

Влияние положения объекта на вызванные потенциалы во время длительных когнитивных тестов

А. О. Сельский^{1,2,*}, М. О. Журавлёв^{1,2,†}, А. Е. Руннова^{2‡}

¹Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского,
Институт физики, кафедра физики открытых систем
Россия, 410012, Саратов, Астраханская, д. 83.

²Саратовский государственный медицинский университет им. В. И. Разумовского, НИИ кардиологии
Россия, 410012, Саратов, Большая Казачья, д. 112.

(Поступила в редакцию 24.09.2021; подписана в печать 01.10.2021)

В настоящей статье рассматривается влияние положения объекта на когнитивные вызванные потенциалы, наблюдаемые у испытуемых с хроническими болями. Хронические боли часто вызывают угнетение когнитивной деятельности. Эксперимент состоял в прохождении небольших когнитивных тестов, где испытуемый оценивал число квадратов, предъявляемых в левой или правой частях экрана, либо же по центру. Предложен простой способ автоматического выделения основных компонент когнитивного вызванного потенциала, основанный на выделении экстремумов и оценки амплитуд основных компонент когнитивного вызванного потенциала. Показаны примеры анализа индивидуальных особенностей для нескольких испытуемых. Максимум разницы между соседними основными компонентами вызванного потенциала лежит как правило на центральной оси, но может располагаться у испытуемых в лобной, теменной или затылочной долях. Для двух испытуемых показаны индивидуальные особенности основных компонент когнитивного вызванного потенциала при различных положениях объекта на экране при выполнении когнитивного теста. Для одного меняются вызванные потенциалы при расположении стимула в левой части экрана. Для второго большие изменения наблюдаются при расположении стимула в правой части экрана. Подобные особенности испытуемых чрезвычайно важно знать при настройке автоматизированных интерфейсов мозг-компьютер.

PACS: 87.19.le, 87.85.dd.

УДК: 537.86, 577.345

Ключевые слова: ЭЭГ данные, когнитивные вызванные потенциалы, психофизиологические особенности.

ВВЕДЕНИЕ

Исследование мозга человека является одной из важнейших задач современной науки. Однако, для успешного изучения мозговой активности необходим как эффективный метод измерения активности, так и, соответствующий конкретной задаче, численный метод. В настоящее время существует большое число методов, позволяющих оценить и измерить активность отделов головного мозга человека: например, энцефалограммы (ЭЭГ, МЭГ), фМРТ и компьютерная томография [1–3]. Каждый метод наилучшим образом подходит для определенного круга задач. В работе была использована электроэнцефалограмма, так как этот метод прост в использовании, является не инвазивным и не дорогостоящим, по сравнению с остальными. При этом пространственного и временного разрешения ЭЭГ хватает для задачи исследования вызванных потенциалов (ВП) и выделения по ним индивидуальных психофизиологических особенностей [4]. После получения записи ЭЭГ данных в ходе эксперимента, их необходимо обработать с помощью одного из математических методов, число которых в настоящий момент

весьма велико [5–9]. В настоящей статье анализ ЭЭГ данных осуществлялся с помощью построения когнитивных ВП [4, 10–14]. Данный метод часто применяется для анализа ЭЭГ данных экспериментов, в ходе которых испытуемый выполняет повторяющиеся задачи, требующие внимания или когнитивной деятельности. Помимо фундаментального исследования когнитивных механизмов человеческого мозга, ВП перспективны при создании систем «brain-computer interface» (BCI), применяемых для обучения или реабилитации пациентов с различными заболеваниями. Именно при таком практическом применении чрезвычайно важным оказывается учет индивидуальных особенностей испытуемого. Когнитивные вызванные потенциалы, как известно, отличаются наличием хорошо выраженного компонента Р (300) [15, 16]. Данный компонент присутствует в вызванных потенциалах при решении когнитивных задач и устойчиво наблюдается в довольно узком интервале времени после предъявления стимула. Однако, несмотря на устойчивость, индивидуальные особенности (особенно при сильном угнетении когнитивных способностей) могут приводить к существенному изменению наблюдаемых вызванных потенциалов, что необходимо учитывать при настройке системы «мозг-компьютер».

Целью настоящей работы является исследование возможности диагностики индивидуальных особенностей у испытуемых с хроническими болями (мигрень), при которых угнетение когнитивных способностей про-

* [selskii@gmail.com](mailto:selskii@yandex.ru)

† zhuravlevmo@gmail.com

‡ anefila@gmail.com

является особенно сильно [17, 18]. Таким образом, для людей страдающих длительное время от хронических головных болей их индивидуальные особенности будут проявляться заметнее. Для анализа состояния испытуемого будет, после автоматического выделения компонент вызванного потенциала (максимумов и минимумов), показано несколько типовых групп по индивидуальным особенностям детектирования вызванных потенциалов. Далее будет оцениваться как влияет расположение стимула на экране на изменения вызванных потенциалов. Показано несколько сценариев изменения вызванных потенциалов по каналам ЭЭГ.

1. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА И МЕТОДОВ

В настоящей работе планировалось изучать когнитивные вызванные потенциалы, поэтому был разработан соответствующий дизайн эксперимента. Когнитивный тест представлял из себя визуальный стимул, показанный на экране монитора. Это было изображение состоящее из нескольких (от 3 до 8) квадратов. Стороны квадрата могут пересекаться, в зависимости от чего сложность теста увеличивается. Помимо этого, стимул предъявлялся в разных частях экрана (слева, справа, по центру), что вместе с изменением сложности стимула приводило к поддержанию внимания во время прохождения эксперимента. Задачей испытуемого было оценить количество квадратов и нажать одну из двух кнопок: четное число квадратов было в стимуле или нечетное. Целью в рамках статьи было найти отличия в когнитивных вызванных потенциалах, связанные с различным расположением на экране визуальных стимулов. В качестве испытуемых выступили 23 человека страдающих от хронических мигреней. Такой выбор объясняется тем, что при длительных хронических болях часто наблюдаются когнитивные дисфункции, в следствие чего характерные индивидуальные особенности в вызванных потенциалах приобретают более явный характер. Группа испытуемых включала людей обоих полов, в возрасте от 25 до 68 лет, с различной длительностью и лечением хронических головных болей.

Данные ЭЭГ в ходе эксперимента регистрировалась на базе электроэнцефалографа (МТД «Медиком», Российская Федерация), 21 активный ЭЭГ-канал с временным разрешением 250 Гц по стандартной схеме «10 – 20» [19]. Все экспериментальные работы проводятся в затемненном помещении без доступа яркого света, для улучшения затемнения используются жалюзи. Испытуемый располагается в удобном кресле с возможностью индивидуальной настройки. Эксперимент длился около 35 минут для каждого испытуемого. Регистрация ЭЭГ включала в себя состояние спокойного бодрствования с закрытыми глазами в начале и конце эксперимента, а также прохождение когнитивного теста, описанного выше, с паузами для отдыха. Продолжительность этапов записи спокойного бодрст

вия составляла по 3 минуты каждая. В автоматической среде эксперимента были автоматически созданы протоколы с моментами предъявления каждого стимула, которые в дальнейшем использовались для построения вызванных потенциалов.

Экспериментальные исследования проводились в соответствии с этическими стандартами [20] и одобрены локальным комитетом по этике исследований Саратовского государственного университета.

Вызванные потенциалы давно зарекомендовали себя в задачах анализа данных ЭЭГ при оценке реакции испытуемого на внешние стимулы, зрительные или слуховые [11]. Этот метод анализа хорошо подходит в случае предъявления множества одинаковых или похожих стимулов [4, 10]. После завершения эксперимента можно провести усреднение по временным рядам после предъявления стимула. Важным в данном случае является точное определения окончания стимула. Если для данного канала стимул вызывает схожую реакцию при всех предъявлениях стимула, то после усреднения амплитуда сигнала увеличивается, в то время как случайная составляющая сигнала стремится к нулю. Таким образом, вызванные потенциалы удобны для выделения особенностей ЭЭГ при определенных видах стимуляции, например, как в проведенном эксперименте.

Важно отметить, что разные стимулы вызывают разные вызванные потенциалы. Отличия вызванных потенциалов заключается в различном расположении во времени компонент потенциала (его экстремумов). Так, когнитивные вызванные потенциалы характеризуются компонентом P (300) — то есть явно выделенными максимумом N2 и минимумом P3 — которые, как правило лежат вблизи временной отметки 300 мс. Такое положение компонента P (300) является общим (в рамках большой статистики) для всех людей. Однако, возможны и некоторые индивидуальные особенности (часто на фоне нарушения когнитивной деятельности), приводящие к смещению временных интервалов, на которых наблюдаются данные компоненты.

На рис. 1 приведены вызванные потенциалы, рассчитанные для пары испытуемых по данным ЭЭГ канала Fz. Когнитивные вызванные потенциалы часто наиболее хорошо выделяются вдоль центральной оси головного мозга, а не в полушариях [15]. Можно видеть, что для приведенных испытуемых компоненты N1 и P2 лежат в близких временных интервалах. При этом остальные компоненты вызванного потенциала смещены по временной шкале. Таким образом, наглядно видны сильные изменения в когнитивных вызванных потенциалах для данных испытуемых.

Серым цветом на рис. 1 нанесены интервалы времени, в которых обычно наблюдаются соответствующие компоненты. Так как число испытуемых и каналов ЭЭГ может быть велико, как правило, используется автоматическая разметка вызванных потенциалов с выделением вызванных компонент. На рис. 1 показан результат такого автоматического выделения компонент.

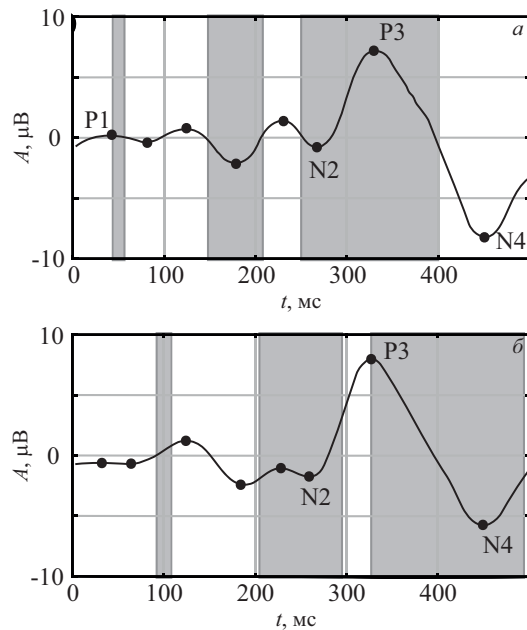


Рис. 1. Примеры вызванных потенциалов с нанесением экстремумов и компонентами вызванного потенциала, выделенными автоматически.

Видно, что не все компоненты выделены, однако основные — N2 и P3 для когнитивных вызванных потенциалов — выделены в обоих случаях.

Если ввести показатель, показывающий насколько большой выделенный когнитивный вызванный потенциал, он должен учитывать разницу между N2 и P3, и разница считается по амплитуде оставшегося компонента. В случае если один из этих компонентов не был выделен, вместо него берется значение 0. Если оба компонента для данного канала не входят в соответствующие им интервалы времени, разница между N2 и P3 считается равной нулю. Такой параметр будет показывать, насколько явно присутствует когнитивный вызванный потенциал при решении данного теста в том или ином канале. Значения разницы между компонентами N2 и P3 можно обозначить M и построить распределение величины M по каналам данного испытуемого, найдя области, где когнитивный вызванный потенциал наиболее сильно проявляется в записи данных ЭЭГ. Примеры такого распределения по каналам показаны на рис. 2.

На этом рисунке приведены распределения по каналам для трех испытуемых, выбранных так, чтобы продемонстрировать влияние индивидуальных особенностей при выделении когнитивных вызванных потенциалов. Как видно, для всех трех характерны наиболее значимые вызванные потенциалы вдоль центральной оси головного мозга. Это отличительная особенность когнитивных вызванных потенциалов. При этом каналы с наиболее выраженными компонентами N2 и P3 могут располагаться как в лобной доле (испытуемый № 2), так и в затылочной (испытуемый № 4).

Помимо этого, возможно наблюдать максимум величины M вблизи моторной коры, как у испытуемого № 3. Также возможно, что наибольшая разница между амплитудами компонент N2 и P3 будет наблюдаться сразу в нескольких областях головного мозга, например, в каналах лобной и затылочной долей. Таким образом, перед использованием интерфейсов мозг-компьютер чрезвычайно важно настроить интерфейс на такие индивидуальные особенности, для увеличения эффективности работы обратной связи интерфейса. В этом случае эффективность реабилитации или обучения может вырасти в разы.

2. НАБЛЮДАЕМЫЕ ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИ РАЗЛИЧНОМ РАСПОЛОЖЕНИИ СТИМУЛА НА ЭКРАНЕ

Для того чтобы оценить как положение стимула на экране влияет на вызванные потенциалы необходимо построить отдельные вызванные потенциалы для каждого канала и каждого испытуемого отдельно при разных положениях стимула на экране монитора. При обработке данных 23 испытуемых по 31 каналу необходимо построить и проанализировать 713 вызванных потенциалов. В случае рассмотрения трех положений стимула, число вызванных потенциалов которое необходимо рассмотреть увеличится в 3 раза: 2139. Таким образом, задача автоматизации построения и первичной обработки вызванных потенциалов приобретает очевидную актуальность.

Во время записи эксперимента в протоколе было указано в какой части экрана появляется стимул. Каждый испытуемый проходил за время эксперимента 250–300 когнитивных тестов. При равномерном распределении на каждое положение стимула на экране приходилось порядка 80–100 тестов, что также достаточно для построения вызванных потенциалов. Для каждого положения можно рассчитать распределение величины M (разницы между амплитудами компонент N2 и P3) по каналам подобно тем что представлены на рис. 2. Такие зависимости для двух испытуемых представлены на рис. 3.

В этом случае необходимо отметить одну закономерность: распределение разницы амплитуд соседних основных компонент когнитивного вызванного потенциала для всех расположений стимула и для расположения в центре почти всегда совпадают. Например, на рис. 3 верхние распределения принадлежат испытуемому (3), для которого распределение по всем трем положениям стимула показано на рис. 2. Сравнивая это распределение с центральным на рис. 3 видно, что они почти идентичны. Для данного испытуемого распределение величины M по каналам при расположении стимулов справа также выглядит схожим: вдоль центральной оси головного мозга вблизи моторной коры. Однако, при предъявлении стимулов в левой части экрана вызванный потенциал меняется. Наибольшая разница между

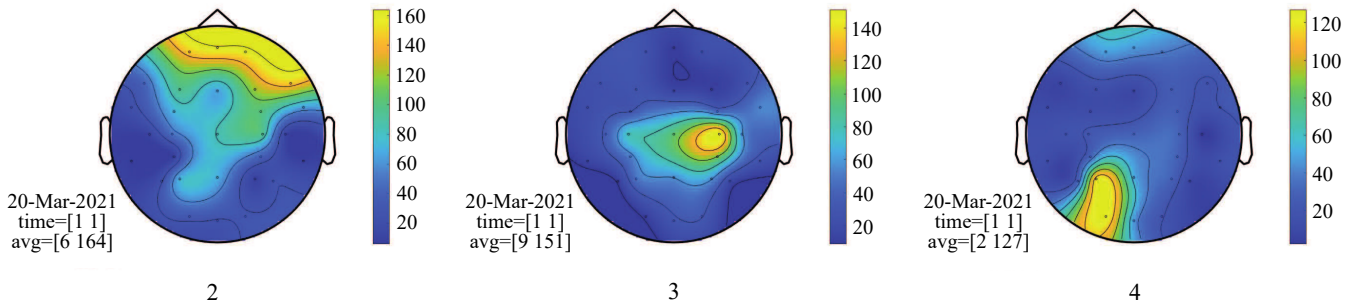


Рис. 2. Распределение величины M (разницы между амплитудами компонент $N2$ и $P3$) по каналам, нанесенное на карту головного мозга, для трех испытуемых.

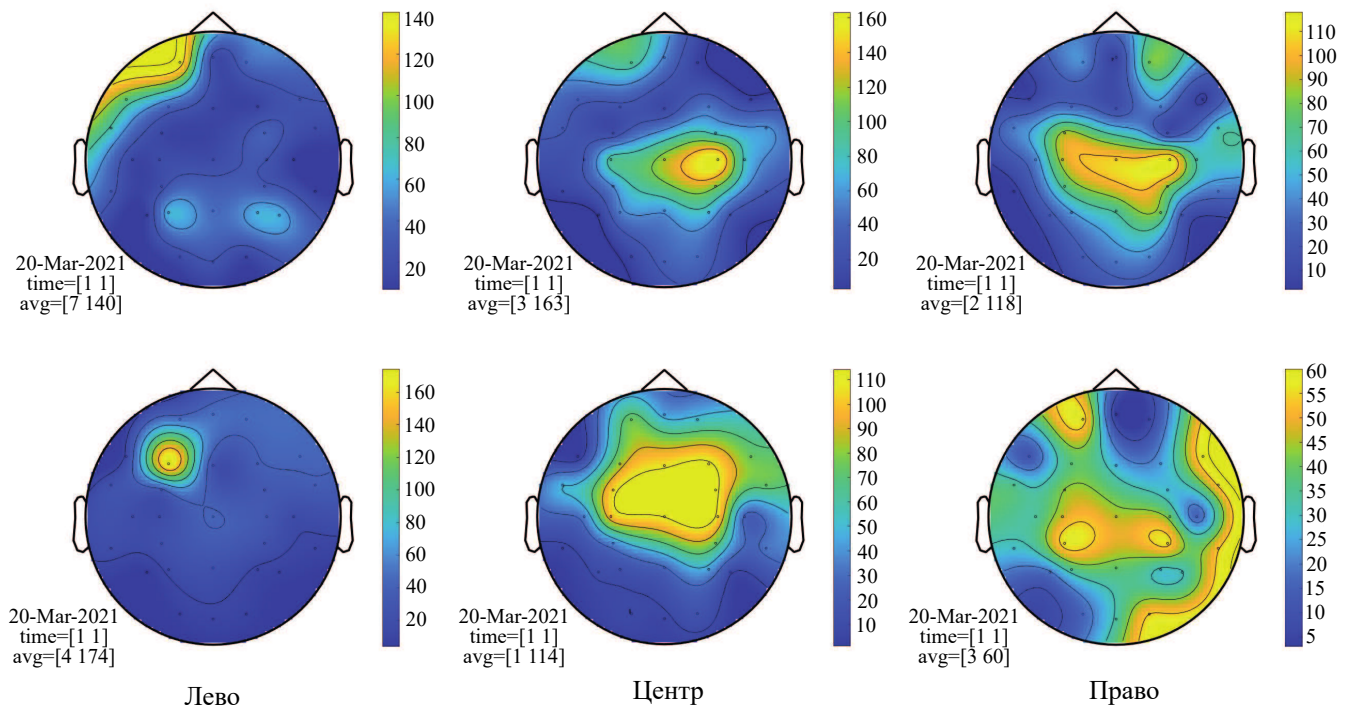


Рис. 3. Распределение величины M (разницы между амплитудами компонент $N2$ и $P3$) по каналам, нанесенное на карту головного мозга, для двух испытуемых в зависимости от расположения стимула на экране.

амплитудами компонент $N2$ и $P3$ наблюдается в левой части лобной доли.

Оба испытуемых для которых был построен рис. 3 отличаются тем что при центральном расположении стимула величина M имеет максимальные значения вдоль центральной оси головного мозга вблизи моторной коры. При этом сами разницы амплитуды компонент $N2$ и $P3$ имеют примерно одинаковое значение для всех расположений стимула на экране.

Помимо вышперечисленного второй испытуемый был выбран так, что бы наблюдалось обратное влияние расположение стимула на экране на компоненты когнитивного вызванного потенциала. Можно видеть, что для данного испытуемого при положении стимула по центру или в левой части экрана распределения до-

вольно похожи (хотя и не так сильно как у верхнего испытуемого распределения при расположении стимулов по центру и справа на экране). А вот при предъявлении стимула справа на экране распределение разницы амплитуды компонент $N2$ и $P3$ сильно меняется, появляются дополнительные максимумы в левой части лобной доли и во всех каналах справа. Помимо представленных изменений у других испытуемых наблюдались случаи, когда распределения для всех трех расположений стимулов сильно менялись (более сильно чем у нижнего испытуемого на рис. 3). Другим важным типом был случай, когда распределения для всех трех расположений стимулов оставались идентичными. Эти четыре типа примерно одинаково распространены среди испытуемых — по 4–5 испытуемых на каждый

тип. Часть испытуемых не попала в анализ, так как у них были плохо выделенные когнитивные вызванные потенциалы в следствии серьезных когнитивных дисфункций, вызванных хронической мигренью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей статье рассматривалось влияние положения объекта на когнитивные вызванные потенциалы, наблюдаемые у испытуемых с хроническими болями. Хронические боли часто вызывают угнетение когнитивной деятельности. В работе был предложен простой способ автоматического выделения основных компонент когнитивного вызванного потенциала, основанный на выделении экстремумов и оценки амплитуд основных компонент когнитивного вызванного потенциала. Применение метода автоматического анализа оказалось чрезвычайно важно, так как в ходе работы необходимо было рассчитать и проанализировать более двух тысяч вызванных потенциалов. Были показаны примеры анализа индивидуальных особенностей для нескольких испытуемых без учета расположения стимула на экране. Максимум разницы между соседними основными компонентами вызванного потенциала лежит как правило на центральной оси, но может располагаться у испытуемых в лобной, теменной или

затылочной долях. Для влияния расположения стимула на основные компоненты вызванных потенциалов было выделено 4 основных типов индивидуальных особенностей: нет влияния расположения на распределение разницы между амплитудами компонент N2 и P3 по каналам; для всех трех расположений (слева, справа, по центру) стимула наблюдаются разные распределения; отличаются вызванные потенциалы при расположении стимула слева на экране; отличаются вызванные потенциалы при расположении стимула справа на экране. Показано, что каждый тип влияния расположения стимула на вызванный потенциал из 23 испытуемых встречается у 4–5 испытуемых, что говорит о примерно равном распределении индивидуальных особенностей. Подобные особенности испытуемых чрезвычайно важно знать при настройке автоматизированных интерфейсов мозг-компьютер.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Минздрава России № 056-00030-21-01 от 05.02.2021 г. «Теоретическое и экспериментальное исследование интегративной активности различных физиологических систем человека при стрессовых воздействиях» (номер государственного учёта НИ-ОКТР 121030900357-3). Сельский Антон проводил часть работ при финансовой поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации (проект № СП-497.2021.5).

-
- [1] *Broyd S., D. C., Debener S.* // *Neurosci Biobehav Rev.* 2009. **33**. P. 279296.
- [2] *Baillet S., M. J. C., Leahy R. M.* // *IEEE Signal Processing Magazine.* 2001. **18**. P. 10535888.
- [3] *Bear M. F., Connors B. W., Paradiso M. A.* *Neuroscience Exploring the Brain.* Waters Kluwer, Netherlands. 2015.
- [4] *Cooper N. R., Burgess A. P., Croft R. J., Gruzelier J. H.* // *NeuroReport.* 2006. **17**. P. 205.
- [5] *Maksimenko V. A., Runnova A. E., Zhuravlev M. O., et al.* // *PloS one.* 2018. **13**, N9. P. e0197642.
- [6] *Pisarchik A. N., Jaimes-Rebtegui R., Magallyn-Garcia C. D. A., Castillo-Morales C. O.* // *Biological Cybernetics.* 2014. **108**, N4. P. 397404.
- [7] *Hramov A. E., Koronovskii A. A., Makarov V. A., et al.* *Wavelets in Neuroscience.* Springer Series in Synergetics, Springer, Heidelberg, New York. 2015.
- [8] *Puthankattil S. D., Joseph P. K., Acharya R. U.* // *Journal of Medical Systems.* 2010. **34**. P. 195212.
- [9] *Acharya R., Kannathal N., et al.* // *Computer Methods and Programs in Biomedicine.* 2005. **80**. P. 3745.
- [10] *Hillyard S. A., Hinrichs H., Tempelmann C., et al.* // *Hum. Brain Mapp.* 1997. **5**. P. 287.
- [11] *Makeig S., Westerfield M., Jung T. P., et al.* // *Hum. Brain Mapp.* 2002. **295**. P. 690.
- [12] *Mast J., Victor J. D.* // *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* 1993. **78**. P. 389.
- [13] *Schack B., Klimesch W.* // *Neurosci. Lett.* 2002. **331**. P. 107.
- [14] *Parra L., Spence C., Gerson A., Sajda P.* // *IEEE Trans. on Neural Systems and Rehabilitation Engineering.* 2003. **11**, N2. P. 173.
- [15] *Huang M.-W., Chou F. H.-C., Lo P.-Y., Cheng K.-S.* // *BMC Psychiatry.* 2011. **11**. P. 74.
- [16] *Levichkina E.V., Kaplan A.Ya.* // *Human Physiology.* 2009. **35**, N2. P. 74.
- [17] *Coppola, G., Di Lorenzo, C., Parisi, V. et al.* // *J Headache Pain.* 2019. **20**. P. 42.
- [18] *Zhu B., Coppola G., Shoaran M.* // *Cephalalgia.* 2019. **39**, N9. P. 1143.
- [19] *Jurcak V., Tsuzuki D., Dan I.* // *Neuroimage.* 2007. **34**, N4. P. 27.
- [20] *World medical association 2000 declaration of helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects.* *The Journal of the American Medical Association.* 2000. **284**, N. 23. P. 30433045.

Effect of object position on evoked potentials during long-term cognitive tests

A.O. Selskii^{1,2,a}, M.O. Zhuravlev^{1,2,b}, A.E. Runnova^{2,c}

¹*Saratov State University named after N.G. Chernyshevsky. Saratov 410012, Russia*

²*Saratov State Medical University named after V. I. Razumovsky. Saratov 410012, Russia*

E-mail: ^aselskii@yandex.ru, ^bzhuravlevmo@gmail.com, ^canefila@gmail.com

This article examines the effect of object position on cognitive evoked potentials observed in subjects with chronic pain. Chronic pain often causes cognitive depression. The experiment consisted of passing small cognitive tests, where the subject assessed the number of squares presented on the left or right side of the screen, or in the center. A simple method is proposed for automatic identification of the main components of the cognitive evoked potential, based on the identification of extrema and the assessment of the amplitudes of the main components of the cognitive evoked potential. Examples of analysis of individual characteristics for several subjects are shown. The maximum difference between the adjacent main components of the evoked potential lies, as a rule, on the central axis, but can be located in the subjects in the frontal, parietal, or occipital lobes. For two subjects, the individual characteristics of the main components of the cognitive evoked potential were shown at different positions of the object on the screen during the performance of the cognitive test. For one, the evoked potentials change when the stimulus is located on the left side of the screen. For the second, large changes are observed when the stimulus is located on the right side of the screen. It is extremely important to know these characteristics of the subjects when setting up automated brain-computer interfaces.

PACS: 87.19.le, 87.85.dd

Keywords: EEG data, cognitive evoked potentials, psychophysiological features.

Received 24 September 2021.

Сведения об авторах

1. Сельский Антон Олегович — канд. физ.-мат. наук, доцент; e-mail: selskii@yandex.ru.
2. Журавлев Максим Олегович — канд. физ.-мат. наук, доцент; e-mail: zhuravlevmo@gmail.com.
3. Руннова Анастасия Евгеньевна — доктор физ.-мат. наук, ст. науч. сотрудник; e-mail: anefila@gmail.com.