

ОСОБЕННОСТИ РЕАКТИВНОСТИ μ -РИТМА ЭЭГ У ДЕТЕЙ С РАССТРОЙСТВАМИ АУТИСТИЧЕСКОГО СПЕКТРА В СИТУАЦИЯХ ПОМОГАЮЩЕГО ПОВЕДЕНИЯВ. Б. Павленко [✉], А. И. Кайда, В. Н. Клинков, А. А. Михайлова, Л. С. Орехова, А. А. Португальская

Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского, Симферополь, Россия

В настоящее время обсуждается вопрос о возможной роли зеркальной системы мозга (ЗСМ), участвующей в восприятии эмоций окружающих, понимании их действий и подражании таким действиям, в нарушении социального поведения у детей с расстройствами аутистического спектра (РАС). Индикаторами активации ЗСМ считают десинхронизацию μ -ритма ЭЭГ. Целью работы было выявить особенности реактивности ЭЭГ в индивидуально определенном частотном диапазоне μ -ритма у детей с РАС дошкольного возраста в ситуациях, предполагающих проявление инструментального, эмоционального и альтруистического помогающего поведения (ПП). В исследовании приняли участие дети 4–7 лет с РАС ($n = 26$) и их типично развивающиеся сверстники ($n = 37$). Хотя в большинстве случаев нормотипичные дети демонстрировали более выраженное ПП, различия между группами статистически значимы только для альтруистического ПП ($p < 0,01$) и приближаются к значимому уровню для ситуации комплексного альтруистического и эмоционального ПП ($p = 0,09$). Оценка индексов реактивности μ -ритма показала, что при выполнении задания на комплексное альтруистическое и эмоциональное ПП этот показатель статистически значимо ниже у детей с РАС в центральных отведениях левого и правого полушарий, а также в теменном отведении правого полушария (C3: $p = 0,02$; C4: $p = 0,03$; P4: $p = 0,03$). Предполагается, что обнаруженные особенности являются следствием нарушения функционирования ЗСМ, а также нисходящей регуляции к ЗСМ со стороны префронтальной коры и других областей неокортекса. Полученные данные могут быть использованы при разработке протоколов тренировок биологической обратной связи по ЭЭГ для детей с РАС.

Ключевые слова: дети, аутизм, ЭЭГ, μ -ритм, система зеркальных нейронов, просоциальное поведение

Финансирование: работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда № 22-28-00720, <https://rscf.ru/project/22-28-00720/>

Вклад авторов: Михайлова А. А., Павленко В. Б. — план исследований, обработка данных, написание статьи; Кайда А. И., Клинков В. Н., Орехова Л. С., Португальская А. А. — набор данных, обработка данных, написание статьи.

Соблюдение этических стандартов: исследование одобрено этическим комитетом ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского» (протокол № 6 от 04 июня 2020 г.). Получено информированное согласие от родителей на участие детей в эксперименте.

✉ **Для корреспонденции:** Владимир Борисович Павленко
пр. Вернадского, д. 4, г. Симферополь, 295007, Россия; vpav55@gmail.com

Статья получена: 19.02.2023 **Статья принята к печати:** 19.03.2023 **Опубликована онлайн:** 31.03.2023

DOI: 10.24075/vrgmu.2023.009

FEATURES OF REACTIVITY OF THE EEG MU RHYTHM IN CHILDREN WITH AUTISM SPECTRUM DISORDERS IN HELPING BEHAVIOR SITUATIONS

Pavlenko VB [✉], Kaida AI, Klinkov VN, Mikhailova AA, Orekhova LS, Portugalskaya AA

Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia

One of the subjects being discussed by the professional community currently is the role possibly played by the mirror neuron system (MNS) in the violation of social behavior of children with autism spectrum disorders (ASD). The MNS is known to shape the perception of emotions of others and understanding and imitation of their actions. Mu rhythm desynchronization in EEG is considered to be the indicator of the MNS activation. The purpose of this study was to identify the features of reactivity of the EEG mu rhythm within an individually determined frequency range in preschoolers with ASD in situations requiring instrumental, emotional and altruistic helping behavior (HB). The study involved children 4–7 years old with ASD ($n = 26$) and their normally developing peers without the condition ($n = 37$). Although in most cases, HB was more pronounced in the group of normally developing children, the differences between the groups are significant only for altruistic HP ($p < 0.01$), and for the situation requiring complex altruistic and emotional HP it approaches significance ($p = 0.09$). Evaluation of the mu rhythm reactivity indices showed that the tasks invoking complex altruistic and emotional HB bring this indicator down significantly in children with ASD compared to the group of normally developing participants, as shown by the central leads of the left and right hemispheres and the parietal lead of the right hemisphere (C3: $p = 0.02$; C4: $p = 0.03$; P4: $p = 0.03$). It is assumed that the detected features stem from the impaired functioning of the MNS and the downstream regulation to the MNS from prefrontal cortex and other areas of the neocortex. The data obtained can be used in development of EEG biofeedback training protocols for children with ASD.

Keywords: children, autism, EEG, μ rhythm, mirror neuron system, prosocial behavior

Funding: the work was supported by the Russian Science Foundation grant № 22-28-00720, <https://rscf.ru/project/22-28-00720/>

Author contribution: Mikhailova AA, Pavlenko VB — research plan, data processing, article authoring; Kaida AI, Klinkov VN, Orekhova LS, Portugalskaya AA — data collection, data processing, article authoring.

Compliance with ethical standards: the study was approved by the Vernadsky Crimean Federal University ethics committee (Minutes #6 of June 04, 2020). Parents of the children have agreed to their participation in the experiment in writing.

✉ **Correspondence should be addressed:** Vladimir B. Pavlenko
pr. Vernadskogo, 4, Simferopol, 295007, Russia; vpav55@gmail.com

Received: 19.02.2023 **Accepted:** 19.03.2023 **Published online:** 31.03.2023

DOI: 10.24075/brsmu.2023.009

Состояние физического, духовного и социального благополучия, которое входит в понятие «здоровье», тесно связано с возможностью каждого из членов общества участвовать в просоциальном поведении, помогая другим людям и получая, в свою очередь, помощь и поддержку

окружающих. Термины «просоциальное» и «помогающее поведение» (ПП) обычно отождествляют и определяют как добровольные действия, совершаемые в ответ на потребности других и направленные на их благо [1]. Выраженное снижение способности к адекватному

социальному взаимодействию объединяет такую группу нарушений развития, как расстройства аутистического спектра (РАС) [2–4]. Нарушение социального поведения является одним из препятствий для детей с РАС в реализации возможности занять полноценное место в обществе, что делает актуальным анализ его нейрофизиологических механизмов. В настоящее время наиболее обсуждаемы следующие гипотезы о причинах РАС. Предполагается, что для головного мозга людей с РАС характерны отклонения в процессе прореживания (pruning) синаптических терминалей, что приводит к атипичному количеству аксонов и синапсов. Как следствие возникают избыточность локальных соединений внутри микроучастков коры больших полушарий и недостаточность функционального взаимодействия относительно удаленных регионов, таких как фронтальные и теменные области неокортекса, что подтверждает анализ когерентности ритмов электроэнцефалограммы (ЭЭГ) [5]. Согласно другой гипотезе, функциональный дефицит никотиновой ветви холинергической модулирующей системы является причиной выявленного дисбаланса возбуждения и торможения, проблем с переключением внимания, модуляции чувствительности к стимулам различной модальности у детей с РАС [6]. Наконец, около двадцати лет назад было выдвинуто предположение о нарушении при РАС функционирования зеркальной системы мозга (ЗСМ), участвующей в восприятии эмоций окружающих, понимании их действий и подражании таким действиям. Ядром ЗСМ человека являются участки неокортекса, расположенные билатерально в нижней теменной доле и вентральной премоторной коре [7–9]. В контексте изучения особенностей становления просоциального поведения у детей с РАС особенно важна проверка последнего предположения, поскольку для оказания помощи другим необходимо обладать представлениями о целях их действий, воспринимать эмоции и оценивать психические состояния окружающих, а также перенять определенные способы ПП [10].

По некоторым данным, индикатором активации ЗСМ является десинхронизация (подавление) сенсомоторного μ -ритма (разновидность α -активности) [8, 10, 11], наиболее выраженного над центральными областями коры. Это позволяет проводить исследования особенностей функционирования данной системы, в том числе у детей с РАС, используя регистрацию ЭЭГ. Авторы одной из первых работ в данной области обнаружили, что в отличие от испытуемых группы нормы, у взрослых и детей с РАС не было подавления μ -ритма во время просмотра видеозаписей биологических движений (движений руки) [12]. Полученные результаты легли в основу выдвинутой ими гипотезы разбитого зеркала.

Целый ряд более поздних исследований, в которых анализировали ЭЭГ при предъявлении испытуемым подобных движений, не выявили различий в модуляции μ -ритма у людей с РАС и нормотипичных индивидов [13–15]. Однако в работе, где в качестве стимулов были использованы записи эмоционально окрашенных социальных движений, а также перемещений неживых объектов, у типично развивающихся детей 7–15 лет эмоциональные стимулы показали значимо большую десинхронизацию, в то время как у их сверстников с РАС различия в десинхронизации μ -ритма при предъявлении указанных стимулов отсутствовали [16]. При выполнении задачи, которая требовала узнавания инструментов и изображения действий с ними в виде пантомимы,

выявлено снижение величины модуляции мощности μ -ритма ЭЭГ у детей 8–13 лет с РАС по сравнению с детьми нормотипической группы [17]. Нашей лабораторией также выявлены различия в реактивности сенсомоторных ритмов ЭЭГ у детей с РАС 5–10 лет и их нормально развивающихся сверстников в ситуациях наблюдения, имитации и слухового восприятия движений руки с компьютерной мышью. Ситуации имитации движений и восприятия перемещения мыши на слух у испытуемых контрольной группы сопровождались десинхронизацией μ - и β -ритмов, а у детей с РАС такая реакция либо отсутствовала, либо происходила синхронизация μ -ритма [18].

Анализ подобных противоречий привел к изменению «гипотезы разбитого зеркала» и созданию интегрированной модели социальной модуляции реакций ЗСМ со стороны других областей неокортекса. Модель предполагает, что зеркальные нейроны обрабатывают зрительно-моторные свойства наблюдаемых действий, в то время как медиальная префронтальная кора контролирует активность ЗСМ в зависимости от социальной значимости и контекста ситуации. Симптомы РАС возникают из-за аномалий нисходящей регуляции ЗСМ, а не внутри этой системы. В итоге при наблюдении простых движений ЗСМ людей с РАС реагирует как у нейротипичных людей. Однако сложные действия, эмоционально окрашенные и социальные стимулы часто обрабатываются неадекватно [8, 19, 20]. С учетом этой модели разработаны тренинги с применением биологической обратной связи (БОС) по ЭЭГ, которые показали определенную эффективность в коррекции проявлений РАС [21]. Тренинги основаны на компьютерных играх и включают в себя задачи на синхронизацию и десинхронизацию μ -ритма в зависимости от игрового контекста, что обеспечивает перестройку связей ядра ЗСМ с другими областями неокортекса.

Ранее проведенные исследования показали, что дети с РАС, хотя и в меньшей степени, чем нормотипичная группа, могут проявлять просоциальное поведение в ответ на потребности других [22]. Они демонстрируют ПП в ситуациях, требующих: инструментальную помощь (instrumental helping), т. е. помощь другим людям в завершении целенаправленного действия; эмпатическую помощь (comforting), реагируя на эмоциональные нужды другого человека и вербально или физически поддерживая и утешая его; альтруистическую помощь, при которой дети делятся ресурсами (sharing), если их не достается другому индивиду. Насколько нам известно, анализ реактивности μ -ритма ЭЭГ при реализации задач на ПП у детей с РАС в сопоставлении со здоровыми сверстниками ранее никто не проводил. Такое исследование позволило бы уточнить возможную роль дисфункции ЗСМ в организации сложного просоциального поведения у детей с аутизмом, а также могло быть полезным в разработке новых методов коррекции нарушений у детей с РАС с помощью сеансов БОС по ЭЭГ. Поскольку степень десинхронизации μ -ритма может быть неверно оценена из-за частичного наложения на него затылочного α -ритма, находящегося в близком частотном диапазоне [10], целесообразно определение индивидуальной полосы μ -ритма, устанавливаемой при совершении ребенком самостоятельных движений. В связи с этим целью нашего исследования было выявить особенности реактивности ЭЭГ в индивидуальном частотном диапазоне μ -ритма у детей с РАС дошкольного возраста в ситуациях, требующих оказания разных видов помощи другому человеку.

ПАЦИЕНТЫ И МЕТОДЫ

Характеристика выборки

Исследование проводили на базе Центра коллективного пользования научным оборудованием «Экспериментальная физиология и биофизика» Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. В нем приняли участие 64 ребенка-правши в возрасте 4–7 лет (средний возраст – $5,7 \pm 1,2$ года), из них 26 детей с РАС (20 мальчиков и 6 девочек) и 38 типично развивающихся детей, или группа сравнения (21 мальчик и 17 девочек). Распределение детей с РАС по возрастным группам было следующим: в группе 4-х лет — 6 человек, 5-ти лет — 6 человек, 6-ти лет — 8 человек, 7-ми лет — 6 человек. Распределение типично развивающихся детей: в группе 4-х лет — 10, 5-ти лет — 8, 6-ти лет — 10, 7-ми лет — 10 человек. Распределение по возрасту детей с РАС и нормотипичных детей в этих группах не различалось. Средний возраст всех детей с РАС и в группе сравнения значимо не различался ($5,9 \pm 1,2$ и $5,5 \pm 1,2$ соответственно, $p = 0,17$). Группу детей с РАС составили дети 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). Критерии включения детей в группу сравнения: достаточный уровень когнитивного развития (IQ от 90 до 120 баллов по тесту Векслера в вариантах WPPSI и WISC); отсутствие хронических заболеваний нервной системы. Критерии включения для детей обеих групп: наличие нормального уровня зрения и слуха; предпочтение правой руки.

Определение выраженности просоциального поведения

Для анализа уровня выраженности ПП были использованы четыре экспериментальные ситуации. К каждой из последующих ситуаций переходили после того как ребенок выполнил задание, либо если он не оказал помощи в течение 50 с.

1. Задание на реализацию инструментального помогающего поведения (ИПП) по методике, предложенной F. Warneken, M. Tomasello [23]. На стол перед ребенком помещали коробку с небольшим отверстием сверху и открытой гранью со стороны ребенка. Затем экспериментатор ставил на коробку кружку, и как бы помешивая в ней чай, «случайно» ронял ложку в верхнее отверстие коробки. Ожидалось, что ребенок поможет достать ложку и отдаст ее экспериментатору.

2. Задание на реализацию эмоционального помогающего поведения (ЭПП) по методике с использованием клипборда [24]. Экспериментатор как бы случайно придавливал палец зажимом для бумаг с возгласом «Ой!» и демонстрировал, что ему больно (делал грустное лицо, потирал палец, вздыхал и постанывал). Анализировали, успокаивал ли ребенок экспериментатора (дотрагивался до его руки, озвучивал беспокойство о нем, направлял на него внимание родителя, чтобы тот помог и т. д.).

3. Задание на реализацию альтруистического помогающего поведения (АПП) по методике «неравное угощение» [22]. Экспериментатор доставал два прозрачных контейнера, один для себя, другой для ребенка и говорил: «Посмотри, что у меня есть». При этом в контейнере у экспериментатора пусто, а у ребенка — четыре печенья.

Экспериментатор различными способами показывал, что у него нет печенья, а у ребенка есть, делал грустное лицо, протягивал руку ладонью вверх в требовательном жесте. Оценивали, поделится ли ребенок печеньем.

4. Задание на реализацию комплекса альтруистического и эмоционального помогающего поведения (АЭПП) [25]. Экспериментатор сначала играл с ребенком, используя двух плюшевых игрушечных мишек, у одного из которых лапа прикреплена на застежке-липучке. После нескольких минут игры лапа у этой игрушки отпадала, и экспериментатор демонстрировал грустное лицо. Затем сигналы о необходимости помощи становились все более явными, например, экспериментатор произносил: «Лапа отпала! Моим мишкой теперь не поиграть!». Оценивали, в какой степени ребенок демонстрирует ПП, успокаивая либо предлагая свою игрушку.

Во время выполнения заданий проводили видеорегистрацию. На основании ее анализа и критериев, описанных ранее [22–25] (оказывалась ли помощь и насколько быстро это делал ребенок, требовались ли для этого все более настойчивые стимулы со стороны экспериментатора) оценивали уровень проявления ПП по 10-балльной шкале.

Регистрация и анализ ЭЭГ

Регистрацию ЭЭГ осуществляли с помощью электроэнцефалографа «Нейрон-Спектр-5» («Нейрософт»; Россия) монополярно от 19 отведений по стандартной схеме 10–20% (референт — объединенные ушные электроды) в полосе пропускания сигнала 0,5–30,0 Гц при частоте дискретизации 250 Гц. Запись ЭЭГ и видеозапись экспериментальных ситуаций были синхронизированы.

Регистрацию ЭЭГ в фоновой ситуации (длительность 50 с) проводили при открытых глазах в условиях устойчивого зрительного внимания при просмотре видеозаписи вращающегося мяча. Для анализа μ -ритма при реализации просоциального поведения отбирали такие временные периоды четырех экспериментальных ситуаций, когда ребенок сидел неподвижно, наблюдал за действиями взрослого и принимал решение об оказании той или иной помощи. Длительность таких записей зависела от времени, через которое ребенок оказывал помощь, и не превышала 50 с.

Обработку данных ЭЭГ проводили с помощью программы WinEEG («Мицар»; Россия). Артефакты удаляли с помощью встроенного в программу метода независимых компонент с дополнительным зрительным контролем качества записи. Записи ЭЭГ одного ребенка группы сравнения и семи детей с РАС содержали большое количество артефактов из-за чрезмерной двигательной активности испытуемых и были исключены из дальнейшей статистической обработки. Полученные безартефактные отрезки ЭЭГ разбивали на эпохи по 2 с. Фрагменты ЭЭГ подвергали быстрому преобразованию Фурье с взаимным перекрытием эпох 50%. Амплитуды μ -ритма анализировали в девяти локусах: лобных (F3, Fz, F4), центральных (C3, Cz, C4), теменных (P3, Pz, P4). Указанные регионы выбраны как области интереса на основании данных литературы о целесообразности анализа μ -ритма у детей не только в центральных, но и во фронтальных и теменных областях [26]. Амплитуду μ -ритма ЭЭГ рассчитывали в индивидуальных для каждого испытуемого частотных диапазонах, границы которых были установлены на основе анализа различий спектров мощности ЭЭГ в

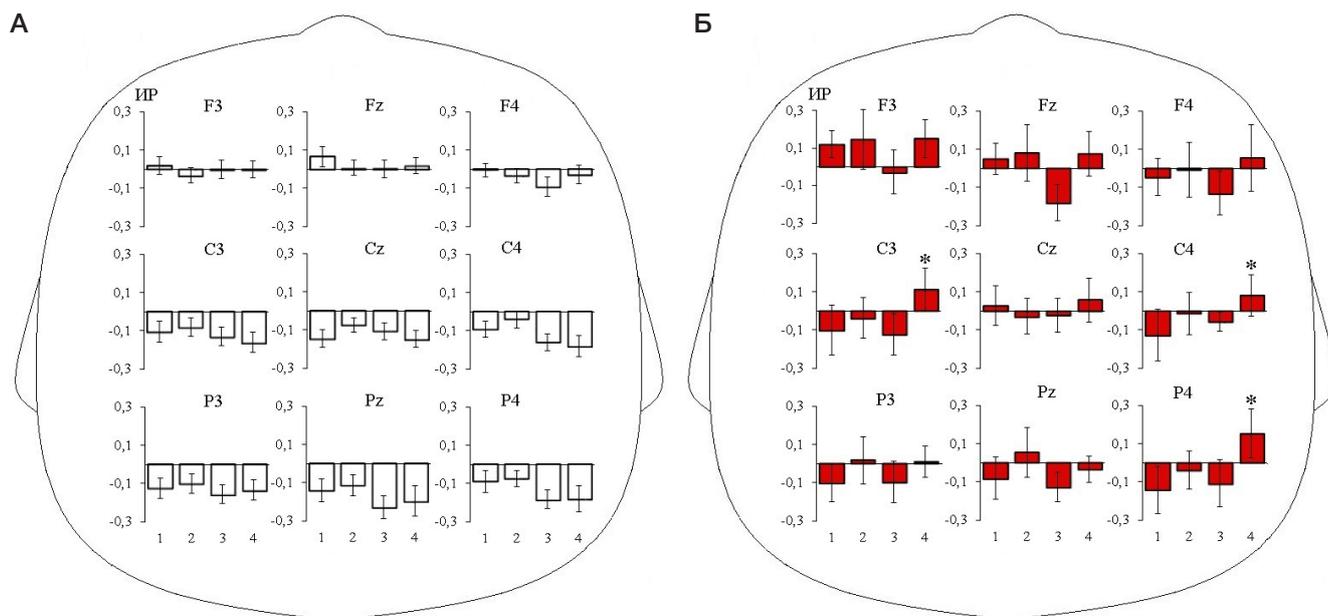


Рис. 1. Индексы реактивности (ИР) μ -ритма ЭЭГ у типично развивающихся детей (**А**; белые столбцы) и детей с РАС (**Б**; красные столбцы) в ситуациях помогающего поведения. 1 — ИПП, 2 — ЭПП, 3 — АПП, 4 — АЭПП. Приведены средние значения и стандартные ошибки средних. Различия индексов реактивности у детей двух групп: * — $p < 0,05$

отведении С3 в состоянии двигательного покоя ребенка и при выполнении им движений (реакция десинхронизации) [27].

Статистическая обработка данных

Статистический анализ полученных данных проводили с применением программы STATISTICA 12.0 (StatSoft Inc.; США). Для оценки различий в показателях выраженности различных элементов просоциального поведения использовали непараметрический U-критерий Манна-Уитни. Для выявления особенностей реактивности ЭЭГ у детей с РАС рассчитывали индексы реактивности (ИР) μ -ритма в соответствии с формулой $IR = \ln(B / A)$ [13], где В — амплитуда ритма в экспериментальной ситуации, А — амплитуда ритма в фоновой ситуации. Логарифмирование применяли для нормализации распределения. Значения $IR > 0$ свидетельствуют об увеличении амплитуды ритма в экспериментальной ситуации по сравнению с фоновым уровнем (синхронизация), а $IR < 0$ — о снижении амплитуды ритма (десинхронизация). Различия в ИР μ -ритма исследуемых групп оценивали с помощью дисперсионного анализа с повторными измерениями (repeated measures ANOVA). Определяли влияние межсубъектного фактора ГРУППА (два уровня: дети с РАС и группа сравнения) и внутрисубъектного фактора ЛОКУС (девять отведений ЭЭГ) по схеме 2×9 . Для расчета статистической значимости различий ИР в привязке к каждому из девяти отведений ЭЭГ использовали метод линейных контрастов. Для описания распределений, отличных от нормального (показатели просоциального поведения), применяли медиану и интерквартильный размах. В случаях нормального распределения данных (логарифмированные значения ИР) использовали среднее и стандартную ошибку среднего. Статистически значимыми считали различия при $p < 0,05$, но в связи с небольшим объемом выборок учитывали и тенденции к наличию различий ($p < 0,10$).

Из-за преобладания участников мужского пола в группе РАС мы не оценивали пол как независимую переменную.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Особенности показателей помогающего поведения у детей с РАС

Оценка выраженности элементов просоциального поведения у детей группы сравнения показала следующее: показатель ИПП составил 7,5 (2; 10), ЭПП — 1,5 (0; 3), АПП — 6,0 (4; 10), АЭПП — 8,5 (4; 10) баллов. У детей с РАС уровень ИПП составил 9,0 (1; 10), ЭПП — 0,0 (0; 3), АПП — 2,5 (0; 5), АЭПП — 3,0 (0; 10) баллов. Хотя в случае большинства экспериментальных ситуаций нормотипичные дети демонстрировали более выраженное ПП, различия между группами статистически значимы только для ситуации АПП ($Z = 2,61$, $p < 0,01$) и приближаются к значимому уровню для АЭПП ($Z = 1,65$, $p = 0,09$).

Особенности реактивности ЭЭГ в частотном диапазоне μ -ритма у детей с РАС

У нормотипичных детей во всех экспериментальных ситуациях ИР в центральных и теменных отведениях принимали отрицательные значения, что указывает на десинхронизацию ЭЭГ в диапазоне μ -ритма (рис. 1А). Во фронтальных отведениях реактивность μ -ритма выражена незначительно. У детей с РАС величины ИР во всех анализируемых отведениях при выполнении подобных задач принимали как положительные, так и отрицательные значения, что указывает как на десинхронизацию, так и на синхронизацию ЭЭГ в диапазоне μ -ритма (рис. 1Б).

Результаты дисперсионного анализа различий в реактивности μ -ритма у детей с РАС и группы сравнения свидетельствуют о статистически значимом влиянии фактора ГРУППА в задании на реализацию комплекса альтруистического и эмоционального помогающего поведения (АЭПП) (таблица). У детей группы сравнения в данной экспериментальной ситуации зарегистрировано снижение амплитуды во всех отведениях, за исключением Fz, а у группы с РАС — рост амплитуды индивидуального μ -ритма, за исключением локуса Pz (см. рис. 1.). Применение

Таблица. Результаты дисперсионного анализа различий в реактивности μ -ритма у детей с РАС и контрольной группы

Индексы реактивности	ГРУППА			ЛОКУС			ГРУППА × ЛОКУС		
	F1.54	p	η^2	F8.432	p	η^2	F8.432	p	η^2
ИР ИПП	0,1	0,74	0,002	3,64	0,0004	0,06	0,93	0,49	0,02
ИР ЭПП	0,95	0,33	0,02	1,43	0,18	0,03	0,71	0,68	0,01
ИР АПП	0,09	0,77	0,002	1,52	0,15	0,03	1,47	0,17	0,03
ИР АЭПП	4,24	0,04	0,08	1,9	0,06	0,04	1,16	0,32	0,02

метода линейных контрастов показало, что различия в ИР μ -ритма ЭЭГ у двух групп детей достигали уровня статистической значимости в центральных отведениях левого и правого полушарий, а также в теменном отведении правого полушария (С3: $p = 0,02$; С4: $p = 0,03$; Р4: $p = 0,03$). В заданиях на реализацию ИПП, ЭПП и АЭПП значимых различий в ИР μ -ритма у детей с РАС и типично развивающихся сверстников не выявлено.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Как и другие авторы [22, 28], мы обнаружили, что несмотря на выраженные социальные нарушения, дети с РАС действуют просоциально в ответ на потребности других и могут делать это в ситуациях, требующих разных видов помощи. Уровень ПП в ситуации, требующей инструментальной помощи, у детей с РАС был несколько выше, чем у детей группы сравнения. Возможно, это связано с интересом к восстановлению порядка объектов, который присущ детям с РАС [29]. Однако в ситуациях АПП и АЭПП дети с РАС менее склонны к оказанию помощи. Наиболее сложной для участников исследования была ситуация АЭПП — детям надо было в процессе игры оценить происходящее, воспринять аффективно окрашенные невербальные и вербальные сигналы экспериментатора, оказать ему эмоциональную помощь или даже поделиться привлекательной игрушкой. У детей с РАС в этой ситуации не только выявлена тенденция к меньшей выраженности ПП, но и обнаружены статистически значимые отличия от детей группы сравнения в паттерне ЭЭГ.

У нормотипичных детей в ситуациях, требующих оказания помощи, в центральных и теменных отведениях обнаружена десинхронизация ЭЭГ в частотном диапазоне μ -ритма, в том числе в ситуации АЭПП. У детей с РАС такая десинхронизация в указанной ситуации отсутствовала. Как уже отмечалось, десинхронизацию μ -ритма расценивают в качестве индикатора активации ЗСМ [10, 11]. Таким образом отсутствие депрессии μ -ритма у детей с РАС в условиях задачи на АЭПП может указывать на меньшую степень активации ЗСМ, которая проявляется в наиболее сложной социальной ситуации. Полученные результаты, согласно которым ИР у детей исследованных групп в наибольшей степени различаются в задаче на АЭПП, согласуются с так называемой интегрированной моделью [8], основанной на модуляции реакций нервных клеток

ЗСМ со стороны префронтальной коры и других областей неокортекса в зависимости от контекста ситуации.

Причиной измененных реакций ЗСМ могут быть и затруднения с переключением внимания в сложной социальной ситуации. По мнению ряда авторов, у детей с аутизмом нарушена работа вентрального модуля внимания, который включает височно-теменной стык (temporo/parietal junction), дорсальную треть верхне-височной извилины и ряд областей вентральной фронтальной коры. Данный модуль отвечает за высвобождение внимания и его переориентировку к новым, потенциально важным стимулам [2, 6]. В связи с этим можно предположить, что пониженная способность к переключению внимания у детей с РАС (например, от направленности на собственную игру с привлекательной игрушкой к действиям и проявлениям эмоций другого человека) препятствует адекватной активации сети зеркальных нейронов, так как действия другого человека просто находятся не в фокусе внимания ребенка.

Результаты настоящего исследования указывают на возможные нарушения функционирования ЗСМ и регионов неокортекса, модулирующих ее активность, у детей с РАС в сложных социальных ситуациях, требующих проявлений альтруистического и эмоционального ПП. Выявленные особенности реактивности μ -ритма ЭЭГ могут быть полезны для разработки новых протоколов сеансов БОС, предназначенных для коррекции развития детей с РАС. Перспективным кажется использование в таких сеансах разнообразных сигналов обратной связи, имеющих эмоциональную окраску и включенных в социальный контекст.

ВЫВОДЫ

Результаты проведенного исследования свидетельствуют о том, что дети дошкольного возраста, имеющие диагноз РАС, действуют просоциально в ответ на потребности других в ситуациях, требующих разных видов помощи. Однако в сложных социальных ситуациях они менее склонны к оказанию альтруистической и эмоциональной помощи. В подобных случаях у детей с РАС, в отличие от нормотипичных детей, в центральных и теменных отведениях отсутствует десинхронизация μ -ритма ЭЭГ. Выявленные особенности поведения детей с РАС могут быть использованы в коррекционной работе, в том числе, при проведении сеансов БОС по ЭЭГ.

Литература

1. Eisenberg N, Fabes RA, Spinrad T. Prosocial development. In: Eisenberg N, Damon W, Lerner RM, editors. Handbook of Child Psychology. New York: Wiley, 2006; 646–718.
2. Переверзева Д. С., Горбачевская Н. Л. Нейробиологические маркеры ранних стадий расстройств аутистического спектра. Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова. 2016; 66 (3): 289–301. DOI: 10.7868/S0044467716030102.
3. Божкова Е. Д., Баландина О. В., Коновалов А. А. Расстройства аутистического спектра: современное состояние проблемы (обзор). Современные технологии в медицине. 2020; 12 (2):

- 111–20. DOI: 10.17691/stm2020.12.2.14.
4. Салимова К. Р. Нейрофизиологические корреляты нарушения развития при расстройствах аутистического спектра (РАС). Успехи современной биологии. 2021; 141 (6): 557–66. DOI 10.31857/S0042132421060065.
 5. Ippolito G, Bertaccini R, Tarasi L, Di Gregorio F, Trajkovic J, Battaglia S, et al. The role of alpha oscillations among the main neuropsychiatric disorders in the adult and developing human brain: evidence from the last 10 years of research. *Biomedicines*. 2022; 10 (12): 3189. DOI: 10.3390/biomedicines10123189.
 6. Orekhova EV, Stroganova TA. Arousal and attention re-orienting in autism spectrum disorders: evidence from auditory event-related potentials. *Front Hum Neurosci*. 2014; 8: 34. DOI: 10.3389/fnhum.2014.00034.
 7. Лебедева Н. Н., Зуфман А. И., Мальцев В. Ю. Система зеркальных нейронов мозга: ключ к обучению, формированию личности и пониманию чужого сознания. Успехи физиологических наук. 2017; 48 (4): 16–28.
 8. Yates L, 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*. 2020; 24 (8): 1945–59. DOI: 10.1177/1362361320936945.
 9. Heyes C, Catmur C. What Happened to Mirror Neurons? *Perspect Psychol Sci*. 2022; 17 (1): 153–68. DOI: 10.1177/1745691621990638.
 10. Hobson HM, Bishop DVM. The interpretation of mu suppression as an index of mirror neuron activity: past, present and future. *Review R Soc Open Sci*. 2017; 4 (3): 160662. DOI: 10.1098/rsos.160662.
 11. Ларионова Е. В., Гарах Ж. В., Зайцева Ю. С. Мюритм в современных исследованиях: теоретические и методологические аспекты. Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова. 2022; 72 (1): 11–35. DOI: 10.31857/S0044467722010051.
 12. Oberman LM, Hubbard EM, McCleery JP, Altschuler EL, Ramachandran VS, Pineda JA. EEG evidence for mirror neuron dysfunction in autism spectrum disorders. *Brain Res Cogn Brain Res*. 2005; 24 (2): 190–8. DOI: 10.1016/j.cogbrainres.2005.01.014.
 13. Raymaekers R, Wiersma JR, Roeyers H. EEG study of the mirror neuron system in children with high functioning autism. *Brain Res*. 2009; 1304: 113–21. DOI: 10.1016/j.brainres.2009.09.068.
 14. Fan YT, Decety J, Yang CY, Liu JL, Cheng Y. Unbroken mirror neurons in autism spectrum disorders. *J Child Psychol Psychiatry*. 2010; 51 (9): 981–8. DOI: 10.1111/j.1469-7610.2010.02269.x.
 15. Sotoodeh MS, Taheri-Torbati H, Sohrabi M, Ghoshuni M. Perception of biological motions is preserved in people with autism spectrum disorder: electrophysiological and behavioural evidences. *J Intellect Disabil Res*. 2019; 63 (1): 72–84. DOI: 10.1111/jir.12565.
 16. Hudac CM, Kresse A, Aaronson B, DesChamps TD, Webb SJ, Bernier RA. Modulation of mu attenuation to social stimuli in children and adults with 16p11.2 deletions and duplications. *J Neurodev Disord*. 2015; 7 (1): 25. DOI: 10.1186/s11689-015-9118-5.
 17. Ewen JB, Lakshmanan BM, Pillai AS, McAuliffe D, Nettles C, Hallett M, et al. Decreased modulation of EEG oscillations in high-functioning autism during a motor control task. *Front Hum Neurosci*. 2016; 10: 198. DOI: 10.3389/fnhum.2016.00198.
 18. Кайда А. И., Эйсмонт Е. В., Михайлова А. А., Павленко В. Б. Сенсомоторные ритмы ЭЭГ у детей с расстройствами аутистического спектра. Вестник РГМУ. 2020; (5): 74–81. DOI: 10.24075/vrgmu.2020.055.
 19. Hamilton AF. Reflecting on the mirror neuron system in autism: a systematic review of current theories. *Dev Cogn Neurosci*. 2013; 3: 91–105. DOI: 10.1016/j.dcn.2012.09.008.
 20. Dumas G, Soussignan R, Hugueville L, Martinerie J, Nadel J. Revisiting mu suppression in autism spectrum disorder. *Brain Res*. 2014; 1585: 108–19. DOI: 10.1016/j.brainres.2014.08.035.
 21. Friedrich EV, Sivanathan A, Lim T, Suttie N, Louchart S, Pillen S, et al. An effective neurofeedback intervention to improve social interactions in children with Autism Spectrum Disorder. *J Autism Dev Disord*. 2015; 45 (12): 4084–100. DOI: 10.1007/s10803-015-2523-5.
 22. Dunfield KA, Best LJ, Kelley EA, Kuhlmeier VA. Motivating moral behavior: helping, sharing, and comforting in young children with autism spectrum disorder. *Front Psychol*. 2019; 10: 25. DOI: 10.3389/fpsyg.2019.00025.
 23. Warneken F, Tomasello M. Altruistic helping in human infants and young chimpanzees. *Science*. 2006; 311 (5765): 1301–3. DOI: 10.1126/science.1121448.
 24. Paulus M, Kühn-Popp N, Licata M, Sodian B, Meinhardt J. Neural correlates of prosocial behavior in infancy: different neurophysiological mechanisms support the emergence of helping and comforting. *Neuroimage*. 2013; 66: 522–30. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2012.10.041.
 25. Kärtner J, Schuhmacher N, Collard J. Socio-cognitive influences on the domain-specificity of prosocial behavior in the second year. *Infant Behav Dev*. 2014; 37 (4): 665–75. DOI: 10.1016/j.infbeh.2014.08.004.
 26. Marshall PJ, Young T, Meltzoff AN. Neural correlates of action observation and execution in 14-month-old infants: An event-related EEG desynchronization study. *Dev Sci*. 2011; 14 (3): 474–80. DOI: 10.1111/j.1467-7687.2010.00991.x.
 27. Михайлова А. А., Орехова Л. С., Дягилева Ю. О., Мухтаримова Т. И., Павленко В. Б. Реактивность мю-ритма ЭЭГ при наблюдении и выполнении действий у детей раннего возраста, имеющих разный уровень развития рецептивной речи. Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова. 2020; 70 (3): 422–32. DOI: 10.31857/S0044467720030077.
 28. Wang X, Auyeung B, Pan N, Lin LZ, Chen Q, Chen JJ, et al. Empathy, Theory of Mind, and prosocial behaviors in autistic children. *Front Psychiatry*. 2022; 13:844578. DOI: 10.3389/fpsyg.2022.844578.
 29. Paulus M, Rosal-Grifoll B. Helping and sharing in preschool children with autism. *Exp Brain Res*. 2017; 235 (7): 2081–8. DOI: 10.1007/s00221-017-4947-y.

References

1. Eisenberg N, Fabes RA, Spinrad T. Prosocial development. In: Eisenberg N, Damon W, Lerner RM, editors. *Handbook of Child Psychology*. New York: Wiley, 2006; 646–718.
2. Pereverzeva DS, Gorbachevskaya NL. Nejrobiologicheskie markery rannih stadij rasstrojstv autisticheskogo spektra. *Zhurnal vysshej nervnoj deyatel'nosti im. I. P. Pavlova*. 2016; 66 (3): 289–301. DOI: 10.7868/S0044467716030102. Russian.
3. Bozhkova ED, Balandina OV, Kononov AA. Rasstrojstva autisticheskogo spektra: sovremennoe sostoyanie problemy (obzor). *Sovremennye tehnologii v medicene*. 2020; 12 (2): 111–20. DOI: 10.17691/stm2020.12.2.14. Russian.
4. Salimova KR. Nejrofiziologicheskie korrelyaty narusheniya razvitiya pri rasstrojstvah autisticheskogo spektra (RAS). *Uspеhi sovremennoj biologii*. 2021; 141 (6): 557–66. DOI 10.31857/S0042132421060065. Russian.
5. Ippolito G, Bertaccini R, Tarasi L, Di Gregorio F, Trajkovic J, Battaglia S, et al. The role of alpha oscillations among the main neuropsychiatric disorders in the adult and developing human brain: evidence from the last 10 years of research. *Biomedicines*. 2022; 10 (12): 3189. DOI: 10.3390/biomedicines10123189.
6. Orekhova EV, Stroganova TA. Arousal and attention re-orienting in autism spectrum disorders: evidence from auditory event-related potentials. *Front Hum Neurosci*. 2014; 8: 34. DOI: 10.3389/fnhum.2014.00034.
7. Lebedeva NN, Zufman AI, Mal'cev VYu. Sistema zerkal'nyh neyronov mozga: klyuch k obucheniyyu, formirovaniyu lichnosti i ponimaniyu chuzhogo soznaniya. *Uspеhi fiziologicheskix nauk*. 2017; 48 (4): 16–28. Russian.
8. Yates L, 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*. 2020; 24 (8): 1945–59. DOI: 10.1177/1362361320936945.

9. Heyes C, Catmur C. What Happened to Mirror Neurons? *Perspect Psychol Sci.* 2022; 17 (1): 153–68. DOI: 10.1177/1745691621990638.
10. Hobson HM, Bishop DVM. The interpretation of mu suppression as an index of mirror neuron activity: past, present and future. *Review R Soc Open Sci.* 2017; 4 (3): 160662. DOI: 10.1098/rsos.160662.
11. Larionova E. V., Garah Zh. V., Zajceva Yu. S. Myu-ritm v sovremennyh issledovaniyah: teoreticheskie i metodologicheskie aspekty. *Zhurnal vysshej nervnoj deyatel'nosti im. I. P. Pavlova.* 2022; 72 (1): 11–35. DOI: 10.31857/S0044467722010051. Russian.
12. Oberman LM, Hubbard EM, McCleery JP, Altschuler EL, Ramachandran VS, Pineda JA. EEG evidence for mirror neuron dysfunction in autism spectrum disorders. *Brain Res Cogn Brain Res.* 2005; 24 (2): 190–8. DOI: 10.1016/j.cogbrainres.2005.01.014.
13. Raymaekers R, Wiersma JR, Roeyers H. EEG study of the mirror neuron system in children with high functioning autism. *Brain Res.* 2009; 1304: 113–21. DOI: 10.1016/j.brainres.2009.09.068.
14. Fan YT, Decety J, Yang CY, Liu JL, Cheng Y. Unbroken mirror neurons in autism spectrum disorders. *J Child Psychol Psychiatry.* 2010; 51 (9): 981–8. DOI: 10.1111/j.1469-7610.2010.02269.x.
15. Sotoodeh MS, Taheri-Torbati H, Sohrabi M, Ghoshuni M. Perception of biological motions is preserved in people with autism spectrum disorder: electrophysiological and behavioural evidences. *J Intellect Disabil Res.* 2019; 63 (1): 72–84. DOI: 10.1111/jir.12565.
16. Hudac CM, Kresse A, Aaronson B, DesChamps TD, Webb SJ, Bernier RA. Modulation of mu attenuation to social stimuli in children and adults with 16p11.2 deletions and duplications. *J Neurodev Disord.* 2015; 7 (1): 25. DOI: 10.1186/s11689-015-9118-5.
17. Ewen JB, Lakshmanan BM, Pillai AS, McAuliffe D, Nettles C, Hallett M, et al. Decreased modulation of EEG oscillations in high-functioning autism during a motor control task. *Front Hum Neurosci.* 2016; 10: 198. DOI: 10.3389/fnhum.2016.00198.
18. Kaida AI, Eismont EV, Mikhailova AA, Pavlenko VB. EEG sensorimotor rhythms in children with autism spectrum disorders. *Bulletin of RSMU.* 2020; (5): 70–6. DOI: 10.24075/brsmu.2020.055.
19. Hamilton AF. Reflecting on the mirror neuron system in autism: a systematic review of current theories. *Dev Cogn Neurosci.* 2013; 3: 91–105. DOI: 10.1016/j.dcn.2012.09.008.
20. Dumas G, Soussignan R, Hugueville L, Martinerie J, Nadel J. Revisiting mu suppression in autism spectrum disorder. *Brain Res.* 2014; 1585: 108–19. DOI: 10.1016/j.brainres.2014.08.035.
21. Friedrich EV, Sivanathan A, Lim T, Suttie N, Louchart S, Pillen S, et al. An effective neurofeedback intervention to improve social interactions in children with Autism Spectrum Disorder. *J Autism Dev Disord.* 2015; 45 (12): 4084–100. DOI: 10.1007/s10803-015-2523-5.
22. Dunfield KA, Best LJ, Kelley EA, Kuhlmeier VA. Motivating moral behavior: helping, sharing, and comforting in young children with autism spectrum disorder. *Front Psychol.* 2019; 10: 25. DOI: 10.3389/fpsyg.2019.00025.
23. Warneken F, Tomasello M. Altruistic helping in human infants and young chimpanzees. *Science.* 2006; 311 (5765): 1301–3. DOI: 10.1126/science.1121448.
24. Paulus M, Kühn-Popp N, Licata M, Sodian B, Meinhardt J. Neural correlates of prosocial behavior in infancy: different neurophysiological mechanisms support the emergence of helping and comforting. *Neuroimage.* 2013; 66: 522–30. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2012.10.041.
25. Kärtner J, Schuhmacher N, Collard J. Socio-cognitive influences on the domain-specificity of prosocial behavior in the second year. *Infant Behav Dev.* 2014; 37 (4): 665–75. DOI: 10.1016/j.infbeh.2014.08.004.
26. Marshall PJ, Young T, Meltzoff AN. Neural correlates of action observation and execution in 14-month-old infants: An event-related EEG desynchronization study. *Dev Sci.* 2011; 14 (3): 474–80. DOI: 10.1111/j.1467-7687.2010.00991.x.
27. Mihajlova AA, Orehova LS, Dyagileva YuO, Muhtarimova TI, Pavlenko VB. Reaktivnost' myu-ritma EhEhG pri nablyudenii i vypolnenii dejstvij u detej rannego vozrasta, imeyushhiih raznyj uroven' razvitiya receptivnoj rechi. *Zhurnal vysshej nervnoj deyatel'nosti im. I.P. Pavlova.* 2020; 70 (3): 422–32. DOI: 10.31857/S0044467720030077. Russian.
28. Wang X, Auyeung B, Pan N, Lin LZ, Chen Q, Chen JJ, et al. Empathy, Theory of Mind, and prosocial behaviors in autistic children. *Front Psychiatry.* 2022; 13:844578. DOI: 10.3389/fpsyg.2022.844578.
29. Paulus M, Rosal-Grifoll B. Helping and sharing in preschool children with autism. *Exp Brain Res.* 2017; 235 (7): 2081–8. DOI: 10.1007/s00221-017-4947-y.