

УДК 612.822

DOI 10.37279/2413-1725-2021-7-3-160-179

НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ВОСПРИЯТИЯ ЛИЦЕВОЙ ЭКСПРЕССИИ И ИХ ОСОБЕННОСТИ ПРИ РАССТРОЙСТВАХ АУТИСТИЧЕСКОГО СПЕКТРА

Павленко Д. В., Чуян Е. Н., Павленко В. Б.

*Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение)
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь,
Республика Крым, Россия
E-mail: pavlenkoprog@gmail.com*

В статье представлен обзор научных работ, посвященных восприятию эмоциональной лицевой экспрессии и опознанию ее валентности у нейротипичных детей и взрослых, а также индивидов с расстройствами аутистического спектра. Описаны и проанализированы основные результаты исследований в этой области, полученные с применением ай-трекинга, нейровизуализации и регистрации осцилляторной активности коры мозга. Показана важная роль системы зеркальных нейронов человека в этом процессе, а также связь нарушений ее функционирования с выраженностью симптомов аутизма. Авторы приходят к выводу, что идентификация ЭЭГ-маркеров и паттернов глазодвигательных реакций при восприятии эмоционально выразительных лиц может быть полезна для ранней диагностики нарушений развития у детей, а также для коррекции нарушений с применением тренингов на основе биологической обратной связи.

Ключевые слова: эмоциональные экспрессии лица, окуломоторная активность, расстройства аутистического спектра, ЭЭГ, система зеркальных нейронов.

ВВЕДЕНИЕ

Способность выражать свои эмоции и понимать чувства других людей имеет решающее значение для человеческого общения. Наблюдаемая эмоциональная реакция предоставляет массу информации, касающейся потребностей других людей, сообщая, радостны они или страдают, нуждаются в помощи или их следует избегать. Мы также можем собирать важную информацию о нашем собственном относительном состоянии безопасности на основе эмоциональных реакций окружающих. Если мы видим испуганного человека, то можем предположить, что, возможно, нам тоже следует проявлять бдительность в отношении потенциальной угрозы.

Одним из основных средств эмоционального общения являются выражения лица. Эмоциональная лицевая экспрессия лица признана одним из самых основных и универсальных методов передачи внутреннего аффективного состояния [1, 2]. Дефицит способности к восприятию лица и распознаванию эмоций может иметь серьезные последствия для свободного социального взаимодействия. Некоторые из

наиболее выраженных социальных дефицитов, характерных для расстройств аутистического спектра (РАС), – это снижение интереса и внимания к человеческому лицу [3]. РАС – нарушения психического развития, имеющие нейроонтогенетический характер, проявляющиеся в детстве или младенчестве [4]. К основным признакам РАС можно отнести существенные отклонения в реализации и понимании социальных взаимодействий, снижение эмпатии.

В последние два десятилетия многие исследователи придерживаются гипотезы, в соответствии с которой ряд нарушений социального поведения при РАС могут быть обусловлены дисфункцией системы так называемых «зеркальных нейронов» головного мозга человека [5–7]. Появилось много новых данных в пользу этого предположения. В связи с этим, целью данной работы явился обзор публикаций, посвященных особенностям движений глаз при восприятии выражений лица и нейрофизиологическим механизмам опознания валентности лицевой экспрессии в норме у людей разного возраста и у больных с РАС. Особое внимание уделено динамике паттерна ЭЭГ испытуемых при выполнении соответствующих задач. Поиск работ по ключевым словам (*eye tracking, autism, face emotion, emotion recognition, pupillometry, EEG*) был проведен с использованием баз научной литературы *Pubmed.com, ScienceDirect.com, SCOPUS.com, eLIBRARY.ru*.

1. Движение глаз при восприятии лиц и их особенности у больных с аутизмом

Успешное социальное взаимодействие требует распознавания тонких изменений психического состояния окружающих. Дефицит распознавания эмоций обнаруживается при многих неврологических и психических заболеваниях и часто характеризуется нарушениями траектории взора и временем его фиксации при восприятии лиц. Такие нарушения проявляются прежде всего в неспособности фиксировать взор на эмоционально информативных чертах лица [8]. Именно в момент фиксации взора мы считываем наиболее полную и точную информацию о проявлении эмоций окружающих, их намерениях и действиях.

Согласно результатам окулографических исследований с применением ай-трекера типично развивающиеся дети и здоровые взрослые для решения задачи идентификации лица неосознанно обращают внимание в первую очередь на его верхнюю часть, что проявляется в соответствующем преобладании точек фиксации. Для распознавания эмоций больше смотрят на нижнюю часть лица. Эта часть лица, особенно рот, в наибольшей степени участвует в выражении базовых эмоций (страха, удивления, радости, отвращения) [9]. В целом при рассматривании лиц и оценке их выражения в процессе социального взаимодействия выявляется т.н. треугольный паттерн движения взора (фиксации в области левого и правого глаза, носа, рта). Однако особенности движения глаз при восприятии лицевой экспрессии зависят от степени выраженности и валентности эмоций [8]. Так, для опознания ярко выраженных эмоциональных выражений самые разнообразные глазодвигательные паттерны, но при этом наибольшее внимание обращено на область рта. Идентификация проявлений самых тонких эмоций требует большей фиксации взора в области глаз, и в меньшей степени – в области носа и рта.

Исключением из этого правила является восприятие проявлений эмоции удовольствия – при любой их выраженности распознавание обеспечивается, прежде всего, вниманием к области рта.

Имеются важные различия в окуломоторной активности при восприятии и опознании лицевых эмоциональных экспрессий, предъявленных в виде статических и динамических изображений. При рассматривании фотографий наиболее продолжительное время взор направлен на область рта и зоны левого и правого глаза. Для зон носа и переносицы время рассматривания существенно ниже. При экспозиции видеозаписей структура осмотра определяется текущей динамикой мимики лица, а зонам глаз уделяется большее внимание, чем предыдущем случае [10].

Глазодвигательные паттерны при восприятии лиц демонстрируют возрастные и этнические особенности. Например, в недавнем исследовании [11], в котором в качестве испытуемых принимали участие японские и британские дети 10 и 16 месяцев, а также взрослые были выявлены следующие характеристики восприятия статичных и динамических лиц. У 10-месячных младенцев было обнаружено более высокое время фиксации взора в области глаз, чем у испытуемых других возрастов. Фиксация взора в области рта была самой высокой в 16-месячной группе. Считают, что такие возрастные особенности движения глаз могут отражать адаптивные особенности требований к обучению. Для младенцев первого года жизни в социальном обучении и раннем невербальном общении важно следить за глазами родителей. Зрительный контакт позволяет младенцам участвовать в процессах совместного внимания со взрослыми. На втором году жизни, когда малыши вступают в стадию произношения слов, повышенное внимание к области движущегося рта важно для освоения речи. Несмотря на то, что все испытуемые демонстрировали треугольный паттерн движения взора, представители восточной культуры больше, чем европейцы, обращали внимание на область носа, в то время как представители западной культуры – на область рта. Возможным объяснением данных различий считают социальные нормы, принятые в этих культурах, регламентирующие особенности коммуникации. В целом, результаты данного исследования показывают, что люди с раннего детства применяют визуальные стратегии в соответствии с их этнической принадлежностью и свидетельствуют о наличии высокоадаптивной системы обработки лиц, сформированной ранним социокультурным опытом.

Дети с РАС при восприятии лиц демонстрируют аномальные глазодвигательные паттерны. Исследования с применением ай-трекеров при предъявлении ряда статических изображений и видеозаписей неживых объектов, людей и человеческих лиц показали, что аутисты больше смотрят на объекты несоциальной природы [12–14]. В ряде исследований [12, 15, 16] у подростков с РАС по сравнению с нейротипичными индивидами была выявлена более длительная фиксация взгляда на области рта и меньшая – на области глаз. При обследовании детей в возрасте 4–6 лет с РАС [17] была обнаружена положительная корреляция между периодом времени, когда взгляд был зафиксирован на области рта и выраженностью аутистических черт, и отрицательная корреляция – со

временем, когда дети смотрели на область глаз. У аутистов в возрастной группе от 16 до 18 лет также было выявлено снижение внимания к области глаз при восприятии лиц [15, 18].

Однако не все исследования подтверждают наличие таких особенностей у больных с РАС. Как заключают Мелисса Блэк с соавторами в своем обзоре публикаций по данной теме [7], в ряде работ не удалось найти какой-либо существенной разницы в глазодвигательных паттернах людей с РАС по сравнению с контрольной группой. Только два из девяти исследований, в которых сравнивали детей с РАС и типично развивающихся детей, сообщили о снижении количества фиксаций на область глаз. Из восьми исследований с участием подростков с РАС только в половине обнаружили сниженное внимание к области глаз. Очевидно, многое зависит от характера стимулов (статические или динамические), особенностей выполняемого задания (пассивный просмотр или оценка характера эмоции и т.п.).

Интересную информацию дает пупиллометрия – регистрация размера зрачка. У детей в возрастной группе 2–5 лет с диагнозом РАС при краткосрочной демонстрации изображений с различными выражениями лиц расширение зрачка существенно ниже, чем у здоровых детей из контрольной группы, что указывает на нарушение сложных нервных процессов распознавания эмоциональной экспрессии [19].

2. Нейрофизиологические механизмы восприятия эмоциональной лицевой экспрессии, роль системы зеркальных нейронов

Важнейшую информацию о структурах ЦНС, обеспечивающих восприятие эмоциональной лицевой экспрессии и опознание ее валентности, дают функциональная магнитно-резонансная и позитронно-эмиссионная томография (фМРТ и ПЭТ). Эти методы обеспечивают высокое пространственное разрешение при выявлении мозговых центров активации. В результате удалось описать общие контуры нейробиологической организации системы восприятия лиц, выделить их основные элементы (см. обзоры [20–23]). Наиболее ранние процессы обработки информации о лицах окружающих запускаются при активации важного подкоркового звена лимбической системы – миндалевидного тела, сигналы к которому поступают напрямую от верхних бугорков четверохолмия. Таким образом происходит быстрая автоматическая (бессознательная) оценка эмоций окружающих. Параллельно с этими процессами потоки импульсов, несущих информацию о характеристиках лиц, сперва поступают из наружного коленчатого тела в первичную зрительную (стриарную) кору (зона V1). Затем, по т.н. вентральному пути, включающему ряд корковых инстанций, перерабатывающих информацию о форме объектов, в латеральную фузиформную извилину (*lateral fusiform gyrus, LFG*) и в область верхней височной борозды (*superior temporal sulcus, STS*). Нейронные сети первой из них анализируют идентичность лиц на основе их инвариантных характеристик, второй – мимику. Однако область *LFG* также активируется во время восприятия мимики, т.к. при распознавании изменчивых аспектов лица необходимо учитывать и его неизменяемые черты. Вслед за

указанными структурами активируются связанные с ними инсулярная корковая область (островок), нижнелобные и орбитофронтальные отделы лобной коры. Эти корковые области участвуют в осознании знака эмоции и контроле собственного эмоционального состояния. Таким образом, за восприятие лицевой экспрессии отвечает распределенная система корковых и подкорковых структур (их список далеко не исчерпывается уже упомянутыми). Описанные выше процессы латерализованы: левое полушарие, в большей степени вовлеченное в аналитические процессы, демонстрирует преобладающую активацию при выполнении задач на узнавание знакомых лиц, правое, обеспечивающее целостное восприятие, – при задачах на различение их эмоциональной окраски. Однако, если при опознании лицевой экспрессии необходимо дать вербальный ответ, особенно при необходимости сознательной оценки сложного сочетания эмоций, дополнительно активируется левое полушарие [24].

Важную и в значительной степени уникальную роль в анализе нейрофизиологических механизмов восприятия лицевой экспрессии играют также исследования с применением регистрации ЭЭГ или магнитоэнцефалографии (МЭГ). Анализ ЭЭГ и МЭГ, по сравнению с фМРТ и ПЭТ, обеспечивает более высокое временное разрешение, имеет меньше ограничений в исследованиях с участием детей, а также более позволяет проводить исследования в условиях близких к естественным. Процесс восприятия лиц с различной эмоциональной окраской сопровождается генерацией связанных с событием ЭЭГ-потенциалов [21, 7]. Однако экспериментальная парадигма регистрации таких потенциалов далека от жизненных ситуаций (неэкологична), т.к. требует многократного предъявления одних и тех же статичных изображений. Регистрация динамики ритмов ЭЭГ может применяться и при однократном предъявлении стимулов, а также при использовании динамических видеопрезентаций. Особую роль сочетание методов функциональной нейровизуализации и регистрации ЭЭГ, как взаимодополняющих друг друга, сыграло в анализе участия системы зеркальных нейронов (СЗН) человека при восприятии и опознании выражений лица.

Восприятие выражения лица обеспечивает понимание эмоционального состояния другого человека [25]. Теории имитации или симуляции (*simulation theories*) предполагают, что наблюдение за мимическими движениями окружающих активирует сенсомоторные репрезентации наблюдателя, участвующие в создании этих движений, что и помогает распознавать выражение лиц [26]. Исследования на обезьянах предоставили первое свидетельство механизма нейронного картирования, связывающего восприятие действия с его корковой моторной репрезентацией [23]. Т.н. «зеркальные нейроны» были впервые обнаружены в премоторной коре головного мозга обезьяны-макаки и представляют собой класс нейронов, которые активируются как во время выполнения действия, так и во время наблюдения за подобным действием. Данные исследований с использованием различных методов (фМРТ, ЭЭГ, записи с помощью глубоких электродов) подтверждают существование гомологичной СЗН у человека [27]. Ее основными центрами являются: нижняя и верхняя теменные доли (париетальный центр СЗН); нижняя лобная извилина и вентральная премоторная кора (фронтальный центр СЗН). Хотя

нейроны STS и не разряжаются при собственной двигательной активности, эта структура обеспечивает визуальный вход к указанным областям неокортекса, анализирует и передает информацию о биологических движениях и ее также включают в состав зеркальной системы [28].

На основе концепции СЗН была предложена схема функционирования нейрофизиологического механизма, лежащая в основе восприятия выражений лица. Как предполагается теориями имитации, при наблюдении за эмоциональной экспрессией другого человека у наблюдателя должны активироваться аналогичные нейронные процессы [29–31]. Действительно, в одном из первых исследований в этой области с применением фМРТ [32] и во время восприятия, и во время имитации эмоциональных выражений лиц у взрослых и типично развивающихся детей 10–14 лет наблюдали обширную двустороннюю активацию стриарной коры, первичных моторных и премоторных областей, лимбических структур (миндалины, островка и вентрального стриатума) и мозжечка. Также выявлялась повышенная двусторонняя активность в *pars opercularis* и *pars triangularis* нижней лобной извилины (поля 44 и 45 Бродмана, что соответствует ЭЭГ-отведению F8 [33]), более выраженная в правом полушарии.

Выражения лица включают как моторные, так и эмоциональные компоненты. Эти аспекты обрабатываются отдельными, но связанными зеркальными системами, которые работают вместе, чтобы способствовать распознаванию выражения лица. Наблюдение, имитация и исполнение эмоциональных и неэмоциональных выражений лица приводят к наложению паттернов нейронной активации, активируются одни и те же области мозга, однако восприятие и имитация эмоциональных реакций, по сравнению с неэмоциональными движениями вызывают значительно большую активацию в таких областях, как STS, медиальная височная и нижняя лобная извилины, дополнительная моторная область на внутренней поверхности полушарий, миндалина, островок [34]. Островок отводит особую роль во внутреннем переживании эмоций окружающих. Было высказано предположение, что нейронные сети данного участка коры связывает фронтальный компонент СЗН с лимбической системой, обеспечивая отображение наблюдаемого выражения на внутренние эмоциональные репрезентации. Это позволяет переводить наблюдаемое или имитируемое выражение лица в собственное эмоциональное состояние, внутренне прочувствовать эмоциональную значимость внешних проявлений чувств собеседника [23, 32, 35, 36].

Продукция, восприятие и опознание разных эмоциональных выражений лица активирует и разные зоны неокортекса. Используя фМРТ группа авторов из ФРГ [30] выявила, что при восприятии и генерации счастливого выражений лица (улыбки) возникает специфическая активация СЗН в правом височном полюсе. Ранее было установлено, что правая височная область важна для понимания внутреннего мира другого человека (гипотетический конструкт *«theory of mind»*) [37], а пациенты с повреждением височного полюса демонстрируют нарушение социального поведения, а также дефицит эмоциональной мимики [38]. Височный полюс анатомически и функционально взаимосвязан с миндалевидным телом, гиппокампом и островком. Также указанная выше группа [30] обнаружила

специфическую нервную активацию в *pars opercularis* левой нижней лобной извилины и мозжечке (билатерально) при формировании и восприятия гневного выражения лица. Известно, что указанные структуры активируются в условиях наблюдения и распознавания нарушения социальных норм [39]. Таким образом, это является дополнительным свидетельством, что отражение лицевой экспрессии окружающих людей в тех отделах мозга, которые отвечают за генерацию собственных эмоций, может поддерживать наше понимание ментальных или эмоциональных состояний других индивидов.

Нужно, однако учитывать, что пространственная локализация нейронного субстрата эмоций, в том числе СЗН, является весьма относительной. Согласно мета-анализу результатов фМРТ и ПЭТ [24], каждая конкретная эмоция обеспечивается активацией не только специализированных по отношению к ней областей мозга, но и областей, участвующих в генерации и восприятии других эмоций. Например, миндалевидное тело, которое имеет обширные связи как с кортикальными, так и с подкорковыми областями, широко вовлекается в восприятие и опознание эмоциональных состояний различной валентности, а также в процессы внимания и принятия решений.

Особый интерес представляет анализ изменений мощности мю-ритма ЭЭГ. Известно, что мощность данного ритма падает при выполнении или представлении собственных движений. Однако, поскольку снижение мощности мю-ритма также наблюдается, когда нервная система человека обрабатывает зрительную или слуховую информацию, поступающую при восприятии движений других людей, его динамика считается индикатором состояния СЗН (см. обзоры [40, 41]). Отметим, что в соответствии с рекомендациями [42], принято использовать термин «десинхронизация» мю-ритма, когда его мощность значительно снижается по сравнению с исходным, базовым периодом, «синхронизация» – когда мощность растет и «супрессия», когда мощность мю-ритма значительно снижается в разных условиях, но не обязательно ниже базовой линии. Десинхронизация и супрессия мю-ритма соответствует активации СЗН человека, синхронизация – торможению ее активности.

Одной из первых работ, где изучалась динамика мю-ритма ЭЭГ при восприятии эмоций, явилось исследование группы авторов из университета Калифорнии [43]. В ответ на предъявление черно-белых статичных изображений счастливых и выражающих отвращение лиц была обнаружена десинхронизация мю-альфа-ритма (8–13 Гц) в центральных отведениях. В правом полушарии динамика мощности мю-ритма при восприятии лиц с разным выражением значимо отличалась: наибольшая десинхронизация в ответ на лица, выражающие отвращение, развивалась через 500 мс, а на счастливое выражение лица – через 600–1500 мс после предъявления стимула. Авторы пришли к выводу, что результаты исследования подтверждают обработку эмоциональной лицевой экспрессии лица на основе механизма сенсомоторного зеркального отражения, причем восприятие отрицательных эмоций происходит быстрее, чем положительных. В последующей работе те же авторы [44] предъявляли видеозаписи с девятью разными выражениями лица, давая задания либо просто наблюдать, либо опознать и назвать эмоции. Десинхронизация мю-

ритма в последнем случае была более выражена, чем при простом наблюдении. Применение электромагнитной томографии низкого разрешения (*sLORETA*) выявило наибольшую супрессию мю-ритма в прецентральной извилине правого полушария и в нижней части теменной доли левого полушария. Авторы считают, что подавление мю-ритма связано участием СЗН человека в восприятии и классификации эмоций по выражению лица.

Работа авторов из Великобритании показала связь между активностью СЗН и особенностями личности, определяющими социальное взаимодействие [45]. Участниками исследования были взрослые здоровые люди с разной выраженностью аутистических черт: отчужденностью, проблемами в поддержании разговора, ригидностью. Анализировали связанную с событием десинхронизацию мю-бета- (12–20 Гц) и мю-альфа- (8–12 Гц) ритмов в центральных отведениях, предположительно отражающую активацию зеркальных нейронов в моторной и соматосенсорной коре, соответственно. Испытуемые с низким уровнем выраженности аутистических черт при восприятии видеозаписей счастливых лиц демонстрировали большую десинхронизацию мю-бета-ритма по сравнению с испытуемыми с высокой выраженностью таких черт. Авторы исследования предполагают, что такие особенности динамики ЭЭГ отражают снижение активации СЗН при восприятии счастливых лиц у людей с высоким уровнем аутистических черт. У испытуемых с выраженными аутистическими чертами выявили большую десинхронизацию указанного ритма в ответ на видеозаписи мимики сердитого лица. Вероятно, их СЗН более чувствительна к мимике, сопровождающей отрицательные эмоции.

В качестве контрольных изображений часто используют либо статичные неэмоциональные лица, либо неэмоциональные движения лица (открытие и закрытие рта, движения губ). Обнаружено, однако, что восприятие нейтрального или неопределенного выражения лица может вызывать даже большую десинхронизацию мю-ритма, чем четко выраженная эмоция удовольствия или печали [46]. В другой работе [47] показано, что вопреки ожиданию, изображения грустных лиц со слезами вызывают меньшую супрессию мю-ритма в центральных отведениях, чем изображения грусти без слез или радостных лиц со слезами. По мнению авторов обоих исследований, результаты анализа динамики мю-ритма ЭЭГ могут указывать на то, что ограниченная доступность эмоциональной информации при нейтральном или неопределенном состоянии лица требует большей активации СЗН при расшифровке информации, связанной с эмоциями, чем полноценные счастливые или грустные выражения, которые легче распознать. В то же время, когда информация об эмоциях представлена с высокой интенсивностью, когнитивная задача распознавания может не требовать активации СЗН, что приведет к отсутствию или уменьшению супрессии мю-ритма.

В последние годы растет признание важности осцилляций разных частотных диапазонов ЭЭГ в обеспечении нейронной коммуникации внутри функциональных нейронных сетей и между ними (см. обзор [48]). Лица, выражающие эмоции, вызывают в затылочно-теменных областях более сильную дельта-синхронизацию, чем восприятие лиц с нейтральным выражением. Еще более тесно связана с

восприятием эмоциональной лицевой экспрессии динамика тета-диапазона ЭЭГ. Предполагается, что ранняя тета-синхронизация (150–250 мс), развивающаяся в теменных и затылочных областях, отражает начальное кодирование эмоционально значимой сенсорной информации, более поздняя лобно-центральная тета-синхронизация (250–300 мс) соответствует дальнейшей обработке сенсорной информации при ее сопоставлении с внутренними представлениями. Кроме того, выполнение задач на различение эмоций на фотографиях лиц приводит к усилению когерентности тета-ритма между теменной областью и другими корковыми регионами правого полушария [49]. Усиление тета-синхронизации способствует взаимодействию между областями мозга, участвующими в раннем обнаружении и интеграции эмоциональных выражений лица. Кроме того, известно, что повышение синхронизации в диапазоне тета-ритма ЭЭГ отражает кодирование и декодирование информации при обращении к ресурсам памяти. Наиболее выражена синхронизация тета-ритма у индивидов с высокими показателями эмоционального интеллекта [50].

Обнаружена также повышенная гамма-синхронизация в миндалине при восприятии выражения страха по сравнению с нейтральным выражением лица [48]. Ранний временной характер гамма-синхронизации (50–150 мс) подтверждает наличие подкоркового пути, участвующего в быстром обнаружении эмоционально значимых черт лица. Гамма-синхронизация также наблюдалась над префронтальной корой на более поздней стадии эмоционального восприятия лица. Считается, что, гамма-синхронизация отражает облегчение взаимодействия эмоционально окрашенной информации в таких областях, как префронтальная кора, STS и миндалевидное тело.

3. Восприятие эмоциональной лицевой экспрессии у детей и его нейрофизиологические механизмы

Обработка эмоционального выражения лица особенно важна на ранних этапах развития ребенка, поскольку благодаря ей маленькие дети приобретают социальные и коммуникативные навыки. Прежде чем овладеть речью, младенцы понимают эмоции других преимущественно посредством «чтения» лиц, что продолжает играть решающую роль во время социальных взаимодействий на протяжении всего детства. Восприятие эмоциональной лицевой экспрессии и опознание ее валентности обычно проявляется у детей в возрасте от пяти до семи месяцев в распознавании шести относительно простых эмоций (счастья, грусти, страха, гнева, отвращения, удивления) [7, 51]. Способность к различению выражений лица уже достаточно хорошо развита к концу первого года жизни, но умение точно распознавать различные эмоционального выражения постепенно развивается на протяжении всего детства. Объем фузиформной извилины и функциональная связность других участков коры, отвечающих за восприятие лиц, увеличивается с возрастом. Это увеличение коррелирует с улучшением распознавания лиц и их выражений. В три года дети уже могут не только различить, но назвать основные эмоции, отраженные на лице человека. К десяти годам дети, когда их просят сопоставить нейтральные, удивленные, счастливые выражения лиц, а также выражение отвращения, выполняют задания так же успешно, как и взрослые.

Однако более сложные эмоции (такие как ревность или вина) отличаются тем, что они в большей степени зависят от контекста, связаны с развитием конструкта «*theory of mind*» и принятием решений на основе убеждений. Учитывая возросшую сложность этих эмоций, их обработка достигает зрелости значительно позже, в подростковом и взрослом возрасте. Наконец, следует отметить, что во всех возрастных группах испытуемые женского пола обладают в распознавании эмоциональных выражений некоторым преимуществом по сравнению с мальчиками и мужчинами.

Активация СЗН во время наблюдения и генерации мимических реакций проявляется уже в раннем детстве. Так у детей в возрасте 30-ти месяцев выявлена десинхронизация мио-ритма в левом и правом полушариях (локусы С3и С4) во время выполнения движений лица, не связанными с эмоциями, и наблюдения за подобными движениями. Для эмоциональной экспрессии десинхронизация была правосторонней, что соответствовало концепции доминирования правого полушария при эмоциональной обработке лица [52]. Вероятно, благодаря развитию СЗН дети этого возраста становятся более способными к чтению психических состояний и эмоций других, начинают проявлять больше сочувствия по отношению к родителям и сверстникам. У более старших детей (10–12 лет) паттерн изменений мио-ритма, и, следовательно, активации СЗН при восприятии мимики аналогичен таковому у взрослых [32].

4. Нарушения нейрофизиологических механизмов восприятия эмоциональной лицевой экспрессии при расстройствах аутистического спектра

Многочисленные поведенческие проблемы больных с РАС частично объясняются трудностями в распознавании эмоций других людей на протяжении всей траектории развития. Исследования указывают на межкультурное проявление таких проблем, что свидетельствует об их универсальном характере в популяции больных с РАС [53]. Однако в представлениях о степени нарушения распознавания лицевой экспрессии у аутистов имеются противоречия. Исследования одних авторов показали, что в задачах распознавания выражений лица индивиды с РАС не отличаются от своих типично развивающихся сверстников [54], в то время как большинство авторов заключает, что по крайней мере часть аутистов испытывает серьёзные трудности с распознаванием эмоций [7, 55]. Противоречия могут объясняться демографическими характеристиками участников исследований (различиями в возрасте, интеллектуальных способностях) или сопутствующими заболеваниями. Другие возможные объяснения указывают на компенсаторные стратегии, используемые людьми с РАС, которые устраняют некоторые проявления неврологических нарушений [32].

Было обнаружено, что дети с РАС хуже различают разные эмоциональные выражения на фотографиях. Они имеют более низкую правую фронтальную тета-когерентность по сравнению со здоровыми детьми 8–18 лет и не показывают такого же увеличения тета-когерентности, наблюдаемого у типично развивающихся детей в ответ на эмоциональные лица по сравнению с нейтральными лицами. Кроме того, дети с более низкой тета-когерентностью, по-видимому, имели более выраженную

симптоматику аутизма [56]. У взрослых больных, страдающих РАС, в отличие от нейротипичных людей, выполнение задач на различение эмоций на фотографиях лиц не приводит к усилению когерентности тета-ритма между теменной областью и другими корковыми регионами правого полушария [49]. Предполагают [49, 56], что сниженная тета-синхронизация может указывать на нетипичную связь между нейронными сетями, включающими миндалину и гиппокамп, что приводит к менее эффективному кодированию новой информации и извлечения из памяти образов эмоциональных выражений лиц. Постулировали [49], что наблюдаемое сокращение мощности в тета- и дельта-диапазонах ЭЭГ у людей с РАС может указывать на нарушение автоматической обработки эмоций, в то время как повышенная альфа- и бета- десинхронизация в теменно-затылочной области могут отражать усиление сознательного контроля над визуальной обработкой. Изменение динамики альфа- и бета-ритмов свидетельствует, вероятно, об использовании стратегий, компенсирующих слабые стороны автоматических процессов распознавания эмоций.

Нужно отметить, что для больных с РАС вообще характерна пониженная функциональная связность между отдаленными регионами мозга при локальной гиперсвязности (см. обзор [3]). В этом контексте особый интерес представляет серия работ группы исследователей из Канады [57–59], в которых анализировали функциональную связность областей мозга при восприятии лиц. В экспериментах участвовали типично развивающиеся дети и дети с РАС. Использовали неявное предъявление эмоционального стимула: кратковременную (80 мс) экспозицию изображения счастливого или гневного лица параллельно с целевым объектом (скремблированное изображение), что вовлекало бессознательные, автоматизированные механизмы обработки эмоциональной экспрессии. Регистрация МЭГ показала, что у детей с РАС в возрасте 12–15 лет фазовая синхронизация бета-ритма в распределенной сети, включающей правую веретенообразную извилину и островок, при восприятии гневных выражений лиц в первые 400 мс после предъявления стимулов была снижена по сравнению с показателями контрольной группы сверстников [57]. Уменьшение бета-синхронизации может отражать неадекватное привлечение релевантных для задачи нейронных сетей во время эмоциональной обработки лица при РАС. В альфа-диапазоне у детей с РАС в возрасте 7–10 лет в ответ на аналогичные стимулы выявлена сеть повышенной фазовой синхронизации [59]. Эта сеть включала левую *LFG*, правую островковую кору и лобные области. На основании полученных результатов авторы исследования приходят к выводу, что обработка семантической информации о счастливых лицах у детей с РАС требует контроля, направленного сверху вниз. Таким образом, повышенная фазовая синхронность альфа-диапазона может указывать на неадекватное восприятие счастливых лиц на бессознательном уровне и компенсаторное вовлечение мозговых механизмов более высокого уровня.

Нарушение связности между мозговыми центрами, анализирующими выражения лиц лежит в основе необычного паттерна активации у детей с РАС. Анализ результатов фМРТ [58] выявил у типично развивающихся детей большую активацию правой височной области в ответ на экспозицию гневных лиц. В отличие

от них дети с РАС демонстрировали во фронтальной и височной областях большую активацию при предъявлении счастливых лиц, что свидетельствует о том, что они не воспринимали гневные лица как необычные, в отличие здоровых сверстников. По мнению канадских исследователей, сниженная нейронная активация в отношении сердитых лиц по сравнению со счастливыми лицами у детей с РАС предполагает пониженную чувствительность к проявлениям эмоции гнева у окружающих, что, в свою очередь, может способствовать дефициту социального познания при РАС.

Ряд авторов [7, 6] высказывает предположение, что каскад нарушений, характерных для РАС, включая дефицит имитации, недостаточное развитие конструкта «*theory of mind*» и социальной коммуникации может быть обусловлен дисфункцией СЗН. Действительно, в пользу этого предположения может свидетельствовать отсутствие или снижение десинхронизации мю-ритма у больных с РАС при наблюдении за разного рода действиями окружающих [6]. В перечне таких действий находятся и мимические реакции. Как отмечалось выше, описана нейронная сеть, в которой островок действует как интерфейс между фронтальным компонентом СЗН и лимбической системой, что позволяет индивиду переводить наблюдаемое или имитируемое выражение лица в собственное эмоциональное состояние, внутренне прочувствовать значимость внешних проявлений эмоций окружающих. Исследователи из Калифорнийского университета [32] наблюдали активацию миндалины, зрительной коры, премоторных и моторных областей представительства лица в группе 10–12 летних детей с РАС, сходную с таковой у контрольной группы здоровых детей. Такая активация указывает, что дети с РАС действительно обращали внимание на раздражители и имитировали выражения лиц. Однако, в отличие от типично развивающихся детей, группа РАС не показала «зеркальной» активности в *pars opercularis* нижней лобной извилины. Поскольку механизм зеркального отражения, по-видимому, не полностью задействован у детей с РАС, им приходится использовать альтернативную стратегию дополнительной активации внимания, при которой эмоциональное значение выражения лица, вероятно, не переживается внутренне.

Активация СЗН может вызывать непровольные собственные мимические реакции (феномен эмоциональной мимикрии). Такие реакции являются одним из механизмов, поддерживающих и укрепляющих отношения в группе. Пациенты с аутизмом сталкиваются с проблемами в общении с окружающими из-за отсутствия этой спонтанной мимики, что также приводит к трудностям при установлении контакта с другими людьми [61].

Таким образом, атипичные паттерны активности мю-ритма, обнаруженные у людей с высокой симптоматикой аутизма, свидетельствуют в пользу предположения, что недостаточная активность СЗН, участвующей в понимании действий, может способствовать нарушению восприятия и генерации эмоциональной лицевой экспрессии при РАС и, как следствие, драматически затрудняют социальное взаимодействие.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ данных литературы свидетельствует об успешности применения методов ай-трекинга, нейровизуализации (фМРТ и ПЭТ), а также регистрации ЭЭГ в изучении механизмов восприятия эмоциональной лицевой экспрессии. В последние два десятилетия показана важная роль «зеркальных нейронов» в этом процессе у детей и взрослых, а также связь нарушений функционирования СЗН с симптомами РАС. Особенности глазодвигательных паттернов и осцилляторной активности неокортекса, выявленные при обработке изображений эмоционально выразительных лиц, могут оказаться ценными маркерами с точки зрения ранней диагностики РАС и иных нарушений развития. Важно отметить, что идентификация ЭЭГ-маркеров и паттернов глазодвигательных реакций у здоровых людей и индивидов с РАС может стать основой разработки эффективных методов коррекции развития детей на основе тренингов с применением биологической обратной связи. Такие тренинги могут помочь людям с РАС повысить их способность воспринимать и распознавать эмоции и как следствие, улучшить их социальное взаимодействие с окружающими.

Работа выполнена на оборудовании ЦКП ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского» «Экспериментальная физиология и биофизика».

Список литературы

1. Ekman P. Facial expressions of emotion. / P. Ekman, H. Oster // Annual Reviews in Psychology. – 1979. – Vol. 30. – P. 527–554.
2. Somerville L. H. Behavioral and neural representation of emotional facial expressions across the lifespan / L. H. Somerville, N. Fani, E. B. McClure-Tone // Dev. Neuropsychol. – 2011. – Vol. 36, No 4. – P. 408–28.
3. 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 (73), №. 1. – С. 124–140.
4. Симашкова Н. В. Расстройства аутистического спектра: диагностика, лечение, наблюдение / Н. В. Симашкова, Е. В. Макушкин // Москва: ФГБУ «Федеральный медицинский исследовательский центр психиатрии и наркологии им. В. П. Сербского» Минздрава России, 2015. – 50 с.
5. Williams J. H. Imitation, mirror neurons and autism / J. H. Williams, A. Whiten, T. Suddendorf, D. I. Perrett // Neurosci. Biobehav. Rev. – 2001. – Vol. 25, No 4. – P. 287–295.
6. Oberman L. M. The simulating social mind: the role of the mirror neuron system and simulation in the social and communicative deficits of autism spectrum disorders / L. M. Oberman, V. S. Ramachandran // Psychol. Bull. – 2007. – Vol. 133, No 2. – P. 310–327.
7. Black M. H. Mechanisms of facial emotion recognition in autism spectrum disorders: Insights from eye tracking and electroencephalography / M. H. Black, N. T. Chen, K. K. Iyer // Neurosci. and Biobehav. Rev. – 2017. – Vol. 80. – P. 488–515.
8. Vaidya A. R. Eye spy: the predictive value of fixation patterns in detecting subtle and extreme emotions from faces / A. R. Vaidya, C. Jin, L. K. Fellows // Cognition. – 2014. – Vol. 133, No 2. – P. 443–456.
9. Malcolm G. L. Scan patterns during the processing of facial expression versus identity: An exploration of task driven and stimulus-driven effects / G. L. Malcolm, L. J. Lanyon, A. J. B. Fugard // Journal of vision – 2008. – Vol. 8, No 2. – P. 1–9.

10. Барабанщиков В. А. Окуломоторная активность при восприятии динамических и статических выражений лица / В. А. Барабанщиков, А. В. Жегалло // *Экспериментальная психология*. – 2018. – Т. 11, № 1. – С. 5–34.
11. Haensel J. X. Cultural influences on face scanning are consistent across infancy and adulthood / J. X. Haensel, M. Ishikawa, S. Itakura // *Infant Behav. Dev.* – 2020. – Vol. 61 (Epub.).
12. Klin A. Visual fixation patterns during viewing of naturalistic social situations as predictors of social competence in individuals with autism / A. Klin, W. Jones, R. Volkmar, D. Cohen // *Archives of general psychiatry*. – 2002. – Vol. 59, No 9. – P. 809–816.
13. Riby D. Viewing it differently: Social scene perception in Williams syndrome and Autism / D. Riby, P. Hancock // *Neuropsychologia*. – 2008 – Vol. 46. – P. 2855–2860.
14. Дягилева Ю. О. Особенности движений глаз у детей раннего возраста с расстройством аутистического спектра при зрительном восприятии социально значимых стимулов / Ю. О. Дягилева, А. С. Котович, Л. С. Орехова, А. А. Михайлова, В. Б. Павленко // *Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия*. – 2017. – Т. 3 (69). – № 3. – С. 21–28.
15. Dalton K. M. Gaze fixation and the neural circuitry of face processing in autism / K. M. Dalton, B. M. Nacewicz, T. Johnstone, H. S. Schaefer, M. A. Gernsbacher, H. H. Goldsmith, A. L. Alexander, R. J. Davidson // *Nature Neuroscience* – 2005. – Vol. 8, No 4. – P. 519–526.
16. White S. Fear of negative evaluation influences eye gaze in adolescents with autism spectrum disorder: a pilot study / S. White, B. Maddox, R. Panneton // *J. Autism Dev. Disord.* – 2015. – Vol. 45, No 11. – P. 3446–3457.
17. Falck-Ytter T. Face scanning distinguishes social from communication impairments in autism / T. Falck-Ytter, E. Fernell, C. Gillberg, C. Hofsten // *Dev. Sci.* – 2010. – Vol. 13, No 6. – P. 864–875.
18. Tottenham N. Elevated amygdala response to faces and gaze aversion in autism spectrum disorder / N. Tottenham, M. Hertzog, K. Gillespie-Lynch, T. Gilhooly, A. Millner, B. Casey // *Soc. Cognit. Affect. Neurosci.* – 2014. – Vol. 9, No 1. – P. 106–117.
19. Nuske H. Pupillometry reveals reduced unconscious emotional reactivity in autism / H. Nuske, J. Vivanti, K. Hudry, C. Dissanayake // *Biol. Psychol.* – 2014. – Vol. 101, No 1. – P. 24–35.
20. Adolphs R. Recognizing emotion from facial expressions: psychological and neurological mechanisms / R. Adolphs // *Neurosci. Rev.* – 2002. – Vol. 1, No 1. – P. 21–62.
21. Михайлова Е. С. Нейробиологические основы опознания человеком эмоций по лицевой экспрессии / Е. С. Михайлова // *Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова*. – 2005. – Т. 55, № 2. – С. 149–162
22. Dekowska M. Facing facts: neuronal mechanisms of face perception / M. Dekowska, M. Kuniecki, P. Jaśkowski // *Acta Neurobiol. Exp. (Wars.)*. – 2008. – Vol. 68, No 2. – P. 229–252.
23. Риццоллатти Д. Зеркала в мозге: О механизмах совместного действия и сопереживании / Д. Риццоллатти, К. Синигалья. – Москва: Языки славянских культур, 2012. – 222 с.
24. Xu P. Facial expression recognition: A meta-analytic review of theoretical models and neuroimaging evidence / P. Xu, S. Peng, Y. Luo, G. Gong // *Neurosci. and Biobeh. Rev.* – 2021. – Vol. 127 – P. 820–836.
25. Decety J. From emotion resonance to empathic understanding: A social developmental neuroscience account / J. Decety, M. Meyer // *Development and Psychopathology* – 2008– Vol. 20, No 4. – P. 1053–1080.
26. Adolphs R. How do we know the minds of others? Domain-specificity, simulation, and enactive social cognition / R. Adolphs // *Brain Res.* – 2006– Vol. 1079, No 1. – P. 25–35.
27. Molenberghs P. Brain regions with mirror properties: a meta-analysis of 125 human fMRI studies / P. Molenberghs, R. Cunnington, J. B. Mattingley // *Neurosci. Biobehav. Rev.* – 2012. – Vol. 36, No 1. – P. 341–349.
28. Keysers C. Demystifying social cognition: a Hebbian perspective / C. Keysers, D. I. Perrett // *Trends Cogn. Sci.* – 2004. – Vol. 8, No 11. – P. 501–507.
29. Gallese V. What is so special about embodied simulation? / V. Gallese, C. Sinigaglia // *Trends Cogn. Sci.* – 2011. – Vol. 15, No 11. – P. 512–519.
30. Krauthaim J. T. Emotion specific neural activation for the production and perception of facial expressions / J. T. Krauthaim, M. Steines, U. Dannlowski, G. Neziroğlu, H. Acosta, J. Sommer, B. Straube, T. Kircher // *Cortex*. – 2020. – Vol. 127. – P. 17–28.

31. Schmidt S. N. L. fMRI adaptation reveals: The human mirror neuron system discriminates emotional valence / S. N. L. Schmidt, C. A. Sojer, J. Hass, P. Kirsch, D. Mier // *Cortex*. – 2020. – Vol. 128. – P. 270–280.
32. Dapretto M. Understanding emotions in others: mirror neuron dysfunction in children with autism spectrum disorders / D. Dapretto, M. S. Davies, J. H. Pfeifer, A. A. Scott, M. Sigman, S. Y. Bookheimer, M. Iacoboni // *Nat. Neurosci.* – 2006. – Vol. 9, No 1. – P. 28–30.
33. Koessler L. Automated cortical projection of EEG sensors: anatomical correlation via the international 10-10 system / L. Koessler, L. Maillard, A. Benhadid, J. P. Vignal, J. Felblinger, H. Vespignani, M. Braun // *Neuroimage*. – 2009. – Vol. 46, No 1. – P. 64–72.
34. Kircher T. Affect-specific activation of shared networks for perception and execution of facial expressions / T. Kircher, A. Pohl, S. Krach, M. Thimm, M. Schulte-Rüther, S. Anders, K. Mathiak // *Soc. Cogn. Affect. Neurosci.* – 2013. – Vol. 8, No 4. – P. 370–377.
35. Carr L. Neural mechanisms of empathy in humans: a relay from neural systems for imitation to limbic areas / L. Carr, M. Iacoboni, M. C. Dubeau, J. C. Mazziotta, G. L. Lenzi // *Proc. Nat. Acad. Sci. U S A*. – 2003. – Vol. 100, No 9. – P. 5497–5502.
36. Rizzolatti G. Cortical mechanisms underlying the organization of goal-directed actions and mirror neuron-based action understanding / G. Rizzolatti, L. Cattaneo, M. Fabbri-Destro, S. Rozzi // *Physiol. Rev.* – 2014. – Vol. 94, No 2. – P. 655–706.
37. Krauthaim J. T. Intergroup empathy: Enhanced neural resonance for ingroup facial emotion in a shared neural production-perception network / J. T. Krauthaim, U. Dannlowski, M. Steines, G. Neziroglu, H. Acosta, J. Sommer // *Neuroimage*. – 2019. – Vol. 194, No 3. – P. 182–190.
38. Olson I. R. The enigmatic temporal pole: A review of findings on social and emotional processing / I. R. Olson, A. Plotzker, Y. Ezzyat // *Brain*. – 2007. – Vol. 130, No 7. – P. 1718–1731.
39. Berthoz S. An fMRI study of intentional and unintentional (embarrassing) violations of social norms / S. Berthoz, J. L. Armony, R. J. R. Blair, R. J. Dolan // *Brain*. – 2002. – Vol. 125, No 8. – P. 1696–1708.
40. Pineda J. The functional significance of mu rhythms: translating seeing and hearing into doing / J. Pineda // *Brain Res. Rev.* – 2005. – Vol. 50. – P. 57–68.
41. Аликина М. А. Амплитудно-частотные, топографические, возрастные особенности и функциональное значение сенсомоторного ритма ЭЭГ / М. А. Аликина, С. А. Махин, В. Б. Павленко // *Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия*. – 2016. – Т. 2 (68), № 2. – С. 3–24.
42. Cuevas K. The infant EEG mu rhythm: methodological considerations and best practices / K. Cuevas, E. N. Cannon, K. Yoo, N. Fox // *Dev. Rev.* – 2014. – Vol. 34, No 1 – P. 26–43.
43. Moore A. EEG mu component responses to viewing emotional faces / A. Moore, I. Gorodnitsky, J. Pineda // *Behav. Brain Res.* – 2012. – Vol. 226, No 1. – P. 309–316.
44. Moore M. R. Mu rhythm suppression is associated with the classification of emotion in faces / M. R. Moore, E. A. Franz // *Cogn. Affect. Behav. Neurosci.* – 2017 – Vol. 17. – P. 224–234.
45. Cooper N. Beta event-related desynchronization as an index of individual differences in processing human facial expression: further investigations of autistic traits in typically developing adults / N. Cooper, A. Simpson, A. Till, K. Simmons, I. Puzzo // *Front. Hum. Neurosci.* – 2013. – Vol. 7. – P. 1–8.
46. Karakale O. Mental simulation of facial expressions: mu suppression to the viewing of dynamic neutral face videos / O. Karakale, M. R. Moore, I. J. Kirk // *Frontiers in human neuroscience*. – 2019. – Vol. 13 (Epub.).
47. Krivan S. J. I'll cry instead: mu suppression responses to tearful facial expressions / S. J. Krivan, N. Caltabiano, D. Cottrell, N. A. Thomas // *Neuropsychologia*. – 2020. – Vol. 153 (Epub.).
48. Symons A. E. The functional role of neural oscillations in non-verbal emotional communication / A. E. Symons, W. El-Dereby, W. Schwartze, S. A. Kotz // *Front. Hum. Neurosci.* – 2016. – Vol. 10 (Epub.).
49. Tseng Y. Voluntary attention in asperger's syndrome: brain electrical oscillation and phase-synchronization during facial emotion recognition / Y. Tseng, H. Yang, A. Savostyanov, V. Chien, M. Liou // *Res. Autism Spectr. Disord.* – 2015. – Vol. 13, No 14. – P. 32–51.
50. Князев Г. Г. Эмоциональный интеллект и осцилляторные ответы на эмоциональные выражения лиц / Г. Г. Князев, Л. Г. Митрофанова, А. В. Бочаров // *Физиология человека*. – 2013. – Т. 39, № 4. – С. 41–49.

51. Somerville L. H. Behavioral and neural representation of emotional facial expressions across the lifespan / L. H. Somerville, N. Fani, E. B. McClure-Tone // *Dev Neuropsychol.* – 2011. – Vol. 36, No 4. – P. 408–428.
52. Rayson H. Mu desynchronization during observation and execution of facial expressions in 30-month-old children / H. Rayson, J. J. Bonaiuto, P. F. Ferrari, L. Murray // *Dev. Cogn. Neurosci.* – 2016. – Vol. 19. – P. 279–287.
53. Fridenson-Hayo S. Basic and complex emotion recognition in children with autism: cross cultural findings / S. Fridenson-Hayo, S. Berggren, A. Lassalle, S. Tal, D. Pigat, D. Bolte, O. Golan // *Mol. Biol.* – 2016. – Vol. 7 (Epub.).
54. Evers K. No differences in emotion recognition strategies in children with Autism Spectrum Disorder: evidence from hybrid faces / K. Evers, I. Kerkhof, J. Steyaert, I. Noens, J. Wagemans // *Autism Res. Treat.* – 2014. – Vol. 2014 (Epub.).
55. Nuske H. Are emotion impairments unique to, universal, or specific in autism spectrum disorder? A comprehensive review / H. Nuske, G. Vivanti, C. Dissanayake // *Cognit. Emotion.* – 2013. – Vol. 27, No 6. – P. 1042–1061.
56. Yeung M. Altered right frontal cortical connectivity during facial emotion recognition in children with autism spectrum disorders / M. Yeung, Y. Han, S. Sze, A. Chan // *Res. Autism Spectr. Disord.* – 2014. – Vol. 8, No 11. – P. 1567–1577.
57. Leung R. C. Reduced beta connectivity during emotional face processing in adolescents with autism / R. C. Leung, A. X. Ye, S. M. Wong, M. J. Taylor, S. M. Doesburg // *Mol. Autism.* – 2014. – Vol. 5 (Epub.).
58. Leung R. C. Happy and Angry Faces Elicit Atypical Neural Activation in Children With Autism Spectrum Disorder / R. C. Leung, E. W. Pang, J. A. Brian, M. J. Taylor // *Biol. Psychiatry Cogn. Neurosci. Neuroimaging.* – 2019. – Vol. 4, No 1. – P. 1021–1030.
59. Safar K. Increased functional connectivity during emotional face processing in children with autism spectrum disorder / K. Safar, S. M. Wong, R. C. Leung, B. T. Dunkley, M. J. Taylor // *Front Hum Neurosci.* – 2018. – Vol. 12 (Epub.).
60. Williams J. H. Imitation, mirror neurons and autism / J. H. Williams, A. Whiten, T. Suddendorf, D. I. Perrett // *Neurosci. Biobehav. Rev.* – 2001. – Vol. 25, No 4. – P. 287–295.
61. Watanabe A. Representation of the brain network by electroencephalograms during facial expressions / A. Watanabe, T. Yamazaki // *J. Neurosci. Methods.* – 2021. – Vol. 357 (Epub.).

NEUROPHYSIOLOGICAL MECHANISMS OF FACIAL EXPRESSION PERCEPTION AND THEIR FEATURES IN AUTISTIC SPECTRUM DISORDERS

Pavlenko D. V., Chuyan E. N., Pavlenko V. B.

*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russian Federation
E-mail: pavlenkoprog@gmail.com*

The article is a review of works devoted to the perception of emotional facial expression and the recognition of its valence in neurotypical children and adults, as well as in individuals with autism spectrum disorders (ASD). The main results of research in this area, obtained with the use of eye tracking, neuroimaging and registration of the oscillatory activity of the cerebral cortex. Many researchers have found that, in order to recognize pronounced emotional expressions, people pay the most attention to the area of the mouth. However, when identifying the most subtle emotions, as well as when perceiving dynamic images of faces, subjects fix their gaze at the eye area. Children with

ASD display abnormal oculomotor patterns on face perception. Studies have shown that when presented with a series of static images and videos of inanimate objects, people and human faces, autists look more at objects of a non-social nature. A number of researchers have found that adolescents with ASD, compared to neurotypical individuals, spend more time looking at the mouth and less in the eye area. However, not all works confirm this.

Using neuroimaging, the researchers found that the earliest processing of information about faces is triggered when the amygdala is activated. Signals to it come directly from the superior colliculus of the corpora quadrigemina. In parallel with these processes, the streams of impulses carrying information about the characteristics of persons first come from the external geniculate body into the primary visual cortex, and then into the lateral fusiform gyrus and into the area of the superior temporal sulcus. Following these structures, the associated insular cortical region, inferior forehead and orbitofrontal parts of the frontal cortex are activated. Thus, a distributed system of cortical and subcortical structures is responsible for the perception of facial expression. The human mirror neuron system (MNS) plays an important role in understanding emotions. The indicator of its activity is the dynamics of the power of the EEG mu-rhythm.

Emotional facial processing is especially important in the early stages of a child's development, as it helps young children acquire social and communication skills. MNS activation during observation and generation of mimic reactions manifests itself already in early childhood. At the age of three, children can no longer only distinguish, but name the main emotions reflected on a person's face. It was found that children with ASD are worse at distinguishing between different emotional expressions. A number of researchers suggest that a cascade of disorders characteristic of ASD, including difficulties in the perception of emotions, insufficient development of the "theory of mind" construct and social communication, may be due to dysfunction of MNS. Indeed, this assumption may be supported by the absence or decreased desynchronization of the mu rhythm in patients with ASD when observing the faces of others. Since the mechanism of mirroring does not appear to be fully utilized in children with ASD, they have to use an alternative strategy of additional attention activation, in which the emotional meaning of facial expressions is probably not internally experienced.

The authors of this review note that the identification of EEG markers and patterns of oculomotor reactions in healthy people and individuals with ASD can become the basis for the development of effective methods for correcting the development of children based on trainings using biofeedback. Such trainings can help people with ASD improve their ability to perceive and recognize emotions and, as a result, improve their social interaction with others.

Keywords: emotional facial expressions, oculomotor activity, autism spectrum disorders, EEG, mirror neuron system.

References

1. Ekman P. and Oster H., Facial expressions of emotion, *Annual Reviews in Psychology*, **30**, 527 (1979).
2. Somerville L. H., Fani N. and McClure-Tone E. B., Behavioral and neural representation of emotional facial expressions across the lifespan, *Dev. Neuropsychol.*, **36**, 408 (2011).

3. Pavlenko D. V., Chuyan E. N. and Pavlenko V. B., Methods for correcting the development of children with autism based on biological feedback by EEG, *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **7 (73)**, 124 (2021).
4. Simashkova N. V. and Makushkin E. V., *Autism spectrum disorders: diagnosis, treatment, observation*, 50 p. (Moscow, 2015).
5. Williams J. H., Whiten A., Suddendorf T. and Perrett D. I., Imitation, mirror neurons and autism, *Neurosci. Biobehav. Rev.*, **25**, 287 (2001).
6. Oberman L. M. and Ramachandran V. S., The simulating social mind: the role of the mirror neuron system and simulation in the social and communicative deficits of autism spectrum disorders, *Psychol. Bull.*, **133**, 310 (2007).
7. Black M. H., Chen N. T. M., Iyer K. K., Lipp O. V., Bölte S., Falkmer M., Tan T. and Girdler S., Mechanisms of facial emotion recognition in autism spectrum disorders: Insights from eye tracking and electroencephalography, *Neurosci. Biobehav. Rev.*, **80**, 488 (2017).
8. Vaidya A. R., Jin C. and Fellows L. K., Eye spy: the predictive value of fixation patterns in detecting subtle and extreme emotions from faces, *Cognition*, **133**, 443 (2014).
9. Malcolm G. L., Lanyon L. J., Fugard A. J. B. and Barton J. J. S., Scan patterns during the processing of facial expression versus identity: An exploration of task driven and stimulus-driven effects, *J. of Vision*, **8**, 1 (2008).
10. Barabanshikov V. A. and Zhegallo A. V., Okulomotor activity at the perception of dynamic and static expressions of the face, *Экспериментальная психология / Experimental psychology (Russia)*, **11**, 5 (2018).
11. Haensel J. X., Ishikawa M., Itakura S., Smith T. J. and Senju A. Cultural influences on face scanning are consistent across infancy and adulthood, *Infant Behav. Dev.*, **61** (Epub.). (2020).
12. Klin A., Jones W., Schultz R., Volkmar F. and Cohen D. Visual fixation patterns during viewing of naturalistic social situations as predictors of social competence in individuals with autism, *Archives of general psychiatry*, **59**, 809 (2002).
13. Riby D. and Hancock P., Viewing it differently: Social scene perception in Williams syndrome and Autism, *Neuropsychologia*, **46**, 2855 (2008).
14. Dyagileva Yu. O., Kotovich A. S., Orehova L. S., Michailova A. A. and Pavlenko V. B., Tracking of eye movements in children with ASD symptoms at visual perception of social stimuli, *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **3 (69)**, 21 (2017).
15. Dalton K. M., Nacewicz B. M., Johnstone T., Schaefer H. S., Gernsbacher M. A., Goldsmith H. H., Alexander A. L. and Davidson R. J., Gaze fixation and the neural circuitry of face processing in autism, *Nature Neuroscience*, **8**, 519 (2005).
16. White S., Maddox B. and Panneton R., Fear of negative evaluation influences eye gaze in adolescents with autism spectrum disorder: a pilot study, *J. Autism Dev. Disord.*, **45**, 3446 (2015)
17. Falck-Ytter T., Fernell E., Gillberg C. and von Hofsten C., Face scanning distinguishes social from communication impairments in autism, *Dev. Sci.*, **13**, 864 (2010).
18. Tottenham N., Hertzog M., Gillespie-Lynch K., Gilhooly T., Millner A. and Casey B., Elevated amygdala response to faces and gaze aversion in autism spectrum disorder, *Soc. Cognit. Affect. Neurosci.*, **9**, 106 (2014).
19. Nuske H., Vivanti J., Hudry K. and Dissanayake C., Pupillometry reveals reduced unconscious emotional reactivity in autism, *Biol. Psychol.*, **101**, 24 (2014).
20. Adolphs R., Recognizing emotion from facial expressions: psychological and neurological mechanisms, *Behav. Cogn. Neurosci. Rev.*, **1**, 21 (2002).
21. Mikhailova E. S., Neurobiological basis of human recognition of facial emotion, *Zh. Vyssh. Nerv. Deiat.*, **55**, 149 (2005).
22. Dekowska M., Kuniecki M. and Jaśkowski P., Facing facts: neuronal mechanisms of face perception, *Acta Neurobiol. Exp. (Wars)*, **68**, 229 (2008).
23. Rizzolatti G. and Sinigaglia C., *Mirrors in the Brain: How Our Minds Share Actions, Emotions, and Experience*, 242 p. (Oxford University Press, 2008).
24. Xu P., Peng S., Luo Y. and Gong G., Facial expression recognition: A meta-analytic review of theoretical models and neuroimaging evidence, *Neurosci. Biobehav. Rev.*, **127**, 820 (2021).

25. Decety J. and Meyer M., From emotion resonance to empathic understanding: A social developmental neuroscience account, *Development and Psychopathology*, **20**, 1053 (2008).
26. Adolphs R., How do we know the minds of others? Domain-specificity, simulation, and enactive social cognition, *Brain Res.*, **1079**, 25 (2006).
27. Molenberghs P., Cunnington R. and Mattingley J. B., Brain regions with mirror properties: a meta-analysis of 125 human fMRI studies, *Neurosci. Biobehav. Rev.*, **36**, 341 (2012).
28. Keysers C. and Perrett D. I., Demystifying social cognition: a Hebbian perspective, *Trends Cogn. Sci.*, **8**, 501 (2004).
29. Gallese V., Sinigaglia C., What is so special about embodied simulation? *Trends Cogn. Sci.*, **15**, 512 (2011).
30. Krautheim J. T., Steines M., Dannlowski U., Neziroğlu G., Acosta H., Sommer J., Straube B. and Kircher T., Emotion specific neural activation for the production and perception of facial expressions, *Cortex*, **127**, 17 (2020).
31. Schmidt S. N. L., Sojer C. A., Hass J., Kirsch P. and Mier D., fMRI adaptation reveals: The human mirror neuron system discriminates emotional valence, *Cortex*, **128**, 270 (2020).
32. Dapretto M., Davies M. S., Pfeifer J. H., Scott A. A., Sigman M., Bookheimer S. Y. and Iacoboni M., Understanding emotions in others: mirror neuron dysfunction in children with autism spectrum disorders, *Nat. Neurosci.*, **9**, 28 (2006).
33. Koessler L., Maillard L., Benhadid A., Vignal J. P., Felblinger J., Vespignani H. and Braun M., Automated cortical projection of EEG sensors: anatomical correlation via the international 10-10 system, *Neuroimage*, **46**, 64 (2009).
34. Kircher T., Pohl A., Krach S., Thimm M., Schulte-Rüther M., Anders S. and Mathiak K., Affect-specific activation of shared networks for perception and execution of facial expressions, *Soc. Cogn. Affect. Neurosci.*, **8**, 370 (2013).
35. Carr L., Iacoboni M., Dubeau M. C., Mazziotta J. C. and Lenzi G. L., Neural mechanisms of empathy in humans: a relay from neural systems for imitation to limbic areas, *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, **100**, 5497 (2003).
36. Rizzolatti G., Cattaneo L., Fabbri-Destro M. and Rozzi S., Cortical mechanisms underlying the organization of goal-directed actions and mirror neuron-based action understanding, *Physiol. Rev.*, **94**, 655 (2014).
37. Krautheim J. T., Dannlowski U., Steine M., Neziroglu G., Acosta H. and Sommer J., Intergroup empathy: Enhanced neural resonance for ingroup facial emotion in a shared neural production-perception network. *Neuroimage*, **194**, 182 (2019).
38. Olson I.R., Plotzker A. and Ezzyat Y., The enigmatic temporal pole: A review of findings on social and emotional processing, *Brain*, **130**, 1718 (2007).
39. Berthoz S., Armony J. L., Blair R. J. R. and Dolan R. J. An fMRI study of intentional and unintentional (embarrassing) violations of social norms, *Brain*, **125**, 1696 (2002).
40. Pineda J., The functional significant of mu rhythms: translating seeing and hearing into doing, *Brain Res. Rev.*, **50**, 57 (2005).
41. Alikina M. A., Makhin S. A. and Pavlenko V. B., EEG sensorimotor rhythm: amplitude, frequency, topography, age-dependency and functional meaning, *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **2 (68)**, 3 (2016).
42. Cuevas K., Cannon E. N., Yoo K. and Fox N., The infant EEG mu rhythm: methodological considerations and best practices, *Dev. Rev.*, **34**, 26 (2014).
43. Moore A., Gorodnitsky I. and Pineda J., EEG mu component responses to viewing emotional faces, *Behav. Brain Res.*, **226**, 309 (2012).
44. Moore M. R. and Franz E. A. Mu rhythm suppression is associated with the classification of emotion in faces, *Cogn. Affect. Behav. Neurosci.*, **17**, 224 (2017).
45. Cooper N., Simpson A., Till A., Simmons K. and Puzzo I., Beta event-related desynchronization as an index of individual differences in processing human facial expression: further investigations of autistic traits in typically developing adults, *Front. Hum. Neurosci.*, **7**, (Epub.). (2013).
46. Karakale O., Moore M. R. and Kirk I. J. Mental Simulation of Facial Expressions: Mu Suppression to the Viewing of Dynamic Neutral Face Videos, *Frontiers in human neuroscience*, **13**, (Epub.). (2019).

47. Krivan S. J., Caltabiano N., Cottrell D. and Thomas N. A., I'll cry instead: mu suppression responses to tearful facial expressions, *Neuropsychologia*, **143**, (Epub.). (2020).
48. Symons A. E., El-Deredy W., Schwartz M. and Kotz S. A., The Functional Role of Neural Oscillations in Non-Verbal Emotional Communication, *Front. Hum. Neurosci.*, **10**, (Epub.). (2016).
49. Tseng Y., Yang H., Savostyanov A., Chien V. and Liou M., Voluntary attention in asperger's syndrome: brain electrical oscillation and phase-synchronization during facial emotion recognition, *Res. Autism Spectr. Disord.*, **13–14**, 32 (2015).
50. Knyazev G. G., Mitrofanova L. G. and Bocharov A. V., Emotional intelligence and oscillatory responses to emotional facial expressions, *Human Physiology*, **39**, 371 (2013).
51. Somerville L. H., Fani N. and McClure-Tone E. B., Behavioral and neural representation of emotional facial expressions across the lifespan, *Dev. Neuropsychol.*, **36**, 408 (2011).
52. Rayson H., Bonaiuto J. J., Ferrari P. F. and Murray L., Mu desynchronization during observation and execution of facial expressions in 30-month-old children, *Dev. Cogn. Neurosci.*, **19**, 279 (2016).
53. Fridenson-Hayo S., Berggren S., Lassalle A., Tal S., Pigat D., Bolte S. and Golan O., Basic and complex emotion recognition in children with autism: cross cultural findings, *Mol. Biol.*, **7** (Epub.). (2016).
54. Evers K., Kerkhof I., Steyaert J., Noens I. and Wagemans J., No differences in emotion recognition strategies in children with Autism Spectrum Disorder: evidence from hybrid faces, *Autism Res. Treat.*, **2014**, (Epub.). (2014).
55. Nuske H., Vivanti G. and Dissanayake C., Are emotion impairments unique to, universal, or specific in autism spectrum disorder? A comprehensive review, *Cognit. Emotion*, **27**, 1042 (2013).
56. Yeung M., Han Y., Sze S. and Chan A., Altered right frontal cortical connectivity during facial emotion recognition in children with autism spectrum disorders, *Res. Autism Spectr. Disord.*, **8**, 1567 (2014).
57. Leung R. C., Ye A. X., Wong S. M., Taylor M. J. and Doesburg S. M., Reduced beta connectivity during emotional face processing in adolescents with autism, *Mol. Autism*, **5**, (Epub.). (2014).
58. Leung R. C., Pang E. W., Brian J. A. and Taylor M. J., Happy and angry faces elicit atypical neural activation in children with autism spectrum disorder, *Biol. Psychiatry Cogn. Neurosci. Neuroimaging*, **4**, 1021 (2019).
59. Safar K., Wong S. M., Leung R. C., Dunkley B. T., Taylor M. J., Increased functional connectivity during emotional face processing in children with autism spectrum disorder, *Front. Hum. Neurosci.*, **12**, (Epub.). (2018).
60. Williams J. H., Whiten A., Suddendorf T. and Perrett D. I., Imitation, mirror neurons and autism, *Neurosci. Biobehav. Rev.*, **25**, 287 (2001).
61. Watanabe A. and Yamazaki T., Representation of the brain network by electroencephalograms during facial expressions, *J. Neurosci. Methods*, **357**, (Epub.). (2021).