

НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВОСПРИЯТИЯ РЕЧИ У ДЕТЕЙ ВОЗРАСТОМ 2.5–3.5 ГОДА, ВОСПИТЫВАЮЩИХСЯ В СЕМЬЕ И ДЕТСКОМ ДОМЕ

Поступила 06.06.13

Изучали особенности изменений спектральной плотности мощности (СПМ) ритмов электроэнцефалограммы (ЭЭГ) в процессе восприятия речевых сигналов детьми-сиротами ($n = 41$) и детьми из семей ($n = 50$) возрастом от двух с половиной до трех с половиной лет. Определяли СПМ тета-, альфа-, бета- и гамма-ритмов в 16 отведениях ЭЭГ при предъявлении записи речи (прямая речь) и реверсированной записи того же сигнала (обратная речь). Результаты применения психологической тест-системы Бейли III показали наличие заметных задержек речевого развития у детей-сирот. Сравнение фоновых ЭЭГ в процессе прослушивания прямой речи выявило десинхронизацию альфа-ритма и синхронизацию тета-, бета- и особенно гамма-осцилляций при восприятии указанного сигнала. В данном случае у детей из семей наблюдалось значимое увеличение СПМ гамма-ритма в 13 отведениях от обоих полушарий, а у детей-сирот – лишь в восьми, локусы которых располагались преимущественно в левом полушарии. Прослушивание обратной речи вызывало у детей обеих групп преимущественно десинхронизацию всех ритмов ЭЭГ с наиболее выраженным снижением СПМ гамма-ритма в основном в лобных и левых височных отведениях. Сравнение СПМ частотных компонентов ЭЭГ при восприятии прямой и обратной речи обнаружило увеличение мощности тета-, бета- и гамма-колебаний в ответ на предъявление осмысленного речевого сообщения у детей обеих групп. У детей из семей большие СПМ гамма-ритма наблюдались в 13 отведениях (наибольшая значимость в лобном регионе левого полушария). У детей же, воспитывающихся в детском доме, количество отведений со значимым превышением мощности гамма-ритма было существенно меньшим (девять отведений). Предполагается, что меньший уровень увеличения СПМ колебаний данного диапазона связан с нарушениями процессом осознания речевого сообщения детьми-сиротами. Это может являться следствием недостаточного развития нейронных сетей мозга, отвечающих за переработку вербальной информации.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ритмы ЭЭГ, дети-сироты, восприятие речи, прямая и обратная речь.

ВВЕДЕНИЕ

Человеческая речь является уникальным феноменом, поскольку она обеспечивает не только межиндивидуальное и социальное общение, но и процесс мышления. Для изучения нейрофизиологических механизмов восприятия и генерации речи широко

используется электроэнцефалография. Во многих работах показано, что основные ритмы ЭЭГ значимо изменяются при прослушивании речи и подготовке собственного речевого высказывания [1]. Особое внимание привлекают процессы становления речи у детей. Степень освоения ребенком восприятия и генерации речи является важнейшим показателем, характеризующим его когнитивное и социальное развитие. Адекватное развитие речи ребенка формируется при его взаимодействии с родителями и/или другими значимыми взрослыми. В связи с тем, что большое количество детей в мире в целом и в Украине в частности лишены общения с родителями (воспитываются в детских домах), ана-

¹ Таврический национальный университет им. В. И. Вернадского, Симферополь (АР Крым, Украина).

² Уппсальский университет, (Швеция).

Эл. почта: vadym.bielalov@gmail.com (В. В. Белалов);
yulia.dyagileva@gmail.com (Ю. О. Дягилева);
pavlenkovb@crimea.edu (В. Б. Павленко);
olga.kochukhova@psyk.uu.se (О. М. Кочухова).

лиз нейрофизиологических механизмов восприятия речи у таких детей представляется особо актуальным.

У детей-сирот, воспитывающихся в детских домах, часто наблюдаются задержки физического и когнитивного развития, включая развитие речевой сферы [2, 3]. Задержки в развитии речи у детей-сирот связывают с нарушением детско-родительских отношений, отсутствием или недостаточностью общения со значимым взрослым на протяжении начального этапа жизни ребенка [4]. После усыновления ребенка из детского дома задержки речевого и когнитивного развития сохраняются еще долгое время. С учетом этого предполагают, что у таких детей может быть заметно нарушено развитие ЦНС и, прежде всего, неокортекса. Указанные нарушения связывают с замедлением процессов роста нейронов, миелинизации их аксонов и формирования межнейронных связей [5, 6]. Отклонения в развитии ЦНС отражаются в паттерне текущей ЭЭГ таких детей [7]. Таруло и Гарвин [6] исследовали ЭЭГ-активность полуторагодовалых детей, усыновленных из детских домов. Обнаружилось, что спектральная плотность мощности (СПМ) текущей ЭЭГ в частотных полосах альфа- и бета-ритмов у детей-сирот, воспитывающихся в детском доме, значительно ниже по сравнению с таковой у детей, воспитывающихся в семьях. Авторы заключили, что пониженная СПМ указанных ритмов является объективным коррелятом некоторых задержек в развитии мозга.

Ключевым элементом речевой деятельности ребенка является процесс осознания смысла речевого сигнала [8]. Наиболее быстрое развитие способности ребенка воспринимать содержание целостного речевого сообщения приходится на возрастной период от двух с половиной до трех с половиной лет [9]. Бенасич и Гоу продемонстрировали связь между СПМ гамма-ритма ЭЭГ в возрасте два-три года и адекватностью обработки семантического содержания речи в четырехлетнем возрасте [10].

Одним из приемов изучения нейрофизиологических механизмов восприятия речи на основе анализа паттерна ЭЭГ является методика, разработанная Краузе и соавт. [11]. Испытуемым предъявляли два образца стимулов, один из которых представлял собой запись семантически содержательной речи, а другой – ту же запись, но воспроизведенную в реверсном режиме (прямая и обратная речь соответственно). Таким образом, второй стимул представлял собой речеподобный сигнал, но лишенный какого-либо семантического содержания. Приме-

нение данной методики позволило оценить степень соответствующих синхронизации/десинхронизации ритмов ЭЭГ и благодаря этому показать, что нейрофизиологические механизмы восприятия речи включают в себя два ключевых компонента. Первый из них связан с восприятием любого речеподобного акустического сигнала, а второй – с восприятием смысла предъявленной речи. Исследования восприятия речи с использованием методики Краузе, насколько нам известно, проводились лишь с привлечением взрослых испытуемых.

В связи с вышеизложенным в нашей работе был проведен анализ нейро- и психофизиологических механизмов восприятия речи у детей-сирот и детей, воспитывающихся в семьях (возраст от двух с половиной до трех с половиной лет), основывающийся на изучении паттерна ЭЭГ при предъявлении прямой и обратной речи. Упомянутый возрастной интервал был выбран потому, что, как уже отмечалось, в это время происходит наиболее быстрое развитие способности ребенка воспринимать целостные речевые сообщения.

МЕТОДИКА

В исследовании принял участие 91 ребенок. Основную группу составили дети-социальные сироты из дома ребенка «Елочка» (г. Симферополь) ($n = 41$; 27 мальчиков и 14 девочек) возрастом от 30 до 41 месяца (средний возраст 36 ± 2 месяца). Контрольная группа включала в себя детей из полных семей ($n = 50$; 31 мальчик и 19 девочек) возрастом от 29 до 42 месяцев (средний возраст 35 ± 3 месяца). В обследованные группы не были включены дети с массой тела при рождении менее 2,5 кг, с наличием генетических заболеваний, с наличием записей в медицинской карточке о заболеваниях ЦНС и с зарегистрированным фетальным алкогольным синдромом, а также левши (рисующие левой рукой). В основную группу также не включались и дети, пребывающие в доме ребенка менее года. Сведения о соответствии проведенного исследования существующим международным этическим нормам приведены в соответствующем параграфе (см. ниже).

Регистрация ЭЭГ проводилась в трех экспериментальных ситуациях: 1) отведение текущей ЭЭГ ребенка в спокойном состоянии при открытых глазах (фоновая запись продолжительностью 60 с); 2) отведение ЭЭГ при прослушивании прямой речи. Рече-

вой стимул представлял собой воспроизведение звуковой записи чтения стихотворения (продолжительность 20 с) понятного для ребенка содержания; 3) отведение ЭЭГ при прослушивании записи чтения того же стихотворения, но реверсированной с помощью компьютерной программы (обратная речь продолжительностью 20 с). Реверсированная запись сохраняла акустический состав сигнала, но не несла в себе какого-либо смысла. Во время предъявления звуковых сигналов дети находились на расстоянии 2–3 м от акустических колонок. Чередование второй и третьей ситуации определялось случайным образом.

Регистрацию ЭЭГ осуществляли с помощью компьютерного телеметрического электроэнцефалографа («Тредекс», Украина). Для обработки и анализа ЭЭГ использовали программу «EEG Mapping 6», разработанную в лаборатории нейротологии Таврического национального университета им. В. И. Вернадского (программист Е. Н. Зинченко). ЭЭГ-потенциалы отводили монополярно от локусов Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8, C3, C4, T3, T4, T5, T6, P3, P4, O1 и O2 в соответствии с международной системой «10–20». При отведении ЭЭГ применяли специальную 16-канальную детскую электродную шапочку «Полина» («Тредекс», Украина) со встроенными хлор-серебряными электродами. В качестве референтного электрода в каждом случае использовали все электроды, кроме активного, объединенные вместе. Нейтральный («заземляющий») электрод располагали между локусами C3 и C4. Частоты среза фильтров высоких и низких частот составляли соответственно 1.5 и 48 Гц, частота оцифровки ЭЭГ-сигналов – 250 с⁻¹.

Записи ЭЭГ для каждой экспериментальной ситуации обрабатывали независимо друг от друга. Отрезки ЭЭГ подвергали предварительному визуальному контролю; артефакты, вероятно, связанные с движениями, удаляли. Записи ЭЭГ отдельных детей, содержащие большое количество артефактов, исключались из обработки и не входили в общую выборку. Сигналы обрабатывали с помощью быстрых преобразований Фурье; применялось сглаживание по методу Блэкмена. Определяли значения СПМ (мкВ²/Гц) в следующих частотных диапазонах: тета- (4–6 Гц) [7, 12], альфа- (7–10 Гц) [7, 13], бета- (11–29 Гц) [12, 14] и гамма- (30–45 Гц) ритмы [10, 12]. Поскольку среди осцилляций, соответствующих дельта-ритму, могли присутствовать небольшие по амплитуде, но заметные артефакты, связанные с движениями, данный ритм в работе не

рассматривался.

Психологическое тестирование с целью определения уровня развития речи было проведено с помощью речевых шкал теста Бейли III (BSID-III) [15]. В соответствии с инструкцией к тесту Бейли ребенку представляли комплекс заданий, сложность которых была подобрана соответственно возрасту. Выполнение этих заданий позволяло оценить адекватность понимания речи ребенком, развитие экспрессивной речи и т. п. Независимо от возраста ребенок мог набрать по соответствующим шкалам в сумме от 55 до 145 баллов. Норма речевого развития согласно тесту Бейли составляет от 90 до 110 баллов.

Исследования проводились в течение двух дней в удобное для ребенка время (для детей, воспитывающихся в детском доме, – после завтрака). В первый день ребенок проходил полное психологическое тестирование по тест-системе Бейли III; в настоящей статье анализировались данные только для речевых шкал. Запись ЭЭГ осуществлялась во второй день. Продолжительность предварительных процедур (наложения электродов) и регистрации ЭЭГ (включая таковую при предъявлении речевых стимулов и при других экспериментальных ситуациях, не рассматриваемых в настоящей статье) составляла не более 10 мин. Общая продолжительность всего исследования (в течение двух дней) не превышала 40 мин.

Результаты психологического и электрофизиологического исследований количественно обрабатывались с использованием стандартных приемов вариационной статистики. Поскольку распределение данных в ряде случаев отличалось от нормального, применяли непараметрические критерии. Достоверность межгрупповых различий определяли с использованием критерия Манна – Уитни; сравнение значений СПМ ритмов ЭЭГ, зарегистрированных в различных экспериментальных ситуациях, производили согласно критерию Вилкоксона. Для графического представления ЭЭГ-реакций рассчитывали коэффициент вызванной синхронизации/десинхронизации (ВСД) по методу, предложенному рядом авторов [11, 16]. Для каждого частотного диапазона в каждом из исследуемых отведений коэффициенты ВСД вычислялись по формуле: $ВСД = (S - F) / F$, где S – средняя СПМ этого ритма ЭЭГ при воздействии стимула (вторая или третья ситуация эксперимента), а F – средняя СПМ указанного ритма в текущей фоновой ЭЭГ при открытых глазах (первая ситуация). Кроме того, с помощью тако-

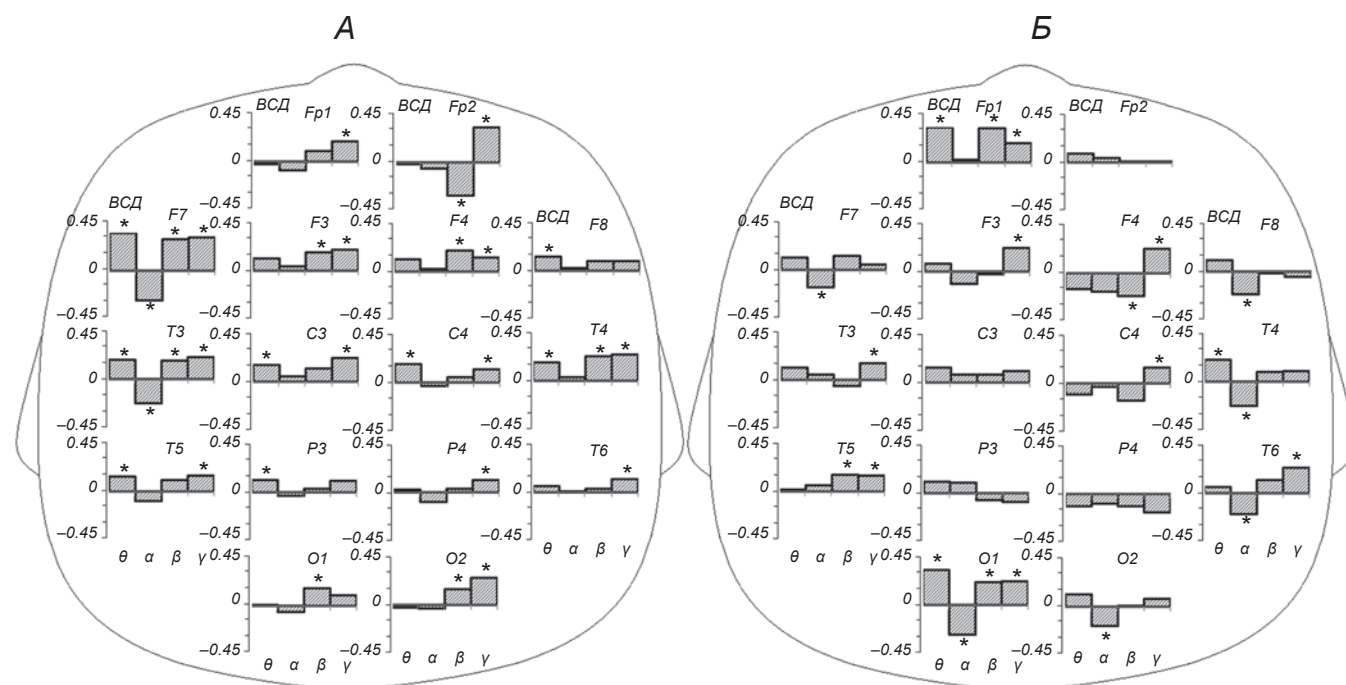
го метода оценивали различия между СПМ ритмов в условиях восприятия прямой и обратной речи. Значения СПМ ритмов ЭЭГ при восприятии обратной речи в данном случае рассматривали как уровни сравнения. Значения ВСД > 0 свидетельствовали о синхронизации ЭЭГ-осцилляций, т. е. о росте СПМ по сравнению с таковой в фоновой записи, а ВСД < 0 – о десинхронизации колебаний названного ритма в этом отведении, т. е. о падении СПМ указанного частотного диапазона.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты теста Бэйли показали, что для детей, воспитывающихся в доме ребенка, была характерна существенная задержка речевого развития по сравнению с таковой в группе детей из обычных семей. У детей из детского дома наблюдались более низкие результаты по шкалам понимания и генерации речи. У детей основной группы средняя оценка понимания речи составляла 86.3 ± 15.5 , а у детей контрольной группы – 107.5 ± 13.5 балла

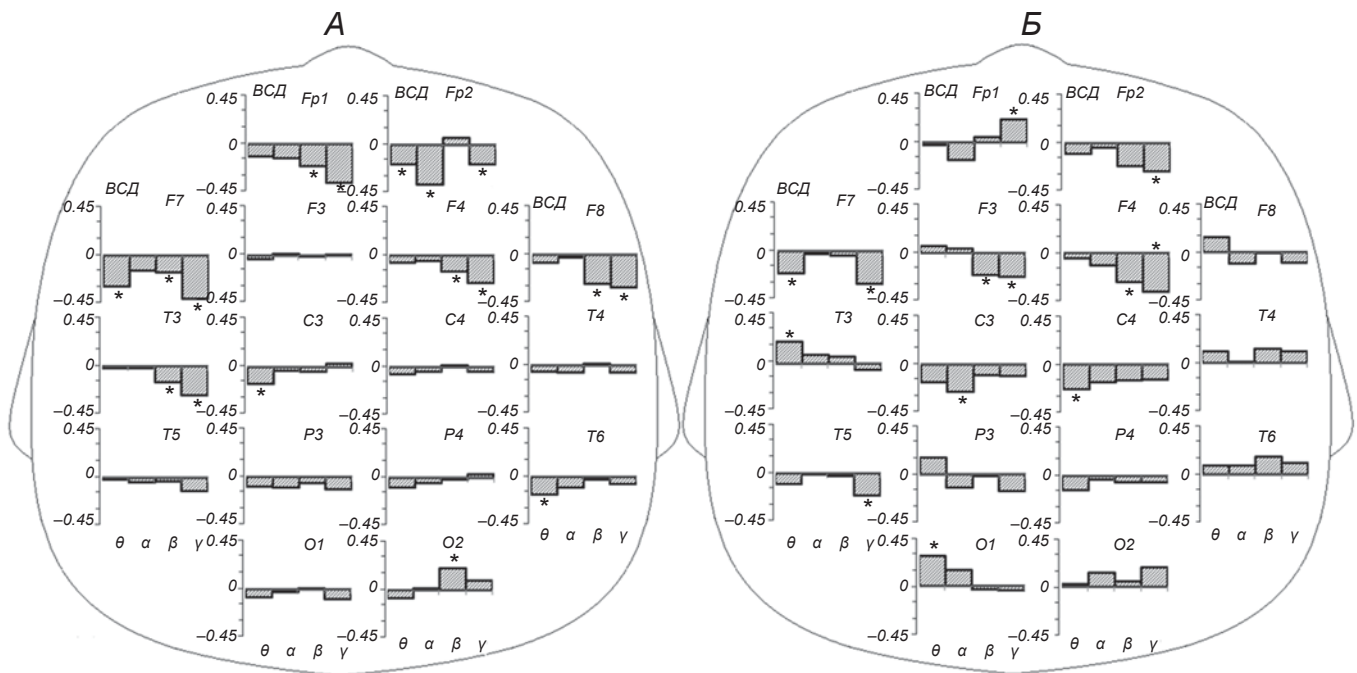
(различия достоверны при $P = 0.048$). У детей основной группы средний результат тестирования по шкале генерации речи составлял 82.7 ± 14.5 , у детей контрольной группы – 101.8 ± 16.0 баллов ($P = 0.032$).

Диаграмма, иллюстрирующая синхронизацию/десинхронизацию ЭЭГ-осцилляций в условиях прослушивания прямой речи у детей основной и контрольных групп, приведена на рис. 1. В контрольной группе испытуемых наиболее типичной реакцией на восприятие прямой речи было увеличение СПМ в диапазонах тета-, бета- и гамма-ритмов по сравнению с СПМ указанных ритмов при регистрации текущей ЭЭГ в условиях относительного покоя. В частности, для тета-ритма статистически значимые увеличения СПМ (синхронизация) были зарегистрированы в заднелобных, височных и теменных отведениях левого полушария, а также в центральных и передневисочном отведениях правого полушария. Для бета-ритма значимая синхронизация наблюдалась главным образом в заднелобных и височных отведениях. Синхронизация гамма-ритма выявлялась в большинстве отведений (13 из 16)



Р и с. 1. Диаграммы коэффициентов изменений спектральной плотности мощности (СПМ) ритмов ЭЭГ, обусловленных прослушиванием прямой речи относительно фоновых значений СПМ у детей контрольной (А) и основной (Б) групп. Каждая диаграмма соответствует определенному локусу отведения. По горизонтали – ритмы ЭЭГ (тета-, альфа-, бета- и гамма-); по вертикали – значения коэффициента синхронизации/десинхронизации (ВСД). Звездочками отмечены случаи значимого увеличения или уменьшения СПМ того или иного ритма по сравнению с таковой в фоновой записи ($P \leq 0.0$).

Р и с. 1. Діаграми коефіцієнтів змін спектральної щільності потужності (СЩП) ритмів ЕЕГ, зумовлених прослуховуванням прямої мови, щодо фонових значень СЩП у дітей контрольної (А) та основної (Б) груп.



Р и с. 2. Диаграммы коэффициентов изменений спектральной плотности мощности (СПМ) ритмов ЭЭГ, обусловленных прослушиванием обратной речи, относительно фоновых значений СПМ у детей контрольной (А) и основной (Б) групп. Обозначения те же, что и на рис. 1.

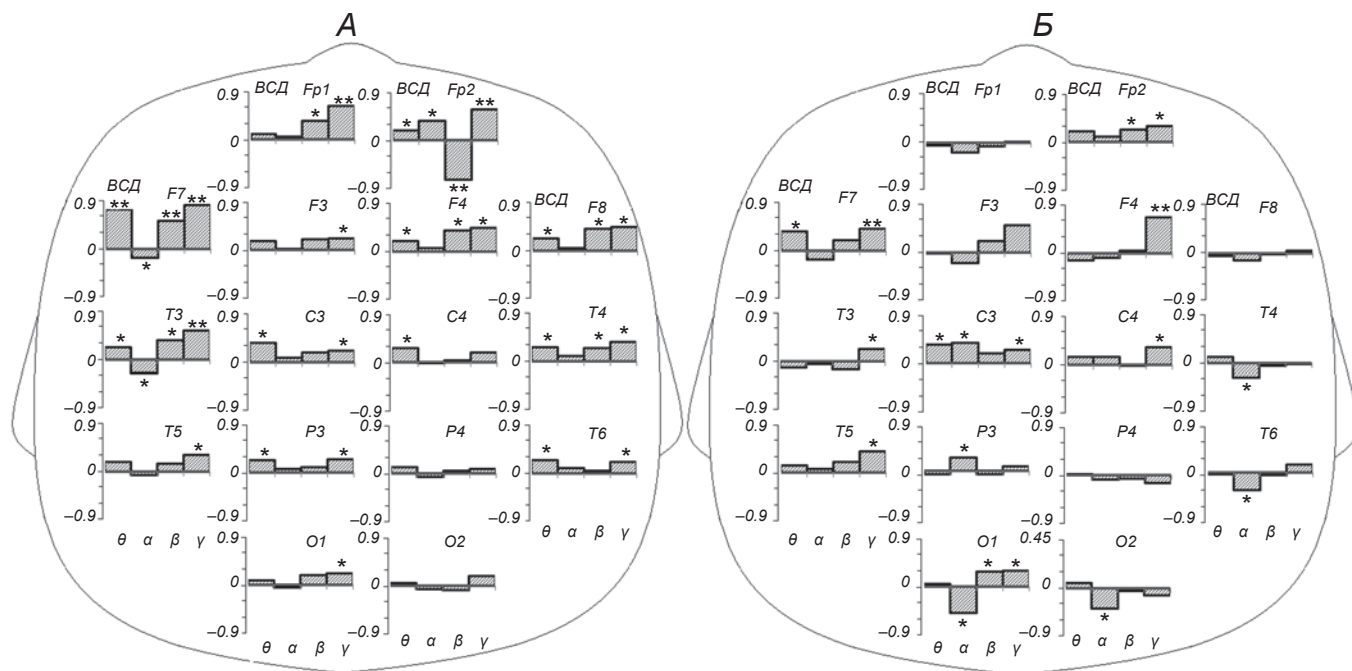
Р и с. 2. Діаграми коефіцієнтів змін спектральної щільності потужності (СЩП) ритмів ЕЕГ, зумовлених прослуховуванням зворотної мови, щодо фонових значень СЩП у дітей контрольної (А) та основної (Б) груп.

обоих полушарий. В то же время для альфа-ритма была характерна десинхронизация в левых задне-лобном и височном отведениях.

У детей из дома ребенка прослушивание речевого стимула также вызвало статистически значимое увеличение СПМ в частотных диапазонах тета-, бета- и гамма-ритмов. Однако количество отведений, в которых это происходило, было заметно меньшим, чем у детей контрольной группы. Так, для тета-ритма значимое увеличение СПМ было зарегистрировано в переднелобном и затылочном отведениях левого полушария и височном отведении правого полушария. Для бета-ритма такие изменения отмечались в переднелобном, височном и затылочном отведениях левого полушария. Значимое увеличение СПМ колебаний гамма-ритма выявлялось в половине локусов отведений (восемь из 16), расположенных преимущественно в левом полушарии. У альфа-ритма значимое снижение СПМ наблюдалось в заднелобных и затылочных отведениях билатерально, а также в височных отведениях правого полушария.

Для обеих групп испытуемых типичной реакцией на прослушивание обратной речи была десинхронизация всех ритмов ЭЭГ (рис. 2). Для детей кон-

трольной группы в частотном диапазоне тета-ритма достоверное снижение СПМ было зарегистрировано в переднелобном и задневисочном отведениях правого полушария, а также в заднелобном и центральном отведениях левого полушария. Значимое уменьшение СПМ альфа-осцилляций происходило в правом переднелобном отведении. Для бета-ритма уменьшение СПМ обнаруживалось в левых переднелобном, заднелобном и передневисочном отведениях, а также в правых лобном и передневисочном отведениях. СПМ гамма-ритма снижалась в задневисочных и переднелобных отведениях, а также в правом лобном и левом передневисочном отведениях. Сходный паттерн изменений наблюдался и у детей основной группы. Для тета-ритма значимое снижение СПМ выявлялось в правом центральном и левом заднелобном отведениях, а значимое увеличение СПМ происходило в левом височном и затылочном отведениях. У альфа-ритма значимое снижение СПМ было зарегистрировано только в отведении С3, а у бета-ритма – только в С3 и С4. Уменьшение СПМ гамма-ритма отмечалось в левых заднелобном, лобном и задневисочном отведениях, а также в правых переднелобном и лобном отведениях.



Р и с. 3. Диаграммы коэффициентов изменений спектральной плотности мощности (СПМ) ритмов ЭЭГ, обусловленных прослушиванием прямой речи, относительно соответствующих значений СПМ при прослушивании обратной речи у детей контрольной (А) и основной (Б) групп.

Двумя звездочками отмечены случаи значимых инкрементов или декрементов СПМ ритмов ($P \leq 0.01$).

Остальные обозначения те же, что и на рис. 1.

Р и с. 3. Діаграми коефіцієнтів змін спектральної щільності потужності (СЩП) ритмів ЕЕГ, зумовлених прослуховуванням прямої мови, щодо відповідних значень СЩП при прослуховуванні зворотної мови у дітей контрольної (А) та основної (Б) груп.

Диаграмма коэффициентов, отражающих изменение СПМ ритмов ЭЭГ при прослушивании прямой речи по сравнению с соответствующими мощностями при предъявлении обратной речи у детей контрольной группы и детей-сирот, представлена на рис. 3. Воздействие речевого сигнала, содержащего в себе смысловую информацию, вызывало значимое увеличение СПМ ЭЭГ в диапазонах тета-, бета- и гамма-ритмов ЭЭГ в обеих группах детей, причем восприятие прямой речи у детей контрольной группы обуславливало значимое увеличение СПМ тета-ритма более чем в половине отведений (в 10 из 16). У альфа-ритма в этих условиях наблюдалась десинхронизация в левом заднелобном и височном отведениях. Значимое увеличение СПМ бета-ритма происходило в заднелобных, передневисочных, а также в правом лобном отведениях, а возрастание мощности гамма-ритма – в 13 из 16 отведений. Наиболее значимое ($P \leq 0.01$) увеличение СПМ последнего ритма ЭЭГ отмечалось в левом полушарии в отведениях F7, Fp1 и F3.

У детей-сирот паттерны синхронизации/десинхронизации ЭЭГ при восприятии прямой и обратной речи были весьма близкими. Однако количе-

ство отведений, в которых различия СПМ ритмов ЭЭГ в этих двух экспериментальных ситуациях были значимыми, оказалось существенно меньшим. Достоверное увеличение СПМ тета-ритма при восприятии прямой речи по сравнению с соответствующими значениями при обратной речи наблюдалось только в левых заднелобном и центральном отведениях. Значимые различия СПМ альфа-ритма регистрировались в затылочных, правых височных и левых центральном и теменном отведениях. Различия СПМ бета-ритма достигали уровня значимости только в левом затылочном и правом переднелобном отведениях. Увеличение СПМ гамма-ритма при восприятии прямой речи по сравнению с СПМ при обратной обнаруживалось в девяти из 16 отведений, преимущественно в лобных и центральных отведениях обоих полушарий, а также в височных отведениях слева.

ОБСУЖДЕНИЕ

Как и другие авторы [2, 3], мы обнаружили заметные задержки в развитии восприятия и генерации

речи у детей-сирот, воспитывающихся в детском доме. Эти задержки сопровождались рядом особенностей паттернов изменений ЭЭГ-потенциалов при восприятии семантически содержательной (прямой) речи и акустического сигнала, лишенного такого содержания (обратной речи). Прослушивание прямой речи обуславливало главным образом десинхронизацию альфа-ритма и синхронизацию тета-, бета- и гамма-осцилляций в составе ЭЭГ у детей обеих групп. Типичной же реакцией на прослушивание обратной речи являлась десинхронизация всех исследованных ритмов ЭЭГ в большинстве отведений. Такая десинхронизация может быть связана с достаточно мощной ориентировочной реакцией при прослушивании речеподобного стимула, не имеющего смыслового наполнения.

Кроме того, паттерны изменений ЭЭГ у детей разных групп в условиях предъявления прямой речи оказались неодинаковыми. У детей контрольной группы («семейных») восприятие такого сигнала сопровождалось значимым снижением СПМ альфа-ритма в заднелобных и височных отведениях левого полушария по сравнению с таковым в ситуациях, наблюдаемых в состояниях относительного покоя и восприятия обратной речи. У детей-сирот восприятие прямой речи также приводило к снижению СПМ альфа-ритма. Однако у детей этой группы значительно большая, чем при восприятии обратной речи, десинхронизация указанного ритма происходила в височных отведениях правого полушария, а также в затылочных областях коры. Сам факт десинхронизации альфа-ритма в условиях восприятия речи был вполне ожидаемым. Известно, что выраженный альфа-ритм характерен для ЭЭГ человека в состоянии спокойного расслабленного бодрствования. Активация внимания при восприятии разнообразных потенциально значимых сигналов приводит, как правило, к подавлению указанного ритма [17–19]. Топографические особенности десинхронизации альфа-ритма у детей контрольной группы в условиях восприятия речи вполне согласуются с известными данными о том, что у большинства индивидов корковые регионы, отвечающие за восприятие и генерацию речи (центры Брока и Вернике), локализованы именно в левом полушарии. Правое же полушарие в большей степени участвует в анализе паралингвистической информации (интонации, темпа и громкости речи). Выявленные нами особенности десинхронизации альфа-ритма ЭЭГ указывают на то, что в процессы, связанные с вниманием, у детей-сирот в большей степени вовлечены нейронные механизмы правого полушария.

В связи с этим логично предположить, что у таких детей нейрофизиологические механизмы, лежащие в основе способности к фокусированию внимания на семантическом содержании речевого сигнала, развиты недостаточно.

Как уже отмечалось, значимая синхронизация тета-ритма у детей контрольной группы при восприятии прямой речи наблюдалась в большинстве ЭЭГ-отведений (10 из 16). У детей-сирот такие отличия обнаруживались лишь в двух отведениях. Результаты исследований ряда авторов [17, 20, 21] свидетельствуют о том, что усиление колебаний тета-ритма является характерным компонентом перестройки паттерна ЭЭГ при активации когнитивных и эмоциональных процессов. Фазное возрастание СПМ данного ритма происходит в период запоминания новой эмоционально окрашенной информации. При этом успешность запоминания в условиях предъявления соответствующих стимулов положительно коррелирует с мощностью тета-ритма. Клиmesh и соавт. и Бастиансен и Хагорт [18, 22] в своих работах высказали предположение, что увеличение мощности тета-осцилляций отражает активацию прямых и обратных связей между гиппокампом и неокортексом в процессе формирования энграмм памяти. В свете этого можно полагать, что у детей, воспитывающихся в детском доме, запоминание вербальной информации реализуется менее эффективно.

В большинстве лобных, центральных и височных отведений у детей контрольной группы при восприятии прямой речи отмечалась синхронизация колебаний бета- и гамма-ритмов. У детей-сирот процессы синхронизации указанных ритмов также выявлялись, однако, в меньшей степени. Взгляды на то, сущность каких процессов отражает синхронизация ЭЭГ-осцилляций, относящихся к бета-ритму, весьма противоречивы. С одной стороны, наличие выраженного бета-ритма в составе ЭЭГ рассматривают как отражение активного состояния и кортикальных, и кортикально-субкортикальных нейронных цепей. Вробель и соавт. [18] предполагали, что осцилляции в кортико-таламических цепях с частотой бета-ритма обуславливают снижение порогов активации релейных нейронов таламуса. Это обеспечивает избирательное усиление притока информации к соответствующим областям неокортекса в ситуациях, требующих внимания. С другой стороны, мощность бета-ритма в пределах моторной коры уменьшается во время реализации движения (так называемая связанная с движением десинхро-

низация) и увеличивается по завершении такой реализации [23, 24]. Избыточно выраженная бета-активность с амплитудой до 50 мкВ наблюдается при медикаментозной терапии с использованием бензодиазепинов. С учетом этого генерацию выраженного бета-ритма связывают с активным состоянием прежде всего тормозной ГАМК-эргической нейромедиаторной системы в соответствующих регионах коры, что ограничивает возбудимость нейронных сетей-целей [25, 26].

Анализируя многочисленные противоречивые факты, Энджел и Фрайз [27] выдвинули следующую гипотезу о функциональной значимости процессов, отражающихся в генерации высокочастотных (бета- и гамма-) ритмов ЭЭГ. При выполнении моторных и когнитивных задач бета-ритм связан с поддержанием текущего моторного состояния, продолжением и рутинным выполнением когнитивной задачи. Тормозные влияния, сопровождающие бета-ритм, противодействуют внешним неожиданным влияниям и обеспечивают в коре поддержание “status quo”. Если человек воспринимает важные экзогенные сигналы, требующие дополнительных умственных усилий, происходит усиление не только бета-ритма, но и гамма-осцилляций. Другие авторы [16] заметили, что осцилляции в частотной полосе бета-ритма слишком медленны для обслуживания обработки значимых сигналов с большой скоростью. Только синхронизация ЭЭГ-колебаний в полосе гамма-частот способна обеспечить быстрое сопряжение пространственно распределенных клеточных ансамблей, соответствующее необходимому темпу мышления. Как предполагают, генерация гамма-ритма связана с активностью пейсмекерных нейронов специфических и интраламинарных ядер таламуса, которые в подобной ситуации разряжаются пачками импульсов, следующими с частотой около 40 Гц. Данное явление приводит к усилению и синхронизации активности нейронов, сконцентрированных в ряде корковых регионов, а это, как предполагают, является нейрофизиологической основой эффективной интеграции и осознания поступающей информации [28].

В нашей работе дети воспринимали новую аудиоинформацию (прослушивали новое для них стихотворение). Логично заключить, что процессы восприятия и осознания новой для ребенка информации требуют подключения значительных ресурсов головного мозга. Это и отражалось в усилении гамма-ритма ЭЭГ в большинстве отведений от обоих полушарий. Таким образом, семантически наполненная речь вызывает мощную синхронизацию вы-

сокочастотных колебаний в составе спектра ЭЭГ. По нашему мнению, меньший уровень синхронизации в диапазоне гамма-ритма у детей, воспитывающихся в детском доме, отражает некоторую задержку развития речевых процессов, некие нарушения осознания содержания речевых сообщений. Это может быть связано с определенной недостаточностью развития нейронных сетей мозга, отвечающих за переработку вербальной информации, у таких детей. Очевидно, что такая недостаточность может быть в некоторой степени скорректирована в условиях целенаправленной речевой активности «значимых» взрослых, контактирующих с подобными детьми, причем рассматриваемый нами возрастной интервал (2.5–3.5 года) является, видимо, особо важным в данном аспекте.

Тестирование детей-сирот проводилось на основании официального разрешения руководителей и врачебного персонала дома ребенка «Елочка» и в присутствии психолога данного учреждения. В контрольную группу дети были набраны с помощью объявлений, размещенных в детских садах г. Симферополя. Родителям этих детей были представлены все необходимые сведения о процедуре исследования, и они дали письменное согласие на бесплатное участие ребенка в данных экспериментах. Настоящее исследование соответствовало этическим принципам Хельсинкской декларации 1964 г. и было одобрено этическим комитетом Таврического национального университета им. В. И. Вернадского.

Авторы настоящей работы – В. В. Белалов, Ю. О. Дягилева, В. Б. Павленко и О. М. Кочухова – подтверждают, что у них отсутствует конфликт интересов.

*В. В. Белалов¹, Ю. О. Дягилева¹, В. Б. Павленко¹,
О. М. Кочухова²*

НЕЙРОФІЗИОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ СПРИЙНЯТТЯ МОВИ ДІТЬМИ ВІКОМ 2.5–3.5 РОКУ, ЩО ВИХОВУЮТЬСЯ В СІМ'Ї ТА ДИТЯЧОМУ БУДИНКУ

¹Таврійський національний університет ім. В. І. Вернадського, Сімферополь (АР Крим, Україна).

²Уппсальський університет, (Швеція).

Резюме

Вивчали особливості змін спектральної щільності потужності (СЩП) ритмів електроенцефалограми (ЕЕГ) у процесі сприйняття мовних сигналів дітьми-сиротами ($n = 41$) і дітьми з сімей ($n = 50$) віком від двох з половиною до трьох з половиною років. Визначали СЩП тета-, альфа-, бета- і гамма-ритмів у 16 відведеннях ЕЕГ при пред'явленні запису мови (пряма мова) і реверсованого запису того ж самого

сигналу (зворотна мова). Результати застосування психологічної тест-системи Бейлі III показали наявність помітних затримок мовного розвитку у дітей-сиріт. Порівняння фонових ЕЕГ та ЕЕГ у перебігу прослуховування виявило десинхронізацію альфа-ритму та синхронізацію тета-, бета- і особливо гамма-осциляцій при сприйнятті вказаного сигналу. У даному випадку у дітей із сімей спостерігалось значуще збільшення СЦП гамма-ритму в 13 відведеннях від обох півкуль, а у дітей-сиріт – лише у восьми, локуси яких розташовувалися переважно в лівій півкулі. Прослуховування зворотної мови викликало у дітей обох груп переважно десинхронізацію всіх ритмів ЕЕГ із найбільш вираженим зниженням СЦП гамма-ритму в основному в лобових і лівих скроневих відведеннях. Порівняння СЦП частотних компонентів ЕЕГ при сприйнятті прямої і зворотної мови виявило збільшення потужності ЕЕГ тета-, бета- і гамма-коливань у відповідь на пред'явлення осмисленого мовного повідомлення у дітей обох груп. У дітей із сімей більш СЦП гамма-ритму спостерігались у 13 відведеннях (найбільша значущість у лобному регіоні лівої півкулі). У дітей же, які виховуються в дитячому будинку, кількість відведень зі значущим перевищенням потужності гамма-ритму була істотно меншою (дев'ять відведень). Зроблено припущення, що менший рівень збільшення СЦП коливань даного діапазону є пов'язаним із порушеннями процесів усвідомлення мовного повідомлення дітьми-сиротами. Це може бути наслідком недостатнього розвитку нейронних мереж мозку, відповідальних за переробку вербальної інформації.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. P. Kuhl, "Brain mechanisms in early language acquisition," *Neuron*, **67**, No. 5, 713-727 (2008).
2. F. Juffer and M.H. Van IJzendoorn, "Behavior problems and mental health referrals of international adoptees: A meta-analysis," *J. Am. Med. Ass.*, **293**, No. 20, 569-577 (2005).
3. C. H. Zeanach, A. T. Smyke, and S. F. M. Koga, et al., "Attachment in institutionalized and non-institutionalized Romanian children," *Children Dev.*, **76**, No. 19, 1015-1028 (2005).
4. S. R. Karel and B. J. Freeman, "Analysis of environmental deprivation: Cognitive and social development in Romanian orphans," *J. Child Psychol. Psychiat.*, **35**, No. 4, 769-781 (1994).
5. M. Rutter, C. Colvert, J. Kreppner, et al., "Early adolescent outcomes for institutionally deprived and non-deprived adoptees. I: Disinhibited attachment," *J. Child Psychol. Psychiat.*, **48**, No. 1, 17-30 (2007).
6. A. Tarullo, C. Garvin, and R. Gunnar, "Atypical EEG power correlates with indiscriminately friendly behavior in internationally adopted children," *Dev. Psychol.*, **47**, No. 2, 417-431 (2011).
7. P. J. Marshall and N. A. Fox, "The bucharest early intervention project core group. A comparison of the electroencephalogram between institutionalized and community children in Romania," *J. Cogn. Neurosci.*, **16**, No. 8, 1327-1338 (2004).
8. S. Rossi, S. Telkemeyer, I. Wartenburger, et al., "Shedding light on words and sentences: near-infrared spectroscopy in language research," *Brain Language*, **121**, No. 2, 152-163 (2012).
9. J. Silva-Pereyra, M. Rivera-Gaxiola, and P. K. Kuhl, "An event-related brain potential study of sentence comprehension in preschoolers: semantic and morphosyntactic processing," *Cogn. Brain Res.*, **23**, No. 2, 247-285 (2005).
10. Z. Gou, N. Choudhury, and A. A. Benasich, "Resting frontal gamma power at 16, 24 and 36 months predicts individual differences in language and cognition at 4 and 5 years," *Behav. Brain Res.*, **220**, No. 2, 263-270 (2011).
11. C. Krause, B. Porn, H. Lang, et al., "Relative alpha desynchronization and synchronization during speech perception," *Cogn. Brain Res.*, **5**, No. 3, 295-299 (1997).
12. W. Jenneken, H. J. Niemarkt, M. Engels, et al., "Topography of maturational changes in EEG burst spectral power of the preterm infant with a follow up at 2 years of age," *Clin. Neurophysiol.*, **123**, No. 11, 2130-2138 (2012).
13. T. A. Stroganova, E. V. Orekhova, and I. N. Posikera, "EEG alpha rhythm in infants," *Clin. Neurophysiol.*, **110**, No. 6, 997-1012 (1999).
14. K. Cuevas, V. Raj, and M A. Bell, "A frequency band analysis of two year olds' memory processes," *Int. J. Psychophysiol.*, **83**, No. 3, 315-322 (2012).
15. N. Bayley, *Bayley Scales of Infant and Toddler Development*, TX Harcourt Assessment Inc., San Antonio (2006).
16. G. Pfurtscheller and F. H. Lopes da Silva, "Event-related EEG/MEG synchronization and desynchronization: basic principles," *Clin. Neurophysiol.*, **110**, No. 11, 1842-1857 (1999).
17. W. Klimesch, "EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis," *Brain Res. Rev.*, **29**, Nos. 2/3, 169-195 (1999).
18. A. Wróbel, "Beta activity: a carrier for visual attention," *Acta Neurobiol. Exp.*, **60**, No. 2, 247-260 (2000).
19. M. Ploner, J. Gross, L. Timmermann, et al., "Oscillatory activity reflects the excitability of the human somatosensory system," *Neuroimage*, **32**, No. 3, 1231-1236 (2006).
20. G. Buzsáki, "Theta oscillations in the hippocampus," *Neuron*, **33**, No. 3, 325-340 (2002).
21. H. Laufs, J. L. Holt, R. Elfont, et al., "Where the BOLD signal goes when alpha EEG leaves," *Neuroimage*, **31**, No. 4, 1408-1418 (2006).
22. M. Bastiaansen and P. Hagoort, "Event-induced theta responses as a window on the dynamics of memory," *Cortex*, **39**, Nos. 4/5, 967-992 (2003).
23. N. E. Crone, D. L. Miglioretti, B. Gordon, et al., "Functional mapping of human sensorimotor cortex with electrocorticographic spectral analysis. I. Alpha and beta event-related desynchronization," *Brain*, **121**, No. 12, 2271-2299 (1998).
24. C. Neuper and G. Pfurtscheller, "Event-related dynamics of cortical rhythms: frequency-specific features and functional correlates," *Int. J. Psychophysiol.*, **43**, No. 1, 41-58 (2001).
25. B. Porjesz, H. Begleiter, and K. Wang, "Linkage and linkage disequilibrium mapping of ERP and EEG phenotypes," *Biol. Psychol.*, **61**, Nos. 1/2, 229-248 (2002).
26. D. Kropotov, *Quantitative EEG, Event-Related Potentials and Neurotherapy*, Acad. Press is an imprint of Elsevier, (2009).
27. A. K. Engel and P. Fries, "Beta-band oscillations – signalling the status quo?" *Current Opin. Neurobiol.*, **20**, No. 2, 156-165 (2010).
28. A. Zeman, "Consciousness", *Brain*, **124**, No. 7, 1263-1289 (2001).