

МОРОЗОВА Людмила Владимировна, доктор биологических наук, профессор кафедры физиологии и морфологии человека института естественных наук и технологий Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Автор 120 научных публикаций, в т. ч. 4 монографий

СПЕЦИФИКА ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗРИТЕЛЬНОГО ВОСПРИЯТИЯ ДЕТЕЙ 7-8 ЛЕТ С РАЗНЫМ ТЕМПОМ ЕГО ФОРМИРОВАНИЯ

В работе представлены результаты психофизиологического и электроэнцефалографического исследований обеспечения зрительного восприятия (ЗВ) детей 7-8 лет (средний возраст – $7,52 \pm 0,37$ года). Экспериментальная часть исследования проводилась в 2 этапа: на первом оценивался уровень развития ЗВ с помощью модифицированной методики М.М. Безруких, Л.В. Морозовой, на втором проводилась регистрация электроэнцефалограммы (ЭЭГ) для изучения особенностей функциональной организации мозга при зрительно-пространственной деятельности. Запись ЭЭГ осуществлялась на электроэнцефалографе «Neuroscor-416», спектрально-корреляционный анализ электроэнцефалографических данных осуществлялся при помощи программы «Neroscope 5.1». Оценивались относительные (нормированные на общую энергию) значения спектральной мощности (ОСМ) в частотных диапазонах тета (4–7 Гц), альфа-1 (7,5–9,5 Гц), альфа-2 (9,5–10,7 Гц), альфа-3 (10,7–12,7 Гц) и бета (13–20 Гц), определялись максимум оценки функций когерентности (КОГ) ритмических составляющих альфа-диапазона, асимметрия активности альфа-диапазона. Выявлено, что более экономичные и эффективные механизмы зрительной деятельности отмечены у испытуемых со средним темпом формирования ЗВ, в то время как низкие темпы формирования ЗВ приводят к генерализации механизмов зрительной деятельности. У детей с низкими темпами формирования ЗВ при осуществлении зрительно-пространственной деятельности значительно повышаются эмоциональная активация и уровень «психического напряжения». Большая активация правого полушария в состоянии готовности к зрительной деятельности, особенно передневисочных и теменно-затылочно-височных областей, большая активация левого полушария при переходе к зрительной деятельности определяют более успешное формирование ЗВ.

Ключевые слова: зрительное восприятие, электроэнцефалограмма, функциональная асимметрия коры головного мозга.

Использование методов анализа ЭЭГ вызванных потенциалов (ВП), связанных с событием потенциалов (ССП), позволило раскрыть базовые механизмы системной организации интегративной деятельности мозга, их изменений в ходе онтогенеза у нормально развивающихся детей, а также при разном характере деятельности, типе и сложности решаемых когнитивных задач.

Исследования ряда авторов показали, что к концу дошкольного возраста изменяются степень и механизмы организации когнитивных процессов [1–6]. В данном возрастном диапазоне наблюдаются существенные преобразования в коре больших полушарий: специализация нейронов, их типизация как в проекционных, так и ассоциативных областях, уменьшение количества синапсов, замедление роста клетки [7–9]. Самым существенным усложнением структуры коры головного мозга является изменение связей по горизонтали как между нейронами, так и между разными областями коры [3].

Вместе с тем сведений о специфике мозговой организации когнитивной деятельности у детей с разными темпами формирования психофизиологических функций мало [10]. Одной из важных когнитивных функций, определяющей специфику познавательной деятельности ребенка, является ЗВ. К концу дошкольного возраста ЗВ объекта становится более организованным и систематичным, продолжается формирование дифференцированного сенсорного образа. Рядом авторов показано, что такая инвариантность опознания к началу школьного обучения может вызвать определенные трудности различия в опознании сенсорных признаков объекта и смысловых знаковых стимулов [2, 5].

Целью настоящего исследования стало выявление специфики системной организации и психофизиологического обеспечения ЗВ у детей с разным темпом его созревания.

Материалы и методы. В исследовании приняли участие 139 школьников, средний возраст которых составил $7,52 \pm 0,37$ года. Все дети обучались по традиционной программе массовой общеобразовательной школы, были

практически здоровы, не имели в анамнезе хронических или острых заболеваний ЦНС, а также выраженных отклонений психоневрологического статуса. Все испытуемые были праворукими. Обследования проводились с письменного согласия родителей, педагогов и устного согласия самих детей. Время проведения исследования – первая половина дня.

На предварительном этапе обработки данных расчет и анализ всех показателей проводились отдельно для мальчиков и девочек каждого возраста. Отсутствие достоверных различий между группами мальчиков и девочек ($p > 0,05$) позволило объединить их в единую группу.

В соответствии с поставленной целью исследование проводилось в несколько этапов. Первый этап включал в себя проведение оценки уровня развития ЗВ у детей 6-8 лет. Второй этап исследования – регистрацию биоэлектрической активности мозга и оценку функциональной организации мозга.

Для проведения первого этапа исследования была выбрана модифицированная методика определения уровня развития ЗВ (Безруких, Морозовой, 1996) [11]. Методика содержит 6 субтестов, которые дают оценку ЗВ с выделением ведущего компонента: субтест 1 – зрительно-моторная координация; субтест 2 – фигуρο-фонное различие (помехоустойчивость); субтест 3 – постоянство формы (константность восприятия); субтест 4 – выбор эталонной фигуры (зрительно-пространственное восприятие); субтест 5 – копирование по образцу (зрительно-пространственное восприятие); субтест 6 – зрительный анализ-синтез. Все задания выполнялись каждым ребенком графически, в ходе индивидуального тестирования.

На втором этапе проводилась регистрация ЭЭГ с помощью компьютерного электроэнцефалографа «Neuroscop-416» производства НПФ «Биола» (Россия) с отдельными ушными индифферентными электродами непрерывно, монополярно от симметричных отведений затылочных (O_1, O_2), теменных (P_3, P_4), центральных (C_3, C_4), лобных (F_3, F_4), передневисочных (T_3, T_4) и затылочно-теменно-височных ($TPO_{dex/sin}$)

отведений левого и правого полушарий. Локализация отведений определялась по международной системе «10-20», для ТРО – по методу Т.Г. Бетелевой [1].

Для изучения особенностей функциональной организации мозга при зрительно-пространственной деятельности регистрация ЭЭГ проводилась в состоянии спокойного бодрствования, в ситуации ожидания зрительно-пространственного задания и во время выполнения. Модель эксперимента предусматривала предъявление зрительно-пространственного задания одного типа.

Компьютерная обработка электроэнцефалографических данных осуществлялась методом спектрально-корреляционного анализа (Быстрое преобразование Фурье) при помощи программы «Neuroscope 5.1». В анализ включались минутные отрезки фоновой записи ЭЭГ с предварительно удаленными артефактами. Подвергнутые компьютерной математической обработке данные были представлены в виде относительных (нормированных на общую энергию) значений ОСМ в частотных диапазонах тета (4–7 Гц), альфа-1 (7,5–9,5 Гц), альфа-2 (9,5–10,7 Гц), альфа-3 (10,7–12,7 Гц) и бета (13–20 Гц). Границы диапазонов были выбраны в соответствии с доминирующими в данной возрастной группе пиковыми значениями анализируемых частотных диапазонов ЭЭГ при качественном анализе кривых оценок спектральной мощности.

Основным анализируемым параметром пространственно-временной организации электрической активности был максимум оценки функций КОГ ритмических составляющих альфа-диапазона ЭЭГ. С целью приближения распределения анализируемых переменных (максимумов оценок КОГ) к нормальному использовалось Z-преобразование Фишера. Рост КОГ для пары отведений рассматривался как показатель усиления функционального взаимодействия между соответствующими областями коры.

Уровень функциональной асимметрии коры головного мозга определяли с помощью анализа

асимметрии активности альфа-диапазона [3, 12]. Показатель альфа-асимметрии определялся как разница ОСМ между отведениями обоих полушарий.

Математический и статистический анализ полученных данных проводился с применением пакета прикладных программ «Microsoft Excel», «SPSS 15». Дисперсионный анализ проводился с использованием процедуры сравнения средних значений выборок ANOVA с вычислением общего уровня значимости различий (р-уровень значимости критерия Фишера). По результатам методик различия считались статистически достоверными при уровне значимости $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение. По результатам первого этапа исследования дети были разделены на 3 группы: 1-я – темп формирования ЗВ средний ($n = 21$); 2-я – темп формирования ЗВ ниже среднего ($n = 25$); 3-я – темп формирования ЗВ низкий ($n = 22$).

Спектрально-когерентный анализ ЭЭГ покоя с закрытыми глазами позволил выявить сходство и некоторую специфику электрической активности головного мозга в группах детей с разным темпом формирования ЗВ. В ЭЭГ покоя с закрытыми глазами нами не отмечено значительных отличий у детей 1-й и 2-й групп. Это позволяет предположить, что количественные показатели ЭЭГ покоя не отражаются на незначительном снижении темпов формирования ЗВ.

Нами отмечена тенденция усиления мощности тета-ритма у детей 3-й группы во всех отведениях, кроме затылочных. Усиление медленноволновой активности можно рассматривать как проявление нарастания утомляемости и истощаемости нейронных элементов коры больших полушарий, обуславливающих растормаживание подкорковых структур, как напряженность функционирования ЦНС [13].

Отличительной особенностью детей данной группы являются и более выраженные альфа-1-частоты в лобной области коры в фоновой ЭЭГ, которые обычно связывают с тормозными процессами [14, 15]. Последнее рассматривается как замедление функционального созревания

этой области [4, 16] и может обуславливать дефицит произвольных форм внимания, его относительно низкую устойчивость, нарушения системной организации процессов восприятия и аналитико-синтетической деятельности мозга в целом [18]. Нельзя исключить, что дефицит данных когнитивных операций приводит к замедлению темпов формирования ЗВ.

Анализ биоэлектрической активности головного мозга в состоянии покоя детей показал незначительные отличия в 1-й и 2-й группах, поэтому на данном этапе исследования для анализа особенностей нейрофизиологического обеспечения зрительной деятельности нами были выбраны дети 1-й и 3-й групп.

Переход к ситуации готовности к зрительной деятельности вызывает неоднозначные изменения биоэлектрической активности коры головного мозга у детей обеих групп. Сравнительный анализ (ANOVA) разниц значений ОСМ показал, что переход от состояния покоя к готовности к зрительной деятельности вызывает практически сходные изменения у детей 1-й и 3-й групп. Лишь по ряду отведений были отмечены достоверные различия ($p < 0,05$): большее возрастание ОСМ – у детей 3-й группы в тета-диапазоне в затылочной области правого полушария, в бета-диапазоне во фронтальных областях обоих полушарий и передневисочной области левой гемисферы.

При сравнении разниц максимальных значений функций КОГ при переходе от состояния покоя с закрытыми глазами к ситуации готовно-

сти к зрительной деятельности в обеих группах детей выявлены достоверные различия (рис. 1).

Необходимо отметить, что у детей обеих групп в состоянии готовности к деятельности по сравнению с фоном было обнаружено достоверное снижение максимумов оценок функций КОГ альфа-ритма, что не противоречит нейрофизиологическим данным. В некоторых исследованиях показано, что избирательность процессов предстимульного внимания у детей в отличие от взрослых проявляется в т. ч. и в снижении уровня КОГ в тех областях, которые «не принимают участия» в обработке релевантной информации [18].

Отмечено увеличение межполушарной КОГ в низкочастотном альфа-диапазоне у детей 3-й группы наряду со значительно более сильно выраженными многочисленными уменьшениями КОГ в диапазонах альфа-1, альфа-2, прежде всего в лобной области и в связях лобной и зрительной областей. Увеличение межполушарной КОГ в альфа-1-диапазоне между затылочными областями у детей коррелирует с литературными данными о специализированном участии в организации внимания наиболее функционально зрелых областей мозга у детей данного возраста [19].

Наши данные согласуются с мнением о том, что реакция активизации в ответ на открывание глаз вызывает у детей снижение уровня как внутрислошарной (в обоих полушариях), так и межполушарной КОГ биопотенциалов альфа-диапазона, что отражает увеличение активационных влияний в ответ на обстановочную зрительную афферентацию [20].

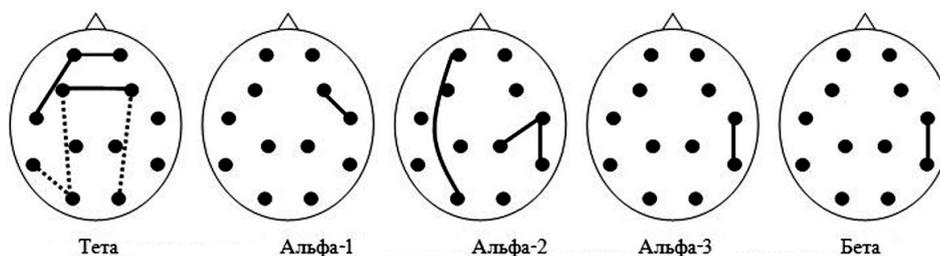


Рис. 1. Показатели функций КОГ ритмических составляющих ЭЭГ школьников с разным уровнем развития ЗВ: — — большие значения функций КОГ у детей с низким темпом формирования ЗВ по сравнению с детьми со средним темпом формирования ЗВ, ---- — меньшие значения

При сравнительном анализе динамики функций КОГ у детей обеих групп обнаружена региональная специфичность участия областей коры больших полушарий в реализации готовности к зрительной деятельности. Так, у детей 3-й группы в реализацию предстимульного состояния более активно включаются переднеассоциативные зоны коры, у детей 1-й группы наблюдается десинхронизация ритмов альфа-диапазона.

Обращает на себя внимание наличие у детей 3-й группы более высоких значений функций КОГ между заднеассоциативными зонами правого полушария. Развитие локальных связей в правом полушарии достигает пика к 7 годам [21]. Можно предположить, что в период ожидания у детей наблюдается процесс более напряженной настройки правополушарной каудальной системы сенсорного анализа, функция которой состоит в полном описании изображения посредством хранящегося в памяти набора неразложимых элементов изображения (примитивов) [22].

Наши данные согласуются с результатами исследований мозговой организации процессов восприятия и запоминания зрительной информации у детей со значительным нарушением слуха, сочетающимся с регуляторными расстройствами. Показано, что у этих детей наблюдается наиболее выраженное повышение ОСМ и КОГ в правом полушарии по сравнению с нормой. Это отражает настройку в период эффективного ожидания преимущественно правополушарных проекционных и ассоциативных механизмов, обеспечивающих системную информационную обработку ожидаемого стимула [23].

Показатели электрической активности коры у детей 3-й группы позволяют сделать вывод об общем эмоциональном напряжении детей в ситуации готовности к зрительной деятельности и вовлечении в период ожидания стимула преимущественно правополушарных проекционных и ассоциативных механизмов.

Ситуация выполнения зрительной деятельности приводит к образованию специализированных функциональных объединений определенных областей коры больших полушарий в обеих группах испытуемых. При этом стоит отметить не только региональное возникновение фокусов взаимосвязанной активности, но и полушарную специфику организации когнитивной деятельности у детей с разным темпом формирования ЗВ.

Топография пространственной синхронизации электрической активности (выявляемая по КОГ) при зрительной деятельности у детей обеих групп имеет черты сходства и различия. Нами отмечено большее количество достоверных изменений значений функций КОГ при переходе от ситуации готовности к зрительной деятельности у детей 3-й группы по сравнению с детьми 1-й группы (рис. 2).

Обращает на себя внимание большее количество связей в правом полушарии у детей 3-й группы в альфа-диапазоне. Казалось бы, более тесные связи в правой гемисфере должны обеспечивать более качественный результат выполнения заданий на ЗВ, однако данная группа детей характеризуется более низкими темпами формирования системы ЗВ. По мнению ряда

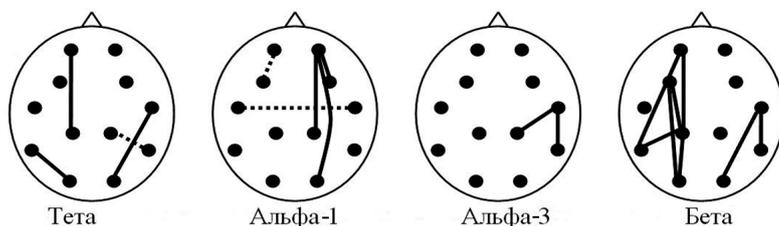


Рис. 2. Показатели функций КОГ ритмических составляющих ЭЭГ детей при переходе от ситуации готовности к зрительной деятельности: — — большие значения функций КОГ у детей с низким темпом формирования ЗВ по сравнению с детьми со средним темпом формирования ЗВ, ---- — меньшие значения

исследователей, увеличение мощности альфа-активности в правом полушарии свидетельствует об усилении тормозных влияний на кору [24–26].

У детей 3-й группы в альфа-1-диапазоне формируется функциональное объединение в правом полушарии с локусом в лобной зоне и снижается взаимодействие между лобной и центральной областями левого полушария. Также у детей данной группы отмечен локус правополушарного взаимодействия в альфа-3-диапазоне между передневисочными–теменными и передневисочными–теменно-затылочно-височными областями. Это свидетельствует о преобладании правополушарной стратегии зрительной деятельности у детей данной группы, что и приводит к снижению эффективности ЗВ.

Таким образом, данные, полученные в ходе ЭЭГ анализа у детей 7-8 лет, показали, что альфа-

асимметрия головного мозга является одним из факторов, определяющих темп формирования ЗВ.

Корреляционный анализ показателей альфа-асимметрии при переходе от ситуации готовности к зрительной деятельности и эффективности реализации компонентов ЗВ выявляет большое количество прямых взаимосвязей для передневисочных и теменно-затылочно-височных областей.

Корреляционные модели, построенные для двух экспериментальных ситуаций (рис. 3), наглядно демонстрируют особенности влияния полушарной активности на эффективность выполнения зрительной деятельности.

Так, более успешны и имеют высокие темпы формирования ЗВ те дети, у которых в состоянии готовности к зрительной деятельности большая ОСМ правого полушария, а при переходе

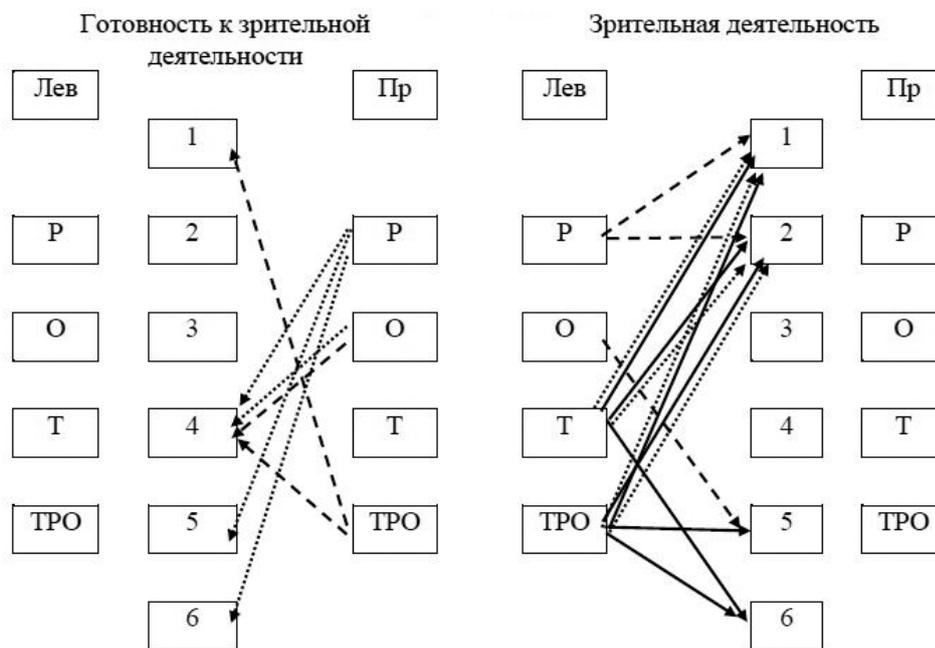


Рис. 3. Корреляционная модель взаимосвязей показателей альфа-асимметрии различных областей коры левого (Лев) и правого (Пр) полушарий в разных экспериментальных ситуациях и успешности формирования компонентов ЗВ: 1 – зрительно-моторная интеграция; 2 – помехоустойчивость восприятия; 3 – константность восприятия; 4 – зрительно-пространственное восприятие; 5 – зрительно-пространственные отношения; 6 – зрительно-пространственный анализ-синтез; — — альфа-1; — альфа-2; ----- — альфа-3

к зрительной деятельности наблюдается большая десинхронизация правого полушария.

Данные о большей эффективности левополушарной стратегии зрительной деятельности у детей данного возраста находят отражение в литературе. Некоторыми исследователями показано, что совершенствование зрительного опознания сигнального стимула в условиях дополнительной информации, анализируемой на произвольном уровне, состоит, с одной стороны, в уменьшении вовлечения правополушарных механизмов в пользу левополушарных, с другой стороны, в свертывании роли лобных областей в сенсорном анализе признаков [4, 15].

При выполнении зрительно-пространственного задания у детей 3-й группы на частоте бета-ритма преобладает генерализованное усиление КОГ в левом полушарии и в каудальных отделах правого полушария, что свидетельствует о повышении уровня «психического напряжения» [27] при выполнении тестовых заданий, что также может снижать эффективность деятельности.

Заключение. Особенности пространственно-временной организации биоэлектрической активности при зрительной деятельности у детей обеих групп выражаются в том, что экспериментальные задания у испытуемых со средним темпом формирования ЗВ влекут за собой настройку работы коры на использование более экономичных и эффективных механизмов, в то время как у детей с низким темпом формирования ЗВ наблюдается генерализованное взаимодействие нервных центров в процессе зрительной деятельности.

Увеличение пространственной синхронизации биопотенциалов в тета- и бета-диапазонах, охватывающее практически всю кору, у детей с низкими темпами формирования ЗВ может отражать значительное повышение эмо-

циональной активации и уровня «психического напряжения» при осуществлении зрительно-пространственной деятельности детьми этой группы. Также для детей данной группы характерно преобладание правополушарной стратегии зрительной деятельности, что приводит к снижению эффективности ЗВ и замедлению темпов его совершенствования. Характеристикой незрелости мозгового обеспечения зрительной деятельности у детей данной группы является и активное включение в зрительное опознание лобных областей коры.

У детей с разным темпом формирования ЗВ выявлена специфика и асимметрия активационных процессов коры головного мозга. Более высокие темпы формирования ЗВ определяет большая активация правого полушария в состоянии готовности к зрительной деятельности и большая активация левого полушария при переходе к зрительной деятельности. Электрическая активность коры в состоянии готовности к зрительной деятельности у детей с низким темпом формирования ЗВ характеризуется увеличением пространственной синхронизации в тета- и бета-диапазонах, что свидетельствует о повышении эмоциональной активации и уровня «психического напряжения». У детей со средним темпом формирования ЗВ данная тенденция менее выражена.

У детей с разным темпом формирования ЗВ выявлена специфика взаимодействия различных отделов коры больших полушарий. Анализ КОГ при выполнении зрительной деятельности свидетельствует о максимальном вкладе в процессы успешного формирования ЗВ передневисочных и теменно-затылочно-височных областей правого полушария.

Список литературы

1. Бетелева Т.Г. Нейрофизиологические механизмы зрительного восприятия (онтогенетические исследования). М., 1983. 175 с.
2. Фарбер Д.А. Развитие зрительного восприятия в онтогенезе // Мир психологии. 2003. № 2(34). С. 114–124.

3. Фарбер Д.А., Семенова Л.К., Алферова В.В. Структурно-функциональная организация развивающегося мозга. Л., 1990. 198 с.
4. Фарбер Д.А., Бетелева Т.Г. Формирование системы зрительного восприятия в онтогенезе // Физиология человека. 2005. Т. 31, № 5. С. 26–36.
5. Дубровинская Н.В., Фарбер Д.А., Безруких М.М. Психофизиология ребенка: Психофизиологические основы детской валеологии. М., 2000. 144 с.
6. Рысина Н.Н., Джос Ю.С., Емельянова Т.В., Суранова И.В. Особенности интеллекта у детей-северян 8-11 лет с трудностями обучения // Вестн. Сев. (Арктич.) федер. ун-та. Сер.: Мед.-биол. науки. 2013. № 4. С. 51–60.
7. Pfefferbaum A., Mathalon D.H., Sullivan E.V., Rawles J.M., Zipursky R.B., Lim K.O. A Quantitative Magnetic Resonance Imaging Study of Changes in Brain Morphology from Infancy to Late Adulthood // Arch. Neurol. 1994. Vol. 51, № 9. P. 874–887.
8. Huttenlocher P.R., Dabholkar A.S. Regional Differences in Synaptogenesis in Human Cerebral Cortex // J. Comp. Neurol. 1997. Vol. 387, № 2. P. 167–178.
9. Courchesne E., Chisum H.J., Townsend J., Cowles A., Covington J., Egaas B., Harwood M., Hinds S., Press G.A. Normal Brain Development and Aging: Quantitative Analysis at *in vivo* MR Imaging in Healthy Volunteers // Radiology. 2000. Vol. 216, № 3. P. 672–682.
10. Терехова Н.Н., Безруких М.М. Возрастные особенности функциональной организации коры головного мозга у детей 5, 6 и 7 лет с разным уровнем сформированности зрительного восприятия // Новые исслед. 2013. № 4. С. 67–88.
11. Безруких М.М., Морозова Л.В. Методика оценки уровня развития зрительного восприятия детей 5,0-7,5 лет: рук. по тестированию и обраб. результатов. М., 1996. 48 с.
12. Князева М.Г. Межполушарная асимметрия альфа-ритма ЭЭГ в процессе когнитивной деятельности разной успешности // Физиология человека. 1991. Т. 17, № 5. С. 50–60.
13. Кудрякова Т.А. Динамика электроэнцефалографических показателей детей 6-летнего возраста под влиянием школьного обучения // Физиология человека. 1991. Т. 17, № 1. С. 172–175.
14. Lopes da Silva F.N. Neural Mechanisms Underlying Brain Waves: From Neural Membranes to Networks // Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol. 1991. Vol. 79. P. 81–93.
15. Киров В.Н., Ермаков П.Н. Электроэнцефалограмма и функциональные состояния человека. Ростов н/Д., 1998. 264 с.
16. Бетелева Т.Г., Фарбер Д.А. Роль лобных областей коры в произвольном и непроизвольном анализе зрительных стимулов // Физиология человека. 2002. Т. 28, № 5. С. 5–14.
17. Хомская Е.Д. Мозг и активация. М., 1972. 384 с.
18. Мачинская Р.И. Формирование нейрофизиологических механизмов произвольного избирательного внимания у детей младшего школьного возраста: дис. ... д-ра биол. наук. М., 2001. 278 с.
19. Дубровинская Н.В. Нейрофизиологические механизмы внимания: онтогенетическое исследование. Л., 1985. 144 с.
20. Алферова В.В., Кудрякова Т.А. Пространственная организация биоэлектрической активности мозга детей с трудностями обучения // Физиология человека. 1994. Т. 20, № 5. С. 151–153.
21. Thatcher R. Cyclic Cortical Reorganization, Phase Reset and the Development of Cognition // Новые исслед. 2009. № 2. С. 10–11.
22. Глезер В.Д. О роли пространственно-частотного анализа, примитивов и межполушарной асимметрии в опознании зрительных образов // Физиология человека. 2000. Т. 26, № 5. С. 145–150.
23. Григорьева Л.П. Дети со сложными нарушениями развития. Психофизиологические исследования. М., 2006. 352 с.
24. Свидерская Н.Е. Осознаваемая и неосознаваемая информация в когнитивной деятельности человека // Журн. высш. нерв. деятельности им. И.П. Павлова. 1993. Т. 43, № 2. С. 271–277.
25. Николаев А.Р. Исследование этапов мысленной ротации сложных фигур методом картирования внутрикорткового взаимодействия // Журн. высш. нерв. деятельности им. И.П. Павлова. 1994. Т. 44, № 3. С. 441–447.
26. Basar E., Basar-Eroglu C., Karakas S., Schürmann M. Oscillatory Brain Theory: a New Trend in Neuroscience // IEEE Eng. Med. Biol. Mag. 1999. Vol. 18, № 3. P. 56–66.
27. Фарбер Д.А., Кирпичев В.И. Электроэнцефалографические корреляты индивидуальных особенностей умственной работоспособности подростков // Журн. высш. нерв. деятельности им. И.П. Павлова. 1985. Т. 35, № 4. С. 649–657.

References

1. Beteleva T.G. *Neyrofiziologicheskie mekhanizmy zritel'nogo vospriyatiya (ontogeneticheskie issledovaniya)* [Neurophysiological Mechanisms of Visual Perception (Ontogenetic Studies)]. Moscow, 1983. 175 p.
2. Farber D.A. Razvitie zritel'nogo vospriyatiya v ontogeneze [Development of Visual Perception in Ontogenesis]. *Mir psikhologii*, 2003, no. 2(34), pp. 114–124.
3. Farber D.A., Semenova L.K., Alferova V.V. *Strukturno-funktsional'naya organizatsiya razvivayushchegosya mozga* [Structural and Functional Organization of the Developing Brain]. Leningrad, 1990. 198 p.
4. Farber D.A., Beteleva T.G. Formirovanie sistemy zritel'nogo vospriyatiya v ontogeneze [Formation of the System of Visual Perception in Ontogenesis]. *Fiziologiya cheloveka*, 2005, vol. 31, no. 5, pp. 26–36.
5. Dubrovinskaya N.V., Farber D.A., Bezrukikh M.M. *Psikhofiziologiya rebenka: Psikhofiziologicheskie osnovy detskoj valeologii* [Child Psychophysiology: Psychophysiological Foundations of Child Valeology]. Moscow, 2000. 144 p.
6. Rysina N.N., Dzhos Yu.S., Emel'yanova T.V., Suranova I.V. Osobennosti intellekta u detey-severyan 8–11 let s trudnostyami obucheniya [Features of Intelligence in 8- to 11-Year-Old Children with Learning Difficulties Living in the North]. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Ser.: Mediko-biologicheskie nauki*, 2013, no. 4, pp. 51–60.
7. Pfefferbaum A., Mathalon D.H., Sullivan E.V., Rawles J.M., Zipursky R.B., Lim K.O. A Quantitative Magnetic Resonance Imaging Study of Changes in Brain Morphology from Infancy to Late Adulthood. *Arch. Neurol.*, 1994, vol. 51, no. 9, pp. 874–887.
8. Huttenlocher P.R., Dabholkar A.S. Regional Differences in Synaptogenesis in Human Cerebral Cortex. *J. Comp. Neurol.*, 1997, vol. 387, no. 2, pp. 167–178.
9. Courchesne E., Chisum H.J., Townsend J., Cowles A., Covington J., Egaas B., Harwood M., Hinds S., Press G.A. Normal Brain Development and Aging: Quantitative Analysis at *in vivo* MR Imaging in Healthy Volunteers. *Radiology*, 2000, vol. 216, no. 3, pp. 672–682.
10. Terebova N.N., Bezrukikh M.M. Vozrastnye osobennosti funktsional'noy organizatsii kory golovnoy mozga u detey 5, 6 i 7 let s raznym urovnem sformirovannosti zritel'nogo vospriyatiya [Age-Specific Functional Organization of Cerebral Cortex in 5–6 and 7-Year-Old Children with Different Levels of Visual Perception Development]. *Novye issledovaniya*, 2013, no. 4, pp. 67–88.
11. Bezrukikh M.M., Morozova L.V. *Metodika otsenki urovnya razvitiya zritel'nogo vospriyatiya detey 5,0–7,5 let: ruk. po testirovaniyu i obrab. rezul'tatov* [Methods of Assessing the Level of Visual Perception Development in Children Aged 5.0–7.5 Years: A Guide to Testing and Data Processing]. Moscow, 1996. 48 p.
12. Knyazeva M.G. Mezhpolusharnaya asimmetriya al'fa-ritma EEG v protsesse kognitivnoy deyatel'nosti raznoy uspešnosti [Interhemispheric Asymmetry of EEG Alpha Rhythm During Cognitive Activity of Varying Success]. *Fiziologiya cheloveka*, 1991, vol. 17, no. 5, pp. 50–60.
13. Kudryakova T.A. Dinamika elektroentsefalograficheskikh pokazateley detey 6-letnego vozrasta pod vliyaniem shkol'nogo obucheniya [The Dynamics of Electroencephalographic Indices in 6-Year-Old Children Under the Influence of School Education]. *Fiziologiya cheloveka*, 1991, vol. 17, no. 1, pp. 172–175.
14. Lopes da Silva F.N. Neural Mechanisms Underlying Brain Waves: From Neural Membranes to Networks. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 1991, vol. 79, pp. 81–93.
15. Kirov V.N., Ermakov P.N. *Elektroentsefalogramma i funktsional'nye sostoyaniya cheloveka* [Electroencephalogram and Functional State of the Person]. Rostov-on-Don, 1998. 264 p.
16. Beteleva T.G., Farber D.A. Rol' lobnykh oblastey kory v proizvol'nom i neproizvol'nom analize zritel'nykh stimulov [The Role of the Frontal Regions of the Cortex in Voluntary and Involuntary Analysis of Visual Stimuli]. *Fiziologiya cheloveka*, 2002, vol. 28, no. 5, pp. 5–14.
17. Khomskaya E.D. *Mozg i aktivatsiya* [Brain and Activation]. Moscow, 1972. 384 p.
18. Machinskaya R.I. *Formirovanie neyrofiziologicheskikh mekhanizmov proizvol'nogo izbiratel'nogo vnimaniya u detey mladshego shkol'nogo vozrasta: dis. ... d-ra biol. nauk* [Formation of Neurophysiological Mechanisms of Selective Voluntary Attention in Children of Primary School Age: Dr. Biol. Sci. Diss.]. Moscow, 2001. 278 p.
19. Dubrovinskaya N.V. *Neyrofiziologicheskie mekhanizmy vnimaniya: ontogeneticheskoe issledovanie* [Neurophysiological Mechanisms of Attention: An Ontogenetic Study]. Leningrad, 1985. 144 p.
20. Alferova V.V., Kudryakova T.A. Prostranstvennaya organizatsiya bioelektricheskoy aktivnosti mozga detey s trudnostyami obucheniya [Spatial Organization of Brain Bioelectrical Activity in Children with Learning Difficulties]. *Fiziologiya cheloveka*, 1994, vol. 20, no. 5, pp. 151–153.

21. Thatcher R. Cyclic Cortical Reorganization, Phase Reset and the Development of Cognition. *Novye issledovaniya*, 2009, no. 2, pp. 10–11.

22. Glezer V.D. O roli prostranstvenno-chastotnogo analiza, primitivov i mezhpolutsharnoy asimmetrii v opoznanii zritel'nykh obrazov [On the Role of Spatial Frequency Analysis, Primitives and Hemispheric Asymmetry in Identification of Visual Images]. *Fiziologiya cheloveka*, 2000, vol. 26, no. 5, pp. 145–150.

23. Grigor'eva L.P. *Deti so slozhnymi narusheniyami razvitiya. Psikhofiziologicheskie issledovaniya* [Children with Complex Disabilities. Psychophysiological Research]. Moscow, 2006. 352 p.

24. Sviderskaya N.E. Osoznaemaya i neosoznaemaya informatsiya v kognitivnoy deyatel'nosti cheloveka [Perceivable and Unperceivable Information in Cognitive Human Activity]. *Zhurnal vysshey nervnoy deyatel'nosti im. I.P. Pavlova*, 1993, vol. 43, no. 2, pp. 271–277.

25. Nikolaev A.R. Issledovanie etapov myslennoy rotatsii slozhnykh figur metodom kartirovaniya vnutrikorkovogo vzaimodeystviya [Research into the Stages of Mental Rotation of Complex Shapes by Intracortical Interaction Mapping]. *Zhurnal vysshey nervnoy deyatel'nosti im. I.P. Pavlova*, 1994, vol. 44, no. 3, pp. 441–447.

26. Basar E., Basar-Eroglu S., Karakas S., Schürmann M. Oscillatory Brain Theory: A New Trend in Neuroscience. *IEEE Eng. Med. Biol. Mag.*, 1999, vol. 18, no. 3, pp. 56–66.

27. Farber D.A., Kirpichev V.I. Elektroentsefalograficheskie korrelyaty individual'nykh osobennostey umstvennoy rabotosposobnosti podrostkov [Electroencephalographic Correlates of Individual Characteristics of Task Performance in Adolescents]. *Zhurnal vysshey nervnoy deyatel'nosti im. I.P. Pavlova*, 1985, vol. 35, no. 4, pp. 649–657.

doi: 10.17238/issn2308-3174.2016.1.63

Morozova Lyudmila Vladimirovna

Institute of Natural Sciences and Technologies, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov
4 prosp. Lomonosova, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation;
e-mail: l.morozova@narfu.ru

PECULIARITIES OF PSYCHOPHYSIOLOGICAL SUPPORT OF VISUAL PERCEPTION IN CHILDREN AGED 7–8 YEARS WITH VARIOUS RATES OF ITS FORMATION

This paper presents the results of psychophysiological and electroencephalographic studies on visual perception (VP) support in children aged 7–8 years (mean age 7.52 ± 0.37 years). The experimental part of the research was carried out in two stages. At the first stage we estimated the level of VP development using a modified method of M.M. Bezrukikh and L.V. Morozova (1996); at the second stage we recorded electroencephalograms (EEG) to study the functional organization of the brain during visuospatial activities. The EEGs were recorded using the Neuroscope-416 encephalograph, with the spectral correlation analysis of the EEG data performed using Neuroscope 5.1 software. We evaluated relative (normalized to total energy) values of power spectrum (RPS) in the following frequency bands: theta (4–7 Hz), alpha-1 (7.5–9.5 Hz), alpha-2 (9.5–10.7 Hz), alpha-3 (10.7–12.7 Hz), and beta (13–20 Hz). In addition we assessed the estimation maximum of coherence function of the alpha band rhythmic components, as well as asymmetry of alpha band activity. The study found that subjects with an average rate of VP formation had more economical and more efficient mechanisms of visual activity, whereas low rates of VP formation lead to generalization of these mechanisms. Children with low rate of VP formation showed significant emotional activation and raised levels of mental strain during visuospatial activity. Greater activation of the right hemisphere (especially the anteriofrontal and parietal-temporal-occipital areas) ready for visual activity, as well as greater activation of the left hemisphere during transition to visual activity largely contribute to a more successful formation of visual perception.

Keywords: visual perception, electroencephalogram, functional asymmetry of the cerebral cortex.

Контактная информация:

адрес: 163002, г. Архангельск, просп. Ломоносова, д. 4;

e-mail: l.morozova@narfu.ru