

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ЗАРУБЕЖНОЙ ПСИХОЛОГИИ
MODERN METHODS OF FOREIGN PSYCHOLOGY

НЕЙРОНАУКИ И КОГНИТИВНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
NEUROSCIENCES AND COGNITIVE STUDIES

**«Oddball»-парадигма электроэнцефалограммы/вызванных потенциалов
для изучения восприятия эмоций**

Благовещенский Е.Д.

*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (ФГАОУ ВО «НИУ ВШЭ»),
г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0955-6633>, e-mail: eblagovechensky@hse.ru*

Помелова Е.Д.

*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (ФГАОУ ВО «НИУ ВШЭ»),
г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0420-0221>, e-mail: epomelova@hse.ru*

Попыванова А.В.

*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (ФГАОУ ВО «НИУ ВШЭ»),
г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4413-9421>, e-mail: apopyvanova@hse.ru*

Корякина М.М.

*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (ФГАОУ ВО «НИУ ВШЭ»),
г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6737-550X>, e-mail: mkoriakina@hse.ru*

Луков М.А.

*Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого (ФГБОУ ВО «НовГУ»),
г. Великий Новгород, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-5430-2170>, e-mail: lukov.mi@yandex.ru*

Барцева К.В.

*Санкт-Петербургский государственный университет (ФГБОУ ВО «СПбГУ»),
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4854-726X>, e-mail: bartseva.ksenia@gmail.com*

Регистрация вызванных потенциалов с помощью электроэнцефалографии (ЭЭГ) является классическим методом для определения реакции мозга человека на разные типы стимулов. В литературе описаны компоненты ВП, являющиеся специфическими маркерами эмоционального восприятия. На сегодняшний день для исследования процесса восприятия эмоций с помощью ЭЭГ/ВП разработаны и валидизированы парадигмы, использующие различные стимульные базы, среди которых выделяются изображения лиц с различным эмоциональным выражением. Предполагают, что восприятие данного типа стимулов может иметь свою специфику — например, происходить быстрее, чем восприятие других классов эмоциональных изображений, так как представляет более значимый биологический сигнал. В данной статье мы хотели показать особенности использования аффективных изображений в oddball-парадигме, сделав акцент на использование лиц человека с эмоциональным выражением. Такая парадигма также относится к парадигмам ЭЭГ/ВП, однако она имеет несколько особенностей. Преимуществами данной методики является, во-первых, ее более высокая чувствительность в выявлении реакции нейрональной активности при предъявлении эмоциональных изображений, по сравнению с другими парадигмами. Во-вторых, возможность при пассивном предъ-

явлении визуальных стимулов проанализировать быстрые автоматические реакции, которыми, по данным предыдущих исследований, сопровождается восприятие лиц. Таким образом, возможно, наиболее эффективными изображениями в oddball-парадигме ЭЭГ/ВП будут выражения лиц (англ. facial expressions). Приводятся данные использования данной парадигмы. Полученные данные показывают различия в амплитуде компонентов ВП, ассоциированных с выражениями лиц — счастливыми/злыми.

Ключевые слова: электроэнцефалограмма, вызванные потенциалы, эмоции, oddball-парадигма, эмоциональные стимулы, маркеры эмоционального восприятия, визуальные стимулы.

Финансирование. Статья подготовлена в ходе проведения работы в рамках проекта «Зеркальные лаборатории НИУ ВШЭ».

Для цитаты: «Oddball»-парадигма электроэнцефалограммы/вызванных потенциалов для изучения восприятия эмоций [Электронный ресурс] / Е.Д. Благовещенский, Е.Д. Помелова, А.В. Попыванова, М.М. Корякина, М.А. Луков, К.В. Барцева // Современная зарубежная психология. 2024. Том 13. №2. С. 10—21. DOI: <https://doi.org/10.17759/jmfp.2024130201>

“Oddball” Electroencephalogram/ Evoked Potential Paradigm for Identifying a Person’s Psycho-Emotional State

Evgeny D. Blagovetchchenski

Centre for Cognition and Decision making, Institute for Cognitive Neuroscience, HSE University, Russia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0955-6633>, e-mail: eblagovechensky@hse.ru

Ekaterina D. Pomelova

*Centre for Cognition and Decision making, Institute for Cognitive Neuroscience,
National Research University Higher School of Economics, Russia*
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0420-0221>, e-mail: epomelova@hse.ru

Alena V. Popyvanova

*Centre for Cognition and Decision making, Institute for Cognitive Neuroscience,
National Research University Higher School of Economics, Russia*
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0777-1111>, e-mail: apopyvanova@hse.ru

Maria M. Koriakina

*Centre for Cognition and Decision making, Institute for Cognitive Neuroscience,
National Research University Higher School of Economics, Russia*
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6737-550X>, e-mail: mkoriakina@hse.ru

Mikhail Yu. Lukov

Yaroslav-the-Wise Novgorod State University, Veliky Novgorod, Russia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-5430-2170>, e-mail: lukov.mi@yandex.ru

Ksenia V. Bartseva

Saint Petersburg State University, St. Petersburg, Russia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4854-726X>, e-mail: bartseva.ksenia@gmail.com

Assessment of evoked potentials using electroencephalography is a classic method for determining a person’s response to different types of stimuli. The literature describes EPs that are specific markers of emotional perception. To date, many stimulus bases have been developed and validated for use in EEG EP paradigms, among which images of human faces with emotional expression stand out. It is possible that the perception of this type of stimulus may have its own specificity — for example, it may occur faster than the perception of other classes of images, since it represents a more significant biological signal. In this review, we wanted to show the features of using affective images in the oddball paradigm, focusing on the use of human faces with emotional expression. This paradigm also belongs to the EEG/EP paradigms, but it has several features. The advantages of this technique are, firstly, its higher sensitivity compared to other paradigms with the presentation of emotional images. Secondly, it is possible, during the passive presentation of visual stimuli, to analyze the rapid automatic reactions that, according to previous studies, accompany the perception of faces. Perhaps the most effective images in the oddball EEG/EP paradigm will be facial

expressions. The obtained data by using this paradigm are presented. The data obtained data show differences in both the amplitude and spatial components of the EP associated with different facial expressions — happy/angry.

Keywords: electroencephalogram, evoked potentials, emotions, oddball paradigm.

Funding. The article was prepared within the framework of the project “Mirror Laboratories” HSE University.

For citation: Blagovechtchenski E.D., Pomelova E.D., Popyvanova A.V., Koriakina M.M., Lukov M.A., Bartseva K.V. “Oddball” Electroencephalogram/ Evoked Potential Paradigm for Identifying a Person’s Psycho-Emotional State [Electronic resource]. *Sovremennaya zarubezhnaya psikhologiya* = Journal of Modern Foreign Psychology, 2024. Vol. 13, no. 2, pp. 10—21. DOI: <https://doi.org/10.17759/jmfp.2024130201> (In Russ.).

Введение

Вызванные потенциалы как метод выявления реакции мозга человека на эмоциональные стимулы

Вызванные потенциалы детектируются с помощью ЭЭГ и могут быть вызваны широким спектром сенсорных, когнитивных и двигательных событий. На данный момент существует несколько теорий происхождения ВП. Самым популярным мнением считается отражение ВП суммарной активности постсинаптических потенциалов, которые возникают при синхронной активации одинаково ориентированных кортикальных пирамидных нейронов во время обработки предъявляемых стимулов [6].

ВП позволяют оценить реакцию на эмоциональный визуальный стимул с миллисекундным временным разрешением. Компоненты ВП P1 и N1, наблюдаемые во временном диапазоне от 100 до 200 мс после предъявления стимула, чувствительны к приятной/неприятной валентности визуального стимула и отражают раннюю сенсорную обработку в экстрастриарной зрительной коре [33]. ВП во временном диапазоне от 200 до 300 мс отражают ранние процессы распознавания стимулов и выбора реакции на стимул [21]. Было продемонстрировано, что компонент N2, наблюдаемый в данном интервале, чувствителен к эмоциональному содержанию изображения. Чрезвычайно пугающие испытуемого стимулы вызывали большую амплитуду N2, чем умеренно пугающие стимулы, тогда как крайне отвратительные стимулы вызывали меньшую амплитуду позднего положительного компонента, чем умеренно отвратительные стимулы. Около 300 мс после предъявления стимула и позже 300 мс доминирует компонент ВП P300, за которым следует положительная медленная волна. Компонент P300 включает два подкомпонента (P3a и P3b). Эти компоненты являются признаками внимания и первоначального сохранения стимула в памяти [2]. Следующая за ними медленная волновая активность скорее всего связана с активацией уже рабочей памяти. P300/медленная волна, вызываемая аффективными картинками, иногда обозначается как «поздний положительный потенциал» (LPP), при этом обнаруживается, что последняя часть формы волны ВП в течение широкого латентного интервала демонстрирует повышенную позитивность к сильно возбуждающим стимулам [36]. Поздние

компоненты ВП с латентностью более 500 мс восприимчивы к активным, контролируемым (нисходящим) процессам обработки стимула и связан с оценкой возбуждения от зрительного стимула [12; 20]. ВП в диапазоне более 680 мс увеличиваются для неприятных возбуждающих стимулов и возможно отражают «моторную реакцию» при реакции на неприятные стимулы [24].

Таким образом, ВП отражает характеристики предъявленного эмоционального изображения, такие как валентность (от неприятного до приятного) и возбуждение (от спокойного до возбуждающего), причем эффекты валентности обычно наблюдаются для ранних (100—250 мс), а эффекты возбуждения наблюдаются для более поздних (250—850 мс) компонентов ВП [33].

Эмоциональные выражения лиц как эволюционно/биологически значимый эмоциональный стимул

Одним из методов оценки эмоциональных реакций человека являются парадигмы по предъявлению аффективных изображений. Разработаны и валидизированы многочисленные базы стимулов: например, Международная база эмоциональных изображений (International Affective Picture System (IAPS)) [17], ЭмоМадрид (EmoMadrid) [7], Открытый стандартизированный набор изображений, наполненных эмоциональным содержанием (Open Affective Standardized Image Set (OASIS)) [9]. Особым типом аффективных визуальных стимулов являются изображения лиц, выражающих некую эмоцию [37]: например, Каролинская база эмоциональных лиц (Karolinska Directed Emotional Faces (KDEF)) [14; 38], База данных с лицами (The Radboud Faces Database (RaFD)) [27], НимСтим (NimStim) [22] и др.

В своем исследовании мы в целом исходим из предположения, что предъявление изображений лиц, выражающих эмоцию, также запускает эмоциональный отклик у испытуемого. Наблюдение за эмоциональным выражением других людей — сложный процесс с несколькими нейрофизиологическими и психологическими механизмами. Одним из ключевых аспектов является активация систем зеркальных нейронов, позволяющая «отражать» чужие эмоции и таким образом испытать их на себе. Благодаря этому механизму человек испытывает радость, глядя на выражение улыбки, и чувствует грусть, видя чужие слезы.

Многие электромиографические исследования показывают, что наблюдение за выражением лиц других людей вызывает собственные спонтанные лицевые реакции даже у младенцев [35]. Это говорит о том, что способность эмоционально реагировать на чужое выражение лица является врожденной и с раннего возраста играет важную роль в социальных взаимодействиях. Такой прием, как мимическая обратная связь, используют многие профессиональные актеры для того, чтобы более полно вжиться в роль и вызвать желаемый эмоциональный отклик у зрителей.

Изучение физиологической реакции на эмоциональные стимулы разных типов показывает, что выражения лиц вызывают более быструю и более выраженную реакцию, чем эмоциональные стимулы других типов. Так, в работе Харири и коллег амигдала (миндалины) реагировала и на предъявление лиц, и на другие эмоционально окрашенные картинки. Однако предъявление эмоциональных лиц вызывало более выраженную реакцию амигдалы (миндалины), чем стимулы IAPS (эмоциональные сцены); при этом вегетативная реактивность, измеряемая по кожной проводимости, также была выше в ответ на предъявление лиц [18]. Эти данные соответствуют эволюционной теории о том, что эмоциональные выражения лиц являются важной для адаптивной черты, способствующей формированию социального поведения, и поэтому их восприятие является приоритетом [32].

Вопрос о том, насколько быстрой и автоматической является категоризация, разные подходы к изучению эмоций решают по-разному. В частности, исследователи, придерживающиеся многомерных теорий эмоций, согласно которым эмоции представляют собой не дискретные категории, а комбинированную оценку по нескольким параметрам — например, по возбуждению и валентности или возбуждению и «приятности» [25], — разделяют имплицитную аффективную обработку и эксплицитное узнавание конкретной эмоции. Согласно данной теории, предполагается, что восприятие общего знака аффекта (позитивного или негативного) происходит быстрее, чем определение того, какая именно эмоция выражена, — именно определение аффекта происходит быстро и автоматически. Это подтверждается исследованиями, где экспрессивные лица используются для создания прайминга: при использовании в качестве прайминга лиц, а не просто эмоционально окрашенные изображения, реакция происходит быстрее. Так, Маклеллан и коллеги [31] обнаружили, что предъявление лиц с выражением позитивного аффекта ускоряет нейрофизиологическую реакцию на позитивные конгруэнтные слова, даже если предъявление длилось всего 100 мс. Косвенным подтверждением многомерной теории является расхождение, наблюдаемое в поведенческих и психофизиологических данных. В частности, исследования с использованием методики вызванных потенциалов указывают на то, что ВП показывают более быстрые ответы на выражения негативных эмоций (особенно гнев и страх), чем на выражения

позитивных [23]. Иными словами, обнаружение угрозы, а не положительный аффект оказывается приоритетным в нейронных системах, поддерживающих распознавание эмоций. При этом на поведенческих данных о категоризации лиц были получены противоположные результаты: в частности, быстрее и точнее на поведенческом уровне происходит узнавание счастливых лиц [30].

Многомерной теории противопоставляется дискретная теория эмоций: исследования указывают на возможность различения выражений лиц, соответствующих шести базовым эмоциям, по Экману [19], с вероятностью выше 50% [10]. На физиологическом уровне предпринимаются попытки выявить различия в полушарной латерализации и топографии активности коры головного мозга, соответствующие выражениям печали, страха, радости и т. д. [34].

Отдельно выделяется блок теорий, согласно которым в основе эмоций лежат оценочные процессы [29]. В рамках этих теорий предпринимаются попытки связать отдельные черты выражений лиц с оценочными суждениями [15]. Однако и при таком подходе восприятие эмоций на лицах людей может пониматься как адаптивный механизм, способствующий социальному поведению.

Подводя итог, можно сказать, что, в целом, исследования подтверждают, что эмоционально-окрашенные лица привлекают больше внимания, чем нейтральные: компоненты ВП, связанные с аффективной обработкой (например, N1(N170), vertex positive potential (VPP), early posterior negativity (EPN) различаются между нейтральными и эмоциональными выражениями на ранних стадиях (150—350 мс) (например, [23]). Распознавание аффекта на лицах, в соответствии с теорией важности выражений лиц для адаптивного социального поведения, происходит быстро: это подтверждается нейрофизиологическими и прайминговыми данными. Аффективное восприятие, по крайней мере частично, является автоматическим процессом, опирающимся на универсальные психофизиологические механизмы, не зависящие от культуры или бэкграунда конкретного человека. Однако продолжается дискуссия о том, насколько автоматизировано такое восприятие [30]. Поиску ответа на этот вопрос могут способствовать исследования с использованием oddball-парадигмы.

Oddball-парадигма ЭЭГ/ВП

Oddball-парадигма ЭЭГ/ВП является одной из самых популярных парадигм в психологии и нейронауках для изучения внимания, обработки информации и реакции мозга на неожиданные стимулы. В рамках этой парадигмы испытуемым предъявляют серию стимулов, включающих как стандартные (частые стимулы), так и девиантные (редкие) стимулы. Чаще всего стандартные стимулы предъявляются в 75—80%, а девиантные в 25—20% случаев в рандомизированном порядке. На протяжении эксперимента испытуемым записывают ЭЭГ, в дальнейшем оценивают ВП на предъявляемые стимулы [1].

В этой парадигме ВП на редкий девиантный стимул сравнивается с ВП на часто предъявляемый стандартный стимул; дифференциация двух состояний количественно выражается как разница в ответах между стандартом и девиантом (так называемая негативность несоответствия) [6]. Этот метод позволяет изучать реакцию мозга на неожиданные сигналы и выявлять особенности когнитивных процессов, связанных с обнаружением и обработкой стимулов.

Классической парадигмой является oddball-парадигма по предъявлению звуковых стимулов [9], но также существует и oddball-парадигма по предъявлению визуальных стимулов. Создание такой парадигмы осложняется контролем зрительного внимания испытуемых [15], парадигма является, по определению, пассивной [5], но при этом испытуемый должен смотреть и сохранять внимание на изображениях, не производя активной обработки визуальных стимулов [11]; для этого используют различные методы, такие как визуальная задача на обнаружение и подсчет целевых стимулов, не связанных с основными стимулами в парадигме [24], или нажатие на кнопку в ответ на целевой стимул [8].

Oddball-парадигма с предъявлением визуальных стимулов исследовалась при изучении расстройства настроения — большого депрессивного расстройства (БДР) [3]. Было показано, что амплитуда негативности несоответствия уменьшается у пациентов с БДР, но важно уточнить, что стимулы были не эмоциональными [28]. Это исследование указывает на то, что изменения ВП в данной парадигме может отражать дисфункцию автоматического обнаружения изменений зрительных стимулов у пациентов с этим заболеванием.

Один из экспериментов с использованием oddball-парадигмы с визуальными стимулами показал, как черты импульсивности меняют реакцию на эмоционально окрашенные визуальные стимулы. Черты импульсивности положительно коррелировали только с негативностью несоответствия для счастливых лиц, что указывает на то, что импульсивность избирательно связана с негативностью несоответствия, вероятно, из-за ослабления лобно-затылочной функциональной связи для обнаружения эмоциональных изменений [16].

Приведенные исследования говорят об изменении процесса восприятия при психоневрологических нарушениях. Данные исследования демонстрируют, что oddball-парадигма с предъявлением визуальных стимулов может применяться для изучения эмоциональных состояний, как при заболеваниях, так и у здоровых людей.

С методологической точки зрения, oddball-парадигма по предъявлению эмоциональных визуальных стимулов (изображений) является подходящей для исследования нейрофизиологических эффектов пассивной обработки эмоциональных стимулов, поскольку эта процедура сводит к минимуму вариативность обработки, одновременно снижая вероятность того, что участники намеренно обрабатывают или оценива-

ют эмоциональное содержание представленных изображений. Более того, результаты исследований позволяют предположить, что пассивная обработка эмоций сопровождается отдельными нейрофизиологическими коррелятами валентности и возбуждения в ВП (пункт про ВП).

Таким образом, мы пришли к выводу о том, что использование oddball-парадигмы с эмоциональными стимулами оптимально для изучения восприятия эмоциональных стимулов.

Мы разработали и провели пилотное исследование по изучению нейронального ответа на полярные эмоциональные стимулы (изображения счастливых и злых лиц) в oddball-парадигме.

Участники исследования

В первом исследовании приняли участие пять испытуемых (трое мужчин, средний возраст 22,3 года). Испытуемые были набраны через социальные сети. Участники были полностью ознакомлены с процедурой эксперимента и дали письменное информированное согласие. Проект был одобрен Комитетом по этике НИУ ВШЭ.

Экспериментальная задача

Oddball-парадигма была создана с использованием программного обеспечения NBS Presentation version 24. Стимульный материал был выбран из базы данных The Karolinska Directed Emotional Faces [20]. Он состоял из 30 фотографий счастливых лиц (15 мужских, 15 женских), которые являлись стандартным стимулом, и 30 фотографий злых лиц (15 мужских, 15 женских), которые являлись девиантным стимулом. Стандартный стимул предъявлялся 160 раз, а девиантный 40 раз (80% на 20% соответственно). Каждое изображение предъявлялось в течение 1000 мс, фиксационный крест предъявлялся в случайный момент в интервале от 5 до 15 с и был необходим для обеспечения фиксации внимания испытуемого на экране. Испытуемые были проинформированы, что необходимо как можно быстрее нажимать на кнопку на клавиатуре, когда они видели фиксационный крест (рис. 1).

Oddball-парадигма включала стандартные стимулы (80% предъявлений) и девиантные стимулы (20% предъявлений), все стимулы предъявлялись в течение 1 с. Фиксационный крест предъявлялся в случайный момент между 5 и 15 изображением; испытуемым было необходимо как можно быстрее нажать на кнопку на клавиатуре при появлении фиксационного креста, крест автоматически пропадал, если испытуемый не нажимал на кнопку более 15 с. В случае нажатия кнопки интервала между нажатием и предъявлением картинки не было.

Во время эксперимента испытуемые слушали лекцию о цветах. Испытуемым было необходимо запомнить, о каких цветах шла речь и сообщить об этом в конце эксперимента. Данная когнитивная нагрузка использовалась для отвлечения внимания, чтобы не

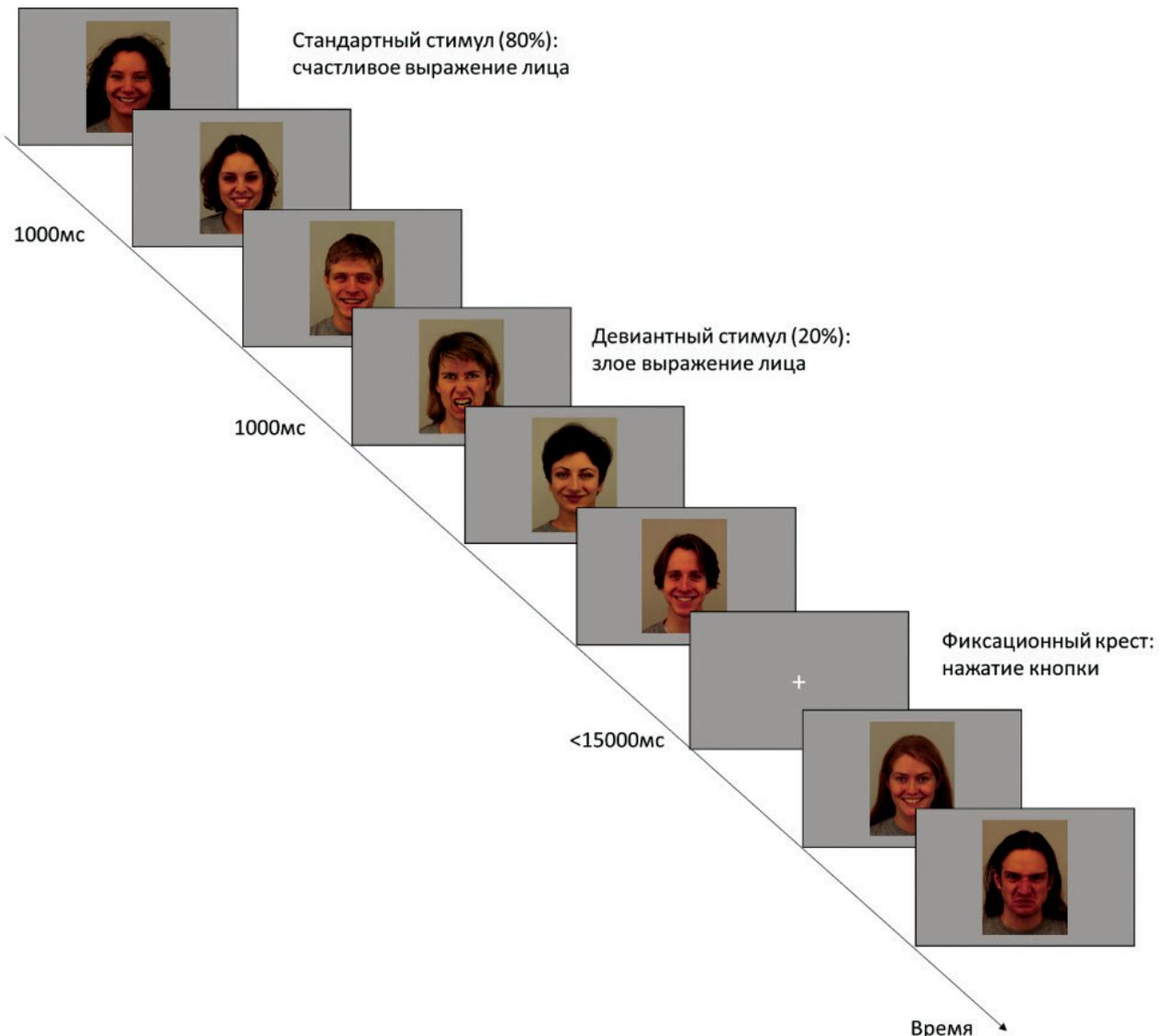


Рис. 1. Экспериментальная задача

было сознательной оценки выражения лица, представленного на фотографии и для создания максимально пассивного восприятия лиц.

Запись ЭЭГ

Запись ЭЭГ проводилась с помощью 64-электродной ЭЭГ-системы (ActiCap, BrainProducts), электроды размещались в соответствии с международной системой 10—20, с использованием отведения Cz в качестве референтного электрода и лобного электрода в качестве заземляющего электрода [26].

Импеданс всех электродов был ниже 10 кОм. Сигнал оцифровывался с частотой дискретизации 500 Гц.

ЭЭГ-анализ

Обработка данных ЭЭГ была выполнена с помощью собственных скриптов в среде Matlab R2017b (MathWorks, Natick, MA), а также использовалась библиотека BerlinBCI. Перед обработкой сигнала проводилась его децимация — частота дискретизации

понижалась до 250 Гц. Затем проводился ререференсинг по усредненному электроду (common average referencing). Далее сигнал ЭЭГ фильтровался в диапазоне частот 1—49 Гц. Для выявления и удаления зашумленных каналов проводился визуальный осмотр и спектральный анализ (ни один канал у испытуемых не был удален из анализа). Глазные артефакты были удалены с помощью алгоритма быстрого анализа независимых компонентов, реализованного в виде набора инструментов FastICA в Matlab [4]. Записи ЭЭГ были сегментированы с использованием маркеров событий на эпохи — от 100 до 1000 мс относительно начала стимула. В качестве базовой линии был взят интервал 100—0 мс до начала стимула. Дополнительная очистка эпох ВП была произведена на основе анализа стандартных отклонений каждого испытания, реализованного в наборе инструментов Berlin BCI в Matlab.

Глобальная мощность (Global field power (GFP)) была рассчитана для всех испытуемых по каждому стимулу (стандартный (S1) и девиантный (S2)). После

определения пиков ответов ВП было построено топографическое расположение значений амплитуды ВП из окон шириной 16 мс вокруг выбранных наиболее значимых пиков ответа GFP.

Результаты и обсуждение

Все стимулы вызывали выраженные ВП, связанные с предъявлением стимула. Чтобы объективно оценить общую картину реакции, мы рассчитали среднее значение ВП для всех стимулов и испытуемых и подвергли его преобразованию GFP, таким образом сократив весь

набор данных до одного временного периода (рис. 2А). Исследование ВП показало четыре наиболее заметных пика с максимумами на ~ 116, 252, 480 и 784 мс (измеренные по GFP), предположительно соответствующих таким компонентам ВП, как P2, N170 и P3.

Все пики демонстрировали различия в амплитуде ответов на стандартные и девиантные стимулы, что указывает на различия в обработке лиц со счастливым и злым выражением лица. Это говорит о том, что необходимы дальнейшие исследования и расширение выборки исследования для подтверждения данных результатов. Если результаты подтвердятся на большей выборке, данная парадигма может рассматриваться в

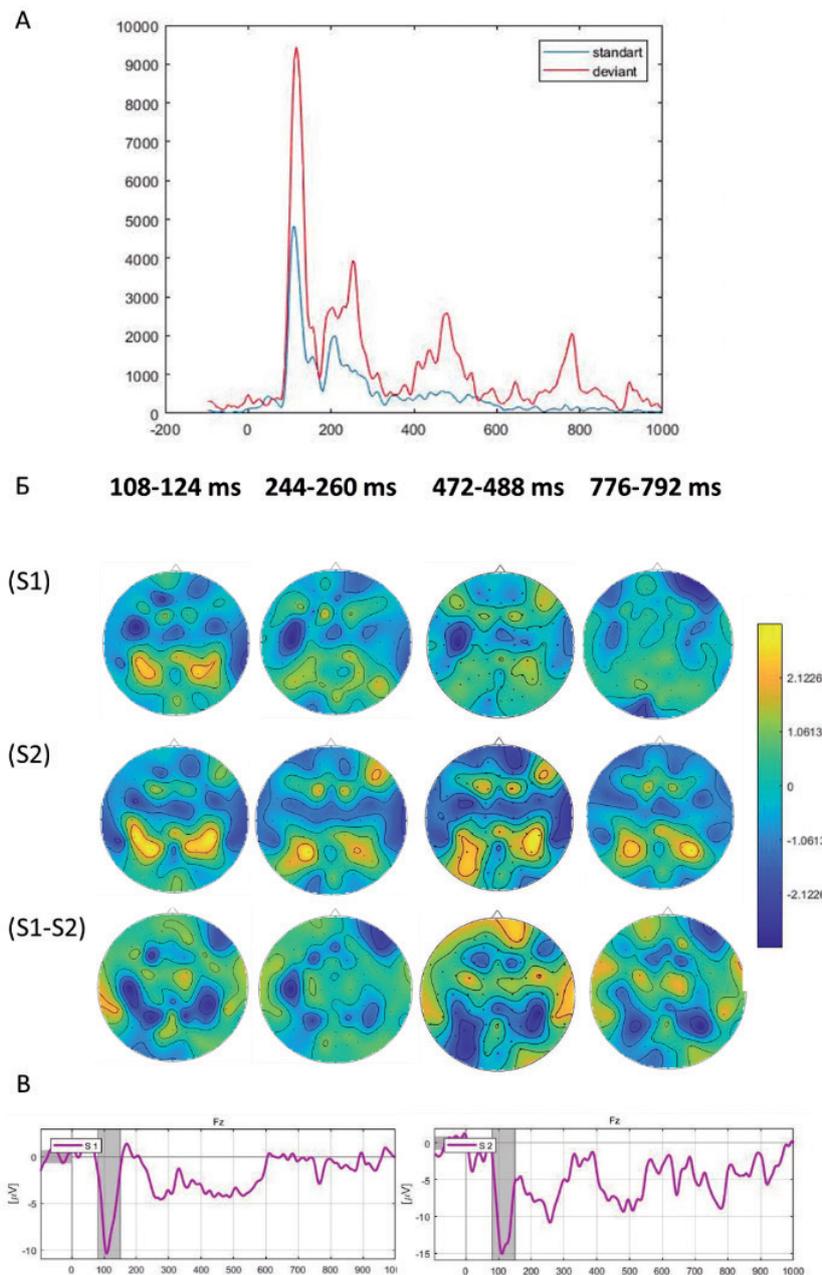


Рис. 2. А. Глобальная мощность (GFP) с наиболее заметными пиками на 116, 252, 480 и 784 мс для стандартного (красная линия) и девиантного (синяя линия) стимулов. Б. Топографические карты для интервалов 108—124 мс, 244—260мс, 472—480 мс, 776—792мс для стандартного (S1), девиантного (S2) и разности стандартного и девиантного стимулов (S1—S2). В. Вызванные потенциалы для стандартного (S1) и девиантного (S2) стимулов, рассчитанные для электрода Fz

качестве психофизиологического объективного маркера изменения психоэмоциональных состояний человека, например в процессе психотерапии.

Таким образом oddball-парадигма, основанная на использовании различных эмоциональных стимулов, представляет собой мощный инструмент для изучения эмоционального состояния человека. Несмотря на то, что данное исследование демонстрирует механизмы восприятия чужих эмоций, мы отталкиваемся от того, что предъявление изображений эмоциональных лиц вызывает ответный эмоциональный отклик у испытуемого. Продолжение работы над данной парадигмой позволит более глубоко понять механизмы восприятия и реакции на различные эмоциональные стимулы. Исследования могут сосредоточиться на том, как различные типы эмоций (например, радость, гнев, страх) вызывают разные психофизиологические реакции у людей. Это позволит расширить наши знания об эмоциональных процессах и их влиянии на поведение.

Более того, дальнейшие исследования могут сосредоточиться на применении Oddball-парадигмы в клинической практике. Например, исследования могут быть направлены на оценку эффективности данной парадигмы в диагностике психических расстройств, таких как депрессия, тревожные состояния или посттравматическое стрессовое расстройство. Результаты таких исследований могут способствовать разработке новых методик диагностики и мониторинга эмоционального состояния пациентов.

Также, важным направлением дальнейших исследований может стать изучение возможностей применения Oddball-парадигмы для оценки эффективности различных методов психотерапии. Наблюдение за

изменениями в психофизиологических показателях в ответ на терапевтические воздействия может помочь выявить наиболее эффективные методики и подходы к лечению психических расстройств.

Таким образом, развитие и дальнейшие исследования в области Oddball-парадигмы могут привести к расширению наших знаний о взаимосвязи между эмоциями, психофизиологическими процессами и поведением человека, а также способствовать улучшению методов диагностики и терапии психических заболеваний.

Выводы

1. ЭЭГ/ВП является методом выявления психофизиологической реакции человека на стимулы, при этом сам стимульный материал является ключевым элементом в дизайне данных исследований.

2. Мы предполагаем, что по сравнению с другими визуальными стимулами, эмоциональные выражения лиц людей являются наиболее эффективными визуальными стимулами.

3. Можно предположить, что oddball-парадигма ЭЭГ/ВП с использованием лиц является наиболее чувствительной при пассивном просмотре стимулов, и будет хорошим биомаркером психоэмоционального статуса человека при использовании эмоциональных стимулов.

4. Наши пилотные исследования показывают чувствительность такой oddball-парадигмы на предъявление счастливых и злых лиц. Распознавание выражения лица происходит автоматически, даже если оно совмещено с задачей другой сенсорной модальности.

Литература

1. Branco D., Gonçalves Ó.F., Badia S.B.I. A systematic review of international affective picture system (IAPS) around the world // *Sensors*. 2023. Vol. 23. № 8. Article ID 3866. 31 p. DOI:10.3390/s23083866
2. A systematic survey of face stimuli used in psychological research 2000—2020 / A. Dawel, E.J. Miller, A. Horsburgh, P. Ford // *Behavior Research Methods*. 2020. Vol. 54. № 4. P. 1889—1901. DOI:10.3758/s13428-021-01705-3
3. Astikainen P., Kreegipuu K., Czigler I. Visual mismatch negativity (vMMN): A unique tool in investigating automatic processing // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2022. Vol. 16. Article ID 1056208. 3 p. DOI:10.3389/fnhum.2022.1056208
4. Automatic facial expression recognition in standardized and non-standardized emotional expressions / T. Küntzler, T.T.A. Höfling, G.W. Alpers // *Frontiers in psychology*. 2021. Vol. 12. Article ID 627561. 13 p. DOI:10.3389/fpsyg.2021.627561
5. Behavioral and neurophysiological correlates of emotional face processing in borderline personality disorder: Are there differences between men and women? / M. Andermann, Izurieta N.A. Hidalgo, A. Rupp, C. Schmahl, S.C. Herpertz, K. Bertsch // *European Archives of Psychiatry and Clinical Neuroscience*. 2022. Vol. 272. № 8. P. 1583—1594. DOI:10.1007/s00406-022-01434-4
6. Bradley M.M., Sambuco N., Lang P.J. Affective perception: The power is in the picture // *Human perception of visual information: psychological and computational perspectives* / Eds. B. Ionescu, W.A. Bainbridge, N. Murray. Cham: Springer, 2022. P. 59—83.
7. Calvo G., Marrero H., Beltrán D. When does the brain distinguish between genuine and ambiguous smiles? An ERP study // *Brain and Cognition*. 2013. Vol. 81. № 2. P. 237—246. DOI:10.1016/j.bandc.2012.10.009
8. Dynamic facial expression of emotion and observer inference / K.R. Scherer, H. Ellgring, A. Dieckmann, M. Unfried, M. Mortillaro // *Frontiers in psychology*. 2019. Vol. 10. Article ID 508. 17 p. DOI:10.3389/fpsyg.2019.00508
9. Dysfunction of pre-attentive visual information processing in drug-naive women, but not men, during the initial episode of major depressive disorder / X. Yang, Q. Wang, Z. Qiao, X. Qiu, D. Han, X. Zhu // *Frontiers in Psychiatry*. 2020. Vol. 10. Article ID 899. 9 p. DOI:10.3389/fpsyg.2019.00899

10. Dysfunction of processing task-irrelevant emotional faces in primary insomnia patients: an evidence from expression-related visual MMN / Y. Zhang, J. Chen, X. Hou, Y. Guo, R. Lv, S. Xu // *Sleep and Breathing*. 2021. Vol. 25. P. 41—48. DOI:10.1007/s11325-020-02058-5
11. Ekman P. Expression and the Nature of Emotion // *Approaches to Emotion* / Eds. K. Scherer, P. Ekman. New York: Psychology Press, 1984. P. 319—344. DOI:10.4324/9781315798806
12. Ellsworth P.C., Scherer K.R. Appraisal processes in emotion [Электронный ресурс] // *Handbook of affective sciences* / Eds. R.J. Davidson, K.R. Scherer, H.H. Goldsmith. Oxford University Press, 2003. P. 572—595. URL: https://repository.law.umich.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1228&context=book_chapters (дата обращения: 20.05.2024).
13. EmoMadrid: An emotional pictures database for affect research / L. Carreti, M. Tapia, S. López-Martín, J. Albert // *Motivation and Emotion*. 2019. Vol. 43. P. 929—939. DOI:10.1007/s11031-019-09780-y
14. Facial expression recognition: A meta-analytic review of theoretical models and neuroimaging evidence / P. Xu, S. Peng, Y.J. Luo, G. Gong // *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. 2021. Vol. 127. P. 820—836. DOI:10.1016/j.neubiorev.2021.05.023
15. Falkenstein M. Recent Advances in Clinical Applications of P300 and MMN // *Psychophysiology Methods* / Eds. M. Valeriani, M. de Tommaso. New York: Humana Press, 2023. P. 1—21. DOI:10.1007/978-1-0716-3545-2_1
16. fICA: FastICA algorithms and their improved variants / J. Miettinen, K. Nordhausen, S. Taskinen // *The R Journal*. 2018. Vol. 10. № 2. P. 148—158. DOI:10.32614/RJ-2018-046
17. Gender differences in the relation between the late positive potential in response to anxiety sensitivity images and self-reported anxiety sensitivity / N.P. Allan, M.R. Judah, B.J. Albanese, R.J. Macatee, C.A. Sutton, M.D. Bachman // *Emotion*. 2019. Vol. 19(1). P. 70—83. DOI:10.1037/emo0000420
18. Global image properties predict ratings of affective pictures / C. Redies, M. Grebenkina, M. Mohseni, A. Kaduhm, C. Dobel // *Frontiers in psychology*. 2020. Vol. 11. Article ID 953. 16 p. DOI:10.3389/fpsyg.2020.00953
19. Jiang D., Chen Y., Guo T. Lasting effects of using distraction to manage responses to unpleasant pictures: Electrophysiological evidence // *Biological Psychology*. 2020. Vol. 156. Article ID 107952. 18 p. DOI:10.1016/j.biopsycho.2020.107952
20. Katebi M. E., Ghafari M. H., Ghafari T. STEMorph: Morphed Emotional Face Stimuli // *bioRxiv*. 2024. 15 p. DOI:10.1101/2024.05.13.593881
21. Kätsyri J., de Gelder B., de Borst A.W. Amygdala responds to direct gaze in real but not in computer-generated faces // *NeuroImage*. 2020. Vol. 204. Article ID 116216. 12 p. DOI:10.1016/j.neuroimage.2019.116216
22. Kim S.H., Lee O.K., Kim D.J. Study of Practical Method for International 10—20 Electrode System // *Korean Journal of Clinical Laboratory Science*. 2021. Vol. 53. № 1. P. 60—67. DOI:10.15324/kjcls.2021.53.1.60
23. Kurdi B., Lozano S., Banaji M.R. Introducing the open affective standardized image set (OASIS) // *Behavior research methods*. 2016. Vol. 49. P. 457—470. DOI:10.3758/s13428-016-0715-3
24. Lundqvist D., Flykt A., Öhman A. Karolinska Directed Emotional Faces (KDEF) [Database record] // *APA PsycTests*. 1998. DOI:10.1037/t27732-000
25. MacNamara A., Joyner K., Klawohn J. Event-related potential studies of emotion regulation: A review of recent progress and future directions // *International Journal of Psychophysiology*. 2022. Vol. 176. P. 73—88. DOI:10.1016/j.ijpsycho.2022.03.008
26. Maudrich T. Somatosensory-evoked potentials as a marker of functional neuroplasticity in athletes: A systematic review // *Frontiers in physiology*. 2022. Vol. 12. Article ID 821605. 14 p. DOI:10.3389/fphys.2021.821605
27. McMurray B. The myth of categorical perception // *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2022. Vol. 152. P. 3819—3842. DOI:10.1121/10.0016614
28. Neural dynamics of stimulus-response representations during inhibitory control / A. Prochnow, A. Bluschke, A. Weissbach, A. Münchau, V. Roessner, M. Mückschel, C. Beste // *Journal of Neurophysiology*. 2021. Vol. 126. P. 680—692. DOI:10.1152/jn.00163.2021
29. O'Reilly J.A., O'Reilly A. A critical review of the deviance detection theory of mismatch negativity // *NeuroSci*. 2021. Vol. 2(2). P. 151—165. DOI:10.3390/neurosci2020011
30. Pre-attentive dysfunction of processing emotional faces in interictal migraine revealed by expression-related visual mismatch negativity / Y. Guo, J. Chen, X. Hou, S. Xu, Y. Ma, S. Nie // *Brain research*. 2020. Vol. 1738. Article ID 146816. 8 p. DOI:10.1016/j.brainres.2020.146816
31. Pre-attentive visual processing in Alzheimer's disease: an event-related potential study / E. Na, K. Lee, E.J. Kim, J.B. Bae, S.W. Suh, S. Byun // *Current Alzheimer Research*. 2020. Vol. 17. № 13. P. 1195—1207. DOI:10.2174/1567205018666210216084534
32. Stimulus arousal drives amygdalar responses to emotional expressions across sensory modalities / H. Lin, M. Müller-Bardorff, B. Gathmann, J. Brieke, M. Mothes-Lasch, M. Bruchmann, W.H.R. Miltner, T. Straube // *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10. Article ID 1898. 12 p. DOI:10.1038/s41598-020-58839-1
33. Stimulus-specific regulation of visual oddball differentiation in posterior parietal cortex / Y. Zhang, J. Chen, X. Hou, Y. Guo, R. Lv, S. Xu // *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10. Article ID 13973. 15 p. DOI:10.1038/s41598-020-70448-6

34. The Karolinska directed emotional faces: a validation study / E. Goeleven, R. De Raedt, L. Leyman, B. Verschuere // *Cognition and emotion*. 2008. Vol. 22. № 6. P. 1094—1118. DOI:10.1080/02699930701626582
35. The McGill Face Database: Validation and insights into the recognition of facial expressions of complex mental states / G. Schmidtman, B.J. Jennings, D.A. Sandra, J. Pollock, I. Gold // *Perception*. 2020. Vol. 49. № 3. P. 310—329. DOI:10.1177/0301006620901671
36. The quest for the genuine visual mismatch negativity (vMMN): Event-related potential indications of deviance detection for low-level visual features / A.G. Male, R.P. O’Shea, E. Schröger, D. Müller, U. Roeber, A. Widmann // *Psychophysiology*. 2020. Vol. 57. № 6. Article ID e13576. 27 p. DOI:10.1111/psyp.13576.
37. The rapid and automatic categorization of facial expression changes in highly variable natural images / S. Matt, M. Dzhelyova, L. Maillard, J. Lighezzolo-Alnot, B. Rossion, S. Caharel // *Cortex*. 2021. Vol. 144. P. 168—184. DOI:10.1016/j.cortex.2021.08.005
38. Waller B.M., Julle-Daniere E., Micheletta J. Measuring the evolution of facial ‘expression’ using multi-species FACS // *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. 2020. Vol. 113. P. 1—11. DOI:10.1016/j.neubiorev.2020.02.031

References

1. Branco D., Gonçalves Ó.F., Badia S.B.I. A systematic review of international affective picture system (IAPS) around the world. *Sensors*. 2023. Vol. 23. no. 8. Article ID 3866. 31 pp. DOI:10.3390/s23083866
2. Dawel A., Miller E.J., Horsburgh A., Ford P. A systematic survey of face stimuli used in psychological research 2000—2020. *Behavior Research Methods*. 2022. Vol. 54, no. 4, pp. 1889—1901. DOI:10.3758/s13428-021-01705-3
3. Astikainen P., Kreegipuu K., Czigler I. Visual mismatch negativity (vMMN): A unique tool in investigating automatic processing. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2022. Vol. 16, article ID 1056208. 3 p. DOI:10.3389/fnhum.2022.1056208
4. Küntzler T., Höfling T.T. A., Alpers G.W. Automatic facial expression recognition in standardized and non-standardized emotional expressions. *Frontiers in psychology*. 2021. Vol. 12, article ID 627561. 13 p. DOI:10.3389/fpsyg.2021.627561
5. Andermann M., Izurieta Hidalgo N.A., Rupp A., Schmahl C., Herpertz S.C., Bertsch K. Behavioral and neurophysiological correlates of emotional face processing in borderline personality disorder: are there differences between men and women? *European Archives of Psychiatry and Clinical Neuroscience*. 2022. Vol. 272, no. 8, pp. 1583—1594. DOI:10.1007/s00406-022-01434-4
6. Bradley M. M., Sambuco N., Lang P.P.J. Affective perception: The power is in the picture. In Ionescu B., Bainbridge W.A., Murray N. (eds.), *Human perception of visual information: psychological and computational perspectives*. Cham: Springer, 2022, pp. 59—83.
7. Calvo G., Marrero H., Beltr n D. When does the brain distinguish between genuine and ambiguous smiles? An ERP study. *Brain and Cognition*. 2013. Vol. 81, no. 2, pp. 237—246. DOI:10.1016/j.bandc.2012.10.009
8. Scherer K.R., Ellgring H., Dieckmann A., Unfried M., Mortillaro M. Dynamic facial expression of emotion and observer inference. *Frontiers in psychology*. 2019. Vol. 10, article ID 508. 17 p. DOI:10.3389/fpsyg.2019.00508
9. Yang X., Wang Q., Qiao Z., Qiu X., Han D., Zhu X. Dysfunction of pre-attentive visual information processing in drug-naïve women, but not men, during the initial episode of major depressive disorder. *Frontiers in Psychiatry*. 2020. Vol. 10, article ID 899. 9 p. DOI:10.3389/fpsyt.2019.00899
10. Zhang Y., Chen J., Hou X., Guo Y., Lv R., Xu S. Dysfunction of processing task-irrelevant emotional faces in primary insomnia patients: an evidence from expression-related visual MMN / *Sleep and Breathing*. 2021. Vol. 25, pp. 41—48. DOI:10.1007/s11325-020-02058-5
11. Ekman P. Expression and the Nature of Emotion. *Approaches to Emotion*. Eds. K. Scherer, P. Ekman. New York: Psychology Press, 1984. pp. 319—344. DOI:10.4324/9781315798806
12. Ellsworth P.C., Scherer K.R. Appraisal processes in emotion [Electronic resource]. In Davidson R.J., Scherer K.R., Goldsmith H.H. (eds.), *Handbook of affective sciences*. New York: Oxford University Press, 2003. pp. 572—595. URL: https://repository.law.umich.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1228&context=book_chapters (Accessed 20.05.2024).
13. Carretié L., Tapia M., Lopez-Mart n S., Albert J. EmoMadrid: An emotional pictures database for affect research. *Motivation and Emotion*. 2019. Vol. 43, pp. 929—939. DOI:10.1007/s11031-019-09780-y
14. Xu P., Peng S., Luo Y.J., Gong G. Facial expression recognition: A meta-analytic review of theoretical models and neuroimaging evidence. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. 2021. Vol. 127, pp. 820—836. DOI:10.1016/j.neubiorev.2021.05.023
15. Falkenstein M. Recent Advances in Clinical Applications of P300 and MMN. In Valeriani, de Tommaso M. (eds.). *Psychophysiology Methods*. New York: Humana Press, 2023, pp. 1—21. DOI:10.1007/978-1-0716-3545-2_1
16. Miettinen J., Nordhausen K., Taskinen S. fICA: FastICA algorithms and their improved variants. *The R Journal*. 2018. Vol. 10, no. 2, pp. 148—158. DOI:10.32614/RJ-2018-046
17. Allan N.P., Judah M.R., Albanese B.J., Macatee R.J., Sutton C.A., Bachman M.D. Gender differences in the relation between the late positive potential in response to anxiety sensitivity images and self-reported anxiety sensitivity. *Emotion*. 2019. Vol. 19(1), pp. 70—83. DOI:10.1037/emo0000420

18. Redies C., Grebenkina M., Mohseni M., Kaduhm A., Dobel C. Global image properties predict ratings of affective pictures. *Frontiers in psychology*. 2020. Vol. 11, article ID 953. 16 p. DOI:10.3389/fpsyg.2020.00953
19. Jiang D., Chen Y., Guo T. Lasting effects of using distraction to manage responses to unpleasant pictures: electrophysiological evidence. *Biological Psychology*. 2020. Vol. 156, article ID 107952. 18 p. DOI:10.1016/j.biopsycho.2020.107952
20. Katebi M. E., Ghafari M. H., Ghafari T. STEMorph: Morphed Emotional Face Stimuli. *bioRxiv*. 2024. 15 p. DOI:10.1101/2024.05.13.593881
21. K tsyri J., de Gelder B., de Borst A.W. Amygdala responds to direct gaze in real but not in computer-generated faces. *NeuroImage*. 2020. Vol. 204, article ID 116216. 12 p. DOI:10.1016/j.neuroimage.2019.116216
22. Kim S.H., Lee O.K., Kim D.J. Study of Practical Method for International 10–20 Electrode System. *Korean Journal of Clinical Laboratory Science*. 2021. Vol. 53, no. 1, pp. 60—67. DOI:10.15324/kjcls.2021.53.1.60
23. Kurdi B., Lozano S., Banaji M.R. Introducing the open affective standardized image set (OASIS). *Behavior research methods*. 2016. Vol. 49, pp. 457—470. DOI:10.3758/s13428-016-0715-3
24. Lundqvist D., Flykt A., Öhman A. Karolinska Directed Emotional Faces (KDEF) [Database record]. *APA PsycTests*. 1998. DOI:10.1037/t27732-000
25. MacNamara A., Joyner K., Klawohn J. Event-related potential studies of emotion regulation: A review of recent progress and future directions. *International Journal of Psychophysiology*. 2022. Vol. 176, pp. 73—88. DOI:10.1016/j.ijpsycho.2022.03.008
26. Maudrich T. Somatosensory-evoked potentials as a marker of functional neuroplasticity in athletes: a systematic review. *Frontiers in physiology*. 2022. Vol. 12, article ID 821605. 14 p. DOI:10.3389/fphys.2021.821605
27. McMurray B. The myth of categorical perception. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2022. Vol. 152, no. 6, pp. 3819—3842. DOI:10.1121/10.0016614
28. Prochnow A, Bluschke A, Weissbach A, M nchau A, Roessner V, M ckschel M, Beste C. Neural dynamics of stimulus-response representations during inhibitory control. *Journal of Neurophysiology*. 2021. Vol. 126, no. 2, pp. 680—692. DOI:10.1152/jn.00163.2021
29. O’Reilly J.A., O’Reilly A. A critical review of the deviance detection theory of mismatch negativity. *NeuroSci*. 2021. Vol. 2(2), pp. 151—165. DOI:10.3390/neurosci2020011
30. Guo Y., Chen J., Hou X., Xu S., Ma Y., Nie S. Pre-attentive dysfunction of processing emotional faces in interictal migraine revealed by expression-related visual mismatch negativity. *Brain research*. 2020. Vol. 1738, article ID 146816. 8 p. DOI:10.1016/j.brainres.2020.146816
31. Na E., Lee K., Kim E.J., Bae J.B., Suh S.W., Byun S. Pre-attentive visual processing in Alzheimer’s disease: an event-related potential study. *Current Alzheimer Research*. 2020. Vol. 17, no. 13, pp. 1195—1207. DOI:10.2174/1567205018666210216084534
32. Lin H., Müller-Bardorff M., Gathmann B., Brieke J., Mothes-Lasch M., Bruchmann M., Miltner W.H.R., Straube T. Stimulus arousal drives amygdalar responses to emotional expressions across sensory modalities. *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10, article ID 1898. 12 p. DOI:10.1038/s41598-020-58839-1
33. Zhang Y., Chen J., Hou X., Guo Y., Lv R., Xu S. Stimulus-specific regulation of visual oddball differentiation in posterior parietal cortex. *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10, article ID 13973. 15 p. DOI:10.1038/s41598-020-70448-6
34. Goeleven E., De Raedt R., Leyman L., Verschuere B. The Karolinska directed emotional faces: a validation study. *Cognition and emotion*. 2008. Vol. 22, no. 6, pp. 1094—1118. DOI:10.1080/02699930701626582
35. Schmidtman G., Jennings B.J., Sandra D.A., Pollock J., Gold I. The McGill Face Database: Validation and insights into the recognition of facial expressions of complex mental states. *Perception*. 2020. Vol. 49, no. 3, pp. 310—329. DOI:10.1177/0301006620901671
36. Male A.G., O’Shea R.P.P., Schröger E., Müller D., Roeber U., Widmann A. The quest for the genuine visual mismatch negativity (vMMN): Event-related potential indications of deviance detection for low-level visual features. *Psychophysiology*. 2020. Vol. 57, no. 6, article ID e13576. 27 p. DOI:10.1111/psyp.13576
37. Matt S., Dzhelyova M., Maillard L., Lighezzolo-Alnot J., Rossion B., Caharel S. The rapid and automatic categorization of facial expression changes in highly variable natural images. *Cortex*. 2021. Vol. 144, pp. 168—184. DOI:10.1016/j.cortex.2021.08.005
38. Waller B. M., Julle-Daniere E., Micheletta J. Measuring the evolution of facial ‘expression’ using multi-species FACS. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. 2020. Vol. 113, pp. 1—11. DOI:10.1016/j.neubiorev.2020.02.031

Информация об авторах

Благовещенский Евгений Дмитриевич, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник Института когнитивных нейронаук, Центра нейроэкономики и когнитивных исследований, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (ФГАОУ ВО «НИУ ВШЭ»), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0955-6633>, e-mail: eblagovechensky@hse.ru

Помелова Екатерина Дмитриевна, аспирант, стажер-исследователь Института когнитивных нейронаук, Центра нейроэкономики и когнитивных исследований, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (ФГАОУ ВО «НИУ ВШЭ»), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0420-0221>, e-mail: epomelova@hse.ru

Попыванова Алена Владимировна, аспирант, стажер-исследователь Института когнитивных нейронаук, Центра нейроэкономики и когнитивных исследований, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (ФГАОУ ВО «НИУ ВШЭ»), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4413-9421>, e-mail: apopyvanova@hse.ru

Корякина Мария Михайловна, аспирант, младший научный сотрудник Института когнитивных нейронаук, Центра нейроэкономики и когнитивных исследований, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (ФГАОУ ВО «НИУ ВШЭ»), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6737-550X>, e-mail: mkoriakina@hse.ru

Луков Михаил Юрьевич, старший научный сотрудник, Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого (ФГБОУ ВО «НовГУ»), г. Великий Новгород, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-5430-2170>, e-mail: lukov.mi@yandex.ru

Барцева Ксения Викторовна, младший научный сотрудник, Санкт-Петербургский государственный университет (ФГБОУ ВО «СПбГУ»), г. Санкт-Петербург, Российская Федерация ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4854-726X>, e-mail: bartseva.ksenia@gmail.com

Information about the authors

Evgeny D. Blagovechtchenski, PhD (Biology), Leading Researcher, the Centre for Cognition and Decision making, Institute for Cognitive Neuroscience, National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0955-6633>, e-mail: eblagovechensky@hse.ru

Ekaterina D. Pomelova, Phd Student, Research Assistant, the Centre for Cognition and Decision making, Institute for Cognitive Neuroscience, National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0420-0221>, e-mail: epomelova@hse.ru.

Alena V. Popuyvanova, Phd Student, Research Assistant, the Centre for Cognition and Decision making, Institute for Cognitive Neuroscience, National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0777-1111>, e-mail: apopyvanova@hse.ru.

Maria M. Koriakina, Phd Student, Junior Research Fellow, the Centre for Cognition and Decision making, Institute for Cognitive Neuroscience, National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6737-550X>, e-mail: mkoriakina@hse.ru.

Mikhail Yu. Lukov, Senior Researcher, Yaroslav-the-Wise Novgorod State University, Veliky Novgorod, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-5430-2170>, e-mail: lukov.mi@yandex.ru.

Ksenia V. Bartseva, Junior Research Fellow, Saint Petersburg State University, St. Petersburg, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4854-726X>, e-mail: bartseva.ksenia@gmail.com

Получена 02.05.2024

Received 02.05.2024

Принята в печать 27.06.2024

Accepted 27.06.2024