

УДК 612.821+616.896

НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ КОРРЕЛЯТЫ НАРУШЕНИЯ РАЗВИТИЯ ПРИ РАССТРОЙСТВАХ АУТИСТИЧЕСКОГО СПЕКТРА (РАС)

© 2021 г. К. Р. Салимова*

Московский государственный психолого-педагогический университет, Москва, Россия

**e-mail: ksalimova@yandex.ru*

Поступила в редакцию 12.07.2021 г.

После доработки 19.07.2021 г.

Принята к публикации 19.07.2021 г.

Расстройства аутистического спектра (РАС) – это большая группа нарушений психического развития, обусловленных сочетанием генетических и средовых факторов. В настоящей обзорной статье рассмотрены исследования возрастной динамики формирования ЭЭГ в норме и особенности ЭЭГ при недифференцированных формах РАС. Анализ литературы показывает, что при РАС нарушаются онтогенетические закономерности формирования паттернов ЭЭГ. Некоторые из основных проявлений аутизма, например социальную изолированность и неспособность к сопереживанию, можно объяснить нарушением работы зеркальных нейронов. В обзоре подробно обсуждаются механизмы функционирования системы зеркальных нейронов у здоровых людей и при расстройствах аутистического спектра. В контексте РАС важной является теория “модели психического”, которая также рассматривается в настоящей статье.

Ключевые слова: расстройства аутистического спектра, ЭЭГ-корреляты нормального и нарушенного развития ЦНС, система зеркальных нейронов, модель психического

DOI: 10.31857/S0042132421060065

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность научных исследований в области расстройств аутистического спектра (РАС) в настоящее время крайне высока. Это обусловлено широким распространением этих расстройств (около 1% в общей популяции) и трудностями социальной реабилитации в этой группе. Нейрофизиологические исследования детей с РАС занимают важное место в понимании патогенеза нарушения. Так как у детей с аутизмом наблюдается дефицит в эмоциональной сфере, который влечет за собой трудности социального взаимодействия, некоторые исследователи связывают нарушения при РАС с нарушением работы зеркальных нейронов (Ramachandran, Oberman, 2006). Согласно другим данным, зеркальные нейроны (ЗН) считаются нейрофизиологической основой имитации (Cole et al., 2018). Основным показателем работы системы зеркальных нейронов (СЗН) в электроэнцефалограмме (ЭЭГ) считается сенсомоторный мю-ритм. Имеется незначительное количество работ, показывающих, что у людей с РАС могут наблюдаться отклонения показателей сенсомоторного ритма от нормативных (De Vega et al., 2019).

Исходя из вышеизложенного, в статье обобщены литературные данные о нарушениях функ-

ционирования мозга при РАС, в том числе о нарушениях работы ЗН и об атипичных характеристиках ЭЭГ, а также о нейрофизиологических основах подражания; представлены данные о динамике формирования ЭЭГ в норме. Такой анализ позволит сформулировать перспективные направления исследований для изучения патогенеза РАС.

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАССТРОЙСТВ АУТИСТИЧЕСКОГО СПЕКТРА

РАС – комплексное нарушение развития, характеризующееся высокой гетерогенностью. В настоящее время выделяют большую группу несиндромальных форм РАС, которые классифицируются на основании интеллектуальных и речевых нарушений, а также синдромальные формы, патогенез которых хорошо изучен: синдром FXS и синдром Ретта (Горбачевская, Чуприков, 2017; Горбачевская и др., 2017). Считается, что до 40–50% случаев РАС обусловлены средовыми факторами: возрастом родителей, родовой травмой, ишемией и гипоксией в родах, окислительным стрессом, нейровоспалением, эндокринными нарушениями и др. (Modabbernia et al., 2017). Современные нейроанатомические исследования убе-

дительно доказывают, что в основе поведенческих нарушений при аутизме лежит патология развития головного мозга. Основные модели аутизма указывают на атипичное развитие нейронных связей между функциональными отделами мозга: чрезмерное увеличение количества связей между расположенными рядом структурами и уменьшение количества межполушарных связей (Emerson et al., 2017). Показаны нарушения связей в соматосенсорной коре, зрительной коре и в субкортикальных областях мозга при аутизме (Chen et al., 2015). У детей до трех лет обнаруживается ускоренное увеличение объема лобной коры, височной коры и миндалины, затем остановка и нейродегенерация (Courchesne et al., 2007). Тяжесть нарушений при РАС существенно варьирует, интеллектуальные нарушения отмечены в 68–90% случаев, при этом нередко люди в спектре аутизма достигают высоких результатов в области музыкального и других видов искусств и математики. Отмечено, что такие результаты наблюдаются при высокофункциональном аутизме, когда имеются нарушения в социально-коммуникативной сфере, но коэффициент интеллекта выше 70. В связи с этим адаптивность людей с высокофункциональным аутизмом также высока. Сопутствующими при РАС являются нарушения координации движений, дефицит внимания, нарушения сна и желудочно-кишечные расстройства (Sharma et al., 2018). По имеющимся данным, у мальчиков и мужчин РАС встречается в 4.5 раза чаще, чем у девочек и женщин, а также не зависит от национальности и социально-экономического положения (Masi et al., 2017). Нарушение социальной коммуникации является одной из основных характеристик и сохраняется на протяжении всей жизни человека с РАС. Сенсорный профиль, выявляющий отклонения в сенсорной сфере, изменен у 80–90% людей в спектре аутизма (Vaganek et al., 2006). Профиль психомоторного развития нарушен в 90% случаев, а уровень адаптивных навыков ниже возрастных у всех людей с РАС (Lam, Aman, 2007). Считается, что помощь ребенку на самых ранних этапах постнатального онтогенеза может существенно улучшить его социальные навыки. В связи с этим огромную значимость имеет поиск ранних нейробиологических маркеров РАС. Широкое распространение получила теория нарушения работы ЗН при аутизме (Schunke et al., 2016). Предполагается, что именно этот механизм может являться нейробиологической основой социальных и коммуникативных дефицитов. Тем не менее, прежде чем обсуждать особенности электрической активности головного мозга у детей с РАС, необходимо рассмотреть онтогенетические закономерности формирования ЭЭГ в норме.

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ МОЗГА У ДЕТЕЙ И ЕЕ ВОЗРАСТНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ

Для оценки электрической активности мозга у нормотипичных¹ детей необходимо обратить внимание на формирование выборки. Наиболее адекватным подходом, на наш взгляд, является отбор участников по объективным показателям психического и соматического здоровья, оценку которых производит группа специалистов. В исследованиях (Горбачевская, 2000; Безруких и др., 2009) было показано, что у трехлетних детей в ЭЭГ доминирует частотный компонент, отвечающий критериям зрительного альфа-ритма взрослых. В этом возрасте он локализован не только в затылочных зонах коры, но распространяется и на ассоциативные корковые зоны, что, возможно, связано с образованием коротко- и длинноаксонных внутрикорковых связей. В центральных зонах коры доминирует сенсомоторный ритм 8–9 Гц, что также по частотным характеристикам входит в формальные частотные границы этого ритма. На основании визуального анализа ЭЭГ все многообразие вариантов биоэлектрической активности у нормотипичных детей (не имеющих патологий развития, с нормативным интеллектом) сгруппировано в три основных типа ЭЭГ.

Организованный тип характеризуется доминированием альфа-ритма в затылочных зонах коры и невысоким уровнем медленноволновой активности. Он преобладает у большинства детей любого возраста, по-видимому, генетически детерминирован и сохраняется на протяжении жизни.

К *низкоамплитудному типу* относят ЭЭГ со сниженной амплитудой колебаний (меньше 30 мкВ), нередко с отдельными фрагментами разнообразной ритмической активности. Частота встречаемости этого типа в исследованной авторами популяции нормотипичных детей не превышает 10%. Этот тип так же, как и организованный тип, не претерпевает существенных изменений с возрастом, как показали лонгитюдные наблюдения (Горбачевская, Кожушко, 1990).

Особое внимание авторы обратили на *деорганизованный тип с наличием альфа-ритма*, к которому относят ЭЭГ, содержащую ритмическую альфа-активность, сочетающуюся с медленными колебаниями. Последние по индексу могут достигать 30%. Этот тип более всего представлен у детей дошкольного возраста в силу относитель-

¹ Понятие “нормотипичный” относится к детям без сопутствующих патологий развития с нормативным интеллектом. Оно противопоставляется термину “люди с РАС”, то есть люди с атипичной траекторией развития. Термин “здоровый контроль” применительно к РАС не используется, поскольку люди с РАС так же, как и другие люди, могут быть здоровы физически. Термин “нормальный” в контексте РАС также не используется в силу этических причин и уважения к людям с РАС и их семьям.

ной слабости приспособительных и компенсаторных механизмов нервной системы в этот период. Медленные колебания в затылочных зонах коры представлены довольно широко и варьируют по форме. При этом они могут достигать по амплитуде больших величин и быть представлены длительными ритмическими всплесками, что расценивается некоторыми авторами как аномальная активность (Niedermeyer, 1998).

Однако лонгитюдное исследование ЭЭГ здоровых участников в течение 10–14 лет (Горбачевская, Кожушко, 1990; Горбачевская, 2000) показало, что с возрастом по мере улучшения компенсаторных процессов происходит трансформация дезорганизованного типа в организованный у подавляющего числа участников. Авторы предположили, что повышенный уровень медленноволновой активности в затылочных зонах коры может быть связан с симптомокомплексом вертебро-базиллярной недостаточности (Пахомова, Баринаева, 1995), обусловленным нарушением кровоснабжения в основной и позвоночных артериях. Данный симптомокомплекс не выявлялся на клиническом уровне, и в старшем школьном возрасте дезорганизованный тип ЭЭГ уже не регистрировался.

В подростковом возрасте существенное влияние на ЭЭГ оказывают изменения, обусловленные половым созреванием (Крылов, Кулакова, 1981; Алферова, Фарбер, 1990). В возрасте 10–11 лет у девочек и 13–14 лет у мальчиков (3–4 стадии полового созревания) в ЭЭГ, по данным лонгитюдного наблюдения, усиливаются всплески островершинных альфа- и тета-волн, несколько повышается индекс тета-активности, более заметными становятся всплески ритмической бета-активности в лобно-центральных зонах коры. В возрасте 13–15 лет отмечено (Горбачевская, Кожушко, 1990) появление тета-активности в передних отведениях в виде ритмических колебаний частотой 6–7 Гц и существенное усиление сенсомоторного мю-ритма, что авторами связали с повышенной активностью гипоталамо-гипофизарного комплекса, так как ранее такие изменения были описаны при очаговом поражении диэнцефальных структур (Болдырева, 1978). Авторами отмечено уменьшение по мере взросления выраженности сенсомоторного ритма и восстановление “правильного” зонального распределения с отчетливым затылочным фокусом зрительного альфа-ритма. К возрасту 21 года ЭЭГ, как правило, достигает дефинитивного уровня, однако, может содержать некоторое количество дельта- и тета-колебаний в затылочных зонах коры, которые полностью исчезают только к 30 годам (Niedermeyer, 1998). Наличие такой выраженной динамики формирования разных ритмических компонентов ЭЭГ в норме может служить основой для изучения этих закономерностей у детей с нарушениями разви-

вающейся нервной системы (Горбачевская, 2000, 2011).

ЭЭГ-КОРРЕЛЯТЫ НАРУШЕНИЯ РАЗВИТИЯ ПРИ РАССТРОЙСТВАХ АУТИСТИЧЕСКОГО СПЕКТРА

Модель психического в контексте РАС

Известно, что при РАС нарушаются нормальные онтогенетические закономерности формирования ЦНС (Deidda et al., 2014). Существенное распространение получила теория нарушения работы ЗН при РАС, а также связи РАС с моделью психического (Andreou, Skrimpa, 2020).

Модель психического (theory of mind, ТоМ, модель психического состояния) описывает способность человека понимать и интерпретировать как собственные мысли, чувства и поведенческие паттерны, так и мысли, чувства и поведенческие паттерны других (Holopainen et al., 2019; Strikwerda-Brown et al., 2019). Первые представления о ТоМ связаны с работами Ж. Пиаже. В 1950-х гг. исследователи предполагали доминирование эгоцентризма в детском возрасте и рост способности к пониманию психического по мере взросления (Сергиенко и др., 2009). В 1970-х гг. появляются исследования когнитивного развития, цель которых – проникнуть в природу различных задач и возможных стратегий их решения. С 1980-х гг. до настоящего времени работы, посвященные ТоМ, касаются базовых ментальных состояний: желаний, намерений, знаний, чувств и т.д.

Несмотря на то, что понятие ТоМ не объясняет все особенности аутизма, оно имеет первостепенное значение для понимания социальных и коммуникативных дефицитов при РАС. У людей с РАС наблюдается дефицит в понимании мыслей, чувств и поведенческих паттернов других людей (Holopainen et al., 2019). Именно поэтому в психологических задачах, где оцениваются эти навыки, они чаще всего демонстрируют низкие показатели (Jones et al., 2018). Успешность детей с РАС в сложных задачах на оценку социально-коммуникативных навыков коррелирует с их социальной компетентностью. Применение навыков распознавания чувств и эмоций в повседневной жизни при РАС часто бывает снижено (Hoogenhout, Malcolm-Smith, 2017). Таким образом, несмотря на способность части детей с аутизмом в некоторой степени справляться с задачами ТоМ, они не могут в достаточной степени реализовать эти навыки в социальных ситуациях. Эти нарушения обуславливают социальные, поведенческие и коммуникативные дефициты, а также несоответствия в социальном взаимодействии и неспособность определять психическое состояние другого человека. Тем не менее, понимание поведения других людей внутри группы людей с

РАС может варьировать. Показано, что дети с РАС, которые успешно справляются с задачами на понимание ложных убеждений, считаются в большей степени социально интегрированными, по сравнению со своими сверстниками с аутизмом, которые не справляются с этими задачами (Livingston et al., 2019). Спонтанность в отношении взаимных социально-психологических сигналов у людей с РАС полностью отсутствует, даже в случае высокофункционального аутизма. Из-за социально-коммуникативных дефицитов они чаще всего не могут интерпретировать информацию, полученную от мимики других людей. При этом показано, что высокофункциональные люди в спектре аутизма все же способны каким-то образом интерпретировать психические состояния других людей на основе общей информации от выражения лица (Brewer et al., 2019).

Система зеркальных нейронов и модель психического (ТоМ)

Нейрофизиологической основой социальных и коммуникативных нарушений при РАС считается, в том числе, нарушение работы ЗН (Ramachandran, Oberman, 2006). ЗН – нейроны головного мозга, которые разряжаются как в ответ на выполнение действия, так и в ответ на наблюдения за действием. Они в основном находятся в нижней лобной извилине, премоторной коре, дополнительной моторной области, первичной соматосенсорной коре и нижней теменной коре, поэтому предполагается, что они напрямую связаны с социальными способностями и навыками у приматов и людей, включая имитацию, сочувствие, понимание мыслей и чувств, а также развитие языка (Yang et al., 2015). Имеются данные, подтверждающие существование множества областей в человеческом мозге, наделенных механизмами нейронного зеркального отражения для гибкой интеграции и дифференциации перцептивных и моторных аспектов действий, выполняемых лично и другими людьми (Rizzolatti et al., 2001). В совокупности нейроны этих областей мозга получили название системы зеркальных нейронов (СЗН). В связи с тем, что у людей с РАС наблюдаются дефициты во всех вышеупомянутых областях коры, считается, что при РАС нарушается работа СЗН (Cole et al., 2018).

Показано, что механизм, лежащий в основе активации ЗН, тесно связан со способностью к имитации и обучению на основе имитации, к имитации жестов и мимики. Нижняя лобная извилина и вентральная премоторная кора играют основную роль в имитации, что важно для проявления эмпатии на нейробиологическом уровне и отражает связь поведенческого и эмоционального развития через невербальную коммуникацию (Spunt, Adolphs, 2019). Нижняя лобная извилина

также имеет особое значение в определении намерений и целей человека, а также в передаче и восприятии эмоциональных состояний, связанных с имитацией мимики (Abu-Akel, Shamay-Tsoory, 2011; Wadsworth et al., 2018). Одна из концепций, объясняющих имитацию, – идеомоторная теория действия. В ней предполагается, что моторное действие человека является вторичным, а первичными являются цель и намерение, определяющие это действие (Iacoboni, 2009). Считается, что ЗН вовлечены в процесс социального понимания, а их работа облегчает восприятие эмоционального состояния других в результате того, что человек способен понимать свои собственные внутренние состояния и переживания. Далее будут подробно рассмотрены особенности работы СЗН в норме и при РАС.

СИСТЕМА ЗЕРКАЛЬНЫХ НЕЙРОНОВ В НОРМЕ И ПРИ РАССТРОЙСТВАХ АУТИСТИЧЕСКОГО СПЕКТРА

Общие характеристики зеркальных нейронов в норме

ЗН были открыты в 1992 г. группой итальянских ученых в экспериментах на обезьянах (Di Pellegrino et al., 1992; Rizzolatti, Craighero, 2004). Особенностью многих ЗН является то, что они кодируют как двигательные реакции, так и более сложные стимулы, связанные с восприятием движения. Первоначально такие нейроны были обнаружены в области F5 вентральной премоторной коры (Di Pellegrino et al., 1992) и нижней теменной доле (Bonini et al., 2010) головного мозга обезьяны (*Macaca nemestrina*). В настоящее время существует значительный объем данных, подтверждающих, что ЗН также присутствуют в мозге человека (Rizzolatti et al., 2001; Iacoboni, Dapretto, 2006; Mukamel et al., 2010; Molenberghs et al., 2012). Позднее было показано, что нейроны, которые реагируют как на движение, так и на наблюдение за действиями, у обезьян находятся не только в области F5. Большое скопление таких нейронов описано в коре верхней височной борозды (Jellema et al., 2000). Нейроны этой области реагируют на следующие типы движений: ходьба, поворот головы, сгибание туловища и движение рук. Небольшое количество нейронов верхней височной борозды разряжается также во время наблюдения за целенаправленными движениями рук.

В метаанализе 125 исследований (Molenberghs et al., 2012) обнаружено, что основная сеть областей мозга, которая активируется в заданиях на моторное подражание, включает в себя нижнюю лобную извилину, дорсальную и вентральную премоторную кору, а также нижнюю и верхнюю теменные доли. Эти области дополняются другими зонами, участвующими в обработке сомато-

сенсорной, слуховой и эмоциональной информации, в зависимости от задействованных сенсорных модальностей. Это значит, что области мозга, вовлеченные в имитацию, гораздо шире, чем предполагалось ранее. Также у человека при наблюдении или выполнении определенных действий “перекрывающиеся” области мозга активируются в зависимости от модальности задачи (например, зрительная, слуховая, соматосенсорная). Эти результаты согласуются с мнением (Iacoboni, Dapretto, 2006), что активность ЗН мозга выходит за рамки контроля действий и участвует в обработке информации от внешних стимулов.

Мю-ритм как коррелят активности системы зеркальных нейронов

ЭЭГ позволяет исследовать активацию мозговых структур во время наблюдения за действием или выполнения действия, в связи с чем широко используется для изучения работы СЗН. Однако в отличие от регистрации активности отдельных нейронов у приматов ЭЭГ не позволяет точно определить активность конкретных нейронов. Мю-ритм (сенсомоторный ритм) у человека регистрируется в центральных зонах коры в полосе 8–13 Гц, при этом его амплитуда уменьшается при выполнении действия (например, произвольного движения руки) (Aridan et al., 2018). Такое уменьшение амплитуды известно как десинхронизация мю-ритма.

Исследователи, изучающие активность СЗН, отметили такое же уменьшение амплитуды во время наблюдения за действием других людей. Считается, что выраженность десинхронизации мю-ритма в центральных зонах коры – показатель активации сенсомоторной коры (Hobson, Bishop, 2017). Имеются исследования, в которых показано, что мю-ритм, регистрирующийся в центральных зонах коры, – результат нейронной активности именно этих областей коры головного мозга (Pineda, 2005).

В настоящее время имеется большое количество исследований, в которых изучается активность мю-ритма при выполнении действий и при наблюдении за действиями, при этом методы оценки десинхронизации при наблюдении у разных авторов существенно различаются (Aridan et al., 2018). Анализироваться могут реакции на ряд различных стимулов, например, сжимание руки, движения всего тела, например в танце, предъявление страниц нот и другие. Расположение электродов и количество каналов регистрации ЭЭГ, в которых исследуется активность, также различаются. При таком многообразии данных возникают следующие вопросы:

1) постоянно ли присутствует десинхронизация во время наблюдения за действием?

2) отражает ли десинхронизация мю-ритма активность СЗН?

Для ответа рассмотрим следующие данные. В исследовании (Nari et al., 1997), в котором оценивалось расположение корковых источников, генерирующих мю-ритм, было выявлено, что они в основном сгруппированы вокруг центральной борозды в центральных, а также в теменных областях. Другие авторы показали, что корковые источники, лежащие в основе мю-ритма, также в основном сосредоточены в центральных и теменных областях новой коры (Thorpe et al., 2016). Важно отметить, что эти данные сходны с результатами функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ) мозга человека, с помощью которой было показано, что нейроны в центральных и теменных областях коры активируются как во время наблюдения за действием другого человека, так и во время выполнения действий самим участником исследования (Buccino et al., 2004). Основываясь на этих данных, исследователи считают десинхронизацию мю-ритма коррелятом активности СЗН у человека (Coll et al., 2017).

В подтверждение этой гипотезы проведен (Fox et al., 2016) метаанализ 85 исследований, в которых изучался мю-ритм ЭЭГ. Результаты подтвердили значительную десинхронизацию мю-ритма ЭЭГ как во время выполнения действия, так и во время наблюдения за действием. Авторы считают обоснованным, что регистрация мю-ритма во время выполнения действия и наблюдения за движением является эффективным инструментом для оценки работы СЗН у человека. При этом, хотя данные метаанализа доказывают возможность оценки СЗН с помощью ЭЭГ, авторы не выявили конкретных зон коры, в которых наблюдалась десинхронизация мю-ритма при наблюдении за действием.

Особенности системы зеркальных нейронов при расстройствах аутистического спектра

Как было описано выше, десинхронизация мю-ритма считается одним из нейрофизиологических маркеров реакций при имитации. Именно поэтому изучение особенностей СЗН позволит разобраться в механизмах, лежащих в основе дефицита имитации при РАС. Предполагаемая дисфункция СЗН при РАС влияет также на понимание действия и намерения другого человека. В частности, у людей с РАС наблюдается нарушение в восприятии движения и понимании его намерения (Praszkier, 2016).

Некоторыми исследователями показано, что при РАС изменяются типичные характеристики мю-ритма (De Vega et al., 2019). Предполагалось (Bernier et al., 2007), что при РАС нарушается способность к имитации, которая коррелирует с на-

рушением десинхронизации мю-ритма. В исследовании участвовали 14 взрослых мужчин с диагнозом РАС и 15 нормотипичных мужчин, сопоставимых по возрасту, полу и коэффициенту интеллекта, возрастной диапазон составлял 18–44 года. Эксперимент включал в себя выполнение четырех задач: 1) сидеть, положив руки на колени; 2) наблюдать за человеком, который берет в руки предмет; 3) после устной инструкции взять этот предмет так же, как это делал человек в задаче 2, на экране в этот момент демонстрируется только предмет; 4) имитировать действия человека, который брал предмет, на экране параллельно демонстрируется действие из задачи 2. Согласно полученным данным, различий в особенностях ЭЭГ между этими двумя группами при выполнении задач 1 и 3 не было выявлено. Тем не менее, для группы РАС была характерна достоверно меньшая десинхронизация мю-ритма при наблюдении за движением (задачи 2 и 4), по сравнению с нормотипичным контролем. Это подтверждает гипотезу о нарушении СЗН при РАС и, следовательно, о дефиците способности к имитации. Авторы, однако, предположили, что работа СЗН в этих случаях нарушена не полностью, поскольку способность к имитации при РАС снижена, а не полностью отсутствует. Эти результаты (Bernier et al., 2007) согласуются с данными о дефиците социальной интеграции, а также подтверждают, что нарушения имитации при РАС на ЭЭГ отражаются в нарушении десинхронизации мю-ритма (De Vega et al., 2019).

Несмотря на наличие убедительных данных в пользу нарушения работы СЗН при РАС, ряд исследователей считают эту теорию весьма спорной. В частности, оценивался (Fan et al., 2010) индекс десинхронизации мю-ритма во время наблюдения за движением/имитации движения у людей с РАС и нормотипичных людей. Участники исследования в возрастном диапазоне 10–26 лет наблюдали за статичным объектом на экране, смотрели видеозапись движения руки, смотрели видео движущейся белой точки, имитировали действие рукой, как в просмотренном видео. Авторы не выявили значимых различий между двумя группами по индексу десинхронизации мю-ритма при наблюдении за движением и при имитации. Также в этих группах отсутствовала значимая корреляция между эффективностью имитации и десинхронизацией мю-ритма, что противоречит результатам других авторов (Datko et al., 2018). Индекс мю-ритма у участников с РАС практически не отличался от такового у нормотипичных участников исследования, несмотря на то, что в группе с РАС имитация была существенно снижена. Было обнаружено, что с возрастом результаты ни в группе с РАС, ни в контрольной группе не изменялись.

В другом исследовании (Dumas et al., 2014) проверяли связь нарушения работы СЗН и десинхронизации мю-ритма у взрослых с РАС. В отличие от работ, в которых оценивали весь диапазон 8–13 Гц в центральных областях коры, авторы анализировали два поддиапазона 8–10 и 10–12/13 Гц во всех зонах коры у участников исследования с РАС и у нормотипичных участников. Полученные результаты выявили различную десинхронизацию мю-ритма в двух полосах частот между этими группами. В частности, при наблюдении за жестами в верхнем диапазоне частот было выявлено достоверное увеличение мощности мю-ритма в группе РАС, в то время как в нижнем диапазоне в обеих группах выявлено снижение мощности ритма как при наблюдении, так и при выполнении движений. Авторы предположили, что активность СЗН в группе РАС сохранена, однако нарушается нисходящая модуляция сигнала при наблюдении за движениями, и это отражается в нарушенном понимании намерений другого человека.

Таким образом, имеются доказательства того, что при РАС изменяются типичные характеристики мю-ритма. Некоторые авторы отмечают снижение десинхронизации, другие – сниженные способности к имитации, а также атипичные диапазоны мю-ритма.

ДРУГИЕ ОСОБЕННОСТИ ЭЭГ ПРИ РАССТРОЙСТВАХ АУТИСТИЧЕСКОГО СПЕКТРА

При РАС нарушаются нормальные онтогенетические закономерности формирования ЦНС, что отражается и на характеристиках ЭЭГ, при этом аномальные формы активности в ЭЭГ не занимают ведущего места в картине нарушений, полагают исследователи, проанализировавшие ЭЭГ большой группы детей с РАС (Горбачевская, Якупова, 1999). Они считают, что при этих заболеваниях изменяется нормотипичный курс онтогенетического развития отдельных частотных полос ЭЭГ и общий ЭЭГ-паттерн. Последний характеризует слаженность тормозных и возбуждающих процессов коры и степень ее функциональной активности. Для всех изученных ими форм РАС, сопровождающихся нарушением когнитивных функций, они отмечали снижение спектральной плотности альфа-ритма, особенно низкочастотных его составляющих, и повышение уровня бета-активности. Возможно, это отражает дисбаланс процессов возбуждения и торможения, связанный с нарушением в системе ГАМК-эргических нейронов (Жукова, 2016; Marotta et al., 2020). Особенности бета-ритма при РАС представляют интерес, поскольку было показано, что при наблюдении за действиями и при имитации индекс бета-ритма в центральных областях коры

также может изменяться (Pineda, 2005). По некоторым данным, группа детей с недифференцированным аутизмом характеризуется более высокой мощностью тета- и бета-ритмов, что связано с широко распространенной синхронной активностью во всей коре с максимальной амплитудой во фронтальной коре (Kozhushko et al., 2018). Однако, как было показано другими исследователями, высокий уровень тета-активности часто отмечается при синдромальных формах РАС (Горбачевская, Якупова, 1999; Горбачевская, 2011).

РАС в большинстве случаев сочетаются с когнитивными нарушениями, которые в этой группе наблюдаются в 68–90% случаев. Степень когнитивных нарушений варьирует от легкой до тяжелой, а интеллект выше среднего присутствует примерно у 5% детей с РАС (Hamner et al., 2020). Несмотря на клиническую значимость когнитивных нарушений при РАС, нейрофизиологическим коррелятам когнитивных нарушений посвящено небольшое число работ. Имеющиеся исследования спектральной мощности альфа-колебаний при РАС проведены на различающихся по возрасту и по когнитивным функциям группах. Это несоответствие привело к противоречивым результатам: было показано увеличение (Edgar et al., 2015), уменьшение (Sheikhani et al., 2012) и отсутствие изменения мощности альфа-ритма (Coben et al., 2008) в группе РАС, по сравнению с типично развивающимися сверстниками. Другие авторы сравнивали пиковую частоту альфа-ритма в группе РАС с нормой (Dickinson et al., 2018). Было выявлено, что этот показатель у детей с РАС был снижен, по сравнению с нормотипичными детьми. Более того, в группе РАС была выявлена сильная положительная корреляция пиковой альфа-частоты с баллом невербального интеллекта.

Интерес также представляют ЭЭГ-характеристики детей с высокофункциональным аутизмом и, следовательно, с улучшенными адаптационными навыками. Анализ двух групп детей с высокофункциональным аутизмом без интеллектуальных нарушений (1 – с нормативным интеллектом, 2 – с признаками одаренности) показал, что у обеих групп нарушены сроки смены доминирующего по частоте альфа-ритма, характерные для нормотипичных детей. Это отражается в более высокой частоте доминирующего альфа-ритма практически во всех исследованных возрастных периодах, а также в достоверном увеличении значений спектральной плотности в полосе частот 10–13 Гц в младшем возрасте в группе 1. Поскольку амплитудно-частотные характеристики ЭЭГ отражают процессы созревания различных зон коры, связанные с формированием новых корковых связей, то раннее включение нейронных систем, генерирующих высокочастотную ритмическую альфа-активность, может свидетельствовать о нарушении процесса их формиро-

вания. Это может происходить за счет генетических нарушений, которые влияют на деятельность нейромедиаторных систем мозга (Башина, 1999). Дети с признаками одаренности демонстрировали, напротив, выраженную задержку формирования высокочастотных компонентов альфа-ритма вплоть до возраста 12 лет (Горбачевская и др., 2010). С другой стороны, имеются морфологические данные, полученные на другой группе одаренных детей, указывающие на особенности формирования мозга у этих детей, касающиеся процессов апоптоза (программированной клеточной смерти). Данные морфологического исследования мозга показали, что в этой группе одаренных детей в возрасте до 12 лет толщина коры была меньше, чем у нормотипичных участников того же возраста (O'Reilly et al., 2017). Авторы предположили, что у этих детей могли быть усилены процессы апоптоза, что приводило к уменьшению толщины коры, по сравнению с нормотипичными участниками, но при этом существенно увеличивалось количество синаптических контактов. Именно до 12 лет, по данным этого исследования, толщина коры обратно пропорциональна уровню интеллектуального развития. После этого возраста тенденция меняется на противоположную.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время накоплено большое количество данных, которые подтверждают нарушения онтогенеза ЦНС при расстройствах аутистического спектра. Они проявляются, в том числе, в атипичных характеристиках ЭЭГ: повышенной бета-активности, а также измененных характеристиках сенсомоторного ритма (мю-ритма). Именно эти изменения связывают с особенностями, характерными для РАС: трудностями социализации, нарушениями в понимании как собственных эмоций и чувств, так и эмоций и чувств других людей, а также стереотипным поведением. Помимо триады нарушений, типичной для РАС, концепция модели психического (theory of mind) позволяет объяснить нарушения социального взаимодействия на психологическом уровне.

Поскольку при аутизме наблюдается дефицит в эмоциональной сфере, который влечет за собой трудности социальных взаимодействий, некоторые исследователи связывают особенности РАС с нарушением работы зеркальных нейронов. Считается, что зеркальные нейроны в процессе эволюции сформировались для выполнения определенных социально-когнитивных функций. Существование системы зеркальных нейронов на анатомическом уровне подтверждено у животных. Но имеется лишь одно исследование (Mukamel et al., 2010), в котором вживлялись электроды и проводилась регистрация активности ЗН чело-

века напрямую. В силу этических причин работа зеркальных нейронов человека оценивается косвенно с помощью фМРТ и ЭЭГ (по показателям мю-ритма). Перспективными для изучения нарушений при РАС могут стать грамотно спланированные исследования, учитывающие имеющиеся данные как о зеркальных нейронах, так и о специфике нарушений их функционирования.

На настоящий момент недостаточно имеющихся данных для конкретного понимания нейрофизиологических основ дефицитов при РАС. Дальнейшим шагом в изучении патогенеза РАС должно стать проведение междисциплинарных исследований, объединяющих как нейрофизиологические, так и психологические подходы к выявлению различных аспектов нарушений.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор благодарит коллег из научной лаборатории ФРЦ МГППУ за советы и дискуссии, полезные для подготовки данной статьи.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа поддержана грантом Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 20-113-50061. The work was supported by RFBR grant, project № 20-113-50061.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей и животных в качестве объектов изучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алферова В.В., Фарбер Д.А. Отражение возрастных особенностей функциональной организации мозга в электроэнцефалограмме покоя // Структурно-функциональная организация развивающегося мозга / Ред. О.С. Адрианов, Д.А. Фарбер. Л.: Наука, 1990. С. 45–65.

Башина В.М. Аутизм в детстве. М.: Медицина, 1999. 101 с.

Безруких М.М., Мачинская Р.И., Фарбер Д.А. Структурно-функциональная организация развивающегося мозга и формирование познавательной деятельности в онтогенезе ребенка // Физиол. человека. 2009. Т. 35. № 6. С. 10–24.

Болдырева Г.Н. Межцентральные отношения в коре головного мозга человека в норме и при очаговом поражении диэнцефальных структур: Автореф. дис... док. биол. наук. М.: Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, 1978. 35 с.

Горбачевская Н.Л. Особенности формирования ЭЭГ у детей в норме и при разных типах общих (первазивных) расстройств развития: Автореф. дис... док. биол. наук. М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2000. 263 с.

Горбачевская Н.Л. Возрастные особенности электроэнцефалограммы здоровых детей и подростков // Детская и подростковая психиатрия. Клинические лекции для профессионалов / Ред. Ю.С. Шевченко. М.: МИА, 2011. С. 643–658.

Горбачевская Н.Л., Кожушко Л.Ф. Динамика формирования ЭЭГ у мальчиков и девочек школьного возраста (по данным 9-летнего наблюдения) // Журн. невропатол. психиат. им. С.С. Корсакова. 1990. Т. 90. № 8. С. 75–79.

Горбачевская Н.Л., Якупова Л.П. Особенности картины ЭЭГ у больных с разными типами аутистических расстройств // Аутизм в детстве. М.: Медицина, 1999. С. 57–69.

Горбачевская Н.Л., Чуприков А.П. Синдром Ретта // Цунами детского аутизма. Медицинская и психолого-педагогическая помощь / Ред. А.П. Чуприков. М.: Гнозис, 2017. С. 81–93.

Горбачевская Н.Л., Давыдова Е.Ю., Петрова С.О. и др. Роль биологических и социальных факторов в успешности школьного обучения // Физиол. человека. 2010. Т. 36. № 3. С. 66–73.

Горбачевская Н.Л., Тюшкевич С.А., Данилина К.К. Синдром умственной отсталости, сцепленной с ломкой хромосомой X (синдром FXS) // Цунами детского аутизма. Медицинская и психолого-педагогическая помощь / Ред. А.П. Чуприков. М.: Гнозис, 2017. С. 68–80.

Жукова М.А. Особенности ЭЭГ-ритмов у людей с РАС // Психол. наука образов. 2016. Т. 21. № 3. С. 47–55.

Крылов Д.Н., Кулакова Т.П. Отражение в ЭЭГ-показателях хронического затормаживания функций мозга у детей в пубертатном возрасте // Возрастные особенности физиологических систем детей и подростков / Сб. тез. IV Всесоюз. конф. "Физиология развития человека" (Москва, 20–22 октября 1981). М.: ВНИИПМ, 1981. С. 39.

Пахомова М.П., Баринова В.С. ЭЭГ-корреляты синдрома вертебро-базиллярной недостаточности // Нейрофизиологические основы формирования психических функций в норме и при аномалиях развития. М.: Наука, 1995. С. 46.

Сергиенко Е.А., Лебедева Е.И., Прусакова О.А. Модель психического в онтогенезе человека. М.: Институт психологии РАН, 2009. 416 с.

Abu-Akel A., Shamay-Tsoory S. Neuroanatomical and neurochemical bases of theory of mind // Neuropsychologia. 2011. V. 49. P. 2971–2984.

Andreou M., Skrimpa V. Theory of mind deficits and neurophysiological operations in autism spectrum disorders: a review // Brain Sci. 2020. V. 10 (6). P. 393.

Aridan N., Ossmy O., Buaron B. et al. Suppression of EEG mu rhythm during action observation corresponds with subsequent changes in behavior // Brain Res. 2018. V. 1691. P. 55–63.

Baranek G.T., David F.J., Poe M.D. et al. Sensory experiences questionnaire: discriminating sensory features in

- young children with autism, developmental delays, and typical development // *J. Child Psychol. Psych.* 2006. V. 47 (6). P. 591–601.
- Bernier R., Dawson G., Webb S., Murias M.* EEG mu rhythm and imitation impairments in individuals with autism spectrum disorder // *Brain Cogn.* 2007. V. 64. P. 228–237.
- Bonini L., Rozzi S., Serventi F. et al.* Ventral premotor and inferior parietal cortices make distinct contribution to action organization and intention understanding // *Cereb. Cortex.* 2010. V. 20 (6). P. 1372–1385.
- Brewer R., Bird G., Gray K., Cook R.* Face perception in autism spectrum disorder: modulation of holistic processing by facial emotion // *Cognition.* 2019. V. 193. P. 1–8.
- Buccino G., Vogt S., Ritzl A. et al.* Neural circuits underlying imitation learning of hand actions: an event-related fMRI study // *Neuron.* 2004. V. 42 (2). P. 323–334.
- Chen C.P., Keown C.L., Jahedi A. et al.* Diagnostic classification of intrinsic functional connectivity highlights somatosensory, default mode, and visual regions in autism // *Neuroim. Clin.* 2015. V. 8. P. 238–245.
- Coben R., Clarke A.R., Hudspeth W., Barry R.J.* EEG power and coherence in autistic spectrum disorder // *Clin. Neurophysiol.* 2008. V. 119. P. 1002–1009.
- Cole E.J., Barraclough N.E., Enticott P.G.* Investigating mirror system (MS) activity in adults with ASD when inferring others' intentions using both TMS and EEG // *J. Autism Dev. Disord.* 2018. V. 48. P. 2350–2367.
- Coll M.P., Press C., Hobson H. et al.* Crossmodal classification of mu rhythm activity during action observation and execution suggests specificity to somatosensory features of actions // *J. Neurosci.* 2017. V. 37 (24). P. 5936–5947.
- Courchesne E., Pierce K., Schumann C.M. et al.* Mapping early brain development in autism // *Neuron.* 2007. V. 56 (2). P. 399–413.
- Datko M., Pineda J.A., Müller R.A.* Positive effects of neurofeedback on autism symptoms correlate with brain activation during imitation and observation // *Eur. J. Neurosci.* 2018. V. 47 (6). P. 579–591.
- De Vega M., Padrón I., Moreno I.Z. et al.* Both the mirror and the affordance systems might be impaired in adults with high autistic traits. Evidence from EEG mu and beta rhythms // *Autism Res.* 2019. V. 12 (7). P. 1032–1042.
- Deidda G., Bozarth I.F., Cancedda L.* Modulation of GABAergic transmission in development and neurodevelopmental disorders: investigating physiology and pathology to gain therapeutic perspectives // *Front. Cell. Neurosci.* 2014. V. 8. P. 119.
- Di Pellegrino G., Fadiga L., Fogassi L. et al.* Understanding motor events: a neurophysiological study // *Exp. Brain Res.* 1992. V. 91 (1). P. 176–180.
- Dickinson A., DiStefano C., Senturk D., Jeste S.S.* Peak alpha frequency is a neural marker of cognitive function across the autism spectrum // *Eur. J. Neurosci.* 2018. V. 47 (6). P. 643–651.
- Dumas G., Soussignan R., Hugueville L. et al.* Revisiting mu suppression in autism spectrum disorder // *Brain Res.* 2014. V. 1585. P. 108–119.
- Edgar J., Heiken K., Chen Y. et al.* Resting-state alpha in autism spectrum disorder and alpha associations with thalamic volume // *J. Autism Dev. Disord.* 2015. V. 45. P. 795–804.
- Emerson R.W., Adams C., Nishino T. et al.* Functional neuroimaging of high-risk 6-month-old infants predicts a diagnosis of autism at 24 months of age // *Sci. Transl. Med.* 2017. V. 9 (393). P. eaag2882.
- Fan Y.T., Decety J., Yang C.Y. et al.* Unbroken mirror neurons in autism spectrum disorders // *J. Child Psychol. Psychiatry.* 2010. V. 51. P. 981–988.
- Fox N., Bakermans-Kranenburg M., Yoo K. et al.* Assessing human mirror activity with EEG mu rhythm: a meta-analysis // *Psychol. Bull.* 2016. V. 142 (3). P. 291–313.
- Hamner T., Hepburn S., Zhang F. et al.* Cognitive profiles and autism symptoms in comorbid down syndrome and autism spectrum disorder // *J. Dev. Behav. Pediatr.* 2020. V. 41 (3). P. 172–179.
- Hari R., Salmelin R., Mäkelä J.P. et al.* Magnetoencephalographic cortical rhythms // *Int. J. Psychophysiol.* 1997. V. 26. P. 51–62.
- Hobson H.M., Bishop D.V.* The interpretation of mu suppression as an index of mirror neuron activity: past, present and future // *R. Soc. Open Sci.* 2017. V. 4 (3). P. 1–22.
- Holopainen A., De Veld D.M., Hoddenbach E., Begeer S.* Does theory of mind training enhance empathy in autism? // *J. Autism Dev. Disord.* 2019. V. 49 (10). P. 3965–3972.
- Hoogenhout M., Malcolm-Smith S.* Theory of mind predicts severity level in autism // *Autism.* 2017. V. 21 (2). P. 242–252.
- Iacoboni M.* Imitation, empathy, and mirror neurons // *Annu. Rev. Psychol.* 2009. V. 60. P. 653–670.
- Iacoboni M., Dapretto M.* The mirror neuron system and the consequences of its dysfunction // *Nat. Rev. Neurosci.* 2006. V. 7 (12). P. 942–951.
- Jellema T., Baker C.I., Wicker B., Perrett D.I.* Neural representation for the perception of the intentionality of actions // *Brain Cogn.* 2000. V. 442. P. 280–302.
- Jones C.R.G., Simonoff E., Baird G. et al.* The association between theory of mind, executive function, and the symptoms of autism spectrum disorder // *Autism Res.* 2018. V. 11 (1). P. 95–109.
- Kozhushko N., Nagornova Z., Evdokimov S. et al.* Specificity of spontaneous EEG associated with different levels of cognitive and communicative dysfunctions in children // *Int. J. Psychophysiol.* 2018. V. 128. P. 22–30.
- Lam K.S., Aman M.G.* The repetitive behavior scale-revised: independent validation in individuals with autism spectrum disorders // *J. Autism Dev. Disord.* 2007. V. 37 (5). P. 855–866.
- Livingston L.A., Colvert E., Bolton P., Happé F.* Good social skills despite poor theory of mind: exploring compensation in autism spectrum disorder // *J. Child Psychol. Psychiatry.* 2019. V. 60. P. 102–110.
- Marotta R., Risoleo M.C., Messina G. et al.* The neurochemistry of autism // *Brain Sci.* 2020. V. 10 (3). P. 163–182.
- Masi A., DeMayo M.M., Glozier N., Guastella A.J.* An overview of autism spectrum disorder, heterogeneity and treatment options // *Neurosci. Bull.* 2017. V. 33 (2). P. 183–193.

- Modabbernia A., Velthorst E., Reichenberg A.* Environmental risk factors for autism: an evidence-based review of systematic reviews and meta-analyses // *Mol. Autism*. 2017. V. 8. P. 13–29.
- Molenberghs P., Cunnington R., Mattingley J.* Brain regions with mirror properties: a meta-analysis of 125 human fMRI studies // *Neurosci. Biobehav. Rev.* 2012. V. 36 (1). P. 341–349.
- Mukamel R., Ekstrom A.D., Kaplan J. et al.* Single-neuron responses in humans during execution and observation of actions // *Curr. Biol.* 2010. V. 20. P. 750–756.
- Niedermeyer E.* Frontal lobe functions and dysfunctions // *Clin. Electroencephalogr.* 1998. V. 29 (2). P. 79–90.
- O'Reilly C., Lewis J.D., Elsabbagh M.* Is functional brain connectivity atypical in autism? A systematic review of EEG and MEG studies // *PLoS One*. 2017. V. 12 (5). P. 1–28.
- Pineda J.A.* The functional significance of mu rhythms: translating “seeing” and “hearing” into “doing” // *Brain Res. Rev.* 2005. V. 50. P. 57–68.
- Praszkier R.* Empathy, mirror neurons and SYNC // *Mind Soc.* 2016. V. 15. P. 21–25.
- Ramachandran V.S., Oberman L.M.* Broken mirrors: a theory of autism // *Sci. Am.* 2006. V. 295. P. 62–69.
- Rizzolatti G., Craighero L.* The mirror-neuron system // *Annu. Rev. Neurosci.* 2004. V. 27. P. 169–192.
- Rizzolatti G., Fogassi L., Gallese V.* Neurophysiological mechanisms underlying the understanding and imitation of action // *Nat. Rev. Neurosci.* 2001. V. 2. P. 661–670.
- Schunke O., Schöttle D., Vettorazzi E. et al.* Mirror me: imitative responses in adults with autism // *Autism*. 2016. V. 20 (2). P. 134–144.
- Sharma S.R., Gonda X., Tarazi F.I.* Autism spectrum disorder: classification, diagnosis and therapy // *Pharmacol. Ther.* 2018. V. 190. P. 91–104.
- Sheikhani A., Behnam H., Mohammadi M.R. et al.* Detection of abnormalities for diagnosing of children with autism disorders using of quantitative electroencephalography analysis // *J. Med. Syst.* 2012. V. 36. P. 957–963.
- Spunt R.P., Adolphs R.* The neuroscience of understanding the emotions of others // *Neurosci. Lett.* 2019. V. 693. P. 44–48.
- Strikwerda-Brown C., Ramanan S., Irish M.* Neurocognitive mechanisms of theory of mind impairment in neurodegeneration: a transdiagnostic approach // *Neuropsychiatr. Dis. Treat.* 2019. V. 15. P. 557–573.
- Thorpe S.G., Cannon E.N., Fox N.A.* Spectral and source structural development of mu and alpha rhythms from infancy through adulthood // *Clin. Neurophysiol.* 2016. V. 127. P. 254–269.
- Wadsworth H.M., Maximo J.O., Donnelly R.J., Kana R.K.* Action simulation and mirroring in children with autism spectrum disorders // *Behav. Brain Res.* 2018. V. 341. P. 1–8.
- Yang D.Y.J., Rosenblau G., Keifer C., Pelphrey K.A.* An integrative neural model of social perception, action observation, and theory of mind // *Neurosci. Biobehav. Rev.* 2015. V. 51. P. 263–275.

Neurophysiological Correlates of Impaired Development in Autism Spectrum Disorders (ASD)

K. R. Salimova*

Moscow State University of Psychology and Education, Moscow, Russia

*e-mail: ksalimova@yandex.ru

Autism spectrum disorders (ASD) is a large group of developmental disorders caused by a combination of genetic and environmental factors. It is described as a separate diagnosis in the 11th revision of the International Classification of Diseases. The forms of the disorder are distinguished based on existing intellectual and language deficits. The problem is relevant due to ASD wide spread (about 1% in the general population) and difficulties of social rehabilitation of such people. Neurophysiological studies of this heterogeneous group revealed various impairments of ontogenetic formation of EEG patterns. Some of the main autism features, such as social isolation and inability to empathize, can be attributed to dysfunctional mirror neurons. The article reviews studies of age-related formation of EEG in normal group, as well as EEG of undifferentiated ASD. It also in detail discusses mechanisms of dysfunction of mirror neuron system in these disorders.

Keywords: autism spectrum disorders, EEG correlates of normal and impaired development of CNS, mirror neuron system, theory of mind