

**УДК 612.821+159.91**

**ОСОБЕННОСТИ СВЯЗАННЫХ С СОБЫТИЯМИ СПЕКТРАЛЬНЫХ  
ПЕРТУРБАЦИЙ ЭЭГ У ДЕТЕЙ С РАССТРОЙСТВОМ АУТИСТИЧЕСКОГО  
СПЕКТРА ПРИ НАБЛЮДЕНИИ ЗА ДВИЖЕНИЯМИ И ИХ ИМИТАЦИИ**

*Португальская А. А., Шепитько Л. С., Клинков В. Н., Кайда А. И., Орехова Л. С.,  
Михайлова А. А., Павленко В. Б.*

*ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь,  
Республика Крым, Российская Федерация  
E-mail: vprav55@gmail.com*

Целью исследования являлся анализ связанных с событиями спектральных пертурбаций ЭЭГ у нормотипичных детей и детей с расстройствами аутистического спектра (РАС) дошкольного возраста при наблюдении за мнимым действием, реальным действием и повторении действия. Установлено, что наблюдение за мнимым и реальным действием не только у нормотипичных детей, но и у испытуемых с РАС сопровождается десинхронизацией мю- и бета-ритмов ЭЭГ в центральных отведениях. Более того, у детей с РАС при наблюдении за действиями и при их воспроизведении в ряде случаев наблюдаются более выраженные фазные реакции в частотных диапазонах тета-, мю- и бета-ритмов. Полученные результаты интерпретируются на основе представлений о паттернах ЭЭГ-реакций как индикаторах функционирования центральных механизмов социального поведения нормотипичных детей и детей с РАС.

**Ключевые слова:** ЭЭГ, мю-ритм, тета-ритм, дети, расстройства аутистического спектра.

**ВВЕДЕНИЕ**

Расстройства аутистического спектра (РАС) входят в число наиболее распространенных нарушений развития [1]. Для РАС характерен дефицит социального взаимодействия, одной из причин которого является сниженная способность к запуску и поддержанию произвольного внимания [2], а также совместного внимания при взаимодействии с окружающими [3]. В ходе нейрофизиологических исследований у детей с РАС выявлен ряд показателей, отличных от показателей типично развивающихся детей. В частности, у детей с аутизмом выявлены нарушения синаптической организации мозга, установлены корреляции этих нарушений с показателями когнитивных, эмоциональных и поведенческих тестов, характеристиками ЭЭГ (см. обзор [4]). Анализ особенностей паттерна биопотенциалов головного мозга у детей с РАС имеет важное значение, т.к. одним из способов коррекции развития таких детей являются сеансы биологической обратной связи по ЭЭГ [5].

У типично развивающихся детей дошкольного возраста в процессе социального взаимодействия увеличивается мощность тета-ритма, в то время как мощность мю-ритма (разновидность альфа-активности) снижается [6]. Нами были выявлены

особенности реактивности ЭЭГ в индивидуально определенном частотном диапазоне мю-ритма у детей с РАС дошкольного возраста в ситуациях, предполагающих проявление инструментального, эмоционального и альтруистического помогающего поведения [7]. Оценка индексов реактивности мю-ритма показала, что при выполнении задания на комплексное альтруистическое и эмоциональное помогающее поведение этот показатель статистически значимо ниже у детей с РАС. Предполагается, что обнаруженные особенности являются следствием нарушения функционирования т.н. зеркальной системы мозга (ЗСМ), а также нисходяще й регуляции к ЗСМ со стороны префронтальной коры и других областей неокортекса [8].

Однако, согласно известной гипотезе «разбитого зеркала» [9], ЗСМ у людей с РАС неэффективно функционирует, прежде всего, при восприятии и воспроизведении действий другого человека. В связи с этим, особый интерес представляет особенности динамики ритмов ЭЭГ детей с РАС в тех социальных или игровых ситуациях, которые включают наблюдение за действиями окружающих и их имитацию. В нашей лаборатории установлено, что при наблюдении за мнимым и реальным действием взрослого экспериментатора, а также при выполнении ребенком самостоятельного действия в игровой ситуации мю-ритм ЭЭГ у нормотипичных детей в возрасте от полутора до трех с половиной лет значимо снижается, причем это снижение было более выражено у детей с лучшим развитием рецептивной речи [10]. Одним из способов исследования динамики ЭЭГ в различных поведенческих ситуациях является частотно-временной анализ, в частности, анализ связанных с событиями спектральных пертурбаций (СССП, event-related spectral perturbation). Такой анализ позволяет с высоким временным разрешением выявить изменения электрической активности неокортекса, сопровождающие восприятие различных событий или действий окружающих, собственное выполнение тех или иных поведенческих актов. Однако, насколько нам известно, оценка динамики ритмов ЭЭГ с применением частотно-временного анализа при наблюдении за действиями взрослого экспериментатора, а также при выполнении ребенком самостоятельного действия у испытуемых дошкольного возраста ранее не проводилась.

В связи с этим, целью исследования явился анализ СССП у детей с РАС и нормотипичных детей дошкольного возраста при наблюдении за мнимым действием, реальным действием и повторении действия.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основная группа испытуемых была представлена 21 ребёнком в возрасте 4–7 лет (14 мальчиков и 7 девочек, средний возраст –  $71,7 \pm 13,3$  месяцев) с диагнозом «детский аутизм» (F84.0 по МКБ-10) или «расстройства аутистического спектра с нарушением интеллектуального развития и с нарушениями функционального языка» (6A02.3 по МКБ-11). В контрольную группу типично развивающихся детей были включены 33 ребёнка той же возрастной группы (из них 18 мальчиков и 15 девочек, средний возраст –  $71,3 \pm 13,9$  месяцев).

Проводили регистрацию электроэнцефалограммы в трех экспериментальных ситуациях:

1. «Наблюдение мнимого действия» – ребенок наблюдает, как экспериментатор проводит рукой по установленной на столе горке (три повторения по 5 с). Считается, что ребенок не видит в этом действии реальной цели.

2. «Наблюдение реального действия» – ребенок наблюдает, как экспериментатор сталкивает с горки игрушечную машинку (три повторения по 5 с).

3. «Выполнение действия» – экспериментатор ставит горку с машинкой перед ребенком, и ребенок сам ее сталкивает (три повторения по 5 с).

Перед первой и второй экспериментальными ситуациями детям давалась инструкция: «Смотри внимательно, что я буду делать!». Перед третьей говорили: «А теперь сделай как я!». На протяжении всех экспериментальных ситуаций экспериментатор направлял свой взор на кисть собственной движущейся руки и предметы, которыми манипулировал.

В рамках настоящего исследования проводили анализ характеристик ЭЭГ в следующих отведениях: C3, Cz, C4. Указанные регионы выбраны как области интереса на основании данных литературы о целесообразности анализа мю-ритма у детей. Во время записи ЭЭГ велась аудио- и видеорегистрация. Запись ЭЭГ и видеозапись экспериментальных ситуаций были синхронизированы. Записи с большим количеством артефактов, а также пробы, в которых видеозапись показала отсутствие стойкого внимания ребенка к ситуации, были исключены из анализа.

Анализировали фрагменты ЭЭГ длительностью по 5 с в трех экспериментальных ситуациях: 2,5 с до и 2,5 с после момента прикосновения руки экспериментатора к горке или к машинке, а также прикосновения ребенка к машинке. Частотно-временное разложение сигнала производили в пакете EEGLAB toolbox (<http://www.sccn.ucsd.edu/eeqlab/>) с помощью вейвлета Morlet. Для оценки изменений спектральной мощности ЭЭГ в указанных ситуациях с помощью того же пакета рассчитывали связанные с событием спектральные пертурбации (СССП, event-related spectral perturbation). СССП показывают изменения спектральной мощности ЭЭГ в тестовом участке по сравнению с уровнем фона. В качестве фона в указанных экспериментальных ситуациях использовали временной интервал от 2,5 до 2,0 с до момента прикосновения к машинке или горке, а в качестве тестового участка – последующие 4,5 с (2,0 с до прикосновения и 2,5 с после). При обработке данных получали изображения, отражающие в децибелах логарифм отношения тестовой к фоновой мощности ЭЭГ. Исходя из работ других авторов [6], в качестве тета- и мю-активности рассматривали ЭЭГ в частотных диапазонах 4,0-7,6; 8,4-10,4 Гц, соответственно. В качестве бета-активности рассматривали ЭЭГ с частотой от 12 до 25 Гц.

При оценке различий СССП обследованных групп детей для уменьшения искажений, связанных с множественными сравнениями, использовали пермутационную статистику пакета EEGLAB ( $n = 2000$ ), статистически значимыми считали различия при  $p < 0,01$ .

Остальные подробности методики описаны ранее [10].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведения исследования и анализа данных ЭЭГ в программе EEGLAB были получены графики СССР. На рис. 1 представлены СССР у типично развивающихся детей и участников исследования с РАС в ситуации наблюдения за мнимым действием. В этом и последующих случаях графики СССР усреднены по трем реализациям и по всем испытуемым данным групп. Каждый график соответствует временному промежутку от -2 до 2 с от момента прикосновения к машинке (по горизонтали) и диапазону частот от 3 до 25 Гц (по вертикали). Вертикальная линия – момент прикосновения экспериментатора к машинке. Синим цветом отмечены участки графиков с десинхронизацией (снижением мощности) ритмов ЭЭГ, красным цветом – интервалы синхронизации (повышения мощности). В центральной части рисунка размещена шкала, отражающая логарифм отношения мощностей ритмических диапазонов фоновой ЭЭГ (временной интервал от -2,5 до -2,0 с, на рисунке не показан, так как был принят за фоновый) и ЭЭГ последующих временных интервалов (дБ). На фрагментах справа красным цветом обозначены значимые различия.

Как видно из рисунка, ситуация наблюдения за мнимым действием сопровождалась у детей контрольной группы относительно продолжительной десинхронизацией тета-, мю- и бета-ритмов, а у детей с РАС – краткосрочной десинхронизацией мю- и бета-ритмов и ростом мощности ЭЭГ в диапазоне тета- (отведения С3 и С4), а также отсроченным усилением бета-ритма (отведение С<sub>z</sub>). Межгрупповые различия достигали значимости в период движения руки экспериментатора к горке (во временном интервале от -1,2 до -1 с) и после прикосновения руки экспериментатора к пустой горке (в интервале 0,3–0,9 с).

При наблюдении за реальным действием экспериментатора примерно за 1 с до прикосновения к машинке у детей контрольной группы наблюдается десинхронизация ЭЭГ в диапазоне мю-ритма, завершающаяся его синхронизацией в то время, когда экспериментатор подталкивал игрушку и она съезжала с горки (рис. 2). Выявлен рост осцилляций тета-ритма в тот период, когда машинка катилась с горки (временной интервал 0,5–2,0 с).

У детей с РАС также наблюдается десинхронизация мю-ритма, причем в отведении С4 в период движения руки к игрушке она носит более выраженный характер, чем у детей контрольной группы. Кроме того, в отведении С3 у испытуемых данной группы наблюдается десинхронизация бета-ритма (диапазон 15–25 Гц) в период скатывания машинки с горки. Значимые отличия между реакциями детей двух групп выявляются и в частотном диапазоне тета-ритма через 0,5–1,5 с после прикосновения экспериментатора к игрушке. Так у детей с РАС в этот временной период мощность тета-ритма статистически значимо выше чем у контрольной группы в отведении С<sub>z</sub>, но ниже в отведениях С3 и С4.

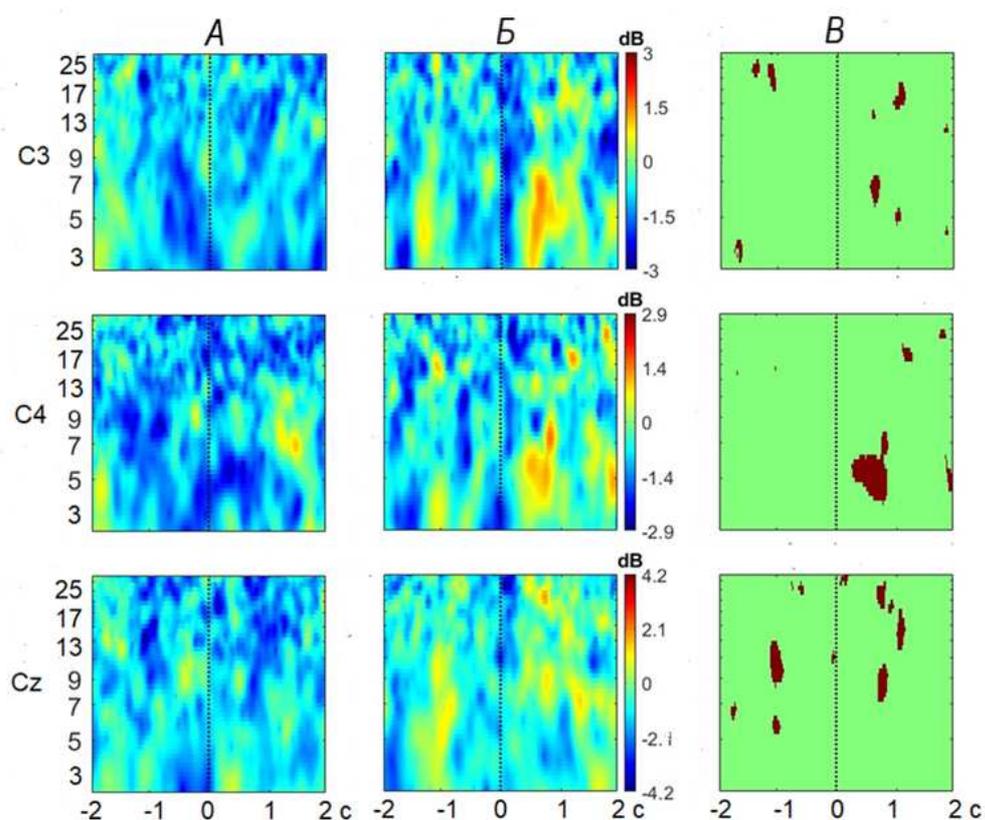


Рис. 1. Паттерны ЭЭГ-реакций в отведениях C3, C4, Cz у типично развивающихся детей (А) и у детей с РАС (Б) в ситуациях наблюдения за мнимым действием экспериментатора, а также статистическая значимость межгрупповых различий при  $p < 0,01$  (В).

Ситуация выполнения собственного действия сопровождалась у детей группы нормы десинхронизацией тета- и мю-ритмов, развивающейся примерно за 1 с до момента касания игрушки и сменяющейся синхронизацией через 0,3–1,0 с от момента прикосновения (рис. 3). У детей с РАС прикосновение к машинке и скатывание ее вызвало рост мощности ЭЭГ в диапазонах тета-, мю- и бета-ритмов. Сравнение паттерна СССП свидетельствует о значительно повышенной реактивности ЭЭГ испытуемых с РАС в данной экспериментальной ситуации, по сравнению с контрольной группой.

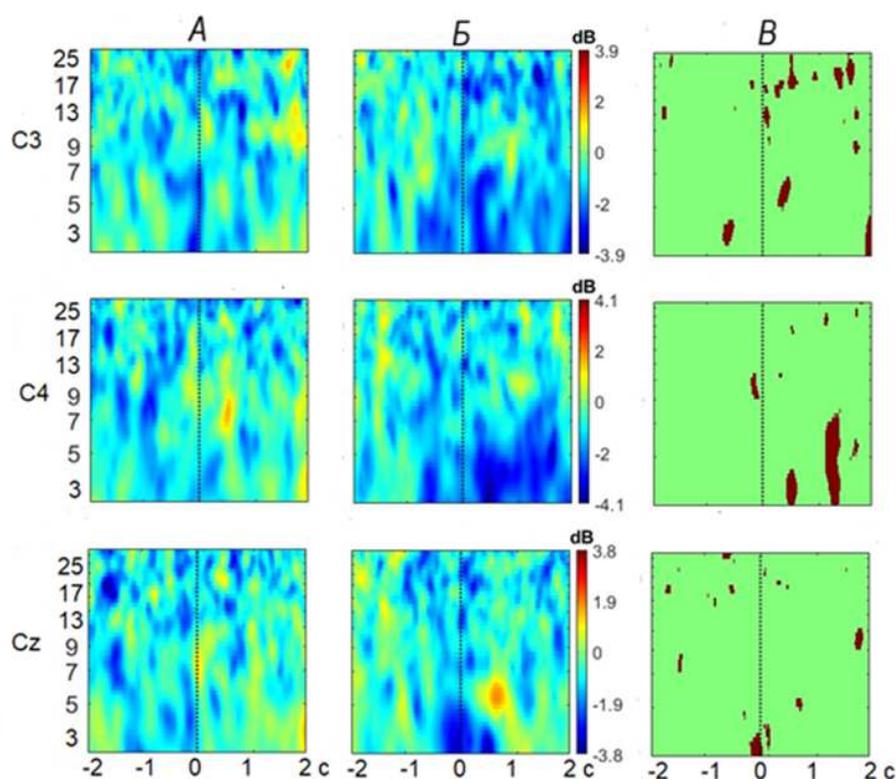


Рис. 2. Паттерн ЭЭГ-реакций в отведениях С3, С4, Сз у нормотипичных детей (А) и детей с РАС (Б) в ситуациях наблюдения за реальным действием экспериментатора, а также статистическая значимость межгрупповых различий (В) при  $p < 0.01$

Таким образом, в ситуациях наблюдения за мнимым и реальным действием как у детей группы нормы, так и у детей с РАС наблюдались реакции десинхронизации мю- и бета-ритмов в центральных отведениях (см. рис. 1 и 2), что как принято считать [11], отражает предполагаемую активацию ЗСМ. В ситуации наблюдения за реальным действием десинхронизация указанных ритмов у детей с РАС была выражена значимо больше, чем у детей группы сравнения. Как уже отмечалось, ранее нами установлено, что у детей с РАС в ситуациях, предполагающих проявление помогающего поведения, реактивность в диапазоне мю-ритма была понижена [7]. Отсутствие депрессии мю-ритма у детей с РАС в условиях задачи на реализацию альтруистического и эмоционального помогающего поведения была расценена как свидетельство меньшей степени активации ЗСМ в сложной социальной ситуации. Однако результаты настоящего исследования показывают – если ребенок включен в процесс несложного игрового взаимодействия, одним из объектов которого является привлекательная игрушка, дети с РАС демонстрируют выраженную динамику ЭЭГ-осцилляций в частотных диапазонах мю- и бета-ритмов. Таким образом, центральные звенья ЗСМ у таких детей в относительно простых ситуациях достаточно активны.

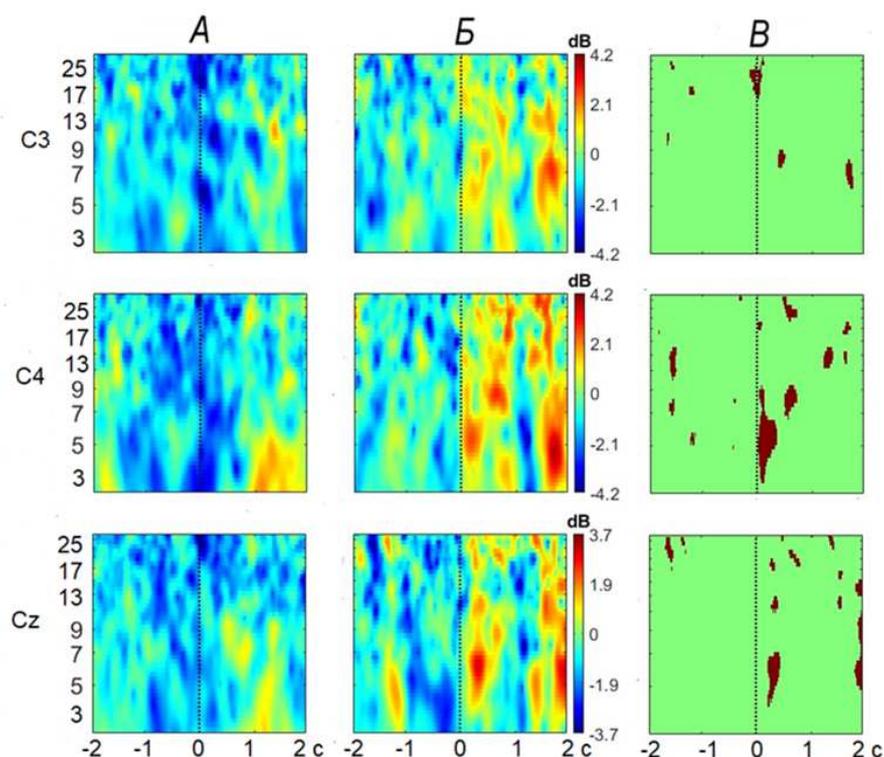


Рис. 3. Паттерн ЭЭГ-реакций в отведениях С3, С4, Сз у нормотипичных детей (А) и детей с РАС (Б) в ситуациях собственного выполнения действия, а также статистическая значимость межгрупповых различий (В) при  $p < 0.01$

В трех экспериментальных ситуациях нашего исследования у детей обеих групп наблюдались выраженные фазные реакции в диапазоне тета-активности. Рост мощности осцилляций тета-ритма ЭЭГ связывают у детей дошкольного возраста с процессами эмоциональной активации, концентрации внимания, формированием и актуализацией памятного следа [6, 12, 13]. Интересно отметить, что при наблюдении за мнимым действием у детей с РАС выявлены более мощные, чем у нормотипичных испытуемых, вспышки тета-ритма (см. рис. 1). В одном из исследований [14] показано, что при неожиданном (несоответствующем завершении игры) действии у детей полутора лет резко увеличивается мощность тета-ритма, что привело к предположению об участии ритмической активности мозга тета-диапазона в обработке ошибок у маленьких детей. Известно, что дети с РАС склонны к стереотипному поведению и крайне чувствительны к нарушению привычного порядка действий. Можно предположить, что при наблюдении за неоднозначной ситуацией, в которой не видно реальной цели, участники исследования с РАС внутренне реагируют более активно, чем типично развивающиеся дети.

В ситуации собственного выполнения действия у детей с РАС также отмечалась повышенная, по сравнению с контрольной группой, синхронизация мю-, бета- и,

особенно, тета-ритмов (см. рис. 3). Известно, что у маленьких детей мощность тета-колебаний в условиях лабораторного эксперимента выше, чем у взрослых, что объясняют большей интенсивностью аффективных состояний. Кроме того, у ребенка меньшая степень автоматизации поведения и он задействует больше ресурсов мозга для регулирования поведения, чем взрослый [6]. Исходя из подобной интерпретации тета-осцилляций, мы считаем, что игровая ситуация, включающая манипуляции с привлекательной игрушкой, приводит к повышенной активности мозга детей с РАС, чья центральная нервная система является относительно менее зрелой, чем у типично развивающихся сверстников.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты настоящего исследования показали, что наблюдение за мнимым и реальным действием не только у нормотипичных детей, но и у испытуемых с РАС сопровождается десинхронизацией мю- и бета-ритмов в центральных отведениях. Мы считаем, что центральные звенья ЗСМ у детей с РАС в относительно простых социальных ситуациях функционируют относительно адекватно. Более того, у детей с РАС при наблюдении за действиями и их воспроизведении в ряде случаев наблюдаются более выраженные фазные реакции в частотных диапазонах тета-, мю- и бета-ритмов ЭЭГ. Данный факт мы связываем с повышенной чувствительностью детей с РАС к разного рода стимулам, нарушению привычного порядка действий, неоднозначным, сложным для понимания ребенка ситуациям.

Количество участников данного исследования было относительно небольшим, а каждая экспериментальная ситуация при работе с отдельным ребенком повторялась всего три раза, что является известным ограничением данной работы. Поэтому к интерпретации результатов следует подходить с некоторой осторожностью. Тем не менее, результаты настоящего исследования могут быть полезны для оценки нейрофизиологических особенностей детей с РАС и разработке новых методов коррекции их развития.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-28-00720, <https://rscf.ru/project/22-28-00720/> с использованием оборудования ЦКП “Экспериментальная физиология и биофизика”.*

## Список литературы

1. Божкова Е. Д. Расстройства аутистического спектра: современное состояние проблемы (обзор) / Е. Д. Божкова, О. В. Баландина, А. А. Коновалов // Современные технологии в медицине. – 2020. – Т. 12, вып. 2. – С. 111–120.
2. Строганова Т. А. Нейронные механизмы нарушений ориентировки внимания у детей с расстройством аутистического спектра / Т. А. Строганова, Е. В. Орехова, И. А. Галюта // Экспериментальная психология. – 2015. – Т. 8, вып. 3. – С. 7–23.
3. Franchini M. Initiation of joint attention and related visual attention processes in infants with autism spectrum disorder: Literature review / M. Franchini, V. L. Armstrong, M. Schaer [et al.] // Child Neuropsychol. – 2019. – Vol. 25, No 3. – P. 287–317.

4. Павленко, Д. В. Методы коррекции развития детей с аутизмом на основе биологической обратной связи по ЭЭГ / Д.В. Павленко, Е. Н. Чуян, В. Б. Павленко // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. – 2021. – Т. 7, вып. 1. – С. 124–140.
5. Friedrich E. V. An effective neurofeedback intervention to improve social interactions in children with Autism Spectrum Disorder / E. V. Friedrich, A., Lim T. Sivanathan, N. Suttie [et al.] // J Autism Dev Disord. – 2015. – Vol. 45, No 12. – P. 4084–4100.
6. Orekhova E. V. EEG theta rhythm in infants and preschool children / E. V. Orekhova, T. A. Stroganova, I. N. Posikera [et al.] // Clin Neurophysiol. – 2006. – Vol. 117, No 5. – P. 1047–62.
7. Павленко В. Б. Особенности реактивности  $\mu$ -ритма ЭЭГ у детей с расстройствами аутистического спектра в ситуациях помогающего поведения / В. Б. Павленко, А. И. Кайда, В. Н. Клинков [и др.] // Вестник РГМУ. – 2023. – Том. 2. – С. 26–32.
8. Yates L. Continuing to look in the mirror: A review of neuroscientific evidence for the broken mirror hypothesis, EP-M model and STORM model of autism spectrum conditions. / L. Yates, H. Hobson // Autism. – 2020. – Vol. 24, No 8. – P. 1945–1959.
9. Oberman L. M. EEG evidence for mirror neuron dysfunction in autism spectrum disorders / L. M. Oberman, E. M. Hubbard, J. P. McCleery [et al.] // Cognitive Brain Research. – 2005 – Vol. 24, No 2. – P. 190–198.
10. Михайлова А. А. Реактивность  $\mu$ -ритма ЭЭГ при наблюдении и выполнении действий у детей раннего возраста, имеющих разный уровень развития рецептивной речи / А. А. Михайлова, Л. С. Орехова, Ю. О. Дягилева [и др.] // Журн. высш. нервн. деят. – 2020. – Т. 70, вып. 3. – С. 422–432.
11. Ларионова Е. В.  $\mu$ -ритм в современных исследованиях: теоретические и методологические аспекты / Е. В. Ларионова, Ж. В. Гарах, Ю. С. Зайцева // Журн. высш. нервн. деят. – 2022. – Т. 72, вып. 1. – С. 11–35.
12. Meyer M. Theta oscillations in 4-year-olds are sensitive to task engagement and task demands / M. Meyer, H. M. Endedijk, F. van Ede [et al.] // Sci Rep. – 2019. – Vol. 15, No 9. – P. 6049.
13. Михайлова А. А. Реактивность тета-ритма ЭЭГ у детей раннего возраста с разным уровнем помогающего поведения / А. А. Михайлова, Л. С. Орехова, Ю. О. Дягилева [и др.] // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. – 2020. – Т. 6, вып. 3. – С. 117–126.
14. Conejero Á. Frontal theta activation associated with error detection in toddlers: influence of familial socioeconomic status / Á. Conejero, S. Guerra, A. Abundis-Gutiérrez [et al.] // Developmental Science. – 2018. – Vol. 21, No 1. – 12494.

## **PECULIARITIES OF EVENT-RELATED SPECTRAL EEG PERTURBATIONS IN CHILDREN WITH AUTISM SPECTRUM DISORDER WHEN OBSERVING AND IMITATING MOVEMENTS**

***Portugalskaya A. A., Shepitko L. S., Klinkov V. N., Kaida A. I., Orekhova L. S.,  
Mikhailova A. A., Pavlenko V. B.***

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

Autism spectrum disorders (ASD) are among the most common developmental disorders. It is assumed that one of the causes of ASD is a violation of the functioning of the so-called mirror system of the brain. The activity of this system is reflected in the power of  $\mu$ - and beta-rhythms of the EEG. Of particular interest is the analysis of the dynamics of EEG rhythms of children with ASD in those social or gaming situations that involve observing the actions of others and imitating them. One of the ways to study the

dynamics of the EEG is time-frequency analysis, in particular, the analysis of event-related spectral perturbations (ERSP). Such an analysis makes it possible to detect changes in the electrical activity of the neocortex with high temporal resolution. Those changes that accompany the perception of various events or actions of others, their own performance of certain behavioral acts.

However, as far as we know, the evaluation of the dynamics of EEG rhythms using time-frequency analysis when observing the actions of an adult experimenter, as well as performing an independent action by a child in preschool-age subjects has not been carried out before.

The aim of the study was to analyze the CSSP in normotypic children and children with preschool-age ASD when observing an imaginary action, a real action and a repetition of the action.

The main group of subjects was represented by 21 children aged 4–7 years (14 boys and 7 girls, average age –  $71.7 \pm 13.3$  months) with a diagnosis of "childhood autism" or "autism spectrum disorders with intellectual development disorders and functional language disorders". The control group of typically developing children included 33 children of the same age group (including 18 boys and 15 girls, the average age was  $71.3 \pm 13.9$  months).

The electroencephalogram was recorded in three experimental situations:

1. "Observation of an imaginary action" – the child observes how the experimenter runs his hand over the slide installed on the table (three repetitions of 5 seconds). It is believed that the child does not see a real purpose in this action.

2. "Observing a real action" – the child observes how the experimenter pushes a toy car off the slide (three repetitions of 5 seconds).

3. "Performing an action" – the experimenter puts the slide with the machine in front of the child, and the child pushes it himself (three repetitions of 5 seconds).

It was found that the observation of imaginary and real action not only in normotypic children, but also in subjects with ASD is accompanied by desynchronization of mu- and beta-rhythms of the EEG in the central locus. Moreover, in children with ASD, when observing actions and repeating them, in some cases, more pronounced phase reactions are observed in the frequency ranges of theta, mu and beta rhythms.

The results of this study show that if a child is involved in the process of simple game interaction, one of the objects of which is an attractive toy, children with ASD demonstrate pronounced dynamics of EEG oscillations in the frequency ranges of mu and beta rhythms. Thus, the mirror system of the brain in such children is quite active in relatively simple situations.

In three experimental situations of our study, pronounced phase reactions in the range of theta activity were observed in children of both groups. The increase in the power of EEG theta rhythm oscillations in preschool children is associated with the processes of emotional activation, concentration of attention, formation and actualization of a memorable trace. It is interesting to note that when observing the imaginary action in children with ASD, more powerful flashes of theta rhythm were detected than in normotypic subjects. It is known that children with ASD are prone to stereotypical behavior and are extremely sensitive to disruption of the usual order of actions. It can be assumed that when observing an ambiguous situation in which no real goal is visible, study participants with ASD internally react more actively than typically developing children.

In the situation of their own performance of the action, children with ASD also showed increased synchronization of mu-, beta- and, especially, theta rhythms, compared with the control group. It is known that in young children, the power of theta oscillations in a laboratory experiment is higher than in adults, which is explained by the greater intensity of affective states. In addition, a child has less automation of behavior and uses more brain resources to regulate behavior than an adult. Based on this interpretation of theta oscillations, we believe that a game situation involving manipulations with an attractive toy leads to increased brain activity in children with ASD. Their central nervous system is relatively less mature than that of typically developing peers.

**Keywords:** EEG, mu-rhythm, theta rhythm, children, autism spectrum disorders.

### References

1. Bozhkova E. D., Balandina O. V. and Konovalov A. A., Autism spectrum disorders: current state of the problem (review), *Modern technologies in medicine*, **12**, 111 (2020).
2. Stroganova T. A., Orekhova E. V. and Galyuta I. A., Neural mechanisms of attention orientation disorders in children with autism spectrum disorders, *Experimental psychology*, **8**, 7 (2015).
3. Franchini M., Armstrong V. L., Schaer M. and Smith I. M., Initiation of joint attention and related visual attention processes in infants with autism spectrum disorder: Literature review, *Child Neuropsychol*, **25**, 317 (2019).
4. Pavlenko D. V., Chuyan E. N. and Pavlenko V. B., Methods for correcting the development of children with autism based on EEG biofeedback, *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **7**, 124 (2021).
5. Friedrich E. V., Sivanathan A., Lim T., Suttie N., Louchart S., Pillen S. and Pineda J. A., An effective neurofeedback intervention to improve social interactions in children with Autism Spectrum Disorder, *J Autism Dev Disord*, **45**, 4084 (2015).
6. Orekhova E. V., Stroganova T. A., Posikera I. N. and Elam M., EEG theta rhythm in infants and preschool children, *Clin Neurophysiol*, **117**, 1047 (2006).
7. Pavlenko V. B., Kaida A. I., Klinkov V. N., Mikhailova A. A., Orekhova L. S. and Portugalskaya A. A. Features of EEG  $\mu$ -rhythm reactivity in children with autism spectrum disorders in situations of helping behavior, *Bulletin of the Russian State Medical University*, **2**, 26 (2023).
8. Yates L. and Hobson H., Continuing to look in the mirror: A review of neuroscientific evidence for the broken mirror hypothesis, EP-M model and STORM model of autism spectrum conditions, *Autism*, **24**, 1945 (2020).
9. Oberman L. M., Hubbard E. M., McCleery J. P., Altschuler E. L., Ramachandran V. S. and Pineda J. A., EEG evidence for mirror neuron dysfunction in autism spectrum disorders, *Cognitive Brain Research*, **24**, 190 (2005).
10. Mikhailova A. A., Orekhova L. S., Dyagileva Yu. O., Mukhtarimova T. I. and Pavlenko V. B., Reactivity of the EEG mu rhythm during observation and performance of actions in young children with different levels of development of receptive speech, *Zh. Vyssh. Nerv. Deiat.*, **70**, 422 (2020).
11. Larionova E. V., Garakh Zh. V. and Zaitseva Yu. S., Mu rhythm in modern research: theoretical and methodological aspects, *Zh. Vyssh. Nerv. Deiat.*, **72**, 11 (2022).
12. Meyer M., Endedijk H.M., van Ede F. and Hunnius S. Theta oscillations in 4-year-olds are sensitive to task engagement and task demands, *Sci Rep*, **15**, 6049 (2019).
13. Mikhailova A. A., Orekhova L. S., Dyagileva Yu. O., Tyshko A. A. and Pavlenko V. B., Reactivity of the EEG theta rhythm in young children with different levels of helping behavior, *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **6**, 117 (2020).
14. Conejero Á., Guerra S., Abundis-Gutiérrez A. and Rueda M. R., Frontal theta activation associated with error detection in toddlers: influence of familial socioeconomic status, *Developmental Science*, **21**, 12494 (2016).