

DOI: 10.7868/S2658655X26010053
УДК 612

Экспериментальные статьи

Отражает ли височная волна P2 в потенциалах, связанных с событиями, процесс сравнения зрительной информации со следом рабочей памяти?

И.С. Никишена^{1,2,*}, В.А. Пономарев², Ю.Д. Кропотов²

¹*Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет
Министерства здравоохранения Российской Федерации,
Санкт-Петербург, Российская Федерация*

²*Институт мозга человека им. Н.П. Бехтеревой РАН,
Санкт-Петербург, Российская Федерация*

**E-mail: nikishena@mail.ru*

Аннотация. Целью данной работы было выявить особенности обработки информации мозгом на ранних этапах перцепции в условиях решения задачи на совпадение/несовпадение зрительных стимулов. С этой целью зрительные стимулы – изображения (I) и соответствующие им слова (W) – предъявлялись в тесте в виде пар сравнения, каждая пара состояла из двух последовательно предъявляемых стимулов. Эти два стимула участнику исследования следовало сравнить между собой и дать двигательный ответ. В 50% случаев стимулы в паре совпадали между собой, а в 50% не совпадали. Было проанализировано три теста (II, IW, WI). ЭЭГ регистрировалась от 31 отведения у 84 здоровых взрослых испытуемых в процессе выполнения тестов. Представлены результаты анализа потенциалов, связанных с событиями (ПСС). Показано, что новое изображение в паре сравнения II вызывало увеличение P2, генерируемой в отведениях P7, P8, в то время как повторение стимула вызывало уменьшение P2 по сравнению с первым предъявлением стимула-изображения во всех тестах. Предполагается, что наблюдаемое увеличение P2 отражает процессы, протекающие в нейронных сетях при выявлении рассогласования предъявляемого изображения с образом объекта, хранящимся в рабочей памяти.

Ключевые слова: визуальная рабочая память, рассогласование, электроэнцефалограмма, потенциалы, связанные с событиями, компонент P2, задне-височная область

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки по теме № 122041300021-4.

Соблюдение этических стандартов. Все процедуры, выполненные в исследованиях с участием людей, соответствуют этическим стандартам национального комитета по исследовательской этике и Хельсинкской декларации 1964 года и ее последующим изменениям или сопоставимым нормам этики. От каждого

из включенных в исследование участников было получено информированное добровольное согласие. Исследования одобрены Комитетом по этике Института мозга человека им. Н.П. Бехтерева РАН (Санкт-Петербург, Россия), протокол заседания Комитета по этике ИМЧ РАН от 16 сентября 2021 г.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией данной статьи.

Вклад авторов в публикацию. Идея работы – ИСН, ВАП, ЮДК; планирование эксперимента – ИСН, ВАП; сбор данных – ИСН; обработка данных – ИСН, ВАП; обсуждение результатов – ИСН, ВАП, ЮДК; написание статьи – ИСН, ВАП; редактирование манускрипта – ИСН, ВАП, ЮДК.

Ссылка для цитирования: Никишена И.С., Пономарев В.А., Кропотов Ю.Д. Отражает ли височная волна P2 в потенциалах, связанных с событиями, процесс сравнения зрительной информации со следом рабочей памяти? *Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова / Russian Journal of Physiology*. Т. 112. № 1. С. 180–193. <https://doi.org/10.7868/S2658655X26010053>

DOI: 10.7868/S2658655X26010053

Experimental articles

Does the Temporal P2 Wave in Event-Related Potentials Reflect the Process of Comparing Visual Information with a Working Memory Trace?

I.S. Nikishena^{1,*}, V.A. Ponomarev², Yu.D. Kropotov²

¹*Saint Petersburg State Pediatric Medical University
of the Ministry of Health of the Russian Federation,
St. Petersburg, Russian Federation*

²*Bechtereva Institute of the Human Brain, Russian Academy of Sciences,
St. Petersburg, Russian Federation*

**E-mail: nikishena@mail.ru*

Abstract. The aim of this article was to find the features of information processing in the brain at the early stages of perception in the context of solving problems of matching/mismatching visual stimuli. For this purpose, visual stimuli – images (I) and corresponding printed words (W) – were presented in the test as comparison pairs, each pair consisting of two sequentially presented stimuli. The participant of the research had to compare these two stimuli with each other and give a motor response. In 50% of cases, the stimuli in the pair matched each other, and in 50%, they did not match. Three tests (II, IW, WI) were analyzed. EEG was recorded from 31 electrodes in 84 healthy adult subjects during the test performance. The results of the event-related potential (ERP) analysis are presented. It was shown that a new image in comparison pair II caused an increase in P2, generated at the P7 and P8, while repetition of the stimulus caused a decrease in the P2 amplitude compared to the first presentation of the image stimulus in all tests. It is assumed that the observed increase in P2 reflects the processes occurring in neural networks

when detecting a mismatch between the presented image and the image of the object stored in working memory.

Keywords: visual working memory, mismatch, EEG, ERP, P2, posterior temporal area

Funding. This work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (topic No. 122041300021–4).

Ethics declarations. All procedures performed in studies involving human participants were in accordance with the ethical standards of the national research committee and with the 1964 Helsinki Declaration and its later amendments or comparable ethical standards. Informed voluntary consent was obtained from all individual participants involved in the study. The study was approved by the Ethics Committee of the Bekhtereva Institute of the Human Brain of the Russian Academy of Sciences (St. Petersburg, Russia), Protocol of the Meeting of the Ethics Committee of the IHB RAS of September 16, 2021.

Conflict of interests. The authors declare that there is no obvious or potential conflict of interests associated with the publication of this article.

Authors contribution. NIS, PVA, DYUK — study conception; NIS, PVA — experimental design; NIS — data collection; NIS, PVA — data processing; NIS, PVA, DYUK — discussion of the results; NIS, PVA — manuscript writing; NIS, PVA, DYUK — manuscript editing.

For Citation: Nikishena I.S., Ponomarev V.A., Kropotov Yu.D. Does the Temporal P2 Wave in Event-Related Potentials Reflect the Process of Comparing Visual Information with a Working Memory Trace? *Rossiiskii fiziologicheskii zhurnal imeni I.M. Sechenova / Russian Journal of Physiology*. 2026;112(1):180–193. (In Russ.) <https://doi.org/10.7868/S2658655X26010053>

ВВЕДЕНИЕ

Рабочая память играет важную роль в обеспечении всех когнитивных процессов. Механизмы, лежащие в основе функционирования рабочей памяти, уже долгое время привлекают пристальное внимание исследователей [1–5]. Рабочая память рассматривается как многокомпонентная система, состоящая из центрального исполнительного блока, который поддерживает контроль внимания, и системы, которая объединяет информацию из буферных хранилищ. В качестве буферных хранилищ предлагается фонологическая петля (“phonological loop”) и хранилище зрительно-пространственной информации (“visuospatial sketchpad”) [6]. В фонологической петле комбинируется информация с лингвистической составляющей, например устная речь, визуальные формы в виде печатного текста, языка жестов, чтения по губам. Хранилище зрительно-пространственной информации (“visuospatial sketchpad”) позволяет комбинировать визуальную информацию о цвете, форме и расположении объекта и связывать ее с информацией, полученной с помощью осязания.

В настоящей статье мы рассмотрим положительный компонент потенциалов, связанных с событиями (ПСС) P2 с латентным периодом около 190–270 мс. Этот

компонент регистрируется в задневисочных отведениях при предъявлении второго зрительного стимула в паре сравнения. Кропотов с соавт. [7, 8] регистрировали положительный компонент ПСС в парадигме go-no-go после второго стимула в задневисочных отведениях. Авторы предложили гипотезу о том, что P2 отражает процессы сравнения стимула с рабочей памятью [7]. В следующей работе [8] было сделано уточнение, что компонент P2 может быть связан с операциями обнаружения конфликта (рассогласования) при повторении стимула. Дальнейшие исследования [9] показали, что рассогласование в физических характеристиках стимула вызывает положительный компонент P2.

В работе [10] было высказано предположение, что изменение величины компонента P2 ПСС не описывается эффектом, связанным только с повторением стимула, а может быть обусловлено двумя причинами: физическим повторением стимула и сравнением с образом в рабочей памяти. В этом исследовании был использован тест (рис. 1), в котором участникам показывали три стимула в пробе: два – для сравнения друг с другом (слова, изображения) и третий, который давал сигнал к ответу. Было показано [10], что при предъявлении идентичного изображения в качестве второго стимула наблюдается P2 меньшей величины, чем при предъявлении нового изображения в паре. Причем такой эффект не наблюдался при предъявлении слов, обозначающих предметы. Кроме того, если в паре сравнения первый стимул был словом, обозначающим предмет, и такой предмет предъявлялся в виде картинки вторым стимулом, то P2 регистрировался, но большей величины, чем в случае сравнения двух одинаковых изображений. Иными словами, если второй стимул был идентичен первому, то наблюдался P2 наименьшей величины. Такой эффект может быть интерпретирован как уменьшение величины ответа, связанное с физическим повторением стимула [9], например за счет уменьшения реактивности нейронных сетей. Альтернативная интерпретация этого эффекта может быть связана с гипотетическим процессом сравнения предъявляемого стимула с образом, хранящимся в рабочей памяти [8]. Причем увеличение P2 наблюдается в случае рассогласования (несовпадения) предъявляемого изображения с хранящимся образом.

Дополнительная информация может быть получена при сравнении ПСС на первый и второй стимулы в тесте, аналогично тому, как это сообщалось в работе Кропотова с соавт. [9]. Если при таком анализе не будет наблюдаться увеличения P2 на второй стимул по сравнению с первым, то можно будет полагать, что основным эффектом, влияющим на величину P2, является физическое повторение стимула. В противном случае можно будет утверждать, что увеличение P2 на второй стимул отражает рассогласование предъявляемого изображения с образом, хранящимся в рабочей памяти.

Целью данной работы являлся сравнительный анализ реакций мозга (ПСС) на предъявление первого и второго стимула в задаче на сравнение зрительных стимулов.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследовании приняли участие 84 человека в возрасте от 18 до 49 лет (женщины – 72 человека). Участники были отобраны на основании отсутствия неврологических и психических заболеваний, что было подтверждено анкетированием. Подробная информация о критериях отбора представлена в статье [10, 12].

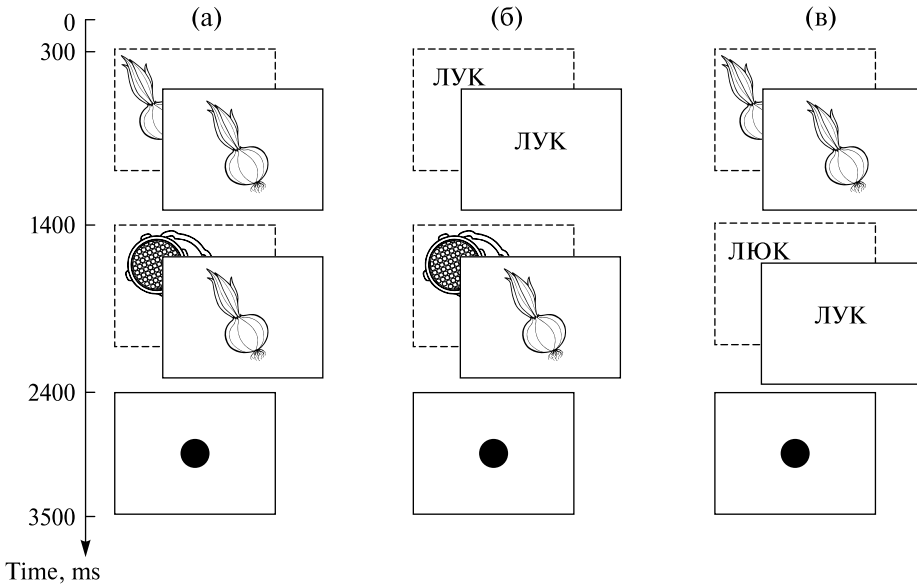


Рис. 1. Схематическое изображение трех тестов: (а) – тест II, “картинка–картинка”; (б) – тест WI, “слово–картинка”; (в) – тест IW, “картинка–слово”. Справа указана временная шкала, мс. Условия совпадения/несовпадения проиллюстрированы для каждого теста: прямоугольная непрерывная рамка показывает пример условия “совпадение”, штриховая рамка – пример условия “несовпадение”, третий стимул – “точка” был всегда одинаковым для всех тестов и условий

Fig. 1. Schematic representation of three tests: (a) – test II, “image–image”; (б) – test WI, “word–image”, (в) – test IW, “image–word”. The time scale is indicated on the right, ms. The match/mismatch conditions are illustrated for each test: the rectangular continuous frame shows an example of the “match” condition, the dashed frame – an example of the “mismatch” condition, the third stimulus – “dot” was always the same for all tests and conditions. In the picture, the Cyrillic word “лук” means “onion” and “люк” means “hatch”

Стимульный материал. Использовались три вида зрительных стимулов: 1) изображения – рисунки реальных объектов, взятые из открытых источников в интернете, для удобства мы будем называть их “картинками”; 2) слова из 3–4 букв, напечатанные кириллицей и обозначающие те же объекты, что и на картинках; 3) “точка” – стимул, запускающий двигательную реакцию.

Тесты. Все тесты были построены по одному и тому же принципу. Каждый из них включал в себя 200 отдельных “проб”. Каждая проба состояла из трех последовательных зрительных стимулов (31 изображение различных объектов окружающего мира и соответствующих им названий – слов), предъявляемых на экране 19” монитора (см. рис. 1), угловые размеры стимулов – 3.8°. Сначала испытуемому показывали “зрительный стимул 1”, затем “зрительный стимул 2”. Завершающим зрительным стимулом 3, сигнализирующим о необходимости дать ответ, всегда была графическая точка. Всего в тестах использовалось 78 различных комбинаций стимулов, то есть 78 разных вариантов проб. Временные интервалы пробы указаны на рис. 1. Длительность предъявления зрительного стимула составляла 100 мс. Проба начиналась с престимульного интервала длительностью 300 мс. Интервал

между пробами — 100 мс. Задачей испытуемого было сравнить первый и второй стимулы, ответ следовало давать после третьего стимула, как можно точнее и быстрее. Ответная реакция регистрировалась в виде нажатия правой рукой на кнопку мыши: при “совпадении” — левой клавиши, при “несовпадении” — правой клавиши. Под “совпадением” подразумевалось полное совпадение двух картинок либо совпадение по смыслу, в случае предъявления стимула-слова и стимула-картинки в любом порядке. Все тесты были предъявлены каждому участнику в псевдослучайном порядке, продолжительность каждого теста — около 10 мин. Между тестами были периоды отдыха от одной до нескольких минут.

В соответствии с целью данного исследования мы рассмотрим данные трех тестов, в которых в качестве одного или двух стимулов была использована картинка, это тесты “картинка—картинка—точка” (в дальнейшем П), “картинка—слово—точка” (в дальнейшем IW) и “слово—картинка—точка” (в дальнейшем WI).

Процедура. В ходе эксперимента участник располагался в кресле напротив экрана монитора. На мониторе предъявлялись стимулы тестов при помощи программного обеспечения Psytask.

В начале исследования участнику давали возможность ознакомиться со всеми возможными вариантами стимулов. Перед началом каждого теста участнику предлагали выполнить около десяти проб, чтобы они могли потренироваться и привыкнуть к заданию.

Запись и анализ ЭЭГ. Во время выполнения теста производилась запись ЭЭГ, был использован электроэнцефалограф “Мицар-ЭЭГ-202” (версия 3.15.29). Электроды располагались на поверхности головы в соответствии с международной системой 10–10, всего 31 электрод. Мочки ушей были выбраны точками крепления референтных электродов. Заземляющий электрод располагался в проекции отведения *AFz*. Сопротивление электродов не превышало 5 кОм, частота дискретизации составляла 250 Гц. Параметры фильтра высоких частот и фильтра низких частот — 0.53 Гц ($\tau = 0.3$ с) и 50 Гц соответственно. Сетевая электромагнитная помеха подавлялась с помощью цифрового режекторного фильтра с полосой пропускания 45–55 Гц.

ЭЭГ была записана и обработана с помощью программы *WinEEG* (версия 3.15.29). Артефакты моргания и прочие артефакты ЭЭГ были скорректированы с применением критериев, детально изложенных в наших более ранних работах [9, 11, 12]. Для коррекции артефактов моргания был использован метод, который предложил Vigário [13], этот метод основан на использовании разложения на независимые компоненты. На следующем этапе мы отсеяли пробы, в которых были обнаружены артефакты. Для этого применили ряд эмпирически подобранных параметров, а именно: пробы, в которых регистрируются 1) потенциалы более 50 мкВ для электродов *Fp₁* и *Fp₂* и более 100 мкВ для остальных электродов; 2) низкочастотные колебания ЭЭГ в диапазоне от 0.53 до 1 Гц с амплитудой более 50 мкВ; 3) высокочастотные колебания сигнала в интервале частот от 20 до 35 Гц с амплитудой более 35 мкВ.

Для каждого участника теста и каждого условия в тесте методом усреднения были вычислены значения ПСС. При этом исключались из усреднения те пробы, в которых участники ошибались (пропускали ответы, нажимали ошибочно или до разрешающего стимула). Чтобы повысить надежность результатов, мы также исключили из дальнейшего анализа данные тех условий, для которых было меньше 30 правильно выполненных и “чистых” (без артефактов) проб.

ПСС была рассчитана для ЭЭГ, преобразованной к плотности источников тока (*CSD* — *Current Source Density*, в дальнейшем “ПСС в *CSD*”) [14]. Данное

преобразование ЭЭГ, использующее физическую модель головы, рассчитывает компоненту тока, нормальную к поверхности головы, которая течет от источников сигнала к электроду [15]. Ранее нами было показано, что при использовании этого преобразования ЭЭГ различия величины P2 видны наиболее контрастно, также показано, что эти данные не противоречат данным, полученным при расчете сигнала ЭЭГ относительно среднего потенциала референтных ушных электродов [11, 12].

При анализе сравнивались ПСС как после первого, так и после второго стимула. Были взяты фрагменты записи длительностью 1300 мс, начинающиеся за 300 мс до момента появления картинки. Все кривые приведены к базовой линии, соответствующей интервалу времени длительностью 100 мс, непосредственно предшествующему моменту включения стимула.

Статистическая значимость различий ПСС оценивалась с помощью основанного на кластерах анализа [16, 17], представляющего собой автоматический поиск областей интереса (кластеров). В кластеры объединялись статистически значимые ($p < 0.05$, W-критерий Вилкоксона) однонаправленные различия сигналов ПСС между экспериментальными условиями, которые были расположены в непосредственной временной близости друг от друга.

Было проведено попарное сравнение компонента P2 во всех восьми условиях, включающих предъявление картинки, в отведениях P₇ и P₈, в которых различия ПСС, соответствующие P2, наиболее выражены [10]. Условия указаны в табл. 1, всего 4 варианта предъявления картинки в качестве первого стимула и 4 условия предъявления картинки в качестве второго стимула.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На рис. 2 представлены ПСС в ответ на стимул-картинку во всех рассматриваемых тестах после первого и после второго стимула. В задневисочных отведениях P₇ и P₈ после первого и после второго стимула-картинки регистрируется положительный компонент ПСС с латентным периодом 200–300 мс – P2 задневисочный. Величина (амплитуда, или *amplitude*) компонента P2 различается в зависимости от условий предъявления стимула-картинки.

При предъявлении картинки в качестве первого стимула в тестах II, IW регистрируется положительный компонент ПСС P2, величина которого статистически значимо ($p < 0.05$) не различалась (см. рис. 2 и табл. 1).

При предъявлении картинки в качестве второго стимула были выявлены следующие различия:

1. Величина компонента P2 ПСС в условии, когда первый и второй стимулы были идентичными картинками (тест II, совпадение), минимальна и отличается ($p < 0.05$) от всех прочих рассматриваемых условий предъявления картинки (табл. 1, столбец II совпадение S2).

2. Величина компонента P2 максимальна в случае предъявления второго стимула-картинки, не совпадающего с первым стимулом-картинкой (табл. 2, II, несовпадение S2). P2 достоверно отличается ($p < 0.05$) от всех прочих рассматриваемых вариантов предъявления картинки.

3. В случае предъявления картинки после слова (тест WI), величина P2 после стимула 2 различается между условиями внутри теста WI – “совпадение” и “несовпадение” в P₇. При сравнении P2 (тест WI несовпадение, S2) с P2 (картинка – первый стимул) достоверных различий не регистрируется.

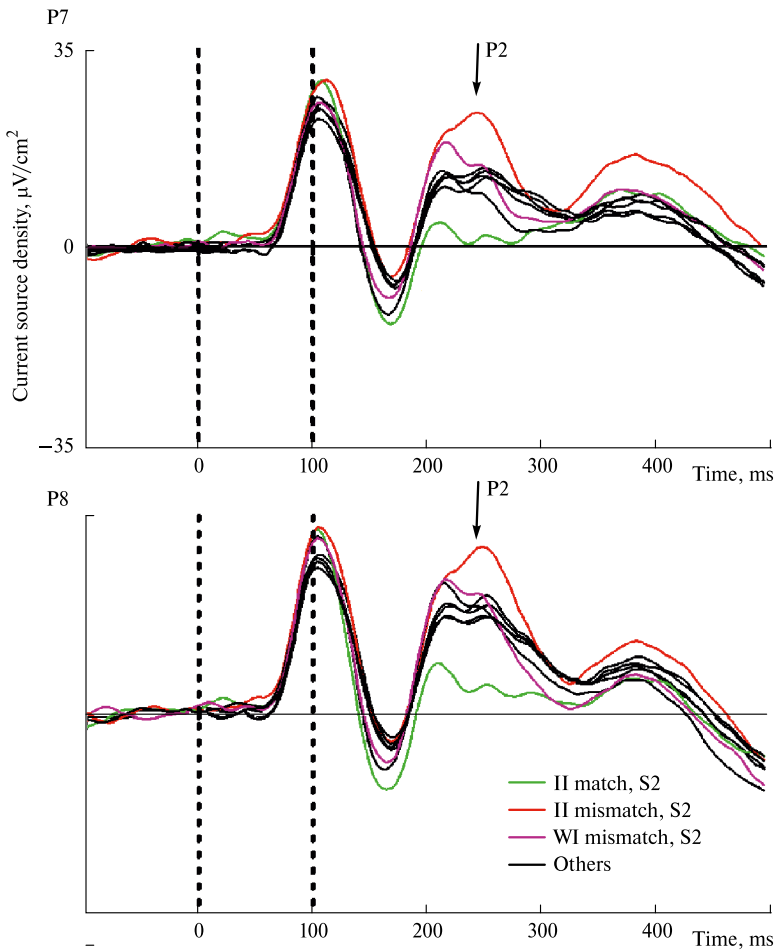


Рис. 2. Усредненные по группе ПСС для ЭЭГ, преобразованной к плотности источников тока CSD, в трех тестах после первого и после второго стимулов-“картинок”. Графики ПСС: по оси абсцисс – время, мс; по оси ординат – величина плотности источников тока, мкВ/см². На графиках цветными линиями обозначены ПСС после второго стимула-картинки (S2): зеленая линия - в тесте II при совпадении стимулов (II match, S2), красная линия – в тесте II при несовпадении стимулов (II mismatch, S2), розовая линия – в тесте WI при несовпадении стимулов (WI mismatch, S2). Черной кривой линией обозначены все ПСС в ответ на стимул-картинку после первого стимула при совпадении и несовпадении стимулов, ПСС после второго стимула WI, совпадение стимулов. Стрелками на графиках указан компонент ПСС P2

Fig. 2. Group-averaged ERPs for EEG transformed to current source density (CSD) in three tests following the first and second image stimuli. ERP graphs: on the abscissa axis – time, ms, along the ordinate axis – current source density, $\mu\text{V}/\text{cm}^2$. On the graphs, the ERPs after the second image stimulus (S2) are indicated by colored lines: the green line – test II, stimulus 2, match condition (II match, S2), the red line – test II, stimulus 2, mismatch condition (II mismatch, S2), the pink line – test WI, stimulus 2, mismatch condition (WI mismatch, S2). The black curved line indicates all ERP after the S1 in response to the image stimulus (match and mismatch conditions), ERP after the S2 in test WI, match condition. The arrows on the graphs indicate component P2 of the ERP

Таблица 1. Парное сравнение величины P2 ПСС в отведениях P₇, P₈, полученного при предъявлении изображений в трех тестах

Table 1. Pairwise comparison of P2 amplitude recorded at P₇, P₈ in three tests in response to images

	II совпадение, S2	II несовпадение, S2	WI совпадение, S2	WI несовпадение, S2
II совпадение, S1	+	+	–	–
II несовпадение, S1	+	+	–	–
IW совпадение, S1	+	+	–	–
IW несовпадение, S1	+	+	–	+ (P8)
II несовпадение, S2	+		+	+ (P8)
WI совпадение, S2	+	+		+ (P7)
WI несовпадение, S2	+	+ (P8)	+ (P7)	

“+” – величины P2 в данных условиях различаются $p < 0.05$; “–” – нет достоверных различий; S1 – первый стимул; S2 – второй стимул. Совпадение – условие “совпадение” стимулов в указанном тесте. Несовпадение – условие “несовпадение” стимулов в указанном тесте.

“+” – P2 values differ, $p < 0.05$; “–” – P2 values do not differ; S1 – first stimulus; S2 – second stimulus. Match – the condition of “match” of S1 and S2 stimuli in the corresponding test. Mismatch – the condition of “mismatch” of S1 and S2 stimuli in the corresponding test.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В литературе есть много работ, в которых рассматривается компонент P2 ПСС с максимальной амплитудой в лобных отделах коры больших полушарий. Гораздо меньше информации есть о значении P2 с локализацией в задневисочной области. P2 задневисочный обычно наблюдается в экспериментах, связанных с ранней перцептивной обработкой и вниманием, переключением между внешним и внутренним вниманием [18]. Сообщается, что P2 может быть связан с автоматической идентификацией и классификацией стимулов [19, 20], с процессами подавления повторений [21], совпадением/несовпадением визуальных сигналов [11, 12, 22], а также с улучшением распознавания визуальных стимулов у людей с предшествующим зрительным опытом [23].

Как видно из табл. 1, компонент ПСС P2 задневисочный регистрируется при первом предъявлении картинки в паре. Компоненты P2 во всех тестах, регистрируемые после первой картинке, схожи по своей форме и латентному периоду, различий ($p < 0.05$) не было обнаружено. Несмотря на то, что в соответствии с процедурой проведения исследования, участники знали, какой тест они будут выполнять, и, следовательно, знали, какой тип второго стимула (слово или картинку) следует ожидать, это не оказывало влияния на величину P2 после предъявления первого стимула. Этот факт указывает на то, что во временной период 200–300 мс обработка первого стимула в этой области мозга не зависит от второго стимула, а процессы, связанные с удержанием стимула в памяти, относятся к более позднему временному интервалу, что соответствует данным литературы [1].

Величина P2 после второго стимула в тесте II значительно отличается от P2 после первого стимула во всех тестах: P2 меньше в ситуации совпадении картинок

и больше при несовпадении. Напротив, отличия величины P2 после второго стимула в тесте W1 от P2 после первого стимула во всех тестах слабо выражены. Кроме того, величина P2 после второго стимула в тесте II при совпадении картинок меньше, чем величины P2 после второго стимула в тесте W1, и больше при несовпадении. Такие различия могут быть объяснены следующим образом. Уменьшение величины P2 после второго стимула в тесте II при совпадении картинок может быть связано с повторением изображения, то есть может отражать эффект привыкания. Напротив, увеличение P2 после второго стимула в тесте II при несовпадении картинок трудно связать только с новизной предъявляемого изображения так, как это наблюдается в тесте W1. Вероятно, такой эффект увеличения P2 отражает протекание какого-либо дополнительного процесса, которым в контексте данного задания может являться процесс сравнения предъявляемого изображения с образом объекта, хранящимся в рабочей памяти.

ВЫВОДЫ

Таким образом, величина компонента P2 зависит от наличия следующих факторов: первое – предъявление изображения, второе – задача на сравнение, третье – новизна изображения. Новое изображение в паре сравнения вызывает увеличение P2, повторное изображение – снижение величины P2 по сравнению с первым предъявлением картинки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *The Oxford handbook of event-related potential components*. S.J. Luck, E.S. Kappenman (eds.) Oxford University Press. 2011.
<https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780195374148.001.0001>
2. Schurgin M.W. Visual memory, the long and the short of it: A review of visual working memory and long-term memory. *Atten. Percept. Psychophys.* 2018. Vol. 80. Pp. 1035–1056. <https://doi.org/10.3758/s13414-018-1522-y>
3. Oberauer K. Working Memory and Attention – A conceptual analysis and review. *J. Cognition.* 2019. Vol. 2. 36. <https://doi.org/10.5334/joc.58>
4. *The Cambridge Handbook of Working Memory and Language*. J.W. Schwieter, Z.E. Wen (eds.) Cambridge University Press, 2024.
5. Уточкин И.С., Юревич М.А., Булатова М.Е. Зрительная рабочая память: методы, исследования, теории. *Российский журнал когнитивной науки*. 2016. Т. 3. С. 58–76.
6. Baddeley A.D. Developing the concept of working memory: The role of neuropsychology. *Arch. Clin. Neuropsychol.* 2021. Vol. 36. Pp. 861–873.
<https://doi.org/10.1093/arclin/acab060>
7. Kropotov J.D., Ponomarev V.A. Differentiation of neuronal operations in latent components of event-related potentials in delayed match-to-sample tasks. *Psychophysiology.* 2015. Vol. 52. Pp. 826–838.
<https://doi.org/10.1111/psyp.12410>

8. Kropotov J.D., Ponomarev V.A., Pronina M. et al. Functional indexes of reactive cognitive control: ERPs in cued go/no-go tasks. *Psychophysiology*. 2017. Vol. 54. Pp. 1899–1915. <https://doi.org/10.1111/psyp.12960>
9. Kropotov Y.D., Ponomarev V.A., Pronina M.V. et al. Effects of repetition and stimulus mismatch in sensory visual components of event-related potentials. *Human Physiol*. 2019. Vol. 45. Pp. 349–355. <https://doi.org/10.1134/S0362119719040066>
10. Nikishena I.S., Ponomarev V.A., Kropotov J.D. Event-related brain potentials when comparing visual stimuli – words and pictures. *Human Physiol*. 2025. Vol. 51. Pp. 347–359. <https://doi.org/10.1134/S0362119725700550>
11. Nikishena I.S., Ponomarev V.A., Kropotov J.D. Event-related potentials in audio-visual cross-modal test in comparison of word pairs. *Human Physiol*. 2021. Vol. 47. Pp. 459–466. <https://doi.org/10.1134/S0362119721020109>
12. Nikishena I.S., Ponomarev V.A., Kropotov J.D. Event-Related Potentials of the Human Brain During the Comparison of Visual Stimuli. *Human Physiol*. 2023. Vol. 49. Pp. 264–273. <https://doi.org/10.1134/S0362119723700329>
13. Vigário R.N. Extraction of ocular artefacts from EEG using independent component analysis. *Electroencephal. Clin. Neurophysiol*. 1997. Vol. 103. Pp. 395–404. [https://doi.org/10.1016/s0013-4694\(97\)00042-8](https://doi.org/10.1016/s0013-4694(97)00042-8)
14. Perrin F., Pernier J., Bertrand O. et al. Spherical splines for scalp potential and current density mapping. *Electroencephal. Clin. Neurophysiol*. 1989. Vol. 72. Pp. 184–187. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(89\)90180-6](https://doi.org/10.1016/0013-4694(89)90180-6)
15. Kayser J., Tenke C.E. Principal components analysis of Laplacian waveforms as a generic method for identifying ERP generator patterns: I. Evaluation with auditory oddball tasks. *Clin. Neurophysiol*. 2006. Vol. 117. Pp. 348–368. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2005.08.034>
16. Maris E., Oostenveld R. Nonparametric statistical testing of EEG- and MEG-data. *J. Neurosci. Methods*. 2007. Vol. 164. Pp. 177–190. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2007.03.024>
17. Pernet C.R., Latinus M., Nichols T.E. et al. Cluster-based computational methods for mass univariate analyses of event-related brain potentials/fields: A simulation study. *J. Neurosci. Methods*. 2015. Vol. 250. Pp. 85–93. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2014.08.003>
18. Verschooren S., Vermeylen L., Boeve S. et al. Perceptual decoupling underlies internal shielding benefit during switches between external and internal attention: Evidence from early sensory event-related potential components. *J. Cogn. Neurosci*. 2025. Vol. 37. Pp. 1666–1684. https://doi.org/10.1162/jocn_a_02329
19. Stahl J., Wiese H., Schweinberger S.R. Learning task affects ERP-correlates of the own-race bias, but not recognition memory performance. *Neuropsychologia*. 2010. Vol. 48. Pp. 2027–2040. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2010.03.024>
20. He J., Zheng Y., Fan L. et al. Automatic processing advantage of cartoon face in internet gaming disorder: evidence from P100, N170, P200, and MMN. *Front. Psychiatry*. 2019. Vol. 10. 824. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2019.00824>
21. Freunberger R., Klimesch W., Doppelmayr M. et al. Visual P2 component is related to theta phase-locking. *Neurosci. Lett*. 2007. Vol. 426. Pp. 181–186. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2007.08.062>

22. Kimura M. Visual mismatch negativity and unintentional temporal-context-based prediction in vision. *Int. J. Psychophysiol.* 2012. Vol. 83. Pp. 144–155. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2011.11.010>
23. Orlandi A., Proverbio A.M. Bilateral engagement of the occipito-temporal cortex in response to dance kinematics in experts. *Sci. Rep.* 2019. Vol. 9. 1000. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-37876-x>

REFERENCES

1. *The Oxford handbook of event-related potential components.* S.J. Luck, E.S. Kappenman (eds.) Oxford University Press; 2011. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780195374148.001.0001>
2. Schurgin M.W. Visual memory, the long and the short of it: A review of visual working memory and long-term memory. *Atten. Percept. Psychophys.* 2018;**80**:1035–1056. <https://doi.org/10.3758/s13414-018-1522-y>
3. Oberauer K. Working Memory and Attention – A Conceptual Analysis and Review. *J. Cognition.* 2019;**2**:36. <https://doi.org/10.5334/joc.58>
4. *The Cambridge Handbook of Working Memory and Language.* J.W. Schwieter, Z.E. Wen (eds.) Cambridge University Press; 2024.
5. Utochkin I.S., Yurevich M.A., Bulatova M.E. Zritel'naya rabochaya pamyat': metody, issledovaniya, teorii [Visual Working Memory: Methods, Research, Theory]. *Rossiyskiy zhurnal kognitivnoy nauki = The Russian Journal of Cognitive Science.* 2016;**3**:58–76. (In Russ.)
6. Baddeley A.D. Developing the concept of working memory: The role of neuropsychology. *Arch. Clin. Neuropsychol.* 2021;**36**:861–873. <https://doi.org/10.1093/arclin/acab060>
7. Kropotov J.D., Ponomarev V.A. Differentiation of neuronal operations in latent components of event-related potentials in delayed match-to-sample tasks. *Psychophysiology.* 2015;**52**:826–838. <https://doi.org/10.1111/psyp.12410>
8. Kropotov J.D., Ponomarev V.A., Pronina M. et al. Functional indexes of reactive cognitive control: ERPs in cued go/no-go tasks. *Psychophysiology.* 2017;**54**:1899–1915. <https://doi.org/10.1111/psyp.12960>
9. Kropotov Y.D., Ponomarev V.A., Pronina M.V. et al. Effects of repetition and stimulus mismatch in sensory visual components of event-related potentials. *Human Physiol.* 2019;**45**:349–355. <https://doi.org/10.1134/S0362119719040066>
10. Nikishena I.S., Ponomarev V.A., Kropotov J.D. Event-related brain potentials when comparing visual stimuli – words and pictures. *Human Physiol.* 2025;**51**:347–359. <https://doi.org/10.1134/S0362119725700550>
11. Nikishena I.S., Ponomarev V.A., Kropotov J.D. Event-related potentials in audio-visual cross-modal test in comparison of word pairs. *Human Physiol.* 2021;**47**:459–466. <https://doi.org/10.1134/S0362119721020109>
12. Nikishena I.S., Ponomarev V.A., Kropotov J.D. Event-Related Potentials of the Human Brain During the Comparison of Visual Stimuli. *Human Physiol.* 2023;**49**:264–273. <https://doi.org/10.1134/S0362119723700329>

13. Vigário R.N. Extraction of ocular artefacts from EEG using independent component analysis. *Electroencephal. Clin. Neurophysiol.* 1997;**103**:395–404. [https://doi.org/10.1016/s0013-4694\(97\)00042-8](https://doi.org/10.1016/s0013-4694(97)00042-8)
14. Perrin F., Pernier J., Bertrand O., Echallier J.F. Spherical splines for scalp potential and current density mapping. *Electroencephal. Clin. Neurophysiol.* 1989;**72**:184–187. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(89\)90180-6](https://doi.org/10.1016/0013-4694(89)90180-6)
15. Kayser J., Tenke C.E. Principal components analysis of Laplacian waveforms as a generic method for identifying ERP generator patterns: I. Evaluation with auditory oddball tasks. *Clin. Neurophysiol.* 2006;**117**:348–368. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2005.08.034>
16. Maris E., Oostenveld R. Nonparametric statistical testing of EEG- and MEG-data. *J. Neurosci. Methods.* 2007;**164**:177–190. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2007.03.024>
17. Pernet C.R., Latinus M., Nichols T.E., Rousselet G.A. Cluster-based computational methods for mass univariate analyses of event-related brain potentials/fields: A simulation study. *J. Neurosci. Methods.* 2015;**250**:85–93. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2014.08.003>
18. Verschooren S., Vermeylen L., Boeve S. et al. Perceptual decoupling underlies internal shielding benefit during switches between external and internal attention: Evidence from early sensory event-related potential components. *J. Cogn. Neurosci.* 2025;**37**:1666–1684. https://doi.org/10.1162/jocn_a_02329
19. Stahl J., Wiese H., Schweinberger S.R. Learning task affects ERP-correlates of the own-race bias, but not recognition memory performance. *Neuropsychologia.* 2010;**48**:2027–2040. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2010.03.024>
20. He J., Zheng Y., Fan L. et al. Automatic processing advantage of cartoon face in internet gaming disorder: evidence from P100, N170, P200, and MMN. *Front. Psychiatry.* 2019;**10**:824. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2019.00824>
21. Freunberger R., Klimesch W., Doppelmayr M. et al. Visual P2 component is related to theta phase-locking. *Neurosci. Lett.* 2007;**426**:181–186. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2007.08.062>
22. Kimura M. Visual mismatch negativity and unintentional temporal-context-based prediction in vision. *Int. J. Psychophysiol.* 2012;**83**:144–155. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2011.11.010>
23. Orlandi A., Proverbio A.M. Bilateral engagement of the occipito-temporal cortex in response to dance kinematics in experts. *Sci. Rep.* 2019;**9**:1000. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-37876-x>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Никишена Инна Сергеевна — канд. биол. наук; доц. кафедры психосоматики и психотерапии, Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Российская Федерация
E-mail: nikishena@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1669-3123>

Пономарев Валерий Александрович — д-р биол. наук; вед. науч. сотр., лаборатория нейробиологии программирования действий, Институт мозга человека им. Н.П. Бехтеревой Российской академии наук, Санкт-Петербург, Российская Федерация
E-mail: valery_ponomarev@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7899-3098>

Кропотов Юрий Дмитриевич — д-р биол. наук; проф.; зав. лабораторией нейробиологии программирования действий, Институт мозга человека им. Н.П. Бехтеревой Российской академии наук, Санкт-Петербург, Российская Федерация
E-mail: yurykropotov@yahoo.com
<https://orcid.org/0000-0001-9361-5300>

AUTHOR INFORMATION

Nikishena, Inna S. — Cand. Sc. (Biology); Associate Professor at the Department of Psychosomatics and Psychotherapy, Saint Petersburg State Pediatric Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, St. Petersburg, Russian Federation
E-mail: nikishena@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1669-3123>

Ponomarev, Valery A. — Ph.D. (Biology); Head Scientist Researcher, Laboratory of Neurobiology of Action Programming, Bekhtereva Institute of the Human Brain of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russian Federation
E-mail: valery_ponomarev@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7899-3098>

Kropotov, Yury D. — Ph.D. (Biology); Full Professor; Head of the Laboratory of Neurobiology of Action Programming, Bekhtereva Institute of the Human Brain of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russian Federation
E-mail: yurykropotov@yahoo.com
<https://orcid.org/0000-0001-9361-5300>

Поступила в редакцию 19.08.2025
После доработки 25.09.2025
Принята к публикации 27.09.2025

Received August 19, 2025
Revised September 25, 2025
Accepted September 27, 2025