

ФИЗИОЛОГИЯ ВЫСШЕЙ НЕРВНОЙ (КОГНИТИВНОЙ)
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

УДК 612.821

ЭЭГ-КОРРЕЛЯТЫ УЗНАВАНИЯ СЕБЯ
В МОРФИРОВАННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ:
СВЯЗЬ С СОЦИАЛЬНОЙ ТРЕВОЖНОСТЬЮ

© 2024 г. А. В. Бочаров*, А. Н. Савостьянов, А. Е. Сапрыгин, С. С. Таможников,
П. Д. Рудыч, Д. А. Лебедкин, Н. С. Милахина, Е. А. Меркулова, Г. Г. Князев

Научно-исследовательский институт нейронаук и медицины, Новосибирск, Россия

**e-mail: bocharovav@neuronm.ru*

Поступила в редакцию: 06.03.2024 г.

После доработки: 20.06.2024 г.

Принята к публикации: 22.07.2024 г.

Распознавание собственного лица имеет важное значение для самоидентификации и рассматривается как показатель самосознания. Социальная тревожность связана с особым фокусированием на собственной персоне. Целью было исследование осцилляторных ответов, ассоциированных с процессами узнавания/неузнавания себя в морфированных изображениях лиц, и связей с социальной тревожностью в этих процессах. Во время записи ЭЭГ со 128 электродами 48 добровольцев (31 женщина) узнавали себя в морфированных изображениях лиц. При узнавании себя было выявлено большее увеличение тета-ритма во временном интервале от 800 до 1500 мс, чем в условии неузнавания себя. Основываясь на данных связи тета-ритма и процессов внимания и памяти, можно предположить, что увеличение тета-ритма может быть связано с процессами памяти и внимания при восприятии деталей, несоответствий и искажений собственного лица. Социальная тревожность была положительно связана с величиной тета-ритма в условии узнавания себя, что может быть связано с повышенным вниманием, которое социально тревожные люди концентрируют на себе и искажениях собственного лица.

Ключевые слова: ЭЭГ; морфированные лица; тета-ритм; социальная тревожность

DOI: 10.31857/S0044467724040065

ВВЕДЕНИЕ

Распознавание собственного лица – уникальный, сложный во многих аспектах процесс, связанный с базовыми процессами самосознания (Morin, 2007). Так называемый зеркальный тест используется для диагностики наличия самосознания у животных (Gallup, 1977) и появления его у детей в процессе индивидуального развития (Broesch et al., 2011). Lewis (1992) выявил связь между показателями самосознания и успешным прохождением зеркального теста у детей. Было показано, что только дети, прошедшие зеркальный тест, проявляют эмоции, связанные с чувством собственного достоинства, такие как стыд, вина и гордость. Восприятие собственного лица имеет важное значение для самоидентификации и может рассматриваться как показатель самосознания (Keenan et al., 2005). В исследованиях когнитивных процессов высшего порядка распознавание собственного лица используется как мера самосознания и противопоставляется восприятию незнакомых или знакомых лиц. Адаптация такого метода, заключающаяся в распознавании морфированных изображений, содержащих различные комбинации своего лица и лица

другого человека, обеспечивает более чувствительное измерение (Uddin et al., 2007). В поисках понимания процессов самосознания и выявления нейрональных субстратов, ответственных за эти процессы, исследованию восприятия собственного лица было уделено много внимания, и большинство этих исследований проведены с использованием метода функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ). Согласно литературным данным, для процессов восприятия собственного лица важное значение имеют медиальные корковые структуры (cortical midline structures), такие как медиальная префронтальная кора, задняя цингулярная кора и предклинье, образующие дефолт-систему мозга, связанную с социальным сознанием и самосознанием (Sugiura, 2015; Uddin et al., 2005; Uddin et al., 2007). Согласно предположению Uddin et al. (2007), в процессах восприятия себя также может быть задействована сеть зеркальных нейронов (Uddin et al., 2007), участвующая в процессах социального сознания, распознавании намерений других людей и поведении подражания (Каримова, Смольская, Нараткина, 2023).

Результаты фМРТ-исследований восприятия себя в морфированных изображениях часто

неполностью согласуются друг с другом. Так, в исследовании Verosky и Todorov (2010) участники чаще узнавали себя в собственном изображении, морфированном с лицом, вызывающим доверие, чем в изображении, морфированном с лицом, не вызывающим доверия. По мере уменьшения сходства с собой в морфированных изображениях, не вызывающих доверия, увеличивалась активация в ряде областей мозга, включая двустороннюю активацию задней верхней височной и нижней теменной областей, средней и нижней височных извилин, а также активацию правой нижней лобной извилины (Verosky, Todorov, 2010). Активация правой нижней лобной извилины в исследованиях восприятия себя в морфированных изображениях лиц была показана во многих исследованиях (Devue, Bredart, 2011). В отличие от исследования Verosky и Todorov (2010) в исследованиях Morita et al. (2008) и Uddin et al. (2005) активация правой нижней лобной извилины была связана в большей степени с оцениванием собственного лица, чем лиц других людей (Morita et al., 2008; Uddin et al., 2005).

Большинство исследований межполушарной асимметрии активности мозга во время узнавания себя выявили активацию структур мозга, расположенных в правом полушарии (Devue, Bredart, 2011; Feinberg, Keenan, 2005; Hu et al., 2016; Keenan et al., 2005). В свое время, основываясь на результатах таких исследований, Keenan и соавт. (2005) сделали предположение, что самосознание связано с активностью правого полушария (Feinberg, Keenan, 2005; Keenan et al., 2005). В других исследованиях узнавания себя была выявлена активация и в левом полушарии, и в билатерально расположенных структурах (Platek et al., 2008).

фМРТ-исследования незаменимы для точной локализации процессов мозга, но временное разрешение этого метода ограничено скоростью кровотока. Преимуществом электрофизиологических методов является высокое временное разрешение, что позволяет исследовать осцилляторные ответы на миллисекундной шкале и внести вклад в понимание мозговых механизмов исследуемых процессов. К настоящему времени все еще мало известно об особенностях осцилляторных ответов в процессах узнавания себя в морфированных изображениях. В исследовании с использованием метода вызванных потенциалов (ВП) Valconi и Lucchiari (2005) выявили изменения пика N170 ВП (большая негативность) при предъявлении морфированных лиц по сравнению с неморфированными лицами (Valconi, Lucchiari, 2005). В исследовании Bufalari и соавт. (Bufalari et al., 2019) предъявление неизменных лиц — своего или друга — вызывало большую амплитуду позднего позитивного потенциала во временном диапазоне от 450 до 750 мс по сравнению с их морфированными лицами. Авторы объясняют этот результат тем, что морфированные

лица, несмотря на то, что они представляют собой комбинацию собственного лица и лица друга, в большей степени воспринимаются как незнакомые и не содержат какой-либо отчетливой эмоциональной или семантической информации (Bufalari et al., 2019). В исследовании Sakihara и соавт. (2012) увеличение дельта-ритма в теменных и левых височных отведениях было больше при предъявлении лиц знакомых людей, чем морфированных лиц незнакомых людей (Sakihara et al., 2012).

Большинство исследований процессов мозга при восприятии морфированных лиц были нацелены на изучение восприятия морфированных лиц в сравнении с неизменными выражениями лица; нам не удалось найти исследований осцилляторных ответов, в которых исследуется эффект узнавания/неузнавания себя в морфированных изображениях лиц.

В данной работе, применяя метод ЭЭГ, мы нацелены исследовать особенности осцилляторных ответов, сопровождающих процессы узнавания/неузнавания себя в морфированных изображениях лиц. Известно, что тета-ритм связан с процессами памяти и внимания (Cohen, 2014; Klimesch, 1999; Knyazev, 2007), и во многих исследованиях было показано увеличение тета-ритма на значимые, неожиданные и эмоциональные стимулы (Aftanas et al., 2001; Knyazev et al., 2009). Можно предположить, что в случае узнавания себя в морфированном изображении такое изображение будет восприниматься как значимый стимул, привлекающий больше внимания, и во время сличения предъявляемого изображения с образом — представлением себя будет задействованы процессы памяти в большей степени, что проявится в большем увеличении тета-ритма по сравнению с незнакомым морфированным лицом в случае неузнавания себя в изображении. В исследовании будут использованы, кроме нейтральных, эмоциональные (счастливые и печальные) выражения лица в морфированных изображениях. Также мы нацелены проверить влияние эффекта эмоционального выражения лица на осцилляторные ответы процесса узнавания себя в морфированном изображении, для этого мы сравним осцилляторные ответы на используемые в исследовании нейтральные и эмоциональные морфированные лица в условии узнавания себя, в частотно-временном диапазоне, в котором будет выявлен эффект узнавания себя.

Известно, что социальная тревожность связана с особой концентрацией на собственной персоне и характеризуется восприятием ситуаций социального взаимодействия в негативном ключе, в частности социально тревожные люди склонны интерпретировать неоднозначные (амбивалентные) сигналы в социальных ситуациях как знаки неодобрения (Azoulay et al., 2020). Социально тревожные

люди часто имеют низкую самооценку и чувствительны к оцениванию себя другими людьми в связи с кажущимся им риском неодобрения. Социальная тревожность часто связана с самовосприятием себя в негативном ключе; в результате негативного социального опыта и/или искаженного самовосприятия человек с социальной тревожностью делает вывод, что мнение аудитории о нем плохое (Morrison, Heimberg, 2013).

В исследовании Voncken и соавт. (Voncken et al., 2010) было выявлено, что социальная тревожность связана с повышенным фокусом внимания и негативными убеждениями о себе, но только негативные убеждения были связаны с более низкими показателями социального функционирования (Voncken et al., 2010). В другом исследовании McManus, Sacadura и Clark (2008) выявили негативное влияние сфокусированного на себе внимания на поведение и предлагают использовать снижение фокуса внимания на себе в стратегиях уменьшения выраженности социальной тревожности (McManus et al., 2008).

Второй целью исследования стало изучение связи выраженности социальной тревожности и осцилляторных ответов процессов узнавания и неузнавания себя в морфированных изображениях. Согласно метаанализу данных Cavanagh и Shackman (2015) увеличение тета-ритма было связано с осторожным поведением и поведением избегания, характерным для тревожных людей; в свою очередь, тревожные люди часто демонстрируют увеличение тета-ритма в ответ на стимулы наказания (Cavanagh, Shackman, 2015). Также в исследованиях было выявлено влияние анксиолитических препаратов на уменьшение мощности тета-ритма при генерализованном тревожном расстройстве и при социальной тревожности (McNaughton et al., 2013; Shadli et al., 2018). Основываясь на литературных данных о связи тета-ритма с тревожностью (Cavanagh, Shackman, 2015) и процессами внимания (Cohen, 2014; Knyazev, 2007), а также на данных о повышенном внимании к собственной персоне, характерном для людей с социальной тревожностью (Morrison, Heimberg, 2013), мы предполагаем, что выраженность социальной тревожности будет связана с увеличением тета-ритма для морфированных изображений и этот эффект будет более выражен при восприятии морфированных лиц, похожих на себя, т.е. в случае узнавания себя.

МЕТОДИКА

Участники исследования

В исследовании приняли участие 48 добровольцев (31 женщина), средний возраст – 29.2, SD = 11.1. Участники исследования были правшами

с нормальным или скорректированным до нормы зрением, в анкете они отметили, что были здоровы и не употребляли психоактивных веществ накануне исследования.

После исследования участники заполнили опросники, среди которых был опросник «Шкала самосознания» (ШСС) (Self Consciousness Scale (Fenigstein, Scheier, Buss, 1975; Fenigstein, 1987), который содержит шкалу «Социальная тревожность», используемую в данном исследовании. Шкала «Социальная тревожность» состоит из 6 утверждений, на которые можно ответить с помощью выбора одного из вариантов ответа: «Совсем не похоже на меня» (0 баллов); «Немного похоже на меня» (1 балл); «В какой-то степени похоже на меня» (2 балла); «Очень похоже на меня» (3 балла). В данной выборке для социальной тревожности среднее значение было равно 9.1, дисперсия = 18.37. Опросник «Шкала самосознания» был адаптирован и переведен нами (Бочаров и др., 2023).

Экспериментальное задание

Для каждого участника исследования делали фотографии его/ее лица с нейтральным, радостным и печальным выражением. Фотографии делались во фронтальной проекции и затем на них накладывалась маска для обрезания всех деталей прически. Кроме того, из базы данных эмоциональных выражений лиц (NimStim Set of Facial Expressions, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3474329/>) подбирались лица того же пола и сходной привлекательности с нейтральным, радостным и печальным выражением. С помощью программы для морфинга (http://alysa.github.io/face_morpher/) создавались промежуточные изображения, ранжированные от 0 до 10, где 0 – свое собственное лицо, а 10 – лицо другого человека без морфинга. Промежуточные градации – разные стадии морфинга. Во время экспериментального задания испытуемым в случайном порядке предъявлялись морфированные изображения, и задачей было выбрать 1 из 2 вариантов, узнали ли они себя или нет, нажимая соответствующие кнопки. Сначала в центре экрана появлялся крест, затем через 1 сек. появлялось изображение лица (всего было 120 предъявлений), которое оставалось на экране в течение 1 сек., после чего испытуемый выбирал, узнал ли он себя, или не узнал. Программа предъявления стимулов была создана так, чтобы подбирать в процессе тестирования стадию морфинга, на которой вероятность узнавания/неузнавания себя в морфированном изображении была одинакова. Если, например, испытуемый на стадии морфинга 5 узнавал себя, в следующий раз ему предъявлялась стадия 6, и наоборот, если он узнавал другого, то предъявлялась стадия 4.

Запись ЭЭГ

Многоканальный усилитель биопотенциалов Нейровизор (NVX, Россия) со шлемом из 128 электродов, расположенных согласно международной системе 10–5 (Oostenveld, Praamstra, 2001), был использован для записи ЭЭГ. Полоса пропускания – от 0.1 до 100 Гц, частота дискретизации – 1000 Гц. Cz-электрод был выбран в качестве референта, один электрод был использован для записи вертикальной окулограммы.

Анализ данных

ЭЭГ-данные были отфильтрованы в диапазоне от 0.5 до 45 Гц с помощью FIR-фильтра (The new basic FIR filter (pop_eegfiltnew)) в программе EEGLab (<https://www.sccn.ucsd.edu/eeglab>). Артефакты удаляли с помощью метода независимых компонент.

Разложение по частоте и времени проводилось с использованием вейвлет-преобразований версии Morlet с числом циклов, линейно увеличивающимся с частотой, начинающейся с 1.5 цикла в нижней частоте и ограничивающимся 8 циклами при частоте в 40 Гц. Для оценки индуцированных ответов были рассчитаны связанные с событием спектральные пертурбации (СССП) (Delorme, Makeig, 2004).

В качестве тестового интервала использовался отрезок записи ЭЭГ от 0 до 2000 мс (0 – начало предъявления морфированного лица). В качестве фонового интервала был выбран отрезок ЭЭГ-записи, который в наименьшей степени пересекается с процессами ожидания и готовности к восприятию стимула. В качестве фонового (предстимульного) интервала использовали отрезок времени в 0.5 сек, который заканчивался за 1 сек. до предъявления креста.

Сравнение значений СССП условий узнавания и неузнавания себя было проведено в каждой точке тестового интервала от 0 до 2000 мс и в каждой точке частотного диапазона от 1 до 40 Гц. Статистическая значимость различий между условиями во временно-частотном плане была оценена с помощью t-теста парных сравнений методом непараметрической пермутационной статистики (permutation statistics) с использованием 1000 пермутаций и с применением поправки на множественные сравнения (контроль ложных эффектов, FDR correction) на уровне $p < 0.05$. Так как мы исследовали процессы узнавания и неузнавания себя в морфированных лицах, в анализ не включались отрезки ЭЭГ-записи, содержащие предъявление собственного лица и лица незнакомца, в которых не была применена процедура морфинга.

Далее был проведен корреляционный анализ по Спирмену на уровне значимости $p < 0.005$ шкалы «Социальная тревожность» с каждой точкой временно-частотного разрешения СССП

(связанных с событием спектральных пертурбаций) тестового интервала (от 0 до 2000 мс) в каждом ЭЭГ-канале отдельно для условий, когда участник исследования узнает себя (условие «Я») и в условии, когда не узнает (условие «Незнакомец»). Поправку на множественные сравнения в корреляционном анализе не применяли. Результаты анализа были показаны в виде картинок, отображающих достоверные на уровне $p < 0.005$ корреляционные коэффициенты в каждой точке временно-частотного разрешения СССП в каждом ЭЭГ-канале. Распределение достоверных корреляционных коэффициентов по ЭЭГ-каналам показано на картах головы сверху рисунков.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Поведенческие данные

Анализ ANOVA с повторными измерениями не выявил достоверного эффекта эмоционального выражения (печального, нейтрального и счастливого) на среднее значение стадии морфинга, на которой узнавали себя участники исследования ($F = 2.34$, $p = 0.094$). Сравнение средних показателей стадии морфинга, на которой участник исследования узнавал себя в морфированных изображениях печальных, нейтральных и счастливых лиц выявило различия в паре «Печальный» (среднее – 3.825, стандартное отклонение – 1.19) – «Нейтральный» (среднее – 3.995, стандартное отклонение – 1.18) ($p = 0.019$), но с применением поправки Бонферрони эти различия становились недостоверными ($p = 0.058$). Таким образом, участники исследования имели слабую тенденцию узнавания себя на более высокой стадии морфинга в нейтральных морфированных лицах и на более низкой стадии морфинга в печальных морфированных изображениях. Сравнение стадии узнавания себя в парах «Счастливый» (среднее – 3.933, стандартное отклонение – 1.17) – «Нейтральный» ($p = 0.55$) и «Печальный» – «Счастливый» ($p = 0.15$) не выявило статистически значимых различий.

Данные анализа ЭЭГ

На рис. 1 показаны связанные с событием спектральные пертурбации (СССП) и результат сравнения условий узнавания себя и неузнавания себя во временном интервале от 0 до 2000 мс и в частотном интервале от 1 до 40 Гц. На рис. 2 показаны СССП в распределении по электродам головы в та-частотном диапазоне (4–7 Гц) и временном интервале от 800 до 1500 мс в условии узнавания себя и условии неузнавания себя.

Как видно из рисунков 1 и 2, в условии «Я», когда испытуемый узнает себя в морфированном изображении, наблюдалось более выраженное

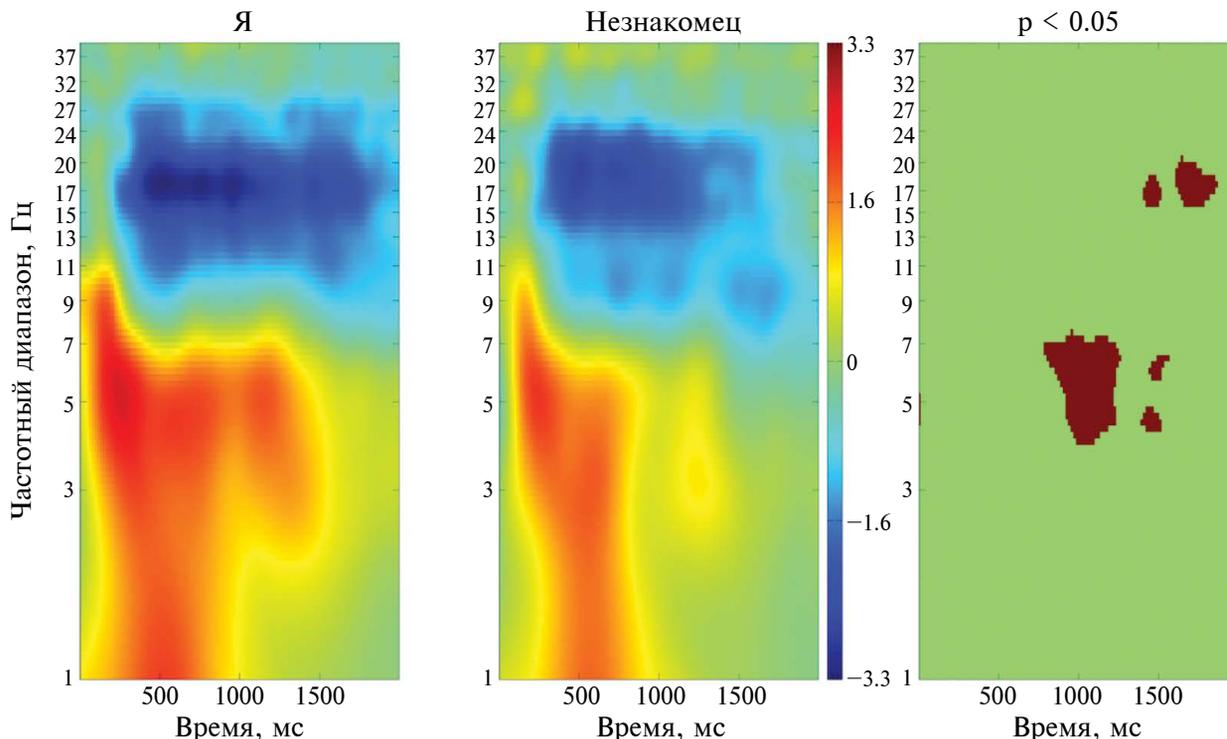


Рис. 1. Связанные с событием спектральные пертурбации (СССП) в частотно-временном разрешении в условии «Я» и условии «Незнакомец». Теплыми цветами показано увеличение спектральной мощности (синхронизация) по сравнению с фоновым интервалом, холодными цветами показано снижение (десинхронизация). Зеленым цветом показаны нулевые значения, где не происходило изменений в спектральной мощности. В правой части рисунка коричневым цветом показаны частотно-временные диапазоны статистически значимых различий между условиями «Я» vs «Незнакомец».

Fig. 1. Event-related spectral perturbations (ERSPs) in time-frequency domain in condition Self and condition Stranger. Warm colors show an increase in spectral power (synchronization) compared to the baseline interval, cool colors show a decrease (desynchronization). Green color shows zero values – there were no changes in spectral power. In the right part of the figure, the brown color shows the frequency-time ranges of statistically significant differences between conditions Self vs Stranger.

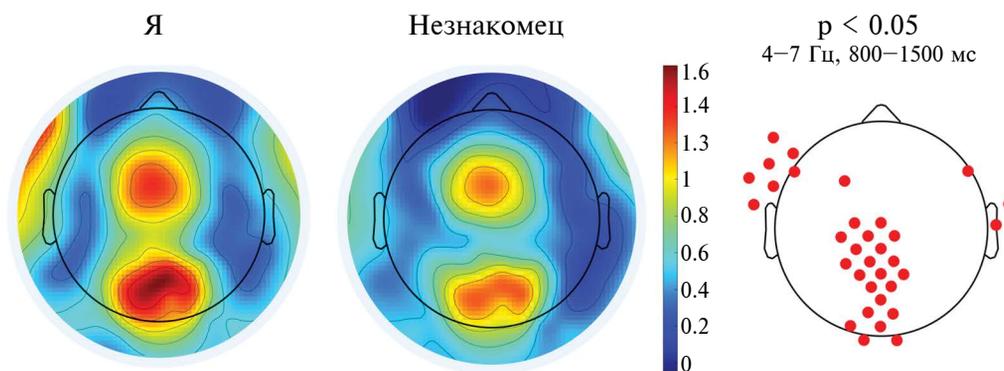


Рис. 2. Распределение по электродам головы СССП в условиях «Я» и «Незнакомец» в тета-частотном диапазоне (4–7 Гц) и во временном интервале от 800 до 1500 мс. Шкала показывает градацию увеличения спектральной мощности тета-ритма от холодных цветов к теплым. В правой части рисунка красным выделены электроды, в которых наблюдались статистически значимые различия между условиями «Я» vs «Незнакомец».

Fig. 2. Distribution across head electrodes of ERSPs in the Self and Stranger conditions in the theta frequency range (4–7 Hz) and in the time interval from 800 to 1500 ms. The scale shows the gradation of the theta rhythm spectral power increase from cool colors to warm colors. In the right part of the figure, electrodes are highlighted by red colour where significant differences were observed between the conditions of Self vs Stranger.

увеличение тета-ритма во временном интервале от 800 до 1500 мс (рис. 1 и 2).

Сравнение осцилляторных ответов в частотном интервале от 4 до 7 Гц и во временном интервале от 800 до 1500 мс после предъявления печальных, радостных и нейтральных морфированных выражений лица в условии узнавания себя не выявило статистически значимых различий.

В результате корреляционного анализа по Спирмену шкалы «Социальная тревожность» и СССП тестового интервала в условиях узнавания и неузнавания себя были выявлены статистически значимые корреляции в условии узнавания себя. На рис. 3 показано временно-частотное распределение корреляционных коэффициентов в условии узнавания себя, а также их распределение по коре головного мозга.

Как видно из рис. 3, в условии узнавания себя социальная тревожность была положительно связана с увеличением тета-ритма после предъявления

морфированного изображения лица во временных интервалах от 300 до 500 мс и от 1100 до 1900 мс. Максимальный коэффициент корреляции по Спирмену ($\rho = 0.58$, $p < 0.005$). В первые 80 мс после предъявления стимула социальная тревожность была отрицательно связана с бета-ритмом в частотном диапазоне от 16 до 22 Гц. Минимальный коэффициент корреляции по Спирмену ($\rho = -0.54$, $p < 0.005$).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Наша гипотеза, высказанная в разделе Введение, подтвердилась. При узнавании себя было выявлено большее увеличение тета-ритма, чем в условии неузнавания себя. Следует отметить, что в текущем исследовании сравнивались только морфированные изображения лиц и различия были обнаружены во временном интервале от 800 до 1500 мс. Тогда как в исследованиях ВП сравнения морфированных лиц

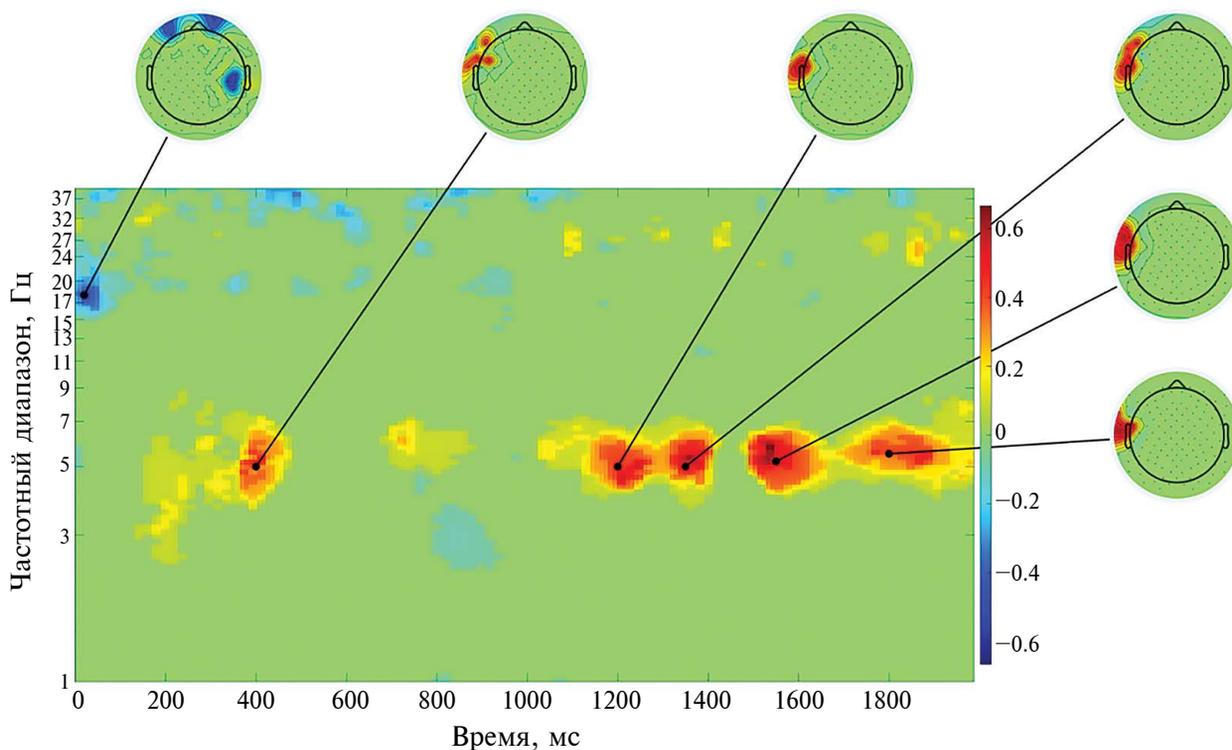


Рис. 3. Корреляции шкалы «Социальная тревожность» и СССП после предъявления морфированных изображений лица в условии, когда участник исследования узнает себя. Оранжевым цветом показаны положительные корреляционные коэффициенты, синим цветом – отрицательные корреляционные коэффициенты. Недостовверные корреляционные коэффициенты показаны зеленым цветом. 0 соответствует началу предъявления морфированного изображения лица. Кортиковые карты сверху рисунка показывают распределение достоверных корреляционных коэффициентов по отведениям.

Fig. 3. Correlations of the Social Anxiety scale and ERSPs after presentation of morphed faces in Self condition. Positive correlation coefficients are shown in warm color and negative correlation coefficients are shown in cold color. Non-significant correlation coefficients are shown in green. 0 corresponds to the onset of presentation of the morphed face image. The cortical maps at the top of the figure show the distribution of significant correlation coefficients by electrodes.

с неизменными лицами показаны более выраженные ответы на свое неизменное лицо во временных интервалах в первые 750 мс после предъявления. Так, в исследовании Balconi и Lucchiari (2005) различия были найдены в пике N170 ВП, а в исследовании Bufalari et al. (2019) – во временном диапазоне от 450 до 750 мс позднего позитивного потенциала. В исследовании осцилляторных ответов распознавания неизменного собственного изображения в сравнении с лицами знакомых и незнакомых людей различия также были обнаружены в раннем временном интервале до 800 мс (Sakihara et al., 2012). Можно предположить, что результаты этих исследований связаны с тем, что собственное неизменное лицо – значимый стимул (Bola et al., 2021), который вызывает более выраженные ответы на ранних временных этапах.

В текущем исследовании проводилось сравнение условий узнавания/неузнавания себя в морфированных лицах и различия были обнаружены в более поздний временной период начиная с 800 мс. Это может быть связано с тем, что в нашем исследовании было использовано более сложное задание узнавания себя в морфированных изображениях, причем для каждого участника исследования рассчитывался индивидуальный порог распознавания в зависимости от фазы морфинга; можно предположить, что интервал начиная от 800 мс, в котором были обнаружены различия, может соответствовать этапу узнавания себя в морфированном изображении, тогда как распознавание своего неизменного лица, обнаруженное в исследованиях, перечисленных выше (Bufalari et al., 2019; Lucchiari, 2005; Sakihara et al., 2012), происходит в более ранний временной период.

Выявленные различия локализовались в латерально-фронтальных и в медиальных центральных, париетальных и окципитальных электродах. Пространственный паттерн электродов, в которых были обнаружены статистически значимые различия, визуально похож по локализации на фронтально-париетальную сеть (Dosenbach et al., 2008), участвующую в процессах внимания, сочетающихся с извлечением из памяти информации о воспринимаемом стимуле (Fischer et al., 2021).

Следует отметить, что в левой части количество фронтальных электродов, в которых были обнаружены статистически значимые различия, было больше, чем в правой. Как упоминается во Введении, исследования межполушарной асимметрии восприятия морфированных изображений, содержащих определенный процент исходного изображения собственного лица, в большинстве случаев выявляли большую активацию в правом полушарии (Devue, Bredart, 2011; Feinberg, Keenan, 2005; Hu et al., 2016; Keenan et al., 2005). Метаанализ фМРТ-исследований локализации эффектов распознавания собственного лица в морфированных

изображениях, выполненный Platek и соавт. (Platek et al., 2008), подтверждает правополушарную, но в значительной степени билатерально распределенную модель обработки информации о собственном лице (Platek et al., 2008). В текущем исследовании сравнивались условия узнавания себя и распознавания незнакомца; вероятно, условие узнавания себя содержит больший процент изображения собственного лица, по сравнению с условием, в котором распознают незнакомца, что соответствует морфированному изображению, содержащему меньший процент изображения собственного лица. В таком ключе текущее исследование наиболее близко в плане сравниваемых условий к фМРТ-исследованию Kircher и соавт. (Kircher et al., 2001), в котором была обнаружена большая активация при предъявлении морфированных изображений лица, содержащих больший процент изображения собственного лица, в структуре мозга, расположенных в левом полушарии, включая дорсолатеральную префронтальную кору, нижнюю теменную дольку и фузиформную извилину, а также в правых височных областях (Kircher et al., 2001). В другом исследовании Uddin и соавт. (2005) сравнивали морфированные изображения себя и знакомых людей с шагом морфинга 20%, причем сравнивались ответы на 3 морфированных изображения, отобранные с помощью оценок испытуемого, т.е. 3 наиболее похожие на себя сравнивались с 3 морфированными изображениями, не похожими на себя. В результате исследования был выявлен правосторонний паттерн активации в дорсолатеральной префронтальной коре, нижней и верхней теменной доле и нижней затылочной извилине (Uddin et al., 2005). Согласно предположению Verosky и Todorov (2010) такие различия в паттернах активации могут быть связаны с различиями в степени морфинга и/или с особенностями экспериментальных заданий (Verosky, Todorov, 2010).

В целом, выявленные нами результаты согласуются с представлением о том, что собственное лицо – это значимый стимул, который привлекает больше внимания, чем лица других людей (Bola et al., 2021; Devue, Bredart, 2011). Можно предположить, что экспериментальное задание распознавания собственного лица, применяемое в нашей работе, выполняется путем сравнения представления о своем лице, хранящегося в долговременной памяти, с сохраненным представлением в системе перцептивной памяти, т.е. в образной эпизодической памяти, предъявленного морфированного изображения. В соответствии с многочисленными данными о связи тета-ритма и процессов памяти (Klimesch, 1999; Knyazev, 2007) можно предположить, что, кроме процессов внимания к деталям собственного лица, содержащего определенный процент лица другого человека, увеличение тета-ритма может быть связано с процессами извлечения

из памяти своего образа лица (представления о собственном лице) и сличения с представленным изображением.

Сравнение показателей тета-ритма (4–7 Гц) во временном интервале от 800 до 1500 мс после предъявления морфированных изображений печальных, радостных и нейтральных выражений лица в условии узнавания себя не выявило статистически значимых различий. Таким образом, можно отметить, что эмоциональные экспрессии (печаль и радость) в морфированном изображении не оказывали какого-либо существенного влияния на осцилляторные ответы процесса узнавания себя. В данном исследовании нами было выявлено, что участники исследования имели слабую тенденцию узнавания себя на более низкой стадии морфинга в случае предъявления морфированного изображения лица с печальным выражением и узнавания себя на более высокой стадии морфинга в случае предъявления морфированного изображения лица с нейтральным выражением. Это можно интерпретировать так, что эмоция печали может способствовать затруднению узнавания себя в печальном морфированном изображении, но этот результат не достигал уровня статистической значимости с поправкой на множественные сравнения. Можно предположить, что в задании, нацеленном на узнавание себя в морфированных лицах, участники исследования не уделяют много внимания эмоциональной составляющей морфированного лица, а обращают внимание на знакомые черты, сходство морфированного лица со своим.

Люди с выраженностью социальной тревожности боятся быть оцененными в негативном ключе другими людьми и к тому же хуже воспринимают внешнюю информацию (Никитина, Холмогорова, 2011). Можно предположить, что участие в научном исследовании может вызывать беспокойство у социально тревожных людей по поводу потенциального оценивания экспериментатором их результатов. Так как такие люди чувствительны к оцениванию другими людьми, возможно, что во время выполнения экспериментального задания они будут стараться выполнить задание наиболее хорошо и приложат больше когнитивных усилий. Согласно метаанализу данных Cavanagh и Shackman (2015) тревожные люди часто демонстрируют увеличение тета-ритма в ответ на стимулы наказания и побуждения к усилению когнитивного контроля (Cavanagh, Shackman, 2015). На первый взгляд кажется, что у участников исследования с более выраженной социальной тревожностью такие вышеперечисленные факторы исследования могут повлиять на увеличение тета-ритма во время узнавания/неузнавания себя в морфированном изображении лица. Можно предположить, что если бы эти факторы имели ключевое значение, то полученная корреляция

с тета-ритмом была бы выявлена и в условии неузнавания себя, но в условии неузнавания себя данная связь не была обнаружена.

Увеличение тета-ритма не ограничивается процессами памяти, внимания и когнитивного контроля, также увеличение тета-ритма характерно для ситуаций и стимулов, вызывающих чувство тревоги (Cavanagh, Shackman, 2015; Кныазев et al., 2008). Согласно модели социальной тревожности, люди с выраженностью социальной тревожности направляют особое внимание на собственную персону (Clark, Wells, 1995). Социально тревожные люди имеют искаженный фокус внимания на себе, чувствуя угрозу оценивания другими людьми в негативном ключе, они испытывают страх, что могут быть признаны несостоятельными и отвергнуты группой (Morrison, Heimberg, 2013). Согласно van der Molen и соавт. (van der Molen et al., 2018) увеличение тета-ритма на социально-оценочную обратную связь может представлять собой нейронный механизм обработки угрозы социальной оценки у социально тревожных людей (van der Molen et al., 2018). Собственная внешность — это открытое для публики представление себя, возможно, для социально тревожных людей, обеспокоенных тем, как их воспринимают другие люди, искажения изображения собственного лица при морфировании с лицом незнакомца могут вызывать повышенное внимание. Можно предположить, что основной вклад в выявленную корреляционную связь социальной тревожности и тета-ритма внесло повышенное внимание, которое социально тревожные люди концентрируют на себе и искажениях изображения собственного лица.

Интересно, что корреляционная связь социальной тревожности и тета-ритма была выявлена в левых височных электродах. Согласно обзору фМРТ-исследований Hattingh и соавт. (2013) эффекты в левых височных областях мозга, включая энторинальную, периферическую кору, миндалину и парагиппокампальную извилину, а также инсулу, часто выявляются в исследованиях социальной тревожности, и это согласуется с нейроанатомическими моделями роли этих структур в возникновении симптомов тревоги и состояния страха (Hattingh et al., 2013). В исследовании Frick и соавт. (2013) социальная тревожность была связана с большей толщиной левой височной коры, в особенности в фузиформной и лингвальной извилинах, которые вовлечены в обработку восприятия лиц человека (Frick et al., 2013). Hattingh и соавт. (2013) предполагают, что повышенная активность височной коры у людей с социальной тревожностью может быть связана с состоянием повышенной бдительности (Hattingh et al., 2013). Эти данные говорят в пользу нашей гипотезы о повышенном внимании к морфированным лицам при узнавании себя у людей с выраженностью

социальной тревожности и согласуются с выявленной в нашем исследовании корреляционной связью социальной тревожности и тета-ритма в левых височных электродах.

В нашем исследовании была выявлена отрицательная корреляция бета-ритма в первые 80 мс с оценками по шкале «Социальная тревожность», что не было предсказано нами во Введении. Согласно современным представлениям активность бета-ритма может быть задействована в процессах top-down-регуляции (Engel, Fries, 2010; Spitzer, Naegens, 2017). Увеличение бета-ритма в отсутствие стимулов может отражать состояние ожидания зрительной системы (Wrobel, 2000) и быть индикатором готовности к восприятию стимула (Hipp et al., 2011). Согласно Abhang и соавт. (2016) оптимальное количество бета-ритма позволяет лучше сфокусироваться на воспринимаемом стимуле, тогда как снижение бета-ритма может сигнализировать о наличии невнимательности, сонливости и плохой сообразительности (Abhang et al., 2016). Можно предположить, что выявленное в нашем исследовании снижение бета-ритма в первые 80 мс у людей с выраженностью социальной тревожности может быть связано со снижением концентрации и готовности к восприятию стимула, что согласуется с трудностями в восприятии внешней информации, характерными для социальной тревожности (Никитина, Холмогорова, 2011).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Осцилляторные ответы узнавания себя в морфированных изображениях лиц сопровождались более выраженным увеличением тета-ритма, что может быть связано с вниманием к деталям собственного лица и процессами извлечения из памяти образа своего лица и сличения его с представленным морфированным изображением. В условии узнавания себя социальная тревожность была положительно связана с величиной тета-ритма. Основываясь на данных связи тета-ритма и процессов внимания, можно предположить, что люди с выраженностью социальной тревожности в условии узнавания себя в морфированном изображении фокусируют больше внимания на деталях, несоответствиях и искажениях собственного лица.

ВКЛАД АВТОРОВ

Г.Г. Князев – концепция и методология; П.Д. Рудыч – разработка программного обеспечения; А.Н. Савостьянов, С.С. Таможников, Д.А. Лебедин – проведение исследования; А.В. Бочаров, А.Е. Сапрыгин, С.С. Таможников, Н.С. Милахина,

Е.А. Меркулова – анализ данных; А.В. Бочаров – написание текста, А.В. Бочаров, А.Н. Савостьянов, Г.Г. Князев – редактирование статьи.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (РНФ), проект № 22-15-00142.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Исследование было проведено с получением информированного согласия участников и было одобрено Локальным этическим комитетом Научно-исследовательского института нейронаук и медицины (Новосибирск) протокол № 3-О от 18 марта 2021 года.

УКАЗАНИЕ НА ДОСТУПНОСТЬ ПЕРВИЧНЫХ ДАННЫХ

Первичные данные могут быть получены по запросу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бочаров А.В., Лебедин Д.А., Савостьянов А.Н., Князев Г.Г. Валидизация русских версий опросников: «шкала фокуса внимания на себе» и «шкала самосознания». *Российский психологический журнал*. 2023. 20 (3): 97–115.
- Каримова Е.Д., Смольская Д.В., Нараткина А.А. Активность зеркальной системы мозга у людей с депрессивным симптомокомплексом. *Журн. высш. нерв. деят.* 2023. 73(2): 230–241.
- Никитина И.В., Холмогорова А.Б. Социальная тревожность: содержание понятия и основные направления изучения. Часть 2. Социал. клин. психиатрия. 2011. 21 (1): 60–67.
- Abhang P.A., Gawali B.W., Mehrotra S.C. Introduction to EEG-and speech-based emotion recognition. Elsevier: Academic Press, 2016. 198 p.
- Aftanas L.I., Varlamov A.A., Pavlov S.V., Makhnev V.P., Reva N.V. Affective picture processing: event-related synchronization within individually defined human theta band is modulated by valence dimension. *Neurosci. Lett.* 2001. 303 (2): 115–118.

- Azoulay R., Berger U., Keshet H., Niedenthal P.M., Gilboa-Schechtman E. Social anxiety and the interpretation of morphed facial expressions following exclusion and inclusion. *Journ. Behav. Therapy Experim. Psychiatry*. 2020. 66: 101511.
- Balconi M., Lucchiari C. Event-related potentials related to normal and morphed emotional faces. *J. Psychol.* 2005. 139 (2): 176–192.
- Bola M., Paž M., Doradzińska E., Nowicka A. The self-face captures attention without consciousness: Evidence from the N2pc ERP component analysis. *Psychophysiology*. 2021. 58(4): e13759.
- Brosch T., Callaghan T., Henrich J., Murphy C., Rochat P. Cultural variations in children's mirror self-recognition. *JCCP*. 2011. 42(6): 1018–1029.
- Buřalari I., Sforza A.L., Di Russo F., Mannetti L., Aglioti S.M. Malleability of the self: Electrophysiological correlates of the enfacement illusion. *Sci. Rep.* 2019. 9 (1): 1682.
- Cavanagh J.F., Shackman A.J. Frontal midline theta reflects anxiety and cognitive control: meta-analytic evidence. *J. Physiol. Paris*. 2015. 109: 3–15.
- Clark D.M., Wells A. A cognitive model of social phobia. *Social phobia: Diagnosis, assessment and treatment*. Ed. Heimberg R.G., Liebowitz M.R., Hope D.A., Schneier F.R. New York: Guilford Press, 1995. 69–93 pp.
- Cohen M.X. A neural microcircuit for cognitive conflict detection and signaling. *Trends Neurosci.* 2014. 37(9): 480.
- Delorme A., Makeig S. EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. *J. Neurosci. Methods*. 2004. 134: 9.
- Devue C., Bredart S. The neural correlates of visual self-recognition. *Conscious. Cogn.* 2011. 20: 40–51.
- Dosenbach N.U., Fair D.A., Cohen A.L., Schlaggar B.L., Petersen, S.E. A dual-networks architecture of top-down control. *Trends Cogn. Sci.* 2008. 12 (3): 99–105.
- Engel A. K., Fries P. Beta-band oscillations—signalling the status quo? *Curr. Opin. Neurobiol.* 2010. 20(2): 156–165.
- Fischer M., Moscovitch M., Alain C. A systematic review and meta-analysis of memory-guided attention: Frontal and parietal activation suggests involvement of fronto-parietal networks. *WIREs: Cognitive Science*. 2021. 12 (1): e1546.
- Feinberg T.E., Keenan J.P. Where in the brain is the self? *Conscious. Cogn.* 2005. 14(4): 661–678.
- Fenigstein A., Scheier M.F., Buss A.H. Public and private self-consciousness: Assessment and theory. *J. Consult. Clin. Psychol.* 1975. 43 (4): 522–527.
- Fenigstein A. On the nature of public and private self-consciousness. *Journal of personality*. 1987. 55 (3): 543–554.
- Frick A., Howner K., Fischer H., Eskildsen S.F., Kristiansson M., Furmark T. Cortical thickness alterations in social anxiety disorder. *Neurosci. Lett.* 2013. 536: 52–55.
- Gallup G.G. Self recognition in primates: a comparative approach to the bidirectional properties of consciousness. *Am. Psychol.* 1977. 32: 329–338.
- Hattingh C.J., Ipser J., Tromp S.A., Syal S., Lochner C., Brooks S.J., Stein D.J. Functional magnetic resonance imaging during emotion recognition in social anxiety disorder: an activation likelihood meta-analysis. *Front. Hum. Neurosci.* 2013. 6: 347.
- Hipp J.F., Engel A.K., Siegel M. Oscillatory synchronization in large-scale cortical networks predicts perception. *Neuron*. 2011. 69 (2): 387–396.
- Hu C., Di X., Eickhoff S.B., Zhang M., Peng K., Guo H., Sui J. Distinct and common aspects of physical and psychological self-representation in the brain: A meta-analysis of self-bias in facial and self-referential judgements. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 2016. 61: 197–207.
- Keenan J.P., Rubio J., Racioppi C., Johnson A., Barnacz A. The right hemisphere and the dark side of consciousness. *Cortex*. 2005. 41 (5): 695–704.
- Kircher T.T., Senior C., Phillips M.L., Rabe-Hesketh S., Benson P.J., Bullmore E.T., Brammer M., Simmons A., Bartels M., David A.S. Recognizing one's own face. *Cognition*. 2001. 78 (1): 1–15.
- Klimesch W. EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain Res. Rev.* 1999. 29 (2): 169–195.
- Knyazev G.G. Motivation emotion and their inhibitory control mirrored in brain oscillations. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 2007. 31: 377.
- Knyazev G.G., Bocharov A.V., Levin E.A., Savostyanov A.N., Slobodskoj-Plusnin J.Y. Anxiety and oscillatory responses to emotional facial expressions. *Brain Res.* 2008. 1227: 174–188.
- Knyazev G.G., Slobodskoj-Plusnin J.Y., Bocharov A.V. Event-related delta and theta synchronization during explicit and implicit emotion processing. *Neuroscience*. 2009. 164: 1588–1600.
- Lewis M. Self-conscious emotions and the development of self. *Affect: Psychoanalytic Perspectives*. Ed. Shapiro T., Emde R.N. Madison, CT: International Universities Press. Inc., 1992. 45–73 pp.
- McNaughton N., Swart C., Neo P., Bates V., Glue P. Anti-anxiety drugs reduce conflict-specific “theta”—a possible human anxiety-specific biomarker. *J. Affect. Disord.* 2013. 148: 104–111.
- McManus F., Sacadura C., Clark D.M. Why social anxiety persists: An experimental investigation of the role of safety behaviours as a maintaining factor. *Journ. Behav. Therapy Experim. Psychiatry*. 2008. 39 (2): 147–161.
- Morin A. Self-awareness and the left hemisphere: The dark side of selectively reviewing the literature. *Cortex*. 2007. 43 (8): 1068–1073.
- Morita T., Itakura S., Saito D.N., Nakashita S., Harada T., Kochiyama T., Sadato N. The role of the right prefrontal cortex in self-evaluation of the face: a functional magnetic resonance imaging study. *J. Cogni. Neurosci.* 2008. 20 (2): 342–355.
- Morrison A.S., Heimberg R.G. Social anxiety and social anxiety disorder. *Annu. Rev. Clin. Psychol.* 2013. 9: 249–274.

- Oostenveld R., Praamstra P.* The five percent electrode system for high-resolution EEG and ERP measurements. *Clin. Neurophysiol.* 2001. 112 (4): 713–719.
- Platek S.M., Wathne K., Tierney N.G., Thomson J.W.* Neural correlates of self-face recognition: an effect-location meta-analysis. *Brain Res.* 2008. 1232: 173–184.
- Sakihara K., Gunji A., Furushima W., Inagaki M.* Event-related oscillations in structural and semantic encoding of faces. *Clin. Neurophysiol.* 2012. 123 (2): 270–277.
- Spitzer B., Haegens S.* Beyond the status quo: a role for beta oscillations in endogenous content (re)activation. *Eneuro.* 2017. 4 (4).
- Shadli S.M., Kawe T., Martin D., McNaughton N., Neehoff S., Glue P.* Ketamine effects on EEG during therapy of treatment-resistant generalized anxiety and social anxiety. *IJNP.* 2018. 21 (8): 717–724.
- Sugiura M.* Three faces of self-face recognition: Potential for a multi-dimensional diagnostic tool. *Neurosci. Res.* 2015. 90: 56–64.
- Uddin L.Q., Kaplan J.T., Molnar-Szakacs I., Zaidel E., Iacoboni M.* Self-face recognition activates a frontoparietal “mirror” network in the right hemisphere: an event-related fMRI study. *NeuroImage.* 2005. 25: 926–935.
- Uddin L.Q., Iacoboni M., Lange C., Keenan J.P.* The self and social cognition: the role of cortical midline structures and mirror neurons. *Trends Cogn. Sci.* 2007. 11 (4): 153–157.
- van der Molen M.J., Harrewijn A., Westenberg P.M.* Will they like me? Neural and behavioral responses to social-evaluative peer feedback in socially and non-socially anxious females. *Biol. Psychol.* 2018. 135: 18–28.
- Verosky S.C., Todorov A.* Differential neural responses to faces physically similar to the self as a function of their valence. *NeuroImage.* 2010. 49 (2): 1690–1698.
- Wrobel A.* Beta activity: a carrier for visual attention. *Acta Neurobiol. Exp.* 2000. 60: 247–260.

EEG CORRELATES OF SELF-RECOGNITION IN MORPHED FACES: ASSOCIATION WITH SOCIAL ANXIETY

A. V. Bocharov[#], A. N. Savostyanov, A. E. Saprygin, S. S. Tamozhnikov,
P. D. Rudych, D. A. Lebedkin, N. S. Milakhina, E. A. Merkulova, G. G. Knyazev

Scientific Research Institute of Neurosciences and Medicine, Novosibirsk, Russia
[#]*e-mail: bocharovav@neuronm.ru*

Recognizing one's own face is important for self-identification and is considered an indicator of self-consciousness. Social anxiety is related to special attention to self. The aim was to investigate the oscillatory dynamics associated with self-recognition/non-self-recognition in morphed faces and the correlation with social anxiety in these processes. During EEG recordings with 128 electrodes, 48 volunteers (31 females) recognized themselves in morphed faces. During self-recognition, a greater increase in theta rhythm was revealed in the time interval from 800 to 1500 ms than in the non-self-recognition condition. Based on the data on the relationship of the theta rhythm with attention and memory, it could be assumed that the increase in theta rhythm may be related to memory and attention processes when perceiving details, mismatches, and misrepresentation of one's own face. Social anxiety was positively related to the magnitude of theta rhythm during self-recognition, it could be related to the increased attention that socially anxious people focus on themselves and distortions of their own face.

Keywords: EEG; morphed face; theta rhythm; social anxiety