

**ФИЗИОЛОГИЯ ВЫСШЕЙ НЕРВНОЙ
(КОГНИТИВНОЙ) ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА**

УДК 612.821

**РЕАКТИВНОСТЬ МЮ-РИТМА ЭЭГ ПРИ ВОСПРИЯТИИ РЕЧИ У ДЕТЕЙ
В ВОЗРАСТЕ ОТ ДВУХ ДО ТРЕХ С ПОЛОВИНОЙ ЛЕТ:
ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ВОСПИТАНИЯ**

© 2020 г. В. В. Белалов¹, О. М. Базанова², А. А. Михайлова¹,
Ю. О. Дягилева¹, В. Б. Павленко^{1,*}

¹ Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь, Россия

² Научно-исследовательский институт физиологии и фундаментальной медицины, Новосибирск, Россия

*e-mail: vprav55@gmail.com

Поступила в редакцию 14.06.2019 г.

После доработки 06.08.2019 г.

Принята к публикации 16.09.2019 г.

Развитие речевой сферы является важнейшим фактором, определяющим когнитивное и социальное развитие ребенка, что определяет актуальность изучения влияния условий воспитания на формирование речевых способностей у детей двух – трех с половиной лет. С целью сравнения уровней развития восприятия речи у детей-сирот, воспитывающихся в детском доме ($n = 54$), и детей, воспитывающихся в биологических семьях ($n = 53$), применили психометрическое тестирование и анализ мощности ЭЭГ (12 отведений фронтальных, центральных, височных и теменных регионов) в индивидуально определенном диапазоне мю-ритма в условиях покоя, при предъявлении аудиозаписи речи (нативная речь) и реверсированной записи того же сигнала. Применение теста Бейли выявило затруднения в восприятии речи у детей-сирот. Восприятие как нативной, так и реверсированной речи детьми, воспитывающимися в семьях, сопровождалось увеличением мощности мю-диапазона в большинстве отведений, а у детей-сирот – ее снижением. На основании полученных результатов можно заключить, что развитие восприятия речи замедлено у детей, воспитывающихся без родителей, а тест прослушивания нативной и реверсированной речи позволяет выявить реактивность ЭЭГ в индивидуально установленном диапазоне мю-ритма, отражающую особенности воспитания и жизненного опыта ребенка.

Ключевые слова: восприятие речи, мю-ритм ЭЭГ, дети, дети-сироты

DOI: 10.31857/S0044467720020045

ВВЕДЕНИЕ

Еще в первой половине XX века Л.С. Выготский утверждал, что мышление ребенка развивается в зависимости от овладения социальными средствами мышления, т.е. в зависимости от речи [Выготский, 1934]. В настоящее время признается, что развитие речевой сферы является важнейшим фактором, определяющим когнитивное и социальное развитие ребенка. Исходя из тесной связи между развитием речи и мышления, размер активного словаря ребенка, т.е. количество слов, которое он понимает и произносит, расценивают как не прямой показатель уровня его вербального интеллекта [Cristia et al., 2014].

Адекватное развитие речевой сферы ребенка формируется при его взаимодействии с родителями или другими значимыми взрослыми [Kuhl et al., 2014; Onnis, 2017; Romeo et al., 2018]. К сожалению, до сих пор большое число детей, в том числе и в нашей стране, воспитываются в домах ребенка (ДР) для детей-сирот и детей, оставшихся без попечения родителей. Пребывание ребенка в таких учреждениях сопровождается крайней социально-эмоциональной депривацией, включающей, прежде всего, отсутствие стабильных и эмоционально-окрашенных отношений со значимым взрослым, а также недостаточно индивидуальный подход к ребенку, обедненную языковую среду и т.д. Все это приводит к задержкам в когнитивной и речевой сферах у

воспитанников ДР [Колесникова и др., 2018; Muhamedrahimov et al., 2018]. Многочисленные исследования показывают, что у таких детей часто нарушается развитие ЦНС, и прежде всего, неокортекса, см. обзоры [Verens, Nelson, 2015; Малиновская и др., 2016; Nelson et al., 2019]. В настоящее время в Российской Федерации прилагается много усилий для реорганизации процесса воспитания в ДР. Все это делает актуальным всестороннее исследование процесса овладения речью ребенком как в родных, биологических семьях (БС), так и в условиях государственных учреждений.

При регистрации ЭЭГ и МЭГ у взрослых во время восприятия целостных сообщений, состоящих из одного или нескольких предложений, было установлено участие в понимании речи нейрофизиологических процессов, отражающихся в росте мощности тета-, бета- и гамма-ритмов [Ding et al., 2016; Lewis et al., 2016; Mai et al., 2016], росте [Meyer et al., 2013] или падении альфа- [Lam et al., 2016], а также альфа- и мю-ритмов [Saltuklaroglu et al., 2018]. У детей младшего возраста (8–12 мес) и дошкольников (4–7 лет) при социальном взаимодействии с взрослым, включающем прослушивание сказок, песен и рассказов, при открытых глазах росла мощность ЭЭГ в низкочастотном диапазоне (3.6–5.6 Гц у младшей группы и 4.0–7.6 Гц – у старшей) [Orehova et al., 2006]. При этом значения мощности разновидности альфа-активности – мю-ритма (6.4–8.4 Гц у младшей группы и 8.4–10.4 Гц – у старшей) – снижались. Такие конкурентные изменения указанных ритмов ЭЭГ авторы исследования связывали с ростом когнитивной и эмоциональной нагрузки у детей в ситуации социального взаимодействия. Согласно единичным исследованиям детей в возрастном периоде от полутора до трех лет [Antognini, Daum, 2017], т.е. именно в том возрасте, когда активно осваивается восприятие предложений [Kuhl, 2010], показано, что у малышей 18 и 24 мес в условиях записи ЭЭГ при открытых глазах восприятие предложений, обозначающих действия, сопровождается десинхронизацией диапазона 6–10 Гц в центральных и затылочных областях мозга. Несколько иные результаты получены в недавних исследованиях процессов слухового восприятия речи у взрослых и детей 10–12 лет [Schneider et al., 2016, 2018]. В ответ на предъявление аудиозаписей корректных предложений и записей, содержа-

щих ошибки, у испытуемых обеих групп в состоянии открытых глаз выявлено увеличение амплитуды не только в стандартных тета- и бета-диапазонах ритмов ЭЭГ, но также – в центральных регионах – низкочастотного альфа-ритма (8.0–10.9 Гц). Однако, когда авторы представляют результаты исследования тета- и бета-ритмов, нельзя исключить, что изменения амплитуды этих частотных диапазонов ЭЭГ вполне могут отражать изменения тонического напряжения мышц скальпа, связанное с ментальной активностью, см. обзор [Cacioppo et al., 1988]. Установлено, что ЭМГ мышц скальпа когерентны с мощностью в стандартных тета- и бета-диапазонах и реципрокны мощности высокочастотного альфа-диапазона [Goncharova et al., 2003; Wijsman et al., 2011; Fitzgibbon et al., 2016; Janani et al., 2017]. В этой связи мы считаем наиболее обоснованным для анализа ЭЭГ показателей восприятия речи использовать тот диапазон, который в наименьшей степени контаминирован ЭМГ артефактами и, более того, амплитуда которого изменяется реципрокно мощности ЭМГ [Bazanov et al., 2018].

Одним из приемов для изучения нейрофизиологических особенностей восприятия речи на основе анализа паттерна ЭЭГ является методика, описанная С. Krause и соавт. [Krause et al., 1997], которая заключается в следующем: предъявляются два вида стимулов, один из которых представляет нативную запись речи, а другой – такую же запись, но воспроизведенную в реверсном режиме. Этот второй стимул является речеподобным сигналом, лишенным семантического содержания. Таким образом, применение приема, включающего сравнение изменений ЭЭГ в ответ на нативную и реверсированную речь, позволяет оценить особенности активации ЦНС испытуемых в ответ на осмысленные сообщения, доступные для их понимания.

Ранее мы применили данную методику для анализа особенностей восприятия речи у детей в возрасте от двух с половиной до трех с половиной лет, воспитывающихся в семьях или в детском доме [Belalov et al., 2014]. Однако в нашем предыдущем исследовании, как и в других, цитируемых выше, границы частотных диапазонов устанавливались в соответствии с некими стандартами, не учитывающими ключевые показатели генерации альфа- или мю-ритмов – индивидуальные частоты пиков и ширину диапазона ритмов, отражающую нейрональную активацию при

переработке разномодальной информации (для обзора [Bazanov, Vernon, 2014; Mierau et al., 2017]). Использование индивидуально-определяемых частотных границ мю-диапазона также продиктовано тем, что индивидуальный уровень развития нейрональной эффективности отражается в росте частоты границ указанного диапазона ЭЭГ (по мере увеличения частоты максимального альфа-пика) [Dickinson et al., 2018].

Известно, что мю-ритм генерируется в центральных и прилегающих к ним регионах неокортекса, отличается несколько более высокой частотой, чем другой вариант альфа-ритма – затылочный альфа-ритм, и супрессируется при движениях [Kropotov, 2009], что позволяет определить его индивидуальный частотный диапазон у данного испытуемого. В то же время в этот частотный диапазон вносит свой вклад и частично сохраняющаяся при открытых глазах высокочастотная часть затылочного альфа-ритма, отличающаяся высокой реактивностью при выполнении когнитивной деятельности [Klimesch, 2012; Bazanova, Vernon, 2014]. В дальнейшем, употребляя по отношению к результатам нашего исследования термин “мю-ритм” или словосочетание “активность в частотном диапазоне мю-ритма”, мы подразумеваем, что эта активность является результатом генерации не только мю-ритма, но, в некоторой степени, и других вариантов альфа-ритма.

Таким образом, мы предполагаем, что воспитание в среде, лишенной родителей, вызывает замедление развития восприятия речи, выявляемое по психометрическим показателям, а также отставание в созревании нейронных механизмов переработки речевой информации, отражающееся в изменении реактивности мю-ритма или другой разновидности высокочастотного альфа-диапазона ЭЭГ.

Целью настоящей работы было сравнение уровня развития восприятия речи по результатам психометрического тестирования и реактивности мощности ЭЭГ в индивидуально установленном диапазоне мю-ритма при восприятии нативной и реверсированной речи у детей, воспитывающихся в семьях и детском доме.

МЕТОДИКА

В исследовании принял участие 141 ребенок в возрасте от двух до трех с половиной лет. Дети принадлежали к двум группам.

Первая группа включала 77 детей, воспитывающихся в Доме ребенка г. Симферополя (группа ДР), вторая группа – 64 ребенка из родных биологических семей (группа БС). 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 (с очевидным преобладанием левой руки при манипуляциях с предметами и при рисовании). Половозрастной состав групп, чьи ЭЭГ-данные были отобраны для дальнейшего анализа, представлен ниже. Обследование детей группы ДР проводилось на основании официального разрешения руководителей и врачебного персонала Дома ребенка и в присутствии психолога данного учреждения. В группу БС дети были набраны с помощью объявлений, размещенных в детских садах г. Симферополя. Родителям этих детей были предоставлены все необходимые сведения о процедуре исследования, и они дали письменное согласие на бесплатное участие ребенка в экспериментах. Настоящее исследование соответствовало этическим принципам Хельсинкской декларации 1964 г. и было одобрено этическим комитетом Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского.

Экспериментальные условия. Обследование детей БС-группы проводилось в рабочие дни недели, в промежутке времени с 09:00 до 12:00, приблизительно через полтора часа после завтрака, на базе лаборатории психофизиологии Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Обследование детей ДР-группы проводилось в то же время дня на базе Дома ребенка в комнате психолога учреждения. Оборудование для психологического тестирования и записи ЭЭГ и в лаборатории психофизиологии, и в детском доме располагали схожим образом. Обследование проходило в течение двух дней. В первый день устанавливали контакт с ребенком, стараясь снизить его тревогу в незнакомой ситуации, и проводили часть психологических тестов. Во второй день – завершали психологическое тестирование и регистрировали ЭЭГ.

Оценка уровня развития восприятия речи. Уровень речевого развития детей оценивали с помощью тест-системы Бейли (BSID-III) [Bailey, 2006]. Данная тест-система содержит

задания возрастающей сложности, позволяющие оценить умственное, речевое (как рецептивное, так и экспрессивное) и моторное развитие детей в возрасте от 16 дней до 42 мес. Для оценки уровня развития восприятия речи (показатель “рецептивная речь”) детям давалась словесная инструкция показать на рисунках и предъявляемых игрушках характеристики и категории объектов (большой, маленький, виды одежды, части тела), изображенные действия, а также самому выполнить простую последовательность действий. Во время тестирования оценивалось: понимает ли ребенок названия и использование объектов, местоимения, предлоги, причастия, формы единственного и множественного числа, отрицания в предложениях и т.п. Учитывались полнота и точность выполнения задания. Для каждого возраста (с точностью до месяца) предназначался свой набор заданий. Результат тестирования с помощью специальных таблиц переводился в относительные единицы (баллы), которые показывали уровень выполнения предъявленных задач по сравнению с группой детей данного возраста. По шкале “Рецептивная речь” ребенок мог набрать от 1 до 19 баллов.

Регистрация ЭЭГ проводилась при открытых глазах в трех экспериментальных условиях: (1) в спокойном состоянии (фоновая ЭЭГ, продолжительность записи 20–30 с); (2) при прослушивании обычной (нативной) речи; (3) при прослушивании записи той же речи, реверсированной с помощью компьютерной программы “*Wave Editor*” (реверсированная речь).

Речевой стимул (нативная речь) представлял собой воспроизведение звуковой записи стихотворения из сборника “Большая книга малышам: стихи, потешки, рассказы и загадки” (продолжительность 20 с, женский голос, персонажами являлись животные), предназначенного для детей раннего возраста, но не знакомого ранее участникам исследования. Реверсированная запись сохранила продолжительность и акустический состав сигнала, но не несла в себе смысла. Чередование второго и третьего условия определялось случайным образом. Перед записью фоновой ЭЭГ ребенка просили посидеть спокойно. Перед первым предъявлением нативной или реверсированной речи давалась инструкция: “Сейчас будет стихотворение, слушай внимательно!”. Во время предъявления звуковых сигналов дети находились перед акустиче-

ской колонкой на расстоянии двух метров от нее. Громкость звука в этой области в среднем составляла 85 дБ.

Регистрация и анализ ЭЭГ. Биопотенциалы регистрировали с помощью телеметрического компьютерного электроэнцефалографа *TREDEX* (г. Харьков) хлорсеребряными электродами монополярно в соответствии с международной системой “10–20” во фронтальных (F3, F4, F7, F8), центральных (C3, C4), височных (T3, T4, T5, T6) и теменных (P3, P4) регионах. Указанные регионы выбраны как области интереса на основании данных литературы о вовлеченности их в процессы восприятия речи у детей [Schneider et al., 2016; Antognini, Daum, 2017; Schneider et al., 2018]. В качестве референтного использовался виртуальный электрод, сигнал которого был равен усредненному по всем отведениям потенциалу (усредненный референт). Полоса пропускания сигнала при регистрации составляла 0.5–30.0 Гц, частота дискретизации – 250 Гц. Для исключения отрезков ЭЭГ с артефактами от мышечной активности регистрировали электромиограмму (ЭМГ) от хлорсеребряных электродов, расположенных на поверхности кожи над фронтальной мышцей лба. Исходя из данных литературы [Merletti et al., 2009] и возможностей усилительного канала электроэнцефалографа, сигнал ЭМГ фильтровался в диапазоне 10–100 Гц. Синхронно с записью ЭЭГ велась запись звука и видеорегистрация лица и рук ребенка.

Участки записей ЭЭГ с амплитудой более 250 мкВ, сопровождающиеся многочисленными движениями глаз (заметными на видеозаписи), а также отрезки, содержащие большое число артефактов, связанных с активацией ЭМГ мышц лба, исключались из обработки. Безартефактные отрезки ЭЭГ разбивали на эпохи по 5 с. Фрагменты ЭЭГ подвергались быстрому преобразованию Фурье с перекрытием 50% и использованием фильтра Баттерворта (порядок 4) с полосой пропускания 2–25 Гц. Применялось сглаживание окном Блэкмена.

Индивидуальный частотный диапазон альфа-ритма традиционно рассчитывают исходя из параметров ЭЭГ при открытых и закрытых глазах [Klimesch et al., 1993; Bazanova, Vernon, 2014; Bazanova et al., 2018] или при записи в затемненном помещении [Stroganova et al., 1999]. Однако добиться, чтобы дети в возрасте двух-трех лет закрыли глаза на несколько десятков секунд, как правило, не

удается. По техническим причинам и соображениям этического характера мы также отказались от затемнения помещения в Доме ребенка. В связи с этим определяли границы индивидуального диапазона варианта альфа-ритма – мю-ритма при сравнении амплитуды в покое и при движениях, как это делалось другими авторами [Stroganova et al., 1999; Orekhova et al., 2006; Thorpe et al., 2016]. В нашем исследовании в тесте “Восприятие и повторение действия” [Nyström et al., 2011] (в данной статье результаты этого теста не анализируются) использовалось выполнение ребенком движений рук. На спектре ЭЭГ в отведении С3 в условиях относительного покоя выделялся пик спектральной плотности в диапазоне 5–10 Гц, который при движении рук исчезал. Спектры ЭЭГ, зарегистрированной в покое и при движениях, накладывали друг на друга. За границы диапазона мю-ритма принимали точки пересечения спектров. Для индивидуально-определенной частотной полосы мю-ритма рассчитывали спектральную плотность мощности (СПМ), которую подвергали логарифмированию для нормализации распределения ($\lg \text{мкВ}^2/\text{Гц}$).

Для анализа изменения СПМ во время прослушивания нативной и реверсированной речи рассчитывали индекс реактивности (ИР) по формуле: $\text{ИР} = 100\% \times [\lg \text{СПМ}(\text{речь}) - \lg \text{СПМ}(\text{фон})] / \lg \text{СПМ}(\text{фон})$, где $\lg \text{СПМ}(\text{речь})$ – логарифм средней мощности ЭЭГ в полосе мю-ритма при восприятии нативной или реверсированной речи, $\lg \text{СПМ}(\text{фон})$ – логарифм средней мощности в полосе мю-ритма, записанной в ситуации относительного покоя. Значения $\text{ИР} > 0$ свидетельствуют об увеличении мощности мю-ритма по сравнению с исходным уровнем, а $\text{ИР} < 0$ – о снижении мощности мю-ритма в данном отведении для вычисляемого частотного диапазона.

Для статистической обработки использовали пакет STATISTICA v.10. Результаты измерений представляли как средние значения \pm стандартное отклонение. Различия показателя “рецептивная речь” у детей БС и ДР оценивали с помощью двухфакторного дисперсионного анализа ANOVA с факторами ГРУППА (уровни: группа БС и ДР) и ПОЛ (уровни: мальчики, девочки). Сравнения показателей частоты максимального пика и границ мю-ритма фоновой ЭЭГ анализировали с помощью ANOVA с повторными измерениями (repeated measures) с теми же межгрупповыми факторами. Межгрупповые сравнения

СПМ мю-ритма фоновой ЭЭГ проводили с помощью repeated measures ANOVA с учетом влияния факторов ГРУППА/2/, ПОЛ/2/ и ЛОКУС (уровни: 12 отведений). Для оценки влияния прослушивания нативной или реверсированной речи на СПМ исследуемого ритма у детей двух групп применялись repeated measures ANOVA с факторами ГРУППА/2/, ПОЛ/2/, ЛОКУС/12/, СИТУАЦИЯ (2 уровня: нативная или реверсивная речь и фон). Для расчета статистической значимости изменений мю-ритма отдельно в каждом из отведений в этом и последующих случаях использовался метод априорных контрастов (оценка F -распределения). При этом проводилась коррекция на множественные измерения с помощью поправки Бонферрони на количество локусов ЭЭГ (12). Значимость межгрупповых различий ИР детей БС и ДР при восприятии нативной и реверсированной речи определяли с учетом внутрисубъектного фактора ЛОКУС и межсубъектных факторов ГРУППА и ПОЛ.

Дети, у которых на ЭЭГ содержалось большое число артефактов (34 ребенка из обеих групп), не вошли в общую выборку. В конечном счете, для обработки были отобраны записи ЭЭГ 107 детей. В группу БС вошли 53 ребенка – 32 мальчика и 21 девочка. Средний возраст группы составил 974 ± 169 дней. Группа ДР насчитывала 54 ребенка (35 мальчиков и 19 девочек, средний возраст 1022 ± 117 дней). Различия в возрасте между группами не достигали уровня статистической значимости ($t = 1.73, p = 0.09$).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Показатель понимания обычной речи (“рецептивная речь”). Значения данного показателя, измеренные с помощью тест-системы Бейли, у детей группы БС составили 11.56 ± 2.96 баллов, а у группы ДР только 8.50 ± 1.88 баллов. На понимание речи выявлено влияние фактора ГРУППА ($F_{1, 103} = 38.917, p < 0.000$), но не фактора ПОЛ ($F_{1, 103} = 1.019, p = 0.315$) или взаимодействия данных факторов ($F_{1, 103} = 0.191, p = 0.662$).

Фоновая ЭЭГ. Среднее значение частоты пика мю-ритма в отведении С3 у детей группы БС составило 8.1 ± 0.7 Гц, нижней границы его частотного диапазона – 6.6 ± 0.7 Гц, верхней границы – 9.4 ± 0.9 Гц. У детей ДР частота пика мю-ритма составила 8.0 ± 0.7 Гц, нижней границы его частотного диапазона –

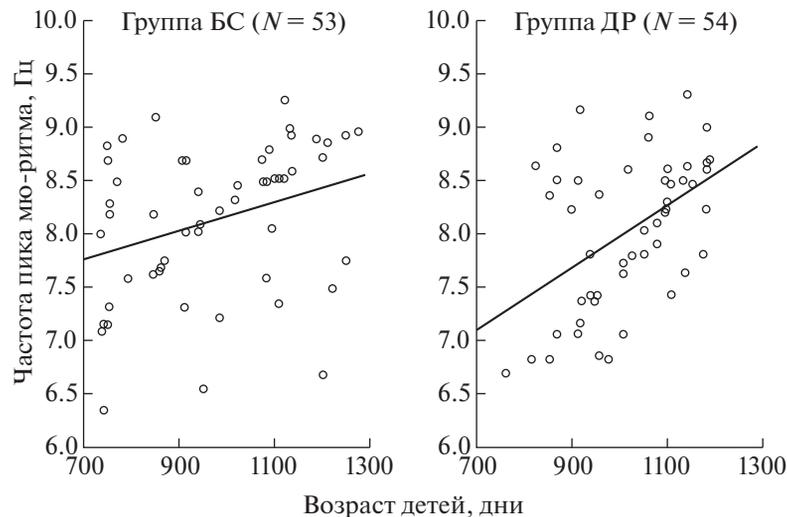


Рис. 1. Связь индивидуальной частоты максимального пика мю-ритма в отведении С3 с возрастом детей, воспитывающихся в биологических семьях (БС) и в доме ребенка (ДР). Приведены корреляционные поля и линии регрессии.

Fig. 1. The relationship between individual mu rhythm peak frequencies at C3 electrode and the age of children reared in biological families (БС) and the orphanage institution (ДР). Correlation fields and regression lines shown.

6.4 ± 0.6 Гц, верхней границы – 9.2 ± 0.8 Гц. ANOVA не выявил межгрупповых различий частотных характеристик указанного ритма ни между детьми групп БС и ДР – ГРУППА ($F_{2, 206} = 0.579, p = 0.562$), ни между мальчиками и девочками – ПОЛ ($F_{2, 206} = 0.603, p = 0.548$) или их взаимодействия ($F_{2, 206} = 0.207, p = 0.814$).

Однако нами выявлены значимые положительные корреляции между возрастом и индивидуальной частотой максимального пика мю-ритма, детей БС и ДР: $r = 0.326$ при $p = 0.017$ и $r = 0.496$ при $p < 0.001$ соответственно (критерий Пирсона). Значения частоты границ диапазона мю-ритма детей обеих групп также положительно коррелировали с возрастом детей. Корреляционные поля, отражающие зависимость между возрастом детей и частотой пика мю-ритма в отведении С3, представлены на рис. 1. Интересно отметить, что, как видно из положения линии регрессии на рисунке, имелась тенденция к более низким значениям индивидуальных значений частоты пика мю-ритма у младших детей группы ДР возраста до 900 дней (то есть приблизительно до двух с половиной лет). Среднее значение данного показателя у них составило 7.6 ± 0.8 Гц, в то время как у детей того же возраста, воспитывающихся в семьях, – 7.9 ± 0.7 Гц. В то же время у детей старше 1100 дней (т.е. старше трех лет), сред-

ние значения частоты пика не отличались (8.4 ± 0.4 и 8.4 ± 0.6 Гц соответственно).

ANOVA мощности фоновой ЭЭГ в диапазоне мю-ритма выявил значимое влияние фактора ГРУППА ($F_{1, 103} = 8.562, p = 0.004$) и его взаимодействие с фактором ЛОКУС ($F_{11, 1133} = 20.478, p < 0.001$). СПМ мю-ритма в покое с открытыми глазами у детей ДР была выше, чем в группе БС (рис. 2). Влияние фактора ПОЛ не было значимым ($F_{1, 103} = 2.466, p = 0.119$). Однако имелось значимое взаимодействие данного фактора с фактором ГРУППА ($F_{1, 103} = 4.408, p = 0.038$), обусловленное тем, что у девочек группы ДР мощность ЭЭГ в диапазоне мю-ритма была существенно выше, чем у мальчиков. У детей из биологических семей таких различий не было.

Реактивность амплитуды ЭЭГ в частотном диапазоне мю-ритма при прослушивании нативной и реверсированной речи. В табл. 1 представлены результаты ANOVA изменений СПМ в диапазоне мю-ритма у детей групп БС и ДР при восприятии нативной и реверсированной речи. Факторы СТИМУЛ и ЛОКУС, а также взаимодействие между ними, имели значимый эффект. Метод априорных контрастов показал, что при восприятии нативной речи у детей группы БС мощность мю-ритма значимо росла в лобных (F3, F4), задневисочных и теменных регионах обоих полушарий, центральном отведении правого полушария

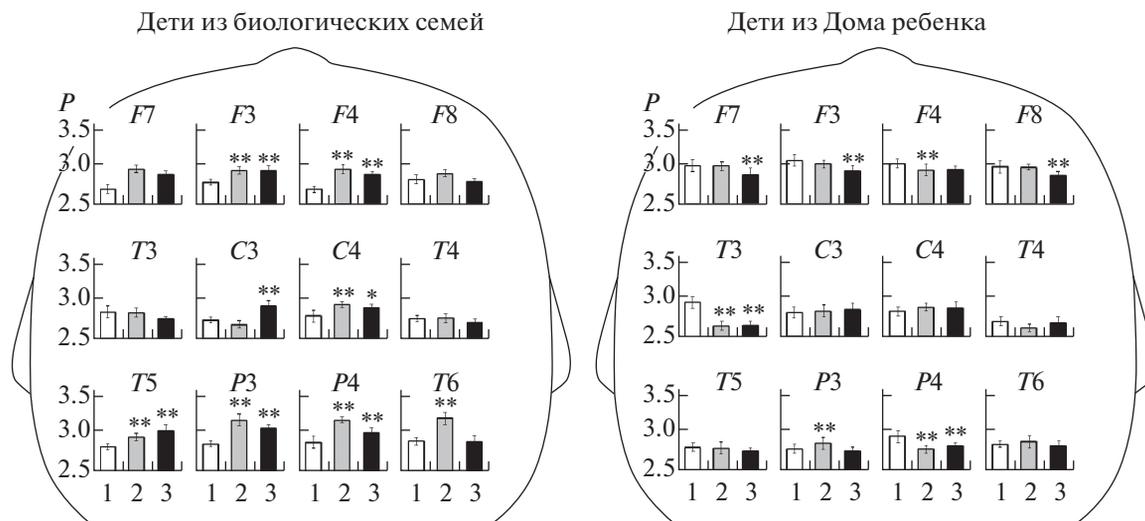


Рис. 2. Мощность ЭЭГ (P , $\lg \mu\text{В}^2/\text{Гц}$) в диапазоне мю-ритма в ситуациях относительного покоя (фон) и при восприятии речевых стимулов у детей. Цифрами указаны экспериментальные ситуации, в которых происходила регистрация ЭЭГ: 1 – фон, 2 – восприятие нативной, 3 – реверсированной речи (белые, серые и черные столбцы соответственно). Звездочками отмечены случаи достоверных различий по сравнению с фоном, выявленные методом априорных контрастов (* – $P < 0.05$; ** – $P < 0.01$).

Fig. 2. EEG powers (P , $\lg \mu\text{V}^2/\text{Hz}$) in the mu rhythm frequency ranges of children under conditions of a relative rest (baseline) and when attending to speech stimuli. The numbers indicate respective experimental situations with the EEG being recorded: 1 – baseline, 2 – perception of native speech, 3 – perception of reversed speech (white, gray and black columns respectively). Cases of significant differences (assessed by a priori contrasts) relative to the baseline condition are marked by asterisks (* – $P < 0.05$; ** – $P < 0.01$).

(всего в семи отведениях, рис. 2, фрагмент слева). У детей ДР при восприятии нативной речи в трех отведениях обоих полушарий наблюдалась супрессия мощности ЭЭГ в диапазоне мю-ритма (наиболее выраженная в отведении С3) и лишь в одном – левом теменном отведении – отмечался рост СПМ (рис. 2, фрагмент справа). Предъявление реверсированной речи вызывало у детей группы БС повышение мощности ЭЭГ в диапазоне мю-ритма, сходное с таковым при восприятии нативного речевого сигнала. У воспитанников детского дома в этой ситуации выявлено лишь снижение СПМ. Влияния фактора ПОЛ на изменения мощности в диапазоне мю-ритма не выявлено.

Особенности ИР (% изменения мощности ЭЭГ в период восприятия нативной или реверсированной речи по отношению к фоновой активности в состоянии относительного покоя) у детей разных групп. ANOVA ИР выявил значимый эффект фактора ГРУППА: ИР по абсолютной величине ниже у детей-сирот, по сравнению с детьми из семей (табл. 2). На ИР в диапазоне мю-ритма значимо влияли факторы ЛОКУС и СТИМУЛ, а также их взаимодействие. Использование метода априорных

контрастов выявило локусы, в которых величина ИР у детей обследованных групп значительно отличалась (рис. 3). Мощность мю-ритма в передневисочной области слева значимо больше снижалась у детей из группы ДР, по сравнению с детьми группы БС на оба вида стимулов. У детей, воспитывающихся в семьях, в ответ на оба вида стимулов наблюдался прирост СПМ в двух лобных (F3 и F4), левом задневисочном и теменных отведениях, а также на нативную речь – в правых височных отведениях. Лишь в левом центральном отведении у детей группы БС при восприятии нативной речи мощность мю-ритма падала, в то время как у воспитанников детского дома росла. Таким образом, восприятие как нативной, так и реверсированной речи у детей группы БС, вызывало рост мощности в большинстве корковых регионов, а у детей сирот – в основном супрессию мю-ритма ЭЭГ, особенно выраженную в височных отведениях слева.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Нами обнаружено, что у обследованных детей в возрастном интервале от двух до трех

Таблица 1. Результаты дисперсионного анализа мощности ЭЭГ в диапазоне мю-ритма в зависимости от экспериментальной ситуации и локуса отведения у детей исследованных групп**Table 1.** ANOVA results for the EEG mu rhythm powers depending on experimental situations and EEG loci in the groups of children

Сравниваемые ситуации	СТИМУЛ		ЛОКУС		СТИМУЛ × ЛОКУС	
Дети из биологических семей						
	$F_{1, 51}$	p	$F_{11, 561}$	p	$F_{11, 561}$	p
“НР” и “фон”	97.12	<0.001	42.67	<0.001	28.06	<0.001
“РР” и “фон”	48.97	<0.001	20.32	<0.001	18.20	<0.001
Дети из Дома ребенка						
	$F_{1, 52}$	p	$F_{11, 572}$	p	$F_{11, 572}$	p
“НР” и “фон”	16.78	<0.001	42.60	<0.001	16.60	<0.001
“РР” и “фон”	44.42	<0.001	28.26	<0.001	12.07	<0.001

Примечание. Ситуация: “фон” – исходная запись, “НР” – нативная речь, “РР” – реверсированная речь, ЛОКУС – 12 отведений ЭЭГ.

Notes. Conditions: “фон” – baseline record; “НР” – native speech; “РР” – reversed speech; ЛОКУС – 12 EEG electrodes.

Таблица 2. Результаты дисперсионного анализа различий в индексах реактивности ЭЭГ в диапазоне мю-ритма при восприятии нативной и реверсированной речи в зависимости от принадлежности детей к группе и локуса отведения**Table 2.** ANOVA results for the EEG mu rhythm reactivity indices during perception of native and reversed speech depending on the group of children and EEG loci

ГРУППА		ЛОКУС		ГРУППА × ЛОКУС	
При восприятии нативной речи					
$F_{1, 105}$	p	$F_{11, 1155}$	p	$F_{11, 1155}$	p
108.95	<0.001	24.693	<0.001	17.661	<0.001
При восприятии реверсированной речи					
$F_{1, 105}$	p	$F_{11, 1155}$	p	$F_{11, 1155}$	p
89.642	<0.001	20.811	<0.001	9.588	<0.001

Примечание. ГРУППА – принадлежность детей к группам БС или ДР, ЛОКУС – 12 отведений ЭЭГ.

Notes. ГРУППА – groups of children: family-reared vs institution-reared; ЛОКУС – 12 EEG electrodes.

с половиной лет частота максимального пика мю-ритма и границ мю-диапазона существенно увеличивается. Рост частоты мю-ритма у детей дошкольного возраста свидетельствует о созревании и развитии систем контроля нейрональной активации [Orekhova et al., 2006; Thorpe et al., 2016]. При этом частота мю-ритма у младших детей группы ДР ниже, чем у детей группы БС, что свидетельствует о более позднем начале развития систем когнитивного контроля у воспитанников детского дома. Очевидно, это связано с неблагоприятными условиями начала их жизни (потеря родителей, нахождение в крайне неблагополучной семье, перемещение в детский дом). Кроме того, у детей группы ДР, по сравнению с детьми, воспитываемыми в семьях, в условиях открытых глаз

выявлена большая мощность мю-ритма в условиях относительного покоя или фона (рис. 2). Это свидетельствует о меньшей активации у детей группы ДР, чем БС. Действительно, супрессия амплитуды альфа-ритма, включая супрессию в частотном диапазоне, соответствующем диапазону мю-ритма, это показатель мощности нейрональной активации [Bazanov, Vernon, 2014; Bazanova et al., 2017]. Большая альфа-мощность при открытых глазах в группе ДР может свидетельствовать о недостаточности активации, что мы наблюдали также у детей с дефицитом внимания [Bazanov et al., 2018]. В то же время мы не можем исключить, что причиной данных различий может быть более низкий уровень ориентировочной реакции у детей, воспитываемых в детском доме, в связи с тем, что

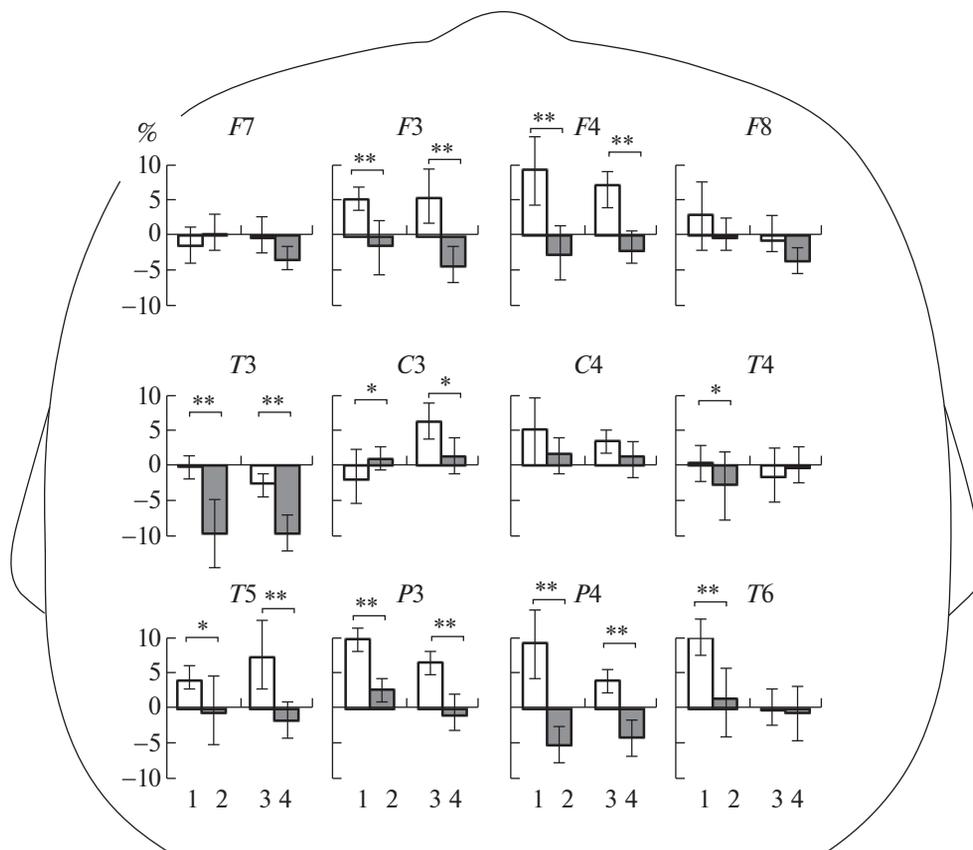


Рис. 3. Индексы реактивности (ИР, %) ЭЭГ в диапазоне мю-ритма при восприятии нативной (1, 2) и реверсированной (3, 4) речи у детей из биологических семей (белые столбцы) и Дома ребенка (темные столбцы). Звездочками отмечены случаи достоверных межгрупповых различий, выявленные методом априорных контрастов (* – $P < 0.05$; ** – $P < 0.01$).

Fig. 3. EEG mu rhythm power reactivity indices (RI, %) during perception of native (1, 2) and reversed (3, 4) speech stimuli in children reared in biological families (white columns) and in the orphanage institution (dark columns). Significant intergroup differences calculated by a priori contrasts are marked with asterisks (* – $P < 0.05$; ** – $P < 0.01$).

они обследовались в привычной обстановке комнаты психолога учреждения. Кроме того, такие дети меньше реагируют на присутствие малознакомых людей в силу присущего им аномального неразборчивого “чрезмерного дружелюбия” (“over-friendliness”) [Nelson et al., 2019].

У детей группы БС при восприятии записанной нативной речи мощность в частотном диапазоне мю-ритма увеличивалась в семи отведениях из 12. Ранее в совместном российско-шведском исследовании [Orekhova et al., 2006] при восприятии речи взрослого, обращенной непосредственно к младенцам и дошкольникам, были получены противоположные результаты – отмечалась не синхронизация, а супрессия мощности мю-ритма, вызванная, наиболее вероятно, увеличением концентрации внимания ребенка при соци-

альном взаимодействии. Очевидно, что в такой экспериментальной ситуации дети наблюдали за эмоционально окрашенной мимикой, артикуляционными движениями и жестами взрослого. Подобные движения активируют зеркальную систему мозга, что и отражается в десинхронизации мю-ритма [Лебедева и др., 2018]. Как показала видеозапись, прослушивание “искусственной” речи в нашем случае (без социального взаимодействия с говорящим) снижало двигательную активность ребенка и концентрировало его зрительное внимание на неподвижном источнике звука, что не индуцировало сенсомоторную активацию. Для такого состояния характерен рост мощности мю-ритма [Stroganova et al., 1999; Thorpe et al., 2016]. В работе других авторов [Antognini, Daum, 2017] при восприятии речевых стимулов у детей в воз-

расте полутора-двух лет также обнаружено падение мощности мю-ритма. Однако в указанном исследовании детям целенаправленно предъявляли предложения, обозначающие двигательную активность (“я строю, я рисую” и т.д.), что и приводило к характерному для мю-ритма снижению мощности. Использованное нами стихотворение не включало таких словосочетаний.

Кроме того, рост мощности ЭЭГ в диапазоне мю-ритма при восприятии нативной речи мог иметь и другие причины. Как видно из рис. 2, такие изменения ЭЭГ особенно выражены в теменных отведениях, где регистрируется доминантный альфа-ритм [Lopes da Silva, 2013]. Поскольку мю-ритм и/или сенсомоторный ритм – соответствует высокочастотному поддиапазону альфа-ритма [см. обзоры Vazanova, Vernon, 2014; Thorpe et al., 2016], мы полагаем, что обнаруженные в нашем исследовании изменения СПМ мю-ритма отражают мультимодальную природу альфа-ритма [Lopes da Silva, 2013]. Так, несколькими исследованиями было установлено, что сниженная при открывании глаз мощность высокочастотного альфа-ритма увеличивается при успешном решении задач и растет с увеличением их трудности [см. для обзора Klimesch, 2012; Kropotov, 2009], что отражает делокацию внимания со зрительных стимулов на “внутренние” когнитивные стимулы, требующие торможения излишней нейрональной активации [Klimesch, 2012]. К. Cuevas и соавторы рассматривают прирост мощности ритма в диапазоне 6–9 Гц у детей двух лет в состоянии открытых глаз при восприятии, запоминании и воспроизведении названий предметов [Cuevas et al., 2012] как показатель высокой когнитивной производительности. При этом дети, лучше справлявшиеся с задачей на запоминание и воспроизведение, демонстрировали больший прирост альфа-ритма. Подобные результаты были получены в нескольких исследованиях взрослых и детей 10–12 лет. Повышение мощности альфа-ритма (8–12 Гц) выявлено у взрослых испытуемых в процессе объединения слов, предъявленных разрозненно, в целостное сообщение [Segaert et al., 2017]. Также установлено, что выполнение задания на восприятие грамматически правильных и неправильных предложений, требующее оценки их корректности, сопровождалось ростом мощности в диапазоне альфа-ритма у детей (7–11 Гц) [Schneider et al., 2018] и у взрослых (8–13

Гц) [Meyer et al., 2013]. При этом мощность увеличивалась тем больше, чем сложнее для восприятия было предложение или словосочетание.

Таким образом, усиление мощности высокочастотного альфа/мю-ритма у детей группы БС при восприятии речи отражает, вероятно, увеличение интенсивности тормозных процессов и снижение излишней нейрональной активации, что обеспечивает адекватную обработку речевой информации.

Напротив, у детей, воспитывающихся в детском доме, восприятие речи сопровождалось снижением мощности в диапазоне мю-ритма. Возможными объяснениями выявленных различий могут быть особенности развития ЦНС у детей, лишенных родителей [Berens, Nelson, 2015; Малиновская и др., 2016], неблагоприятные для развития тормозных процессов, лежащих в основе произвольного внимания, а также адекватного процесса вовлечения ресурсов рабочей памяти.

Рост мощности в диапазоне мю-ритма, свидетельствующий о падении нейрональной активации, имел место у детей группы БС в большинстве (7 из 12) отведений не только при восприятии нативной, но и реверсированной речи. У детей, воспитывающихся в детском доме, мощность ЭЭГ в диапазоне мю-ритма в ответ на предъявление данного стимула снижалась. Надо отметить, что в исследованиях с применением функциональной томографии, реверсированную речь часто применяют как контроль по отношению к нативным речевым стимулам, в том числе в работе с детьми [Redcay et al., 2008; Moore-Parks et al., 2010]. Предполагается, что поскольку такой стимул лишен смыслового содержания, он может рассматриваться как индифферентный сигнал, “шум”. Однако результаты нашей работы показывают, что данный сигнал вызывает весьма специфические реакции, зависящие от условий воспитания и жизненного опыта ребенка. Считаем, что рост мощности в диапазоне мю-ритма в ответ на реверсированный речевой стимул можно расценивать как отражение вовлечения дополнительных ресурсов торможения, обеспечивающих концентрацию внимания при попытке восприятия речеподобного сигнала. Мы делаем те же выводы, что следуют из результатов исследования детей с эпизиндромом [Brown et al., 2012], а именно: реверсированную речь в работе с детьми нельзя рассматривать как индифферентный сигнал.

Наши данные о большей реактивности мю-ритма и других разновидностей альфа-ритма, дающих вклад в СПМ анализируемого диапазона ЭЭГ, по отношению не только к новым речевым, но и речеподобным сигналам (реверсированной речи) у детей, воспитывающихся в адекватной социальной среде, по сравнению с детьми, лишенными родителей, свидетельствуют о необходимости взаимодействия ребенка с родителями для успешного речевого развития. Анализ изменений мощности ЭЭГ в индивидуальном диапазоне мю-ритма в ответ на предъявление нативной и реверсированной речи может стать полезным методом изучения нейрофизиологических механизмов восприятия речи и его нарушений у детей раннего возраста.

ВЫВОДЫ

1. У детей, воспитывающихся в Доме ребенка, уровень развития восприятия речи (показатель “рецептивная речь” в тесте Бейли) значимо ниже, чем у детей, воспитывающихся в семьях. Очевидно, это связано с крайне неблагоприятными условиями начала их жизни (потеря родителей или нахождение в неблагополучной семье, перемещение в детский дом), а также с обедненной языковой средой и недостаточно индивидуальным подходом к ребенку в детском доме.

2. Восприятие нативной речи и предъявление реверсированного речевого сигнала у детей, воспитывающихся в семьях, сопровождалось преимущественно увеличением, а у детей, воспитывающихся в детском доме, — снижением или отсутствием изменений мощности в индивидуальном частотном диапазоне мю-ритма ЭЭГ. Причиной выявленных различий могут быть особенности развития ЦНС у детей, лишенных родителей, неблагоприятные для развития тормозных процессов, лежащих в основе произвольного внимания, а также адекватного процесса вовлечения ресурсов рабочей памяти. Результаты нашей работы показывают, что речевые и речеподобные сигналы вызывают весьма специфические реакции, зависящие от условий воспитания и жизненного опыта ребенка.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-015-00074 а (регистрация и анализ психометрических и электроэнцефалографических данных) и 19-013-00317 а (интерпретация ЭЭГ-результатов).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Выготский Л.С.* Мышление и речь. М., Л.: Государственное социально-экономическое изд-во, 1934. 324 с.
- Колесникова М.А., Жукова М.А., Овчинникова И.В.* Особенности когнитивного развития и адаптивного поведения детей в домах ребенка в РФ. Клиническая и специальная психология. 2018. 7 (2): 53–69.
- Лебедева Н.Н., Каримова Е.Д., Карнычев В.В., Мальцев В.Ю.* Зеркальная система мозга при наблюдении, выполнении и представлении моторных задач — нейрофизиологическое отражение восприятия чужого сознания. Журн. высш. нерв. деят. 2018. 68 (2): 204–215.
- Малиновская Н.А., Моргунов А.В., Лопатина О.Л., Панина Ю.А., Волкова В.В., Гасымлы Э.Д., Таранушенко Т.Е., Салмина А.Б.* Стресс раннего периода жизни: последствия для развития головного мозга. Журн. высш. нерв. деят. 2016. 66 (6): 643–668.
- Antognini K., Daum M.* Toddlers show sensorimotor activity during auditory verb processing. *Neuropsychologia*. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2017.07.022>
- Bayley N.* Bayley scales of infant and toddler development, Third edition, San Antonio, TX: Harcourt Assessment. 2006.
- Bazanov O.M., Nikolenko E.D., Barry R.J.* Reactivity of alpha rhythms to eyes opening (the Berger effect) during menstrual cycle phases. *Int. J. Psychophysiol.* 2017. 122: 56–64.
- Bazanov O.M., Vernon D.* Interpreting EEG alpha activity. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 2014. 44: 94–110.
- Bazanov O.M., Auer T., Sapina E.A.* On the efficiency of individualized theta/beta ratio neurofeedback combined with forehead EMG training in ADHD children. *Front. Hum. Neurosci.* 2018. 12: 3. eCollection 2018. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2018.00003>
- Belalov V., Dyagileva Yu., Pavlenko V., Kochukhova O.* Neurophysiological analysis of speech perception in 2.5 to 3.5-year-old orphans and children raised in a family. *Neurophysiology*. 2014. 46 (1): 79–87.
- Berens A.E., Nelson C.A.* The science of early adversity: is there a role for large institutions in the care of vulnerable children? *Lancet*. 2015. 386 (9991): 388–398.
- Brown E.C., Muzik O., Rothermel R.* Evaluating reverse speech as a control task with language-related gamma activity on electrocorticography. *Neuroimage*. 2012. 60: 2335–2345.
- Cacioppo J.T., Martzke J.S., Petty R.E., Tassinari L.G.* Specific forms of facial EMG response index emotions during an interview: from Darwin to the continuous flow hypothesis of affect-laden infor-

- mation processing. *J. Pers. Soc. Psychol.* 1988. 54 (4): 592–604.
- Cristia A., Seidl A., Junge C., Soderstrom M., Hagoort P.* Predicting individual variation in language from infant speech perception measures. *Child Dev.* 2014. 85: 1330–1345.
- Cuevas K., Raj V., Bell M.A.* A frequency band analysis of two-year-olds' memory processes. *Int. J. Psychophysiol.* 2012. 83 (3): 315–322.
- Dickinson A., DiStefano C., Senturk D., Jeste S.S.* Peak alpha frequency is a neural marker of cognitive function across the autism spectrum. *Eur. J. Neurosci.* 2018. 47 (6): 643–651.
- Ding N., Melloni L., Zhang H., Tian X., Poeppel D.* Cortical tracking of hierarchical linguistic structures in connected speech. *Nature Neuroscience.* 2016. 19 (1): 158–164.
- Fitzgibbon S.P., DeLosAngeles D., Lewis T.W., Powers D.M., Grummett T.S., Whitham E.M., Ward L.M., Willoughby J.O., Pope K.J.* Automatic determination of EMG-contaminated components and validation of independent component analysis using EEG during pharmacologic paralysis. *Clin Neurophysiol.* 2016. 127 (3): 1781–1793.
- Goncharova I.I., McFarland D.J., Vaughan T.M., Wolpaw J.R.* EMG contamination of EEG: spectral and topographical characteristics. *Clin Neurophysiol.* 2003. 114 (9): 1580–1593.
- Janani A.S., Grummett T.S., Lewis T.W., Fitzgibbon S.P., Whitham E.M., DelosAngeles D., Bakhshayesh H., Willoughby J.O., Pope K.J.* Evaluation of a minimum-norm based beamforming technique, sLORETA, for reducing tonic muscle contamination of EEG at sensor level. *J. Neurosci. Methods.* 2017. 288: 17–28.
- Klimesch W., Schimke H., Pfurtscheller G.* Alpha frequency, cognitive load and memory performance. *Brain Topogr.* 1993. 5 (3): 241–251.
- Klimesch W.* Alpha-band oscillations, attention, and controlled access to stored information. *Trends Cogn. Sci.* 2012. 16 (12): 606–617.
- Krause C., Porn B., Lang H.* Relative alpha desynchronization and synchronization during speech perception. *Brain Res.* 1997. 5 (3): 295–299.
- Kropotov Yu.D.* Quantitative EEG, event-related potentials and neurotherapy. Academic Press, 2009. 542 p.
- Kuhl P.K.* Brain mechanisms in early language acquisition. *Neuron.* 2010. 67 (5): 713–727.
- Kuhl P.K., Ramírez R.R., Bosseler A., Lin J.-F. L., Imada T.* Infants' brain responses to speech suggest Analysis by Synthesis. *PNAS.* 2014. 111 (31): 11238–11245.
- Lam N.H., Schoffelen J., Uddén J., Hultén A., Hagoort P.* Neural activity during sentence processing as reflected in theta, alpha, beta, and gamma oscillations. *NeuroImage.* 2016. 142: 43–54.
- Lewis A.G., Schoffelen J.M., Schriefers H., Bastiaansen M.* A predictive coding perspective on beta oscillations during sentence-level language comprehension. *Front. Hum. Neurosci.* 2016. 10: 85. eCollection 2016. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00085>
- Lopes da Silva F.* EEG and MEG: relevance to neuroscience. *Neuron.* 2013. 80 (5): 1112–1128.
- Mai G., Minett J.W., Wang W.S.* Delta, theta, beta, and gamma brain oscillations index levels of auditory sentence processing. *NeuroImage.* 2016. 133: 516–528.
- Merletti R., Botter A., Troiano A., Merlo E., Minetto M.A.* Technology and instrumentation for detection and conditioning of the surface electromyographic signal: state of the art. *Clin. biomechanics.* 2009. 24 (2): 122–134.
- Meyer L., Obleser J., Friederici A.D.* Left parietal alpha enhancement during working memory-intensive sentence processing. *Cortex.* 2013. 49 (3): 711–721.
- Mierau A., Klimesch W., Lefebvre J.* State-dependent alpha peak frequency shifts: Experimental evidence, potential mechanisms and functional implications. *Neuroscience.* 2017. 360: 146–154.
- Moore-Parks E.N., Burns E.L., Bazzill R., Levy S., Posada V., Müller R.A.* An fMRI study of sentence-embedded lexical-semantic decision in children and adults. *Brain Lang.* 2010. 114: 90–100.
- Muhammedrahimov R.J., Chernego D.I., Vasilyeva M.J., Palmov O.I., Vershinina E.A., Nikiforova N.V., McCall R.B., Groark C.J.* Developmental change in full- and preterm infants between the ages of three and nine months in institutions with different caregiving environments. *Psychology in Russia: State of the Art.* 2018. 11 (3): 152–167.
- Nelson C.A., Zeanah C.H., Fox N.A.* How Early Experience Shapes Human Development: The Case of Psychosocial Deprivation. *Neural. Plast.* 2019. 2019: 1676285. <https://doi.org/10.1155/2019/1676285>
- Nyström P., Ljunghammar T., Rosander K., von Hofsten C.* Using mu rhythm desynchronization to measure mirror neuron activity in infants. *Dev. Sci.* 2011. 14 (2): 327–335.
- Onnis L.* Caregiver communication to the child as moderator and mediator of genes for language. *Behav. Brain Res.* 2017. 325 (Pt B): 197–202.
- Orekhova E.V., Stroganova T.A., Posikera I.N., Elam M.* EEG theta rhythm in infants and preschool children. *Clin. Neurophysiol.* 2006. 117 (5): 1047–1062.
- Redcay E., Haist F., Courchesne E.* Functional neuroimaging of speech perception during a pivotal period in language acquisition. *Dev. Sci.* 2008. 11: 237–252.
- Romeo R.R., Segaran J., Leonard J.A., Robinson S.T., West M.R., Mackey A.P., Yendiki A., Rowe M.L., Gabrieli J.D.E.* Language exposure relates to

- structural neural connectivity in childhood. *J. Neurosci.* 2018. 38 (36): 7870–7877.
- Saltuklaroglu T., Bowers A., Harkrider A.W., Casenhiser D., Reilly K.J., Jenson D.E., Thornton D.* EEG mu rhythms: rich sources of sensorimotor information in speech processing. *Brain Lang.* 2018. 187: 41–61.
- Schneider J.M., Abel A.D., Ogiela D.A., Middleton A.E., Maguire M.J.* Developmental differences in beta and theta power during sentence processing. *Dev. Cogn. Neurosci.* 2016. 19: 19–30.
- Schneider J.M., Abel A.D., Ogiela D.A., McCord C., Maguire M.J.* Developmental differences in the neural oscillations underlying auditory sentence processing in children and adults. *Brain Lang.* 2018. 186: 17–25.
- Segaert K., Mazaheri A., Hagoort P.* Binding language: structuring sentences through precisely timed oscillatory mechanisms. *Eur. J. Neurosci.* 2018. 48 (7): 2651–2662.
- Stroganova T.A., Orekhova E.V., Posikera I.N.* EEG alpha rhythm in infants. *Clin. Neurophysiol.* 1999. 110 (6): 997–1012.
- Thorpe S.G., Cannon E.N., Fox N.A.* Spectral and source structural development of mu and alpha rhythms from infancy through adulthood. *Clin. Neurophysiol.* 2016. 127 (1): 254–269.
- Wijsman J., Grundlehner B., Liu H., Hermens H., Penders J.* Towards mental stress detection using wearable physiological sensors. *Conf. Proc. IEEE Eng. Med. Biol. Soc.* 2011: 1798–1801.

EEG MU RHYTHM REACTIVITY DURING SPEECH PERCEPTION IN CHILDREN AGED FROM TWO TO THREE YEARS: INFLUENCE OF REARING CONDITIONS

V. V. Belalov^a, O. M. Bazanova^b, A. A. Mikhailova^a, Yu. O. Dyagileva^a, and V. B. Pavlenko^{a,#}

^a V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia

^b State Scientific-Research Institute of Physiology and Basic Medicine, Novosibirsk, Russia

[#]e-mail: vpav55@gmail.com

The level of speech development in children is the most important factor underlying their cognitive and social development. Hence of high relevance is studying the influence of rearing conditions on the formation of the speech capacity in children aged from two to three and a half years. With the aim to compare the speech perception development in the institution-reared orphan children ($n = 54$) and the children reared in biological families ($n = 53$), they underwent psychometric testing and EEG power recording (at 12 electrodes associated with frontal, central, temporal and parietal cortex regions) in individually determined mu rhythm frequency ranges under a condition of wakeful rest and when attending to recorded audio fragments of a normal speech (native speech) and its reversal version. By means of the Bailey test, the group of institution reared children demonstrated certain difficulties in speech perception. The process of perception of both native and reversed speech stimuli was accompanied by an increase in the mu rhythm power at the majority of electrodes in the family-reared children, while the mu power in the group of institution-reared children mostly decreased. Based on the obtained results, it can be concluded that parentless children have a delayed speech perception development and the test of listening to the native and reversed speech stimuli may be helpful in discerning the individually determined EEG mu rhythm reactivity which is reflective of children's rearing condition and life experience.

Keywords: speech perception, EEG mu rhythm, children, orphans