

**УДК 612.822**

## **РЕАКТИВНОСТЬ СЕНСОМОТОРНОГО БЕТА-РИТМА ЭЭГ У ДЕТЕЙ ЧЕТЫРЕХ-ЧЕТЫРНАДЦАТИ ЛЕТ**

*Галкин Д. В., Эйсмонт Е. В., Кайда А. И., Павленко В. Б.*

*Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия  
E-mail: vprav55@gmail.com*

У 38 мальчиков и девочек в возрасте от 4 до 14 лет изучали модуляции центрального бета-ритма ЭЭГ в ситуациях выполнения самостоятельных движений компьютерной мышью, восприятия и имитации движений других людей. Значимые корреляции между возрастом детей и модуляциями бета-ритма указывают на переход от синхронизации ритма к десинхронизации в возрастном периоде 8–11 лет. Возрастная динамика модуляций бета-ритма отражает становление и развитие моторной области коры, а также системы зеркальных нейронов данного коркового региона. Результаты исследования поддерживают предположение о том, что «зеркальные» свойства центральных областей коры проявляются в наибольшей степени, если у ребенка есть внутренняя репрезентация соответствующих действий, основанная на предыдущем опыте.

**Ключевые слова:** ЭЭГ, сенсомоторный ритм, роландический ритм, бета-ритм, дети, система зеркальных нейронов.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Электрические осцилляции, зарегистрированные над центральными регионами коры вблизи роландовой борозды и, как правило, десинхронизирующиеся во время движений, называют роландическими, или сенсомоторными ритмами ЭЭГ. Первоначально был описан арковидный, или мю-ритм. В дальнейшем стало очевидным, что характерная арковидная форма этого ритма представляет собой результат наложения по крайней мере двух частотных компонентов со спектральными пиками в полосе альфа- (8–13 Гц) и бета-ритмов (14–30 Гц). Исследования на основе магнитоэнцефалографии показали [1], что генераторы этих двух частотных компонентов пространственно разделены. Источники генерации ритма альфа-диапазона (мю-ритм) находятся, главным образом, в сенсомоторной, а источники бета-ритма – ростральнее, в моторной области коры. Как мю-, так и бета-ритм модулируется при выполнении движений, а также при обработке различного рода сенсомоторной информации. У взрослых испытуемых эти ритмы супрессируются при выполнении движений, наблюдении за ними и мысленном их представлении. Вслед за десинхронизацией, по окончании движения, следует «отдача» – усиление или синхронизация ритмов (см. обзор [2]).

В последние годы особенности реактивности сенсомоторных ритмов ЭЭГ привлекают внимание многочисленных исследователей. Стимулом к этому стало появление гипотезы, согласно которой изменения мощности сенсомоторных ритмов

при наблюдении за действиями других людей отражают динамику активности тех участков неокортекса, которые предположительно являются частью общей системы зеркальных нейронов [3, 4]. Зеркальные нейроны – это клетки ЦНС, активность которых возрастает как при выполнении человеком конкретных действий, так и при зрительном и слуховом восприятии аналогичных действий, выполняемых другим человеком. Считается, что благодаря системной работе этих нервных клеток человек имплицитно, без помощи сложных сознательных умозаключений, понимает и предвосхищает действия других лиц. Активность зеркальной системы мозга также лежит в основе восприятия эмоций других людей и способности к эмпатии и сопереживанию (см. обзор [5]).

Особый интерес в связи с этим вызывает изучение реактивности бета-ритма. Так, в исследовании Пьетро Аванзини с соавторами [6] выявлено, что при имитации движений человека-модели с кинематикой этих движений коррелировали изменения только высокочастотного компонента бета-ритма (18–25 Гц, бета2-ритм) испытуемых. Динамика мю-ритма таких корреляций не проявила. Следовательно, способность к точному отслеживанию тонких особенностей двигательных актов свойственна именно моторной, а не сенсомоторной области неокортекса. Как считают авторы исследования, система зеркальных нейронов мозга человека отличается от подобной системы обезьян именно способностью к отражению точной пространственно-временной организации движений. Кроме того, именно бета-ритм демонстрирует наибольшую супрессию при демонстрации человеку сцен, вызывающих эмпатические переживания по отношению к людям своей этнической группы [7]. Авторы последнего исследования считают, что мощность сенсомоторного бета-ритма более чувствительна к социальным контекстуальным переменным, чем мощность мю-ритма.

Как отмечено выше, сенсомоторный бета-ритм взрослых испытуемых подавляется и при выполнении движений, и при наблюдении за ними. Что касается изменений указанного ритма у детей, то данному феномену посвящены лишь немногочисленные работы, а результаты их весьма противоречивы. Исследования Ю. Лиао с соавторами [8] показали, что у детей возрастом трех-четырёх лет выполнение самостоятельных движений при совместном с мамой участии в компьютерной игре сопровождалось значимой супрессией в частотных диапазонах мю- (7–9 Гц) и бета- (16–18 Гц) ритмов, зарегистрированных в центральных отведениях обоих полушарий. Наблюдение за движениями мамы вызывало значимое подавление лишь мю-ритма, супрессия бета-ритма проявлялась, но не достигала уровня статистической значимости. В то же время регистрация магнитоэнцефалограммы Самюэлем Торпом с коллегами [9] в группах годовалых малышей, детей четырех лет и взрослых при протягивании руки к предмету и его захвате выявило десинхронизацию сенсомоторного бета-ритма только у испытуемых последней группы. Авторы предположили, что супрессия сенсомоторного бета-ритма ЭЭГ появляется с развитием связей между сенсомоторными и премоторными областями неокортекса. Такие связи имеются у взрослых, но они еще не развиты у четырехлетних детей. Систематического исследования реактивности сенсомоторного бета-ритма у детей старше четырех лет

при выполнении самостоятельных движений и наблюдении за движениями других людей, насколько нам известно, не проводилось. Ранее нами была изучена реактивность мю-ритма у детей младшего, дошкольного и школьного возраста, а также у взрослых при выполнении движений компьютерной мышью и в процессе восприятия таких действий, выполняемых другим человеком [10, 11]. Такие ситуации предположительно связаны с активацией зеркальных нейронов. Однако изменения бета-ритма при этом не анализировали. В связи с вышеизложенным целью настоящего исследования стало изучение особенностей модуляции центрального бета-ритма ЭЭГ в ситуациях выполнения самостоятельных движений, восприятия и имитации движений других людей у детей в возрасте от четырех до 14 лет. Проверялась гипотеза, что именно в этом возрастном интервале в указанных ситуациях появляются изменения мощности бета-ритма ЭЭГ, свидетельствующие о развитии системы «зеркальных» нейронов мозга человека.

### **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

В исследовании приняли участие 38 детей в возрасте от четырех до 14 лет (17 мальчиков и 21 девочка, средний возраст в месяцах  $110,6 \pm 5,9$  при крайних значениях 49–176, правши). Регистрация ЭЭГ производилась во время выполнения испытуемыми серии заданий, состоящих из этапов длительностью по 30 секунд. Испытуемый и экспериментатор располагались за стоящими рядом столами (экспериментатор справа), на каждом из которых находился монитор и компьютерный манипулятор – мышь. На мониторе перед испытуемым с помощью веб-камеры демонстрировался участок стола экспериментатора с расположенной на нем компьютерной мышью. Регистрировали паттерны ЭЭГ в рамках четырех экспериментальных ситуаций, используемых как тест на активацию системы «зеркальных» нейронов: (а) самостоятельные ритмичные движения мышью по кругу; (б) наблюдение за аналогичными движениями, выполняемыми экспериментатором; (в) имитация движений, выполняемых экспериментатором; (г) слуховое восприятие звуков, сопровождающих выполняемые экспериментатором движения компьютерным манипулятором (при закрытых глазах испытуемого). Следует указать, что характерные звуки движения мыши воспринимались испытуемыми в каждой из ситуаций, но лишь в последней из них слуховой сенсорный канал являлся единственным. Каждая экспериментальная ситуация предварялась просьбой закрыть глаза и расслабиться на протяжении полуминуты.

ЭЭГ записывали электроэнцефалографом «Нейрон-Спектр-3» (производство фирмы «Нейрософт») в 19 отведениях, размещенных по системе 10–20 с объединенными референтными электродами на мочках ушей. Частота дискретизации составляла 250 Гц. Сопротивление электродов при регистрации не превышало 5 кОм. Анализировали реактивность ЭЭГ в центральных отведениях С3, С4 и Сz. Особенности ЭЭГ-потенциалов, отведенных от других локусов, в настоящей статье не рассматриваются.

Для обработки данных использовалась компьютерная программа «EEG Mapping 3» (программист Е. Н. Зинченко). Отрезки ЭЭГ, соответствующие указанным выше экспериментальным ситуациям (периодам выполнения

соответствующих движений экспериментатора или ребенка), просматривали и отбирали для дальнейшей обработки. Отрезки с артефактами из обработки исключали. Спектры мощности ЭЭГ рассчитывали на основе алгоритма быстрых преобразований Фурье. В качестве эпох анализа использовались временные интервалы по 3 секунды с перекрытием 50 %. Среднюю мощность бета1- и бета2-ритмов ЭЭГ (в  $\text{мкВ}^2$ ) вычисляли для каждой экспериментальной ситуации на основании спектров мощности в диапазоне 14–20 и 21–30 Гц соответственно, используя ряд последовательных эпох анализа.

В качестве показателей реактивности бета-ритма использовали индексы синхронизации/десинхронизации (ИСД). Для ситуации «а» (выполнение самостоятельных движений) ИСД бета-ритмов рассчитывали по формуле:

$$\text{ИСД} = (\text{ВСД} - \text{ННМ}) / \text{ННМ}$$
, где ВСД – мощность бета-ритма ЭЭГ при выполнении самостоятельных движений, ННМ – мощность при наблюдении за видеоизображением неподвижной компьютерной мыши. Коэффициент выражали в процентах.

Чем больше была степень синхронизации бета-ритма при движении, тем большее значение принимал ИСД. При десинхронизации ритма (супрессии) индекс принимал отрицательное значение. Подобным образом рассчитывали ИСД для остальных трех ситуаций. При этом за исходное состояние в ситуациях «б» и «в» также принимали наблюдение за видеоизображением неподвижной компьютерной мыши; для ситуации «г» – расслабленное состояние с закрытыми глазами.

Применение критериев Колмогорова – Смирнова и Лиллиефорса показало, что распределение значений мощности поддиапазонов бета-ритма ЭЭГ не отличалось от нормального. В связи с этим различия между исходными параметрами ЭЭГ и их изменениями в вышеописанных экспериментальных ситуациях оценивали с помощью параметрического Т-критерия Стьюдента. Распределение значений ИСД в ряде случаев отличалось от нормального, поэтому анализ связей между данным показателем и возрастом ребенка проводили с помощью непараметрического критерия Спирмена.

Группа испытуемых детей была набрана с помощью объявлений, размещенных в детских садах и школах г. Симферополя. Родителям этих детей были предоставлены все необходимые сведения о процедуре исследования, и они дали согласие на бесплатное участие ребенка в данных экспериментах. Настоящее исследование соответствовало этическим принципам Хельсинкской декларации 1964 г.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ**

В четырех экспериментальных ситуациях у обследованных детей наблюдались характерные изменения мощности сенсомоторного бета-ритмов ЭЭГ по сравнению с исходным уровнем. На рис. 1 приведены диаграммы средних значений ИСД бета1- и бета2-ритмов (фрагменты А и Б соответственно).

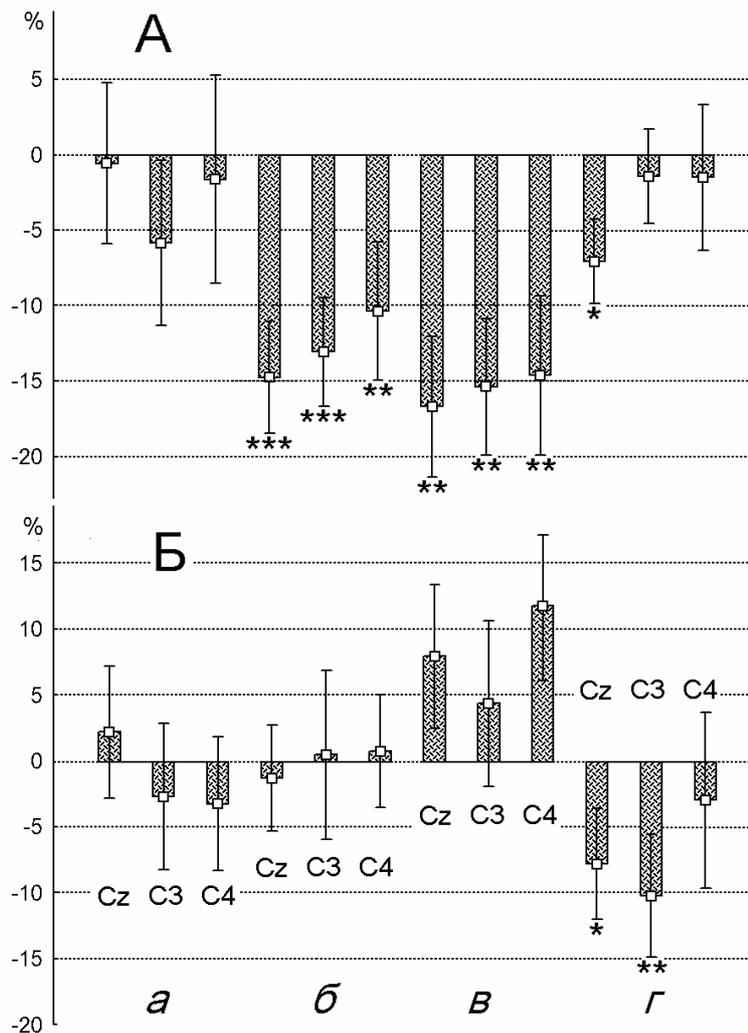


Рис. 1. Значения индексов синхронизации/десинхронизации (%) бета1- (фрагмент А) и бета2- (фрагмент Б) ритмов в отведениях Cz, C3, C4 при выполнении самостоятельных движений (а), наблюдении за движениями (б), их имитации (в) и слуховом восприятии (г) у 38 детей. Приведены средние значения и их ошибки. Значимые снижения мощности ритма по сравнению с исходным уровнем отмечены звездочками (\*– различия достоверны при  $P \leq 0,05$ ; \*\*– при  $P \leq 0,01$ ).

Как видно из рисунка, при самостоятельном выполнении движений детьми (ситуация «а») ИСД в основном принимали отрицательные значения. Это говорит о падении средней мощности бета1-ритма группы детей в процессе самостоятельного движения во всех исследованных отведениях и о супрессии бета2-ритма в локусах

С3 и С4. Однако эти изменения не достигали уровня значимости. При наблюдении за движением, выполняемым экспериментатором (ситуация «б»), ИСД бета1-ритма принимали значительно более отрицательные значения. Как показано на фрагменте А, мощность низкочастотного бета-ритма в такой ситуации снижалась на 10–15 %. Супрессия указанного ритма по сравнению с исходным уровнем была в высокой степени значимой ( $P \leq 0,01$  и  $P \leq 0,001$ , что отмечено на рисунке двумя и тремя звездочками, соответственно). Также значимая десинхронизация бета1-ритма проявлялась при имитации детьми движений экспериментатора (ситуация «в»). Как в ситуации «б», так и в ситуации «в» большее падение мощности бета1-ритма отмечается в левом полушарии (отведение С3) по сравнению с правым (С4). В ситуации «в» высокочастотный бета-ритм, в отличие от его низкочастотного диапазона, во всех трех отведениях демонстрировал тенденцию к синхронизации (фрагмент Б). При восприятии звуков, сопровождающих движение компьютерной мыши экспериментатора (ситуация «г»), в обоих поддиапазонах бета-ритма наблюдалась десинхронизация. Снижение мощности в поддиапазоне бета1-ритма достигало значимого уровня в отведении Cz ( $P \leq 0,05$ , отмечено одной звездочкой), а в поддиапазоне бета2-ритма – в отведениях Cz и С3.

Исследования, в которых применялась одновременная регистрация ЭЭГ и функциональная магнитно-резонансная томография [12], привели их авторов к выводу, что десинхронизация роландического бета-ритма является индикатором активации основной массы нейронов соответствующего участка неокортекса. Считают также [2], что синхронизация бета-ритма отражает активацию тормозящих ГАМК-эргических клеток и снижение уровня возбуждения данного коркового региона. Исходя из этих представлений и полученных нами данных по модуляции бета1-ритма, можно заключить, что для всей выборки испытуемых наибольшая активация центральных регионов неокортекса обоих полушарий развивалась при наблюдении за движениями человека-модели и при имитации его действий. Десинхронизация и бета1-, и бета2-ритмов в отведениях Cz и С3 при восприятии звуков, сопровождающих движения, свидетельствует о существенной активации дополнительной моторной области (ее активность отражается в Cz) и соматической коры левого полушария. В то же время средние значения ИСД всей группы детей при самостоятельном выполнении движений указывают на весьма умеренную, ограниченную активацию центральных регионов коры в ситуации «а». В связи с этим особый интерес представляет выявление связи ИСД с возрастом испытуемых.

Результаты корреляционного анализа представлены в табл. 1. Как видно из данных таблицы, ряд значений ИСД, вычисленных на основе модуляции мощности бета-ритмов в примененных экспериментальных ситуациях, демонстрирует значимые отрицательные корреляции с возрастом детей. Т. е. чем старше были дети, тем отрицательнее значение ИСД, что соответствует большей десинхронизации бета-ритма при выполнении заданий.

**Таблица 1.**

**Связь между возрастом ребенка и величиной индекса синхронизации/ десинхронизации бета-ритмов ЭЭГ у 38 детей в четырех экспериментальных ситуациях**

Экспериментальная ситуация	Локус	Бета1-ритм		Бета2- ритм	
		r	P	r	P
Самостоятельное выполнение движений	Cz	-0,307	0,075	<b>-0,363</b>	<b>0,027</b>
	C3	-0,153	0,367	-0,279	0,095
	C4	<b>-0,375</b>	<b>0,022</b>	<b>-0,521</b>	<b>0,001</b>
Наблюдение за движением	Cz	-0,029	0,862	0,221	0,182
	C3	<b>-0,336</b>	<b>0,039</b>	0,127	0,447
	C4	-0,115	0,492	0,101	0,546
Имитация движений	Cz	-0,052	0,756	0,186	0,264
	C3	-0,022	0,896	0,056	0,737
	C4	-0,150	0,370	0,206	0,215
Слуховое восприятие движений	Cz	0,209	0,207	<b>-0,417</b>	<b>0,009</b>
	C3	0,227	0,171	-0,035	0,834
	C4	0,038	0,820	<b>-0,377</b>	<b>0,020</b>

*Примечание:* представлены величины коэффициентов корреляций (r) и уровни их статистической значимости (P). Выделены значения показателей при  $P \leq 0,05$ .

На рис. 2 показана зависимость между возрастом детей и значениями ИСД сенсомоторного бета2-ритма правого полушария при выполнении самостоятельных движений. Переменные коррелируют между собой отрицательно ( $r = -0,521$  при  $P = 0,001$ ). Видно, что у части младших детей ИСД имеют положительные значения. Т. е. когда эти дети выполняют круговые движения компьютерной мышью, их бета2-ритм синхронизируется, его мощность растет. Для более старших детей из числа обследованных в данной экспериментальной ситуации характерна десинхронизация указанного ритма. Линия регрессии указывает, что смена синхронизации бета-ритма, сопровождающего самостоятельные движения, десинхронизацией происходит в возрасте 9–11 лет. Аналогичная картина характерна и для связи между возрастом ребенка и модуляциями бета1-ритма в данной ситуации.

На рис. 3 представлена зависимость между возрастом и значениями ИСД бета1-ритма правого полушария при наблюдении ребенком за движениями компьютерной мыши, которую перемещает экспериментатор. Как и в предыдущем случае, корреляционная связь отрицательная ( $r = -0,336$  при  $P = 0,039$ ). Т. е. по мере возрастного развития ребенка величина ИСД принимает более негативные значения. У детей до семи-восьми лет преобладающей реакцией при наблюдениях за действиями человека-модели является синхронизация низкочастотного бета-ритма, у более старших детей – десинхронизация.

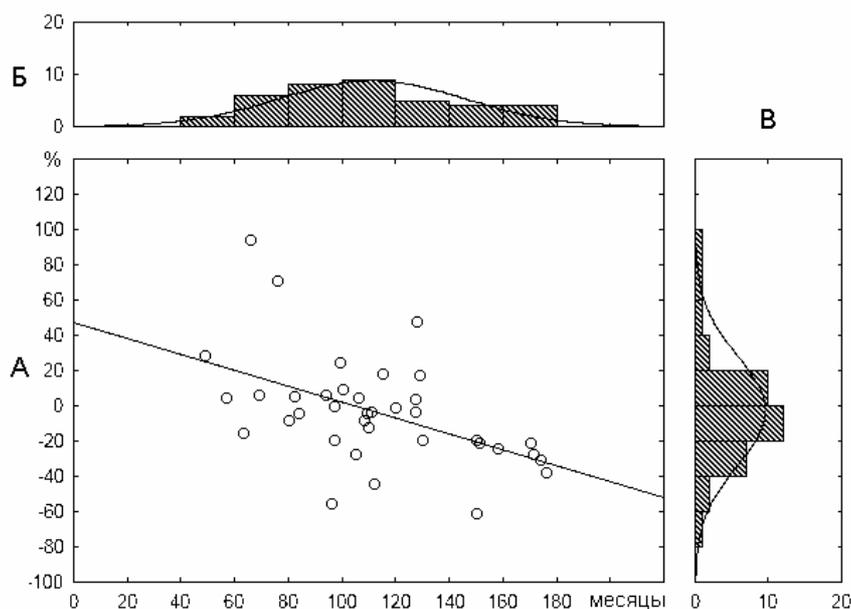


Рис. 2. Корреляционная связь между возрастом 38 детей и индексом синхронизации/десинхронизации (ИСД) бета2-ритма ЭЭГ центрального отведения правого полушария (локус С4) при выполнении ими самостоятельных движений компьютерной мышью.

А – Корреляционное поле значений возраста испытуемых (ось абсцисс, месяцы) и ИСД бета2-ритма (ось ординат, %), а также функция линейной регрессии. Гистограммы возраста испытуемых (Б) и значений ИСД (В), кривые нормального распределения для этих величин.

Подобная возрастная динамика значений ИСД характерна также для бета2-ритма в экспериментальной ситуации восприятия звуков, сопровождающих движения. Интересно отметить, что именно высокочастотный поддиапазон сенсомоторного бета-ритма, в отличие от низкочастотного, оказался чувствительным к данному стимулу, а его ИСД значимо коррелировал с возрастом ребенка (см. рис. 1 и табл. 1).

Таким образом, все значимые корреляции между возрастом обследованных детей и модуляциями сенсомоторного бета-ритма в ситуациях выполнения движений компьютерной мышью, наблюдения за подобными движениями и восприятия звуков, сопровождающих такие движения, указывают на переход от синхронизации указанного ритма к десинхронизации в возрастном периоде 8–11 лет. Следовательно, выдвинутая нами гипотеза о том, что именно в возрастном интервале от четырех до 14 лет ситуации самостоятельного выполнения движений и восприятия движений других людей начинает сопровождаться десинхронизацией бета-ритма ЭЭГ, подтверждается результатами настоящего исследования. Что

касается смены знака ИСД при достижении детьми возраста 8–11 лет, то можно предложить следующие объяснения данному феномену.

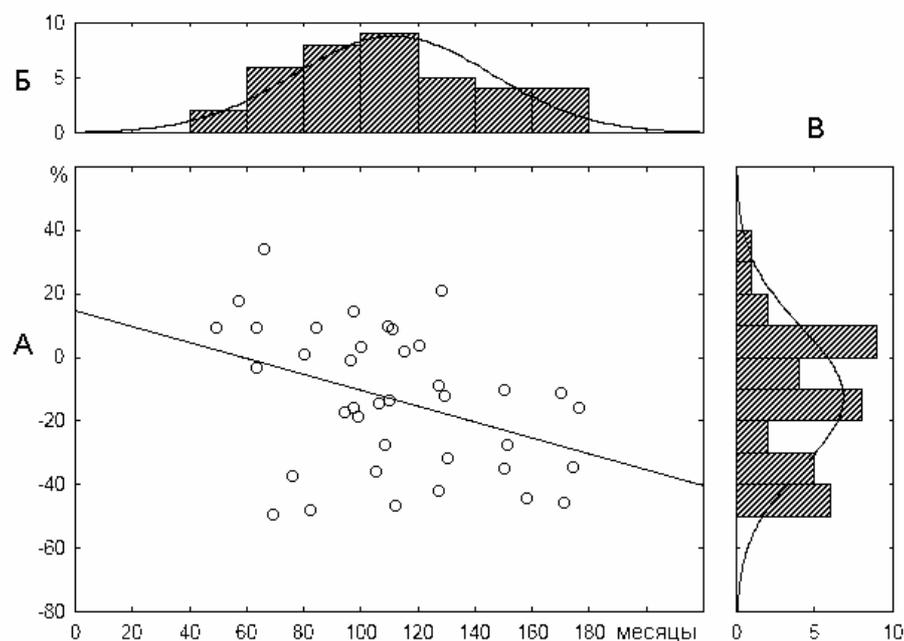


Рис. 3. Корреляционная связь между возрастом испытуемых и индексом синхронизации/десинхронизации (ИСД) бета1-ритма ЭЭГ центрального отведения левого полушария (СЗ) при наблюдении ими движений компьютерной мыши экспериментатора.

А – Корреляционное поле значений возраста испытуемых (ось абсцисс, месяцы) и ИСД бета1-ритма (ось ординат, %), а также функция линейной регрессии. Гистограммы возраста испытуемых (Б) и значений ИСД (В), кривые нормального распределения для этих величин.

Нужно отметить, что десинхронизация бета-ритма у старших детей выявляется как при выполнении собственных движений, так и при наблюдении за подобными движениями других людей. Такой паттерн реакций, как принято считать [3–6], свидетельствует об активации сети зеркальных нейронов моторной зоны коры. Логично предположить, что возрастная динамика ИСД бета-ритма отражает развитие моторной области коры, а также «зеркальной» системы данного коркового региона. Благодаря созреванию указанной системы дети старше 8–11 лет путем подражания гораздо легче овладевают сложными двигательными последовательностями, лежащими в основе многочисленных видов деятельности, чем дети младшего возраста.

Кроме того, кажется вероятным, что реакции в виде десинхронизации бета-ритма могут появляться у детей по мере усвоения навыков работы с компьютером. Очевидно, что дети 4–5 лет, которые в основном демонстрировали синхронизацию указанного ритма ЭЭГ, если и пользуются манипулятором-мышью, то делают это гораздо реже, чем старшие дети. Другие авторы также изучали влияние опыта освоения движений у детей на модуляции сенсомоторных ритмов. В оригинальном исследовании Ван Элка [13] с соавторами анализировали десинхронизацию мю- и бета-ритмов у малышей 14–16 месяцев. Детям показывали видеозаписи, где другие дети того же возраста либо передвигались ползком, либо ходили «на своих двоих». Испытуемые только начинали ходить, и супрессия сенсомоторных ритмов была более выражена при наблюдении за ползанием, которое было ими освоено лучше, чем ходьба. Таким образом, степень десинхронизации сенсомоторных ритмов при наблюдении за тем и другим вариантами передвижения зависела от собственного опыта малышей в ходьбе и ползании. В исследованиях с взрослыми испытуемыми изучали опыт пользования инструментами [14]. При этом было показано, что десинхронизация мю-ритма при наблюдении за действиями человека-модели, использующего манипулятор-захват, более выражена у тех людей, которые сами обучены использованию данного орудия. Правда, в указанной работе подобная закономерность в отношении бета-диапазона сенсомоторных ритмов не была выявлена, возможно, как отмечают авторы, из-за применения в эксперименте слишком простых движений. Результаты приведенных исследований, а также данные, полученные нами, свидетельствуют в пользу предположения о том, что «зеркальные» свойства центральных областей коры проявляются в наибольшей степени, если у ребенка уже присутствует внутренняя репрезентация соответствующих действий.

#### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. В ситуациях выполнения самостоятельных движений, восприятия и имитации движений других людей у детей в возрасте от четырех до 14 лет выявлены специфические модуляции сенсомоторного бета-ритма, отражающиеся в значениях индекса синхронизации/десинхронизации (ИСД). Исходя из значений ИСД бета1-ритма, можно заключить, что для всей выборки испытуемых наибольшая активация центральных регионов неокортекса обоих полушарий развивалась при наблюдении за движениями человека-модели и при имитации его действий. Десинхронизация и бета1-, и бета2-ритмов в отведениях Cz и C3 при восприятии звуков, сопровождающих движения, свидетельствует о существенной активации дополнительной моторной области и соматической коры левого полушария. В то же время невысокие средние значения ИСД группы детей при самостоятельном выполнении движений указывают на весьма умеренную, ограниченную активацию центральных регионов коры в этой экспериментальной ситуации.
2. Значимые корреляции между возрастом обследованных детей и модуляциями сенсомоторного бета-ритма в ситуациях выполнения движений компьютерной мышью, наблюдения за подобными движениями и восприятия звуков,

сопровождающих такие движения, указывают на переход от синхронизации указанного ритма к десинхронизации в возрастном периоде 8–11 лет. Следовательно, выдвинутая нами гипотеза, что именно в возрастном интервале от 4 до 14 лет ситуации самостоятельного выполнения движений и восприятия аналогичных движений других людей начинают сопровождаться десинхронизацией бета-ритма ЭЭГ, подтверждается результатами исследования.

3. Возрастная динамика ИСД бета-ритма отражает развитие моторной области коры, а также системы зеркальных нейронов данного коркового региона. Выдвинуто предположение о том, что «зеркальные» свойства центральных областей коры проявляются в наибольшей степени, если у ребенка есть внутренняя репрезентация соответствующих действий, основанная на предыдущем опыте.

*Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания № 2015/701 на выполнение государственных работ в сфере научной деятельности в рамках проекта «Обоснование применения оздоровительно-превентивных технологий на основе действия низкоинтенсивных факторов различной природы» базовой части государственного задания Минобрнауки России.*

#### **Список литературы**

1. Salmelin R. Functional segregation of movement-related rhythmic activity in the human brain / R. Salmelin, M. Hämäläinen, M. Kajola, R. Hari // *Neuroimage*. – 1995 – Vol. 2. – No. 4. – P. 237–243.
2. Kropotov J. D. Quantitative EEG, event-related potentials and neurotherapy / J. D. Kropotov. – San Diego, Academic Press, 2009. – 542 p.
3. Pineda J. A. The functional significance of mu rhythms: Translating “seeing” and “hearing” into “doing” / J. A. Pineda // *Brain Research Reviews*. – 2005 – Vol. 50. – No. 1. – P. 57–68.
4. Pineda J. A. Sensorimotor cortex as a critical component of an ‘extended’ mirror neuron system: does it solve the development correspondence and control problems in mirroring? / J. A. Pineda // *Behavioral and Brain Functions*. – 2008 – Vol. 4. – No. 47. – P. 1–16.
5. Rizzolatti G. Mirrors in the brain: how our minds share actions and emotions / G. Rizzolatti, C. Sinigaglia – Oxford University Press, 2008. – 242 p.
6. Avanzini P. The dynamics of sensorimotor cortical oscillations during the observation of handmovements: an EEG study / P. Avanzini, M. Fabbri-Destro, R. Dalla Volta, E. Daprati, G. Rizzolatti, G. Cantalupo // *PLoS One*. – 2012 – Vol. 7. – No. 5. – e37534.
7. Riečanský I. Beta oscillations reveal ethnicity ingroup bias in sensorimotor resonance to pain of others / I. Riečanský, N. Paul, S. Kölbl, S. Stieger, C. Lamm // *Soc. Cogn. Affect. Neurosci.* – 2015 – Vol. 10 – No. 7 – P 893–901.
8. Liao Y. EEG imaging of toddlers during dyadic turn-taking: Mu-rhythm modulation while producing or observing social actions. / Y. Liao, Z. A. Acar, S. Makeig, G. Deak // *Neuroimage*. – 2015 – Vol. 112. – P. 52–60.
9. Thorpe S. G. Spectral and source structural development of mu and alpha rhythms from infancy through adulthood. / S. G. Thorpe, E. N. Cannon, N. A. Fox // *Clin Neurophysiol*. – 2016 – Vol. 127. – No. 1 – P. 254–269.
10. Махин С. А. Исследование реактивности мю-ритма при наблюдении, слуховом восприятии и имитации движений: взаимосвязь со свойствами личности, определяющими эмпатию / С. А. Махин, А. А. Макаричева, Н. В. Луцок, В. Б. Павленко // *Физиология человека*. – 2015 – Т. 41. – № 6. – С. 28–35.
11. Павленко В. Б. Связь реактивности сенсомоторного ритма ЭЭГ с психологическими характеристиками детей и взрослых / В. Б. Павленко, Ю. О. Дягилева, А. А. Михайлова,

- В. В. Белалов, С. А. Махин, Е. В. Эйсмонт // Журнал фундаментальной медицины и биологии. – 2016 – №2. – С. 30–36.
12. Ritter P. Rolandic alpha and beta EEG rhythms' strengths are inversely related to fMRI-BOLD signal in primary somatosensory and motor cortex / P. Ritter, M. Moosmann, A. Villringer // Hum. Brain Mapp. – 2009 – Vol. 30. – No. 4 – P. 1168–1187.
  13. Van Elk M. You'll never crawl alone: neurophysiological evidence for experience-dependent motorresonance in infancy. / M. Van Elk, H. T. Van Schie, S. Hunnius, C. Vesper, H. Bekkering // Neuroimage. – 2008 – Vol. 43 – No. 4 – P. 808–814.
  14. Cannon E. N. Action experience, more than observation, influence mu rhythm desynchronization / E. N. Cannon, K. H. Yoo, R. E. Vanderwert, P. F. Ferrari, A. L. Woodward, N. A. Fox // PLoS One. – 2014 – Vol. 9 – No. 3. – e92002.

## EEG SENSORIMOTOR BETA-RHYTHM REACTIVITY IN CHILDREN FROM FOUR TO 14 YEARS

*Galkin D. V. Eismont E. V. Kayda A. I., Pavlenko V. B.*

*V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russia  
E-mail: vpav55@gmail.com*

Recently, many researchers have turned their attention to the peculiarities of sensorimotor rhythms reactivity. A hypothesis has appeared that sensorimotor rhythm (mu- and beta-rhythms) power changes reflect mirror neurons activity. Especially actual is the study of beta-rhythm reactivity. Researchers believe that the power of sensorimotor beta-rhythm is more sensitive to social factors, than the power of the mu-rhythm. Sensorimotor beta-rhythm power decreases in adults during performing the movements as well as observing the movements performed by the others. This phenomenon in children is poorly understood. The purpose of the research is to study the peculiarities of central EEG beta-rhythm modulation in situations of performing independent movements, perception and imitation of other people's movements in children aged from four to 14 years.

The study involved 38 children aged between four and 14 years (17 boys and 21 girls). We recorded EEG patterns in four experimental situations: (a) independent circular rhythmic movements with a computer mouse; (b) watching the same movements, performed by the experimenter; (c) imitation of the movements performed by the experimenter; (d) auditory perception of sounds produced by the movements of the experimenter. The indicator of beta-rhythm reactivity is an index of synchronization/desynchronization.

We have identified a specific modulation of sensorimotor beta-rhythm. This rhythm is synchronized or desynchronized depending on the situation. The biggest desynchronization developed by observing the human-model movements and during imitation of his actions. The low values of desynchronization in self-fulfillment movements indicate a very moderate, limited activation of the central regions of the cortex in this experimental situation.

Significant correlation between the age of the children and sensorimotor beta-rhythm modulations in situations of movements performed by computer mouse, observation of

such movements and perception of sounds that accompany such movements, indicates a transition from synchronization to desynchronization of the rhythm in age period of 8–11 years. Age dynamics of beta-rhythm reactivity reflects a formation and development of the cortex motor area, as well as the mirror system of the cortical region. We assume that the "mirror" properties of the cortex central regions are expressed the most if a child has an internal representation of the relevant actions.

**Keywords:** EEG, sensorimotor rhythm, rolandic rhythm, beta-rhythm, children, mirror neurons system.

### References

1. Salmelin R., Hämäläinen M., Kajola M. and Hari R., Functional segregation of movement-related rhythmic activity in the human brain. *Neuroimage*, **2**, 237 (1995).
2. Kropotov J. D. Quantitative EEG, event-related potentials and neurotherapy, 542 p. (San Diego, Academic Press, 2009)
3. Pineda J. A., The functional significance of mu rhythms: Translating “seeing” and “hearing” into “doing”. *Brain Research Reviews*, **50**, 57 (2005).
4. Pineda J. A., Sensorimotor cortex as a critical component of an 'extended' mirror neuron system: does it solve the development correspondence and control problems in mirroring? *Behavioral and Brain Functions*, **4**, 1 (2008)
5. Rizzolatti G., Sinigaglia C. Mirrors in the brain: how our minds share actions and emotions, 242 p. (Oxford University Press, 2008).
6. Avanzini P., Fabbri-Destro M., Dalla Volta R., Daprati E., Rizzolatti G. and Cantalupo G., The dynamics of sensorimotor cortical oscillations during the observation of handmovements: an EEG study. *PLoS One.*, **7**, e37534 (2012).
7. Riečanský I., Kölblle S., Stieger S. and Lamm C., Beta oscillations reveal ethnicity ingroup bias in sensorimotor resonance to pain of others. *Soc. Cogn. Affect. Neurosci.*, **10**, 893 (2015).
8. Liao Y., Acar Z. A., Makeig S., and Deak G., EEG imaging of toddlers during dyadic turn-taking: Mu-rhythm modulation while producing or observing social actions. *Neuroimage.*, **112**, 52 (2015).
9. Thorpe S. G., Cannon E. N., and Fox N. A., Spectral and source structural development of mu and alpha rhythms from infancy through adulthood. *Clin. Neurophysiol.*, **127**, 254 (2016).
10. Makhin S. A., Makaricheva A. A., Lutsuk N. V. and Pavlenko V. B., Investigation of the reactivity of the mu rhythm during observation, auditory perception and movement imitation: correlation with empathic ability. *Fiziol. Cheloveka*, **41**, No 6, 28 (2015).
11. Pavlenko V. B., Dyagilieva Y. O., Mikhaylova A. A., Belalov V. V., Makhin S. A., and Eysmont E. V., Relationship between the EEG mu-rhythm reactivity and psychological characteristics in children and adults. *Zhurnal fundamentalnoy meditsiny i biologii*, No. **2**, 30 (2016).
12. Ritter P., Moosmann M., and Villringer A., Rolandic alpha and beta EEG rhythms' strengths are inversely related to fMRI-BOLD signal in primary somatosensory and motor cortex. *Hum Brain Mapp.*, **30**, 1168 (2009).
13. Van Elk M., Van Schie H. T., Hunnius S., Vesper C., and Bekkering H., You'll never crawl alone: neurophysiological evidence for experience-dependent motor resonance in infancy. *Neuroimage.*, **43**, 808 (2008).
14. Cannon E. N., Yoo K. H., Vanderwert R. E., Ferrari P. F., Woodward A. L., and Fox N. A., Action experience, more than observation, influence mu rhythm desynchronization. *PLoS One.*, **9**, e92002 (2014).