

ПСИХОФИЗИОЛОГИЯ

Научная статья
<https://doi.org/10.11621/npj.2023.0209>

УДК 159.91

Электрофизиологические корреляты распознавания визуальных иллюзий: исследование вызванной активности мозга

Е. Г. Денисова^{✉1}, Ю. Н. Зайцева¹, П. Н. Ермаков²

¹ Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Российская Федерация

² Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Российская Федерация,

[✉] keithdenisova@gmail.com

Резюме

Актуальность. На сегодняшний день вопрос о психофизиологических механизмах восприятия изображений, содержащих иллюзорные искажения, остается открытым. Практически нет данных о специфике работы мозга при распознавании различных видов иллюзий.

Цель. Анализ временной динамики вызванной активности мозга по отношению к типу воспринимаемого иллюзорного искажения.

Выборка. Эмпирическое исследование проведено на выборке респондентов в количестве 50 человек в возрасте от 18 до 30 лет — правши, с нормальным или скорректированным зрением (83% женщины).

Методы. В исследовании был использован метод электроэнцефалографии (регистрация вызванных потенциалов, ВП). Регистрация ЭЭГ проводилась монополярно в 32 отведениях, при помощи многоканального электроэнцефалографа Нейровизор-136 (производства компании «МКС», Россия). Участникам эксперимента были визуально предъявлено 700 изображений, из них 6 групп различных иллюзий и контрольных изображений в виде простых геометрических фигур, не имеющих никаких искажений. Стимулы предъявлялись в рандомизированном порядке, на ограниченное время (500 мс). Для обработки записей ЭЭГ использовалась программа WinEEG. Статистические методы: однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA), post-hoc-анализ по методу Данна. Статистический анализ осуществлялся с применением программного пакета JASP 0.16.

Результаты. В результате сравнения динамики амплитуды между контрольными стимулами со стимулами, содержащими иллюзорные изображения, были выявлены достоверные различия на отрезке 200–300 мс и в поздних компонентах ответа (после 500 мс). В ходе анализа вызванной активности при распознавании отдельных категорий иллюзорных изображений достоверные различия отмечены также начиная с отрезка 100–200 мс и охватывают как ранние и средние компоненты ответа, так и поздние. Парное сравнение показало, что иллюзии искривления пространства, двойные изображения и иллюзии движения достоверно отличались практически от всех групп стимулов.

Выводы. Полученные результаты позволили заключить, что характеристики вызванной активности мозга специфичны к типу воспринимаемого искажения. Данные о динамике амплитудных характеристик вызванных потенциалов при распознавании зрительных иллюзий, а также их сравнительный анализ по различным видам иллюзий расширяют представления о системной работе мозга при формировании зрительных образов в целом и ошибок восприятия в частности.

Ключевые слова: визуальные иллюзии, зрительное восприятие, ЭЭГ, вызванные потенциалы.

Для цитирования: Денисова Е. Г., Зайцева Ю. Н., Ермаков П. Н. Электрофизиологические корреляты распознавания визуальных иллюзий: исследование вызванной активности мозга // Национальный психологический журнал. 2023. № 2 (50). С. 119–128. <https://doi.org/10.11621/npj.2023.0209>

PSYCHOPHYSIOLOGY

Scientific Article

<https://doi.org/10.11621/npj.2023.0209>

Electrophysiological correlates of the perception of visual illusions: an ERP study

Ekaterina G. Denisova^{✉1}, Julia N. Zaitseva¹, Pavel N. Ermakov²¹ Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation² Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russian Federation[✉] keithdenisova@gmail.com**Abstract****Background.** The question of the psychophysiological mechanisms involved in perception of images containing illusory distortions remains open. There is no record on the specifics of the brain functioning while recognizing various types of illusions.**Objective.** The aim is to analyse the temporal dynamics of evoked brain activity in relation to the type of perceived illusory distortion.**Sample.** The empirical study involved a sample of 50 respondents aged 18 to 30 years with normal or corrected vision (83% women).**Methods.** The method of electroencephalography (registration of evoked potentials, EP) was applied in the study. EEG registration was carried out monopolarly in 32 leads, using a multichannel electroencephalograph Neuroimage-136 (manufactured by the company "ISS", Russia). The participants of the experiment were presented with 700 visual images, including 6 groups of various illusions and control images in the form of simple geometric shapes that are not distorted. The stimuli were presented in a randomized order, for a limited time (500 ms). The WinEEG program was used to process EEG recordings. Statistical methods: single-factor analysis of variance (ANOVA), Dunn's post-hoc test. Statistical analysis was carried out with the JASP 0.16 software package.**Results.** Comparison of amplitude dynamics between control stimuli and stimuli with illusory images revealed significant differences in the 200–300 ms interval and in late response components (after 500 ms). As a result of the amplitude analysis of the evoked potentials while recognizing different categories of illusory images, significant differences were noted starting from the interval of 100–200 ms and covering both early and middle components of the response, as well as the late ones. Pairwise comparison showed that space curvature illusions, double images, and movement illusions were significantly different from almost all other groups of stimuli.**Conclusion.** The characteristics of evoked brain activity are specific to the type of perceived distortion. Data on the dynamics of the amplitude characteristics of evoked potentials in recognition of visual illusions, as well as their comparative analysis for various types of illusions, expand the understanding of the systemic work of the brain on formation of visual images in general and perception errors in particular.**Keywords:** visual illusions, visual perception, EEG, evoked potentials.*For citation:* Denisova, E.G., Zaitseva, J.N., Ermakov, P.N. (2023). Electrophysiological correlates of the perception of visual illusions: an ERP study. *National psychological journal*, 2 (50), 119–128. <https://doi.org/10.11621/npj.2023.0209>**Введение**

Иллюзиями и ошибками восприятия интересовались еще древнегреческие философы. Иллюзии представляют собой искаженную оценку реальных образов, их несоответствие тому, что они есть на самом деле. Иллюзии могут возникать на уровне любого из органов чувств — слухового, тактильного, вкусового, обонятельного или зрительного. Проблема исследования разнообразных ошибок восприятия

состоит в том, что мы до сих пор не понимаем механизма детерминации искажений субъективных представлений об объективной реальности. При этом круг вопросов, связанных с искаженным восприятием или восприятием искажений, весьма разнообразен: от исследований механизма формирования зрительного образа, до ответа на вопрос о том, как отделить иллюзорное от «реального» и каково физиологическое объяснение феноменов, которые показывают, что восприятие может быть ошибочным.

Особенности восприятия иллюзорных искажений исследуются с двух точек зрения: с позиций определения нейрофизиологических механизмов, обеспечивающих формирование зрительного образа (Федорова, Медведев, 2011; Миняева и др., 2009; Клеева, 2019) и через изучение индивидуально-психологических особенностей личности, обуславливающих различия в восприятии тех или иных видов иллюзий (Меньшикова, 2007; Шошина, Медведев, 2005; Конарева, 2021; Карпинская, Ляховецкий, 2014; Белоусова, Ткаченко, 2021).

Существуют несколько теорий, объясняющих механизмы восприятия зрительных иллюзий. Глобально их можно разделить на психологические и психофизиологические. К психологическим теориям относятся: теория структурности или «хороших форм», теория сопереживания, теории о когнитивных механизмах восприятия (Меньшикова, 2007; Прокопенко, 2006). Психофизиологический подход в свою очередь тоже подразделяется на несколько теорий: теория оптики глаза (Бондарко, 2019), теория нарушения работы зрительной системы (Толмачева, 2015) и глазодвигательная теория, в рамках которой в последние годы активно накапливаются данные благодаря развитию айтрекинга (Романов, 1973; Огников, 2008; Palmisano et al., 2015).

На сегодняшний день накоплено огромное количество экспериментальных данных в отношении различных аспектов нейрофизиологии зрительного восприятия. Так, в рамках векторного подхода предложена концепция о модульной структуре зрительной системы (Чудина, Шляхта, 2014). Описаны механизмы отбора информации при мгновенном зрительном восприятии множества объектов (Яковлев, Уточкин, 2020). В рамках системного подхода и различных его теорий объясняются возможные механизмы интеграции элементарных физиологических процессов в целостные структуры, обеспечивающие разноуровневые психические процессы (Анохин, 2021; Иваницкий, 2019; Александров, 2003).

Считается, что процесс зрительного восприятия начинается с выделения в зрительной системе элементарных зрительных признаков, таких как цвет, яркость, наклон линии, форма, размер, движение и др. В нейрофизиологических исследованиях неоднократно было показано, что детекция этих элементарных признаков начинается на уровне сетчатки и продолжается в первичной зрительной коре V1 (Меньшикова, 2013). Более сложные процессы восприятия происходят уже в затылочно-теменной и затылочно-височных областях зрительной системы. Там выделяются признаки группировки, принадлежности, симметричности объекта, то есть те, которые не локализованы в пространстве, а отражают обобщенную характеристику

нескольких элементарных признаков в пределах всего стимульного поля. На этом же этапе реализуется выделение Фигуры на Фоне (Меньшикова, 2013; Прокопенко, 2006). Также накоплены данные в отношении участия передне-лобных областей в распознавании зрительных стимулов. В том числе в отношении вызванной активности мозга. Так, показано, что компоненты P300, N200 и поздние компоненты позитивного комплекса (LPC) могут быть чувствительны к ошибкам и особенностям распознавания различных зрительных стимулов, в том числе фрагментированных изображений (Астащенко, 2009).

Анализ научной литературы показал, что интерес к ошибкам восприятия за последние 50 лет несомненно возрастает. Одним из последствий активной разработки данной темы является то, что возрастает и само количество разновидностей иллюзорных изображений. Однако практически нет сравнительных исследований и данных о специфике работы мозга при распознавании различных видов иллюзий.

Цель и гипотеза исследования

Целью исследования выступило изучение характеристик вызванной активности мозга при восприятии визуальных иллюзий.

В соответствии с целью была выдвинута **гипотеза** о том, что характеристики вызванной активности мозга специфичны к типу воспринимаемого искажения. В частности, предполагается, что будет различаться временная динамика амплитудных характеристик сигнала при распознавании различных типов иллюзорных изображений.

Методы

Для проверки выдвинутого предположения было проведено эмпирическое исследование методом электроэнцефалографии. Перед началом эксперимента испытуемых знакомили с инструкцией и объясняли правила поведения во время эксперимента. Испытуемые располагались перед экраном на расстоянии 50–60 сантиметров. Участникам эксперимента были визуально предъявлено 700 изображений, из них 6 групп различных иллюзий (по 100 изображений каждого типа) и 1 группа из 100 контрольных изображений в виде простых геометрических фигур, не имеющих никаких искажений.

Группы предъявляемых иллюзорных стимулов были следующими:

- 1) иллюзии искривления фигур в искаженном пространстве;

- 2) иллюзии искривления линий;
- 3) иллюзии искривления объекта;
- 4) иллюзии движения;
- 5) незавершенные фигуры;
- 6) двойные изображения.

Стимулы предъявлялись в рандомизированном порядке. Каждое изображение предъявлялось на 500 мс. Время на ответ было неограниченно. После нажатия испытуемым выбранной клавиши экспериментатор менял стимул.

Регистрация ЭЭГ проводилась непрерывно в течение всего эксперимента, монополярно в 32 отведениях с двумя референтами при помощи многоканального электроэнцефалографа Нейровизор-136 (производства компании «МКС», Россия). Для анализа записей ЭЭГ использовалась программа WinEEG. Методом вызванных потенциалов анализировались отрезки до и после начала экспозиции стимулов тестовых (экспериментальных) заданий. Коррекция артефактов проводилась по независимым компонентам. При расчете вызванных потенциалов предстимульный интервал был ограничен до -200 мс; постстимульный, ввиду того, что экспозиция стимула длилась 500 мс, а среднее время на ответ не превышало 200 мс, было ограничено до 700 мс.

Статистические методы обработки полученных результатов включали в себя однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA), post-hoc-анализ по методу Данна. Статистическая обработка осуществлялась с применением свободно распространяемого программного пакета JASP 0.16.

Выборка

В исследовании приняли участие 50 человек (8 мужчин и 42 женщины) — правши, с нормальным или скорректированным зрением. Исследованию предшествовала процедура рандомизации. Респонденты дали согласие на участие в исследовании, были ознакомлены с его целями и уведомлены о дальнейшем использовании и публикации результатов.

Результаты

С целью проверки предположения о том, что характеристики вызванной активности мозга могут быть специфичны к типу воспринимаемого искажения, исследовалась амплитуда сигнала на разных этапах распознавания различных типов иллюзий. При расчете вызванных потенциалов на очищенных от артефактов участках ЭЭГ для каждого испытуемого и каждого типа задания были рассчитаны усредненные значения амплитуды ВП на каждый временной интервал с шагом в 100 мс. Далее производилось усреднение показателей ВП по всей выборке для контрольных и иллюзорных изображений каждой группы.

При сравнении иллюзорных и контрольных стимулов удалось установить различия во фронтальной, центральной, левой париетальной и центрально-париетальной областях билатерально (рис. 1).

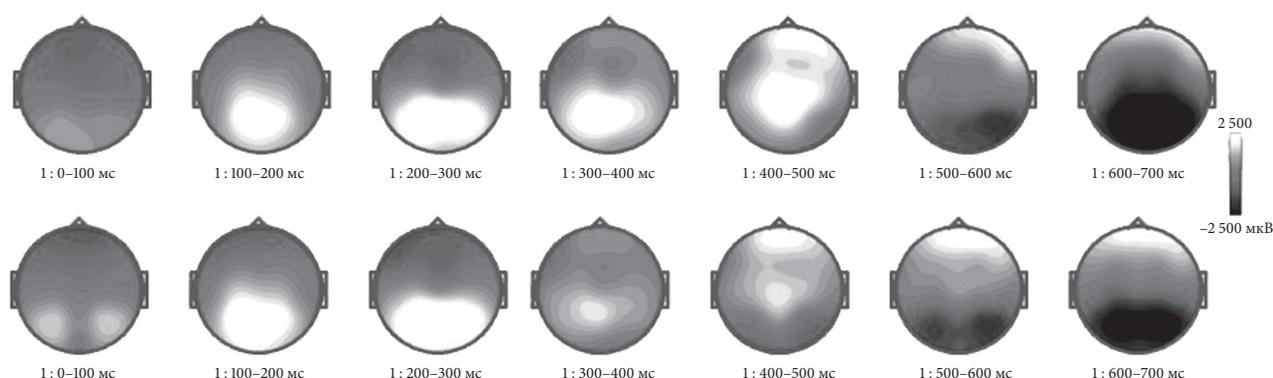


Рис. 1. Анализ временной динамики усредненных значений амплитуды ВП по всем видам иллюзий (второй ряд) в сравнении с контрольными стимулами (первый ряд) (от $-2,5$ до $2,5$ мкВ)

Fig. 1. Analysis of the temporal dynamics for the averaged values of EP amplitude for all types of illusions (bottom row) in comparison with control stimuli (upper row) (from -2.5 to 2.5 μ V)

Увеличение амплитуды ВП в окципитальной области на отрезках 100–200 и 200–300 мс отмечается в ответ на все виды стимулов. Однако при

восприятии иллюзий в отличие от контрольных изображений отмечается билатеральное увеличение амплитуды ВП на самом первом отрезке 0–100

мс. Также явные отличия просматриваются на отрезке 300–400 мс, где наиболее высокие показатели в парието-окципитальной области имеют более локализованный характер со смещением влево. На отрезке 400–500 мс также более высокая отмечается в центрально-париетальной и фронтальной областях. При этом нет явного смещения, тогда как при распознавании контрольных стимулов на данном отрезке амплитуда в среднем выше в париетальной области. На отрезке 500–600 мс и далее при восприятии изображений, содержащих иллюзорное искажение, увеличение амплитуды во фронтальной области отмечено со сдвигом вправо.

Исследование достоверности выявленных различий проводилось при помощи однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA). На отрезке 200–300 мс между распознаванием группы иллюзорных и контрольных стимулов были выявлены достоверные различия амплитуды ВП в центральной (CP5, CP6 при $p < 0,01$), париетальной со сдвигом к правому полушарию (P7, P4 при $p < 0,05$; P8 при $p < 0,01$) и окципитальной (Oz при $p < 0,03$) областях. На отрезке 500–600 мс также достоверно различается амплитуда в центральной области со сдвигом к левому полушарию (CP5, CP1 при $p < 0,05$), париетальной со сдвигом к левому полушарию (P7, P3, Pz, P4 при $p < 0,05$) и окципитальной (O1, Oz, O2 при $p < 0,01$) областях. Кроме того, достоверные различия амплитуды ВП были выявлены на отрезке 600–700 мс в фронтальной области в левом полюсе латеральности (FT9 при $p < 0,04$), центральной области со сдвигом к левому полюсу латеральности (C3, CP1, CP2, CP6, CP5 при $p < 0,03$), темпоральной в левом полюсе латеральности (TP9 при $p < 0,05$), париетальной со сдвигом к левому полюсу латеральности (P7, P3, Pz, P4 при $p < 0,01$) и окципитальной (O1, Oz, O2 при $p < 0,001$) областях головного мозга.

Далее обратимся к сравнительному анализу различий временной динамики амплитуды ВП при распознавании каждой группы стимулов (рис. 2).

Различия, визуально просматривающиеся на более ранних этапах распознавания, (0–200 мс) не достигают уровня статистической значимости при анализе при помощи однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA). Однако при попарном сравнении методом Данна подтверждается достоверность различий между некоторыми группами стимулов. Так, например, на отрезке 100–200 мс достоверно различаются амплитуда в лобных и центрально-лобных и затылочных отведениях при распознавании иллюзий искривления пространства, двойных изображений и иллюзий движения (Fp1, F7, F8, FC2, O2 и Oz при $p < 0,05$).

Статистически значимые различия были выявлены на отрезке 200–300 мс. На этом промежутке достоверно различается амплитуда ВП в окципитальной области (Oz при $p < 0,001$). Попарное сравнение показало значимые различия между иллюзиями движения и иллюзиями с незавершенными фигурами ($p < 0,01$). На отрезке 300–400 мс достоверно различается амплитуда в фронтальной области (Fp1, Fp2, F7, F3, Fz, F8, FT9 при $p < 0,001$), фронтально-центральной (FC5, FC1, FC2, FC6 при $p < 0,003$), центральной со сдвигом к правому полюсу латеральности (Cz, C4 при $p < 0,05$), париетальной со сдвигом влево (P7, P3, P8 при $p < 0,05$) и окципитальной (O1, O2 при $p < 0,01$) областях.

На отрезке 400–500 мс достоверно различаются фронтальная область (Fp1 при $p < 0,02$; Fp2 при $p < 0,003$; F7 при $p < 0,002$; F3 при $p < 0,0009$; Fz при $p < 0,001$; F4 при $p < 0,002$; F8 при $p < 0,007$; FT9 при $p < 0,04$), фронтально-центральная (FC5 при $p < 0,0004$; FC1 при $p < 0,004$; FC2 при $p < 0,0026$; FC6 при $p < 0,003$), центральная (C3 при $p < 0,01$; Cz при $p < 0,01$; C4 при $p < 0,04$) и париетальная область со сдвигом к правому полюсу латеральности (P8 при $p < 0,01$). Попарное сравнение по методу Данна показало наиболее значимые различия у иллюзий с двойственными изображениями и во фронтальных отведениях.

На отрезке 500–600 мс достоверно различаются фронтальная (F7 при $p < 0,03$), фронтально-центральная (FC5 при $p < 0,03$), париетальная (P7 при $p < 0,01$; P3 при $p < 0,02$; P8 при $p < 0,04$) и окципитальная (O1 при $p < 0,02$ и Oz при $p < 0,03$) области. На всех значимых областях наблюдается сдвиг к левому полюсу латеральности. Попарное сравнение показало значимые различия в распознавании иллюзорных стимулов от контрольных и значимое различие иллюзий с двойственными изображениями от других видов иллюзий.

На отрезке 600–700 мс достоверно различаются центральная (C3, CP5, CP1, CP2, CP6 при $p < 0,05$), париетальная (P7, P3, Pz, P4 при $p < 0,01$) и окципитальная (O1 и Oz при $p < 0,01$) области. Попарное сравнение также показало значимые различия в основном в отношении иллюзий с двойственными изображениями и иллюзий движения.

Таким образом, результаты статистического анализа и визуальный анализ тепловых карт свидетельствуют о том, что вызванная активность имеет специфический характер в зависимости от типа иллюзорного искажения. Наиболее выражены отличия динамики амплитуды ВП при распознавании иллюзий с двойными изображениями. При этом различия наблюдаются у компонентов P100 и N100, P200 и N200 на раннем этапе распознавания стимула, а также у компонента P300 и поздних позитивных компонентов во фронтальных областях.

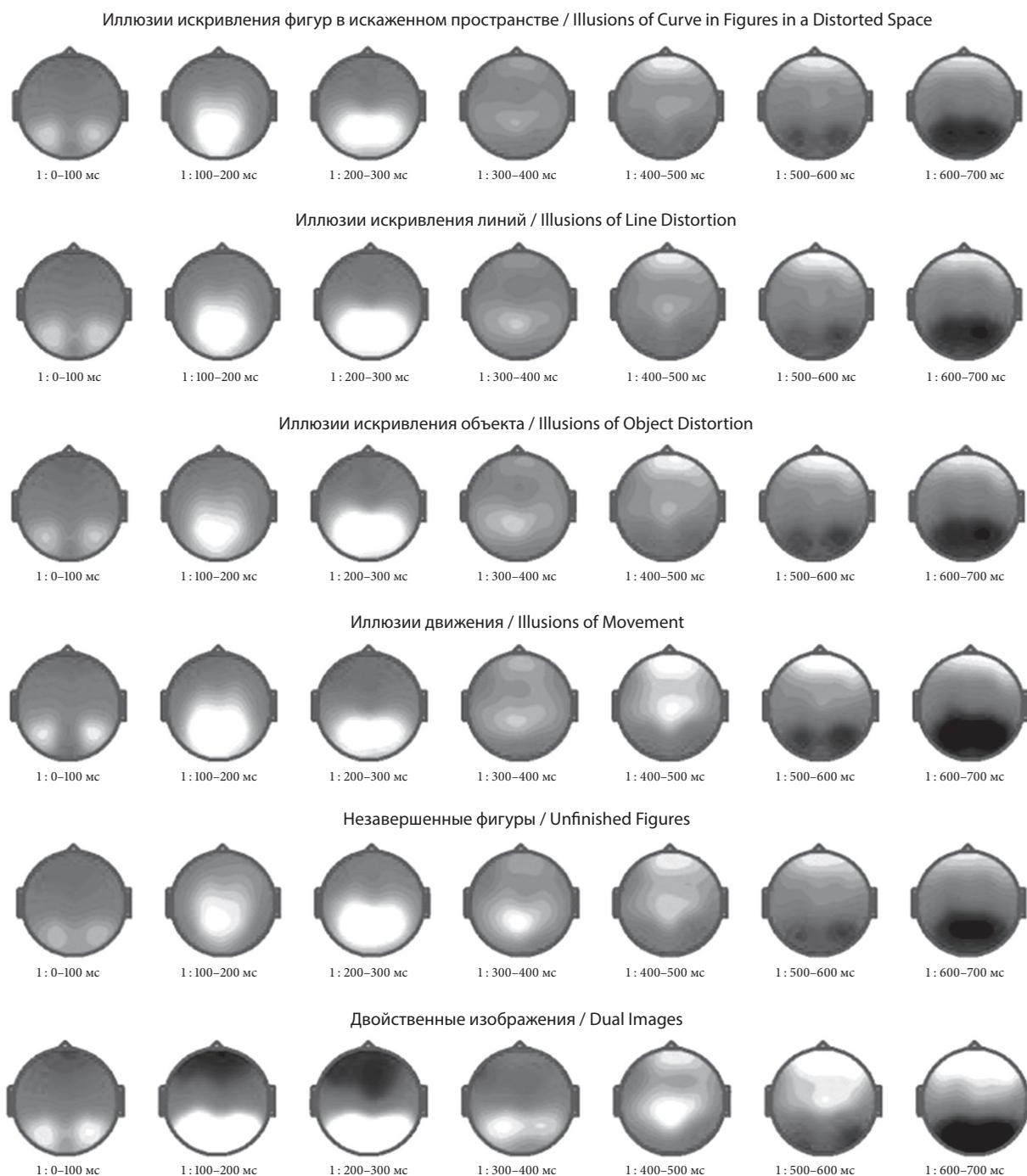


Рис. 2. Анализ временной динамики амплитуды ВП при распознавании каждой группы стимулов (от -2,5 до 2,5 мкВ)

Fig. 2. Analysis of the temporal dynamics of EP amplitude during recognition task for each group of stimuli (from -2.5 to 2.5 μ V)

Обсуждение результатов

В результате сравнения динамики амплитуды между контрольными стимулами со стимулами, содержащими иллюзорные изображения, были выявлены

достоверные различия на отрезке 200–300 мс и в поздних компонентах ответа (после 500 мс). Результаты однофакторного дисперсионного анализа и различия, обнаруженные нами при анализе тепловых карт, свидетельствуют о том, что наиболее существенные

изменения амплитудных характеристик вызванной активности при распознавании иллюзий в сравнении с контрольными стимулами возникают на отрезке 200–400 мс, что соответствует диапазону компонента P300. Данный компонент можно считать одним из самых изученных компонентов вызванной активности. Обычно его связывают с эндогенными событиями, происходящими в мозге при опознании стимулов, их удержании, счете, принятии решений, то есть с когнитивными процессами (Басюл, 2014; Ганин, Шишкин, Кочетова, Каплан, 2012; Карловский, 2007). Проявление данного компонента в центрально-париетальной и окципитальной областях для зрительных стимулов закономерно, а увеличение амплитуды сигнала при распознавании иллюзий может объясняться большей сложностью самих стимульных изображений во всех группах иллюзий, в сравнении с контролем.

Различия в поздних компонентах ответа во фронтальной области и левой темпорально-париетально-окципитальной зоне могут быть связаны с процессами осознания стимула (Астащенко, Шуваев, 2009). LPC часто связывают с эмоциональным откликом, работой памяти и откликом на заученные или конгруэнтные стимулы (Грибанов и др., 2013). Кроме того, есть данные, свидетельствующие о проявлении этого компонента при повышенном внимании и операциях когнитивного контроля деятельности (Ребрейкина, 2008; Джос, Калинина, 2018), что может также означать, что в данном случае он отражает процесс категоризации стимула и, возможно, операции выбора варианта ответа.

В ходе анализа вызванной активности при распознавании отдельных категорий иллюзорных изображений достоверные различия отмечены также начиная с отрезка 100–200 мс, где иллюзии искривления пространства, двойные изображения и иллюзии движения достоверно отличались практически от всех групп стимулов. Это интерпретируется нами как присутствие компонентов P100 и N100 в окципитальных и фронтальных отведениях, соответственно. В затылочной области компонент P100 в вызванных потенциалах на зрительные стимулы отмечается многими исследователями, его генераторами являются вентральная и дорзальная части зрительной системы (Мачинская, 2010; Руссо, 2001; Симонова, 2014). N100, наблюдаемый во фронтальной области в ответ на все типы изображений, максимальную амплитуду

имеет при распознавании двойных изображений, что можно считать показателем передачи информации из первичной зрительной коры в передние отделы (Симонова, 2014; Foxe, Simpson, 2002). Учитывая последнее, а также то, что практически во всех категориях стимульных изображений после 100 мс наблюдается увеличение амплитуды в париетальной и центрально-париетальной областях, можно заключить, что обработка такого типа информации преимущественно осуществляется дорсальной частью зрительной системы.

Обнаруженные нами различия на отрезках 200–300 мс и далее 300–4000 мс свидетельствует о чувствительности компонента P300 к типу иллюзорного искажения. Наибольшее увеличение амплитуды отмечается при распознавании иллюзий с двойственными изображениями, что, вероятно, объясняется большей когнитивной сложностью стимула.

На более поздних этапах между всеми группами достоверно различается амплитуда поздних ответов. Как уже было сказано, поздние позитивные компоненты имеют связи с работой памяти, эмоциональной сферой и когнитивным контролем. В данном случае есть основания полагать, что выраженное проявление LPC во фронтальных отделах при распознавании иллюзий движения и двойных изображений также связаны с наибольшей насыщенностью и сложностью изображений.

Практическое применение

Полученные результаты могут быть использованы в различных автоматизированных системах распознавания изображений, основанные на применении нейронных сетей.

Выводы

Показано, что характеристики ВП специфичны к типу воспринимаемого искажения. На ранних этапах распознавания стимула различия отмечены по P100 и N100, P200 и N200 в окципитальных, центрально-париетальных и фронтальных отведениях, а также у компонента P300 в центрально-париетальной области и поздних позитивных компонентов (LPC) во фронтальных областях.

Литература

- Александров Ю. И. Психофизиология: Учебник для вузов. 2-е изд. / Под ред. Ю. И. Александрова. СПб.: Питер, 2003.
Анохин П. К. Очерки по физиологии функциональных систем. М.: Книга по Требованию, 2021.
Астащенко А. П., Шуваев В. Т. Изменение вызванных потенциалов в задачах внимания и селекции фрагментированных простых и сложных зрительных стимулов у человека // Вестник ТПГУ. 2009. № 11 (89). С. 217–223.

- Басюл И. А., Каплан А. Я. Изменения N200 и P300 компонентов потенциалов, связанных с событиями, при варьировании условий внимания в системе Brain Computer Interface // Журнал высшей нервной деятельности. 2014. Т. 64, № 2. С. 159–162. doi: 10.7868/S004446771402004X
- Белоусова Н. И., Ткаченко П. В. Особенности распространения информации в зрительной сенсорной системе в зависимости от процессов зрительного восприятия // Вестник новых медицинских технологий. Электронное периодическое издание. 2021. № 1. С. 21–27. doi: 10.24412/2075-4094-2021-1-1-3
- Бондарко В. М. и др. Связь иллюзии Вундта — Геринга с иллюзией наклона и оценкой длины проекций наклонных линий // Физиология человека. 2019. Т. 45, № 4. С. 30–39.
- Ганин И. П. и др. Интерфейс мозг–компьютер «на волне P300»: исследование эффекта номера стимулов в последовательности их предъявления // Физиология человека. 2012. Т. 2, № 38. С. 5–13.
- Грибанов А. В., Кожевников И. С., Джос Ю. С., Нехорошкова А. Н. Спонтанная и вызванная электрическая активность головного мозга при высоком уровне тревожности // Экология человека. 2013. Т. 20, № 1. С. 39–47. doi: 10.17816/humeco17394
- Джос Ю. С. Когнитивные вызванные потенциалы в нейрофизиологических исследованиях (обзор) // Журнал медико-биологических исследований. 2018. Т. 6, № 3. С. 223–235. doi: 10.17238/issn2542-1298.2018.6.3.223
- Иваницкий Г. А. Индивидуальные устойчивые паттерны ритмов мозга человека как отражение психических процессов // Современные технологии в медицине. 2019. Т. 1, № 11. С. 116–131.
- Карловский Д. В. Нейрокомпьютерный интерфейс на основе P300 // Медицинская техника. 2007. № 1. С. 28–32.
- Карпинская В. Ю. Различия в сенсомоторной оценке иллюзий Понзо и Мюллера — Лайера // Психологические исследования. 2014. Т. 7, № 38. С. 3. doi: 10.54359/ps.v7i38.582
- Клеева Д. Ф. Проявление неосознаваемых постдиктивных свойств восприятия на примере иллюзорного движения. ЭЭГ-исследование // Шаги. 2019. Т. 5, № 1. С. 86–103.
- Конарева И. Н. Индивидуальные особенности восприятия зрительного пространства на примере геометрических иллюзий и фигур // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Социология. Педагогика. Психология. 2021. Т. 7, № 4. С. 105–112.
- Мачинская Р. И. Функциональная организация мозга при восприятии зрительных образов на глобальном и локальном уровнях. Анализ связанных с событием // Физиология человека. 2010. Т. 36, № 5. С. 29–48.
- Меньшикова Г. Я. Зрительные иллюзии: психологические механизмы и модели: дисс. ... д-ра. псих. наук. Москва, 2013.
- Меньшикова Г. Я. Конструктивистский и экологический подходы к исследованию процесса зрительного восприятия: анализ различий // Вестник Московского университета. Серия 14. Психология. 2007. № 4. С. 34–48.
- Миняева Н. Р. Вызванные потенциалы мозга человека при восприятии иллюзорных стимулов // Научный журнал: Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2009. № 5. С. 99–104.
- Огнивов В. В. Использование записей движений глаз для анализа механизмов зрительной оценки размеров на примере иллюзии Мюллера-Лайера. Информационные технологии и системы (ИТиС'08): сборник трудов конференции / Под ред. В. В. Огнивова, П. В. Максимова, Г. И. Рожковой. М.: ИППИ РАН, 2008.
- Прокопенко В. Т. Психология зрительного восприятия: Учебное пособие. СПб.: СПбГУИТМО, 2006.
- Ребрейкина А. Б. Отражение в вызванном потенциале процессов переработки зрительно предъявляемых вербальных стимулов // Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова. 2008. Т. 58, № 3. С. 294–301.
- Романов В. Я. Исследование свойств зрительного перцептивного процесса методом ФОКН. Исследования зрительной деятельности человека / Под ред. Ю. Б. Гипперейтер. М.: Издательство Московского университета, 1973.
- Симонова Н. А. Нейрофизиологические механизмы нарушения зрительного восприятия при шизофрении // Социальная и клиническая психиатрия. 2014. Т. 24, № 1. С. 81–89.
- Толмачева Е. А. Особенности проявления зрительного иллюзорного восприятия у больных шизофренией // Сенсорные системы. 2015. Т. 29, № 3. С. 251–257.
- Федорова Е. С. Корреляция иллюзии Поггендорфа с формально-динамическими свойствами личности // Сенсорные системы. 2011. Т. 25, № 3. С. 267–270.
- Чудина Ю. А. Зрительное различение комбинированных // Вестник РУДН. Серия: Психология и педагогика. 2014. № 2. С. 98–106.
- Шошина И. И. Возрастные особенности влияния пола и зрительной асимметрии на восприятие фигуры Поггендорфа // Сенсорные системы. 2005. Т. 19, № 1. С. 37–43.
- Яковлев А. Ю. Зрительное восприятие ансамблей: обзор исследований // Российский журнал когнитивной науки. 2020. Т. 7, № 3. С. 4–24. doi: 10.47010/20.3.1
- Di Russo, F. (2001). Cortical sources of the early components of the visual evoked potential. *Human Brain Mapping*, 15, 95–111.
- Foxe, J.J. (2002). Flow of activation from V1 to frontal cortex in humans. A framework for defining “early” visual processing. *Experimental brain research*, 142 (1), 139–150. doi: 10.1007/s00221-001-0906-7
- Holt, D.J. (2009). Neurophysiological correlates of comprehending emotional meaning in context. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21 (11), 2245–2262.
- Palmisano, S. (2015). Future challenges forvection research: definitions, functional significance, measures and neural bases. *Frontiers Psychology*, 6 (193), 1–15.

References

- Aleksandrov, Yu.I. (2003). Psychophysiology: Textbook for universities (2nd ed.). In Yu.I. Aleksandrov (Eds.). SPb.: Piter. (In Russ.).
- Anokhin, P.K. (2021). Essays on the physiology of functional systems. M.: Kniga po Trebovaniyu. (In Russ.).
- Astashchenko, A.P., Shuvaev, V.T. (2009). Change of evoked potentials in the tasks of attention and selection of fragmented simple and complex visual stimuli in humans. *Vestnik TPGU (Tomsk State Pedagogical University Bulletin)*, 11 (89), 217–223. (In Russ.).
- Basyul, I.A., Kaplan, A. Ya. (2014). Changes in the N200 and P300 components of event-related potentials with varying attention conditions in the Brain Computer Interface system. *Zhurnal vysshei nervnoi deyatelnosti (Journal of Higher Nervous Activity)*, 2 (64), 159–162. doi: 10.7868/S004446771402004X (In Russ.).
- Belousova, N.I., Tkachenko, P.V. (2021). Features of information dissemination in the visual sensory system depending on the processes of visual perception. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii. Elektronnoe periodicheskoe izdanie (Journal of New Medical Technologies, eEdition)*, 1, 6. doi: 10.24412/2075-4094-2021-1-1-3 (In Russ.).
- Bondarko, V.M. et al. (2019). The connection of the Wundt–Goering illusion with the slope illusion and the estimation of the length of projections of inclined lines. *Fiziologiya cheloveka (Human Physiology)*, 4 (45), 30–39. (In Russ.).
- Chudina, Yu.A. (2014). Visual discrimination of combined stimuli. *RUDN Journal of Vestnik RUDN. Seriya: Psikhologiya i pedagogika (Psychology and Pedagogics)*, 2, 98–106. (In Russ.).
- Di Russo, F. (2001). Cortical sources of the early components of the visual evoked potential. *Human Brain Mapping*, 15, 95–111.
- Dzhos, Yu.S. (2018). Cognitive evoked potentials in neurophysiological research (review). *Zhurnal mediko-biologicheskikh issledovaniy (Journal of Medical and Biological Research)*, 6 (3), 223–235. doi: 10.17238/issn2542-1298.2018.6.3.223 (In Russ.).
- Fedorova, E.S., Medvedev, L.N. (2011). Correlation of Poggendorf's illusion with formal-dynamic personality properties. *Sensornye sistemy (Sensory Systems)*, 3 (25), 267–270. (In Russ.).
- Foxe, J.J. (2002). Flow of activation from V1 to frontal cortex in humans. A framework for defining “early” visual processing. *Experimental Brain Research*, 142 (1), 139–150. doi: 10.1007/s00221-001-0906-7
- Ganin, I.P. et al. (2012). Brain–computer interface “on the wave of P300”: study of the effect of the number of stimuli in the sequence of their presentation. *Fiziologiya cheloveka (Human Physiology)*, 38 (2), 5–13. (In Russ.).
- Gribanov, A.V., Kozhevnikova, I.S., Dzhos, Yu.S., Nekhoroshkova, A.N. (2013). Spontaneous and induced electrical activity of the brain with a high level of anxiety. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*, 20 (1), 39–47, doi: 10.17816/humecol7394 (In Russ.).
- Holt, D.J. (2009). Neurophysiological correlates of comprehending emotional meaning in context. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21 (11), 2245–2262.
- Ivanitskii, G.A. (2019). Individual stable patterns of human brain rhythms as a reflection of mental processes. *Sovremennye tekhnologii v meditsine (Modern Technologies in Medicine)*, 11 (1), 116–131. (In Russ.).
- Karlovskii, D.V. (2007). Neurocomputer interface based on P300. *Meditsinskaya tekhnika (Biomedical Engineering)*, 1, 28–32. (In Russ.).
- Karpinskaya, V. Yu. (2014). Differences in sensorimotor evaluation of Ponzo and Muller-Laiyer illusions. *Psikhologicheskie issledovaniya (Psychological Studies)*, 38 (7), 3. doi: 10.54359/ps.v7i38.582 (In Russ.).
- Kleeva, D.F. (2019). The manifestation of unconscious postdictive properties of perception on the example of illusory movement. EEG research. *Shagi (Steps)*, 1 (5), 86–103. (In Russ.).
- Konareva, I.N. (2021). Individual features of perception of visual space on the example of geometric illusions and figures. (*Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Sotsiologiya. Pedagogika. Psikhologiya*) *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Sociology. Pedagogy. Psychology*, 7 (4), 105–112. (In Russ.).
- Machinskaya, R.I. (2010). Functional organization of the brain in the perception of visual images at the global and local levels. Analysis of event-related potentials. *Fiziologiya cheloveka (Human Physiology)*, 5 (36), 29–48. (In Russ.).
- Men'shikova, G. Ya. (2013). Zritel'nye illyuzii: psikhologicheskie mekhanizmy i modeli: Diss. ... d-ra psikhol. nauk. (Visual illusions: psychological mechanisms and models). Dr. Sci. dissertation. (Psychology). Moscow. (In Russ.).
- Men'shikova, G. Ya. (2007). Constructivist and ecological approaches to the study of the process of visual perception: analysis of differences. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 14. Psikhologiya (Moscow University Psychology Bulletin)*, 4, 34–48. (In Russ.).
- Minyaeva, N.R., Belova, E.I., Aslanyan, E.V. (2009). Evoked potentials of the human brain when perceiving illusory stimuli. *Nauchnyi zhurnal: Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Severo-Kavkazskii region. Estestvennyye nauki (Science journal: Bulletin of Higher Education Institutes. North Caucasus Region. Natural Sciences)*, 5, 99–104. (In Russ.).
- Ognivov, V.V. (2008). Using recordings of eye movements to analyze the mechanisms of visual size estimation using the example of the Muller-Laiyer illusion. In Maksimov, P.V., Rozhkova, G.I. (Eds.), *Information Technologies and Systems (ITIS'08): proceedings of the conference* (pp. 250–255). Moscow: IPPI RAN. (In Russ.).
- Palmisano, S. (2015). Future challenges for vection research: definitions, functional significance, measures and neural bases. *Frontiers Psychology*, 6 (193), 1–15.
- Prokopenko, V.T. (2006). Psychology of visual perception. Study guide. SPb.: SPbGUITMO. (In Russ.).
- Rebreikina, A.B. (2008). Reflection in the evoked potential of the processes of processing visually presented verbal stimuli. *Zhurnal vysshei nervnoi deyatelnosti im. I. P. Pavlova (I. P. Pavlov Journal of Higher Nervous Activity)*, 3 (58), 294–301. (In Russ.).
- Romanov, V. Ya. (1937). Investigation of the properties of the visual perceptual process by the FOCN method. In Yu. B. Gippenreiter (Eds.), *Studies of human visual activity* (pp. 42–69). M.: Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta (In Russ.).
- Shoshina, I.I. (2005). Age-related features of the influence of gender and visual asymmetry on the perception of Poggendorf's figure. *Sensory Systems*, 1 (19), 37–43. (In Russ.).

Simonova, N.A. (2014). Neurophysiological mechanisms of visual perception disorders in schizophrenia. *Sotsial'naya i klinicheskaya psikhiatriya (Social and clinical psychiatry)*, 1 (24), 81–89. (In Russ.).

Tolmacheva, E.A. (2015). Features of visual illusory perception in patients with schizophrenia. *Sensornye sistemy (Sensory Systems)*, 3 (29), 251–257. (In Russ.).

Yakovlev, A. Yu. (2020). Visual perception of ensembles: Research review. *Rossiiskii zhurnal kognitivnoi nauki (Russian Journal of Cognitive Science)*, 3 (7), 4–24, doi: 10.47010/20.3.1_ (In Russ.).

Поступила: 28.08.2022

Получена после доработки: 26.03.2023

Принята в печать: 06.04.2023

Received: 28.08.2022

Revised: 26.03.2023

Accepted: 06.04.2023

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / ABOUT AUTHORS



Екатерина Геннадьевна Денисова — кандидат психологических наук, доцент кафедры психофизиологии и клинической психологии факультета психологии, педагогики и дефектологии Донского государственного технического университета keithdenisova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0240-8176>

Ekaterina G. Denisova — Cand. Sci. (Psychology), Associate Professor, the Department of Psychophysiology and Clinical Psychology, Faculty of Psychology, Pedagogy and Defectology, Don State Technical University, keithdenisova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0240-8176>



Юлия Николаевна Зайцева — студент факультета психологии, кафедры педагогики и дефектологии Донского государственного технического университета, zaitsevajuli98@gmail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-7943-0807>

Julia N. Zaytseva — Student, the Faculty of Psychology, Pedagogy and Defectology, Don State Technical University, zaitsevajuli98@gmail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-7943-0807>



Павел Николаевич Ермаков — доктор биологических наук, профессор, академик Российской академии образования, заведующий кафедрой психофизиологии и клинической психологии факультета психологии Южного федерального университета, paver@sfedu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8395-2426>

Pavel N. Ermakov — Dr. Sci. (Biology), Professor, Member of the Russian Academy of Education, Head of the the Department of Psychophysiology and Clinical Psychology, Faculty of Psychology, Southern Federal University, paver@sfedu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8395-2426>