

ФИЗИОЛОГИЯ ВЫСШЕЙ НЕРВНОЙ (КОГНИТИВНОЙ) ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

УДК 612

РАЗЛИЧИЯ ЭЭГ ПРИ ВОСПРИЯТИИ СВОЕГО И ЧУЖОГО ЛИЦА: ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ПОДХОДА К АНАЛИЗУ ДАННЫХ ЭЭГ

© 2022 г. Г. В. Портнова^{1, 2, *}, Л. Б. Окнина¹, Е. Л. Машеров³, А. А. Слезкин⁴, В. В. Подлепич³

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

²ФГБОУ ВО “Государственный институт русского языка им. А.С. Пушкина”, Москва, Россия

³ФГАУ НМИЦ нейрохирургии им. академика Н.Н. Бурденко Минздрава России, Москва, Россия

⁴ФГБОУ ВО “МИРЭА – Российский технологический университет”, Москва, Россия

*e-mail: caviter@list.ru

Поступила в редакцию 20.07.2021 г.

После доработки 09.12.2021 г.

Принята к публикации 20.12.2021 г.

В данной статье представлено исследование различий в восприятии своего и чужого лица при помощи комплексного подхода к анализу данных ЭЭГ. Была разработана парадигма, в ходе которой здоровым добровольцам предлагались серии предварительно обработанных и унифицированных фотографий своего и чужого лица. Для анализа данных были использованы метод вызванных потенциалов, метод анализа спектральной мощности ЭЭГ, а также нелинейные показатели ЭЭГ, такие как фрактальная размерность, частота огибающей и Hjorth complexity. Было выявлено, что при восприятии своего лица по сравнению с чужим больше мощность медленноволновой активности, а также меньше мощность альфа- и бета-ритмов, меньше амплитуда компонента P100, больше амплитуда позднего позитивного компонента, а также больше значения всех исследуемых нелинейных параметров ЭЭГ. Полученные результаты и примененные техники анализа данных ЭЭГ будут использованы в дальнейшем для исследования патологии самоидентификации у пациентов с поражениями головного мозга.

Ключевые слова: ЭЭГ, свое лицо, ВП, спектральная мощность ЭЭГ, фрактальная размерность

DOI: 10.31857/S0044467722030091

ВВЕДЕНИЕ

Современное развитие общества, пожалуй, впервые сталкивает человека с ситуацией, когда его лицо становится важным звеном рутинных действий, начиная с разблокировки смартфона и оплаты покупки банковской картой и заканчивая выявлением нарушителей закона. Благодаря технологическому прогрессу человек все чаще сталкивается не с зеркальным отображением своего лица, как в совсем недавнем прошлом, а с необходимостью распознавания своего лица в том виде, в котором его видят другие люди. С учетом вышесказанного восприятие своего лица приобретает все большее значение как с социальной и эмоционально-личностной точки зрения, так и с позиции когнитивного процесса.

Несмотря на значимость проблемы, до сих пор нет четкого понимания морфологической и нейрофизиологических основ восприятия своего лица (Keenan et al., 1999; Lewis, Brooks-Gunn, 1979). В частности, результаты фМРТ-исследований в зависимости от применяемого подхода часто расходятся в локализации структур мозга, ответственных за распознавание своего лица. Так, по одним данным в этот процесс в большей степени вовлечены структуры правого полушария, тогда как по данным других исследователей выраженной межполушарной асимметрии в процессе узнавания своего лица не обнаружено (Fink et al., 2005; Keenan et al., 2003). Среди областей мозга, участвующих в процессе узнавания своего лица, наиболее часто регистрируется активность в области поясной извилины, префронтальной, островковой и

нижнетеменной областей (Nyberg et al., 1996). По другим данным, помимо лимбической системы (миндалины, поясная извилина, гиппокамп) наблюдается доминирующая активация самых разных корковых (зрительная, нижневисочная, верхневисочная, префронтальная кора), а также подкорковых мозговых структур (мозжечок, хвостатое ядро, таламус) (Дубынин И.А., 2007; Platek et al., 2004).

Аналогичная тенденция обнаружена в области электрофизиологических и поведенческих исследований. В зависимости от направленности исследования авторы склонны концентрироваться на тех или иных компонентах процесса восприятия своего лица. В частности, подавляющим числом исследователей были изучены когнитивные процессы, сопровождающие узнавание своего лица. Было обнаружено, что данный процесс обычно сопровождается большим произвольным и произвольным вниманием и характеризуется лучшим узнаванием своего лица по сравнению с другими лицами (Devue et al., 2009; Gray et al., 2009). Другие исследования также показали, что скорость опознания собственного лица выше, чем скорость опознания лиц знакомых и незнакомых людей (Tong, Nakayama, 1999; Pannese, Hirsch, 2011; Keenan et al., 2003; Herwig, 2012; Quinn, 2019). При исследовании эмоционально-личностного компонента восприятия своего лица были получены и данные, свидетельствующие о вовлечении эмоций в процесс анализа. Так, исследования в области айтрекинга показали, что лица, обладающие внешним сходством с испытуемым, вызывают более сильный эффект слежения по сравнению с непохожими (Hung, Hunt, 2012), при этом для опознания своего лица требуется меньше информации по сравнению с чужим. В частности, при распознавании своего лица человеку достаточно взглянуть на верхнюю часть лица, тогда как при восприятии лица другого человека требуется анализ всего лица (Chakraborty, Chakrabarti, 2018). Предъявление своего лица как дополнительного стимула за счет его высокой значимости для испытуемого (Heinisch et al., 2011) способствовало более эффективному решению когнитивных задач, для которых необходима активация нейронных сетей, связанных с вниманием (Brédart et al., 2006; Gray et al., 2009), памятью и восприятием (Sui, Humphreys, 2013; Porciello et al., 2016), при котором задействуются не

только когнитивные функции, связанные с узнаванием лиц, но и запускаются процессы, связанные с эмоционально-личностными и мотивационными компонентами восприятия (Chakraborty, Chakrabarti, 2018).

В нашем исследовании мы использовали комплексный подход к анализу данных и включили метод вызванных потенциалов (ВП), исследование спектральной мощности ЭЭГ и нелинейные методы анализа данных ЭЭГ (Portnova, Atanov, 2018a). Данный подход к методам анализа был основан на уже полученных ранее вышеописанных данных о восприятии лиц и применимости методов анализа ЭЭГ для выделения психических состояний, предположительно задействованных при восприятии своего лица.

МЕТОДИКА

Испытуемые

В эксперименте приняли участие 34 здоровых взрослых добровольца (28.5 ± 7.2 лет, 16 мужчин, 18 женщин). Все испытуемые были праворукими, в анамнезе ни у кого из обследуемых не было черепно-мозговой травмы, неврологических и психических расстройств. Испытуемые не принимали психотропных лекарств, а также в течение двух дней до начала исследования не принимали алкоголя. Испытуемые женского пола были приглашены на исследования в первую фазу менструального цикла (с 4-го по 12-й день). Все испытуемые были ознакомлены с планом эксперимента и подписали письменное согласие на участие в исследовании.

Стимулы

Перед исследованием каждый доброволец прошел фотографирование. Фотографии с целью стандартизации были обработаны в программе Photoshop. Финальный вариант фотографии с разрешением 3200/1800 pс был центрирован, предъявлялся на экране монитора в монохромном формате на черном фоне. Пример нативной и обработанной фотографии представлен на рис. 1.

Процедура

Испытуемый сидел в кресле в изолированном помещении. Каждому испытуемому было предъявлено 240 подготовленных фотографий, из них 90 своих, 150 чужих. Длитель-



Рис. 1. Пример нативной и обработанной фотографии в прямой проекции (выбрана фотография одного из соавторов, который участвовал в тестовой части исследования).

Fig. 1. An example of native and processed photographs in frontal projection (one of the co-authors who participated in the pilot study).

ность предъявления составляла 0.5 сек, пауза между предъявлениями составляла 2–3 сек. Через 1 сек после начала предъявления стимула (или через 500 мсек после его окончания) появлялось задание: испытуемого просили нажатием кнопки оценить, было ли лицо своим или чужим.

Регистрация данных

Запись ЭЭГ проводилась прибором Нейрон-Спектр 4/р Нейрософт, Россия, г. Иваново, 19 электродов устанавливались по международной схеме 10–20%. Верхний фильтр составлял 75 Гц, нижний – 0.5 Гц. Фильтр сетевой наводки составлял 50 Гц, частота дискретизации – 500 Гц. Референты – A1, A2.

Анализ данных

Предобработка. Запись ЭЭГ для каждого испытуемого включала 2 минуты фоновой записи с открытыми и закрытыми глазами и около 20 минут ЭЭГ с предъявлением зрительной стимуляции. Запись ЭЭГ была очищена от глазодвигательных, ЭКГ- и мышечных артефактов при помощи Метода независимых компонент (Independent Component Analysis) с использованием EEGLab. После этого все данные были подвергнуты визуальному анализу и оставшиеся артефакты были удалены вручную (не более 5 сек фоновой записи и не более 1% от записи ЭЭГ, содержащей метки).

Полученные данные были разбиты на фрагменты в соответствии с типом предъявляемого стимула (метки Presentation). Дальнейший анализ данных ЭЭГ включал в себя

именно эти фрагменты. Для подсчета линейных и нелинейных параметров ЭЭГ использовались интервалы в 1 сек (0.5 сек – предъявление самого стимула + 0.5 сек – ответ): 90 1-секундных интервалов для своего лица и 150 – для чужого. Для сравнения с фоновой записью был использован фрагмент ЭЭГ длительностью 120 секунд, разбитый на фрагменты по 1 сек для каждого испытуемого.

Анализ спектральной мощности ЭЭГ

Анализ мощности ритмов ЭЭГ проводился с использованием программного обеспечения Matlab (MathWorks, USA). Быстрое преобразование Фурье (Fast Fourier Transform (FFT)) использовалось для анализа спектров мощности исследуемых фрагментов ЭЭГ. ЭЭГ-спектр оценивался для каждого исследуемого состояния. Полученные спектры мощности усредняли с шагом 1 Гц в интервале от 2 до 20 Гц (2–3 Гц, 3–4 Гц, ... 19–20 Гц). Для анализа использовались логарифмированные показатели мощности.

Анализ нелинейных показателей ЭЭГ

Фрактальная размерность. Фрактальная размерность D_2 рассчитывалась для всего диапазона частот (2–20 Hz). Математический расчет фрактальной размерности D_2 производился при помощи метода Хигучи (Higuchi, 1988), основанного на переходе от исходной последовательности к последовательностям, полученным децимацией, то есть взятием каждого k -го наблюдения. При этом для каждого выбранного значения k формируется k таких независимых рядов, отличающихся

сдвигом начальной точки. Для каждого из них вычисляется длина кривой, определяемая как сумма абсолютных значений разностей отсчетов данных, нормированная к длине исходной кривой, вычисляется среднее арифметическое полученных таким образом длин по всем взятым k рядам, давая усредненную оценку длины $L(k)$. Для рядов, имеющих фрактальную размерность D , используется функция $L(k) \sim k^{-D}$. Для оценивания величины D используется линейная регрессия зависимости величины $\log(L(k))$ от $\log(k)$.

Частота огибающей. Мы рассчитали огибающую сигнала ЭЭГ при помощи преобразования Гильберта (Médli, 1992; Hu, Zhang, 2019) и проанализировали частоту огибающей в диапазоне частот 2–20 Гц. Для подсчета частоты огибающей по Гильберту сначала рассчитывалось преобразование Гильберта $y(t)$ функции $x(t)$, которое задается следующей формулой (Van Zaen, 2010):

$$y(t) = \frac{1}{\pi} \lim_{\varepsilon \rightarrow 0^+} \left(\int_{t-1/\varepsilon}^{t-\varepsilon} \frac{x(\tau)}{t-\tau} d\tau + \int_{t+\varepsilon}^{t+1/\varepsilon} \frac{x(\tau)}{t-\tau} dt \right).$$

Огибающая вычислялась как

$$A(t) = \sqrt{x^2(t) + y^2(t)}$$

и подвергалась преобразованию Фурье для расчета ее спектра. При этом средняя частота огибающей по Гильберту будет рассчитываться следующим образом (Oweis, Abdulhay, 2011):

$$\bar{f} = \frac{\sum_{i=1}^k a(i) f^2(i)}{\sum_{i=1}^k a(i) f(i)}.$$

Эта частота (\bar{f}) представляет собой среднюю частоту с использованием мгновенной информации (частота f и амплитуда a в интервале от 1 до k).

Hjorth complexity. Мы рассчитали параметр Hjorth complexity (Hjorth (1975) для диапазона 2–20 Гц:

$$\text{Hjorth complexity} = \frac{\text{mobility}(y'(t))}{\text{mobility}(y(t))}, \text{ mobility} = \frac{\sqrt{\text{var}(y'(t))}}{\sqrt{\text{var}(y(t))}}, \text{ где } y(t) \text{ — это сигнал ЭЭГ, а } y'(t) \text{ — вариабельность сигнала ЭЭГ.}$$

Анализ ВП

Для анализа вызванных потенциалов (ВП) использовался открытый источник программы EEGlab. Для анализа использовали интервал от 200 мс перед предъявлением стимула до 1000 мсек после предъявления стимула. При помощи Matlab для каждого испытуемого отдельно были выделены следующие компоненты ВП: P100, P300 и N400 и поздний позитивный компонент, далее индивидуальные значения амплитуд и латентностей выделенных компонент использовались для статистического анализа. На рис. 2 представлен ВП для предъявления двух типов картинок: своего и чужого лица.

Статистический анализ

Статистический анализ проводили с использованием программы Statistica 13.

Индивидуальные значения амплитуды и латентности компонентов ВП, а также других параметров ЭЭГ сравнивались между предъявлениями своего и чужого лица при помощи t -критерия Стьюдента, т.к. все группы данных прошли тест на нормальное распределение. Нормальность распределения данных была посчитана при помощи теста Колмогорова–Смирнова (значения составили от $d = 0.22469$, $p > 0.20$, до $d = 0.09697$, $p > 0.20$) и W -теста Шапиро–Уилка (значения составили от $p = 0.137$ до $p = 0.81015$). С учетом того, что использовалось 4 метода анализа данных, порог значимости был выставлен равным 0.0125, при этом в тексте указан средний показатель t -критерия по электродам, для которых были обнаружены значимые различия с учетом коррекции на множественное сравнение. Для того чтобы решить проблему множественного сравнения в связи с 19-канальной записью ЭЭГ, выполнялась коррекция при помощи пермутационного теста (500 пермутаций) для t -критерия Стьюдента. Программа была разработана в среде Matlab и имела следующие характеристики (аналогично используемым в тулбоксе Fieldtriptoolbox, Matlab): clusteralpha = 0.05; alpha = 0.05; minnbchan = 2; numrandomization = 500.

Мы не интерпретировали данные, в которых значимые различия или корреляции были обнаружены меньше, чем по 2 соседним электродам. Все описанные ниже результаты были подтверждены при помощи пермутационного кластерного анализа.

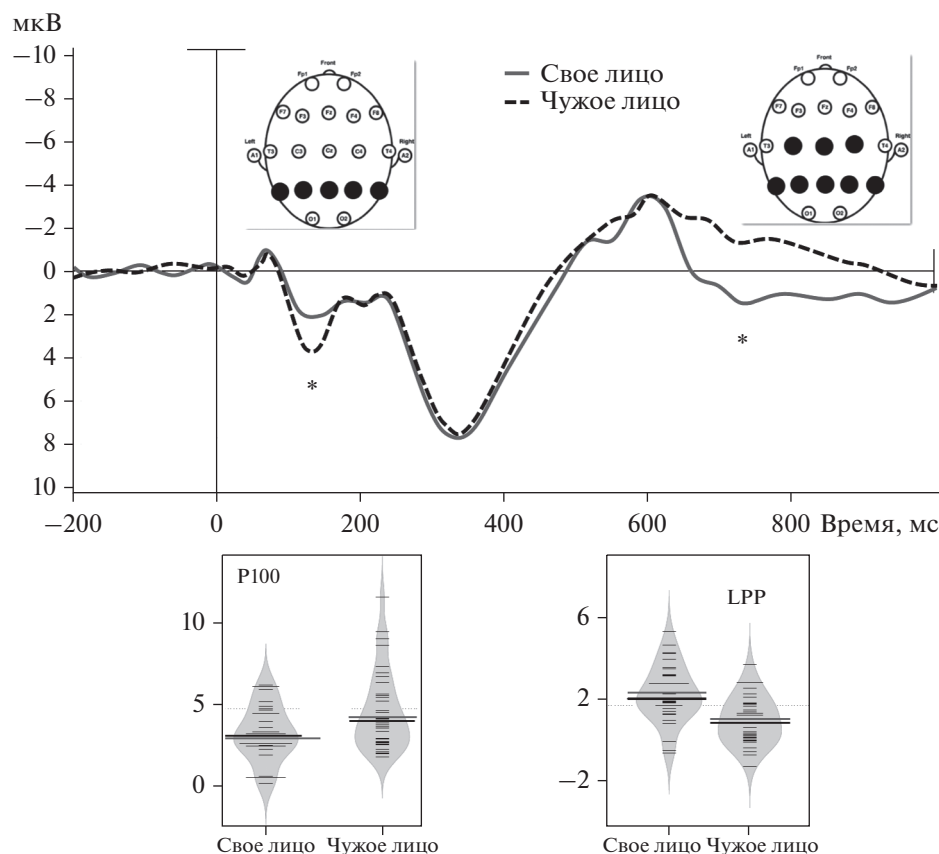


Рис. 2. ВП при предъявлении своего и чужих лиц с картами значимых различий с учетом поправки FWE. Изображенный ВП построен для электрода Pz. Под графиком ВП представлены индивидуальные значения амплитуд P100 и LPP для каждого испытуемого (усреднены по электродам, для которых обнаружены значимые различия). Черная толстая линия – медиана, темно-серая толстая линия – среднее.

Fig. 2. ERP for own and other faces with maps of significant differences between these stimuli, taking into account the FWE correction. The depicted ERP was built for the Pz site. Under the ERP plot, the individual values of the P100 and LPP amplitudes for each subject are presented (averaged over the electrodes for which significant differences were found). The black thick line is median, the dark gray thick line is mean.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Компоненты и амплитуда ВП

При предъявлении своего и чужих лиц у всех испытуемых была выявлена схожая структура ВП. Средние показатели амплитуд и латентностей компонентов P100, P300 и N400 и поздний позитивный компонент представлены в таблице 1.

Выявлены следующие значимые различия в амплитудах и латентностях компонентов ВП между предъявлением своего и чужого лица.

Амплитуда позднего позитивного компонента была значимо больше для предъявления своего лица по сравнению с чужими ($t = 3.88, p = 0.0002, t = 3.76, p = 0.0003$). Ампли-

туда компонента P100 была также меньше при предъявлении своего лица по сравнению с чужим ($t = 3.26, p = 0.0012$).

Спектральная мощность ЭЭГ

При предъявлении своего лица по сравнению с чужим было обнаружено значимое увеличение мощности дельта ритма (2–4 Гц) в теменно-затылочных областях ($t = 3.22, p = 0.0012$). Мощность альфа-ритма 8–12 Гц была значимо меньше при предъявлении своего лица по сравнению с чужим, в центральных областях ($t = -4.09, p = 0.0005$). Мощность бета-ритма в диапазоне 15–20 Гц также была значимо меньше при предъявлении сво-

Таблица 1. Латентности и амплитуды выделенных компонентов ВП (на примере электрода Pz)
Table 1. Latencies and amplitudes of ERPs' components (depicted from the Pz site)

| Стимул | P100 | | P300 | |
|------------|-----------|-------------|------------|-------------|
| | Амплитуда | Латентность | Амплитуда | Латентность |
| Свое лицо | 3.8 ± 0.7 | 138 ± 6.9 | 9.9 ± 1.3 | 355 ± 9.7 |
| Чужое лицо | 4.5 ± 0.6 | 127 ± 5.6 | 7.8 ± 0.8 | 328 ± 7.09 |
| Стимул | N400 | | LPP | |
| | Амплитуда | Латентность | Амплитуда | Латентность |
| Свое лицо | 2.6 ± 0.8 | 575 ± 19.8 | 1.4 ± 0.9 | 708 ± 22.8 |
| Чужое лицо | 2.1 ± 0.9 | 568 ± 11.3 | -1.3 ± 1.1 | 711 ± 21.3 |

его лица по сравнению с чужим ($t = -3.08, p = 0.0059$; рис. 3).

размерность (ФР), сложность сигнала (Hjorth complexity) преимущественно в теменных областях, больше справа ($t = 3.25, p = 0.0012$; $t = -3.02, p = 0.006$). Кроме того, при предъявлении своего лица по сравнению с чужим частота огибающей в центральных, теменных и фронтальных областях была значимо больше ($t = 4.1, p = 0.00006$; рис. 4).

Нелинейные показатели ЭЭГ

При предъявлении своих лиц (по сравнению с чужими) значимо увеличивались показатели вариабельности ЭЭГ: фрактальная

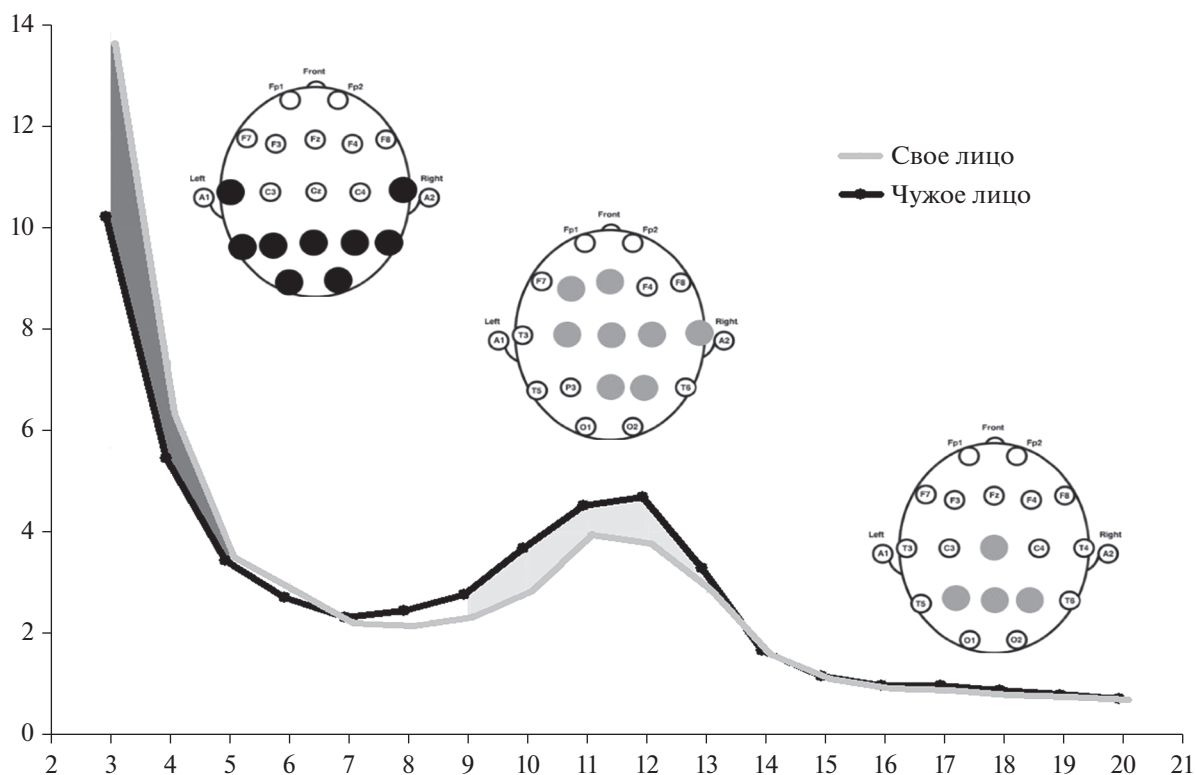


Рис. 3. Мощность ритмической активности при предъявлении своего и чужих лиц и локализация значимых различий. График построен для электрода Pz.

Fig. 3. The power spectrum density for own and other faces with maps of significant differences. The graph was built for the Pz site.

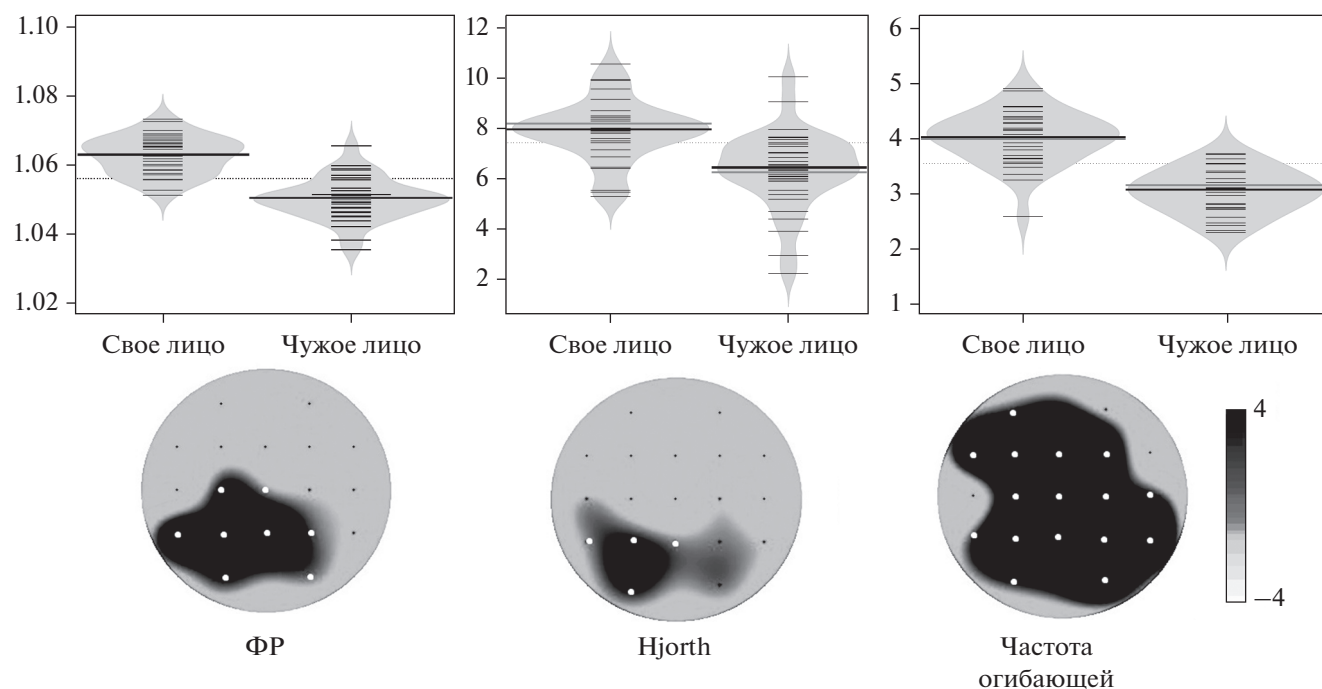


Рис. 4. Карты различий между своим и чужим лицом для показателя фрактальной размерности (ФР), Hjorth complexity (Хьерд) и частоты огибающей. Шкала отображает значения T -критерия для каждого электрода. Белые точки означают значимые различия с учетом поправки Бонферрони ($p < 0.002$). Над картами различий представлены показатели ФР, Хьерд и частоты огибающей для каждого испытуемого (усреднение по электродам, для которых обнаружены значимые различия). Черная толстая линия – медиана, темно-серая толстая линия – среднее.

Fig. 4. Maps of differences between own and other face for the fractal dimension, Hjorth complexity and envelope frequency. The scale displays the T -score values for each electrode. White dots indicate significant differences adjusted for the Bonferroni correction ($p < 0.002$). Above the maps of differences the individual values of FR, Hjorth and the frequency of the envelope (averaging over the electrodes for which significant differences were found). The black thick line is median, the dark gray thick line is mean.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные при помощи различных методов анализа ЭЭГ данные позволили увидеть изменения ЭЭГ при предъявлении своего лица по сравнению с чужим. Можно предположить, что выявленные изменения являются отражением различных психических процессов. Так, в ходе исследования при предъявлении своего лица было характерно увеличение мощности медленноволновой активности на частоте 2–4 Гц и одновременно уменьшение мощности альфа- и бета-ритма. Данные литературы свидетельствуют о том, что подобное соотношение дельта-, альфа- и бета-ритма связано с обработкой эмоционально значимой информации в зрительной модальности и сопровождается анализом малейших изменений в лицевой мимике (Balconi, Lucchiari, 2006).

Другие исследователи обнаружили, что описанное выше соотношение мощностей

ритмов связано с восприятием преимущественно неприятных зрительных стимулов (Marox, 2001; Güntekin, 2017; Knyazev, 2009). Кроме того, увеличение медленноволновой активности в сочетании с уменьшением мощности бета-ритма, как было показано ранее (Harrewijn, Van der Molen, Westenberg, 2016), связано с анализом стимулов, вызывающих социальную тревожность у испытуемого, а наблюдаемое соотношение альфа- и бета-ритмов – с анализом собственного лица (Alzueta et al., 2020).

Результаты нелинейного анализа данных ЭЭГ показали, что при предъявлении своего лица по сравнению с чужим характерно увеличение показателей variability всех исследуемых параметров: частоты огибающей, фрактальной размерности и параметра сложности по Hjorth complexity – преимущественно в теменных областях. Данные пара-

метры ранее показали устойчивую связь с эмоциональными состояниями, и их значимые изменения наблюдались при восприятии эмоционально-значимых стимулов разных модальностей (Portnova et al., 2021). Также показано, что увеличение фрактальной размерности сопровождало переживание эмоции, аффекта, чувства эмпатии и прочих эмоциональных реакций (Hagerhall, 2015; Portnova, Atanov, 2018; Bornas, 2013; Portnova, 2018). Увеличение параметра Hjorth complexity, отражающего сложность сигнала ЭЭГ, у здоровых добровольцев коррелировало с ощущением угрозы при предъявлении звука (Portnova, 2020; Zhang, 2019). Увеличение частоты огибающей ЭЭГ, согласно предшествующим данным, сопровождало восприятие стимулов, так или иначе связанных с восприятием эмоциональных состояний других людей (смех, плач, интонации) (Portnova, Atanov, 2018).

Анализ данных ВП при предъявлении своего лица по сравнению с чужим выявил сочетание уменьшения амплитуды компонента P100 и увеличения амплитуды позднего позитивного компонента. Результаты анализа вызванной активности свидетельствуют о том, что узнавание своего лица требует меньше внимания к объекту (Luck et al., 1998), т. е. свое лицо легче узнается. Увеличение амплитуды позднего позитивного компонента также свидетельствует о меньшей активности процессов произвольного внимания при узнавании своего лица (David et al., 2006), но также и о большем вовлечении эмоциональных процессов (Renfroe, 2016; Usler, 2020). Снижение внимания при этом не означает снижение всей когнитивной активности, напротив, выявленное нами сочетание изменений ранних и поздних компонентов ВП свидетельствует о том, что восприятие своего лица сопровождается большим произвольным вниманием (Devue et al., 2009), а также большей активностью как долговременной, так и кратковременной памяти (Morgan, 2008; Pascalis, 1998; Meijer, 2007).

Таким образом, комплексный анализ данных позволил нам увидеть значительно больше психических процессов, задействованных при восприятии своего лица, что совпадает с результатами нейровизуализационных исследований, свидетельствующих об участии разнообразных корковых и подкорковых

структур (Platek et al., 2005; Kaplan, 2008). Результаты нашего исследования свидетельствуют об изменениях ЭЭГ, соответствующих восприятию эмоционально значимого стимула, который носит негативный оттенок и так или иначе связан с чувством угрозы и социальной тревожностью. Эти данные хорошо объясняются с точки зрения понятия "theory of mind" (Astington, 2005), т. е. способности человека проецировать свои мысли и чувства на других людей, а также необходимость понять чужие мысли и чувства, проецируя их на себя. Поэтому восприятие своего лица среди других вызывает у человека в той или иной степени беспокойство и необходимость анализа социальной ситуации, в которой он видит свое лицо. Значимость такого стимула, как свое лицо, также не оставляет вопросов. Для нас важно все, что связано с нашим "Я" как на личностном, так и на телесном уровнях. Поэтому не удивительно, что свое лицо быстрее распознается и требует меньше концентрации внимания (Luck et al., 1994) для его узнавания. Результаты нашего исследования также позволяют предположить, что восприятие своего лица по сравнению с другими лицами запускает ряд других когнитивных процессов, связанных с процессами категоризации, а также мотивационными и оценочными процессами (Hugenberg, 2013).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При применении комплексного анализа было обнаружено, что при восприятии своего лица по сравнению с чужим наблюдается увеличение мощности медленноволновой активности и снижение мощности альфа- и бета-ритмов, уменьшение амплитуды компонента P100, а также увеличение амплитуды позднего позитивного компонента и нелинейных показателей ЭЭГ. Сравнение различных параметров ЭЭГ позволило подтвердить и суммировать полученные ранее данные о том, что процесс узнавания своего лица требует меньшей концентрации внимания, однако при этом запускает ряд других психических процессов, связанных с актуализацией воспоминаний, эмоциональными переживаниями, мотивацией, тревожностью и оценкой социальной ситуации. Полученные результаты и примененные техники анализа

данных ЭЭГ будут использованы в дальнейшем для исследования патологии самоидентификации у пациентов с поражением головного мозга. Исследование процессов, лежащих в основе узнавания своего лица, также позволит расширить диапазон технических возможностей идентификации лиц с учетом индивидуальных особенностей каждого человека.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки Российской Федерации на 2021–2023 годы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Дубынин И.А.* Анализ вызванных потенциалов на знакомые и незнакомые лица с помощью искусственных нейронных сетей. Вестник БГУ. 2007. 4: 42–50.
- Astington J.W., Baird J.A. (Eds.).* Why language matters for theory of mind. Oxford University Press, 2005.
- Alzueta E., Melcón M., Jensen O., Capilla A.* The ‘Narcissus Effect’: Top-down alpha-beta band modulation of face-related brain areas during self-face processing. *NeuroImage*. 2020. 213: C. 116754.
- Balconi M., Lucchiari C.* EEG correlates (event-related desynchronization) of emotional face elaboration: a temporal analysis. *Neurosci. Lett.* 2006. 392(1–2): 118–123.
- Bornas X., Tortella-Feliu M., Balle M., Llabrés J.* Self-focused cognitive emotion regulation style as associated with widespread diminished EEG fractal dimension. *Int. J. Psychol.* 2013. 48(4): 695–703.
- Brédart S., Delchambre M., Laureys S.* Short article: One’s own face is hard to ignore. *Q J Exp Psychol (Hove)*. 2006. 59(1): 46–52.
- Chakraborty A., Chakrabarti B.* Looking at my own face: visual processing strategies in self–other face recognition. *Front. Psychol.* 2018. 9: 121.
- David O., Kiebel S.J., Harrison L.M., Mattout J., Kilner J.M., Friston K.J.* Dynamic causal modeling of evoked responses in EEG and MEG. *NeuroImage*. 2006. 30(4): 1255–1272.
- Devue C., Van der Stigchel S., Brédart S., Theeuwes J.* You do not find your own face faster; you just look at it longer. *Cognition*. 2009. 111(1): 114–122.
- Fink B., Grammer K., Mitteroecker P., Gunz P., Schaefer K., Bookstein F. L., Manning J.T.* Second to fourth digit ratio and face shape. *Proc. Royal Soc. B*. 2005. 272(1576): 1995–2001.
- Fink G., Markowitsch H., Reinkemeier M., Bruckbauer T., Kessler J., Heiss W.* Cerebral representation of One’s own Past: Neural networks involved in autobiographical memory. *J Neurosci*. 1996. 16: 4275–4282.
- Gray K.L., Adams W.J., Garner M.* The influence of anxiety on the initial selection of emotional faces presented in binocular rivalry. *Cognition*. 2009. 113(1): 105–110.
- Güntekin B., Femir B., Gölbaşı B.T., Tülay E., Başar E.* Affective pictures processing is reflected by an increased long-distance EEG connectivity. *Cogn Neurodyn*. 2017. 11(4): 355–367.
- Hagerhall C.M., Laike T., Kuller M., Marcheschi E., Boydston C., Taylor R.P.* Human physiological benefits of viewing nature: EEG responses to exact and statistical fractal patterns. *Nonlinear Dynamics Psychol*. 2015. 19(1): 1–12.
- Harrewijn A., Van der Molen M.J.W., Westenberg P.M.* Putative EEG measures of social anxiety: Comparing frontal alpha asymmetry and delta–beta cross-frequency correlation. *Cogn Affect Behav Neurosci*. 2016. 16(6): 1086–1098.
- Herwig U., Kaffenberger T., Schell C., Jäncke L., Brühl A.B.* Neural activity associated with self-reflection. *BMC Neurosci*. 2012. 13(1): 52.
- Higuchi T.* Approach to an irregular time series on the basis of the fractal theory. *Physica D*. 1988. 31(2), 277–283.
- Hjorth B.* An on-line transformation of EEG scalp potentials into orthogonal source derivations. *Electroencephalogr. clin. neurophysiol.* 1975. 39(5): 526–530.
- Hu L., Zhang Z. (ed.).* EEG signal processing and feature extraction. Singapore: Springer Singapore, 2019. 1–437.
- Hugenberg K., Wilson J.P., See P.E., Young S.G.* Towards a synthetic model of own group biases in face memory. *Visual Cognition*. 2013. 21(9–10): 1392–1417.
- Hungr C.J., Hunt A.R.* Rapid communication: Physical self-similarity enhances the gaze-cueing effect. *Q J Exp Psychol (Hove)*. 2012. 65(7): 1250–1259.
- Kaplan J.T., Aziz-Zadeh L., Uddin L.Q., Iacoboni M.* The self across the senses: an fMRI study of self-face and self-voice recognition. *Soc Cogn Affect Neurosci*. 2008. 3(3): 218–223.
- Knyazev G.G., Slobodskoj-Plusnin J.Y., Bocharov A.V.* Event-related delta and theta synchronization during explicit and implicit emotion processing. *Neuroscience*. 2009. 64(4): 1588–1600.
- Levy I., Hasson U., Avidan G., Hendler T., Malach R.* Centr-periphery organization object areas. *Nat. Neurosci*. 2001. 4(5): 533–539.

- Lewis M., Brooks-Gunn J. Toward a theory of social cognition: The development of self. *New Dir Child Adolesc Dev.* 1979. 4: 1–20.
- Luck S.J. Neurophysiology of selective attention. *Attention.* 1998. 1: 257–295.
- Marox E., Rodríguez H., Yañez G., Bernal J., Rodríguez M., Fernández T., Silva J., Reyes A., Guerrero V. Broad band spectral measurements of EEG during emotional tasks. *Int. J. Neurosci.* (2001). 108(3–4): 251–279.
- Marten K., Psarakos S. Evidence of self-awareness in the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*). Ed. Parker S.T., Mitchell R., Boccia M. *Self-awareness in Animals and Humans: Developmental Perspectives.* Cambridge University Press. 1995. 361–379.
- Médl A., Flotzinger D., Pfurtscheller G. (October). Hilbert-transform based predictions of hand movements from EEG measurements P ANN INT IEEE EMBS. 1992. 6: 2539–2540.
- Meijer E. H., Smulders F.T., Merckelbach H.L., Wolf A.G. The P300 is sensitive to concealed face recognition. *Int J Psychophysiol.* 2007. 66(3): 231–237.
- Morgan H.M., Klein C., Boehm S.G., Shapiro K.L., Linden D.E. Working memory load for faces modulates P300, N170, and N250r. *J. Cogn. Neurosci.* 2008. 20(6): 989–1002.
- Nyberg L., McIntosh A., Cabeza R., Nilsson L., Houle R., Tulving E. Network analysis of positron emission tomography regional cerebral blood flow data: ensemble inhibition during episodic memory retrieval. *J. Neurosci.* 1996. 16: 3753–3759.
- Oweis R.J., Abdulhay E.W. Seizure classification in EEG signals utilizing Hilbert-Huang transform. *Biomed. Eng. Online.* 2011. 10(1): 1–15.
- Quinn P.C., Lee K., Pascalis O. Face processing in infancy and beyond: The case of social categories. *Annu. Rev. Psychol.* 2019. 70: 165–189.
- Pannese A., Hirsch J. Self-face enhances processing of immediately preceding invisible faces. *Neuropsychologia.* 2011. 49(3): 564–573.
- Pascalis O., De Haan M., Nelson C.A., De Schonen S. Long-term recognition memory for faces assessed by visual paired comparison in 3- and 6-month-old infants. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn.* 1998. 24(1): 249.
- Paxinos G., Mai J.K. *The Human Nervous System*, 2nd ed. Elsevier Academic Press, Amsterdam: Boston. 2004.
- Portnova G.V. Lack of a sense of threat and higher emotional lability in patients with chronic microvascular ischemia as measured by non-linear EEG parameters. *Front. Neurol.* 2020. 11: 122.
- Platak S.M., Raines D.M., Gallup Jr. G.G., Mohamed F.B., Thomson J.W., Myers T.E., Panyavin I.S., Levin S.L., Davis J.A., Fonteyn L.C.M., Arigo D.R. Reactions to children's faces: Males are more affected by resemblance than females are, and so are their brains. *Evol. Hum. Behav.* 2004. 25(6): 394–405.
- Porciello G., Daum M.M., Menghini C., Brugger P., Lenggenhager B. Not that heart-stopping after all: visuo-cardiac synchrony does not boost self-face attribution. *PLoS One.* 2016. 11(8): e0160498.
- Portnova G.V., Maslennikova A.V., Zakharova N.V., Martynova O.V. The Deficit of Multimodal Perception of Congruent and Non-Congruent Fearful Expressions in Patients with Schizophrenia: The ERP Study. *Brain Sciences.* 2021. 11(1): 96.
- Portnova G.V., Atanov M.S. Nonlinear EEG parameters of emotional perception in patients with moderate traumatic brain injury, coma, stroke and schizophrenia. *AIMS neuroscience.* 2018a. 5(4): 221.
- Portnova G.V., Tetereva A., Balaev V., Atanov M., Skiteva L., Ushakov V., Ivanitsky A., Martynova O. Correlation of BOLD signal with linear and nonlinear patterns of EEG in resting state EEG-informed fMRI. *Front. Hum. Neurosci.* 2018b. 11: 654.
- Renfroe J.B., Bradley M.M., Sege C.T., Bowers D. Emotional modulation of the late positive potential during picture free viewing in older and young adults. *Plos one.* 2016. 11(9): e0162323.
- Sui J., Humphreys G.W. The boundaries of self face perception: Response time distributions, perceptual categories, and decision weighting. *Visual Cognition.* 2013. 21(4): 415–445.
- Tong F., Nakayama K. Robust representations for faces: evidence from visual search. *J Exp Psychol Hum Percept Perform.* 1999. 25(4): 1016.
- Uslar E., Foti D., Weber C. Emotional reactivity and regulation in 5- to 8-year-old children: An ERP study of own-age face processing. *Int J Psychophysiol.* 2020. 156: 60–68.
- Van Zaen J., Uldry L., Duchêne C., Prudat Y., Meuli R.A., Murray M.M., Vesin J.M. Adaptive tracking of EEG oscillations. *J. Neurosci. Methods.* 2010. 186(1): 97–106.
- Zeineh M.M., Engel S.A., Thompson P.M., Bookheimer S.Y. Dynamics of the hippocampus during encoding and retrieval of face-name pairs. *Science.* 2003. 299: 577–580.

PERCEPTION OF OWN AND ANOTHER FACE: MULTIANALYSIS APPROACH OF EEG DATA

G. V. Portnova^{a, b,*}, L. B. Oknina^a, E. L. Masherov^c, A. A. Slezkin^d, V. V. Podlepich^e

^a*Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology of RAS, Moscow, Russia*

^b*State Institute of the Russian Language named after A.S. Pushkin, Moscow, Russia*

^c*National Medical Research Center of Neurosurgery named after Academician N.N. Burdenko,
Ministry of Health of Russia, Moscow, Russia*

^d*MIREA — Russian Technological University, Moscow, Russia*

^e*e-mail: caviter@list.ru*

This article presents a study of differences in the perception of own and another face using an integrated approach to the analysis of EEG data. Healthy volunteers were offered a series of pre-processed and unified photographs of their own and another face. We used variable methods of EEG analysis: evoked potentials (ERP), the method of analyzing the spectral power of the EEG, as well as nonlinear EEG indicators such as fractal dimension, envelope frequency and Hjorth complexity. It was found that during perception of own face compared to another face, the power of slow-wave activity was higher, the power of alpha and beta rhythms was lower, the amplitude of the P100 component was lower, the amplitude of the late positive component was higher, and the values of all investigated nonlinear parameters of EEG were higher. The obtained results and applied techniques for analyzing EEG data will be used in the future to study the pathology of self-identification in patients with brain lesions.

Keywords: EEG, own face, ERP, EEG spectral power, fractal dimension