируемой группы.

А. Участник продемонстрировал 60,0 % понимания, прочитав 1204 слов. Скорость чтения составила около 3 слов в секунду. В среднем, на слово совершалось 1.17 фиксации на слово. Амплитуда прогрессивных саккад составила 4.89 угл.град, длительность 239,73 мс. Процент переходов на новую строку, включающий дополнительную корректирующую саккаду, составил 40,14. Длительность предстроковых фиксаций – 230,07 мс. Совершено 194 регрессий, амплитуда – 5,23 угл.град. Анализируемая ОМА характеризовалось большим числом перечитываний, преимущественно связанные с уточнением синтаксических конструкций.

Анализ ВРС выявил выраженную вегетативную реакцию, характеризующуюся значительным снижением общей мощности (с 4631 до 1738) за счет гуморально-метаболических, симпатических и парасимпатических влияний. При этом отмечается увеличение ИН (с 81,3 до 131 у.е.). В период восстановления большинство анализируемых показателей возвращалось к исходным значениям. Такая вегетативная реакция может свидетельствовать о значительном функциональном напряжении регулирующих систем при чтении и достаточно быстром восстановлении.

Б. Другой участник исследования продемонстрировал 50,0% понимания. Прочитал 998 слов. Скорость чтения составила около 2,4 слов в секунду. В среднем, на слово совершается 1.71 фиксации на слово. Амплитуда прогрессивных саккад составила 4,83 угл.град, длительность 212,09 мс. 74,44 % переходов на новую строку включали дополнительную корректирующую саккаду. Длительность предстроковых фиксаций составила 226,73 мс, совершено регрессий – 259, амплитуда регрессий 4,37 угл.град. Перечитывания преимущественно связаны с длинными словами и уточнениями предлогов и/или окончаний предыдущего слова.

Анализ ВРС, зарегистрированной при чтении, показал значительный рост значения общей мощности за счет гуморально-метаболических

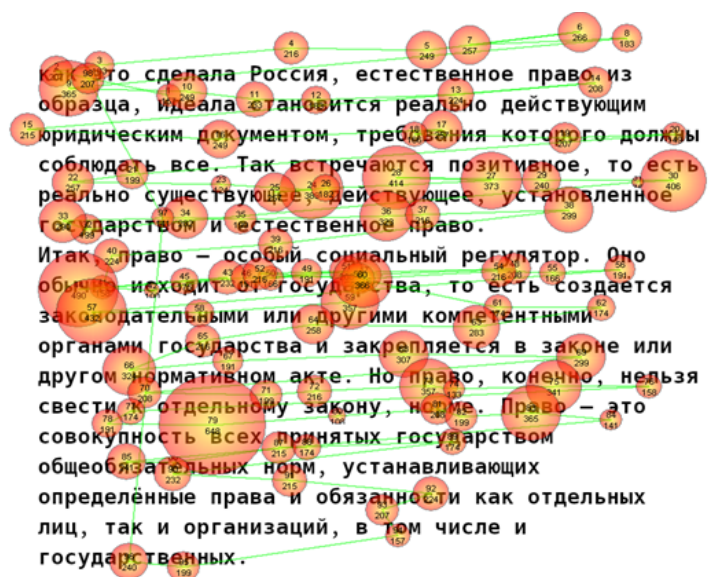


Рис.2. Фрагмент трека движений глаз подростка с высоким уровнем сформированности навыка чтения. (Девочка, 15 л)

влияний (VLF), вклад которых значительно увеличился (в 5 раз). Из временных показателей отмечается незначительный прирост значения временного показателя SDNN. В период восстановления большинство показателей возвращалось к исходным значениям.

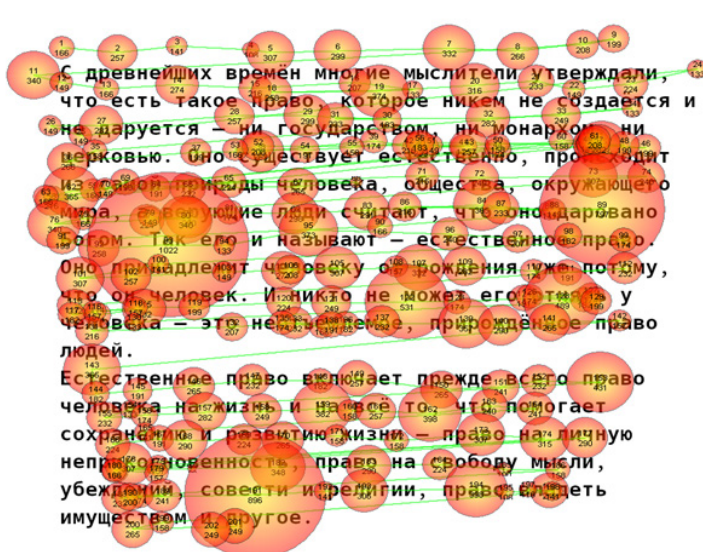


Рис. 3. Фрагмент трека движений глаз подростка с низким уровнем сформированности навыка чтения. (Мальчик, 15 л)

Приведенный анализ индивидуальных данных свидетельствуют о разной степени сформированности навыка чтения у подростков. Наблюдаемые вариации вегетативной нервной реакции могут говорить о высокой степени индивидуальности адаптационного реагирования и регуляции на когнитивную нагрузку.

ВЫВОДЫ

1. Направленность изменений показателей вегетативной регуляции сердечного ритма при чтении сложного текста у подростков 15 лет свидетельствует о напряжении регулирующих систем – снижение общей вариабельности ритма сердца, повышение индекса напряжения.

2. Характер вегетативной нервной реакции у подростков свидетельствует о том, что чтение продолжает оставаться сложной когнитивной задачей для детей этого возраста.

3. Высокая вариативность вегетативной нервной реакции подростков при чтении учебного текста. Подростки с менее сформированным навыком чтения демонстрируют большую вариативность.

4. Знание особенностей сформированности навыка чтения, характере вегетативной реакции у подростков при цифровом чтении имеет важную прогностическую ценность для выявления напряжения регулирующих систем, что позволит минимизировать риски дезадаптации при систематическом обучении.

Этические нормы. Все исследования проведены в соответствии с принципами биомедицинской этики, сформулированными в Хельсинкской декларации 1964 г. и ее последующих обновлениях, и одобрены Комитетом по биоэтике ФГБНУ «ИРЗАР».

Информированное согласие. Перед началом исследования родитель каждого участника представил добровольное письменное информированное согласие, подписанное им после разъяснения ему потенциальных рисков и преимуществ, а также характера предстоящего исследования.

Источник финансирования. Настоящая работа выполнена за счет средств, выделяемых для выполнения государственного задания.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баевский Р.М., Иванов Г.Г., Гаврилушкин А.П. и др. Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (часть 1) // Вестник аритмологии. – 2002. – № 24. – С. 65-86.
2. Безруких М.М. Трудности обучения в начальной школе. Причины диагностики, комплексная помощь. М.: Диалог-Медиа. –2023. –500 с.
3. Безруких М.М., Иванов В.В. Окуломоторная активность при чтении у детей с разной степенью сформированности навыка сообщения 1. Особенности окуломоторной активности у хорошо и плохо читающих детей 6-7 лет // Новые исследования. – 2014. – Т. 41. № 4. – С. 67.
4. Боголюбов Л.Н. и др. Обществознание. 9 класс: учеб. для общеобразоват. организаций. М.: Просвещение. –2021. –224 с.
5. Борисенко Н.А., Миронова К.В., Шишкова С.В., Граник Г.Г. Особенности цифрового чтения современных подростков: результаты теоретико-эмпирического исследования // Science for Education Today. – 2020. – Т.10, № 5. – С.28-49. DOI: 10.15293/2658-6762.2005.02.
6. Иванов В.В. Особенности глазодвигательной активности при чтении текста с различных устройств отображения информации у подростков 15-16 лет // Новые исследования. – 2018. – № 3-4(56). – С.13-22.
7. Комкова Ю.Н., Безруких М.М., Бабанова К.Ю. и др. Глазодвигательная активность и вегетативное обеспечение когнитивной деятельности при чтении у подростков. Часть I. Функциональная “цена” когнитивной деятельности при чтении текста с экрана электронного устройства у подростков // Физиология человека. 2024. – Т. 50, № 2. – С. 57-69.
8. Комкова Ю.Н., Безруких М.М., Рябкова Т.С., Бабанова К.Ю. Глазодвигательная активность и вегетативное обеспечение когнитивной деятельности при чтении у подростков. Часть II. Окуломоторная активность при чтении и ее зависимость от сформированности навыка и понимания текста у подростков // Физиология человека. 2025. Т.51. № 2. С. 29-42.
9. Кучма В.Р., Текшева Л.М., Вятлева О.А., Курганский А.М. Физиолого-гигиеническая оценка восприятия информации с электронного устройства для чтения (ридера) // Гигиена и санитария. – 2013. – Т. 92, № 1. – С. 22-26
10. Bando S., Asano H., Nozawa A. Analysis of Physiological Effect of Reading Books by Paper and Electronic Medium // Electronics and Communications in Japan. – 2017. – V. 100, №. 5. – P. 44-50.
11. Beauchaine T.P., Thayer J.F. Heart rate variability as a transdiagnostic biomarker of psychopathology // International journal of psychophysiology. –2025. – V. 98, № 2. – P. 338-350.
12. Benjamini Y, Hochberg Y. Controlling the false discovery rate: a practical and powerful approach to multiple testing // J R Stat Soc Ser B Methodol. –1995. –V. 57, №. 1. – P. 289-300.

13. Capuana L.J., Dywan J., Tays W.J., Factors influencing the role of cardiac autonomic regulation in the service of cognitive control // *Biological psychology*. – 2014. – V.102, № 11. – P. 88-97.
14. Cromley J.G., Azevedo R. Testing and refining the Direct and Inferential Mediation model of reading comprehension // *Journal of Educational Psychology*. 2007. – V. 99. – P. 311-325.
15. Duncan L.G., McGeown S.P., Griffiths Y.M. et al. Adolescent reading skill and engagement with digital and traditional literacies as predictors of reading comprehension // *British Journal of Psychology*. – 2015. – V. 107, № 2. – P. 209-238.
16. Kimhy D., Crowley O.V., McKinley P.S. et al. The association of cardiac vagal control and executive functioning—findings from the MIDUS study // *Journal of psychiatric research*. – 2013. – V. 47, № 5. – P. 628-635.
17. Kraal A., Koornneef A., Saab N., van den Broek P. Processing of expository and narrative texts by low- and high-comprehending children // *Read Writ*. – 2018. Vol. 31, № 2. – P. 2017-2040.
18. Luque-Casado A., Perales J.C., Cárdenas D., Sanabria D. Heart rate variability and cognitive processing: the autonomic response to task demands // *Biological psychology*. – 2016. – V. 113, № 10. – P. 83-90.
19. Malik M. Heart rate variability. Standards of Measurement, Physiological interpretation and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology // *Circulation*. – 1996. – V. 93, № 5. – P. 1043-1065.
20. McLaughlin MJ, Speirs KE, Shenassa ED. Reading disability and adult attained education and income: a 30-year longitudinal study of a population-based sample // *J Learn Disabil*. – 2014. V. 47. – P. 374-86.
21. Mizuno K., Tanaka M., Yamaguti K. et all. Mental fatigue caused by prolonged cognitive load associated with sympathetic hyperactivity // *Behav Brain Funct*. 2011. – V.7. P. 17.
22. Park G., Vasey M.W., Van Bavel J.J., Thayer J.F. Cardiac vagal tone is correlated with selective attention to neutral distractors under load // *Psychophysiology*. – 2013. – V. 50, № 4. – P. 98-406.
23. Porges S. The polyvagal theory: New insights into adaptive reactions of the autonomic nervous system // *Cleve Clin J Med*. – 2009. – 76(Suppl 2). – S86-S90.
24. 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. 241-255.
25. Shaffer F., McCraty R., Zerr C.L.. A healthy heart is not a metronome: an integrative review of the heart's anatomy and heart rate variability// *Front Psychol*. 2014. –V.5. – P. 1040.
26. Smith R, Thayer J.F, Khalsa S.S, Lane R.D. The hierarchical basis of neurovisceral integration // *Neurosci Biobehav Rev*. – 2017. – V. 75. – P. 274-296.

27. Thayer J.F., Lane R.D. Claude Bernard and the heart–brain connection: Further elaboration of a model of neurovisceral integration // *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. –2009. – V.33, № 2. – P. 81-88.
28. Van De Wielle R., Michels N. Longitudinal Associations of Leptin and Adiponectin with Heart Rate Variability in Children // *Front Physiol.* – 2017. – V. 8. – P. 498.
29. Van den Broek P. Using texts in science education: cognitive processes and knowledge representation // *Science*. – 2010. – V. 328. – P. 453-456.
30. Weissman D.G., Mendes W.B. Correlation of sympathetic and parasympathetic nervous system activity during rest and acute stress tasks // *J Psychophysiol.* – 2021. – V.162. – P. 60-68.
31. Zahn, D., Adams, J., Krohn, J., Wenzel, M., Mann, C. G., Gomille, L. K., et al. (2016). Heart rate variability and self-control-A meta-analysis. *Biol. Psychol.* -2016. – V.115. P. 9-26.

REFERENCES

1. Baevskij R.M., Ivanov G.G., Gavrilushkin A.P. i dr. Dovgalevskij P.Ya., Kukushkin Yu.A., Mironova T.F., Priluckij D.A., Semenov A.V., Fedorov V.F., Flejshman A.N., Medvedev M.M., Chirejkin L.V. Analiz variabel'nosti serdechnogo ritma pri ispol'zovanii razlichnyh elektrokardiograficheskikh sistem (chast' 1) // *Vestnik aritmologii*. – 2002. – № 24. – S. 65-86.
2. Bezrukih M.M. Trudnosti obucheniya v nachal'noj shkole. Prichiny diagnostika, kompleksnaya pomoshch'. M.: Dialog-Media. –2023. –500 s.
3. Bezrukih M.M., Ivanov V.V. Okulomotornaya aktivnost' pri chtenii u detej s raznoj stepen'yu sformirovannosti navyka soobshchenie 1. Osobennosti okulomotornoj aktivnosti u horosho i ploho chitayushchih detej 6-7 let // *Novye issledovaniya*. – 2014. – T. 41. № 4. – S. 67.
4. Bogolyubov L.N. i dr. Obshchestvoznaniye. 9 klass: ucheb. dlya obshcheobrazovat. organizacij. M.: Prosveshchenie. –2021. –224 s.
5. Borisenko N.A., Mironova K.V., Shishkova S.V., Granik G.G. Osobennosti cifrovogo chteniya sovremennyh podrostkov: rezul'taty teoretiko-empiricheskogo issledovaniya // *Science for Education Today*. – 2020. – T.10, № 5. – S.28-49. DOI: 10.15293/2658-6762.2005.02.
6. Ivanov V.V. Osobennosti glazodvigatel'noj aktivnosti pri chtenii teksta s razlichnyh ustroystv otobrazheniya informacii u podrostkov 15-16 let // *Novye issledovaniya*. – 2018. – № 3-4(56). – S.13-22.
7. Komkova Yu.N., Bezrukih M.M., Babanova K.Yu. i dr. Glazodvigatel'naya aktivnost' i vegetativnoe obespechenie kognitivnoj deyatel'nosti pri chtenii u podrostkov. Chast' I. Funkcional'naya "cena" kognitivnoj deyatel'nosti pri chtenii teksta s ekrana elektronnoho ustrojstva u podrostkov // *Fiziologiya cheloveka*. 2024. – T. 50, № 2. – C. 57-69.

8. Komkova Yu.N., Bezrukih M.M., Ryabkova T.S., Babanova K.Yu. Glazodvigatel'naya aktivnost' i vegetativnoe obespechenie kognitivnoj deyatel'nosti pri chtenii u podrostkov. Chast' II. Okulomotornaya aktivnost' pri chtenii i ee zavisimost' ot sformirovannosti navyka i ponimaniya teksta u podrostkov // Fiziologiya cheloveka. 2025. T.51. No 2. S. 29-42.

9. Kuchma V.R., Teksheva L.M., Vyatleva O.A., Kurganskij A.M. Fiziologo-gigienicheskaya ocenka vospriyatiya informacii s elektronnoho ustrojstva dlya chteniya (ridera) // Gigiena i sanitariya. – 2013. – T. 92, № 1. – S. 22-26.