

УДК 612.824–052.2:303.448

**Менджерицкий А.М.,
Карантыш Г.В.,
Серов П.Н.**

**НЕЙРО-
ПСИХОЛОГИЧЕСКОЕ
И НЕЙРО-
ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ
ТЕСТИРОВАНИЕ КАК
ИНДИВИДУАЛЬНАЯ
ОСНОВА ТРАЕКТОРИИ
ОБРАЗОВАНИЯ ДЕТЕЙ
С МАЛОЙ МОЗГОВОЙ
ДИСФУНКЦИЕЙ**

Ключевые слова: малая мозговая дисфункция, дефицит внимания, биоэлектрическая активность мозга, нейропсихологическое тестирование.

Современный педагогический профессионализм связывают с созданием условий для становления индивидуальных образовательных траекторий каждого учащегося. Однако исследованию становления индивидуальных образовательных траекторий учащихся в образовательном пространстве современной школы не уделено достаточного внимания. В связи с этим не теряет своей актуальности проблема разработки и реализации комплекса учебно-методических материалов, облегчающих осмысление и самостоятельное осуществление учащимися с нарушением социальной адаптации возрастнo-адекватных видов деятельности, в ходе которых и происходит становление индивидуальных образовательных траекторий.

Известно, что общая динамика развития ребенка с нарушением социальной адаптации подчинена тем же закономерностям, что и при нормальном развитии. Но особенности детей, связанные с нарушением интеллектуальной сферы, ограничивают получение информации из окружающего мира, приводят к нарушению средств общения, изменяют способы коммуникации, обедняют социальный опыт и создают трудности социальной адаптации. Несмотря на значительный прогресс в изучении проблемы социальной адаптации детей с отклонениями в развитии центральной нервной системы, многие аспекты этой важной медико-психологической проблемы еще не разрешены [7].

Наиболее адекватным подходом исследования особенностей психофизиологического развития детей с отклонениями в развитии является использование нейропсихологического и нейрофизиологического подходов [1; 9; 10]. Подход, разработанный академиком А.Р. Лурия [8], к анализу

управляющих функций (программирования, регуляции и контроля деятельности) позволяет отнести к ним как к процессам, включенным в любую когнитивную деятельность и не существующим независимо от нее. Кроме того, любая деятельность может страдать из-за дефицита других процессов, включенных в ее реализацию, не обязательно являющихся управляющими. Поэтому выполнение какого-либо теста, который считается специфичным для исследования управляющих функций, содержит в себе потенциальную диагностическую ошибку [11]. В связи с этим необходимо проведение сопоставления результатов нейропсихологического тестирования с данными нейрофизиологических исследований, что и явилось целью данного исследования.

Проведенное исследование являлось сравнительным, рандомизированным, открытым, групповым. Основную группу составили 86 мальчика 8–16-летнего возраста с малой мозговой дисфункцией (ММД), обучающихся в специализированной (коррекционной) школе-интернате № 41 г. Ростова-на-Дону. Лонгитюдное обследование проводили в весенний и осенний периоды 2007–2008 гг. В обследование вошли дети с ведущей правой рукой. Школьники с ММД были разделены на группы по возрастному критерию по классификации ВОЗ (1997): младший школьный возраст (8–10 лет), ранняя фаза пубертатного (11–13 лет) и средняя фаза пубертатного периода (14–16 лет). Контролем служили практически здоровые мальчики, сопоставимые по возрасту и обучающиеся в школе-интернате № 29 г. Ростова-на-Дону.

Для изучения функциональной недостаточности областей коры больших полушарий использовали модифици-

рованный В.В. Кисовой и И.А. Коневой [6] метод нейропсихологического тестирования. В тестировании изучали 14 нейрофизиологических показателей: кинестетического, пространственного, динамического праксиса, слухомоторных координаций, стереогноза, зрительного гнозиса, речи, слухоречевой памяти, рисунка, зрительной памяти, чтения, письма, счета, решения задач. По результатам ответов детей подсчитывали процент встречаемости функциональной недостаточности зон коры головного мозга. При этом меньшее значение процента, отражающего встречаемость у детей разных групп незрелости определенной структуры мозга, – это, как правило, то количество детей, у которых в большинстве тестов (или во всех) отмечали нарушения нейропсихологических характеристик. Поэтому нижнее значение – это показатель, свидетельствующий о выраженной незрелости определенной структуры мозга, а верхнее значение – об умеренной незрелости.

Для оценки функционального состояния головного мозга детей с ММД использовали методы регистрации суммарной биоэлектрической активности мозга и вызванных потенциалов (зрительных и слуховых). Регистрация суммарной биоэлектрической активности мозга (ЭЭГ), выделение и анализ вызванных потенциалов (ВП) осуществляли с использованием компьютерного энцефалографа «Энцефалан 131-03» («Медиком МТД», г. Таганрог). ЭЭГ регистрировалась монополярно, по системе «10–20» в 14 отведениях от пяти симметричных областей мозга: лобной, височной, центральной, теменной и затылочной (F3, F4, Fp1, Fp2, T3, T4, C3, C4, P3, P4, O1, O2), а также от двух сагиттальных точек: центральной и теменной (Cz и Pz). Референтные электроды располагали на мочках

ушей. Качество установки электродов проверялось путем контроля подэлектродных сопротивлений, осуществляемого средствами программного обеспечения. Биопотенциалы усиливались в частотной полосе 0,5–70 Гц и после аналогово-цифрового преобразования анализировались при помощи базового пакета программного обеспечения энцефалографа [5].

В данном исследовании проводили анализ слуховых вызванных потенциалов (СВП – медленных вертексных потенциалов) [3]. Применяли щелчки длительностью 50 мс, подаваемые через динамик. Стимул подавали не чаще 1 раза в 1 секунду со случайным компонентом, для того чтобы не было привыкания на периодичность. Активный электрод располагали в Cz (вертексе) международной схемы «10–20%» и подключали к первому выходу усилителя (–). Эпохой анализа было 500 мс при числе усреднений – 100. СВП исследовались в височных областях обследованных детей. Зрительный ВП (ЗВП) формировали на вспышку 50 лк (0,5 Дж) длительностью 4 мс, межстимульный интервал 2 с с вероятностной девиацией 25%. Панель светодиодов располагалась в 10 см от закрытых глаз обследуемого. Выделенные биопотенциалы подвергали первичному визуальному анализу [2; 4].

Для выявления достоверности влияния факторов в группах испытуемых использовали унивариантный (ANOVA) дисперсионный метод. В качестве зависимых переменных выбрали спектральную мощность плотности различных диапазонов ЭЭГ и значения функции когерентности ЭЭГ α -диапазона. Для выделенных главных факторных компонентов в пространстве регистрируемых нейропсихологических и нейрофизиологических показателей у детей с ММД был использован модуль

факторного анализа (Factor analysis; факторную нагрузку считают большой при условии превышения ею 0,7).

В результате проведенного анализа установлено, что незрелость левой лобной области коры встречалась у 25–64% детей младшего школьного возраста, 14–43% мальчиков ранней фазы пубертатного периода и 10–33,3% подростков средней фазы пубертатного периода. Незрелость левой височной области встречается у 7,1–71% детей младшего школьного возраста, у 10,7–53,6% детей ранней фазы пубертатного периода, а у подростков средней фазы пубертатного периода в 40% случаев (у 12 одних и тех же мальчиков). Незрелость левой теменной области выявлена у 25–64% детей младшего школьного возраста, 21,4–43% мальчиков ранней фазы пубертатного периода и 14,3–33,3% подростков средней фазы пубертатного периода. Незрелость правой лобной области у детей младшего школьного возраста встречалась в 57–71,4% случаев, у мальчиков ранней фазы пубертатного периода – в 25–53,6% случаев, а у подростков средней фазы пубертатного периода – в 6,7–40% случаев. Незрелость правой теменной области установлена у детей младшего школьного возраста в 28,6–75% случаев, у мальчиков ранней фазы пубертатного периода – в 21,4–50% случаев, а у подростков средней фазы пубертатного периода – в 16,7–40% случаев. Кроме того, незрелость межполушарных комиссур отмечена у 35,7–75% детей младшего школьного возраста, 10,7–61% мальчиков ранней фазы пубертатного периода и 6,7–47% подростков средней фазы пубертатного периода. Таким образом, наиболее часто и значимо у детей и подростков с ММД встречается незрелость межполушарных комиссур. Необходимо указать на

более выраженную незрелость структур правой коры больших полушарий у детей и подростков с ММД. Следовательно, снижение скорости созревания структур правого полушария влечет за собой и запаздывание созревания областей левого полушария. Тем не менее по мере развития речи у детей с ММД, как и в норме, более значимыми становятся структуры левого полушария, тогда как правое полушарие детей с врожденной энцефалопатией остается функционально недостаточным. Этому в первую очередь способствует запаздывание созревания межполушарных комиссур у детей с ММД.

Таким образом, у детей с ММД с возрастом происходит постепенное снижение проявлений нарушений, характерных для функциональной незрелости областей коры больших полушарий, в первую очередь теменных, но не до уровня нормы. Необходимо отметить, что структуры правого полушария остаются функционально незрелыми более длительное время у детей с ММД. При этом у детей с ММД выявлено сочетанное нарушение функционирования многих областей мозга, связанное, вероятно, с поздним относительно нормы их созреванием. Тем не менее по ряду вопросов нейropsychологического тестирования можно судить о функциональном статусе определенной области мозга.

При этом определяющими признаками синдрома дефицита внимания с гиперактивностью (СДВГ) у обследованных детей с ММД являются дезавтоматизация динамической и пространственной основы предметных действий, сужение объема оперативной слухоречевой памяти, недостаточность ориентировочно-исследовательской деятельности при решении мыслительных задач. Отмечаются также трудности при переключении с одного элемента дей-

ствия на другой. Действия приобретают в результате замедленный, произвольный характер. Эти симптомы обусловлены недостаточной зрелостью подкорковых структур головного мозга легкой степени. Практически у всех детей обнаружены ошибки в запоминании и воспроизведении заданной программы действий. Ошибки исправляются детьми самостоятельно или путем объединения речевого программирования и двигательных реакций ребенка. Данный характер ошибок свидетельствует о слабостью связи фронтальных отделов мозга с заднелобными отделами. О трудностях пространственной ориентировки свидетельствуют зеркальное воспроизведение положения рук, замедленный темп выполнения заданий в 50–80% попыток действий. При этом характер выполнения заданий на пространственный праксис свидетельствует о дисфункции теменно-височно-затылочной зоны, а также неустойчивости связи ее с фронтальными отделами. Это, вероятно, обуславливает недостаточную сформированность зрительно-пространственной основы действий.

Кроме того, у детей с СДВГ выявлена высокая тормозимость слухоречевых следов, на что указывает также выраженная тенденция к воссозданию более свежих следов. Это свидетельствует о слабовыраженной дисфункции внеслуховых корковых зон височных отделов левого полушария, неустойчивости лобно-височных связей. С этим согласуются и данные изучения показателей слуховой вызванной биоэлектрической активности мозга детей с СДВГ: низкие амплитудные значения и высокие латентности компонентов СВП относительно нормы. При этом необходимо сказать, что в отличие от здоровых сверстников с возрастом при СДВГ наблюдаются изменения показателей слуховых ВП, что

характерно для более младшего возрастного периода. Следовательно, особенности формирования компонентов слуховых ВП при СДВГ являются отражением запаздывания формирования лобно-височных связей. На этом фоне также выявлены признаки нарушения зрительного восприятия: рисунки детей характеризуются схематичностью, отсутствием существенных признаков. При этом в условиях присутствия речевого контроля качество выполнения задания возрастает. Это может отражать сохранность межанализаторных связей (зрительного и слухового анализаторов), обеспечивающих совместную работу слуховой и зрительной коры больших полушарий. Однако связь этих проекционных зон с фронтальными лобными структурами при СДВГ недостаточно сформирована.

В настоящее время в нейронауке существует тенденция, особенно ярко проявляющаяся в когнитивном подходе, к отождествлению понятий «функции внимания» и «функций лобных отделов мозга», что методически определяют нейрофизиологическими методами. При обработке данных биоэлектрической активности мозга оценивали относительные значения мощности (ОЗМ). Межполушарную асимметрию показателей ОЗМ дельта-диапазона (с преобладанием в правом полушарии) в группе младших школьников с ММД отмечали во всех областях мозга, кроме затылочных. В контроле, напротив, лишь в затылочных зонах мозга показатели ОЗМ были асимметричны и характеризовали преобладание дельта-ритма в левом полушарии. Средние значения ОЗМ тета-ритмической активности в младшем школьном возрасте у детей контрольной группы и с ММД не различались. В контроле выявлена асимметрия этого показателя во фронтальных (F3–F4)

областях, а при ММД – в затылочных и теменных. Средние значения ОЗМ α -, β 1- и β 2-ритмов были достоверно выше в контроле относительно группы детей с ММД. Показатели ОЗМ α - и β 1-ритмов при ММД также были асимметричны: α -ритма – во фронтальных (F3–F4), β 1-ритма – во фронтальных (Fp1–Fp2) и височных областях. При ММД ОЗМ альфа-активности соответствовало возрастной норме лишь в передне-фронтальных (Fp1–Fp2) отведениях, во всех остальных областях мозга показатели ОЗМ были ниже контроля в среднем на 40%. При анализе ОЗМ β -диапазонов установлено значимое изменение с возрастом бета1-активности у детей с ММД к ранней фазе пубертатного периода (+69%; $p < 0,05$) до контрольного уровня. Но поскольку у школьников контрольной группы ОЗМ β 1-диапазона не изменялось с периода младшего школьного возраста, можно предположить, что становление бета1-активности у детей с ММД отстает от нормы в среднем на 3 года. К 11–13 годам у здоровых школьников наблюдали понижение дельта- (на 22%; $p < 0,05$) и, особенно, тета-активности (на 42%; $p < 0,05$). У детей с ММД значимых изменений средних показателей ОЗМ дельта- и тета-ритмов к 11–13 годам не произошло. Доминирующим компонентом среди частотных диапазонов ЭЭГ у здоровых подростков 14–16 лет являлся α -ритм, среднее значение по всем отведениям которого незначительно снизилось относительно 11–13 лет. Лишь в передне-фронтальных зонах наблюдали возрастание ОЗМ α -ритма, как и тета-ритма. Тета- и низкочастотные альфа-компоненты электрической активности мозга вызваны деятельностью регуляторных срединных структур мозга. Повышение мощности тета-ритма и медленных составляю-

щих альфа-диапазона в пубертатный период связывают с усилением активации гипоталамических структур. В передне-центральных областях мозга подростков этой группы обнаружено возрастание ОЗМ бета-частотных компонентов ЭЭГ. Средние значения ОЗМ β -активности повысились относительно предыдущего возрастного периода. Увеличение активности β -ритма часто связывают с повышением уровня тревожности, т.е. с активацией эмоциогенных зон мозга, что согласуется с полученными результатами. Таким образом, основными областями коры больших полушарий, которые претерпевают наибольшие изменения в пубертатный период, являются фронтальные (в первую очередь переднефронтальные).

С использованием факторного анализа установлено, что с возрастом происходит однонаправленное изменение в становлении альфа-ритмической активности у детей контрольной и основной групп в левых затылочной, теменной и лобной (F4) областях, а также правых теменной, височной и лобной (F3) зонах. При этом в O1, P3, P4 и T4 областях к ранней фазе пубертатного периода отмечается значимое повышение спектральной мощности альфа-ритма, а к средней фазе пубертатного периода – понижение (вероятно, связанное с гормональными перестройками в организме); тогда как в F3 и F4 зонах наблюдается постоянное нарастание спектральной мощности альфа-ритма с возрастом. При анализе влияния ММД на спектральную мощность биопотенциалов в разные возрастные периоды были получены следующие результаты. В тета-диапазоне выявлены различия возрастной динамики спектральной мощности в Fr2 зоне: если в контроле снижение мощности тета-ритма к ранней фазе пубертатного

периода сменяется ее возрастанием к 14–16 годам, то при ММД наблюдается обратная динамика. В областях правого полушария (O2, P4, C4 и F4) в норме возрастные изменения были такими же, как и в Fr2 зоне, а при ММД отмечается постоянное понижение с возрастом мощности тета-ритма. Вероятно, в этом связаны события, происходящие с возрастом в альфа-диапазоне у мальчиков с ММД в областях O2, C4 и Fr2, между которыми установлены когерентные взаимосвязи как в контрольной, так и в основной группе. То есть степень функциональной зрелости Fr2 области в большей степени связана с процессами, происходящими в описанные возрастные периоды в O2 и C4 зонах.

Поскольку дети с ММД часто страдают СДВГ, целесообразным является проведение анализа индексов соотношений тета/бета (ЭЭГ показатель функции внимания). Установлено, что у мальчиков с ММД значения ЭЭГ индексов внимания значительно выше уровня контроля во всех зонах коры. В 8–10-летнем возрасте у детей с ММД среднее значение соотношения тета/бета в области Cz было на 39% ($p < 0,05$) выше контроля. Наиболее значимые различия между контрольной и основной группами детей выявлены в затылочных и парietальных областях коры больших полушарий. По данным V. Monastra [14], у здоровых детей 6–11-летнего возраста средние показатели ЭЭГ индекса внимания в области Cz соответствуют значению менее 2,67. Поскольку в нашем исследовании контрольную группу составили дети, обучающиеся в интернате, у них также наблюдается дефицит внимания, в основе которого, вероятно, лежит комбинация дефицита управляющих механизмов внимания и бдительности. Под бдительностью по-

нимают поддержание произвольного внимания, обеспечиваемое высоким уровнем мотивации, но задержки психического развития при этом может и не наблюдаться [16]. Поэтому у школьников контрольной группы значения ЭЭГ индекса внимания были ниже по сравнению с детьми с ММД. Предположительно, высокие значения ЭЭГ индекса внимания является также отражением синдрома гиперактивности с дефицитом внимания у детей с ММД. К 11–13 годам в контроле обнаружено понижение ЭЭГ индексов внимания во всех областях коры больших полушарий, за исключением затылочных зон, где происходило некоторое возрастание за счет увеличения значения тета/бета2. При этом в контроле и при ММД более высокие значения индексов тета/бета обнаружены в областях правого полушария. Следовательно, уже к данному возрастному периоду у детей формируется межполушарная асимметрия в реализации функции внимания. При этом среднее значение ЭЭГ индекса внимания в области Cz у подростков с ММД было выше на 29% ($p < 0,05$) по сравнению с контролем. К 14–16 годам у детей с ММД среднее значение ЭЭГ индекса внимания по всем отведениям было выше уровня контроля на 99% ($p < 0,01$). Относительно предыдущего возрастного периода у подростков контрольной группы обнаружено понижение среднего значения индекса тета/бета по всем отведениям на 62% ($p < 0,05$), а у детей с ММД – на 38% ($p < 0,05$). В контрольной группе подростков между показателями соотношений тета/бета1 и тета/бета2 наблюдали менее значимые различия, чем при ММД, где показатели тета/бета2 значительно превосходили значения тета/бета1, что характерно для здоровых детей 8–13-летнего возраста. Наиболее высокие значения ЭЭГ ин-

декса тета/бета2 у подростков с ММД выявлены в центральной и фронтальной (F4) областях правого полушария и вертексе. Предположительно, в основе дефицита внимания детей с ММД лежит процесс нарушения произвольного селективного внимания. Согласно концепции М. Познера, именно «выявление разрешения конфликта» является основной функцией мозговой системы «управляющего внимания», включающей префронтальные и цингулярные зоны лобной области. Одним из базовых компонентов селективного внимания является контроль сенсорных каналов [12; 16; 17]. При изучении этого компонента внимания возникают трудности дифференциации нарушений собственно внимания с сенсорными дефицитами. Поэтому далее было проведено исследование вызванной биоэлектрической активности мозга у детей с ММД (зрительных и слуховых вызванных потенциалов).

При анализе результатов исследования особенностей формирования зрительных вызванных потенциалов у детей с ММД установлено, что наиболее высокие амплитудные значения (А) компонента P1 у здоровых детей 8–10 лет выявлены в вертексной области, затылочных зонах, правых височной и теменной областях. Амплитуды компонента P1 детей с ММД младшего школьного возраста в областях O1, O2, P4 и T4 также были выше, чем в остальных зонах мозга. При этом латентные периоды (ЛП) компонента P1 у здоровых детей в большинстве областей мозга (за исключением Fp1, F3 и F4 зон) соответствовали 30–46 мс, тогда как у детей с ММД ЛП компонента P1 превышали 60 мс (в среднем – 90 мс). При анализе результатов изучения показателей компонента N1, ассоциирующегося с генерацией процессов, приводящих к развитию

функции внимания, было установлено, что у здоровых детей 7–10 лет высокие А характерны для затылочных, фронтальных (Fp1, Fp2 и F4) областей и вертекса. В среднем ЛП компонента N1 соответствовали 90 мс, но наиболее раннее развитие компонента обнаружено в Cz, T3, P3 и O2 зонах (от 50 до 70 мс). У детей с ММД А данного компонента были ниже контроля, при этом наиболее высокие А компонента N1 установлены в затылочных, фронтальных и правой теменной области. Самый низкий показатель ЛП выявлен в Fp1 зоне. В зонах C4, P3, P4 и O2 ЛП компонента N1 составили 130–140 мс. Второй позитивный компонент у здоровых детей 7–10 лет характеризуется высокими А во фронтальных, теменных и затылочных областях. У детей же с ММД в теменных и лобных зонах показатели А были ниже контрольных. Наиболее раннее формирование компонента P2 здоровых детей 7–10 лет происходило в вертексе, C4, T3 и Fp2 областях (80–90 мс). Развитие данного компонента у детей с ММД наблюдали в диапазоне от 115 до 305 мс, т.е. синхронно, чем в контроле; а в пределах от 115 до 180 мс – в зонах Fp1, T4, P3 и O2. Компонент P2 в структуре связанных с событием потенциалов в психофизиологических исследованиях рассматривается как один из коррелятов процесса внимания. Предполагают, что P2 генерируется фронтальной корой под влиянием ретикулярной формации ствола и вентрального ядра таламуса [13]. Таким образом, у младших школьников с ММД существует функциональная недостаточность правого полушария относительно контроля. Вероятно, при ММД в этом возрасте таламо-кортикальные связи остаются недостаточно зрелыми. Высокие А компонента N2 у здоровых детей 8–10 лет выявлены в Fp2, височных,

затылочных и, особенно, теменных зонах. В этих же областях мозга и ЛП ниже, чем в остальных зонах мозга. У детей с ММД в F4, T3, T3 и C3 областях А компонента N2 были выше 2,0 мкВ. При этом ЛП данного компонента ЗВП у детей с ММД выше контроля. В правых фронтальных зонах мозга детей с ММД компонент N2 был сильно деформирован. Развитие позднего компонента P3 у здоровых детей 7–10 лет наблюдали в диапазоне от 180 до 230 мс, а у детей с ММД – от 270 до 460 мс. Амплитуды компонента P3 при ММД значительно ниже контроля, что, как известно, часто сочетается с СДВГ у детей с ММД. Действительно, наибольшие отклонения в выполнении тестовых заданий наблюдали у тех детей с ММД, у которых выявлены самые низкие А ЗВП, в том числе компонента P3. Обращает на себя внимание различие конфигурации как ранних, так и поздних компонентов ВП у здоровых и детей с ММД 8–10-летнего возраста. При ММД комплекс компонентов «P2, N2, P3» плохо сформирован при значительной деформации компонента P3, асимметричен по полушариям. Наряду с этим наблюдается существенное снижение А компонентов. В наибольшей степени снижена амплитуда раннего позитивного компонента (P1). При этом хорошо был сформирован компонент P2. У 11–13-летних здоровых школьников повышается роль правых фронтальной и височных областей в формировании компонента P1, тогда как у мальчиков с ММД – только правых лобных зон. Известно, что вторичные зрительные поля функционально взаимосвязаны с височной областью, функциональная недостаточность которой может приводить к нарушению зрительного восприятия [11]. Это может проявляться в том числе в нарушении временно-пространственных взаи-

моотношений, что подтверждается и результатами нейрофизиологического тестирования этих школьников. Максимальную А компонента N1 у здоровых мальчиков 11–13 лет наблюдали во фронтальных областях и вертексе, а А компонента в остальных зонах коры были незначительно ниже пиковых значений. Недостоверно различались показатели ЛП в разных отведениях с минимумом ЛП в области Fp2. У подростков с ММД максимум показателя А компонента приходился на затылочные области (особенно на зону О2). То есть формирование первого негативного компонента ЗВП у мальчиков с ММД происходило асинхронно по всем областям мозга, и в частности между полушариями. У мальчиков с ММД 11–13 лет А компонента Р2 были значительно ниже контроля, но пиковое значение А приходилось на правую теменную область, как и в контроле. Однако формирование компонента в разных областях мозга у детей с ММД происходило асинхронно, в то время как в контроле – согласованно по всем полушариям (за исключением правой височной области, где развитие компонента происходило позже). Развитие компонента N2, как у детей контрольной группы, так и при ММД, раньше зафиксировано в областях левого полушария. Но у здоровых школьников 11–13 лет формирование компонента N2 происходило спустя 130–230 мс после стимула, а в группе мальчиков основной группы – 206–360 мс. Пиковые ЛП компонента у здоровых подростков выявлены в зонах Fp1, Fp2 и P3, а при ММД – в Fp2, T3 и P3. В формировании компонента P3 у здоровых мальчиков 11–13 лет большее значение имели правые затылочная, теменная, височная и центральная области наряду с левыми фронтальными зонами, где выявлены более высокие

А и низкие ЛП относительно других областей коры. У подростков с ММД пиковые значения А компонента P3 приходятся на С3, P4 и Fp2 области, а наиболее раннее развитие данного компонента выявлено в затылочных и центральных областях. Следовательно, формирование компонентов ЗВП при ММД происходит менее согласованно между симметричными зонами коры, что характеризует позднее созревание межполушарных комиссур, а сами компоненты характеризуются высокими ЛП и низкими А по сравнению с контролем. К 14–16 годам у здоровых подростков развитие компонента P1 раньше происходило в областях правого полушария, особенно в затылочной и височной зонах. Амплитуды компонента преобладали почти во всех областях правого полушария относительно левого. Сходной закономерности формирования компонента P1 у подростков с ММД не обнаружено. Более того, развитие компонента происходило асинхронно (диапазон ЛП был от 33 до 108 мс, среднее значение ЛП компонента P1 значительно выше аналогичного показателя здоровых подростков). Развитие остальных компонентов ЗВП у здоровых подростков 14–16 лет также происходило относительно синхронно по полушариям, разброс ЛП одноименных компонентов был незначительным между разными зонами. Тогда как при ММД формирование компонентов ЗВП было асинхронным: диапазон значений ЛП компонента N1 был от 70 до 132 мс, компонента P2 – от 100 до 190 мс, компонента N2 – от 175 до 254 мс, а позднего позитивного компонента – от 227 до 358 мс. У подростков же контрольной группы максимальное значение ЛП компонента P3 составило 310 мс. Амплитуды ранних и поздних компонентов у подростков с ММД были ниже относительно контро-

ля. Таким образом, с возрастом у всех обследованных мальчиков отмечается улучшение показателей ЗВП (снижение ЛП компонентов и повышение А). Однако менее синхронное формирование по полушариям компонентов ЗВП при ММД является отражением неоптимальных процессов в мозге в ответ на световой стимул. Последовательное включение в обработку сигнала разных областей коры больших полушарий приводит к увеличению времени развития функции внимания.

Далее представлены результаты анализа межгрупповых различий ЗВП у детей в зависимости от фактора «Возраст». Фактор «Возраст» достоверно определял различие показателей ЛП компонента Р1 в отведениях F3, Cz и C3, компонента N1 в отведениях F4 и P4, компонента P2 в отведениях F4, P3, P4 и O2, компонента N2 в отведениях F4, T4, C4, Cz, P4 и O2, а компонента P3 – в отведении F4. Необходимо отметить, что в компонентах, связанных с формированием функции внимания (P2–N2–P3) сохраняется взаимосвязь с фактором «Возраст», что, очевидно указывает на важную роль данной области мозга в развитии зрительного внимания. Согласно многофакторному дисперсионному анализу MANOVA, где зависимыми переменными служили значения ЛП ЗВП для различных отведений, а фиксированными факторами – «ММД» и «Возраст», а также их взаимодействие «ММД – Возраст», изолированное влияние фактора «ММД» было значимым в отношении показателей ЛП компонента N1 в отведениях F4 и P4, а также компонента N2 в отведениях P4 и O2. Таким образом, нарушение биоэлектрических процессов, происходящих в момент формирования компонентов N1 и N2 в отведениях F4–P4–O2, является ведущим механизмом, снижающим показатели зрительного внимания при ММД.

При анализе результатов исследования особенностей формирования слуховых вызванных потенциалов у детей с ММД установлено, что наиболее значимые различия амплитуд компонентов Р1 у младших школьников основной и контрольной групп были обнаружены в областях Fp1, F3 и Cz, где при ММД отмечали снижение этих показателей, соответственно, на 73% ($p < 0,05$), 80,5% ($p < 0,05$) и 86% ($p < 0,05$). При этом меньший ЛП компонента Р1 у здоровых детей приходился на Cz зону. В диапазоне от 68 до 80 мс выявлено формирование компонента Р1 в областях Fp1, Fp2, F3, C3 и T4. Во всех остальных зонах коры ЛП компонента соответствовали значениям примерно 80–100 мс. ЛП компонента Р1 у детей с ММД были выше, чем в контроле. Наиболее раннее формирование компонента Р1 у этих детей происходило в париетальных зонах, T4 и O1 областях. Амплитуды компонента N1 у детей с ММД младшего школьного возраста были практически во всех отведениях выше контроля, за исключением Fp1, Fp2 и F4 областей. Однако развитие N1 компонента у детей с ММД в среднем происходило на 30 мс позже, чем в контроле (т.е. разница ЛП N1 и P1 составляла около 30 мс), за исключением теменных и затылочных зон, где формирование компонента N1 наблюдали раньше у детей с ММД. Наиболее высокие значения А компонента Р2 в контроле у детей младшего школьного возраста выявлены в F3 и Cz зонах, где у мальчиков с ММД А были ниже, соответственно, на 72% ($p < 0,05$) и 86% ($p < 0,05$) относительно контроля. При этом ЛП в зоне Cz у здоровых детей на 135 мс был ниже, чем при ММД. В то же время в затылочных и теменных областях ЛП компонента Р2 мальчиков контрольной группы были выше, чем в основной. Ампли-

туды компонента N2 у детей 7–10 лет контрольной группы превышали аналогичные показатели школьников с ММД. В вертексной области мальчиков с ММД А компонента N2 была ниже на 56% ($p < 0,05$), а в Fp1 зоне – на 96% ($p < 0,05$) относительно нормы. Величина ЛП N2 по всем отведениям у мальчиков с ММД на 17% была выше контроля. Наиболее высокие значения ЛП N2 при ММД выявлены в центральных областях. Средние значения А компонента P3 у детей контрольной и основной групп не различались. Однако у здоровых мальчиков большие показатели А компонента P3 выявлены во фронтальных зонах, а при ММД – в затылочных и височных. Развитие позднего позитивного компонента у здоровых детей наблюдали в диапазоне от 248 до 373 мс, а в основной группе – от 336 до 405 мс. Изменения СВП при ММД относительно контроля могут быть связаны с нарушением слухового восприятия, нейрофизиологическим отражением которого при ММД является повышенная ЛП и снижение А компонентов СВП.

При проведении анализа межгрупповых различий СВП у детей в зависимости от фактора «Возраст» были выявлены достоверные различия показателей ЛП компонента P1 в отведениях F4, C4, T3, O2 и O1, компонента N1 в отведениях F3 и F4, компонента P2 в отведениях F4, Fp2 и P3, компонента N2 в отведениях F4 и P3, компонента N3 в отведениях F4, C3, C4, T4 и P3. Согласно многофакторному дисперсионному анализу MANOVA, где зависимыми переменными служили значения ЛП СВП для различных отведений, а фиксированными факторами – «ММД» и «Возраст», а также их взаимодействие «ММД – Возраст», изолированное влияние фактора «ММД» было значимым в отношении показателей

ЛП компонента P2 в отведениях F4 и P3, а также компонента P3 в отведениях F4, T4 и P3.

Проведенный факторный анализ совокупности нейрофизиологических показателей и показателей биоэлектрической активности мозга детей с ММД позволил выделить три составляющие психофункционального континуума изучаемой патологии. Выделенные составляющие F1, F2 и F3 определяли 92,3% общей дисперсии. Высокая факторная нагрузка была выявлена для первого компонента F1 среди таких показателей, как ЛП ЗВП в областях F4, P3 и P4, СВП в областях P3 и P4, когнитивных ВП в области Fp4 и коэффициента тета/бета (индекса внимания) и процента выполнения тестовых заданий нейропсихологического тестирования; для компонента F2 – ЛП компонента P1 в отведениях F4, C4, T3, компонента N1 в отведении F4, компонента P2 в отведениях F4, Fp2 и P3, компонента N2 в отведениях F4 и P3, а компонента N3 в отведениях F4, C3, C4, T4 и P3; для компонента F3 – процент тестовых заданий нейропсихологического тестирования и спектральной мощности α -диапазона ЭЭГ.

Выводы:

1. При анализе результатов нейропсихологического тестирования было показано, что у мальчиков с ММД присутствуют диффузные нарушения функционирования корковых структур, поведенчески проявляющиеся в нарушении функций праксиса и гнозиса. Наиболее выраженная функциональная недостаточность характерна для структур правого полушария, особенно фронтальных областей, что и влечет за собой развитие синдрома дефицита внимания. При этом позднее созревание межполушарных комиссур является причиной развития импульсивности, невротизации и других признаков

гиперактивности, в сочетании с дефицитом внимания формирующих базу для задержки психического развития ребенка с ММД.

2. Критерием дефицита внимания при ММД является отставание от нормы формирования спектральной мощности и амплитудных значений высокочастотной составляющей электроэнцефалограммы на фоне высоких значений низкочастотной ритмической активности в ассоциативных областях правого полушария по сравнению с контролем. Снижение амплитудных и повышение латентных показателей зрительных и слуховых вызванных потенциалов детей с ММД является неспецифическим признаком нарушения процесса восприятия, что приводит к задержке психического развития относительно возрастной нормы.

3. С возрастом у детей с ММД не происходит абсолютной компенсации нарушенных на ранних стадиях онтогенеза функций в результате того, что созревание структур мозга до необходимого уровня реализации функции у них происходит позже временного диапазона сенситивного периода данной функции.

Таким образом, в результате проведенного исследования установлено, что существует необходимость учета особенностей развития детей с ММД при планировании образовательного процесса, который бы способствовал возникновению их индивидуальных образовательных траекторий. При этом образовательный процесс должен быть в первую очередь направлен на коррекцию зрительного и слухового восприятия детей с ММД психолого-педагогическими методами. Для этого требуется разработать и реализовать комплекс индивидуально ориентированных учебно-методических материалов, облегчающих осуществление

педагогического процесса с детьми, испытывающими трудности в обучении.

Литература

1. Ахутина, Т.В. Коррекция функций управления, регуляции и контроля деятельности у детей с когнитивными нарушениями: нейропсихологический подход Выготского–Лурии / Т.В. Ахутина // Новые исследования: альманах. М.: Вердана, 2006. Т. 10, № 2. С. 149–159.
2. Гнездицкий, В.В. Выделение вызванных потенциалов на одиночные стимулы – метод пространственного синхронного усреднения / В.В. Гнездицкий // Физиология человека. 1990. Т. 16, № 3. С. 119–126.
3. Гнездицкий, В.В. Вызванные потенциалы мозга в клинической практике / В.В. Гнездицкий. М.: МЕДпресс-информ, 2003.
4. Гнездицкий, В.В. Частотная структура вызванных потенциалов мозга и их интерпретация / В.В. Гнездицкий, Ю.М. Коптелов, Н.А. Архипова // Биофизика. 1980. Т. 25. С. 958–965.
5. Кирой, В.Н. Физиологические методы в психологии: учеб. пособие / В.Н. Кирой. Ростов н/Д: ЦВВР, 2003.
6. Кисова, В.В. Практикум по специальной психологии / В.В. Кисова, И.А. Конева. СПб.: Речь, 2006.
7. Кропотов, Ю.Д. Современная диагностика и коррекция синдрома нарушения внимания (нейрометрия, электромагнитная томография и нейротерапия) / Ю.Д. Кропотов. СПб.: Элби, 2005.
8. Лурия, А.Р. Высшие корковые функции человека / А.Р. Лурия. М., 1969.
9. Панков, М.Н. Психофизиологические особенности детей с СДВГ и эмоциональной лабильностью / М.Н. Панков, А.Н. Подоплекин, Н.В. Афанасенкова // Новые исследования: альманах. М.: Вердана, 2006. Т. 10, № 2. С. 141–148.
10. Психофизиологическая диагностика и психолого-педагогическая помощь детям с СДВГ / М.М. Безруких [и др.] // Новые исследования: альманах. М.: Вердана, 2006. Т. 10, № 2. С. 9–35.
11. Тонконогий, И.М. Клиническая нейропсихология / И.М. Тонконогий, А. Пуанте. СПб.: Питер, 2007.
12. Lansman, M. Individual differences in the ability to focus and divide attention / M. Lansman, S. Poltrock, E. Hunt // Intelligence. 1983. № 7. P. 299–312.
13. Loveless, N.E. Effects of the rise-time on late components of the auditory evoked potential / N.E. Loveless, H.M.C. Brunia // J. of Psychophysiology. 1990. Vol. 4. P. 369–380.
14. Monastra, V.J. Electroencephalographic Biofeedback in the Treatment of Attention Deficite/

- Hyperactivity Disorder / V.J. Monastra // *Applied Psychophysiology and Biofeedback*. 2005. Vol. 30, № 2. P. 35–43.
15. *Posner, M.I.* Attention, self regulation and consciousness / M.I. Posner, M.K. Rothbart / *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 1998. P. 1915–1927.
16. *Posner, M.I.* The attention system of the human brain / M.I. Posner, S.E. Petersen // *Annu. Rev. Neuroscience*. 1990. №. 13. P. 25–42.
17. *Zimmermann, P.* Diagnosis of attentional deficits: Theoretical considerations and presentation of a test battery / P. Zimmermann, P. North, B. Fimm // *Developments in the assessment and rehabilitation of brain-damaged patients. Perspectives from a European concerted action* / Ed. by F.J. Stachowiak. Tübingen: Gunter. Narr. Verlag., 1993. P. 242–286.