

ФИЗИОЛОГИЯ ВЫСШЕЙ НЕРВНОЙ (КОГНИТИВНОЙ) ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

УДК 612.821

АКТИВНОСТЬ ЗЕРКАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ МОЗГА У ЛЮДЕЙ С ДЕПРЕССИВНЫМ СИМПТОМОКОМПЛЕКСОМ

© 2023 г. Е. Д. Каримова¹, *, Д. В. Смольская², А. А. Нараткина²

¹Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, Москва, Россия

²Московский государственный университет им. Ломоносова, Москва, Россия

*e-mail: e.d.karimova@gmail.com

Поступила в редакцию 19.06.2022 г.

После доработки 26.07.2022 г.

Принята к публикации 31.10.2022 г.

Мировые события последних нескольких лет привели к тому, что все больше людей начинают испытывать депрессивные симптомы, которые в значительной степени влияют на эмоциональный фон человека и его восприятие окружающего мира. Целью данного исследования было проанализировать реакции мю- и альфа-ритмов, отражающих работу зеркальной и зрительной систем головного мозга, при восприятии и повторении эмоционально окрашенных социальных стимулов у людей с разным уровнем депрессии. В исследовании приняли участие 32 здоровых испытуемых, которые были разделены на две группы — с высоким и низким уровнем депрессии по шкале Бека. Регистрировали 32-канальную ЭЭГ в двух экспериментальных блоках, активирующих эмоциональную и моторную составляющие зеркальной системы мозга (ЗСМ): 1) при восприятии эмоциональных лиц, выражающих счастье или горе; 2) при наблюдении и повторении моторных жестов рукой. Анализировали степень десинхронизации компонент мю- и альфа-ритма, выделенных методом независимых компонент (ICA), в каждой из задач. Было получено, что десинхронизация мю-ритма была достоверно выше у людей с высоким уровнем депрессии при повторении моторных движений рукой, а также при восприятии негативной эмоциональной мимики. Десинхронизация альфа-ритма не отличалась у двух групп испытуемых. Таким образом, развитие депрессивного состояния усиливает активацию ЗСМ, при этом повышается ее чувствительность к негативным эмоциональным стимулам. Данный эффект не распространяется на зрительную кору и визуальное внимание.

Ключевые слова: зеркальная система мозга, зеркальные нейроны, мю-ритм, ЭЭГ, депрессия, эмоциональное восприятие

DOI: 10.31857/S0044467723020053, **EDN:** ILDDCT

ВВЕДЕНИЕ

За последние несколько лет сильно возросло количество людей, испытывающих психологические сложности (Vahratian et al., 2021). Страх за свое здоровье и здоровье близких, социальная изоляция, финансовые трудности, связанные с COVID-19 и политической обстановкой в мире, социальные разногласия и потеря трудоустройства (Alkhammes et al., 2020; Batterham et al., 2021; Rundung et al., 2021; Wolf et al., 2021), а также негативный информационный фон в социальных сетях (Chen et al., 2020; Mundy et al., 2021) — все эти факторы привели к тому, что среди здорового населения, не испытывав-

шего ранее серьезных психологических проблем, значительно повысился процент людей с депрессивными симптомами.

Развитие депрессии, в свою очередь, приводит к социальной дезадаптации, нарушению эмоционального и социального восприятия, а на нейрофизиологическом уровне наиболее часто связано с нарушениями в префронтальной коре (Pizzagalli, Roberts, 2022). Известно, что функции, связанные с социальным восприятием, эмпатией, эмоциональной и когнитивной оценкой социальных действий, реализуются зеркальной системой мозга (ЗСМ) человека. Нижняя лобная извилина, располагающаяся в префронтальной обла-

сти коры, уже достаточно давно рассматривается как часть зеркальной системы мозга. Наибольшее количество исследований ЗСМ человека выявляют при наблюдении и выполнении движений, вызывающих активацию сложной сети, расположенной в роstralной части нижней теменной доли, нижней части прецентральной извилины и задней части нижней лобной извилины, — эти области образуют ядро системы зеркальных нейронов человека (Rizzolatti, Craighero, 2004). Премоторные области коры, в которых первоначально обнаружили наличие зеркальных нейронов, имеют множество других анатомических связей (Borra et al., 2017; Rizzolatti, Sinigaglia, 2016), в частности, кортико-кортикальные связи, распространяющиеся также на области префронтальной коры (Gerbella et al., 2013), где были описаны нейроны, связанные с движением (Simone et al., 2015) и участвующие в контекстно-ориентированном контроле действий (Simone et al., 2017). Последующие работы также подтвердили, что нижняя лобная извилина участвует в наблюдении за действием и его повторении (Iacoboni, 2005; Molnar-Szakacs et al., 2005), а медиальная и венстролатеральная префронтальная кора — в социальном взаимодействии и имеет зеркальные свойства (Sliwa, Freiwald, 2017).

Некоторыми авторами небезосновательно принято разделять ЗСМ на две подсети, функционально связанные с распознаванием, повторением движений конечностей и восприятием и эмоциональной оценкой мимики лица, эмпатическими процессами (Bekkali et al., 2021; Ferrari et al., 2017; Rizzolatti, Sinigaglia, 2016; Salo et al., 2019). Кроме того, было выявлено, что процессы восприятия моторных движений рук и эмоциональной мимики лица анатомически задействуют несколько различающиеся структуры: при эмоциональной оценке мимики зеркальная сеть активирует лимбическую систему, в том числе миндалину, через островковую долю (Ferrari et al., 2017; Iacoboni, 2005; Mikulan et al., 2014). Таким образом, можно разделить ЗСМ на моторную составляющую, которая в первую очередь отвечает за восприятие, проецирование и имитацию моторных движений, и на эмоциональную составляющую, связанную с эмоциональным восприятием и проецированием мимики, чувств, аффектов оппонента (Bekkali et al., 2021). В настоящей работе мы решили также отдельно исследовать моторную и эмоциональную составляю-

щие ЗСМ и оценить, будет ли депрессивный эмоциональный фон человека влиять на их работу.

Один из методов изучения активности ЗСМ — это исследование реакции мю-ритма ЭЭГ при выполнении различных социальных, моторных и эмоциональных проб (Eisenberg et al., 2017; Fox et al., 2016; Krivan et al., 2020). Тем не менее данный метод имеет определенные методические сложности, из-за чего часто подвергается критике (Hobson, Bishop, 2016, 2017), касающейся проблем разделения зрительного альфа-ритма и сенсомоторного мю-ритма, что зачастую приводит к смазыванию наблюдаемого эффекта (Bowman et al., 2017). Дело в том, что сенсомоторный мю-ритм, регистрируемый над центральной бороздой и связанный с активацией моторной коры и ЗСМ (Arnstein et al., 2011; Bimbi et al., 2018; Ritter et al., 2009), имеет тот же частотный диапазон, что и зрительный альфа-ритм, который регистрируется в теменно-затылочных отделах, но может распространяться также и до центральных областей, и связан с процессами зрительной обработки и зрительным вниманием. В связи с этим при некорректных методах выделения мю-ритма полученный эффект может быть обусловлен скорее процессами зрительного внимания (Hobson, Bishop, 2017).

В данном исследовании был применён способ разделения сигнала ЭЭГ на максимально различающиеся составляющие — метод независимых компонент (ICA — Independent Component Analysis), который на данный момент является наиболее надежным и корректным способом разделения мю- и альфа-ритмов, а также выделения артефактных составляющих сигнала (Bowers et al., 2013; Jensen et al., 2014). Также для получения более надежных результатов и понимания эффекта от депрессивного состояния испытуемых мы исследовали реакции как сенсомоторного мю-ритма, отражающего работу ЗСМ, так и затылочного альфа-ритма, связанного с процессами зрительного внимания. Таким образом, целью данного исследования было выявить особенности реакций мю- и альфа-ритмов, отражающих работу зеркальной и зрительной систем, при восприятии эмоциональной мимики, а также наблюдении и повторении социальных жестов у людей с повышенным уровнем депрессии.

МЕТОДИКА

В данном исследовании принимали участие 32 здоровых испытуемых (26 женщин, 6 мужчин) в возрасте от 25 до 40 лет, правши, не имевшие в анамнезе психоневрологических расстройств и черепно-мозговых травм. Никто из испытуемых на момент проведения исследования не имел клинически диагностированную депрессию и не принимал антидепрессанты. В день эксперимента каждый испытуемый должен был пройти тестирование на уровень депрессии по шкале Бека (Beck, 1961). Данная методика является широко распространённым скрининговым методом выявления депрессивного состояния, который применяется в клинической практике. Далее всех испытуемых по результатам тестирования делили на две группы в соответствии со степенью выраженности депрессивных симптомов: 0–13 баллов – группа с низким уровнем депрессивной симптоматики (17 человек: 4 мужчин, 13 женщин, ср. возраст 30 лет); 14–28 баллов – группа с повышенным уровнем депрессивной симптоматики (15 человек: 2 мужчин, 13 женщин, ср. возраст 32 года).

32-канальную ЭЭГ регистрировали с использованием электроэнцефалографа Brain-Amp (Brain Products GmbH, Германия) и хлор-серебряных электродов, расположенных в соответствии с международной системой 10-10 (референт в положении Fz). Выбор в качестве референта электрода Fz продиктован тем, что он, с одной стороны, не находится в зоне интереса, а с другой стороны, не содержит в своем сигнале дополнительной шумовой составляющей или миографической наводки, что было особенно актуально, поскольку часть задач предполагала двигательную активность испытуемых. Данные регистрировали на частоте дискретизации 512 Гц; импеданс поддерживался ниже 15 кОм; использовали фильтр нижних частот 1 Гц, фильтр верхних частот 70 Гц и режекторный фильтр 50 Гц.

Суть эксперимента заключалась в регистрации ЭЭГ во время демонстрации фотографий эмоциональной мимики (блок 1) и повторения различных движений руки (блок 2) – разработанная парадигма направлена на активацию эмоциональной и моторной составляющих ЗСМ. Таким образом, схема эксперимента состояла из двух блоков (рис. 1).

В первом блоке парадигмы испытуемым демонстрировали на экране монитора фотографии мужчин, женщин и детей, выражающих эмоции счастья или горя. С каждым испытуемым проводили четыре серии предъявлений, каждая включала в себя 8 фотографий, последовательность фотографий рандомизировали для получения более достоверных результатов. Перед демонстрацией каждой фотографии испытуемому на экране показывали серый фон (baseline). Длительность предъявления фотографий и фоновых проб составляла по 10 с.

Во втором блоке испытуемым необходимо было повторять движения руки, демонстрируемые на экране монитора мужчиной, женщиной или ребёнком. Было выбрано 4 типа движений (сжатие кисти, последовательность жестов ладонь-ребро-кулак, перемещение мяча в коробку и обратно, хлопки в ладоши), которые рандомизировали в 3 сериях повторений с различными демонстраторами. Длительность проб и фоновых фрагментов (baseline) между ними составляла также по 10 секунд.

Зарегистрированные фрагменты ЭЭГ обрабатывали с помощью пакетного ПО MNE-Python. Предварительно исходный сигнал ЭЭГ фильтровали в диапазоне 4–40 Гц. Далее проводился анализ ICA: независимые компоненты сигнала вычисляли с помощью алгоритма “infomax”, по коэффициентам демикширующей матрицы для каждой компоненты рассчитывали топограммы, отражающие локализацию компоненты на модели скальпа (рис. 2).

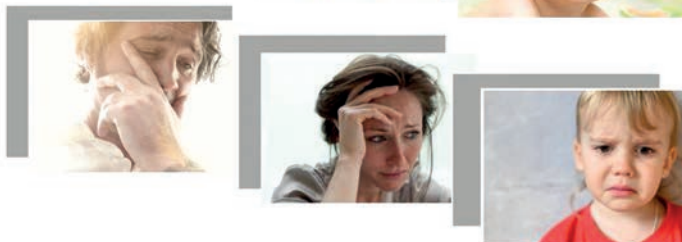
После этого происходил отбор компонент затылочного альфа- и сенсомоторного мю-ритмов с учётом их локализации (затылочные области для альфа-компонент и центральная борозда для мю-компонент), характера сигнала (веретенообразный сигнал для альфа-ритма и аркообразный для мю) и реакции на пробу “закрытые/открытые глаза” (проба записывалась непосредственно перед экспериментальными блоками, мю-ритм при открытии глаз не подавлялся в отличие от альфа-ритма). На рис. 2 представлен пример ЭЭГ-сигнала, зарегистрированного у одного из испытуемых в состоянии покоя с закрытыми и открытыми глазами. Ниже представлен массив временных сигналов независимых компонент после разложения исходного ЭЭГ-сигнала по новому базису. Справа на рисунке представлены топограммы независимых ком-

1 БЛОК: ЭМОЦИИ

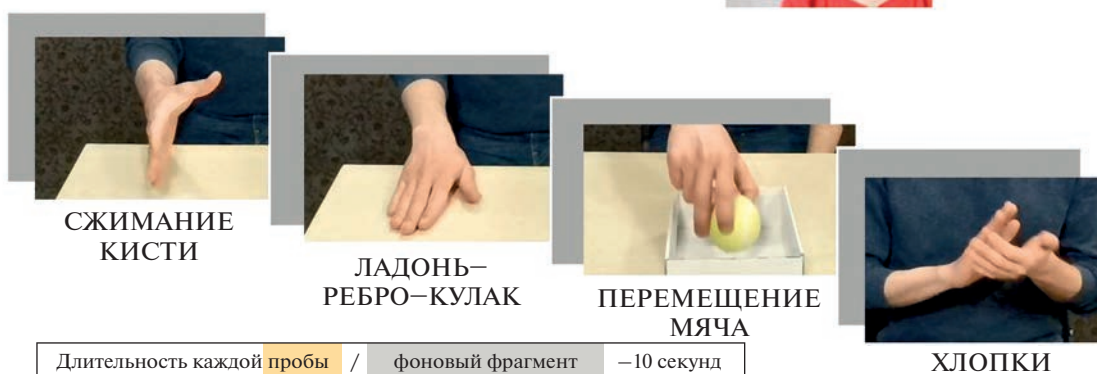
СЧАСТЬЕ



ГОРЕ



2 БЛОК: ДВИЖЕНИЯ



СЖИМАНИЕ
КИСТИ

ЛАДОНЬ—
РЕБРО—КУЛАК

ПЕРЕМЕЩЕНИЕ
МЯЧА

ХЛОПКИ

Длительность каждой пробы / фоновый фрагмент —10 секунд

Рис. 1. Схема экспериментальной парадигмы, состоящей из двух блоков: в первом блоке демонстрировали фотографии людей, выражающие мимику радости или горя; во втором блоке испытуемый наблюдал и одновременно с этим повторял движения руки. Длительность каждого фонового фрагмента и экспериментальной пробы, следовавшей за ним, составляла по 10 секунд. Стимульный материал подавался сериями по 8 фотографий и по 4 движения.

Fig. 1. A diagram of an experimental paradigm consisting of two blocks: in the first block, photographs of people expressing facial expressions of joy or grief were shown; in the second block, the subject observed and simultaneously repeated hand movements. The duration of each baseline fragment and experimental sample that followed it were 10 seconds each. The stimulus material was submitted in series of 8 photos and 4 movements.

понент, полученные после обратного преобразования и интерполяции коэффициентов демикширующей матрицы на модели скальпа. В данном примере левополушарный и правополушарный мю-ритм представлен 5-й и 6-й компонентой, а альфа-ритм наиболее ярко выражен нулевой и второй компонентой.

Далее массив данных ICA (две компоненты альфа-ритма и левая и правая компонента мю-ритма) для каждого испытуемого сегментировали на пробы, для каждой из которых вычисляли спектральную мощность в диапазоне 8–13 Гц. Далее рассчитывали коэффициент десинхронизации мощности ритмов в децибелах для каждой пробы по следующей формуле:

$$K = 10 \log \left(\frac{P_{task}}{P_{baseline}} \right).$$

Статистический анализ проводили с использованием дисперсионного анализа с повторными измерениями ANOVA по значениям относительной мощности (коэффициентам десинхронизации) выбранных компонент отдельно для двух экспериментальных блоков и для альфа- и мю-ритмов. В каждом блоке учитывался межгрупповой фактор “уровень депрессии” и внутригрупповой фактор повторных изменений: для первого блока он имел 2 уровня: “ЭМОЦИИ” (2 категории, счастье и горе) и “ФОТОГРАФИИ” (3 категории, мужчина, женщина или ребёнок); для второго блока фактор повторных измерений имел один уровень и рассчитывался по 4 видам движений (фактор “ДВИЖЕНИЯ” — 4 категории).

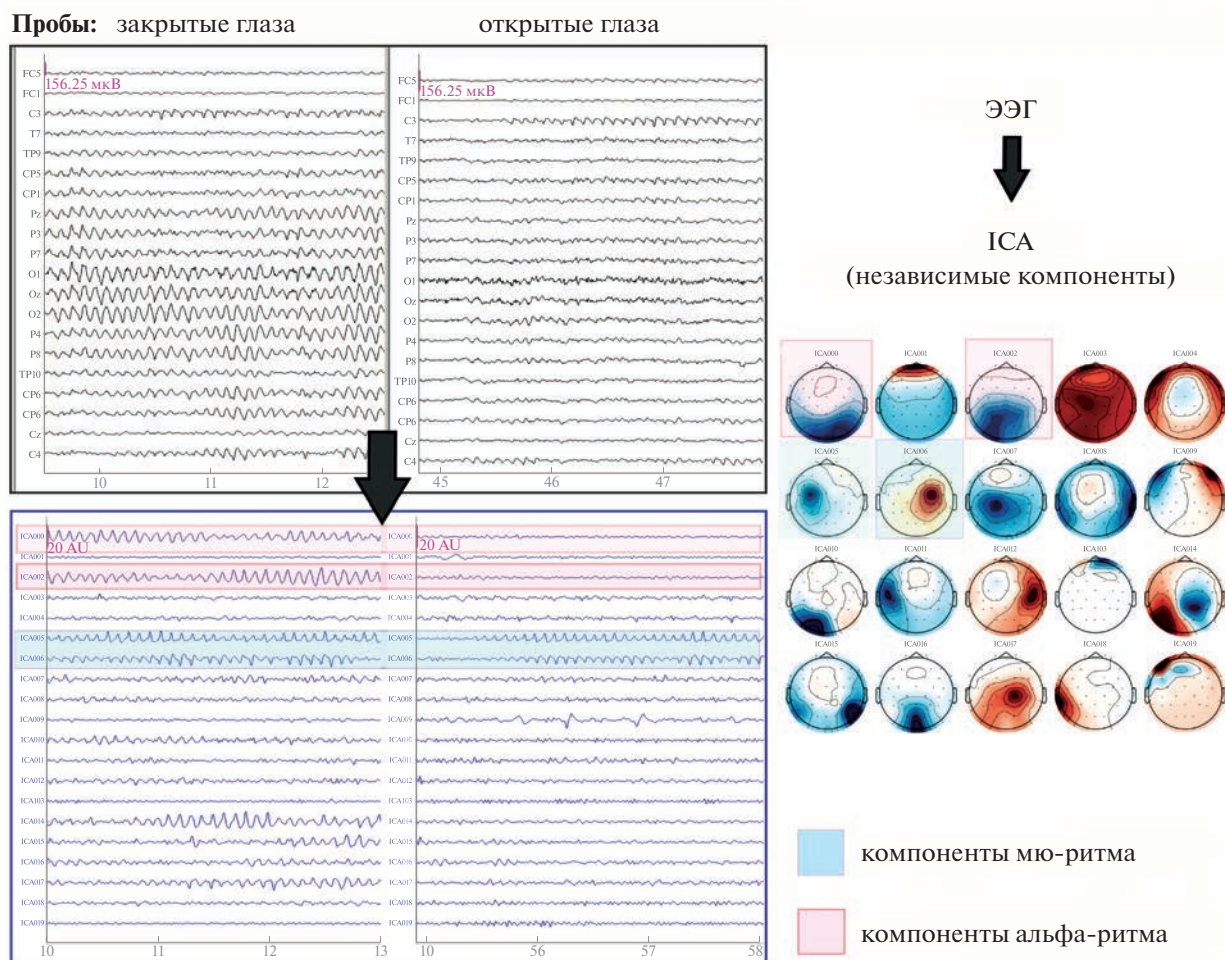


Рис. 2. Преобразование ЭЭГ-сигнала методом независимых компонент (ICA), зарегистрированного у одного из испытуемых в состоянии покоя с закрытыми и открытыми глазами. Сверху представлен фрагмент исходного ЭЭГ-сигнала по каналам, ниже — массив временных сигналов независимых компонент. Справа на рисунке представлены топограммы данных независимых компонент. Левополушарный и правополушарный мю-ритм выделены голубым цветом (5-я и 6-я компоненты), затылочный альфа-ритм выделен розовым цветом (нулевая и вторая компоненты).

Fig. 2. Transformation of the EEG signal by the method of independent component analysis (ICA). The signal was registered in one of the subjects at rest with closed and open eyes. Above is a fragment of the original EEG signal by channels, below is an array of time signals of independent components. The figure on the right shows the topograms of these independent components. The left-hemisphere and right-hemisphere mu-rhythm are highlighted in blue (components 5 and 6), the occipital alpha-rhythm is highlighted in pink (zero and second components).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

С помощью статистического анализа проводили сравнение значений коэффициентов десинхронизации альфа- и мю-ритма у двух групп испытуемых, разделенных по значениям шкалы депрессии Бека. Десинхронизация ритма на графиках изображается падением значений относительной мощности ниже нуля. Нулевой уровень отражает относительную мощность в фоновых фрагментах (baseline).

Блок 1: восприятие мимики

Дисперсионный анализ относительных мощностей **мю-ритма** ANOVA с двухуровневым фактором повторных измерений выявил существенные различия десинхронизации мю-ритма для людей с высоким и низким уровнем депрессии по шкале Бека при восприятии эмоции горя. Значимое влияние было выявлено для фактора “УРОВЕНЬ ДЕПРЕССИИ” ($F = 6.40, p = 0.01$), но еще более

статистически значимым было влияние сочетания факторов “ЭМОЦИИ” * “УРОВЕНЬ ДЕПРЕССИИ” ($F = 9.14, p = 0.003$). На рис. 3 (а) можно видеть иллюстрацию данного результата — испытуемые с высоким уровнем депрессии демонстрируют большую десинхронизацию мю-ритма при восприятии негативной эмоциональной мимики горя вне зависимости от категории демонстратора на фотографии.

Дисперсионный анализ относительных мощностей **альфа-ритма** ANOVA выявил только значимое влияние фактора “ЭМОЦИИ” ($F = 7.1, p = 0.008$). При этом фактор “УРОВЕНЬ ДЕПРЕССИИ” или его сочетание с другими факторами не показал значимого влияния на уровень десинхронизации зрительного альфа-ритма (рис. 3 (б)).

Блок 2: наблюдение и повторение движений

Следующие результаты были получены уже при одновременном наблюдении и повторении четырех различных движений. Статистический анализ мощности **мю-ритма** ANOVA с повторными измерениями и фактором “УРОВЕНЬ ДЕПРЕССИИ” показал достоверное влияние этого фактора на степень десинхронизации мю-ритма вне зависимости от вида движений ($F = 5.59, p = 0.02$). Также было выявлено влияние внутригруппового фактора повторных измерений “ДВИЖЕНИЯ” на мощность мю-ритма ($F = 4.20, p = 0.006$). На рис. 4 (а) проиллюстрирован данный результат, при этом можно отметить, что степень десинхронизации мю-ритма у испытуемых с высоким уровнем депрессии действительно больше при наблюдении и повторении всех движений. Если же рассматривать различные виды движений, то наибольшая реакция мю-ритма была при повторении движения с перемещением мяча, а наименьшая реакция мю-ритма наблюдалась при повторении хлопков в ладоши.

Анализ относительной мощности **альфа-ритма** при наблюдении и повторении движений выявил значимое влияние только фактора повторных измерений “ДВИЖЕНИЯ” ($F = 5.72, p = 0.0007$). Рисунок 4 (б) также наглядно подтверждает, что уровень депрессии не влияет на степень десинхронизации затылочного альфа-ритма, при этом сжатие кисти вызывает максимальную реакцию десинхронизации, а хлопки в ладоши — минимальную.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В данном исследовании, во-первых, было показано, что уровень депрессии влияет и на эмоциональную, и на моторную составляющие ЗСМ. При этом влияние на эмоциональную составляющую более специфично — повышается чувствительность только к негативной эмоциональной мимике (эмоции горя). При наблюдении и повторении моторных движений средний уровень десинхронизации мю-ритма и, соответственно, активности ЗСМ был выше у испытуемых с депрессивным симптомокомплексом.

Во-вторых, данные особенности реакций были выявлены только у компонент мю-ритма, но не зрительного альфа-ритма. Это значит, что депрессивный эмоциональный фон не влияет на уровень зрительного внимания и степень активации зрительной коры при восприятии эмоциональной мимики и наблюдении различных движений. В данной работе параллельный анализ компонент мю- и альфа-ритмов позволил доказать, что эффект депрессивного состояния в данном случае отражается именно на работе ЗСМ.

Зеркальная система нейронов играла важную роль в эволюционном перепрофилировании системы жестовой коммуникации для поддержки как вербальной, так и невербальной коммуникации и взаимодействия (Oztop et al., 2013). Уже на второй-третий день после рождения младенцы способны различать радостные и печальные лица. Это наиболее древние формы эмпатии, позволяющие детям в возрасте нескольких месяцев формировать базовые социальные навыки, но они схожи с теми, которые лежат в основе нашего социального поведения во взрослом возрасте (Cook et al., 2014).

В свою очередь депрессивные состояния приводят к тому, что у человека снижается желание коммуницировать с окружающими, отмечаются снижение эмпатии, нарушения распознавания невербальных сигналов (Kupferberg et al., 2016) и трудности с регулированием эмоций (Visted et al., 2018).

В большинстве своем современная литература описывает изменения работы ЗСМ в клинических случаях подтвержденных депрессивных расстройств, при этом есть некоторая разнородность в полученных результатах. Например, есть данные об уменьшении десинхронизации мю-ритма у людей с биполярным расстройством (Andrews et al., 2016) и

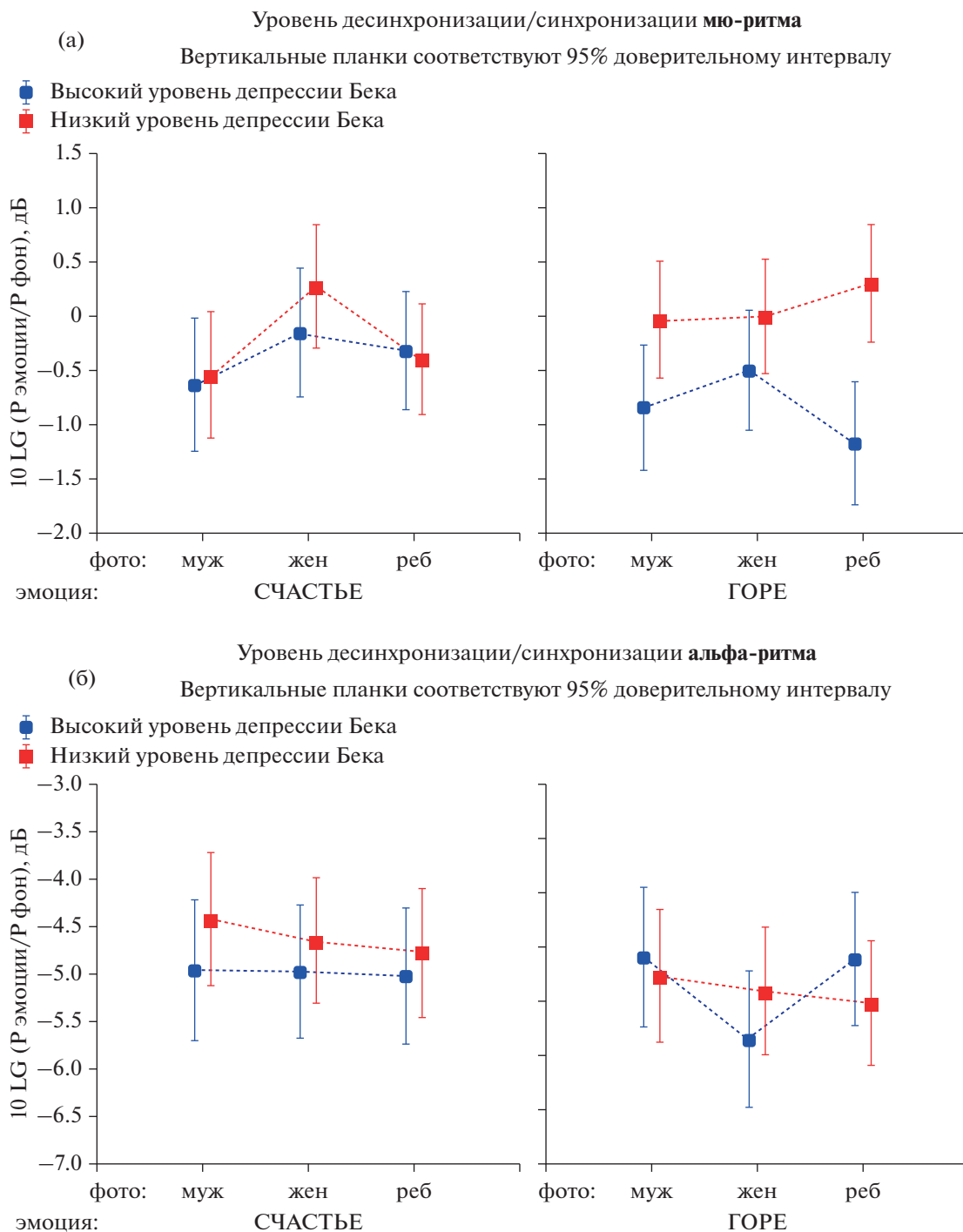


Рис. 3. Средние коэффициенты десинхронизации μ - (а) и α - (б) ритмов у испытуемых с высоким и низким уровнем депрессии по шкале Бека при восприятии фотографий людей, выражающих эмоции счастья и горя.

Fig. 3. Average desynchronization coefficients of μ - (a) and α - (b) rhythms in subjects with high and low levels of depression on the Beck scale when perceiving photos of people expressing emotions of happiness and grief.

снижении активации системы зеркальных нейронов нижней лобной извилины пациентов с симптомами депрессии в постродовом периоде (Shimada et al., 2018).

В другой работе сравнивали когнитивную и эмоциональную эмпатию при исследовании пациентов с биполярным аффективным расстройством, половина из которых находи-

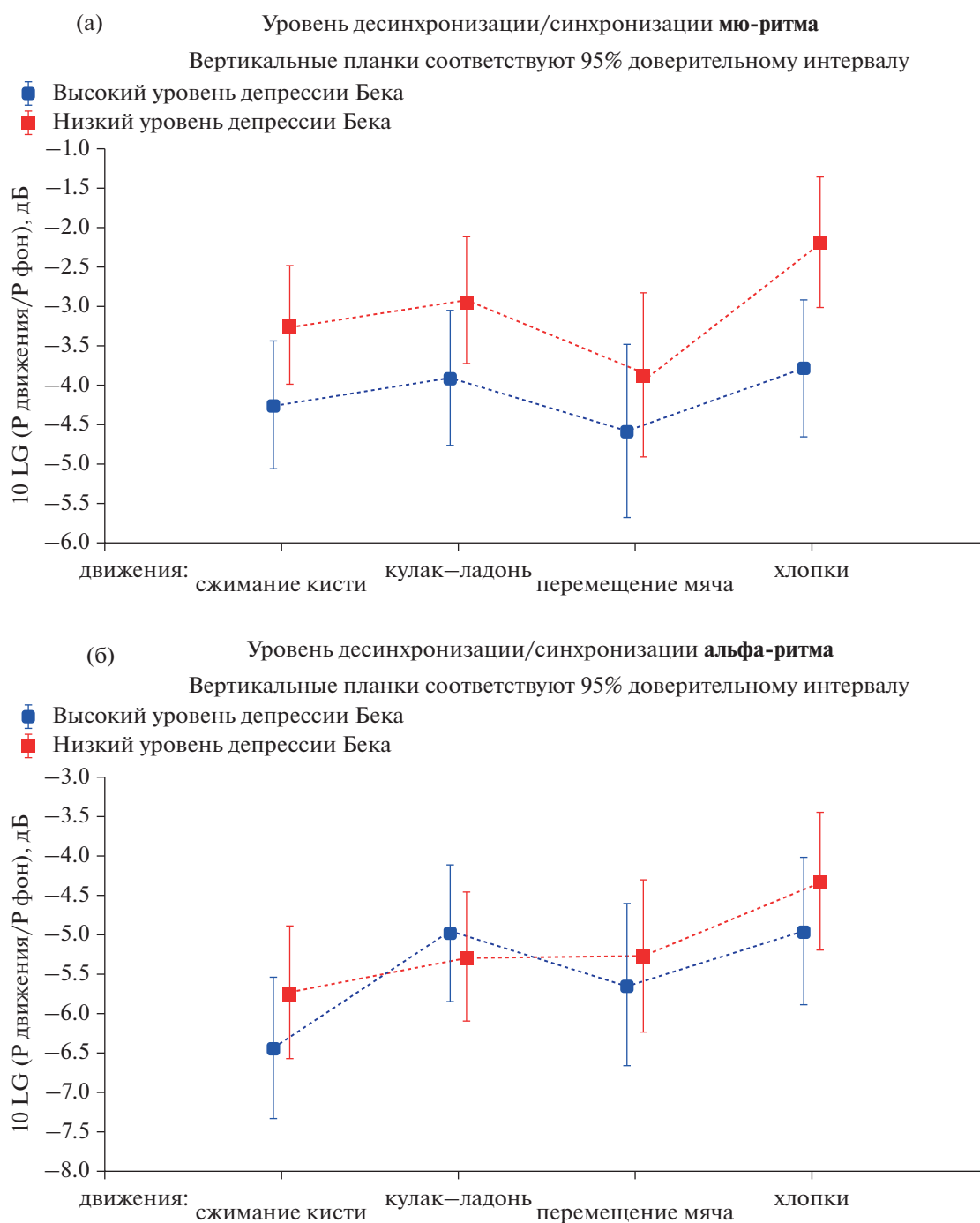


Рис. 4. Средние коэффициенты десинхронизации мю- (а) и альфа- (б) ритмов у испытуемых с высоким и низким уровнем депрессии по шкале Бека при наблюдении и повторении четырех моторных жестов руки (сжатие кисти, жест кулак—ребро—ладонь, перемещение мяча в коробку и назад, хлопки в ладоши).

Fig. 4. Average desynchronization coefficients of mu- (a) and alpha- (b) rhythms in subjects with high and low levels of depression on the Beck scale when observing and repeating four hand gestures (hand clenching, fist—rib—palm gesture, ball movement in and out the box, handclaps).

лись в депрессивном эпизоде, а половина — в маниакальном. Снижение когнитивной эмпатии к положительным стимулам отмечалось только у пациентов с депрессивным

эпизодом, а пациенты с маниакальным эпизодом демонстрировали повышение эмоциональной эмпатии. Исследователи связывают этот феномен со снижением сенсомоторной

реакции ЭЭГ у пациентов во время депрессивного эпизода и с повышением во время маниакального (Bodnar, Rybakowski, 2017). В другой работе при маниакальном эпизоде биполярного аффективного расстройства также наблюдалось повышение активности системы зеркальных нейронов (Basavaraju et al., 2019).

Есть данные, подтверждающие снижение реакции ЗСМ на положительные эмоциональные стимулы и повышение чувствительности ЗСМ к негативным эмоциональным стимулам при депрессивных состояниях. В фМРТ-исследовании было показано, что пациенты с депрессивным расстройством демонстрировали значительно меньшую реакцию BOLD-сигнала на счастливые лица по сравнению с контрольной группой в областях дорсального полосатого тела и передней поясной извилины. Кроме того, им было труднее различать лица с положительными и нейтральными эмоциями (Goodin et al., 2019). Другое фМРТ-исследование выявило, что пациенты с депрессивным эпизодом способны распознавать и интерпретировать социальные жесты, однако это сопровождается большей активацией префронтальной коры и требует затраты больших ресурсов по сравнению с контрольной группой (Suffel et al., 2020). Также пациенты с депрессией демонстрировали большую активность областей ЗСМ (миндалевидного тела, островка и вентралатеральной префронтальной коры) во время наблюдения негативной социальной ситуации, связанной с социальной изоляцией (Kumar et al., 2017).

Необходимо также остановиться на определенных ограничениях данной работы. Зеркальная система мозга не ограничивается моторными и соматосенсорными областями коры, активность которых можно оценить, анализируя реакции мю-ритма. При этом исследовать активность передней поясной извилины, островковой доли, миндалины и других подкорковых структур, участвующих в процессах эмоциональной эмпатии (Carr et al., 2003; Iacoboni, Dapretto, 2006; de Waal, Preston, 2017), с помощью ЭЭГ не представляется возможным. Что же касается областей префронтальной коры, участвующих в процессах эмпатии, в том числе вентромедиальной и орбитофронтальной коры, нижней лобной извилины (Bekkali et al., 2021; de Waal, Preston, 2017), то оценка активности в альфа-диапазоне с электродов, расположенных над этими областями,

не будет специфично отражать только работу зеркальных нейронов, но также может быть вызвана другими когнитивными процессами. Это связано в первую очередь с низким пространственным разрешением ЭЭГ и неспецифичностью альфа-активности фронтальных областей.

Суть используемого метода, применяемого в данной работе, — в возможности выделить из семейства альфа-ритмов мю-ритм, который обладает определенными функциональными и графическими особенностями. Выделяя сенсомоторный мю-ритм методом ИСА, мы с большой долей уверенности можем говорить о том, что оцениваем именно работу моторной коры и ЗСМ, а не зрительной системы или других зон (Ablin et al., 2018; Нувярinen, Оја, 2000). Также в нашей работе отдельно исследуется затылочный альфа-ритм и его реакции, связанные с особенностью работы зрительной системы у испытуемых с депрессией, чтобы отделить функциональные особенности зеркальной и зрительной систем мозга данной группы людей. К сожалению, мы не могли бы с той же уверенностью говорить об исследовании особенностей ЗСМ, анализируя активность в альфа-диапазоне фронтальных областей коры.

Тем не менее применяемый метод выделения мю-ритма с помощью метода независимых компонент позволяет достоверно судить об особенностях работы моторных областей ЗСМ, участвующих в проецировании действий и эмоциональной мимики других людей.

Таким образом, развитие депрессивного состояния даже на начальных стадиях влияет на активность зеркальной системы мозга, при этом повышается ее чувствительность к негативным эмоциональным стимулам. Однако данный эффект не распространяется на активность зрительной коры и визуальное внимание.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки Российской Федерации на 2021–2023 годы (№ АААА-А17-117092040004-0). Электрофизиологическое исследование выполнено на базе Центра коллективного пользования ИВНД и НФ РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ablin P., Cardoso J.F., Gramfort A.* Faster independent component analysis by preconditioning with hesian approximations. *IEEE Transactions on Signal Processing*. 2018. 66 (15): 4040–4049. <https://doi.org/10.1109/TSP.2018.2844203>
- Alkhamees A.A., Alrashed S.A., Alzunaydi A.A., Almo-himeed A.S., Aljohani, M.S.* The psychological impact of COVID-19 pandemic on the general population of Saudi Arabia. *Comprehensive Psychiatry*. 2020. 102: 152192. <https://doi.org/10.1016/j.comppsy.2020.152192>
- Andrews S.C., Enticott P.G., Hoy K.E., Thomson R.H., Fitzgerald P.B.* Reduced mu suppression and altered motor resonance in euthymic bipolar disorder: Evidence for a dysfunctional mirror system? *Social Neuroscience*. 2016. 11 (1): 60–71. <https://doi.org/10.1080/17470919.2015.1029140>
- Arnstein D., Cui F., Keyzers C., Maurits N.M., Gazzola V.* μ -suppression during action observation and execution correlates with BOLD in dorsal premotor, inferior parietal, and SI cortices. *The Journal of neuroscience : the official J. Society for Neuroscience*. 2011. 31 (40): 14243–14249. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0963-11.2011>
- Basavaraju R., Mehta U.M., Pascual-Leone A., Thir-thalli J.* Elevated mirror neuron system activity in bipolar mania: Evidence from a transcranial magnetic stimulation study. *Bipolar Disorders*. 2019. 21 (3): 259–269. <https://doi.org/10.1111/bdi.12723>
- Batterham P.J., Caele A.L., McCallum S.M., Morse A.R., Banfield M., Farrer L.M., Gulliver A., Cherbuin N., Rodney Harris R.M., Shou Y., Dawel A.* Trajectories of depression and anxiety symptoms during the COVID-19 pandemic in a representative Australian adult cohort. *Medical J. Australia*. 2021. 214 (10): 462–468. <https://doi.org/10.5694/mja2.51043>
- Beck A.T.* An Inventory for Measuring Depression, *Archives of General Psychiatry*. 1961. 4(6): 561. <https://doi.org/10.1001/archpsyc.1961.01710120031004>
- Bekkali S., Youssef G.J., Donaldson P.H., Albein-Urios N., Hyde C., Enticott P.G.* Is the Putative Mirror Neuron System Associated with Empathy? A Systematic Review and Meta-Analysis, *Neuropsychology Review*. 2021. 31 (1): 14–57. <https://doi.org/10.1007/s11065-020-09452-6>
- Bimbi M., Festante F., Coudé G., Vanderwert R.E., Fox N.A., Ferrari P.F.* Simultaneous scalp recorded EEG and local field potentials from monkey ventral premotor cortex during action observation and execution reveals the contribution of mirror and motor neurons to the mu-rhythm, *NeuroImage*. 2018. 175: 22–31. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.03.037>
- Bodnar A., Rybakowski J.K.* Increased affective empathy in bipolar patients during a manic episode, *Revista Brasileira de Psiquiatria*. 2017. 39 (4): 342–345. <https://doi.org/10.1590/1516-4446-2016-2101>
- Borra E., Gerbella M., Rozzi S., Luppino G.* The macaque lateral grasping network: A neural substrate for generating purposeful hand actions. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. 2017. 75: 65–90. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.01.017>
- Bowers A., Saltuklaroglu T., Harkrider A., Cuellar M.* Suppression of the μ Rhythm during Speech and Non-Speech Discrimination Revealed by Independent Component Analysis: Implications for Sensorimotor Integration in Speech Processing. Sinigaglia, C. (ed.) *PLoS One*. 2013. 8 (8): e72024. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0072024>
- Bowman L.C., Bakermans-Kranenburg M.J., Yoo K.H., Cannon E.N., Vanderwert R.E., Ferrari P.F., van IJzendoorn M.H., Fox, N.A.* The mu-rhythm can mirror: Insights from experimental design, and looking past the controversy. *Cortex; a journal devoted to the study of the nervous system and behavior*. 2017. 96: 121–125. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2017.03.025>
- Carr L., Iacoboni M., Dubeau M.-C., Mazziotta J.C., Lenzi G.L.* Neural mechanisms of empathy in humans: A relay from neural systems for imitation to limbic areas. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2003. 100 (9): 5497–5502. <https://doi.org/10.1073/pnas.0935845100>
- Chen L.L., Cheng C.H.K., Gong T.* Inspecting Vulnerability to Depression From Social Media Affect. *Frontiers in Psychiatry*. 2020. 11: 54. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2020.00054>
- Cook R., Bird G., Catmur C., Press C., Heyes C.* Mirror neurons: From origin to function. *Behavioral and Brain Sciences*. 2014. 37 (2): 177–192. <https://doi.org/10.1017/S0140525X13000903>
- Ensenberg N.S., Perry A., Aviezer H.* Are you looking at me? Mu suppression modulation by facial expression direction. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*. 2017. 17 (1): 174–184. <https://doi.org/10.3758/s13415-016-0470-z>
- Ferrari P.F., Gerbella M., Coudé G., Rozzi S.* Two different mirror neuron networks: The sensorimotor (hand) and limbic (face) pathways. *Neuroscience*. 2017. 358: 300–315. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2017.06.052>
- Fox N.A., Yoo K.H., Bowman L.C., Cannon E.N., Ferrari P.F., Bakermans-Kranenburg M.J., Vanderwert R.E., Van IJzendoorn M.H.* Assessing human mirror activity With EEG mu rhythm: A meta-analysis. *Psychological Bulletin*. 2016. 142 (3): 291–313. <https://doi.org/10.1037/bul0000031>
- Gerbella M., Borra E., Tonelli S., Rozzi S., Luppino G.* Connectional Heterogeneity of the Ventral Part of the Macaque Area 46. *Cerebral Cortex*. 2013.

- 23 (4): 967–987.
<https://doi.org/10.1093/cercor/bhs096>
- Goodin P., Lamp G., Hughes M.E., Rossell S.L., Ciorciari J.* Decreased Response to Positive Facial Affect in a Depressed Cohort in the Dorsal Striatum During a Working Memory Task – A Preliminary fMRI Study. *Frontiers in Psychiatry*. 2019. 10: 60.
<https://doi.org/10.3389/fpsy.2019.00060>
- Hobson H.M., Bishop D.V.M.* Mu suppression – A good measure of the human mirror neuron system? *Cortex*. 2016. 82: 290–310.
<https://doi.org/10.1016/j.cortex.2016.03.019>
- Hobson H.M., Bishop D.V.M.* The interpretation of mu suppression as an index of mirror neuron activity: past, present and future. *Royal Society Open Science*. 2017. 4 (3): 160662.
<https://doi.org/10.1098/rsos.160662>
- Hyvärinen A., Oja E.* Independent component analysis: Algorithms and applications, *Neural Networks*. 2020. 13 (4–5).
[https://doi.org/10.1016/S0893-6080\(00\)00026-5](https://doi.org/10.1016/S0893-6080(00)00026-5)
- Iacoboni M.* Understanding others: imitation, language, empathy. *Perspectives on Imitation: From Cognitive Neuroscience to Social Science*. 2005. 1: 77–99.
- Iacoboni M., Dapretto M.* The mirror neuron system and the consequences of its dysfunction. *Nature Reviews Neuroscience*. 2006. 7 (12): 942–951.
<https://doi.org/10.1038/nrn2024>
- Jenson D., Bowers A.L., Harkrider A.W., Thornton D., Cuellar M., Saltuklaroglu T.* Temporal dynamics of sensorimotor integration in speech perception and production: independent component analysis of EEG data. *Frontiers in Psychology*. 2014. 5.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00656>
- Krivan S.J., Caltabiano N., Cottrell D., Thomas N.A.* I'll cry instead: Mu suppression responses to tearful facial expressions. *Neuropsychologia*. 2020. 143: 107490.
<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2020.107490>
- Kumar P., Waiter G.D., Dubois M., Milders M., Reid I., Steele J.D.* Increased neural response to social rejection in major depression. *Depression and Anxiety*. 2017. 34 (11): 1049–1056.
<https://doi.org/10.1002/da.22665>
- Kupferberg A., Bicks L., Hasler G.* Social functioning in major depressive disorder. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. 2016. 69: 313–332.
<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.07.002>
- Mikulan E.P., Reynaldo L., Ibáñez A.* Homuncular mirrors: misunderstanding causality in embodied cognition. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2014. 8: 299.
<https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00299>
- Molnar-Szakacs I., Iacoboni M., Koski L., Mazziotta J.C.* Functional Segregation within Pars Opercularis of the Inferior Frontal Gyrus: Evidence from fMRI Studies of Imitation and Action Observation. *Cerebral Cortex*. 2005. 15 (7): 986–994.
<https://doi.org/10.1093/cercor/bhh199>
- Mundy L.K., Canterford L., Moreno-Betancur M., Hoq M., Sawyer S.M., Allen N.B., Patton G.C.* Social networking and symptoms of depression and anxiety in early adolescence. *Depression and Anxiety*. 2021. 38 (5): 563–570.
<https://doi.org/10.1002/da.23117>
- Oztop E., Kawato M., Arbib M.A.* Mirror neurons: Functions, mechanisms and models. *Neuroscience Letters*. 2013. 540: 43–55.
<https://doi.org/10.1016/j.neulet.2012.10.005>
- Pizzagalli D.A., Roberts A.C.* Prefrontal cortex and depression. *Neuropsychopharmacology*. 2022. 47 (1): 225–246.
<https://doi.org/10.1038/s41386-021-01101-7>
- Ritter P., Moosmann M., Villringer A.* Rolandic alpha and beta EEG rhythms' strengths are inversely related to fMRI-BOLD signal in primary somatosensory and motor cortex. *Human brain mapping*. 2009. 30 (4): 1168–87.
<https://doi.org/10.1002/hbm.20585>
- Rizzolatti G., Craighero L.* The Mirror-Neuron System. *Annual Review of Neuroscience*. 2004. 27 (1): 169–192.
<https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.27.070203.14-4230>
- Rizzolatti G., Sinigaglia C.* The mirror mechanism: a basic principle of brain function. *Nature Reviews Neuroscience*. 2016. 17 (12): 757–765.
<https://doi.org/10.1038/nrn.2016.135>
- Rondung E., Leiler A., Meurling J., Bjärtå A.* Symptoms of Depression and Anxiety During the Early Phase of the COVID-19 Pandemic in Sweden. *Frontiers in Public Health*. 2021. 9: 562437.
<https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.562437>
- Salo V.C., Ferrari P.F., Fox N.A.* The role of the motor system in action understanding and communication: Evidence from human infants and non-human primates. *Developmental Psychobiology*. 2019. 61 (3): 390–401.
<https://doi.org/10.1002/dev.21779>
- Shimada K., Kasaba R., Fujisawa T.X., Sakakibara N., Takiguchi S., Tomoda A.* Subclinical maternal depressive symptoms modulate right inferior frontal response to inferring affective mental states of adults but not of infants. *J. Affective Disorders*. 2018. 229: 32–40.
<https://doi.org/10.1016/j.jad.2017.12.031>
- Simone L., Bimbi M., Rodà F., Fogassi L., Rozzi S.* Action observation activates neurons of the monkey ventrolateral prefrontal cortex. *Scientific Reports*. 2017. 7 (1): 44378.
<https://doi.org/10.1038/srep44378>
- Simone L., Rozzi S., Bimbi M., Fogassi L.* Movement-related activity during goal-directed hand actions in the monkey ventrolateral prefrontal cortex,

- Foxe, J. (ed.). *European Journal of Neuroscience*. 2015. 42 (11): 2882–2894.
<https://doi.org/10.1111/ejn.13040>
- Sliwa J., Freiwald W.A. A dedicated network for social interaction processing in the primate brain. *Science*. 2017. 356 (6339): 745–749.
<https://doi.org/10.1126/science.aam6383>
- Suffel A., Nagels A., Steines M., Kircher T., Straube B. Feeling addressed! The neural processing of social communicative cues in patients with major depression. *Human Brain Mapping*. 2020. 41 (13): 3541–3554.
<https://doi.org/10.1002/hbm.25027>
- Vahratian A., Blumberg S.J., Terlizzi E.P., Schiller J.S. Symptoms of Anxiety or Depressive Disorder and Use of Mental Health Care Among Adults During the COVID-19 Pandemic – United States, August 2020–February 2021, *MMWR. Morbidity and Mortality Weekly Report*. 2021. 70 (13): 490–494.
<https://doi.org/10.15585/mmwr.mm7013e2>
- Visted E., Vøllestad J., Nielsen M.B., Schanche E. Emotion Regulation in Current and Remitted Depression: A Systematic Review and Meta-Analysis, *Frontiers in Psychology*. 2018. 9: 756.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00756>
- de Waal F.B.M., Preston S.D. Mammalian empathy: behavioural manifestations and neural basis. *Nature Reviews Neuroscience*. 2017. 18 (8): 498–509.
<https://doi.org/10.1038/nrn.2017.72>
- Wolf S., Seiffer B., Zeibig J.-M., Welkerling J., Brokmeier L., Atrott B., Ehring T., Schuch F.B. Is Physical Activity Associated with Less Depression and Anxiety During the COVID-19 Pandemic? A Rapid Systematic Review. *Sports Medicine*. 2021. 51 (8): 1771–1783.
<https://doi.org/10.1007/s40279-021-01468-z>

ACTIVITY OF THE MIRROR NEURON SYSTEM IN PEOPLE WITH DEPRESSIVE SYMPTOMS

E. D. Karimova^{a, #}, D. V. Smolskaya^b, and A. A. Naratkina^b

^a *Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

^b *Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

[#] *e-mail: e.d.karimova@gmail.com*

The global events of the last few years have led to the fact that more and more people are beginning to experience depressive symptoms. Developing depression significantly affects the emotional state of a person and his perception of the world around him. The purpose of this study was to analyze the reactions of mu- and alpha-rhythms reflecting the work of the mirror and visual systems of the brain, when perceiving and repeating emotionally colored social stimuli in people with different levels of depression. The study involved 32 healthy subjects who were divided into two groups – with high and low levels of depression on the Beck scale. A 32-channel EEG was recorded in two experimental blocks activating the emotional and motor components of the mirror neuron system (MNS): 1) when perceiving emotional faces expressing joy or grief; 2) when observing and repeating motor hand gestures. The desynchronization levels of the mu- and alpha-rhythm components in each of the tasks identified by the independent component method (ICA) were analyzed. It was found that the mu- desynchronization was significantly higher in people with depression when repeating motor hand movements, as well as when perceiving negative emotional facial expressions. Desynchronization of the alpha rhythm did not differ in the two groups of volunteers. Thus, the development of a depressive state increases MNS activation, and its sensitivity to negative emotional stimuli. This effect does not apply to the visual cortex and visual attention.

Keywords: mirror neuron system, mirror neurons, mu-rhythm, EEG, depression, emotional perception