

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫЗВАННЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ В РАЗНЫХ МОДЕЛЯХ ТВОРЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

© 2024 г. Н. В. Шемякина\*, Ж. В. Нагорнова

*Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова РАН, Санкт-Петербург, Россия*

\* E-mail: shemyakina\_n@mail.ru

Поступила в редакцию 01.12.2023

После доработки 15.02.2024

Принята к публикации 18.02.2024

В статье проводится сопоставление результатов трех ЭЭГ/ВП исследований вербальной творческой деятельности, реализованных в единой временной парадигме, но с использованием разных моделей творческих задач. Испытуемые (18–35 лет) выполняли задания – ПОСЛОВИЦЫ (дивергентная творческая задача на преодоление стереотипов долговременной памяти), ОТДАЛЕННЫЕ АССОЦИИИ (условно “конвергентная” творческая задача на активизацию семантических полей для отдаленных по смыслу понятий), АЛЬТЕРНАТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ (дивергентная творческая задача на инициацию ассоциативного поиска). В творческих заданиях от испытуемых требовалось придумать оригинальное окончание пословицы (ПОСЛОВИЦЫ, Pr), найти слово, подходящее к трем предъявленным понятиям из разных семантических полей (RAT), придумать оригинальные способы использования обычных предметов (AUT), а в контрольных – вспомнить общеизвестное окончание пословицы (PrM), перечислить объекты из заданной категории (CAT). В работе анализировали амплитуды вызванных потенциалов (ВП) при сравнении заданий между собой. В задании ПОСЛОВИЦЫ наблюдалась большая негативность компонента N300 в лобных зонах коры (на интервале 280–346 мс после предъявления стимула), что, вероятно, может отражать торможение стереотипа долговременной памяти. В заданиях ПОСЛОВИЦЫ и ОТДАЛЕННЫЕ АССОЦИИИ семантический поиск и интеграция новой информации в сравнении с извлечением известной информации из памяти характеризовалась меньшими значениями амплитуды поздних компонентов ВП на интервале 698–786 мс. Большая амплитуда поздних компонентов ВП в теменных областях (524–624 мс) при дивергентном мышлении (AUT) может соотноситься с большей образностью данного задания (быстрым возникновением в уме изображений) по сравнению с вербально-абстрактными заданиями на ассоциации и изменение смысла пословиц. Таким образом, можно предположить, что на сравнительно ранних этапах обработки информации в вербальных творческих заданиях проявляется специфика разных моделей творческой деятельности при одинаковой временной парадигме и сходной специфике предъявления зрительных стимулов.

*Ключевые слова:* ЭЭГ, вызванные потенциалы, ВП, вербальное творчество, тест отдаленных ассоциаций, RAT, тест альтернативного использования, AUT, пословицы, P200, поздний позитивный компонент

**DOI:** 10.31857/S0044452924020022, **EDN:** XATNJV

### ВВЕДЕНИЕ

Творчество – это потребность создания нового, поиск новизны, возникающие в ситуации внутренней мотивации развития. Или творчество – это уход от воздействий внешнего мира? Так или иначе, творчество – способность порождать идеи, которые характеризуются оригинальностью (новизной) и полезностью (применимостью) [1]. Согласно структуре интеллекта Гилфорда [2], творческие находки могут случаться при дивергентном мышлении – типе продуктивного мышления, в результате которого появляется множество вариантов решений поставленной задачи. При изучении творческих способностей в модели дивергентного мышления наиболее часто оценивается беглость (количество ответов),

гибкость (способность давать ответы из разных семантических областей), оригинальность (редкость встречаемости похожего ответа в соответствующей выборке) [3, 4] ответов. Дивергентное мышление часто противопоставляется конвергентному – типу продуктивного мышления, направленному на поиск одного верного, подходящего ответа к поставленной задаче на основе полученной информации.

Согласно ассоциативной теории творчества С. Медник [5], новая идея возникает благодаря ассоциативному процессу/поиску, при этом и дивергентное, и конвергентное мышление вносят свой вклад и чередуются при поиске решений. С точки зрения ассоциативной теории Медник рассматривает три способа достижения творческого решения: наитие (Serendipity),

аналогия (Similarity), опосредование (Mediation). Чем более отдаленные (но адекватные) ассоциации может найти человек, тем выше его творческие способности и, как следствие, — более оригинальны творческие решения [6, 7].

В теориях творческой деятельности особо подчеркивается способность преодолевать банальные, первые пришедшие на ум ассоциации и ответы, решать задачи при недостатке информации [8–10]. На физиологическом уровне, поиск творческого ответа может сопровождаться несколькими процессами, а именно — торможением наиболее жестких ассоциаций, активацией распределенной семантической сети, растормаживанием слабых связей и созданием новых ассоциативных цепочек. В нашем исследовании испытуемым предлагалось повторное предъявление стимулов для повышения уровня оригинальности ответов в заданиях. Повторное выполнение задания с одним и тем же стимулом или длительное его выполнение может сопровождаться так называемым “эффектом последовательности” (serial order effect): в начале выполнения задания испытуемый дает много ответов с низкой оригинальностью, затем — ответов становится меньше, но их оригинальность повышается [11, 12]. Данный эффект также связывают с разным вовлечением управляющих систем мозга в творческий процесс [13, 14]. В ряде исследований рассматриваются нейрофизиологические показатели активации управляющих систем мозга и когнитивного контроля при творческой деятельности [13, 15, 16] и влияние управляющих систем на оригинальность, гибкость и беглость творческого мышления [17, 18].

Исходя из рассмотренных теоретических предположений, для сравнительного рассмотрения, нами было предложено несколько вербальных творческих заданий: задание на преодоление стереотипа — придумать собственное окончание общеизвестных пословиц и поговорок [19, 20]; задание на ассоциативный поиск — найти слово, подходящее к каждому из трех предъявленных [21, 22] и задание на дивергентное мышление — придумать оригинальное использование обычных распространенных предметов [23]. Все задания были сконструированы в парадигме вызванных потенциалов и состояли из коротких проб, предполагая возможность многократного решения задачи и накопления ответов. Такой подход дает возможность оценивать синхронизированные по времени нейрофизиологические показатели (вызванные потенциалы (ВП) и связанную с событием синхронизацию/десинхронизацию ЭЭГ) [24] в сравнении с заданиями, в которых творческая деятельность рассматривается как непрерывный процесс, длящийся в течение некоторого продолжительного времени (например, минут) [25].

Целью исследования было изучение нейрофизиологических механизмов творческой деятельности при сопоставлении ВП в заданиях, основанных

на разных теориях творческого мышления: вовлекающих дивергентное, ассоциативное мышление и преодоление стереотипа долговременной памяти. Мы предполагаем, что перечисленные модели творческого мышления в разной степени вовлекают базовые когнитивные функции, такие как когнитивный контроль, долговременная и кратковременная память, зрительное воображение и др., что будет отражаться в различиях амплитуд ВП.

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

*Участники.* В исследовании с моделью ПОСЛОВИЦЫ (Proverbs, Pr) приняли участие 35 человек от 18 до 35 лет (31 женщины, 4 мужчины, медиана возраста 20 лет, первый — третий квартили 19–20.5 лет), они выполняли творческое задание Pr и контрольное к нему задание PrM; в исследовании с моделью ОТДАЛЕННЫЕ АССОЦИАЦИИ (remote associative test, RAT) приняли участие 35 человек от 18 до 35 лет (29 женщин, 6 мужчин, медиана возраста 20 лет, первый — третий квартили 19–20 лет). Часть участников исследования выполняло оба типа заданий (модели — пословицы и отдаленные ассоциации), но так как группы совпадали не полностью, в дальнейшем статистическом анализе они рассматриваются как независимые выборки, хотя это отчасти снижает чувствительность статистических тестов. В задании с моделью НЕОБЫЧНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ (alternative uses task, AUT) приняли участие 74 человека от 18 до 26 лет (54 женщины, 20 мужчин, медиана возраста 19 лет, первый — третий квартили 19–20 лет), они выполняли творческое задание AUT и контрольное к нему задание SAT.

*Задания.* В исследованиях участникам предлагалось несколько творческих и контрольных заданий.

ПОСЛОВИЦЫ (Proverbs, Pr) — модель преодоления стереотипа. В этом задании испытуемые должны были придумать оригинальные окончания общеизвестных пословиц и поговорок, предъявляемых без последнего слова, изменяя их известный смысл на какой-то другой [19]. В качестве контрольной задачи (Proverbs — Memoгу, PrM) испытуемым предлагали назвать (вспомнить) общеизвестный вариант окончания предъявленной неоконченной (без последнего слова) пословицы или поговорки. В обеих задачах присутствовало извлечение информации из долговременной памяти. Отличие творческой задачи от нетворческой состояло в преодолении стереотипа долговременной памяти и поиске нового оригинального окончания пословицы или поговорки, меняющего ее смысл. Задания выполнялись блоками: Pr и PrM проб, последовательность блоков рандомизировалась между участниками. В каждом блоке было 104 стимула (пословицы, поговорки) — одинаковых для творческого и контрольного задания проб. Внутри каждого блока проб порядок следования по-

словicc также был рандомизирован между испытуемыми.

**ОТДАЛЕННЫЕ АССОЦИАЦИИ** – модель ассоциативного поиска (РАТ). В пробах испытуемым предъявлялись тройки слов, слова в каждой тройке принадлежали к разным семантическим полям. Задача испытуемых состояла в поиске такого слова, которое может употребляться с каждым из предъявленных трех, разрешалось изменять словоформы и добавлять предлоги. В нашем исследовании каждая тройка слов (всего 70) предъявлялась три раза (три последовательные пробы), задавая для участника несколько попыток найти ответ. Всего в этом задании предъявлялось 210 проб. Задание было сконструировано на основе теста отдаленных ассоциаций [5], часть стимулов (20 троек слов) была взята из русского теста отдаленных ассоциаций в адаптации Воронина [26], а 50 троек русских слов – разработаны авторами. Разработка дополнительных стимулов на основе теста и концепции творческой деятельности С. Медник для использования в широком спектре нейрофизиологических и поведенческих исследований ранее также осуществлялась для английского языка [21]. Пример выполнения задания: “случайная, гора, долгожданная”, возможные ответы – встреча (наиболее частотный), путник/турист, беседа и т. д.

**НЕОБЫЧНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ** – модель дивергентного мышления (АУТ). В творческом задании АУТ испытуемым предъявлялось название распространенного повседневного объекта (например: носок, расческа, скрепка) с задачей придумать необычные, оригинальные способы использования этого предмета (один ответ в одной пробе). В контрольном задании САТ испытуемым предъявлялось название категории объектов (например: транспорт, виды спорта) и ставилась задача перечислить объекты из этой категории (один ответ в одной пробе). Творческое и контрольное задания выполнялись в виде коротких блоков, в каждом из которых предъявлялось одно название объекта/категории по 9–15 раз, последовательность блоков рандомизировалась между испытуемыми. Количество проб в коротких блоках было разным, чтобы испытуемые не могли предсказать длительность блоков и не считали количество предъявлений. Испытуемым предъявлялись более 100 проб в творческом задании и более 100 проб в контрольном задании. В каждой отдель-

ной пробе (для одного предъявления стимула) во всех заданиях испытуемый давал только один ответ.

*Общая схема выполнения заданий в парадигме вызванных потенциалов.* Все творческие и контрольные задания выполнялись в виде отдельных проб (рис. 1). На 300-й мс от начала каждой пробы предъявлялся текстовый стимул (пословица, тройка слов, словесное обозначение объекта/категории), длительность экспозиции которого составляла 400 мс. Слова в пословицах, тройки слов предъявлялись друг под другом (в две, три строки), чтобы уменьшить количество горизонтальных движений глаз во время чтения задания и создать сопоставимый зрительный паттерн при восприятии стимулов. Стимул сменялся точкой в центре экрана для фиксации взгляда. После предъявления стимула испытуемый (согласно инструкции) должен был найти ответ, мысленно его проговорить и нажать на кнопку мыши пальцем правой руки. Инструкция мысленной вербализации ответа была введена для уменьшения количества “ложных нажатий”, когда испытуемый обозначает наличие ответа, но затем не в состоянии его озвучить. Подобные пробы были единичными и исключались из последующего анализа ВП. Если ответ не был найден – нажимать на кнопку было не надо. На 5100 мс предъявлялся знак вопроса (“?”) длительностью предъявления 100 мс. После предъявления вопроса испытуемые должны были озвучить вслух свой ответ или сказать “нет”, если ответ не был найден. Длительность интервала между пробами варьировала в пределах от 1500 до 2500 мс.

*Регистрация ЭЭГ/ВП.* При выполнении заданий ПОСЛОВИЦЫ и ОТДАЛЕННЫЕ АССОЦИАЦИИ регистрация ЭЭГ проводилась от 31 AgCl электрода (Fp1, Fp2, Fp3, Fp4, F7, F3, Fz, F4, F8, FT7, FC3, FCz, FC4, FT8, T3, C3, Cz, C4, T4, TP7, CP3, CPz, CP4, TP8, T5, P3, Pz, P4, T6, O1, Oz, O2), при выполнении задания НЕОБЫЧНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ – от 15 электродов (Fpz, F7, F3, Fz, F4, F8, C3, C4, T5, P3, Pz, P4, T6, O1, O2) с использованием 32-канального цифрового электроэнцефалографа “Мицар” (ООО “Мицар”, Санкт-Петербург) при помощи программного пакета WinEEG (Пономарев В.А., Кропотов Ю.Д., № государственной регистрации 2001610516 от 08.05.2001). Референтный электрод располагался на мочках обеих ушей, заземляющий электрод – в передне-центральной отведении на поверхности головы. Сопротивление электродов не

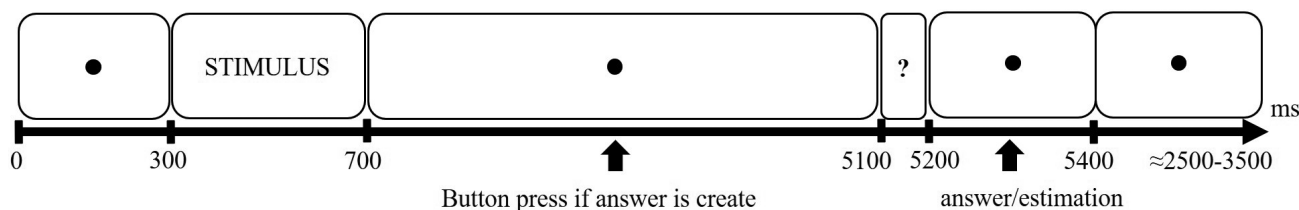


Рис. 1. Схема пробы.

превышало 5 кОм, частота квантования сигналов 500 Гц. ЭЭГ анализировали в полосе 1.6 Гц – 30 Гц.

*Предобработка ЭЭГ/ВП.* Артефакты, связанные с движением глаз, удалялись при помощи обнуления соответствующих независимых компонент [27–29]. Далее в ЭЭГ записях автоматически помечались и исключались из дальнейшего анализа пробы с артефактами движения глаз, с медленными волнами (0–1 Гц с амплитудой больше 50 мкВ), быстрыми волнами (20–35 Гц с амплитудой выше 35 мкВ), фрагменты ЭЭГ с амплитудой сигнала больше 100 мкВ [30].

*Анализ ВП.* В творческих и контрольных заданиях для расчета ВП учитывали только те пробы, где испытуемый давал ответ с нажатием кнопки. Для каждого испытуемого и каждого отведения рассчитывали индивидуальные усредненные ВП в окне от –300 до 2000 мс от начала предъявления стимула для отдельных типов творческих и контрольных заданий (Pr, RAT, AUT, PrM, CAT). Временные интервалы и зоны интереса для статистического анализа определяли по полумаксимуму разностных волн для каждого сравнения.

*Статистический анализ.* Так как ЭЭГ при выполнении заданий регистрировалась от разного количества электродов, статистический анализ различий ВП проводился в два этапа.

Первое сравнение включало в себя задания: придумать оригинальное окончание пословицы (Pr), вспомнить общеизвестное окончание пословицы (PrM), и найти слово, подходящее к трем предъявленным понятиям (RAT). Для статистического анализа использовался дисперсионный анализ ANOVA для повторных исследований с оценкой главных эффектов факторов и взаимодействия между ними: внутригруппового фактора ЗОНА (31 отведение) и межгруппового фактора ЗАДАНИЕ (3 задания). Временные интервалы различий амплитуд ВП также выделяли по полумаксимумам разностной волны между сравниваемыми заданиями. Было выделено 2 временных интервала для оценки: 280–346 мс и 698–786 мс после предъявления стимула.

Второе сравнение включало в себя все задания: придумать оригинальное окончание пословицы (Pr), вспомнить общеизвестное окончание пословицы (PrM), найти слово, подходящее к трем предъявленным (RAT), придумать необычное исполь-

зование (AUT), перечислить объекты из заданной категории (CAT). Использовался дисперсионный анализ ANOVA для повторных исследований для оценки главных эффектов факторов и взаимодействия между ними: внутригрупповой фактор ЗОНА (15 отведений) и межгрупповой фактор ЗАДАНИЕ (5 заданий). Было выделено 2 временных интервала для оценки: 200–296 мс и 524–624 мс.

Проводился расчет следующих поведенческих показателей выполнения заданий: (1) время ответа – время (мс) от начала предъявления стимула до нажатия на кнопку (обозначение нахождения ответа). Время ответа оценивалось в каждой пробе каждого задания и усреднялось для каждого участника и по группе; (2) количество ответов – рассчитывался процент найденных ответов (при нажатии на кнопку и наличии озвученного ответа) от общего количества предъявленных проб в каждом задании.

Для поведенческих показателей оценивалось соответствие распределения нормальному (с использованием критерия Шапиро–Уилкса) и использовался соответствующий критерий параметрической или непараметрической статистики: ANOVA или ранговый дисперсионный анализ Краскела–Уоллиса и медианный тест для сравнения нескольких независимых групп. Анализ проводился в программном пакете Statistica 10.0.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

*Поведенческие данные.* При выполнении заданий оценивали количество ответов (процент проб с ответами от всего количества проб данного класса) и время ответа (время нажатия на кнопку от момента предъявления стимула).

Время ответа при выполнении каждого из заданий не отклонялось от нормального распределения согласно критерию Шапиро–Уилкса. В соответствии с критерием Шапиро–Уилкса также не было выявлено отклонения распределения количества ответов от нормального – во всех заданиях, кроме CAT (перечислить объекты из категорий). В задании CAT количество ответов было больше 80% у большинства участников. Соответственно, для сравнения времени ответа между заданиями использовался дисперсионный анализ (сравнение

**Таблица 1.** Показатели выполнения тестовых заданий (M±SD).

Задание	Количество ответов, %	Время ответа, мс
Pr (придумать окончание пословиц)	53 ± 22	3207 ± 437
PrM (воспроизвести окончание пословицы)	70.5 ± 14.5	2027 ± 475
RAT (отдаленные ассоциации)	43 ± 20	2946 ± 486
AUT (необычное использование)	59 ± 17	2042 ± 536
CAT (объекты из категорий)	85 ± 11 (87, 81–93)*	1678 ± 494

*Примечание:* \* распределение не соответствует нормальному. Дополнительно приведены медиана и квартили распределения.

независимых групп), для сравнения количества ответов использовался Критерий Краскела–Уоллиса и медианный тест. Время ответа различалось между заданиями:  $F_{(4, 240)} = 77.2$ ,  $p < 0.001$ . Количество ответов также значимо отличалось между заданиями: по критерию Краскела–Уоллиса –  $H_{(4, 245)} = 114.2$ ,  $p < 0.001$ . На рис. 2 приведены результаты апостериорных анализов: LSD критерия Фишера для времени ответа и медианного теста для количества ответов.

В контрольных заданиях PrM и CAT наблюдается значимая отрицательная корреляция (по коэффициенту ранговой корреляции Спирмена) между количеством ответов и временем ответа:  $r_s = -0.36$ ,  $p < 0.05$  и  $r_s = -0.24$ ,  $p < 0.05$  соответственно. Среди творческих заданий, только в модели дивергентного мышления (AUT) наблюдалась значимая отрицательная корреляция между количеством ответов и временем ответа:  $r_s = -0.27$ ,  $p < 0.05$ . Так как время ответа оценивалось в каждой пробе, а количество ответов – это общий процент ответов из ста возможных в задании, – отрицательная корреляция этих показателей отражает, вероятно, общую беглость мышления.

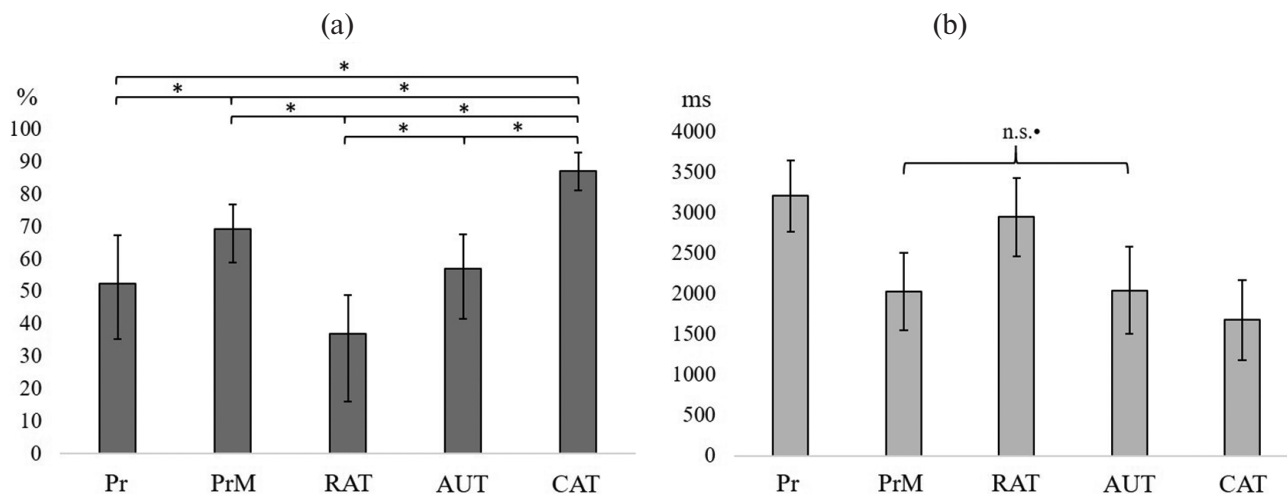
**Сравнение заданий ПОСЛОВИЦЫ и ОТДАЛЕННЫЕ АССОЦИИИ.** Выявлен значимый эффект взаимодействия факторов ЗАДАНИЕ  $\times$  ЗОНА во временном интервале 280–346 мс:  $F_{(60, 3180)} = 3.0$ ,  $\epsilon(G-G) = 0.11$ ,  $p < 0.006$ . Между творческими заданиями (Pr “найти оригинальное окончание пословицы” и RAT “найти слово, ассоциирующееся с тремя предъявленными”) различия выявлены в лобных областях F3, Fz, FC3, FCz, FC4, в которых амплитуда была более негативной в задании Pr (пословицы),

чем в задании RAT (ассоциации) и в затылочных областях O1, Oz, O2, в которых амплитуда была выше в задании Pr, чем в задании RAT (Рис. 3, I). В контрольном задании PrM (вспомнить общеизвестное окончание пословицы) амплитуда была более негативной в отведении Fz и выше (позитивной) – в отведениях Oz, O2 по сравнению с заданием RAT (ассоциации).

На временном интервале 698–786 мс был значимым эффект фактора ЗАДАНИЕ:  $F_{(2, 106)} = 3.3$ ,  $p < 0.04$ . В этом интервале амплитуда при выполнении контрольного задания PrM “вспомнить общеизвестное окончание пословицы” была выше по сравнению с обоими творческими заданиями Pr “найти оригинальное окончание пословицы” и RAT “найти слово, ассоциирующееся с тремя предъявленными” (см. рис. 3, II).

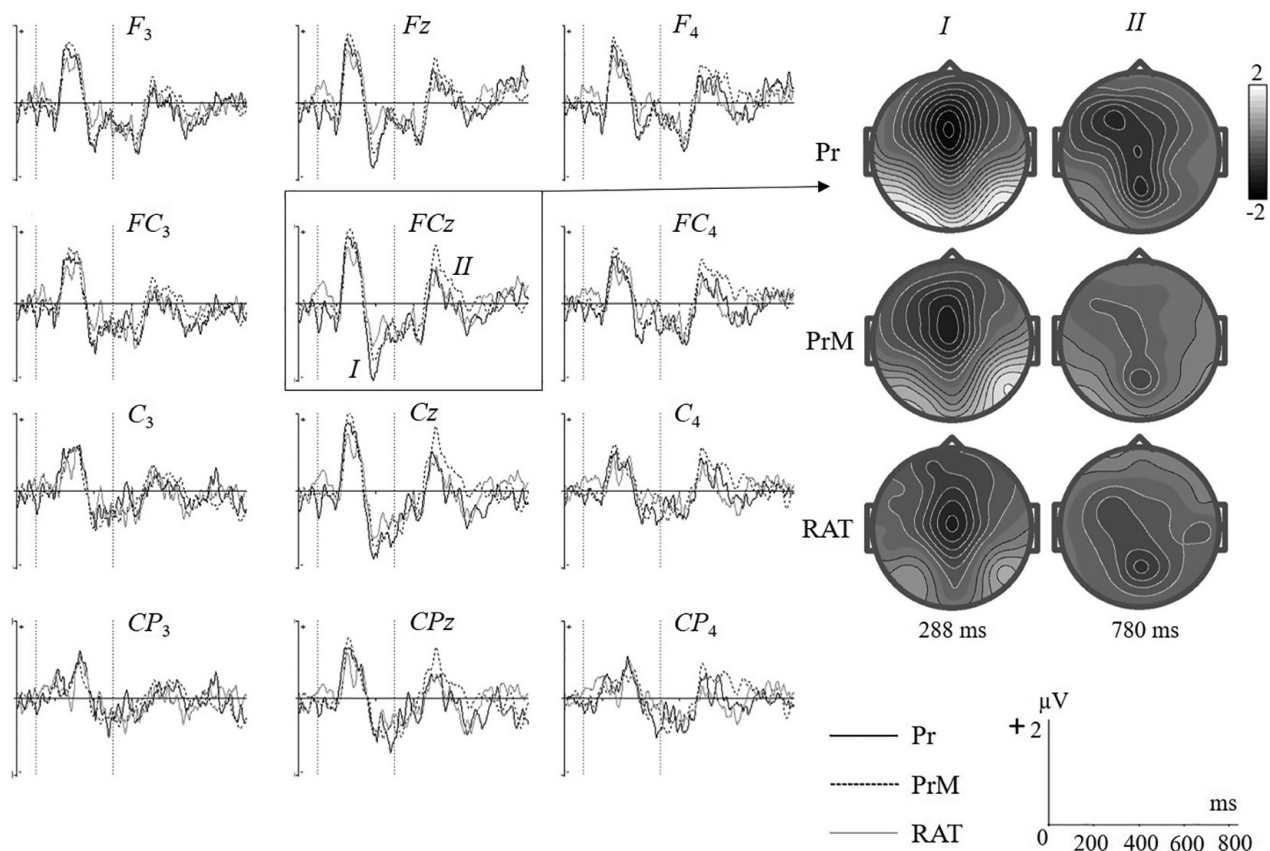
**Сравнение заданий ПОСЛОВИЦЫ, ОТДАЛЕННЫЕ АССОЦИИИ и НЕОБЫЧНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ.** В модели НЕОБЫЧНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ (придумать необычное использование предмета и перечислить объекты из категории) выявлена большая амплитуда компонента P2 по сравнению с моделями ПОСЛОВИЦЫ и ОТДАЛЕННЫЕ АССОЦИИИ. На интервале 200–296 мс эффект фактора ЗАДАНИЕ:  $F_{(4, 248)} = 9.7$ ,  $p < 0.0001$  (см рис. 4, I).

В интервале 524–624 мс различия в лобных областях обусловлены увеличением латентности позднего положительного компонента, а в затылочных и теменных областях – его большей амплитудой (см рис. 4, II). Эффект взаимодействия факторов ЗАДАНИЕ  $\times$  ЗОНА:  $F_{(56, 3472)} = 7.2601$ ,  $\epsilon(G-G) = 0.21$ ,  $p < 0.0001$ .



**Рис. 2.** Количество ответов (а) и время ответа (б) в творческих и контрольных заданиях.

По оси X – задания: Pr – придумать оригинальное окончание пословицы, меняющее ее смысл; PrM – назвать общеизвестное окончание пословицы; RAT – найти слово, употребимое с каждым из трех предъявленных; AUT – придумать оригинальные способы употребления обычных предметов; CAT – перечислить объекты из категорий. По оси Y – процент ответов, % (а), время ответа, мс (б). На рис. (а) – количество ответов (%) медианы и 2–3 квартили, скобки обозначают различия между заданиями ( $p < 0.05$ ). На рис. (б) – время ответа (мс), среднее и стандартное отклонение. Время ответа во всех заданиях отличается друг от друга, за исключением обозначенного (n. s. •) сравнения (PrM vs AUT).



**Рис. 3.** Вызванные потенциалы при выполнении заданий в моделях ПОСЛОВИЦЫ и ОТДАЛЕННЫЕ АССОЦИАЦИИ. Черная линия – задание Pr, “придумать оригинальное окончание пословицы”; Черная пунктирная линия – задание PrM, “вспомнить общеизвестное окончание пословицы”; Серая линия – задание RAT, “найти слово, которое может употребляться с каждым из трех предъявленных”. F3–CP4 – позиции электродов (модифицированная система 10/10). На каждом графике по оси x – время (мс), по оси y – амплитуда (мкВ). Топограммы представляют распределение амплитуд в указанный момент времени в выделенных интервалах различий: (I) – 280–346 мс, (II) – 698–786 мс.

**Таблица 2.** Результаты апостериорного сравнения амплитуд ВП между моделями ПОСЛОВИЦЫ, ОТДАЛЕННЫЕ АССОЦИАЦИИ и НЕОБЫЧНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ во временном интервале 524–624 мс.

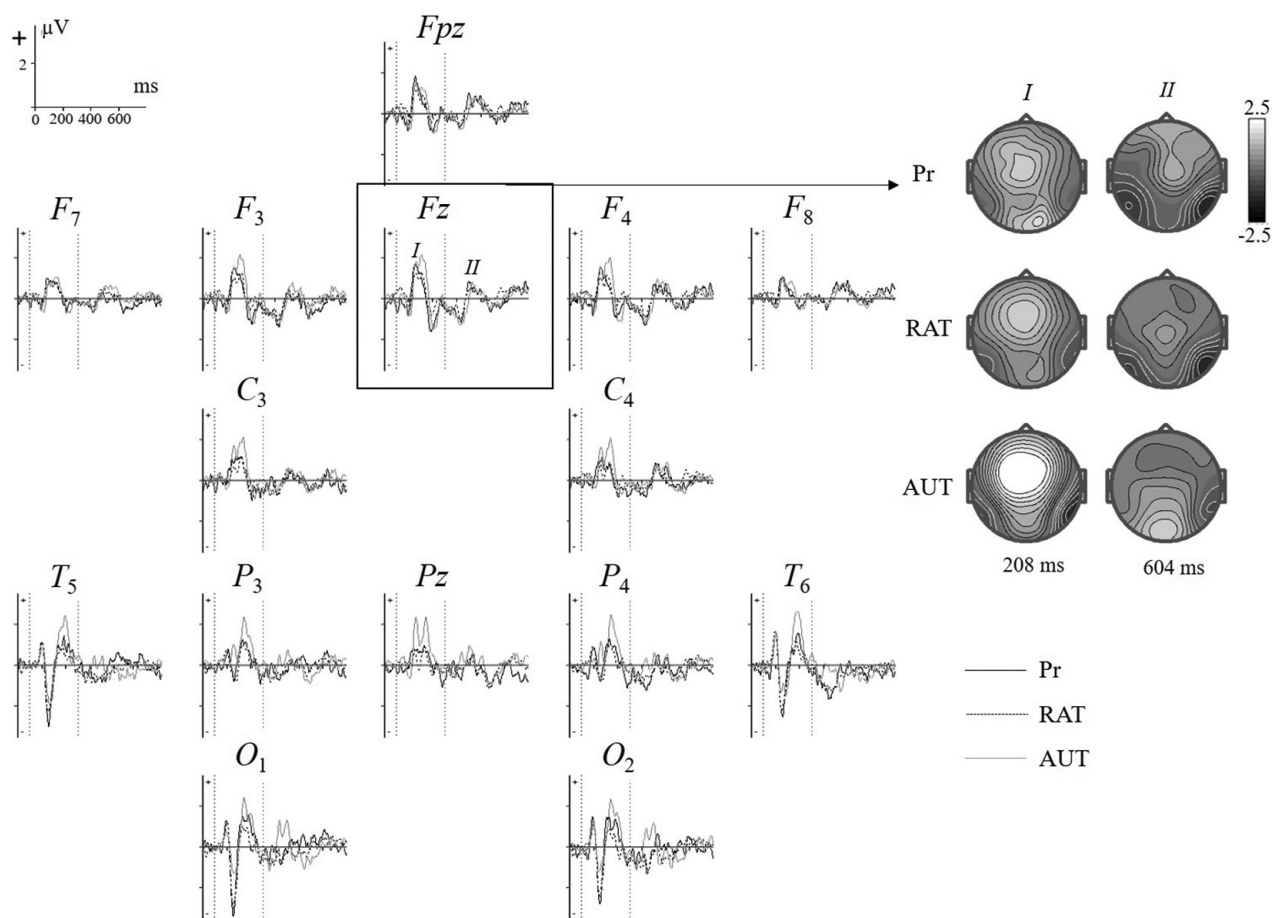
Задания	AUT	CAT
Pr	<b>Fz</b> , T5, P3, Pz, P4, T6, O1, O2	<b>Fpz</b> , <b>Fz</b> , T6, O1, O2
PrM	<b>F3</b> , <b>Fz</b> , <b>F4</b> , T5, P4, T6, O1, O2	<b>Fpz</b> , <b>F3</b> , <b>Fz</b> , <b>F4</b> , C3, T6, O1, O2
RAT	<b>Fz</b> , T5, P3, P4, T6, O1, O2	<b>F3</b> , <b>Fz</b> , T6, O1, O2

*Примечание:* Приведены названия электродов, для которых апостериорный анализ (LSD критерия Фишера) выявил значимые эффекты в соответствующих сравнениях. Жирным шрифтом выделены электроды, амплитуда ВП, в которых была более позитивной в первом из сравниваемых состояний (например, в Pr относительно AUT).

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Творческие задания, использованные в этом исследовании, разработаны для оценки разных аспектов вербальной творческой деятельности. Уже на уровне поведенческих данных о времени ответа и количестве ответов можно сделать предположение о вовлечении различных управляющих систем в процесс творческой деятельности. Наибольшее время ответа ( $3207 \pm 437$  мс) наблюдалось при выполнении творческого задания (Pr) в модели ПОСЛОВИЦЫ. В этом задании (Pr) на первый план выходила не-

обходимость затормозить стереотип долговременной памяти – то есть отказаться от общеизвестного окончания пословицы и придуматься свое. Особо подчеркивалась задача изменить первоначальный смысл пословицы. При выполнении задания Pr наблюдается большая амплитуда негативной волны на интервале 280–346 мс в сравнении с заданием RAT в лобных областях коры. В этом временном интервале рассматриваемые различия, с одной стороны, могут быть соотнесены с семейством компонентов N200 – негативной волной с максимумом амплитуды



**Рис. 4.** Вызванные потенциалы при выполнении творческих заданий в моделях ПОСЛОВИЦЫ, АССОЦИИИ, НЕОБЫЧНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ.

Черная линия – задание Pr, “придумать оригинальное окончание пословицы”; черная пунктирная линия – задание RAT, “найти слово, которое может употребляться с каждым из трех предъявленных”; серая линия – задание AUT, “придумать оригинальные способы употребления объектов”. Fpz-O2 – позиции электродов (модифицированная система 10/20). На каждом графике по оси x – время (мс), по оси y – амплитуда (мкВ). Топограммы представляют распределение амплитуд в указанный момент времени в выделенных интервалах различий: (I) – 200–296 мс, (II) – 524–624 мс.

на интервале от 200 до 350 мс [31]. Данный компонент ВП связан с механизмами когнитивного контроля, его амплитуда в лобных областях увеличивается в пробах с подавлением ответа (предъявлением неконгруэнтного стимула) в парадигме Go-NoGo, данный компонент интерпретируется как отражающий обнаружение конфликтной информации [31] и проактивный когнитивный контроль в задачах, связанных с эффектом Струпа [32] Вместе с тем в ряде исследований при оценке семантического содержания стимулов авторы выделяют компонент N300, амплитуда которого более негативна при несопадении смыслового содержания двух стимулов, предъявляемых последовательно. Компонент N300 имеет центрально-лобное распределение и рассматривается в исследованиях, связанных с оценкой семантического содержания изображений и их категоризацией [33, 34]. В исследовании [35] большая негативность N300 во временном интервале 280–360 мс наблюдалась при несопадении изображения машины и словесной метафоры, обозначающей животно-

го. Компонент N300 связывали и с семантическим праймингом, в исследованиях которого амплитуда N300 в лобных областях была более негативна для семантически несвязанных слов по сравнению со связанными [36]. Максимум амплитуды компонента N300 в отличие от более позднего семантического компонента N400 имеет центрально-лобное распределение. Амплитуда более позднего семантического компонента N400, локализация максимума которого наблюдается в центральных и теменных областях, рядом авторов соотносится с увеличением сложности интеграции новой семантической информации в контекст и процессами торможения семантической информации [37] и имеющегося знания [38]. В исследовании Debrulle и соавт. [38] в задаче соотнесения смысла двух слов, предъявляемых последовательно (второго, третьего) направленное внимание к дистрактору (слову, предъявленному первым в самом начале) увеличивало время реакции, если смысл целевого слова был связан с дистрактором, но не со смыслом слова-прайма. Заданное

инструкцией игнорирование слова-дистрактора приводило к большей негативности компонента N400 в ответ на это слово. Авторы предположили, что компонент N400 отражает не столько процессы семантической интеграции, сколько процессы торможения семантического знания. Мы предполагаем, что в нашем исследовании при создании оригинального окончания пословицы в первую очередь необходимо было затормозить стереотип долговременной памяти – общеизвестный смысл пословицы. Так как в нашем задании тормозился смысл не одного слова, а всей фразы (пословицы), данное торможение может соотноситься с эффектом большей негативности отрицательного компонента во временном окне N200/N300, наблюдаемым при рассогласовании смысла слов (можно обозначить как “эффект Струпа в семантическом поле”). Так, бóльшая негативность N300 наблюдалась при рассогласовании смысла слова (обозначающего цветной предмет) и цвета шрифта, не соответствующего типичному цвету этого предмета [39, 40]. В нашем исследовании амплитуда наблюдаемого негативного компонента с латентностью 280–346 мс была наименьшей при выполнении задания RAT, в котором, вероятно, на ранних этапах поиска ассоциаций происходит не торможение нерелевантных ассоциаций, а, напротив, активация семантического поиска.

В задании RAT время принятия решения также было достаточно большим ( $2946 \pm 486$  мс) и не коррелировало с количеством найденных ответов, как и в задании Pr. Мы можем предположить, что в этих двух моделях творческой деятельности в меньшей степени задействуется фактор беглости вербального мышления или извлечения из памяти. В контрольном задании (вспомнить общеупотребимое окончание пословицы, PrM) – наблюдается отрицательная корреляция между количеством ответов и временем ответа в каждой отдельной пробе, указывающая, вероятно, на связь беглости извлечения из памяти и продуктивности выполнения данного задания. В исследовании Wang и соавт. [41] изучали влияния перцептивной и понятийной беглости на ВП при извлечении из памяти и выявили, что перцептивная беглость влияет на амплитуды ВП в интервале 100–200 мс, тогда как понятийная беглость влияет на амплитуды ВП на интервале 300–700 мс. При вспоминании и узнавании ранее предъявленных объектов, на которые создавался понятийный прайминг: амплитуда ВП в лобных областях была выше на интервале 300–500 мс, по сравнению с условием отсутствием прайминга. В теменных областях понятийный прайминг приводил к уменьшению латентности пика амплитуды поздней положительной волны и увеличению ее амплитуды на интервале 500–700 мс. В нашем исследовании вспоминание последнего слова пословицы (PrM),

по-видимому, актуализирует весь ее смысл и может соотноситься с достаточно поздними эффектами в ВП.

Далее, в нашем исследовании различия между творческими заданиями Pr и RAT и контрольным заданием (вспомнить окончание пословицы, PrM) наблюдались на интервале 698–786 мс, в котором амплитуда была ниже при выполнении обоих творческих заданий по сравнению с контрольным (PrM). Данный эффект при выполнении творческих задач, вероятно, сопоставим с результатами исследования [42], где были выявлены меньшие значения амплитуд поздних компонентов ВП на интервале 500–900 мс при восприятии новых метафор и бессмысленных фраз по сравнению с обычными (неоригинальными/контрольными) осмысленными фразами. В исследовании [43] амплитуды поздних компонентов ВП для усредненных центральных и теменных зон во временном окне 500–900 мс по мнению авторов были чувствительны к процессам семантической интеграции и расширения концепций, так как при установлении связи между ранее несвязанными понятиями (оценка оригинального использования предмета) амплитуда ВП была ниже, чем при восприятии давно установленного смысла (обычное, неоригинальное использование). В теменных областях на временном интервале 500–900 мс в исследовании [42] при творческой деятельности наблюдалась более негативная волна, что, согласно мнению авторов, свидетельствовало о продолжающихся процессах семантического поиска.

В приведенных работах участники оценивали предъявленные им варианты оригинальных и не оригинальных фраз, в отличие от нашего исследования, в котором участники сами должны были придумать новый смысл (задание ПОСЛОВИЦЫ) или открыть для себя новые ассоциации (задание RAT). В нашем исследовании, по сравнению с приводимыми выше, различия имели более фронтальное распределение. Мы предполагаем, что бóльшая амплитуда в контрольном задании “вспомнить общеизвестное окончание пословицы (PrM)” может отражать механизмы семантической интеграции и долговременной памяти. Так, согласно литературным данным, амплитуда позднего положительного компонента в лобных областях коры (600–800 мс) была выше при восприятии идиоматических выражений (закрепленных в памяти) по сравнению с буквальными фразами в исследовании [44].

В контрольном задании (PrM) по сравнению с обеими творческими задачами (Pr, RAT) время ответа было значимо меньше ( $2027 \pm 475$  мс по сравнению с  $3207 \pm 437$  мс и  $2946 \pm 486$  мс) и наблюдалась значимая связь между скоростью ответа, свидетельствующая о влиянии когнитивной беглости на выполнение задания на память.



При общем сравнении творческих заданий на преодоление стереотипа (Pr) и поиск отдаленных ассоциаций (RAT) с заданием “придумать необычное использование” (AUT) наблюдаются более низкие амплитуды положительного компонента ВП на временном интервале 200–296 мс, что может соответствовать компоненту P200. В лингвистических исследованиях показано увеличение амплитуды P200 при повторном предъявлении слов [45]. Одно из объяснений заключается в том, что амплитуда P200 обратно коррелирует со степенью ко-активации среди лексических слов-кандидатов [46] и при повторении слова такая ко-активация снижается. Тем не менее, мы не можем связать амплитуду P200 только с лексическими процессами, так как в условиях выравненного по частоте предъявления AUT (одинаково частого) амплитуда P200 также была ниже при выполнении заданий в условиях совместной деятельности по сравнению с индивидуальной [23]. Уменьшение амплитуды P200 в условиях социального взаимодействия могло быть связано с перераспределением фокуса внимания от восприятия и обработки стимулов в задаче к обработке социальных сигналов. В задачах придумать собственное оригинальное окончание пословицы (Pr) и найти отдаленные ассоциации (RAT) наблюдается и ко-активация различных конкурирующих лексических единиц и торможение первых распространенных ассоциаций, что, по-видимому, отражается в более низкой амплитуде компонента P2. Задание на дивергентное мышление (придумать необычное использование AUT), отличается от других творческих заданий меньшей длительностью ответа ( $2042 \pm 536$  мс по сравнению с  $3207 \pm 437$  мс и  $2946 \pm 486$  мс) и обратной корреляцией скорости ответа и количества ответов, свидетельствуя о связи творческой продуктивности при дивергентном мышлении с когнитивной беглостью. В задневисочных и затылочных областях амплитуда позднего компонента (524–624 мс) была выше при создании необычных способов употребления предметов (AUT) по сравнению с остальными творческими заданиями (RAT, Pr). Мы предполагаем, что при выполнении данного задания возможно привлечение механизмов зрительного воображения при продумывании способов использования обычных объектов. Известно, что при сравнении вспоминания конкретных и абстрактных слов наблюдается большая амплитуда на временном интервале 500–700 мс и 700–1000 мс при восприятии конкретного слова (обозначающего предметы, которые могут быть зрительно представлены) [47]. В нашем исследовании, одной из основных стратегий придумывания способов использования предметов, вероятно, является представление (в том числе, зрительного) конкретных условий и способов использования, тогда как и смысл пословиц, и отдаленные ассоциации – более абстрактные понятия.

В проведенном исследовании мы рассматривали начальные стадии обработки информации при выполнении разных типов творческих заданий (различия ВП до 800 мс). В эти этапы, вероятно, входит процесс торможения первоначально возникающих ассоциаций вербальной долговременной памяти, процессы семантической интеграции и зрительного воображения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование было направлено на выявление различий ВП при разных типах творческой деятельности – выполнении заданий, направленных на вовлечение дивергентного мышления, ассоциативного мышления и преодоления стереотипа долговременной памяти. Большая негативность компонента с латентностью N300, вероятно, отражает торможение долговременного стереотипа, что соотносится с выполнением творческого задания пословицы (Pr) – придумать окончание, меняющее смысл пословицы. Семантический поиск и интеграция новой информации в сравнении с извлечением известной информации из памяти (PrM) характеризовались меньшими значениями амплитуды позднего компонента ВП на интервале 698–786 мс в заданиях пословицы (Pr) и отдаленные ассоциации (RAT). Продуктивность выполнения творческого задания на дивергентное мышление (AUT), так же как и контрольного задания (перечислить предметы из категории, CAT) была, по-видимому, связана с вербальной беглостью, на что указывает отрицательная корреляция между количеством ответов и временем ответа, в то время как выполнение других творческих заданий не характеризовалось подобными закономерностями. При выполнении заданий Pr и RAT на интервале 524–624 мс в теменных и затылочных областях выявлена меньшая амплитуда (более отрицательная) по сравнению с заданием AUT, что может быть связано с продолжающимися процессами семантического синтеза, так как время принятия решения в данных заданиях было значительно дольше, чем в задании AUT ( $3207 \pm 437$  мс и  $2946 \pm 486$  мс по сравнению с  $2042 \pm 536$  мс). Большая амплитуда поздних компонентов в теменных областях (и положительная волна в затылочных областях) при дивергентном мышлении (AUT) может соответствовать большей образности данного задания по сравнению с более вербально-абстрактными заданиями на ассоциации и изменение смысла пословиц. Так как время обозначения нахождения ответа в разных творческих заданиях происходило от 2000 до 3000 мс, а в статье рассматриваются различия до 800 мс, мы можем заключить, что на сравнительно ранних этапах обработки информации в вербальных творческих заданиях проявляется специфика ВП для разных моделей творческой деятельности при сходных условиях предъявления.

## ВКЛАДЫ АВТОРОВ

Вклад авторов: идея работы и планирование экспериментов (Н.В.Ш.), регистрация, обработка и анализ данных (Н.В.Ш., Ж.В.Н.), написание и редактирование рукописи (Н.В.Ш., Ж.В.Н.).

## СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Все проведенные с участием испытуемых исследования, соответствовали этическим стандартам национального комитета по исследовательской этике и Хельсинкской декларации 1964 г. и ее последующим изменениям. Испытуемые давали добровольное информированное согласие на участие в исследованиях. Процедуры были одобрены Этическим комитетом института (ИЭФБ РАН) – № 2-02 от 02.02.2022.

## ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 22-28-02073).

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

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

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Runco MA, Jaeger GJ* (2012) The standard definition of creativity. *Creat Res J* 24: 92–96. <https://doi.org/10.1080/10400419.2012.650092>
2. *Guilford JP* (1967) *The Nature of Human Intelligence*. New York: McGraw-Hill.
3. *Guilford JP* (1962) Potentiality for creativity. *Gifted Child Quarterly* 6: 87–90.
4. *Torrance EP* (2000). *Research review for the Torrance Tests of Creative Thinking Figural and Verbal forms A and B*. Bensenville, IL: Scholastic Testing Services.
5. *Mednick S* (1962). The associative basis of the creative process. *Psycholog Rev* 69:220–232. <https://doi.org/10.1037/h0048850>
6. *Wu CL, Huang SY, Chen PZ, Chen HC* (2020) A Systematic Review of Creativity-Related Studies Applying the Remote Associates Test From 2000 to 2019. *Front Psychol* 11:573432. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.573432>
7. *Vitrano D, Altarriba J, Leblebici-Basar D* (2021) Revisiting Mednick's (1962) Theory of Creativity with a Composite Measure of Creativity: The Effect of Stimulus Type on Word Association Production. *J Creat Behavior* 55: 925–936. <https://doi.org/10.1002/jocb.498>
8. *Бехтерева НП* (2006) Магия творчества и психофизиология. Факты, соображения, гипотезы. СПб: Изд-во “Институт мозга человека РАН” 79. [*Bekhtereva NP* (2006) The magic of creativity and psychophysiology. Facts, considerations, hypotheses. St. Petersburg: Publishing house “Institute of Human Brain RAS” 79. (In Russ)].
9. *Ушаков ДВ* (2011) Психология интеллекта и одаренности. М.: Изд-во “Институт психологии РАН” 464. [*Ushakov DV* (2011) *Psychology of intelligence and talent*. M.: Publishing house “Institute of Psychology RAS” 464. (In Russ)].
10. *Bechtereva NP* (2009) The usefulness of psychophysiology in the maintenance of cognitive life. *Int J Psychophysiol* 73:83–87. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2008.03.016>
11. *Kraus B, Cadle C, Simon-Dack S* (2019) EEG alpha activity is moderated by the serial order effect during divergent thinking. *Biol Psychol* 145:84–95. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2019.04.003>
12. *Agnoli S, Zanon M, Mastroia S, Avenanti A, Corazza GE* (2020) Predicting response originality through brain activity: An analysis of changes in EEG alpha power during the generation of alternative ideas. *Neuroimage* 207:116385. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.116385>
13. *Wang M, Hao N, Ku Y, Grabner RH, Fink A* (2017) Neural correlates of serial order effect in verbal divergent thinking. *Neuropsychologia* 99:92–100. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2017.03.001>
14. *Nagy B, Czigler I, Csizmadia P, File D, Fáy N, Gaál ZA* (2023) Investigating the involvement of cognitive control processes in innovative and adaptive creativity and their age-related changes. *Front Hum Neurosci* 17:1033508. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2023.1033508>
15. *Benedek M, Schickel RJ, Jauk E, Fink A, Neubauer AC* (2014) Alpha power increases in right parietal cortex reflects focused internal attention. *Neuropsychologia* 56:393–400. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2014.02.010>
16. *Heinonen J, Numminen J, Hlushchuk Y, Antell H, Taatila V, Suomala J* (2016). Default Mode and Executive Networks Areas: Association with the Serial Order in Divergent Thinking. *PLoS One* 11: e0162234. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0162234>
17. *Zabelina DL, Friedman NP, Andrews-Hanna J.* (2019) Unity and diversity of executive functions in creativity. *Conscious Cogn* 68:47–56. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2018.12.005>
18. *Palmiero M, Fusi G, Crepaldi M, Borsa VM, Rusconi ML* (2022) Divergent thinking and the core executive functions: a state-of-the-art review. *Cogn Process* 23:341–366. <https://doi.org/10.1007/s10339-022-01091-4>
19. *Shemyakina NV, Danko SG, Nagornova ZhV, Starchenko MG, Bechtereva NP* (2007) Changes in the power and coherence spectra of the EEG rhythmic components during solution of a verbal creative task of overcoming a stereotype. *Hum Physiol* 33: 524–530. <https://doi.org/10.1134/S0362119707050027>
20. *Shemyakina NV, Nagornova ZV* (2020) Does the Instruction “Be Original and Create” Actually Affect the EEG Correlates of Performing Creative Tasks? *Hum Physiol* 46: 587–596. <https://doi.org/10.1134/S0362119720060092>
21. *Bowden EM, Jung-Beeman M* (2003) Normative data for 144 compound remote associate problems. *Behav Res Methods Instrum Comput* 35:634–639. <https://doi.org/10.3758/bf03195543>

22. *Razumnikova OM* (2007) Creativity related cortex activity in the remote associates task. *Brain Res Bull* 73:96–102. <https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2007.02.008>
23. *Nagornova ZV, Galkin VA, Vasenkina VA, Grokhotova AV, Shemyakina NV* (2022). Neurophysiological Characteristics of Alternative Uses Task Performance by Means of ERP and ERS/ERD Data Analysis Depending on the Subject's Productivity and Originality Levels. *Hum Physiol* 48: 609–632. <https://doi.org/10.1134/S036211972270013X>
24. *Shemyakina NV, Nagornova ZhV* (2020) Event-related changes in EEG spectral power corresponding to creative and trivial decisions. *Russ J Physiol* 106:880–889. <https://doi.org/10.31857/S0869813920070067>
25. *Shemyakina NV, Nagornova ZV* (2019) EEG “Signs” of Verbal Creative Task Fulfillment with and without Overcoming Self-Induced Stereotypes. *Behav Sci (Basel)* 10(1):17. <https://doi.org/10.3390/bs10010017>
26. *Воронин АН, Галкина ТВ* (1994) Диагностика вербальной креативности (адаптация теста Медника). Методы психологической диагностики. Сборник статей. Выпуск 2. Отв. ред. А.Н. Воронин. М: Изд-во “Институт психологии РАН”: 40–81.
27. *Vigario RN* (1997) Extraction of ocular artefacts from EEG using independent component analysis. *Electroenceph Clin Neurophysiol* 103(3): 395–404. [https://doi.org/10.1016/S0013-4694\(97\)00042-8](https://doi.org/10.1016/S0013-4694(97)00042-8)
28. *Jung TP, Makeig S, Humphries C, Lee TW, McKeown MJ, Iragui V, Sejnowski TJ* (2000) Removing electroencephalographic artifacts by blind source separation. *Psychophysiology* 37:163–178. <https://doi.org/10.1111/1469-8986.3720163>
29. *Tereshchenko EP, Ponomarev VA, Kropotov YD, Müller A* (2009) Comparative efficiencies of different methods for removing blink artifacts in analyzing quantitative electroencephalogram and event-related potentials. *Hum Physiol* 35:241–247. <https://doi.org/10.1134/S0362119709020157>
30. *Kozhushko NJ, Nagornova ZV, Evdokimov SA, Shemyakina NV, Ponomarev VA, Tereshchenko EP, Kropotov JD* (2018) Specificity of spontaneous EEG associated with different levels of cognitive and communicative dysfunctions in children. *Int J Psychophysiol* 128:22–30. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2018.03.013>
31. *Folstein JR, Van Petten C* (2008) Influence of cognitive control and mismatch on the N2 component of the ERP: a review. *Psychophysiology*. 45:152–170. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2007.00602.x>
32. *Hinault T, Larcher K, Zazubovits N, Gotman J, Dagher A* (2019) Spatio-temporal patterns of cognitive control revealed with simultaneous electroencephalography and functional magnetic resonance imaging. *Hum Brain Mapp* 40:80–97. <https://doi.org/10.1002/hbm.24356>
33. *McPherson WB, Holcomb PJ* (1999) An electrophysiological investigation of semantic priming with pictures of real objects. *Psychophysiology* 36:53–65. <https://doi.org/10.1017/s0048577299971196>
34. *Hamm JP, Johnson BW, Kirk IJ* (2002) Comparison of the N300 and N400 ERPs to picture stimuli in congruent and incongruent contexts. *Clin. Neurophysiol* 113:1339–1350. [http://dx.doi.org/10.1016/S1388-2457\(02\)00161-X](http://dx.doi.org/10.1016/S1388-2457(02)00161-X)
35. *Ma Q, Hu L, Xiao C, Bian J, Jin J, Wang Q* (2016) Neural correlates of multimodal metaphor comprehension: Evidence from event-related potentials and time-frequency decompositions. *Int J Psychophysiol* 109:81–91. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2016.09.007>
36. *Franklin MS, Dien J, Neely JH, Huber E, Waterson LD* (2007) Semantic priming modulates the N400, N300, and N400RP. *Clin Neurophysiol* 118:1053–1068. <http://dx.doi.org/10.1016/j.clinph.2007.01.012>
37. *Debruille JB* (2007) The N400 potential could index a semantic inhibition. *Brain Res Rev* 56:472–477. <https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2007.10.001>
38. *Debruille JB, Ramirez D, Wolf Y, Schaefer A, Nguyen TV, Bacon BA, Renoult L, Brodeur M* (2008) Knowledge inhibition and N400: a within- and a between-subjects study with distractor words. *Brain Res* 1187:167–183. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2007.10.021>
39. *Xiao X, Qiu J, Zhang Q* (2009) The dissociation of neural circuits in a Stroop task. *Neuroreport* 20:674–678. <https://doi.org/10.1097/WNR.0b013e32832a0a10>
40. *Wei D, Qiu J, Tu S, Tian F, Su Y, Luo Y* (2010) Earthquake experience interference effects in a modified Stroop task: an ERP study. *Neurosci Lett* 474:121–125. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2010.03.005>
41. *Wang W, Li B, Gao C, Guo C* (2018) The temporal dynamics of perceptual and conceptual fluency on recognition memory. *Brain Cogn* 127:1–12. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2018.07.002>
42. *Abraham A, Rutter B, Hermann C* (2021) Conceptual expansion via novel metaphor processing: An ERP replication and extension study examining individual differences in creativity. *Brain Lang* 221:105007. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2021.105007>
43. *Kröger S, Rutter B, Hill H, Windmann S, Hermann C, Abraham A* (2013) An ERP study of passive creative conceptual expansion using a modified alternate uses task. *Brain Res* 1527:189–198. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2013.07.007>
44. *Proverbio AM, Crotti N, Zani A, Adorni R* (2009) The role of left and right hemispheres in the comprehension of idiomatic language: an electrical neuroimaging study. *BMC Neurosci* 10:116. <https://doi.org/10.1186/1471-2202-10-116>
45. *Petten CV, Kutas M, Kluender R, Mitchiner M, McIsaac H* (1991) Fractionating the word repetition effect with event-related potentials. *J Cogn Neurosci* 3:131–150. <https://doi.org/10.1162/jocn.1991.3.2.131>
46. *Hsu CH, Lee CY* (2023) Reduction or enhancement? Repetition effects on early brain potentials during visual word recognition are frequency dependent. *Front Psychol* 14:994903. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.994903>
47. *Peng Y, Liu Y, Guo C* (2019) Examining the neural mechanism behind testing effect with concrete and abstract words. *Neuroreport* 30:113–119. <https://doi.org/10.1097/WNR.0000000000001169>

## EVENT RELATED BRAIN POTENTIALS' CHARACTERISTICS IN THE DIFFERENT MODELS OF VERBAL CREATIVE THINKING

N. V. Shemyakina<sup>a, #</sup>, and Zh. V. Nagornova<sup>a</sup>

<sup>a</sup> *Sechenov Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia*

<sup>#</sup> *e-mail: shemyakina\_n@mail.ru*

The comparative study of three different models of creative thinking in unified event-related (ERP) paradigm is presented. The subjects (18–35 years old) performed the following tasks: PROVERBS (a divergent creative task to overcome stereotypes of long-term memory), REMOTE ASSOCIATIONS (a convergent creative task activating remote semantic fields), ALTERNATIVE USES TASK (a divergent creative task with the initiation of the associative search process). In the creative tasks, subjects required to create an original ending to a proverb (Pr), find a word that could be matched with three presented words from different semantic fields (RAT), invent original ways of using common objects (AUT). In the control tasks subjects were required to recall a well-known ending to a proverb (PrM), and to list/name objects from a given category (CAT). The ERP amplitudes were analyzed when comparing the tasks with each other. Greater negativity was observed for the N300 component in frontal regions (280–346 ms after stimuli onset) in the Pr task, which probably reflects inhibition of the patterns of long-term memory. In the Pr and RAT tasks, semantic retrieval and integration of new information versus retrieval of known information from memory (PrM) was characterized by lower amplitude values of late components at the 698–786 ms interval. The greater amplitude of late ERP components in parietal regions (524–624 ms) during divergent thinking (AUT) may correspond to the greater emergence of images in this task compared to more abstract RAT and Pr tasks. Thus, even in the early stages of information processing in verbal creative tasks performance, the specificity of different models of creative thinking is appears in the same temporal paradigm and similar visual stimuli presentation.

*Keywords:* EEG, event-related potentials (ERP), verbal creativity, remote association task (RAT), alternative uses task (AUT), proverbs, P200, late positivity