Вестник Томского государственного университета. Биология. 2020. № 51. С. 86–104

ФИЗИОЛОГИЯ

УДК 612.821
doi: 10.17223/19988591/51/5

А.А. Михайлова[1], В.В. Белалов[1], Ю.О. Дягилева[1], В.Б. Павленко[1]

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

Особенности изменений тета-ритма ЭЭГ при восприятии речи у детей-сирот раннего возраста

Исследование выполнено в рамках поддержанного федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского» гранта № ВГ12/2018.

Исследованы особенности реакций электроэнцефалограммы (ЭЭГ) в индивидуально определенном диапазоне тета-ритма при восприятии речи у детей, воспитывающихся в разных социальных условиях: 54 ребенка, проживающих в детском доме, и 53 – в биологических семьях. ЭЭГ регистрировали в 12 отведениях в состоянии относительного покоя (фоновая запись) и при прослушивании естественного и реверсированного речевых сигналов. Обнаружено, что при восприятии естественной речи статистически значимые реакции у детей, воспитывающихся в семьях, представлены как ростом (в 4 отведениях), так и падением (в 4 отведениях) мощности тета-ритма. У детей-сирот данная экспериментальная ситуация вызывала увеличение мощности лишь в височном отведении правого полушария (Т6). При прослушивании реверсированного сигнала выявлена большая выраженность увеличения мощности тета-ритма по сравнению с ситуацией восприятия естественного речевого сигнала у детей обеих групп. В ответ на такой сигнал увеличение мощности тета-ритма обнаружено у детей, воспитывающихся в семьях, в 8 отведениях, а у детей-сирот – в 4. Выявлены отличия в степени выраженности и направленности реакций исследуемого ритма ЭЭГ при восприятии речевых сигналов у детей, воспитывающихся в разных социальных условиях. Выдвинуто предположение, что меньшая реактивность тета-ритма у детей-сирот указывает на сниженные способности к вовлечению когнитивных ресурсов в процесс восприятия речи, что обусловлено отсутствием достаточного объема социальных взаимодействий со «значимыми взрослыми».

Ключевые слова: *восприятие речи; ЭЭГ; тета-ритм; естественная речь; реверсированная речь; Дом ребёнка*.

Введение

В настоящее время в Российской Федерации, несмотря на ежегодное снижение, остается высоким число детей-сирот, проживающих в детских домах.

Известно, что у детей-сирот могут наблюдаться отклонения в социально-эмоциональном и когнитивном развитии [1–3]. Причинами таких нарушений чаще всего считают материнскую депривацию, отсутствие «значимого взрослого», ранние стрессы, обедненную сенсорную среду и специфику воспитания в группах в специализированных учреждениях [4–6]. Перечисленные негативные факторы при воздействии в ранние критические и сенситивные периоды постнатального созревания мозга повышают риск возникновения нервно-психических расстройств и задержек в развитии, которые могут сохраняться и в более старшем возрасте [7]. Установлено, что пребывание детей-сирот в детском доме в первые годы жизни, несмотря на последующее воспитание в благополучных приемных семьях, приводит к изменениям в структуре и функционировании мозга во взрослом возрасте [8, 9].

Первые годы жизни являются критическим периодом для развития когнитивных функций, в частности, освоения речи [10]. Процесс осознания смысла целостного речевого сообщения является ключевым элементом речевой деятельности ребенка [11]. При этом способность к пониманию предложений проходит в онтогенезе ряд ключевых этапов. Считают [12], что для обучения восприятию фонем родного языка критическим является первый год жизни ребенка, тогда как обучение восприятию предложения (освоение синтаксиса) происходит в возрастном периоде от 18 до 36 месяцев. Бурное развитие словарного запаса начинается в 18-месячном возрасте. Благодаря этому в возрасте двух лет дети уже воспринимают целостный смысл простых высказываний. Предложения несут как синтаксическую (роль слов в предложении и их порядок), так и семантическую (смысловую) составляющую. Для восприятия и осознания смысла предложения необходима одновременная обработка речевого сигнала как на уровне фонем, так и на уровне отдельных слов, а также уточнение значения этих слов в их взаимодействии и в соответствии с занимаемым местом в предложении [13]. В данном процессе участвуют обширные регионы коры, включая ассоциативные, моторные и сенсомоторные области обоих полушарий [14]. Ранее нами [15] и другими исследователями [1, 16] с применением различных тестовых методик выявлены задержки в развитии речи у детей-сирот. Можно предположить, что воздействие ранней психосоциальной депривации в условиях воспитания в специализированных учреждениях нарушает типичное созревание областей мозга, связанных с речевыми функциями.

Объективными методами оценки уровня восприятия речи у детей в раннем возрасте являются как тестовые методики, так и анализ ритмов осцилляторной активности мозга, регистрируемой в виде магнито- и электроэнцефалограмм (ЭЭГ) [17–20], а также компонентов вызванных ЭЭГ-потенциалов [21–23]. Анализ особенностей вызванных потенциалов в ответ на предъявление сочетаний слогов у детей весьма информативен, так как обеспечивает раннюю диагностику речевого развития и позволяет предсказать успешность будущего освоения речи ребенком [12, 24]. Однако для регистрации

таких потенциалов путем усреднения отрезков ЭЭГ требуется многократное предъявление одних и тех же по возможности кратких стимулов. В связи с этим при изучении восприятия речевых сообщений, состоящих из отдельных слов или предложений, более информативным является анализ текущей ЭЭГ [18–20, 25, 26]. Согласно C. Krause, предъявление естественной (нативной) речи и записи речи в реверсном режиме (речеподобный сигнал, лишенный семантики языка) позволяет оценить особенности реакций ЭЭГ в ответ на смысловые сообщения [27]. Ранее нами анализировались особенности электрической активности мозга при восприятии естественной и реверсированной речи у детей раннего возраста [15]. В данной работе было показано, что восприятие естественной речи сопровождается десинхронизацией альфа-, и синхронизацией тета-, бета- и гамма-ритмов, а прослушивание обратной речи вызывает у участников исследования преимущественно десинхронизацию всех ритмов ЭЭГ. При этом у детей, воспитывающихся в детском доме, количество отведений со значимым увеличением гамма-ритма при прослушивании естественной речи, относительно ситуации восприятия реверсированного речевого сигнала, было существенно меньше по сравнению с детьми, воспитывающимися в семьях. Однако нами не учитывались индивидуальные частотные диапазоны ритмов ЭЭГ, которые, согласно современным данным, могут отличаться у каждого ребенка в зависимости от возраста и индивидуальных особенностей развития ЦНС (см. обзор [28]). С учетом этого в недавней работе нами анализировались особенности реакций ЭЭГ в индивидуально определенном частотном диапазоне мю-ритма при восприятии прямой и реверсированной речи у детей-сирот раннего возраста [29]. Однако нейрофизиологические процессы, принимающие участие в восприятии речи, могут отражаться в изменениях мощности ЭЭГ в индивидуальном частотном диапазоне не только сенсомоторного, но и тета-ритма. Синхронизацию данного ритма преимущественно над ассоциативными областями коры (теменными, височными и фронтальными) связывают как с эмоциональными состояниями, так и с когнитивной нагрузкой. Е.В. Орехова и соавт. выявили, что у младенцев и дошкольников спектральная мощность тета-ритма ЭЭГ увеличивается в ситуации восприятия ребенком речи взрослого в затылочных, теменных и височных отведениях, а также при исследовании детьми игрушек преимущественно над задней височной корой [26]. Другими авторами при исследовании особенностей тета-ритма у детей четырех лет выявлена большая мощность ЭЭГ в частотном диапазоне 3–6 Гц над фронтомедиальной областью неокортекса во время выполнения различных когнитивных задач. При этом повышение мощности тета-ритма наблюдалось в лобно-височных отведениях левого полушария во время выполнения речевой задачи (называние цвета) по сравнению с двигательной задачей (имитация движения) [30].

Исходя из вышеизложенного, можно предположить, что условия психосоциальной депривации, в которых находятся дети-сироты, могут оказывать

влияние на формирование и функционирование нейрофизиологических механизмов восприятия речи. В свою очередь, это может отражаться в изменениях мощности ЭЭГ при восприятии речевого сообщения в индивидуально определенном частотном диапазоне тета-ритма.

Цель данного исследования – анализ реактивности мощности ЭЭГ в индивидуальном частотном диапазоне тета-ритма при восприятии естественной и реверсированной речи у детей-сирот раннего возраста, воспитывающихся в детском доме, по сравнению с их сверстниками, воспитывающимися в своих биологических семьях.

Материалы и методики исследования

Всего в исследовании приняли участие 107 детей в возрасте от 24 до 42 месяцев. Основная группа включала 54 ребенка (19 девочек и 35 мальчиков), которые воспитывались в Доме ребенка г. Симферополя (группа ДР). Контрольную группу составили 53 ребенка (21 девочка и 32 мальчика), которые воспитывались в родных биологических семьях (группа БС). Средний возраст в обеих группах составил 33,5 ± 0,5 месяца в группе ДР и 31,9 ± 0,7 – в группе БС (здесь и далее приводятся средние значения и стандартная ошибка среднего ($M \pm m_M$)). Статистически значимые различия по этому показателю отсутствовали ($p > 0,05$). Использованы следующие критерии включения детей в группы: масса тела при рождении не менее 2,5 кг, отсутствие генетических заболеваний, заболеваний ЦНС, зарегистрированного фетального алкогольного синдрома, а также очевидное преобладание правой руки при манипуляциях с предметами и при рисовании.

Проведение исследований одобрено этическим комитетом Крымского федерального университета (КФУ) им. В.И. Вернадского. Исследование детей-сирот проводили на основании официального разрешения руководителя Дома ребенка и в присутствии психолога данного учреждения. Родители детей из группы БС дали письменное согласие на участие ребенка в экспериментах.

ЭЭГ регистрировали с использованием электроэнцефалографа «*TREDEX*» (г. Харьков) во фронтальных (F3, F4, F7, F8), центральных (C3, C4), височных (T3, T4, T5, T6) и теменных (P3, P4) отведениях. В качестве референтного использовался виртуальный электрод, сигнал которого был равен усредненному по всем отведениям потенциалу. Запись проводилась в трех экспериментальных ситуациях:

1) в спокойном состоянии при открытых глазах (фоновая ЭЭГ, продолжительность записи 20–30 с);

2) при прослушивании естественной речи (стихотворение, персонажами которого являлись животные, продолжительность 20 с, женский голос);

3) при прослушивании записи той же речи, реверсированной с помощью компьютерной программы «*Wave Editor*» (реверсированная речь).

Чередование второй и третьей ситуаций определялось случайным образом.

Одновременно с записью ЭЭГ велась аудио- и видеорегистрация. Участки записей ЭЭГ, содержащие артефакты с амплитудой более 250 мкВ и помехи, связанные с активацией ЭМГ мышц лба, а также сопровождающиеся многочисленными движениями глаз (заметными на видеозаписи), исключались из обработки. Безартефактные отрезки ЭЭГ разбивались на эпохи длительностью по 5 с.

Верхнюю границу тета-ритма выявляли индивидуально для каждого ребенка в тесте «Восприятие и повторение действия» [31] (в данной статье результаты этого теста не анализировались). При наблюдении и выполнении ребенком действий частотный диапазон, в котором наблюдалось снижение амплитуды в отведении C3, принимался за индивидуальный диапазон мю-ритма (подробнее см.: [29]), а значение частоты, ниже которой наблюдалось повышение амплитуды в данном отведении, – за верхнюю границу тета-ритма. Такой способ позволил выявить индивидуальные частотные диапазоны мю- и тета-ритмов ЭЭГ. В качестве нижней границы частотного диапазона тета-ритма на основании ЭЭГ-исследования детей младше семи лет [26] принималось значение 3,8 Гц. Для частотной полосы тета-ритма рассчитывалась средняя спектральная плотность мощности (СПМ), которая подвергалась логарифмированию для нормализации распределения (lg мкВ^2/Гц).

Для сравнения реактивности мощности ЭЭГ в диапазоне тета-ритма у детей обеих групп рассчитывали индекс реактивности (ИР) в каждом из исследуемых отведений по формулам: ИР = 100% × [lgСПМ(речь) – lgСПМ(фон)] / lgСПМ(фон), где lgСПМ(речь) – логарифм средней мощности тета-ритма ЭЭГ при восприятии естественной или реверсированной речи, lgСПМ(фон) – логарифм средней мощности тета-ритма ЭЭГ, записанной в ситуации относительного покоя. Положительные значения ИР свидетельствовали об увеличении СПМ тета-ритма ЭЭГ по сравнению с фоном, а отрицательные – о снижении.

Особенности СПМ тета-ритма ЭЭГ при прослушивании естественной или реверсированной речи по сравнению с фоном у детей обеих групп выявляли с использованием дисперсионного анализа с повторными измерениями с учетом внутригрупповых факторов СТИМУЛ (2 уровня: естественная речь и фон, реверсированная речь и фон) и ОТВЕДЕНИЕ (12 отведений), а также учитывалось влияние межгруппового фактора ПОЛ (2 уровня). Межгрупповые различия в ИР анализировались с учетом влияния межгрупповых факторов СЕМЬЯ / ДЕТДОМ (2 уровня: дети БС и ДР) и ПОЛ, а также внутригруппового фактора ОТВЕДЕНИЕ. Для расчета статистической значимости изменений тета-ритма в каждом отведении использовался метод априорных контрастов. Затем проводилась коррекция на множественные сравнения с использованием поправки Бонферрони на количество отведений ЭЭГ.

Работа выполнена на оборудовании ЦКП научным оборудованием «Экспериментальная физиология и биофизика» (Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь, Россия). Остальные особенности методики описаны ранее [29].

Результаты исследования

Особенности частоты тета-ритма ЭЭГ. Установлено, что средние значения верхней границы тета-ритма ЭЭГ у детей группы БС составили 6,4 ± 0,1 Гц, а у детей ДР – 6,3 ± 0,1 Гц. Данный показатель не отличался статистически значимо (p = 0,62) у детей исследуемых групп. Для всей совокупности испытуемых минимальные и максимальные показатели частоты верхней границы тета-ритма составили 5,0 и 7,6 Гц соответственно.

Изменение тета-ритма ЭЭГ при прослушивании естественной и реверсированной речи. Дисперсионный анализ позволил выявить характерные изменения мощности тета-ритма ЭЭГ при прослушивании естественной и реверсированной речи по сравнению с фоновой записью у детей БС и ДР (табл. 1). Из таблицы видно, что у детей обеих групп на реакции в диапазоне тета-ритма при восприятии естественной речи статистически значимо влияли факторы ОТВЕДЕНИЕ ($p < 0,001$) и взаимодействие факторов ОТВЕДЕНИЕ × СТИМУЛ ($p < 0,001$). Фактор СТИМУЛ оказывал статистически значимый ($p = 0,02$) эффект лишь для группы ДР. При восприятии реверсированной речи влияние указанного фактора достигало статистической значимости ($p < 0,001$) для изменений мощности тета-ритма у детей обеих групп.

Таблица 1 [Table 1]

Результаты дисперсионного анализа мощности тета-ритма ЭЭГ при прослушивании естественной и реверсированной речи у детей из биологических семей и Дома ребёнка
[ANOVA results for the EEG theta rhythm powers in children reared in biological families and the orphanage, when listening to normal and reversed speech]

Сравниваемые ситуации [Compared conditions]	СТИМУЛ [STIMULUS]		ОТВЕДЕНИЕ [LOCUS]		СТИМУЛ × ОТВЕДЕНИЕ [STIMULUS × LOCUS]	
	Дети из биологических семей [Family-reared children]					
	$F_{1,51}$	*p*	$F_{11,561}$	*p*	$F_{11,561}$	*p*
ЕР и фон [NS vs baseline]	0,10	0,750	19,66	< 0,001	19,69	< 0,001
РР и фон [RS vs baseline]	65,17	< 0,001	24,60	< 0,001	11,80	< 0,001
Дети из Дома ребёнка [Institution-reared children]						
	$F_{1,52}$	*p*	$F_{11,572}$	*p*	$F_{11,572}$	*p*
ЕР и фон [NS vs baseline]	5,79	0,020	46,79	< 0,001	9,50	< 0,001
РР и фон [RS vs baseline]	26,59	< 0,001	66,20	< 0,001	3,30	< 0,001

Примечание. Ситуации: фон – исходная запись; ЕР – естественная речь; РР – реверсированная речь; ОТВЕДЕНИЕ – 12 отведений ЭЭГ.
[*Note.* Conditions: baseline - Baseline record; NS - Normal speech; RS - Reversed speech; LOCUS - 12 EEG sites].

Для оценки статистической значимости изменений мощности тета-ритма при действии речевых стимулов по сравнению с ее значениями в условиях покоя в каждом из 12 отведений ЭЭГ рассчитывались априорные контра-

сты на основе F-статистики (рис. 1). Мощность тета-ритма у детей группы БС в ответ на естественную речь изменялась разнонаправленно – росла в четырех и падала также в четырех отведениях левого и правого полушарий. Предъявление реверсированной речи приводило к статистически значимому росту тета-активности в восьми отведениях обоих полушарий. У детей ДР изменения тета-ритма менее выражены. Предъявление естественной речи приводило к статистически значимому изменению данного ритма в виде прироста СПМ лишь в задневисочном отведении правого полушария. Восприятие реверсированной речи сопровождалось ростом мощности тета-ритма в четырех отведениях обоих полушарий. Статистически значимых эффектов фактора ПОЛ не выявлено.

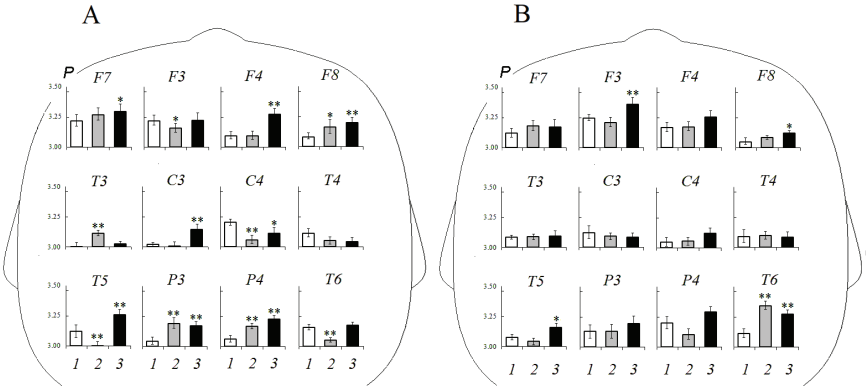

Рис. 1. Мощность ЭЭГ (P, lg мкВ²/Гц; $M \pm m_M$) в диапазонах тета-ритма у детей из биологических семей (*A*) и детей-сирот, воспитывающихся в детском доме (*B*), в ситуациях относительного покоя (фон) и при восприятии речевых стимулов. Цифрами указаны экспериментальные ситуации, в которых происходила регистрация ЭЭГ: *1* – фон, *2* – восприятие естественной речи, *3* – восприятие реверсированной речи (белые, серые и черные столбцы соответственно). Звездочками отмечены случаи статистически значимых различий по сравнению с фоном, выявленные методом априорных контрастов (**p* < 0,05; ***p* < 0,01)

[**Fig. 1.** Theta rhythm powers (P, lg μV2/Hz; $M \pm m_M$) in family-reared (*A*) and institution-reared (*B*) children under conditions of a wakeful rest (baseline) and when attending to speech stimuli. Numbers indicate certain experimental conditions: 1 - Baseline, 2 - Attending to normal speech, 3 - Attending to reversed speech (white, gray and black columns, respectively). Significant differences (assessed by a priori contrasts) relative to baseline are marked by asterisks (**p* < 0.05; ***p* < 0.01)]

Особенности ИР тета-ритма ЭЭГ у детей-сирот по сравнению с детьми из семей. Для выявления различий в изменениях СПМ тета-ритма ЭЭГ при восприятии естественной и реверсированной речи по отношению к фоновой активности у детей из БС, по сравнению с детьми из ДР, проводился анализ показателей ИР (табл. 2). На ИР тета-ритма статистически значимо влияли фактор ОТВЕДЕНИЕ ($p < 0{,}001$) и взаимодействие факторов ОТВЕДЕНИЕ × СЕМЬЯ / ДЕТДОМ ($p < 0{,}001$).

Таблица 2 [Table 2]

Результаты дисперсионного анализа индексов реактивности тета-ритма ЭЭГ при восприятии естественной и реверсированной речи у детей из биологических семей и Дома ребёнка в зависимости от отведения

[ANOVA results for the EEG theta rhythm reactivity indices in children reared in biological families and the orphanage, when listening to normal and reversed speech, depending on EEG loci]

СЕМЬЯ / ДЕТДОМ [FAMILY / ORPHANAGE]		ОТВЕДЕНИЕ [LOCUS]		СЕМЬЯ / ДЕТДОМ × ОТВЕДЕНИЕ [FAMILY / ORPHANAGE × LOCUS]	
При восприятии естественной речи [Attending to normal speech]					
$F_{1, 105}$	*p*	$F_{11, 1155}$	*p*	$F_{11, 1155}$	p
3,436	0,066	12,716	< 0,001	17,903	< 0,001
При восприятии реверсированной речи [Attending to reversed speech]					
$F_{1, 105}$	*p*	$F_{11, 1155}$	*p*	$F_{11, 1155}$	*p*
0,0001	0,990	7,804	< 0,001	7,388	< 0,001

Примечание. СЕМЬЯ/ДЕТДОМ – принадлежность детей к группам БС или ДР, ОТВЕДЕНИЕ – 12 отведений ЭЭГ.

[*Note.* FAMILY/ORPHANAGE - Groups of children: family-reared vs institution-reared; LOCUS - 12 EEG sites].

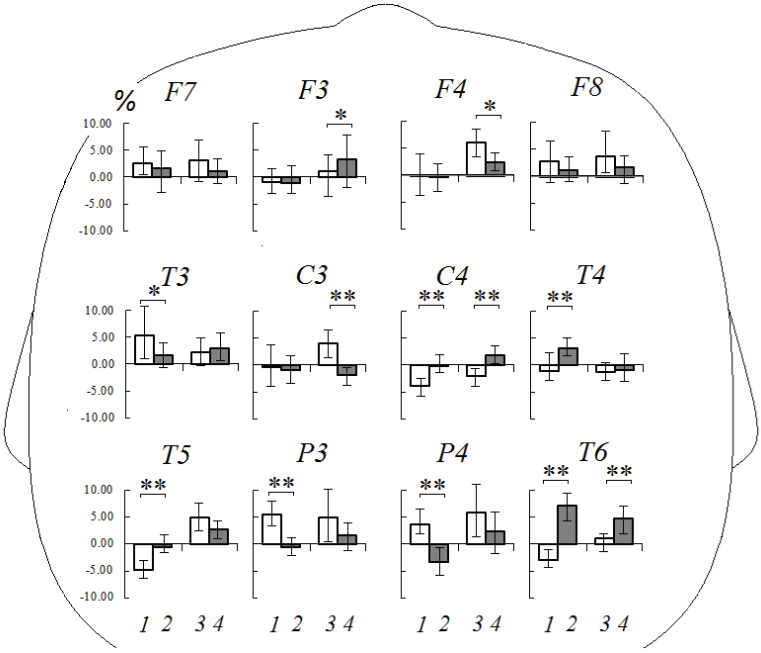

Рис. 2. Индексы реактивности (ИР; $M \pm m_M$) ритмов ЭЭГ в частотном диапазоне тета-ритма при восприятии естественной (*1*, *2*) и реверсированной (*3*, *4*) речи у детей из биологических семей (белые столбцы) и Дома ребенка (темные столбцы). Звездочками отмечены случаи статистически значимых межгрупповых различий, выявленные методом априорных контрастов (**p* < 0,05; ***p* < 0,01)

[**Fig. 2.** EEG theta rhythm power reactivity indices (RI; $M \pm m_M$) when attending to the normal (1, 2) and reversed (3, 4) speech stimuli in children reared in biological families (white columns) and in the orphanage institution (dark columns). Significant inter-group differences assessed by a priori contrasts are marked with asterisks (**p* < 0.05; ***p* < 0.01)]

Использование метода априорных контрастов выявило отведения, в которых величина ИР у детей обследованных групп статистически значимо отличалась (рис. 2).

В диапазоне тета-ритма статистически значимые различия между группами в ИР при восприятии естественной речи выявлены в височных и теменных отделах обоих полушарий, а также в центральном отведении правого полушария. При восприятии реверсированного сигнала также обнаружены статистически значимые различия, локализованные в основном во фронтальных и центральных отведениях. В случае статистически значимых межгрупповых различий ИР при восприятии естественной и реверсированной речи имели преимущественно противоположную направленность.

Обсуждение результатов исследования

При анализе показателей частоты верхней границы тета-ритма определена достаточно высокая вариативность данного показателя у детей в раннем возрасте. Эти данные подтверждают результаты предыдущих исследований о необходимости выделения индивидуальных частотных диапазонов ритмов ЭЭГ у детей [29, 32].

При восприятии естественной речи обнаружены статистически значимые, но разнонаправленные изменения тета-ритма у детей группы БС. Его мощность росла во фронтальном отведении справа, передневисочном отведении слева и теменных отведениях обоих полушарий, падала – во фронтальном отведении левого полушария, в задневисочном отведении того же полушария, в центральном и задневисочном отведениях правого полушария (см. рис. 1, *А*). Рост мощности тета-ритма при слуховом восприятии был выявлен другими авторами у младенцев в возрасте до года и дошкольников четырех-семи лет [26], детей 10–12 [19, 20] и 13 лет [27], а также у взрослых испытуемых при визуальном предъявлении вербальных стимулов [33–37]. Изменения мощности данного ритма M. Bastiaansen и соавт. [33] связывают с двумя группами когнитивных операций при восприятии речи: поиске в ресурсах памяти фонологических, синтаксических и семантических свойств воспринимаемых слов, а также интеграции слов в целостное сообщение. Как отмечалось, у детей группы БС выявлен рост СПМ тета-ритма в передневисочной области левого полушария. Рядом авторов показано, что у взрослых испытуемых при восприятии речи также наблюдается рост мощности тета-ритма в данном регионе, причем именно здесь он достигает наибольших значений, что связывают с активацией в указанной корковой области процессов лексического поиска [33, 34, 38]. Также нами выявлен рост мощности тета-ритма в теменных отведениях. Усиление тета-ритма в данной области при восприятии речи ранее обнаружено [26] у детей четырех-семи лет. Поскольку теменной регион неокортекса имеет тесные связи с задней поясной извилиной, входящей в состав лимбической системы, авторы указанного ис-

следования связывают такие изменения ЭЭГ дошкольников с восприятием эмоционально значимой информации.

Выявленное в группе БС падение мощности тета-ритма во фронтальном и задневисочном отведениях левого полушария, а также центральном и задневисочном отведениях правого полушария отличается от результатов, которые были получены ранее при анализе тета-ритма без учета индивидуального частотного диапазона при прослушивании детьми естественной речи [15]. В обзоре N.A. Herweg и соавт. [39] обсуждается роль как увеличения, так и снижения мощности тета-ритма в реализации процессов эпизодической памяти и пространственной ориентации. При этом, с одной стороны, рост мощности тета-ритма связывают с формированием и извлечением из памяти эпизодических воспоминаний. С другой стороны, указывают, что снижение мощности тета-ритма в определенных регионах неокортекса и повышение мощности в высокочастотном диапазоне ЭЭГ отражают процессы внимания, так как эти изменения положительно связаны как с успешностью запоминания и воспроизведения информации, так и с аудиовизуальным восприятием, движениями рук и решением арифметических задач. Предполагают, что в процессе обработки новой информации синхронизируется лишь часть гиппокампально-корковых петель обратной связи, поскольку тета-активность возникает избирательно только в некоторых областях коры, где происходит кодирование новой информации или извлечение недавней информации из памяти [40].

Таким образом, вероятно, восприятие речи у типично развивающихся детей связано как с процессами поиска в памяти фонологических, синтаксических и семантических свойств воспринимаемых слов и их интеграции в целостное сообщение, так и с процессами активации внимания, что сопровождается увеличением и снижением мощности тета-ритма ЭЭГ в различных областях коры мозга.

Нами впервые обнаружено, что по сравнению с естественной речью предъявление реверсированного сигнала вызывает более выраженное и широко представленное в разных регионах коры усиление тета-активности. Поскольку чем сложнее воспринимаемое сообщение, тем больше у детей увеличивается мощность тета-ритма [20, 27], логично предположить, что обнаруженный нами феномен связан с усилением нагрузки на ресурсы памяти при попытках опознать в реверсированном звуковом сигнале знакомые слова.

В целом при восприятии как естественной речи, так и реверсированного сигнала у детей, воспитывающихся в детском доме, статистически значимые изменения мощности тета-ритма выявляются в меньшем числе отведений, чем у детей группы БС. У детей группы ДР при восприятии естественной речи выявлялось статистически значимое увеличение СПМ лишь в одном отведении, а при восприятии реверсированного сигнала – только в четырех (см. рис. 1, *В*). Сравнение ИР тета-ритма при восприятии естественной и реверсированной речи у детей групп БС по сравнению с ДР также выявило большое количество статистически значимых различий данного показателя

в разных отведениях (см. рис. 2). Анализируя указанные различия и учитывая связь тета-осцилляций с процессами памяти [36], можно заключить, что представительство памятных следов речи в разных регионах неокортекса у детей указанных групп значительно отличается благодаря различному опыту их формирования при воспитании в семье и Доме ребенка. Кроме того, меньшая реактивность тета-ритма у воспитанников детского дома позволяет выдвинуть следующее предположение: при опознании или попытках опознания отдельных слов, смысла и эмоциональной значимости предложений дети группы ДР вовлекают существенно меньшие когнитивные ресурсы, чем дети БС. Вероятно, это отражается на уровне развития речи у таких детей. Ранее нами было установлено, что у детей-сирот, воспитывающихся в детском доме снижен уровень понимания и генерации речи [15, 29]. Мы считаем, что пониженная способность к вовлечению когнитивных ресурсов в указанных ситуациях и как следствие сниженный уровень развития речи обусловлены отсутствием у детей-сирот достаточного объема тесных социальных взаимодействий со взрослыми. В биологических семьях при активном освоении новых слов и словосочетаний дети получают позитивное эмоциональное подкрепление от родителей [21]. К сожалению, в домах ребенка на одного воспитателя, как правило, приходится слишком большое количество детей (до 10 и более). Воспитанникам редко приходится общаться с взрослым один на один, труднее получить эмоциональную поддержку, что снижает мотивацию к обучению. В современных условиях количество детей-сирот в детских домах медленно, но верно снижается, что, безусловно, является отражением благоприятных изменений в обществе. Однако необходимо отказаться от практики параллельного уменьшения числа воспитателей. В домах ребенка должно быть такое количество педагогических сотрудников, которое позволит уделить достаточно внимания и эмоционального тепла каждому ребенку. Конечно, даже в этом случае воспитатель не заменит полноценную семью, но вероятность того, что воспитанник получит поддержку «значимого взрослого», без которой невозможно полноценное развитие психики, будет намного выше.

Выводы

1. У детей, воспитывающихся в семьях, прослушивание естественной речи вызывает разнонаправленные изменения мощности тета-ритма ЭЭГ во фронтальных, центральных, височных и теменных отведениях. У детей, воспитывающихся в Доме ребенка, восприятие естественной речи сопровождалось увеличением мощности тета-ритма лишь в задневисочном отведении правого полушария.

2. Предъявление реверсированного речевого сигнала сопровождается более выраженными изменениями мощности тета-ритма по сравнению с восприятием естественной речи у детей обеих групп.

3. У воспитанников Дома ребенка при восприятии естественной и реверсированной речи характер реакций тета-ритма существенно отличается по выраженности и направленности изменений по сравнению с детьми, воспитывающимися в биологических семьях, что может быть связано с отсутствием достаточного объема социальных взаимодействий со «значимыми взрослыми».

Литература

1. Колесникова М.А., Солодунова М.Ю., Жукова М.А., Аникина В.О. Особенности когнитивного развития детей в домах ребенка с различным социальным окружением // Вестник Санкт-Петербургского университета. Психология и педагогика. 2017. Т. 7, № 4. С. 365–381.
2. Авдеева Н.Н. Социально-эмоциональное развитие воспитанников дома ребенка в первые три года жизни // Проблема сиротства в современной России: психологический аспект / под ред. А.В. Махнач, А.М. Прихожан, Н.Н. Толстых. М. : Институт психологии РАН, 2015. С. 83–104.
3. The St. Petersburg-USA Orphanage Research Team. The effects of early social-emotional and relationship experience on the development of young orphanage children // Monographs of the Society for Research in Child Development. 2008. Vol. 73, № 3. PP. vii–295.
4. Barrero-Castillero A., Morton S.U., Nelson C.A., Smith V.C. Psychosocial stress and adversity: effects from the perinatal period to adulthood // Neoreviews. 2019. № 20 (12). PP. e686–e696.
5. Прихожан А.М., Толстых Н.Н. Психология сиротства (2-е изд.). СПб. : Питер, 2005. 400 с.
6. Малиновская Н.А., Моргун 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 // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. 2016. Т. 66, № 6. С. 643–668.
7. Nelson C.A. 3rd, Gabard-Durnam L.J. Early adversity and critical periods: neurodevelopmental consequences of violating the expectable environment // Trends Neurosci. 2020. № 43 (3). PP. 133–143.
8. Debnath R., Tang A., Zeanah C.H., Nelson C.A., Fox N.A. The long-term effects of institutional rearing, foster care intervention and disruptions in care on brain electrical activity in adolescence // Dev Sci. 2020. № 23 (1): e12872.
9. Mackes N.K., Golm D., Sarkar S., Kumsta R., Rutter M., Fairchild G., Mehta M.A., Sonuga-Barke E.J.S. ERA Young Adult Follow-up team. Early childhood deprivation is associated with alterations in adult brain structure despite subsequent environmental enrichment // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2020. № 117 (1). PP. 641–649.
10. Werker J.F., Hensch T.K. Critical periods in speech perception: new directions // Annu. Rev. Psychol. 2015. № 66. PP. 173–196.
11. Rossi S., Telkemeyer S., Wartenburger I., Obrig H. Shedding light on words and sentences: Near-infrared spectroscopy in language research // Brain Lang. 2012. № 121 (2). PP. 152–163.
12. Kuhl P.K. Brain mechanisms in early language acquisition // Neuron. 2010. № 67 (5). PP. 713–727.
13. Friederici A.D. Towards a neural basis of auditory sentence processing // Trends Cogn. Sci. 2002. Vol. 6. PP. 78–84.
14. Hickok G., Poeppel D. The cortical organization of speech processing // Nat. Rev. Neurosci. 2007. № 8 (5). PP. 393-402.

15. 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). PP. 79–87.
16. Windsor J., Glaze L.E., Koga S.F. Bucharest Early Intervention Project Core Group. Language acquisition with limited input: Romanian institution and foster care // J. Speech Lang. Hear. Res. 2007. № 50 (5). PP. 1365–1381.
17. Bell M.A., Cuevas K. Using EEG to study cognitive development: Issues and practices // J. Cogn. Dev. 2012. № 13 (3). PP. 281–294.
18. Antognini K., Daum M. Toddlers show sensorimotor activity during auditory verb processing // Neuropsychologia. 2019. Vol. 126. PP. 82–91.
19. 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. Vol. 19. PP. 19–30.
20. 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. Vol. 186. PP. 17–25.
21. 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). PP. 11238–11245.
22. Strotseva-Feinschmidt A., Cunitz K., Friederici A.D., Gunter T.C. Auditory discrimination between function words in children and adults: A mismatch negativity study // Front. psychol. 2015. Vol. 6 (1930). PP. 1–9.
23. Harwood V., Preston J., Grela B., Roy D., Harold O., Turcios J., Andrada K., Landi N. Electrophysiology of perception and processing of phonological information as indices of toddlers' language performance // J. Speech. Lang. Hear. Res. 2017. № 60 (4). PP. 999–1011.
24. Kuhl P.K., Conboy B.T., Coffey-Corina S., Padden D., Rivera-Gaxiola M., Nelson T. Phonetic learning as a pathway to language: new data and native language magnet theory expanded (NLM-e) // Philos. Trans. Royal Soc. B. 2008. № 363 (1493). PP. 979–1000.
25. Бушов Ю.В., Светлик М.В., Есипенко Е.А., Джафарова С.Р. Корковые взаимодействия и спектральные характеристики мю-ритма у человека при наблюдении, произнесении и мысленном воспроизведении неэмоционального слова // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2019. № 45. С. 91–105.
26. Orekhova E.V., Stroganova T.A., Posikera I.N., Elam M. EEG theta rhythm in infants and preschool children // Clin. Neurophysiol. 2006. № 117 (5). PP. 1047–1062.
27. Krause C., Porn B., Lang H., Laine M. Relative alpha desynchronization and synchronization during speech perception // Cogn. Brain Res. 1997.Vol. 5, № 4. PP. 295–299.
28. Hobson H.M., Bishop D.V.M. The interpretation of mu suppression as an index of mirror neuron activity: past, present and future // R. Soc. Open Sci. 2017. Vol. 4. PP. 1606–1662.
29. Белалов В.В., Базанова О.М., Михайлова А.А., Дягилева Ю.О., Павленко В.Б. Реактивность мю-ритма ЭЭГ при восприятии речи у детей в возрасте от двух до трех с половиной лет: влияние условий воспитания // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. 2020. Т. 70, № 2. С. 193–205.
30. Meyer M., Endedijk H.M., van Ede F., Hunnius S. Theta oscillations in 4-year-olds are sensitive to task engagement and task demands // Sci. Rep. 2019. № 9 (1): 6049.
31. 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). PP. 327–335.
32. Кайда А.И., Махин С.А., Эйсмонт Е.В., Павленко В.Б. Возрастная динамика и топография реактивности индивидуального мю-ритма ЭЭГ у детей 4–14 лет // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2019. № 45. С. 106–127.
33. Bastiaansen M., Hagoort P. Oscillatory neuronal dynamics during language comprehension // Prog. Brain. Res. 2006. Vol. 159. PP. 179–196.

34. Bastiaansen M.C., Linden M.V., Keurs M.T., Dijkstra T., Hagoort P. Theta responses are involved in lexical semantic retrieval during language processing // J. Cogn. Neurosci. 2005. Vol. 17, № 3. PP. 530–541.
35. Bastiaansen M.C., Magyari L., Hagoort P. Syntactic unification operations are reflected in oscillatory dynamics during on-line sentence comprehension // J. Cogn. Neurosci. 2010. № 22 (7). PP. 1333–1347.
36. Hart J.Jr., Maguire M.J., Motes M., Mudar R.A., Chiang H.S., Womack K.B., Kraut M.A. Semantic memory retrieval circuit: Role of pre-SMA, caudate, and thalamus // Brain Lang. 2013. № 126 (1). PP. 89–98.
37. Приводнова Е.Ю., Вольф Н.В. Топографические особенности тета-активности у молодых и пожилых испытуемых на начальном этапе решения креативной задачи: sLORETA-анализ // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. 2018. Т. 68, № 3. С. 304–312.
38. 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. PP. 43–54.
39. Herweg N.A., Solomon E.A., Kahana M.J. Theta oscillations in human memory // Trends Cogn. Sci. 2020. № 24 (3). PP. 208–227.
40. Новикова С.И. Ритмы ЭЭГ и когнитивные процессы [Электронный ресурс] // Психологическая наука и образование psyedu.ru. 2015. Т. 4, № 1. С. 91–108. URL: http://psyjournals.ru/jmfp/ 2015/n1/76178.shtml (дата обращения: 13.08.2020).

Поступила в редакцию 26.05.2020 г.; повторно 13.08.2020 г.;
принята 03.09.2020 г.; опубликована 25.09.2020 г.

Авторский коллектив:
Михайлова Анна Андреевна – канд. биол. наук, старший преподаватель кафедры физиологии человека и животных и биофизики, факультет биологии и химии, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского (Россия, 295007, г. Симферополь, проспект Академика Вернадского, 4).
ORCID iD: http://orcid.org/0000-0002-6386-9147
E-mail: anna.kulenkova@gmail.com
Белалов Вадим Вадимович – ассистент кафедры физиологии нормальной, международный медицинский факультет, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского (Россия, 295007, г. Симферополь, проспект Академика Вернадского, 4).
E-mail: vadym.bielalov@gmail.com
Дягилева Юлия Олеговна – канд. биол. наук, доцент кафедры общей психологии и психофизиологии, факультет психологии, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского (Россия, 295007, г. Симферополь, проспект Академика Вернадского, 4).
E-mail: yulia.dyagileva@gmail.com
Павленко Владимир Борисович – д-р биол. наук, профессор, зав. кафедрой общей психологии и психофизиологии, факультет психологии, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского (Россия, 295007, г. Симферополь, проспект Академика Вернадского, 4).
E-mail: vpav55@gmail.com

Для цитирования: Михайлова А.А., Белалов В.В., Дягилева Ю.О., Павленко В.Б. Особенности изменений тета-ритма ЭЭГ при восприятии речи у детей-сирот раннего возраста // Вестн. Том. гос. ун-та. Биология. 2020. № 51. С. 86–104. doi: 10.17223/19988591/51/5

For citation: Mikhailova AA, Belalov VV, Dyagileva YuO, Pavlenko VB. Patterns of the EEG theta rhythm modulations when attending to speech by orphans in early childhood. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology.* 2020;51:86-104. doi: 10.17223/19988591/51/5 In Russian, English Summary

Anna A. Mikhailova[1], Vadim V. Belalov[1], Yuliya O. Dyagileva[1], Vladimir B. Pavlenko[1]

V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation

Patterns of the EEG theta rhythm modulations when attending to speech by orphans in early childhood

The first years of a child's life are a critical period for the development of cognitive functions, in particular, a capacity for speech. Rearing conditions when applied to orphans may have an effect on neurophysiological mechanisms underlying their speech understanding, which is reflected in the EEG theta rhythm power changes. Individual theta rhythm frequency ranges are to be determined first, as they may vary for each child depending on age and individual characteristics of the central nervous system. The aim of our work was to analyze the EEG theta rhythm power reactivity in its individually determined frequency ranges when institutionally reared early-aged orphans attended to normal speech and speech-like signals, compared to their peers reared in their biological families.

The study involved 107 children aged 24 to 42 months. The main group included 54 children (19 girls and 35 boys) brought up in the orphanage. The control group comprised 53 children (21 girls and 32 boys) reared by their biological parents. The EEG was recorded at frontal (F3, F4, F7, F8), central (C3, C4), temporal (T3, T4, T5, T6) and parietal (P3, P4) sites in three experimental conditions: in a wakeful rest state with open eyes (baseline EEG, duration 20-30 s); when listening to a normal speech (a verse with animal-characters, duration 20 s, female voice); when listening to the same speech reversed with the help of the Wave Editor software application (reversed speech). The order of presentation for the second and third conditions was randomized. To determine individual theta rhythm frequency bands, we calculated means of spectral density power, first log-transformed to help normalize distributions. To compare the EEG theta rhythm power reactivity when children in both groups attended to the normal and reversed speech stimuli relative to the baseline condition, power reactivity indices were calculated for each of the EEG sites. Significance of changes in the EEG theta rhythm power when attending to the normal or reversed speech relative to the baseline, as well as inter-group differences in reactivity indices, were assessed with the repeated measures ANOVA.

The study revealed the patterns of the EEG theta rhythm power changes depending on experimental situations and EEG sites characteristic for children in both groups *(See Table 1*). We found ssignificant theta rhythm power changes yet of opposite directions for the control group under the normal speech condition. Theta rhythm power increased in the right frontal locus, the left anterior temporal locus and the parietal loci in both hemispheres, and decreased in the left frontal and posterior temporal loci and the right central and posterior loci (*See Fig. 1, a*). It seems plausible that the process of speech perception in typically developing children is associated both with searching one's memory for phonological, syntactic and semantic features in heard words and their integration into a holistic message, and with attentional processes, associated with increases and decreases in theta rhythm power in different areas of the cerebral cortex. Compared to normal speech, presentation of a reversed signal to the control group children caused a more pronounced and widespread theta activity growth in different cortex areas. This phenomenon is likely to be associated with an increase in load on memory when children tried to recognize familiar words in a reversed audio signal. In the group of institution-reared children, when they attended both to the normal and reversed speech stimuli, significant changes in theta rhythm power were found at fewer

sites compared to the control group children. When they attended to the normal speech, a significant power increase occurred only at the right posterior temporal site. When attending to the reversed signal, theta rhythm power increased in the frontal (F3, F8) and posterior temporal (T5, T6) loci (*See Fig. 1, b*). We found differences in theta rhythm reactivity indices under conditions of attending to the normal and reversed speech in children as depending on group and site factors (*See Table 2*). Theta rhythm reactivity when attending to the normal and reversed speech in the main group compared to the control revealed a large number of significant differences at different sites (*See Fig. 2*). It is suggested that when recognizing or trying to recognize individual words, meaning and emotional load in sentences, institutionally reared children tend to contribute considerably less cognitive resources than family-reared children. We consider the reduced orphans'capacity to engage cognitive resources in mentioned situations to be the result of insufficient experience of close social interactions with adults. Given the established association between theta oscillations and memory processes, we can assume that speech memory traces in children belonging to the studied groups are represented differently in various neocortex areas due to a different experience of their formation when raised in the family and the orphanage.

The paper contains 2 Tables, 2 Figures and 40 References.

Key words: speech perception; EEG; theta rhythm; normal speech; reversed speech; Orphanage.

Funding: The study was conducted within the framework of the grant supported by V.I. Vernadsky Crimean Federal University (Project No ВГ12/2018).

References

1. Kolesnikova MA, Solodunova MYu, Zhukova MA, Anikina VO. Cognitive development of young children in institutions with different social environment. *Vestnik of St Petersburg University. Psychology and Education*. 2017;7(4):365-381. doi: 10.21638/11701/spbu16.2017.405 In Russian, English Summary
2. Avdeeva N.N. Sotsial'no-emotsional'noe razvitie vospitannikov doma rebenka v pervye tri goda zhizni [Socio-emotional development of children in infant orphanages during the first three years of life]. In: *Problema sirotstva v sovremennoi Rossii: psikhologicheskii aspect* [*The problem of orphanhood in modern Russia: The psychological aspect*]. Mahnach AV, Prikhozhan AM and Tolstykh NN, editors. Moscow: Psychology Institute RAN Publ.; 2015. pp. 83-104. In Russian
3. *The St. Petersburg-USA Orphanage Research Team*. The effects of early social-emotional and relationship experience on the development of young orphanage children. *Monographs of the Society for Research in Child Development*. Liben LS, editor. 2008;73(3):vii-295. doi: 10.1111/j.1540-5834.2008.00483.x
4. Barrero-Castillero A, Morton SU, Nelson CA, Smith VC. Psychosocial stress and adversity: effects from the perinatal period to adulthood. *Neoreviews*. 2019;20(12):e686-e696. doi: 10.1542/neo.20-12-e686
5. Prikhozhan AM, Tolstykh NN. *Psikhologiia sirotstva*. 3-e izd [The psychology of orphanhood. 3rd ed.]. St. Petersburg: Piter Publ.; 2007. p. 416. In Russian
6. Malinovskaya NA, Salmina AB, Morgun AV, Lopatina OL, Taranushenko TE, Gasymly ED, Panina YuA, Volkova VV. Early life stress: implications for the brain development. *Zh Vyssh Nerv Deiat Im IP Pavlova = I.P. Pavlov Journal Of Higher Nervous Activity*. 2016;66 (6):643-668. doi: 10.7868/S0044467716050051 In Russian, English Summary
7. Nelson CA 3rd, Gabard-Durnam LJ. Early adversity and critical periods: neurodevelopmental consequences of violating the expectable environment. *Trends Neurosci*. 2020;43(3):133-143. doi: 10.1016/j.tins.2020.01.002

8. Debnath R, Tang A, Zeanah CH, Nelson CA, Fox NA. The long-term effects of institutional rearing, foster care intervention and disruptions in care on brain electrical activity in adolescence. *Dev Sci*. 2020;23(1):e12872. doi: 10.1111/desc.12872. Epub 2019 Jun 14
9. Mackes NK, Golm D, Sarkar S, Kumsta R, Rutter M, Fairchild G, Mehta MA, Sonuga-Barke EJS, ERA Young Adult Follow-up team. Early childhood deprivation is associated with alterations in adult brain structure despite subsequent environmental enrichment. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2020;117(1):641-649. doi: 10.1073/pnas.1911264116
10. Werker JF, Hensch TK. Critical periods in speech perception: New directions. *Annu. Rev. Psychol*. 2015;66:173-196. doi: 10.1146/annurev-psych-010814-015104
11. Rossi S, Telkemeyer S, Wartenburger I, Obrig H. Shedding light on words and sentences: Near-infrared spectroscopy in language research. *Brain Lang*. 2012:121(2):152-163. doi: 10.1016/j.bandl.2011.03.008
12. Kuhl PK. Brain mechanisms in early language acquisition. *Neuron*. 2010;67(5):713-727. doi: 10.1016/j.neuron.2010.08.038
13. Friederici AD. Towards a neural basis of auditory sentence processing. *Trends Cogn. Sci*. 2002;6:78-84. doi: 10.1016/s1364-6613(00)01839-8
14. Hickok G, Poeppel D. The cortical organization of speech processing. *Nat. Rev. Neurosci*. 2007;8(5):393-402. doi: 10.1038/nrn2113
15. 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. doi: 10.1007/s11062-014-9409-6
16. Windsor J, Glaze LE, Koga SF, Bucharest Early Intervention Project Core Group. Language acquisition with limited input: Romanian institution and foster care. *J. Speech Lang. Hear. Res*. 2007;50(5):1365-1381. doi: 10.1044/1092-4388(2007/095)
17. Bell MA, Cuevas K. Using EEG to study cognitive development: Issues and practices. *J. Cogn. Dev.* 2012;13(3):281-294. doi: 10.1080/15248372.2012.691143
18. Antognini K, Daum M. Toddlers show sensorimotor activity during auditory verb processing. *Neuropsychologia*. 2019;126:82-91. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2017.07.022
19. Schneider JM, Abel AD, Ogiela DA, Middleton AE, Maguire MJ. Developmental differences in beta and theta power during sentence processing. *Dev. Cogn. Neurosci*. 2016;19:19-30. doi: 10.1016/j.dcn.2016.01.001
20. Schneider JM, Abel AD, Ogiela DA, McCord C, Maguire MJ. Developmental differences in the neural oscillations underlying auditory sentence processing in children and adults. *Brain Lang*. 2018;186:17-25. doi: 10.1016/j.bandl.2018.09.002
21. Kuhl PK, Ramírez RR, Bosseler A, Lin J-F L, Imada T. Infants' brain responses to speech suggest Analysis by Synthesis. *PNAS*. 2014;111(31):11238-11245. doi: 10.1073/pnas.1410963111
22. Strotseva-Feinschmidt A, Cunitz K, Friederici AD, Gunter TC. Auditory discrimination between function words in children and adults: A mismatch negativity study. *Front. psychol*. 2015; 6(1930):1-9. doi: 10.3389/fpsyg.2015.01930
23. Harwood V, Preston J, Grela B, Roy D, Harold O, Turcios J, Andrada K, Landi N. Electrophysiology of perception and processing of phonological information as indices of toddlers' language performance. *J. Speech. Lang. Hear. Res*. 2017;60(4):999-1011. doi: 10.1044/2016_JSLHR-L-15-0437
24. Kuhl PK, Conboy BT, Coffey-Corina S, Padden D, Rivera-Gaxiola M, Nelson T. Phonetic learning as a pathway to language: new data and native language magnet theory expanded (NLM-e). *Philos. Trans. Royal Soc. B*. 2008;363(1493):979-1000. doi: 10.1098/rstb.2007.2154
25. Bushov YuV, Svetlik MV, Esipenko EA, Djafarova SR-K. Cortical interactions and spectral characteristics of the mu rhythm in humans during observation, pronunciation and mental pronunciation of non-emotional words. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo*

universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology. 2019;45:91-105. doi: 10.17223/19988591/45/5 In Russian, English Summary
26. Orekhova EV, Stroganova TA, Posikera IN, Elam M. EEG theta rhythm in infants and preschool children. *Clin. Neurophysiol*. 2006;117(5):1047-1062. doi: 10.1016/j.clinph.2005.12.027
27. Krause C, Porn B, Lang H, Laine M. Relative alpha desynchronization and synchronization during speech perception. *Cogn. Brain Res.* 1997;5(4):295-299. doi: 10.1016/s0926-6410(97)00009-8
28. Hobson HM, Bishop DVM. The interpretation of mu suppression as an index of mirror neuron activity: Past, present and future. *R. Soc. Open Sci.* 2017;4:1606-1662. doi: 10.1098/rsos.160662
29. Belalov VV, Bazanova OM, Mikhailova AA, Dyagileva YuO, Pavlenko VB. EEG mu rhythm reactivity during speech perception in children aged from two to three years: influence of rearing conditions. *Zh Vyssh Nerv Deiat Im IP Pavlova = I.P. Pavlov Journal of Higher Nervous Activity*. 2020;70(2):193-205. doi: 10.31857/S0044467720020045 In Russian, English Summary
30. Meyer M, Endedijk HM, van Ede F, Hunnius S. Theta oscillations in 4-year-olds are sensitive to task engagement and task demands. *Sci. Rep*. 2019;9(1):6049. doi: 10.1038/s41598-019-42615-x
31. 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. doi: 10.1111/j.1467-7687.2010.00979.x
32. Kaida AI, Makhin SA, Eismont EV, Pavlenko VB. Age dynamics and topography of an individual EEG mu rhythm reactivity in children aged 4-14 years. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology.* 2019;45:106-127. doi: 10.17223/19988591/45/6 In Russian, English Summary
33. Bastiaansen M, Hagoort P. Oscillatory neuronal dynamics during language comprehension. *Prog. Brain. Res*. 2006;159: 179-196. doi: 10.1016/S0079-6123(06)59012-0
34. Bastiaansen MC, Linden MV, Keurs MT, Dijkstra T, Hagoort P. Theta responses are involved in lexical semantic retrieval during language processing. *J. Cogn. Neurosci.* 2005;17(3):530-541. doi: 10.1162/0898929053279469
35. Bastiaansen MC, Magyari L, Hagoort P. Syntactic unification operations are reflected in oscillatory dynamics during on-line sentence comprehension. *J. Cogn. Neurosci*. 2010;22(7):1333-1347. doi: 10.1162/jocn.2009.21283
36. Hart JJr, Maguire MJ, Motes M, Mudar RA, Chiang HS, Womack KB, Kraut MA. Semantic memory retrieval circuit: Role of pre-SMA, caudate, and thalamus. *Brain Lang*. 2013;126(1):89-98. doi: 10.1016/j.bandl.2012.08.002
37. Privodnova EYu, Volf NV. Topographic features of theta activity in young and elderly subjects at the initial stage of creative problem solving: sLORETA analysis. *Zh Vyssh Nerv Deiat Im IP Pavlova = I.P. Pavlov Journal Of Higher Nervous Activity*. 2018;68(3):304-312. doi: 10.7868/S0044467718030048 In Russian, English Summary
38. Lam NH, 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. doi: 10.1016/j.neuroimage.2016.03.007
39. Herweg NA, Solomon EA, Kahana MJ. Theta oscillations in human memory. *Trends Cogn. Sci*. 2020;24(3):208-227. doi: 10.1016/j.tics.2019.12.006
40. Novikova SI. EEG rhythms and cognitive processes [Electronic resource]. *Sovremennaia zarubezhnaia psikhologiia = J Modern Foreign Psychology*. 2015;4(1):91-108. doi: https://psyjournals.ru/jmfp/index.shtml

Received 26 May 2020; Revised 13 August 2020;
Accepted 03 September 2020; Published 25 September 2020

Author info:
Mikhailova Anna A, Cand. Sci. (Biol.), Assist. Prof., Department of Human and Animal Physiology and Biophysics, Faculty of Biology and Chemistry, VI Vernadsky Crimean Federal University, 4 Vernadskogo Pr., Simferopol 295007, Russian Federation.
ORCID iD: http://orcid.org/0000-0002-6386-9147
E-mail: anna.kulenkova@gmail.com
Belalov Vadim V, Assistant, Department of Normal Physiology, International Faculty of Medicine, VI Vernadsky Crimean Federal University, 4 Vernadskogo Pr., Simferopol 295007, Russian Federation.
E-mail: vadym.bielalov@gmail.com
Dyagileva Yuliya O, Cand. Sci. (Biol.), Assoc. Prof., Department of General Psychology and Psychophysiology, Faculty of Psychology, VI Vernadsky Crimean Federal University, 4 Vernadskogo Pr., Simferopol 295007, Russian Federation.
E-mail: yulia.dyagileva@gmail.com
Pavlenko Vladimir B, Dr. Sci. (Biol.), Professor, Department of General Psychology and Psychophysiology, Faculty of Psychology, VI Vernadsky Crimean Federal University, 4 Vernadskogo Pr., Simferopol 295007, Russian Federation.
E-mail: vpav55@gmail.com