

ИЗУЧЕНИЕ МОЗГОВЫХ МЕХАНИЗМОВ ДИСГРАФИИ МЕТОДОМ КОГНИТИВНЫХ ВЫЗВАННЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ У ДЕТЕЙ МЛАДШЕГО ШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА

Калашникова Т.П.¹, Анисимов Г.В.², Сатюкова М.О.¹

¹ ФГБОУ ВО «Пермский государственный университет им. академика Е.А. Вагнера» Минздрава России, Пермь, e-mail: Dr.Satyukova@mail.ru;

² ООО «Первый медико-педагогический центр "Лингва Бона"», Пермь, e-mail: lingva-bona@yandex.ru

Расстройство развития навыков чтения и письма у младших школьников в современном обществе является актуальной проблемой, которая имеет междисциплинарный характер. Перспективными направлениями являются изучение компонентов когнитивных вызванных потенциалов при дисграфии и определение функциональных биомаркеров этого варианта нарушения нейроразвития. Целью исследования явилось выявление особенностей восприятия и обработки сенсорной информации у учащихся 2–3-х классов общеобразовательной школы с дисграфией на основании параметров когнитивных вызванных потенциалов. В исследование включены 64 ребенка (35 мальчиков и 29 девочек) 2–3-х классов общеобразовательной школы в возрасте от 8 до 10 лет. Когнитивные вызванные потенциалы регистрировались на 16-канальном электроэнцефалографе «Нейрон-Спектр 4/Вызванные Потенциалы». Анализировались показатели латентности всех компонентов пробы Р300 – выделение вызванных потенциалов на значимые опознаваемые события – и методики Mismatch Negativity – выделение вызванных потенциалов на девиантные стимулы. Сравнивались группы детей с учетом клинического фенотипа дисграфии, пола и возраста. Полученные результаты позволили вычислить пороговые значения латентности Р3 для детей с дисграфией и расширили некоторые представления о нейрофизиологических аспектах патогенеза дисграфии, заключающихся как в нарушении сенсорного восприятия, так и в дисфункции интегративных аппаратов мозга, связанных с интерпретацией стимула и принятием решения. Таким образом, наличие искаженного восприятия сенсорных стимулов и нарушение начальных этапов их опознавания обуславливают неоптимальные последующие этапы когнитивного процесса, связанного с принятием решения. Отклонения от нормативных значений латентности поздних компонентов явились устойчивыми, что обусловило необратимость клинических проявлений дисграфии у учащихся. Девиации параметров когнитивных вызванных потенциалов были более выраженными у мальчиков.

Ключевые слова: когнитивные вызванные потенциалы, нарушение учебных навыков, дисграфия, младшие школьники, мозговые механизмы.

STUDY OF BRAIN MECHANISMS OF DYSGRAPHIA BY THE METHOD OF COGNITIVE EVOKED POTENTIALS IN CHILDREN OF PRIMARY SCHOOL AGE

Kalashnikova T.P.¹, Anisimov G.V.², Satyukova M.O.¹

¹ E.A. Wagner Perm State Medical University, Russia, Perm, e-mail: Dr.Satyukova@mail.ru

² The First Medico-pedagogical Center "Lingua Bona", Perm, Russia e-mail: lingva-bona@yandex.ru

The disorder of reading and writing skills development in primary school children in modern society is a relevant problem, which has an interdisciplinary nature. The study of components of cognitive evoked potentials in dysgraphia and determination of functional biomarkers of this variant of neurodevelopmental disorder is promising. The aim of the study was to identify the characteristics of perception and processing of sensory information in students in grades 2–3 of a comprehensive school with dysgraphia based on the parameters of cognitive evoked potentials. The study included 64 children (35 boys and 29 girls) of grades 2–3 of a comprehensive school aged 8 to 10 years. Cognitive evoked potentials were recorded on a 16-channel electroencephalograph «Neuron-Spectrum 4/Evoked Potentials». The latency indicators of all components of the P300 sample – the allocation of evoked potentials to significant identifiable events and the Mismatch Negativity method – the allocation of evoked potentials to deviant stimuli were analyzed. The groups of children were compared taking into account the clinical phenotype of dysgraphia, gender and age. The obtained results allowed us to calculate the threshold values of P3 latency for children with dysgraphia and expanded some ideas about the neurophysiological aspects of the pathogenesis of dysgraphia, consisting of both a violation of sensory perception and dysfunction of the integrative apparatus of the brain associated with the interpretation of the stimulus and decision-making. Thus, the presence of a distorted perception of sensory stimuli and a violation of the initial stages of their

recognition cause suboptimal subsequent stages of the cognitive process associated with decision-making. Deviations from the normative values of the latency of late components were stable, which determined the irreversibility of clinical manifestations of dysgraphia in students. Deviations in the parameters of cognitive evoked potentials were more pronounced in boys.

Keywords: cognitive evoked potentials, learning disabilities, dysgraphia, primary school children, brain mechanisms.

Введение. Расстройство развития навыков чтения и письма у младших школьников в современном обществе является актуальной проблемой, которая имеет междисциплинарный характер [1]. Группа детей с трудностями чтения и письма является достаточно разнородной. Нередко требуется проведение дифференциальной диагностики с выделением причин и механизмов формирования расстройства развития школьных навыков. Среди них: снижение учебной мотивации; соматическая ослабленность ребенка с нарушением объема оперативной памяти, распределения и поддержания внимания; сенсорные нарушения со снижением остроты зрения и/или слуха; различные психоневрологические заболевания с когнитивными нарушениями; темповая задержка приобретения навыков письма, имеющая преходящий характер; неадекватность программы обучения; социально-педагогическая запущенность или сверххранное обучение грамоте [2]. В то же время выделение причин и механизмов, обуславливающих расстройство развития навыков письма и чтения, определяет выбор коррекции, ее эффективность, степень учебной и социальной адаптации ребенка.

Собственно, дисграфия и дислексия обозначаются как стойкая, избирательная неспособность овладеть навыком письма/чтения, несмотря на достаточный для этого уровень интеллектуального и речевого развития, отсутствие нарушений слухового и зрительного анализаторов и наличие оптимальных условий обучения [3, с. 36]. В международной классификации болезней 10-го пересмотра (МКБ-10) дисграфия/дислексия обозначены в рубрике «Специфические расстройства развития учебных навыков (F81)» [4]. В зарубежной литературе расстройства чтения и письма нередко обозначают одним термином – «дислексия» [5]. В отечественных исследованиях доминирует дифференцированный подход к формулировке диагноза. Несмотря на то что чтение и письмо основываются на сходных нейропсихологических предпосылках, алгоритмы освоения навыков имеют некоторую специфичность [6]. Клинические наблюдения свидетельствуют о возможности изолированной дислексии или дисграфии [7].

Дисграфия/дислексия имеют нейробиологическую природу и рассматриваются как один из вариантов парциального нарушения нейроразвития. Доказаны генетическая природа нарушений, наличие структурных изменений с очагами эктопии в мозге, изменение метаболизма в стратегически важных для чтения и письма зонах [8].

Представленное исследование посвящено дисграфии. Клинический вариант дисграфии верифицируется в соответствии с характером и количеством ошибок в написанном

школьником тексте. Основой клинической классификации служит нейропсихологический подход, отражающий дисбаланс механизмов, лежащих в основе навыка [9, с. 77–91].

Понимание дисграфии как нарушения нейроразвития со стойкими девиантными структурно-функциональными паттернами ставит вопрос о поиске биомаркеров патологического состояния. Дисфункция корковых зон и реорганизация нейронных сетей обуславливают изменение ответа мозга на сенсорные стимулы [10]. В этих условиях метод когнитивных вызванных потенциалов (КВП) представляется перспективным для изучения не только процессов восприятия (ранние КВП), узнавания и запоминания (средние КВП), но и когнитивных процессов, связанных с вниманием, памятью и принятием решений (поздние КВП). В процессе исследования в реальном времени объективно фиксируются эндогенные нейродинамические функции, связанные с формированием ответной реакции мозга на стимул [11].

При этом можно выделить и изучить сигналы более слабые, чем при обычной спонтанной активности головного мозга. Параметры КВП различной модальности – стойкий феномен, сохраняющий свои количественные и качественные характеристики при повторных исследованиях. Метод является неинвазивным и безболезненным, что важно для обследования детской популяции.

В литературе имеются сведения о девиантных вариантах профилей КВП при различных заболеваниях, таких как синдром дефицита внимания и гиперактивности (СДВГ), шизофрения, навязчивые состояния, депрессия, расстройство аутистического спектра, мозговая травма, деменция [12].

Перспективными являются изучение компонентов КВП при дисграфии и определение функциональных биомаркеров этого варианта нарушения нейроразвития.

Целью исследования явилось выявление особенностей восприятия и обработки сенсорной информации у учащихся 2–3-х классов общеобразовательной школы с дисграфией на основании параметров КВП.

Материалы и методы исследования. В исследование включили 64 ребенка (35 мальчиков и 29 девочек) 2–3-х классов общеобразовательной школы в возрасте от 8 до 10 лет, обучающихся по унифицированной программе «Дети России», имеющих клинические проявления дисграфии. Средний возраст пациентов составил $9 \pm 0,71$ года. Группу контроля составили 18 здоровых детей (7 мальчиков и 11 девочек), средний возраст $9 \pm 0,20$ года. Критерии исключения: задержка психического развития (по результатам теста Векслера), другие психоневрологические заболевания, эпилептиформная активность на электроэнцефалограмме (ЭЭГ). Помимо клинического неврологического обследования и анализа тетрадей по русскому языку с выделением типа ошибок, применяли

стандартизированную методику И.Н. Садовниковой для диагностики дисграфии [13, с. 52–56]. Объективную оценку навыков чтения осуществляли по стандартизированной методике исследования навыка чтения (СМИНЧ) с вычислением коэффициента техники чтения (КТЧ) [3, с. 142–144]. Верификацию клинического варианта дисграфии осуществляли в соответствии с нейропсихологической классификацией Т.В. Ахутиной [9, с. 77–91].

КВП регистрировали на 16-канальном электроэнцефалографе «Нейрон-Спектр 4/Вызванные Потенциалы (ВП)» с использованием электродов С3 и С4, mastoидных электродов А1 и А2, заземляющим являлся электрод Fpz. Использовали серии звуковых стимулов с частотой тона для значимого 2000 Гц, для незначимого 1000 Гц с соотношением 70/30. Анализировали параметры Р300 – выделение ВП на значимые опознаваемые события – и параметры методики Mismatch Negativity (MMN) – выделение ВП на девиантные стимулы. Анализировали показатели латентности всех компонентов КВП: ранних Р1, N1, Р2, поздних N2, Р3.

Клиническое обследование и нейрофизиологические исследования авторы проводили на базе Первого медико-педагогического центра «Лингва Бона».

Статистический анализ выполнен с помощью пакета прикладных программ. Использованы описательная статистика с подсчетом медианы (Me) и квартилей (Q1;Q2). Статистическую значимость различий рассчитывали с использованием U-критерия Манна–Уитни. Различия показателей считали статистически значимыми при уровне $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение. Преобладающим клиническим вариантом дисграфии явилась регуляторная (81,3 %), реже имела место зрительно-пространственная (15,6 %), акустико-кинестетическая дисграфия изолированно отмечалась у 3,1 %. У 67 % школьников дисграфия сочеталась с дислексией.

Анализ показателей компонентов КВП выявил следующие закономерности. Доказано статистически значимое увеличение латентности компонента Р3 билатерально по методике Р300 при активном выделении девиантного стимула (табл. 1). В отведении С3-А1 латентность Р3 у детей с трудностями письма составила 374,0 [334,0; 403,25] мс, у здоровых сверстников аналогичный показатель равен 329,0 [309,5; 376,25] мс ($p = 0,027$). Та же закономерность выявлена в отведении С4-А2. Показатели латентности Р3 составили 373,5 [332,75; 403,25] мс и 327,5 [309,75; 374,75] мс соответственно в группах наблюдения ($p = 0,026$). Различий параметров по методике MMN у детей с дисграфией и без нее не выявлено.

Примечательным фактом являются различия значения латентности компонента N3 только в левых отведениях (в доминантном полушарии) со статистически значимыми высокими значениями у школьников с дисграфией. Компонент отражает заключительный этап

когнитивного процесса – произвольное внимание, дифференцировка стимула, запоминание и принятие решения.

Таблица 1

Показатели латентности КВП (мс) у детей с дисграфией и здоровых детей

	Показатель	Дети с дисграфией n=64 Me [Q1;Q3]	Здоровые дети n=18 Me [Q1;Q3]	P
MMN – отведения C3-A1	P1	66,75 [57,175;90,6]	74,1 [63,45;108,0]	0,101
	N1	114,0 [95,725;153,5]	120,0 [103,25;162,25]	0,516
	P2	166,0 [147,0;229,0]	149,0 [134,0;234,0]	0,139
	N2	231,0 [213,75;275,25]	216,5 [203,2;272,25]	0,133
	MMN	336,0 [308,25;379,25]	330,5 [305,0;362,5]	0,737
	N3	389,0 [362,75;424,25]	395,5 [369,5;416,0]	0,893
MMN – отведения C4-A2	P1	67,25 [57,5;86,925]	75,4 [67,45;110,5]	0,08
	N1	111,5 [94,5;146,0]	114,0 [99,375;172,0]	0,538
	P2	167,0 [149,75;240,0]	150,0 [134,5;227,2]	0,166
	N2	234,0 [212,0;286,5]	216,5 [208,25;281,75]	0,244
	MMN	341,0 [309,0;377,25]	325,5 [308,5;359,25]	0,453
	N3	396,5 [358,0;428,0]	391,5 [375,25;418,0]	0,568
P300 – отведения C3-A1	P1	68,2 [55,0;102,0]	76,7 [64,875;115,4]	0,321
	N1	121,0 [92,5;198,25]	129,0 [104,0;171,5]	0,827
	P2	188,0 [148,75;275,0]	157,5 [150,25;226,25]	0,28
	N2	258,5 [210,25;315,0]	211,0 [203,75;268,0]	0,125
	P3	374,0 [334,0;403,25]	329,0 [309,5;376,25]	0,027*
	N3	422,0 [388,0;457,25]	388,5 [363,75;433,0]	0,049*
P300 – отведения C4-A2	P1	66,9 [53,425;100,25]	79,75 [62,6;121,75]	0,148
	N1	116,0 [95,55;200,75]	121,5 [99,95;175,5]	0,92
	P2	189,0 [153,0;269,25]	161,0 [154,25;223,0]	0,203
	N2	255,0 [216,25;326,25]	219,0 [206,25;260,5]	0,092
	P3	373,5 [332,75;403,25]	327,5 [309,75;374,75]	0,026*

	N3	423,5 [389,0;455,5]	400,5 [363,5;449,25]	0,224
--	----	---------------------	----------------------	-------

Примечание: составлено авторами; * – статистически значимые различия между группами ($p < 0,05$).

Далее авторами проанализированы особенности КВП в зависимости от вида дисграфии, пола и возраста.

Наиболее неблагоприятным вариантом по параметрам КВП оказалась регуляторная дисграфия. Типичными для этого клинического фенотипа по сравнению с группой здоровых сверстников явились удлинение латентности как ранних, так и поздних компонентов КВП и их связь с латерализацией полушарий (рис. 1). При регуляторной дисграфии удлинялись процессы, связанные с восприятием звукового стимула (ранний компонент P1) справа и началом опознавания стимула тоже справа (поздний компонент N2); считается, что последний нейрофизиологический параметр отражает опознавание стимула в височных отделах и связан с деятельностью ассоциативных полей теменных долей. При этом билатерально выявлено увеличение латентности P3 у учащихся с регуляторной дисграфией по сравнению со здоровыми детьми, что отражает нейрофизиологическую динамику когнитивных процессов при направленном внимании.

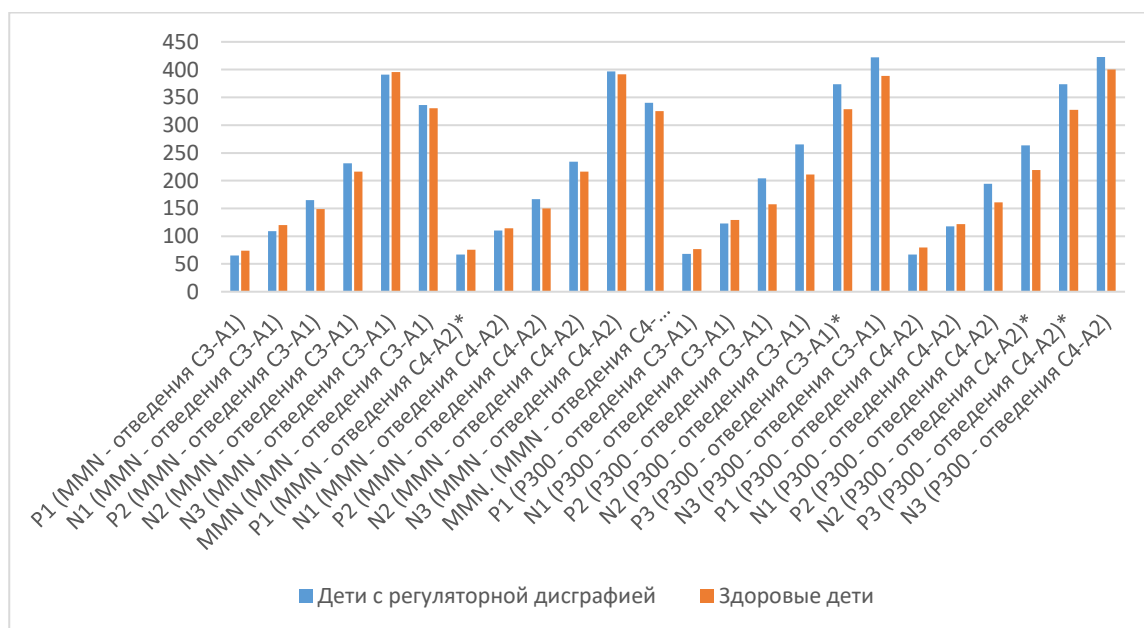


Рис. 1. Показатели латентности КВП (мс) у детей с регуляторной дисграфией и здоровых детей

Примечание. Составлено авторами. * – статистически значимые различия между группами ($p < 0,05$).

Выявлены особенности компонентов КВП при акустико-кинестетической дисграфии. Этих пациентов от здоровых детей и школьников со зрительно-пространственной дисграфией отличали статистически значимые высокие значения латентности компонента N1 в обоих полушариях. Полученный результат демонстрирует дисфункцию уже на этапе восприятия

слухового стимула (щелчков) у детей с акустико-кинестетической дисграфией и расширяет представление о механизме ее формирования. Дезинтеграция коркового компонента РЗ является не единственным изменением КВП при данном клиническом фенотипе дисграфии.

Статистически значимых различий КВП у детей с дисграфией в зависимости от пола не получено. Однако принципиальные различия выявлены между мальчиками, страдающими дисграфией, и их здоровыми сверстниками (рис. 2). Статистически значимое удлинение латентности N2 и P3 в обоих полушариях зафиксировали у пациентов с дисграфией. У девочек подобная тенденция не имела статистически значимых различий.

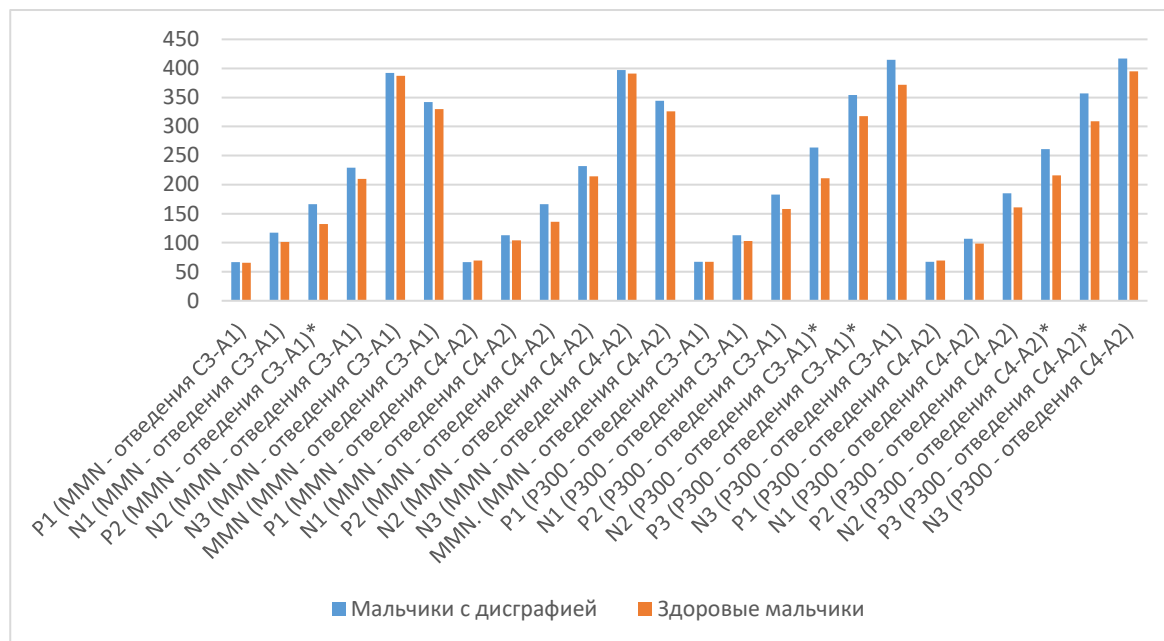


Рис. 2. Показатели латентности КВП (мс) у мальчиков с дисграфией и здоровых мальчиков

Примечание. Составлено авторами. * – статистически значимые различия между группами ($p < 0,05$).

Анализ КВП с учетом возраста (8, 9, 10 лет) показал наиболее выраженные девиации параметров у школьников в 8 лет (рис. 3). В этот возрастной период статистически значимые отличия значений латентности детей с дисграфией и здоровых касались компонентов N1, P2, N2 с обеих сторон по методике MMN. В возрасте 9 лет отличием детей с дисграфией явилось увеличение значения N3 слева, к 10 годам различия между здоровыми школьниками и детьми с дисграфией нивелировались. Важно подчеркнуть, что различия выявлялись только в результатах методики MMN. Методика MMN регистрирует возникновение ответа спонтанно, независимо от намерений испытуемого, имеет отношение к системе непроизвольного внимания [9]. Подобная динамика компонентов КВП, вероятно, отражает естественные этапы созревания мозга.

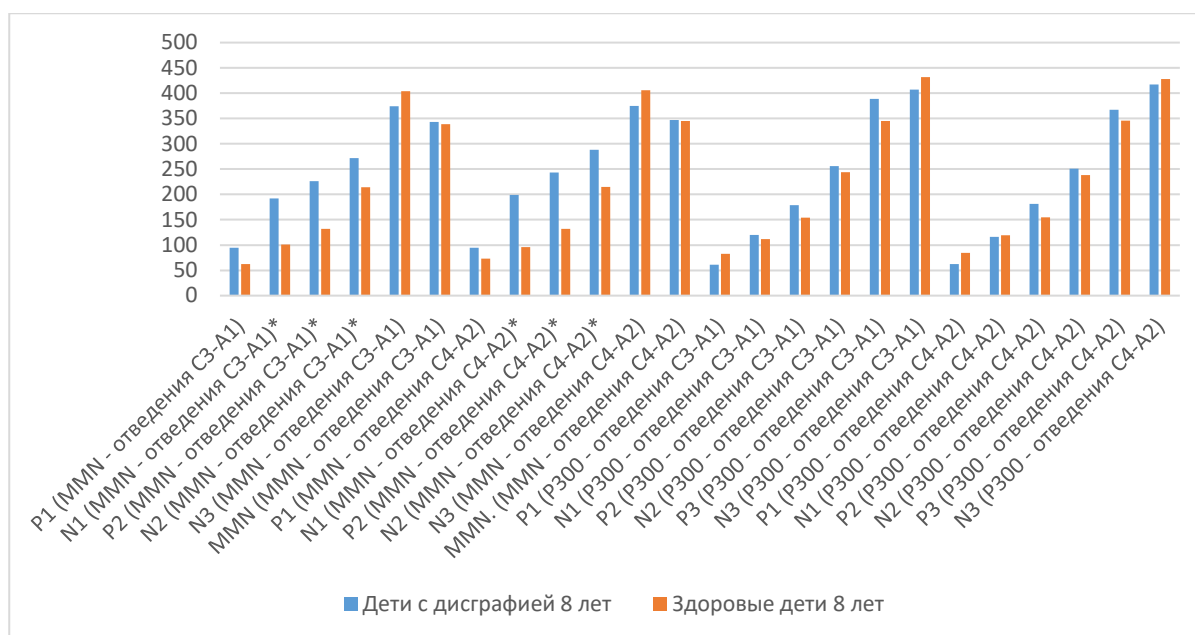


Рис. 3. Показатели латентности КВП (мс) у детей с дисграфией 8 лет и здоровых детей 8 лет

Примечание. Составлено авторами. * – статистически значимые различия между группами ($p < 0,05$).

Далее проведен Receiver Operating Characteristic-анализ (ROC) с построением ROC-кривой и расчетом пороговых значений P3, имеющих значение для диагностики дисграфии (рис. 4, 5). Преимуществами ROC-анализа являются его высокая чувствительность и специфичность в отношении изучаемого параметра. Определены пороговые значения P3 для детей с дисграфией в отведении C3-A1 – 347 мс, в отведении C4-A2 – 350 мс.

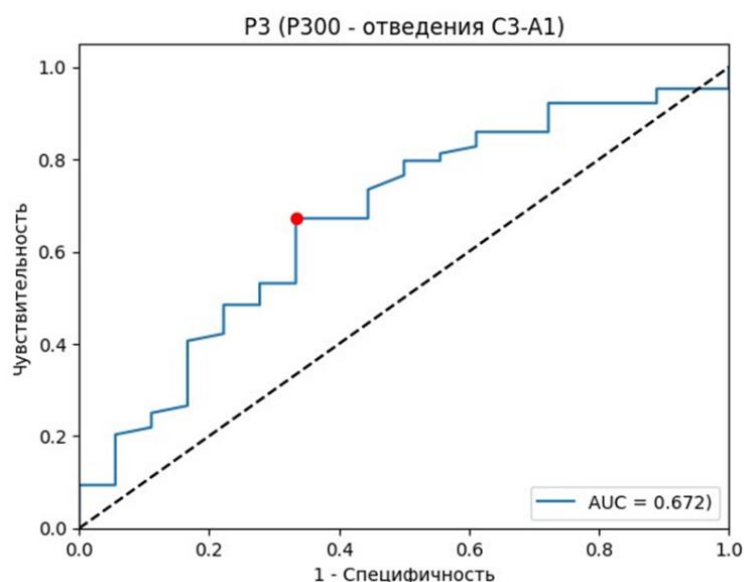


Рис. 4. ROC-кривая с расчетом пороговых значений P3 у детей с дисграфией в отведении C3-A1 по методике P300 (составлено авторами)

Показатели выше пороговых значений свидетельствуют о наличии дисграфии у детей с трудностями письма, могут использоваться в процессе дифференциальной диагностики и мониторинге КВП в процессе лечебно-коррекционных мероприятий.

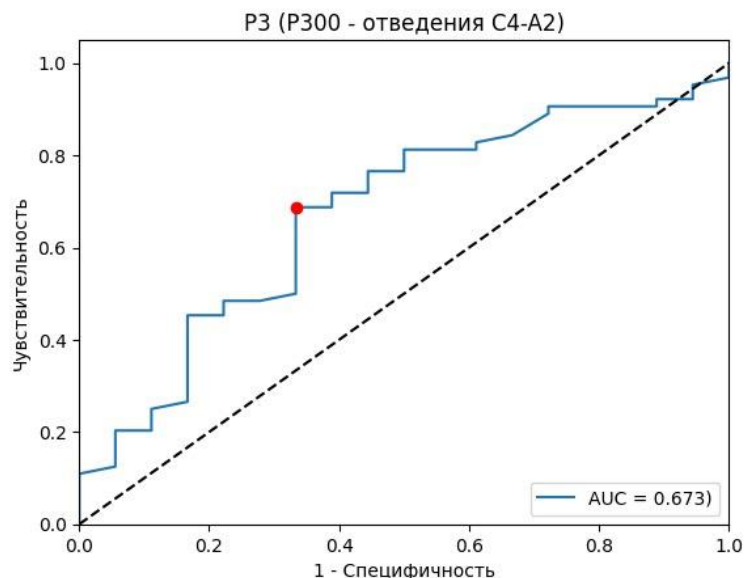


Рис. 5. ROC-кривая с расчетом пороговых значений P3 у детей с дисграфией в отведении С4-А2 по методике P300 (составлено авторами)

Метод КВП является объективным способом оценки восприятия сенсорной информации и процессов, связанных с познавательной деятельностью [14]. Имеются немногочисленные сведения о параметрах КВП у детей при различных патологических состояниях – эпилепсии, моторной дисфазии развития и пр. [15, 16]. Большинство исследований, посвященных изучению показателей КВП при дислексии/дисграфии развития (ДДР), касаются англоязычных школьников [17, 18]. Исследований, посвященных изучению параметров КВП у русскоязычных детей младшей школы, страдающих нарушением чтения и письма, авторами данной работы в доступной литературе не обнаружено. Вместе с тем, количественные и качественные характеристики компонентов КВП могут рассматриваться в качестве нейромаркеров когнитивных нарушений у учащихся с дисграфией и дислексией.

В целом для группы школьников с ДДР оказалось характерным билатеральное увеличение латентности поздних пиков P3 и N3 слева в методике P300. По современным представлениям, компонент P3 как часть комплекса N2-P3-N3 является сложным гетерогенным и интегративным феноменом, генерация которого осуществляется височно-теменными зонами мозга при участии гиппокампа и доминировании лобной коры [19]. В функциональном плане комплекс P3-N3 отражает завершение идентификации стимула на основе ранних сенсорных компонентов P1, N1, P2 (волна восприятия, так называемая V-волна) [20]. При этом требуется направленное, произвольное внимание, необходимое для сравнения

стимула с образцом памяти (процессы гнозиса) и последующего принятия решения (игнорирование, запоминание, формирование ответной реакции) [15, 21]. Полученные авторами результаты совпадают с данными исследований иных авторов, в которых было обнаружено увеличение латентности пика P300 у англоязычных пациентов с ДДР в различные возрастные периоды [18, 22].

Обращает внимание выявленное в предпринятом исследовании увеличение значения латентности пика N3 слева. Подобная асимметрия показателей свидетельствует о нарушении процессов латерализации и недостаточном включении доминантного полушария в когнитивные процессы, связанные с завершающим этапом обработки стимула и принятием решения.

Гипотеза о нарушении латерализации влево в лобно-височных отведениях у школьников с ДДР обсуждалась в исследовании К. Moll с соавторами [23]. Однако авторы делали заключение на основании увеличения значений амплитуды поздних пиков КВП в правом полушарии.

Таким образом, для детей с дисграфией (без учета клинического варианта) сохранными являются восприятие стимула, этапы гнозиса, связанные с извлечением из памяти образа и его опознанием. Нарушение когнитивных процессов в большей мере касается завершающих этапов, ассоциированных с лобными отделами: принятия решения для формирования ответной реакции (поведенческой, моторной и др.).

Анализ компонентов КВП согласуется с доминированием регуляторной дисграфии у обследованных детей. Регуляторные ошибки заключались в персеверации, антиципации, контаминации разных элементов текста, а также в пропусках элементов (букв и слогов), ошибках обозначения границ предложений, возможны орфографические ошибки из-за перераспределения внимания. При этом страдала регуляция произвольного внимания, отмечались трудности контроля и переключения, ориентировки в требованиях задания.

Важным этапом результатов исследования явилось вычисление пороговых значений латентности P3 для детей с дисграфией – в отведении C3-A1 показатель составил 347 мс, в отведении C4-A2 – 350 мс. Показатели выше пороговых значений являются диагностически значимыми для дисграфии.

Ранее предпринимались попытки определить диагностически и прогностически значимые пороговые значения латентности P3. В работе R.M.W. Gislaine с соавторами был проведен расчет значимого для диагностики ДДР показателя латентности P3, который составил более 335 мс. В исследование был включен 21 человек с нарушениями чтения и письма в возрасте от 7 до 14 лет [18].

Полученные в результате исследования данные выявили некоторую специфичность КВП в зависимости от клинического фенотипа дисграфии. При акустико-кинестетической (фонематической) дисграфии у детей страдала сенсорная переработка сигнала на значимый стимул, что отражалось в искажении V-волны (волны восприятия) – P1-N1-P2 с удлинением латентности пика N1 в обоих полушариях. Ведущим нейропсихологическим механизмом при данном виде дисграфии является слабость переработки слуховой информации с дисфункцией слуховых зон височной коры и сенсорных зон теменной коры [9, с. 77–81]. При этом возникает трудность перевода акустического образа (звука) в артикуляцию (кинестетический праксис, связанный с теменной долей) и осуществления распознавания и выбора фонемы на основе слухового и кинестетического контроля. В результате при письме происходит смешение букв, близких по звучанию или по способу произношения.

Изменение V-волны с удлинением латентности пика N1 у обследованных школьников свидетельствует о нарушении восприятия стимула и начальных этапах его опознания и интерпретации при акустико-кинестетической дисграфии. Эти искажения следует считать первичными по отношению к собственно когнитивной составляющей ВП.

Важным является увеличение значения латентности пиков N2 в правом полушарии у пациентов с регуляторной дисграфией, функциональное значение которого связано с активным вниманием, опознанием и дифференцировкой в данном случае слухового стимула. При этом в формировании N2 участвуют структуры гиппокампа, височные и нижнетеменные отделы коры. Таким образом, полученные результаты расширяют представления о механизмах развития данного вида дисграфии, доказывают дисфункцию не только собственно когнитивного ответа и префронтальных отделов, но и базовых нарушений процессов восприятия слухового (щелчки) стимула.

В ряде предыдущих исследований отмечалась менее эффективная переработка слуховых стимулов у детей с ДДР на основании увеличения значений латентности N1 и P2, однако без учета клинического варианта дисграфии и в другой языковой среде [24, 25].

Выявленные особенности акцентируют внимание на направлении коррекционных мероприятий, в которые следует включать не только формирование навыка фонематического анализа и гнозиса, но и оптимизацию слухового восприятия в целом.

Сопоставление параметров КВП здоровых детей и школьников с дисграфией с учетом возраста (8, 9, 10 лет) выявило статистически значимые увеличения значений латентности всех компонентов V-волны у детей в 8 лет билатерально и только в методике MMN. Важно подчеркнуть, что методика MMN регистрирует возникновение ответа спонтанно, независимо от побуждения испытуемого, отражает процесс сравнения физических характеристик девиантного звукового стимула со следом стандартного стимула, хранящимся

в течение 5–10 сек в сенсорной памяти, дает представление о состоянии непроизвольного внимания. Таким образом, в возрасте 8 лет в патогенезе дисграфии важным патогенетическим звеном являются сенсорные нарушения с трудностью восприятия и начальных этапов переработки стимула. Описанные изменения являются типичными для школьников 8 лет, отражают возрастную уязвимость, при этом искажаются базовые характеристики сенсорного потока, нарушающие алгоритм формирования более продвинутых компонентов КВП – комплекса N2-P3-N3, связанного со сличением стимула и эталона, извлеченного из памяти, запоминанием и принятием решения.

В возрасте 9 лет для детей с дисграфией имело место только увеличение латентности значения N3 слева, связанного с завершением когнитивного ответа в лобных отделах доминантного полушария. К 10 годам различия нивелировались. Однако созревание зон мозга, ответственных за развитие комплекса P1-N1-P2 к 10 годам, вероятно, не приводит к оптимальной перестройке поздних компонентов когнитивного ответа (комплекс N2-P3-N3), которые имеют эстафетный характер созревания, что клинически выражается в стойких проявлениях дисграфии в 10 лет [26].

Выявлен некоторый половой диморфизм в значениях КВП. В неврологии развития доказано наличие дифференцированных по полу стратегий роста плода и новорожденного [27, с. 94–99]. Имеются работы, демонстрирующие высокую частоту и тяжесть ряда заболеваний в мужской популяции по сравнению с женской [28]. Результаты проведенного исследования свидетельствуют о более выраженной уязвимости мозга мальчиков при дисграфии и более стойких девиациях поздних компонентов КВП по сравнению со здоровыми сверстниками. У девочек подобная тенденция не имела статистически значимых различий.

Заключение. Таким образом, проведенное исследование выявило характерные особенности компонентов КВП с учетом клинического фенотипа дисграфии, пола и возраста, позволило определить диагностически значимые пороговые значения компонента P3 КВП, расширило некоторые представления о нейрофизиологических аспектах патогенеза дисграфии, заключающихся как в нарушении сенсорного восприятия, так и в дисфункции интегративных аппаратов мозга, связанных с интерпретацией стимула и принятием решения. Доказаны наличие искаженного восприятия сенсорных стимулов и нарушение начальных этапов их опознания, что обуславливает неоптимальные последующие этапы когнитивного процесса, связанного с принятием решения. Отклонения от нормативных значений латентности поздних компонентов явились устойчивыми, что обусловило необратимость клинических проявлений дисграфии у учащихся. Девиации параметров КВП были более выраженными у мальчиков.

Список литературы

1. Заваденко Н.Н. Дислексия — самая распространённая форма специфических расстройств обучаемости // Неврологический журнал имени Л.О. Бадаляна. 2021. Т. 2 № 3. С. 146-158. URL: <https://www.neuro-journal.ru/jour/article/view/49/47> (дата обращения: 11.05.2025). DOI: 10.46563/2686-8997-2021-2-3-146-158.
2. Alexeeva S., Dobrego A. Letter processing in Russian: Does orthography matter? // Acta Psychol (Amst). 2021. Vol. 218. P. 103355. DOI: 10.1016/j.actpsy.2021.103355.
3. Корнев А.Н. Нарушения чтения и письма у детей. СПб.: МиМ, 1997. 286 с. ISBN 5-7562-004-5.
4. Международная статистическая классификация болезней и проблем, связанных со здоровьем. Десятый пересмотр (МКБ-10). Всемирная организация здравоохранения [Электронный ресурс]. URL: <https://mkb-10.com> (дата обращения: 11.05.2025).
5. Cheng C., Yao Y., Wang Z., Zhao J. Visual attention span and phonological skills in Chinese developmental dyslexia // Res. Dev. Disabil. 2021. Vol. 116. P. 104015. DOI: 10.1016/j.ridd.2021.104015.
6. Compton D.L. Focusing our view of dyslexia through a multifactorial lens: A commentary // Learning Disability Quarterly. 2021. Vol. 44. Is. 3. P. 225–230. DOI: 10.1177/0731948720939009.
7. Hall C., Vaughn S. Current research informing the conceptualization, identification, and treatment of dyslexia across orthographies: An introduction to the special series // Learning Disability Quarterly. 2021. Vol. 44. Is. 3. P. 140–144. DOI: 10.1177/0731948720929010.
8. Tamboer P., Vorst H.C.M., Ghebreab S., Scholte H.S. Machine learning and dyslexia: Classification of individual structural neuro-imaging scans of students with and without dyslexia // Neuroimage Clin. 2016. Vol. 11. P. 508-514. DOI: 10.1016/j.nicl.2016.03.014.
9. Ахутина Т.В. Нарушения письма и чтения у детей: изучение и коррекция / Под ред. О.А. Величенковой. М.: Логомаг. 2018. 372 с. ISBN 978-5-905025-53-2.
10. Efimova V.L., Nikolaeva E.I., Frolovskaia O.V. Peculiarities of Perception of Sounds by Children with Speech Disorders and Children with Autism Spectrum Disorder. Psychology and Psychotechnics. 2023. Vol. 1. P. 12–25. DOI: 10.7256/2454-0722.2023.1.39712.
11. Barry R.J., De Blasio F.M., Fogarty J.S. A Processing Schema for Children in the Auditory Equiprobable Go/ NoGo Task: ERP Components and Behaviour // Int. J. Psychophysiol. 2018. Vol. 123. P. 74-79. DOI: 10.1016/j.ijpsycho.2017.10.014.
12. Ефимова В.Л., Фроловская О.В. Особенности корковых слуховых вызванных потенциалов при аутизме (обзор зарубежных исследований) // Комплексные исследования детства. 2022. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-korkovyh-sluhovyh->

vyzvannyh-potentsialov-pri-autizme-obzor-zarubezhnyh-issledovaniy (дата обращения: 13.05.2025). DOI: 10.33910/2687-0223-2022-4-1-66-72.

13. Садовникова И.Н. Нарушения письменной речи и их преодоление у младших школьников. М.: Владос, 1997. 256 с. ISBN 5-87065-036-4.

14. Игнатова Ю.П., Макарова И.И., Страхов К.А. Когнитивные вызванные потенциалы: P300 в нейрофизиологии и клинической практике // Крымский журнал экспериментальной и клинической медицины. 2022. Т. 12. № 4. С. 80-91. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kognitivnye-vyzvannye-potentsialy-r300-v-neyrofiziologii-i-klinicheskoy-praktike> (дата обращения: 01.07.2025). DOI: 10.29039/2224-6444-2022-12-4-80-91.

15. Савельева Н.А., Анисимов Г.В., Калашникова Т.П. Показатели когнитивных вызванных потенциалов у детей с речевым дизонтогенезом // Фундаментальные исследования. 2015. № 1. С. 346–349. URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=36901> (дата обращения: 11.05.2025). EDN: TMQUJD.

16. Войтенков В.Б., Горелик Е.Ю., Скрипченко Н.В., Климкин А.В. Вызванные потенциалы головного мозга. Вызванные потенциалы головного мозга у детей с пароксизмальными состояниями // Эпилепсия и пароксизмальные состояния. 2017. Т. 9. № 2. С. 67-73. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vyzvannye-potentsialy-golovnogo-mozga-u-detey-s-paroksizmalnymi-sostoyaniyami> (дата обращения: 01.07.2025). DOI: 10.17749/2077-8333.2017.9.2.067-073.

17. Oliveira J.C., Murphy C.F., Schochat E. Auditory processing in children with dyslexia: electrophysiological and behavior evaluation // Cudas. 2013. Vol. 25. Is. 1. P. 39-44. DOI: 10.1590/s2317-17822013000100008.

18. Gislaine R.M.W., Lorena K., Marcos M., Rogerio H., Luiz H.S. Cognitive evoked potentials and central auditory processing in children with reading and writing disorders // Brazilian Journal of Otorhinolaryngology. 2012. Vol. 78. Is. 3. P. 91-97. DOI: 10.1590/S180886942012000300016.

19. Houston R.J., Schlien N.J. Event-Related Potentials as Biomarkers of Behavior Change Mechanisms in Substance Use Disorder Treatment // Biol. Psychiatry Cogn. Neurosci. Neuroimaging. 2018. Vol. 3. Is. 1. P. 30-40. DOI:10.1016/j.BPSC.2017.09.006.

20. Micheline G., Kitsune V., Vainieri I., Hosang G.M., Brandeis D., Asherson P., Kuntsi J. Shared and Disorder-Specific Event-Related Brain Oscillatory Markers of Attentional Dysfunction in ADHD and Bipolar Disorder // Brain Topogr. 2018. Vol. 31. Is. 34. P. 672-689. DOI: 10.1007/s10548-018-0625-z.

21. Джос Ю.С., Калинина Л.П. Когнитивные вызванные потенциалы в нейрофизиологических исследованиях (обзор) // Журнал медико-биологических исследований. 2018. Т. 6. № 3. С. 223-235. URL:

https://vestnikmed.ru/archive/?ELEMENT_ID=321697 (дата обращения: 20.05.2025). DOI: 10.17238/issn2542-1298.2018.6.3.223.

22. Alvarenga Kde. F., Araujo E.S., Ferraz E., Crenitte P.A. P300 auditory cognitive evoked potential as an indicator of therapeutical evolution in students with developmental dyslexia // *Codas*. 2013. Vol. 25. Is. 6. P. 500-505. DOI: 10.1590/S2317-17822014000100002.

23. Moll K., Hasko S., Groth K., Bartling J., Schulte-Körne G. Letter-sound processing deficits in children with developmental dyslexia: An ERP study // *Clin Neurophysiol*. 2016. Vol. 127. Is. 4. P. 1989-2000. DOI: 10.1016/j.clinph.2016.01.005.

24. Panahi R., Akbari M., Jarollahi F., Haghani H., Kazemnezhad Leyli E., Zia M. Atypical function of auditory sensory gating in children with developmental dyslexia: Investigating its relationship with cognitive abilities // *Dyslexia*. 2023. Vol. 29. Is. 4. P. 426-440. DOI: 10.1002/dys.1754.

25. Männel C., Ramos-Sanchez J., Obrig H., Ahissar M., Schaadt G. Perceptual anchoring: Children with dyslexia benefit less than controls from contextual repetitions in speech processing // *Clin Neurophysiol*. 2024. Vol. 166. P. 117-128. DOI: 10.1016/j.clinph.2024.07.016.

26. Berti S. Visual mismatch negativity (vMMN) is elicited with para-foveal hemifield oddball stimulation: An event-related brain potential (ERP) study // *Neurosci Lett*. 2018. Vol. 672. P. 113-117. DOI: 10.1016/j.neulet.2018.02.030.

27. Prechtl H.F.R. Continuity of neural functions from prenatal to postnatal life. Oxford, Philadelphia.: J. P. Lippincott Co. 1984. 255 p. ISBN: 0632013850.

28. Боголепова И.Н. Гендерные особенности неврологической патологии // *Анналы клинической и экспериментальной неврологии*. 2018. Т. 12. № 5. С. 95-98. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/gendernye-osobennosti-nevrologicheskoy-patologii-1> (дата обращения: 11.05.2025). DOI: 10.25692/ACEN.2018.5.12.