

**УДК 612.821**

## **ДИНАМИКА РИТМОВ ЭЭГ ПРИ ВОСПРИЯТИИ УЛЫБАЮЩИХСЯ ЛИЦ И ЕЕ ОСОБЕННОСТИ У ЛЮДЕЙ С РАЗНЫМ УРОВНЕМ РАСШИРЕННОГО АУТИСТИЧЕКОГО ФЕНОТИПА**

*Павленко Д. В., Чуян Е. Н., Александрова С. Е., Григорьев Я. П., Гурнаков Н. В.,  
Мустафаев Э. Р., Павленко В. Б.*

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

Целью исследования было выяснить, каким образом эмоциональные выражения улыбающегося лица влияют на мю-ритмы ЭЭГ и оценить особенности этих реакций у здоровых испытуемых с высоким и низким показателем расширенного аутистического фенотипа (РАФ). Установлено, что восприятие эмоциональной лицевой экспрессии в виде улыбки вызывало изменения ЭЭГ в более широком частотном диапазоне, чем предъявление нейтральных лиц. Экспозиция улыбки у участников исследования с низким показателем РАФ вызывала десинхронизацию ЭЭГ в основном в диапазоне мю-альфа-ритма (8–13 Гц), а у испытуемых с высокими значениями показателя РАФ – в диапазоне мю-бета-ритма (14–24 Гц). Выявление паттерна ЭЭГ-реакций при восприятии видеозаписей улыбки у молодых людей с выраженными аутистическими чертами может быть полезным в разработке новых методов коррекционной работы с детьми, имеющими диагноз расстройства аутистического спектра.

**Ключевые слова:** лицевая экспрессия, ЭЭГ, мю-ритм, расширенный аутистический фенотип.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Социальное взаимодействие в значительной степени зависит от невербального общения, в том числе от характера мимических реакций. Мы делаем выводы о чувствах, мотивах и намерениях других людей, сопереживаем им, в значительной степени основываясь на наблюдении за их эмоциональной лицевой экспрессией. Т.н. теория моделирования или имитации утверждает, что для распознавания эмоций других на основании выражения лица наблюдатель непроизвольно активирует собственные мозговые сенсомоторные структуры, управляющие мимикой [1]. Этот путь к распознаванию эмоций особенно важен при недостатке контекстуальной информации, а также имеет ключевое значение у детей [2]. Выявление мозговых механизмов распознавания эмоций представляет особый интерес для понимания типичного и атипичного развития социального поведения. В настоящее время предполагают, что в основе моделирования мимики лежит динамика активности сети зеркальных нейронов или зеркальной системы мозга (ЗСМ) – при этом сходные нейронные процессы запускаются как во время наблюдения, так и во время протекания собственных эмоциональных реакций [3].

В качестве индикатора активности ЗСМ человека рассматривают десинхронизацию мю-ритма ЭЭГ, генерируемого в сенсомоторных областях мозга [4–6]. Мю-ритм, регистрируемый над центральными областями неокортекса, включает две частотные составляющие: мю-альфа (8–13 Гц) и мю-бета (15–25 Гц), отражающие вклад первичной соматосенсорной коры и моторной коры, соответственно. В состоянии покоя клетки в этой области мозга срабатывают синхронно, что приводит к более высокой мощности в мю-диапазоне частот. Однако, когда действие выполняется, наблюдается или воображается, возбуждение клеток становится десинхронизированным, что приводит к связанной с событием десинхронизации мю-ритма. Установлена связь между восприятием мимики или ее собственной генераций и мю-десинхронизацией [1, 7–9].

Среди основных выражений эмоций (гнев, страх, отвращение, печаль, счастье и удивление) лицевая экспрессия чувства счастья имеет особое значение. Счастливое выражение лица выполняет важную функцию в социальном взаимодействии, привлекая окружающих, способствуя сотрудничеству и влиянию. Кроме того, в разных культурных контекстах и в лабораторных исследованиях такое выражение неизменно распознается точнее и быстрее, чем другие лицевые экспрессии т.к. сопровождается улыбкой. Улыбка приводит к активации центров мозга, связанных с переживанием позитивных эмоций [10, 11].

Восприятие эмоций других людей, способность понимать их точку зрения нарушены при расстройствах аутистического спектра (РАС). В настоящее время имеются доказательства, что аутичные черты в той или иной степени присутствуют в общей человеческой популяции. Исследования показывают, что родственники аутистов часто проявляют аутистические тенденции, но не проявляют таких же функциональных нарушений, как люди с этим расстройством. Таким образом, эти лица не соответствуют критериям клинического диагноза. Субдиагностические признаки аутизма обозначаются как «broader autism phenotype» (ВАР) – «расширенный аутистический фенотип» (РАФ). Черты РАФ включают трудности в общении и распознавании эмоций, ригидность и отчужденность. Для их оценки у здоровых людей разработан специальный опросник ВАРQ (Broad Autism Phenotype Questionnaire) [12]. Исследования показали, что русифицированный вариант данного опросника имеет существенную валидность и может использоваться специалистами в качестве достоверного, доступного и специфичного метода скрининга родителей на предмет возможного рождения у них ребенка с РАС [13]. Важно при этом отметить, что высокий уровень показателей РАФ часто (от 5 до 9 % случаев) присутствует у индивидов без аутичных родственников [14]. Для таких людей, кроме указанных черт РАФ, характерны также повышенные показатели самооценки стресса в жизненных ситуациях [15].

Как и другие авторы [9], мы считаем, что использование видеоизображений человеческого лица, выражающего положительные эмоции, может быть полезным в коррекционной работе с детьми, имеющими диагноз РАС. В связи с этим, целью нашего исследования было выяснить, каким образом эмоциональные выражения улыбающегося лица модулируют предполагаемый ЭЭГ-индекс активации ЗСМ –

динамику мю-ритма, и будет ли она различаться в зависимости от индивидуального уровня аутичных черт испытуемых (высокий или низкий показатель РАФ).

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании, которое было проведено с информированного согласия испытуемых и соответствует этическим нормам Хельсинкской декларации, приняли участие 48 практически здоровых студентов КФУ им. В. И. Вернадского в возрасте от 18 до 25 лет (18 юношей и 30 девушек). Все испытуемые были праворукими и имели нормальное или скорректированное до нормального зрение. Для оценки выраженности аутистических черт личности применялся русифицированный вариант опросника VAPQ. При использовании опросника участников просят оценить 36 утверждений по 6-ти балльной шкале, при этом ответы варьируются от «очень редко» до «очень часто». Таким образом определяется уровень следующих черт: «отчужденность» (недостаток интереса или удовольствия от социального взаимодействия), «практическое использование языка» (нарушения в социальных языковых аспектах, приводящее к трудностям в эффективном общении или в поддержании живой беседы), «ригидность» (негативное отношение к каким-либо переменам, трудности адаптации к различным условиям) и рассчитывается интегральный балл признаков РАФ [13].

Регистрация ЭЭГ-активности мозга испытуемых проводилась при предъявлении видеороликов, демонстрирующие динамические изображения нейтральных и счастливых лиц. Результаты предыдущего поискового исследования [16] показали, что такие стимулы более эффективны, чем статические фотоизображения. Предъявлялись видеозаписи нейтральных и улыбающихся мужских и женских лиц из Амстердамского набора динамических экспрессий (Amsterdam Dynamic Facial Expression Set – ADFES [17]). Во время регистрации ЭЭГ испытуемые сидели в кресле. Монитор, на котором экспонировался стимульный материал, располагался на расстоянии 50-80 см от глаз испытуемого. Для фиксации взора в центре экрана на 2 с предъявлялось изображение крестика, а вслед за этим появлялась видеозапись нейтрального лица или улыбки модели с продолжительностью 3 с. В последнем случае в течении 1 с лицо сохраняло нейтральное выражение, затем на лице появлялась улыбка и достигнув максимальной выразительности примерно за 0,5 с сохранялась до конца экспозиции. Сочетание фиксационного крестика и изображений нейтрального лица использовалось два раза, столько же – улыбающегося, причем нейтральные и улыбающиеся лица предъявлялись в случайном порядке. Для поддержания внимания испытуемых, перед предъявлением стимулов давалась инструкция: если на экране будет улыбающееся лицо, то надо определить, какая из моделей улыбается наиболее естественно и указать это по окончании исследования.

Регистрацию ЭЭГ осуществляли с помощью электроэнцефалографа «Нейрон-Спектр – 5», ЭЭГ-потенциалы отводили монополярно в 19 отведениях по системе 10–20. Областью интересов в данном исследовании являлись центральные регионы неокортекса (локусы C3, Cz, C4), в которых по данным литературы в наибольшей степени представлен мю-ритм ЭЭГ [5, 6]. Референтным электродом служили

объединенные контакты, закрепленные на мочках ушей. Частоты среза фильтров высоких и низких частот составляли, соответственно, 1,5 и 35 Гц, частота оцифровки ЭЭГ-сигналов – 500 Гц.

На протяжении всего исследования велась видео- и аудиозапись, синхронизированная с регистрацией ЭЭГ. Артефакты в ЭЭГ-записи устраняли при визуальном просмотре и с помощью метода анализа независимых компонент (Independent Components Analysis, ICA) в пакете EEGLAB toolbox (<http://www.sccn.ucsd.edu/eeglab/>). Временно-частотное разложение сигнала производили с помощью вейвлета Morlet. Для оценки изменений спектральной мощности ЭЭГ, вызванных предъявлением изображений лиц, с помощью того же пакета рассчитывали связанные с событием спектральные пертурбации (СССП, event-related spectral perturbation). СССП показывают изменения спектральной мощности ЭЭГ при предъявлении стимула по сравнению с уровнем престоимого интервала (фона). В качестве фона использовали промежуток времени в 2 с, когда на мониторе находилось изображение крестика, а в качестве тестового участка – 3 с от момента предъявления видеозаписи лица. При обработке данных получали изображения, отражающие в дБ логарифм отношения тестовой к фоновой мощности ЭЭГ. Отрицательные значения СССП соответствуют меньшей мощности в тестовом по сравнению с фоновым интервалом (десинхронизация ЭЭГ в определенном частотном диапазоне), положительные значения – большей мощности в тестовом интервале по сравнению с фоновым (синхронизация ЭЭГ). При оценке различий СССП при восприятии нейтральных и улыбающихся лиц, а также при восприятии счастливых лиц испытуемыми с низким и высоким уровнем РАФ использовали пермутационную статистику, значимыми считали различия при  $p < 0,01$ .

Остальные особенности методики описаны ранее [16].

## **РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ**

На основании применения теста VARQ установлено, что среднее значение интегрального показателя РАФ составило  $3,05 \pm 0,52$  при крайних значениях 2,03 – 4,50 баллов. Это значение близко к результатам оценки контрольной группы отечественных испытуемых в работе Ж. В. Альбицкой (2,82 балла) и намного меньше, чем у родителей детей с РАС (3,68 баллов) [13], однако, как видно из приведенных данных, часть участников нашего исследования имели относительно высокие показатели РАФ. Для дальнейшего анализа были отобраны 24 испытуемых (10 юношей, 14 девушек), разделенных на две группы по 12 человек с наиболее высокими и низкими значениями РАФ. Их показатели входили в верхний (больше 3,41 балла) и нижний (меньше 2,74 балла) квартили распределения выборки.

Восприятие видеозаписей лиц с нейтральным и счастливым выражением, предъявленных вслед за изображением фиксационного крестика, у всей выборки испытуемых вызвало сложный комплекс ЭЭГ-реакций, наиболее выраженных в центральных и височных регионах. Однако в дальнейшем мы рассмотрим СССП ЭЭГ лишь в центральных отведениях, которые, как указано выше, являлись зоной интереса в настоящей работе. Восприятие видеозаписей приводило к

десинхронизации ЭЭГ в широком диапазоне частот от 4 до 24 Гц, в том числе в диапазонах мю-альфа- (8–13 Гц) и мю-бета-(13–24 Гц) ритмов (рис. 1).

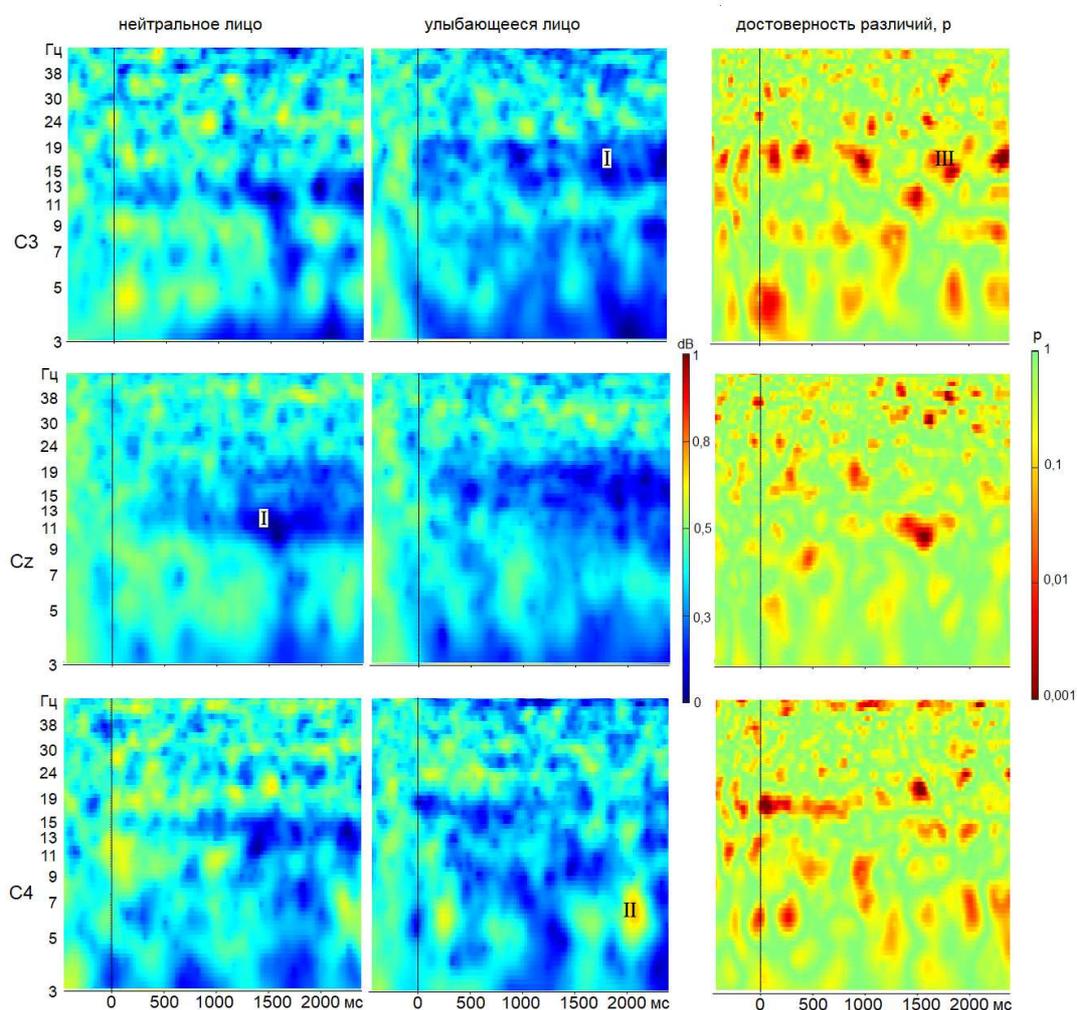


Рис. 1. Паттерн ЭЭГ-реакций в центральных отведениях на предъявление фотоизображений нейтральных и улыбающихся лиц у 48 испытуемых. СССП графики усреднены по всем испытуемым и всем лицам моделей. Вертикальная линия – начало появления видеозаписи нейтрального или улыбающегося лица вслед за изображением крестика. Синим цветом (I) отмечены участки графика с десинхронизацией (снижением мощности) ЭЭГ, желтым и красным цветом (II) – интервалы синхронизации ЭЭГ (повышения мощности). На фрагментах справа красным цветом (III) обозначены наиболее значимые различия.

Снижение мощности мю-ритма, возникающее сразу вслед за предъявлением изображения лица мы связываем с активацией сетей ЗСМ, расположенных на конвексиальных поверхностях левого (отведение С3) и правого (С4) полушарий, а также в области дополнительной моторной коры (внутренняя поверхность полушарий, отведение Cz). Такая активация критически важна для быстрого бессознательного распознавания эмоциональной лицевой экспрессии. Наши данные согласуются с результатами работ других исследователей, сообщающих о падениях мощности мю-ритма ЭЭГ при восприятии видеоизображений лиц [1, 3, 18].

Обращает на себя внимание, что как видно из рисунка 1, подавление мощности мю-ритма в отведении Cz во временном интервале 1500–2000 мс при восприятии нейтрального лица даже более выражено, чем при восприятии улыбки. Снижение мощности мю-ритма, свидетельствующее об активации ЗСМ в ответ на предъявление динамических изображений нейтральных лиц, отмечены и другими авторами. Указывают, что ограниченность эмоциональной информации при восприятии нейтрального лица часто требует даже большего сенсомоторного участия в расшифровке информации, связанной с эмоциями, чем явные эмоциональные выражения, которые легче распознаются [18]. Также, поскольку нейтральные и эмоциональные изображения предъявлялись в случайном порядке, дополнительная активация центральных областей неокортекса через 1000 мс и более после предъявления изображения лица могла быть связана с ожиданием испытуемыми в этом временном периоде появления эмоциональной экспрессии.

Важно отметить, что в нашем исследовании восприятие улыбающегося лица вызывало изменения ЭЭГ в более широком частотном диапазоне, чем при предъявлении нейтральных лиц. Так, в период 1500–2500 мс от начала предъявления счастливого лица (т.е. при появлении явно выраженной улыбки модели) в отведениях С3 и С4 наблюдается снижение мощности сенсомоторных ритмов ЭЭГ, включавшее диапазон бета-активности. Степень десинхронизации мю-бета-ритма значимо выше ( $p < 0,01$ , см. правую панель рисунка), чем при восприятии нейтрального выражения лица. В центральном отведении правого полушария (локус С4) при этом возникают осцилляции тета-ритма (4–7 Гц). Такие осцилляции, как принято считать [19], отражают активацию процессов запоминания и извлечения информации из памяти при следовании инструкции – определить, какая улыбка самая естественная.

На рис. 2 представлен паттерн изменений мощности ЭЭГ в центральных отведениях в ответ на предъявление изображения улыбающегося лица у испытуемых с разным уровнем комплексного показателя РАФ. У 12-ти участников исследования с низким РАФ десинхронизация ЭЭГ наблюдается в основном в диапазоне мю-альфа-ритма (8–13 Гц). Интересен тот факт, что рост мощности тета-ритма наблюдается преимущественно у данной группы. Установлено, что молодые люди с низкими показателями РАФ склонны вести себя более просоциально [20]. Можно предположить, что и в нашем исследовании именно эта группа испытуемых стремится в большей степени следовать инструкции и прилагает определенные усилия для запоминания улыбающихся лиц, что и отражается в росте тета-активности в правом полушарии.

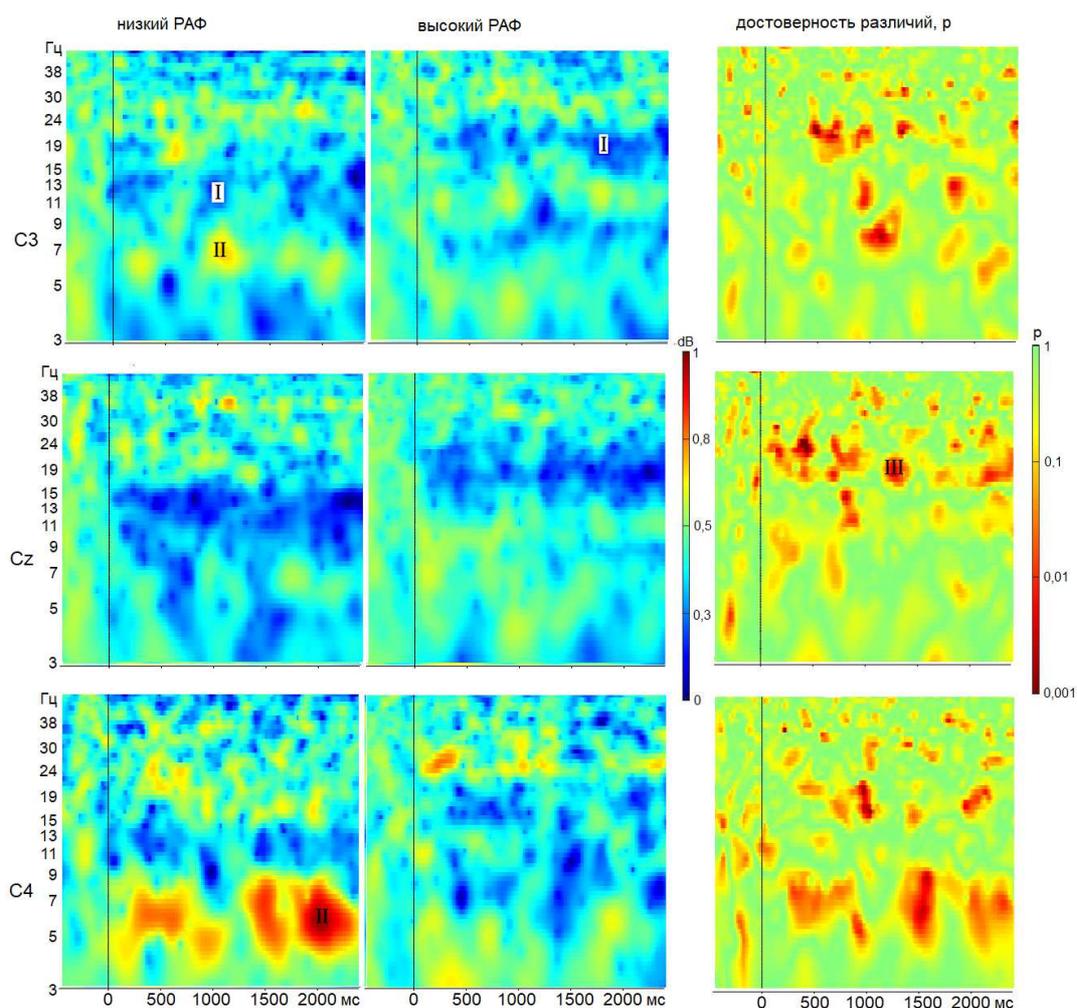


Рис. 2. Паттерн ЭЭГ-реакций в центральных отведениях на предъявление фотоизображений улыбающихся лиц у испытуемых с высокими и низкими показателями расширенного аутистического фенотипа (РАФ). СССП графики усреднены по 12-ти испытуемым каждой из групп и всем лицам моделей. Остальные обозначения как на рис. 1.

Из рисунка 2 видно, что у испытуемых с высокими значениями показателя РАФ более выражено подавление активности в диапазоне мю-бета-ритма (14–24 Гц). Различия между СССП групп достоверны при  $p < 0,01$  (см. правую панель рисунка). Указанную особенность реакций участников исследования с выраженными элементами аутистических черт можно объяснить следующим. Имеются сведения [20], что такие индивиды отличаются недостаточными социальными контактами, поскольку при общении с окружающими часто испытывают повышенную тревогу.

Как следствие, их способность приобретать соответствующие знания является в значительной степени ограниченной. По этой, а возможно и по иным причинам, люди с высокими значениями показателя РАФ испытывают трудности при распознавании эмоций. Мы можем предположить, что испытуемым данной группы требуются дополнительные когнитивные и нервные ресурсы для восприятия эмоциональной лицевой экспрессии и оценке ее искренности. При восприятии выражения лиц у них активируется не только сенсомоторная кора, но в большей степени, чем у людей с незначительной выраженностью аутистических черт, вовлекается в процессы активации и моторная зона неокортекса. Такая активация моторной коры проявляется в дополнительной десинхронизации в диапазоне мю-бета-ритма.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследования свидетельствуют, что восприятие испытуемыми видеозаписей нейтральных и улыбающихся лиц приводит к десинхронизации сенсомоторных ритмов ЭЭГ. Снижение мощности таких ритмов, возникающее сразу вслед за предъявлением изображения лица, мы связываем с активацией сетей ЗСМ, расположенных в левом и правом полушариях, а также в области дополнительной моторной коры. Такая активация критически важна для быстрого распознавания эмоциональной лицевой экспрессии. Восприятие улыбающегося лица, по сравнению с нейтральным, вызывало изменения ЭЭГ в более широком частотном диапазоне, включая диапазон мю-бета-ритма.

У участников исследования с низкой выраженностью аутистических черт десинхронизация ЭЭГ наблюдается в основном в диапазоне мю-альфа-ритма, у испытуемых с высокой – в диапазоне мю-бета-ритма, что может отражать необходимость дополнительной активации когнитивных и нервных ресурсов. Нельзя исключить, что люди с высокой степенью аутистических черт могут компенсировать свои трудности, обрабатывая лицевые эмоции с помощью иных стратегий, чем большинство населения. Выявление паттерна ЭЭГ-реакций при восприятии видеозаписей улыбки у здоровых молодых людей с выраженными аутистическими чертами может быть полезным в разработке новых методов коррекционной работы с детьми, имеющими диагноз РАС.

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

### Список литературы

1. 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.
2. Rychlowska M. The Pacified Face: Early Embodiment Processes and the Use of Dummies / M. Rychlowska, R. Vanderwert // Front. Psychol. – 2020 – Vol. 11. – P. 387.

3. Rayson H. Mu desynchronization during observation and execution of facial expressions in 30-month-old children / H. Rayson, J. J. Bonaiuto, P. F. Ferrari [et al.] // *Dev. Cogn. Neurosci.* – 2016 – Vol. 19. – P. 279–287.
4. Hobson H. M. Mu suppression – A good measure of the human mirror neuron system? / H. M. Hobson, D. V. M. Bishop // *Cortex.* – 2016. – Vol. 82. – P. 290–310.
5. 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.
6. Ларионова Е. В. Мю-ритм в современных исследованиях: теоретические и методологические аспекты / Е. В. Ларионова, Ж. В. Гарах, Ю. С. Зайцева // *Журн. высш. нервн. деят.* – 2022. – Т. 72, № 1. – С. 11–35.
7. 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 [et al.] // *Front. Hum. Neurosci.* – 2013. – Vol. 7. – P. 159.
8. Павленко Д. В. Нейрофизиологические механизмы восприятия лицевой экспрессии и их особенности при расстройствах аутистического спектра / Д. В. Павленко, Е. Н. Чуян, В. Б. Павленко // *Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия.* – 2021. – Т. 7, № 3. – С. 160–179.
9. Birch-Hurst K. Altering Facial Movements Abolishes Neural Mirroring of Facial Expressions / K. Birch-Hurst, M. Rychlowska, M. B. Lewis [et al.] // *Cogn. Affect. Behav. Neurosci.* – 2022. – Vol. 22, No 2. – P. 316–327.
10. Beltrán D. Brain signatures of perceiving a smile: Time course and source localization / D. Beltrán, M. G. Calvo // *Hum. Brain Mapp.* – 2015. – Vol. 36, No 11. – P. 4287–4303.
11. Martinelli A. Neurobiological correlates and attenuated positive social intention attribution during laughter perception associated with degree of autistic traits / A. Martinelli, E. Hoffmann, C. Brück [et al.] // *J. Neural. Transm. (Vienna).* – 2023 – Vol. 130, No 4. – P. 585–596.
12. Hurley R. S. E. The broad autism phenotype questionnaire / R. S. E. Hurley, M. Losh, M. Parlier [et al.] // *J. Autism and Dev. Disord.* – 2007. – Vol. 37, No 9. – P. 1679–1690.
13. Альбицкая Ж. В. Роль и влияние "расширенного аутистического фенотипа" у родителей на возникновение расстройств аутистического спектра у детей / Ж. В. Альбицкая // *Психическое здоровье.* – 2019. – № 6. – С. 39–44.
14. Sasson N. J. The broad autism phenotype questionnaire: prevalence and diagnostic classification / N. J. Sasson, K. S. Lam, D. Childress [et al.] // *Autism Res.* – 2013 – Vol. 6, No 2. – P. 134–143.
15. Kurtz M. R. The role of the broader autism phenotype in anxiety and depression in college-aged adults / M. R. Kurtz, R. K. Kana, D. L. Rivera [et al.] // *Front Psychiatry.* – 2023. – Vol. 14. – P. 1187298.
16. Павленко Д. В. Динамика ритмов ЭЭГ при восприятии нейтральных и улыбающихся лиц / Д. В. Павленко, Е. Н. Чуян, А. А. Михайлова [и др.] // *Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия.* – 2021. – Т. 7, № 4. – С. 134–143.
17. van der Schalk J. Moving faces, looking places: validation of the amsterdam dynamic facial expression set (ADFES) / J. van der Schalk, S. T. Hawk, A. H. Fischer [et al.] // *Emotion.* – 2011. – Vol. 11. – P. 907–920.
18. 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 // *Front. Hum. Neurosci.* – 2019. – Vol. 13. – P. 34.
19. Herweg N. A. Theta Oscillations in Human Memory / N. A. Herweg, E. A. Solomon, M. J. Kahana // *Trends Cogn. Sci.* – 2020. – Vol. 24, No 3. – P. 208–227.
20. Jameel L. Going 'above and beyond': are those high in autistic traits less pro-social? / L. Jameel, K. Vyas, G. Bellesi [et al.] // *J. Autism Dev. Disord.* – 2014 – Vol. 44, No 8. – P. 1846–1858.

**DYNAMICS OF EEG RHYTHMS DURING THE PERCEPTION OF SMILING  
FACES AND ITS FEATURES IN PEOPLE WITH DIFFERENT LEVEL OF THE  
BROAD AUTISM PHENOTYPE**

*Pavlenko D. V., Chuyan E. N., Aleksandrova S. E., Grigorev Ya. P., Gurnakov N. V.,  
Mustafaev E. R., Pavlenko V. B.*

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

The identification of brain mechanisms of emotion recognition is of particular interest for understanding the typical and atypical development of social behavior. Researchers suggest that the perception of facial expressions is based on the dynamics of the activity of the mirror system of the brain. Desynchronization of the EEG mu rhythm generated in the sensorimotor areas of the brain is considered as an indicator of human mirror system activity. The mu-rhythm recorded over the central regions of the neocortex includes two frequency components: mu-alpha (8–13 Hz) and mu-beta (15–25 Hz), reflecting the contribution of the primary somatosensory cortex and motor cortex, respectively. We believe that the use of video images of a human face expressing positive emotions can be useful in corrective work with children diagnosed with autism spectrum disorder (ASD). Autistic traits are present to varying degrees in the general human population. The subdiagnostic features of autism are referred to as the "broader autism phenotype" (BAP).

The aim of the study was to find out how the emotional expressions of a smiling face affect EEG mu-rhythms and to evaluate the features of these reactions in healthy subjects with a high and low BAP score.

Our study involved 48 practically healthy students aged 18 to 25 years (18 boys and 30 girls). All subjects were right-handed and had normal or corrected to normal vision. To assess the severity of autistic personality traits, a Russified version of the BAPQ questionnaire was used. Registration of the EEG activity of the subjects' brains was carried out upon presentation of videos showing dynamic images of neutral and happy faces.

The results of the study indicate that the perception by the subjects of videos of neutral and smiling faces leads to desynchronization of the EEG sensorimotor rhythms. The decrease in the power of such rhythms, which occurs immediately after the presentation of a face image, we associate with the activation of the networks of mirror system located in the left and right hemispheres, as well as in the area of the supplementary motor cortex. This activation is critical for the rapid recognition of emotional facial expressions. The perception of a smiling face, compared to a neutral face, caused EEG changes in a wider frequency range, including the mu-beta rhythm range.

In the study participants with a low severity of autistic traits, EEG desynchronization is observed mainly in the mu-alpha rhythm range, in subjects with a high one, in the mu-beta rhythm range, which may reflect the need for additional activation of cognitive and neural resources. Identification of the pattern of EEG responses to the perception of smile

videos in healthy young people with pronounced autistic features may be useful in developing new methods of corrective work with children diagnosed with ASD.

**Keywords:** facial expression, EEG, mu-rhythm, broader autism phenotype

### References

1. Moore A., Gorodnitsky I. and Pineda J. EEG mu component responses to viewing emotional faces, *Behav. Brain Res.*, **226**, 309 (2012).
2. Rychlowska M. and Vanderwert R. The Pacified Face: Early Embodiment Processes and the Use of Dummies, *Front Psychol.*, **11**, 387 (2020).
3. 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).
4. Hobson H. M. and Bishop D. V. M. Mu suppression – A good measure of the human mirror neuron system? *Cortex*, **82**, 290 (2016).
5. 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**, 3 (2016).
6. Larionova E. V., Garakh Zh. V. and Zaytseva Y. S. Mu-rhythm in contemporary research: theoretical and methodological aspects, *Zh. Vyssh. Nerv. Deiat.*, **72**, 11(2022).
7. 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**, 159 (2013).
8. Pavlenko D. V., Chuyan E. N. and Pavlenko V. B. Neurophysiological mechanisms of facial expression perception and their features in autistic spectrum disorders, *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **7**, 160 (2021).
9. Birch-Hurst K., Rychlowska M., Lewis M. B. and Vanderwert R. E. Altering Facial Movements Abolishes Neural Mirroring of Facial Expressions, *Cogn. Affect. Behav. Neurosci.*, **22**, 316 (2022).
10. Beltrán D. and Calvo M. G. Brain signatures of perceiving a smile: Time course and source localization, *Hum. Brain Mapp.*, **36**, 4287(2015).
11. Martinelli A., Hoffmann E., Brück C., Kreifelts B., Ethofer T. and Wildgruber D. Neurobiological correlates and attenuated positive social intention attribution during laughter perception associated with degree of autistic traits, *J. Neural. Transm. (Vienna)*, **130**, 585 (2023).
12. Hurley R. S. E., Losh M., Parlier M., Reznick J. S. and Piven J. The broad autism phenotype questionnaire, *J. Autism Dev. Disord.*, **37**, 1679 (2007).
13. Albitskaya Zh. V. The role and influence of the «broad autism phenotype» in parents on the occurrence of autism spectrum disorders in children, *Psikhicheskoe zdorovie [Mental Health]*, **6**, 39 (2019).
14. Sasson N. J., Lam K. S., Childress D., Parlier M., Daniels J. L. and Piven J. The broad autism phenotype questionnaire: prevalence and diagnostic classification, *Autism Res.*, **6**, 134 (2013).
15. Kurtz M. R., Kana R. K., Rivera D. L. and Newman S. D. The role of the broader autism phenotype in anxiety and depression in college-aged adults, *Front. Psychiatry*, **14**, 1187298 (2023).
16. Pavlenko D. V., Chuyan E. N., Mikhailova A. A., Alexandrova S. E., Alexandrova S. V., Batievskaya A. V. and Pavlenko V. B. EEG oscillation patterns when observing neutral and smiling faces, *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **7**, 134 (2021).
17. van der Schalk J., Hawk S. T., Fischer A. H. and Doosje B. Moving faces, looking places: validation of the amsterdam dynamic facial expression set (ADFES), *Emotion*, **11**, 907 (2011).
18. Karakale O., Moore M. R. and Kirk I. J. Mental Simulation of Facial Expressions: Mu Suppression to the Viewing of Dynamic Neutral Face Videos, *Front. Hum. Neurosci.*, **13**, 34 (2019).
19. Herweg N. A., Solomon E. A. and Kahana M. J. Theta Oscillations in Human Memory, *Trends Cogn Sci.*, **24**, 208 (2020).
20. Jameel L., Vyas K., Bellesi G., Roberts V. and Channon S. Going 'above and beyond': are those high in autistic traits less pro-social? *J. Autism Dev. Disord.*, **44**, 1846 (2014).