

## ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ СОТРУДНИЧЕСТВА НА АМПЛИТУДЫ ВЫЗВАННЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ ПРИ ТВОРЧЕСКОЙ И НЕТВОРЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

© 2024 г. Ж. В. Нагорнова<sup>1,\*</sup>, Н. В. Шемякина<sup>1,\*\*</sup>

<sup>1</sup>Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова РАН, Санкт-Петербург, Россия

\* E-mail: nagornova\_zh@mail.ru

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

Поступила в редакцию 07.12.2023 г.

После доработки 11.12.2024 г.

Принята к публикации 12.12.2024 г.

Данная работа является продолжением ряда работ по исследованию влияния условий социального взаимодействия (соревнования или сотрудничества) на мозговые корреляты вербальной творческой деятельности. В работе рассматривается модель сотрудничества, в которой участникам ставилась задача вместе, хотя и не советуясь, придумать как можно больше ответов в творческом и нетворческом заданиях. Испытуемые (4 мужчин, 26 женщин) выполняли два типа заданий индивидуально и в условиях сотрудничества в парах (мужчина-мужчина, женщина-женщина): творческое — придумать необычное использование повседневного предмета, и нетворческое — перечислить предметы из предложенных категорий. Сравнивали вызванные потенциалы (ВП) в каждом из заданий между условиями сотрудничества и индивидуального выполнения. Условия сотрудничества приводили к уменьшению амплитуды компонента P200 на временном интервале 148–272 мс от начала предъявления стимула как при творческой, так и при нетворческой деятельности, свидетельствуя о снижении внимания к стимулу в условиях социального взаимодействия. При выполнении творческого задания наблюдается большая амплитуда позднего позитивного компонента на интервале 662–1240 мс — в задневисочных и затылочных отведениях, что может отражать активацию височно-теменного соединения, вовлеченного в процессы “понимания другого”.

**Ключевые слова:** ЭЭГ, вызванные потенциалы (ВП), вербальная творческая деятельность, сотрудничество, социальные взаимодействия, тест альтернативного использования, P200

**DOI:** 10.31857/S0044452924010088, **EDN:** ZFJYHO

### ВВЕДЕНИЕ

Социальное взаимодействие существенным образом влияет на нейрофизиологические механизмы той или иной деятельности. Мозговая активность при выполнении заданий в условиях взаимодействия с реальным партнером отличается от взаимодействия с компьютерной программой [1, 2] или, как нами было показано ранее, от выполнения заданий индивидуально [3]. Даже при восприятии записи речи, если испытуемый думает, что это живая речь невидимого социального партнера — наблюдается активация индивидуальных зон сети ментализации (mentalizing) для понимания состояния другого человека, отсутствующая, если участник знал, что прослушивает запись речи [4]. Исследования с использованием подходов гиперсканинга (то есть одновременной синхронной регистрации показателей активности мозга у двух и более участников социального взаимодействия) демонстрируют, что условия совместной деятельности модулируют активность дорсомедиальной префронтальной коры (dorsomedial prefrontal

cortex), височно-теменного соединения (temporoparietal junction) и передней поясной коры (anterior cingulate cortex) при участии в экономических играх [5]. Творческая деятельность в условиях совместного выполнения (прежде всего, музыкальное творчество) характеризуется увеличением индивидуальной синхронизации и межсубъектной синхронизации между участниками в низкочастотных диапазонах (дельта, тета и низкочастотный альфа-диапазоны ЭЭГ) в лобных и центральных областях [6] и увеличением десинхронизации (оцениваемой для участников отдельно) в альфа-диапазоне ЭЭГ [7]. При совместной игре на музыкальных инструментах, как модели сотрудничества в творческой деятельности — наблюдается увеличение межсубъектной синхронизации ЭЭГ [см. для обзора 8].

Вербальная творческая деятельность (придумывание необычного использования) в условиях сотрудничества приводит к увеличению индекса межсубъектной синхронизации активности правой дорсолатеральной префронтальной коры и правого височно-теменного

соединения по данным спектроскопии в ближней инфракрасной области [9]. В условиях соревнования такой паттерн межсубъектной синхронизации не наблюдался [9]. Условие сотрудничества приводило к увеличению беглости и оригинальности идей по сравнению с условием соревнования. В нашем предыдущем исследовании было показано, что условие соревнования значительно уменьшает количество ответов в творческом и нетворческом заданиях и приводит к уменьшению амплитуд как перцептивных, так и семантических компонентов вызванных потенциалов (ВП) [3]. Целью данной работы была оценка влияния условий сотрудничества на амплитуды вызванных потенциалов при вербальной творческой и нетворческой деятельности.

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

**Участники.** В исследовании одновременной деятельности приняли участие 15 пар испытуемых (мужчина-мужчина, женщина-женщина) 18–22 лет (4 мужчин, 26 женщин), студенты вузов естественно-научного и гуманитарного профиля. Участники на момент проведения исследования были здоровы, без неврологических нарушений и соматических заболеваний, не проходили медикаментозную терапию. Участие в исследовании было добровольным, участники давали информированное согласие после ознакомления с процедурой и целями исследования.

**Задания, процедура исследования.** Исследование проводилось в тихом, освещенном помещении. Испытуемые располагались в креслах на равном расстоянии (1.5 м) от монитора компьютера, на котором предъявлялись стимулы. Предъявление стимулов осуществлялось в программе PsyTask, в центре экрана черным шрифтом (Times New Roman, 48 кегль) на белом фоне, все буквы строчные. Участники выполняли два типа заданий: творческое задание — придумать как можно больше способов необычного использования обычного предмета (тест альтернативного использования [10]) и нетворческое — перечислить объекты из предложенной категории. В творческой задаче испытуемым предлагались повседневные предметы, например: газета, скрепка, гвоздь и др., в контрольном задании — названия широко распространенных категорий: мебель, посуда, транспорт и т. п. Задания выполнялись в парадигме вызванных потенциалов и были организованы в короткие блоки. В каждом блоке проб испытуемому предъявлялось около 10 одинаковых стимулов с одинаковой инструкцией (один и тот же предмет или название категории). В каждой пробе через 300 мс от начала пробы предъявлялся стимул: слово, обозначающее предмет или категорию (длительность предъявления 400 мс). Стимул сменялся точкой в центре экрана для фиксации взгляда (длительность предъявления 4400 мс). В этот период времени испытуемые должны были придумать ответ, мысленно “проговорить” его и нажать на кнопку мыши. На 5100-й мс предъявлялся знак вопроса (“?”)

с экспозицией 100 мс, после которого испытуемые озвучивали ответ. В случае отсутствия ответа — испытуемые на кнопку мыши не нажимали и после знака вопроса говорили слово “нет”. Длительность межпробного интервала была рандомизирована от 2500 до 3000 мс. Блоки творческого и контрольного заданий чередовались между собой. Всего предъявлялось более 100 проб в “творческих” и “контрольных” блоках. В творческом задании перед испытуемыми ставилась инструкция “быть оригинальным” — т. е. придумывать наиболее интересные и необычные способы использования объектов.

Задания выполнялись в двух условиях — в условиях совместной деятельности и индивидуально. Порядок индивидуального или совместного выполнения был рандомизирован между парами участников — 8 пар испытуемых начинали выполнять задания совместно, а затем — каждый участник выполнял такое же задание, но с другими стимулами индивидуально, 7 пар участников выполняли задание сначала индивидуально, а потом — совместно. Совместная деятельность выполнялась в условиях сотрудничества. Участникам показывалась гистограмма с количеством ответов других пар и сообщалось, что их задача — вдвоем придумать как можно больше идей использования предметов (или перечислить как можно больше объектов из категорий) — так, чтобы превысить количество ответов, данных другими парами. Никакого поощрения за “победу” участникам пары не обещалось.

После исследования испытуемые оценивали субъективную сложность заданий (по 10-балльной шкале: 1 — минимум, 10 — максимум), силу и знак эмоций, возникавших во время выполнения задания (от -10 до 10), а также оценивали “степень сотрудничества” партнера в паре (по 10-балльной шкале).

**Регистрация ЭЭГ (ВП).** Регистрацию ЭЭГ при выполнении задания проводили с использованием 32-х канального электроэнцефалографа “Мицар” (ООО “Мицар”, С.-Петербург) при помощи программного пакета WinEEG (Пономарев В.А., Кропотов Ю.Д., № государственной регистрации 2001610516 от 08.05.2001) монополярно, от 15 хлорсеребряных электродов, расположенных на голове испытуемых по модифицированной системе 10–20 (Fpz, F7, F3, Fz, F4, F8, C3, C4, T5, P3, Pz, P4, T6, O1, O2), в полосе пропускания от 0.53–150 Гц, режекторный фильтр 50 Гц, с частотой оцифровки сигнала 500 Гц. Объединенный ушной электрод располагался на мочках обеих ушей, заземляющий электрод — в передне-центральной отведении на поверхности головы. Сопротивление электродов не превышало 5 кОм.

**Предобработка ЭЭГ и расчет ВП.** В записях ЭЭГ корректировались артефакты горизонтальных и вертикальных движений глаз методом пространственной фильтрации путем обнуления соответствующих независимых компонентов ЭЭГ [11–13]. Далее автоматически из ЭЭГ исключались фрагменты, содержащие волны с амплитудой больше 100 мкВ и фрагменты ЭЭГ, содержащие медленные волны (0–2 Гц с амплитудой выше 50 мкВ)

и быстрые волны (25–35 Гц с амплитудой выше 35 мкВ). После автоматического исключения артефактов проводили визуальный анализ его качества. Расчет вызванных потенциалов проводился только на безартефактных пробах, в которых испытуемые нашли ответ и нажали на кнопку. ВП рассчитывались в интервале от 300 мс до предъявления стимула и 2000 мс после. Усреднение ВП проводилось для каждого испытуемого, каждого электрода и каждого типа проб (творческое, контрольное задания) отдельно.

**Статистический анализ.** Сравнивали амплитуды усредненных ВП между условиями индивидуального и совместного выполнения заданий с использованием дисперсионного анализа для повторных измерений (RM-ANOVA) для факторов УСЛОВИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ (совместно/индивидуально) и ЗОНА (15 отведений ЭЭГ) и их взаимодействий в творческом и контрольном заданиях отдельно для всех отведений и в областях интереса с учетом поправки Гринхауза-Гейсера [14]. Как области интереса выделены лобные зоны: электроды F7, F3, Fz, F4, F8, и задневисочные-затылочные зоны: электроды T5, T6, O1, O2, чьи проекции соотносятся с областями дорсомедиальной префронтальной коры и височно-теменного соединения, играющими роль в социальных взаимодействиях [21–24]. Апостериорный анализ проводился с использованием LSD критерия Фишера. Интервалы и топографии различий определялись по полумаксимуму разностной волны между ВП в условиях соревнования и индивидуального выполнения.

Поведенческие данные между состояниями сравнивались при помощи непараметрического критерия Вилкоксона, для всех поведенческих данных и результатов субъективных оценок приводятся значения медиан и нижнего-верхнего квартилей распределения. Статистический анализ проводился в программном пакете Statistica 10.0.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### *Поведенческие результаты выполнения творческого и нетворческого заданий в условиях сотрудничества и индивидуального выполнения*

Поведенческие данные при выполнении творческого и контрольного заданий в условиях сотрудничества и индивидуальном выполнении заданий приведены в таблице 1.

Количество ответов было значимо меньше при творческой деятельности в сравнении с нетворческой, как в условиях индивидуального выполнения ( $Z=4.7$ ,  $p<0.001$ ), так и в условиях сотрудничества ( $Z=4.7$ ,  $p<0.001$ ). При этом, количество ответов в условиях совместной деятельности было значимо меньше, чем при индивидуальном выполнении, как в творческом ( $Z=4.6$ ,  $p<0.001$ ), так и в нетворческом ( $Z=4.7$ ,  $p<0.001$ ) заданиях.

**Таблица 1.** Поведенческие результаты выполнения заданий индивидуально и в условиях сотрудничества (Me, 25–75Q).

| Показатель                                | Индивидуально       | В сотрудничестве    |
|-------------------------------------------|---------------------|---------------------|
| Творческое задание                        |                     |                     |
| Время ответа (мс)                         | 1992<br>(1518–2305) | 1952<br>(1661–2504) |
| Кол-во ответов (%)                        | 59 (43–72)          | 39 (27–51)          |
| Субъективная сложность (от 1 до 10)       | 6 (4–8)             | 5.5 (4–7)           |
| Субъективная оценка эмоций (от -10 до 10) | 4 (0–6)             | 4 (1–6)             |
| Нетворческое задание                      |                     |                     |
| Время ответа (мс)                         | 1691<br>(1221–1901) | 1829<br>(1482–2032) |
| Кол-во ответов (%)                        | 87 (76–93)          | 60 (55–75)          |
| Субъективная сложность (от 1 до 10)       | 2.5 (2–4)           | 3 (1–5)             |
| Субъективная оценка эмоций (от -10 до 10) | 5 (2–6)             | 5 (3–7)             |

Время ответа в творческом задании было значимо больше, чем в нетворческом – и при индивидуальной деятельности ( $Z=3.8$ ,  $p<0.001$ ), и в условиях сотрудничества ( $Z=3.6$ ,  $p<0.001$ ). При этом время ответа как в творческом, так и в нетворческом заданиях не отличалось между условиями индивидуального и совместного выполнения.

Творческое задание было значимо сложнее, чем нетворческое – как в условиях индивидуального выполнения ( $Z=4.3$ ,  $p<0.001$ ), так и в условиях сотрудничества ( $Z=3.7$ ,  $p<0.001$ ). Эмоции были более положительными при нетворческой деятельности индивидуально ( $Z=2.3$ ,  $p<0.02$ ) и в условиях сотрудничества ( $Z=2.5$ ,  $p<0.02$ ). Не выявлено различий субъективной сложности и самооценки возникающих эмоций при выполнении и творческого и нетворческого заданий между условиями сотрудничества и индивидуального выполнения.

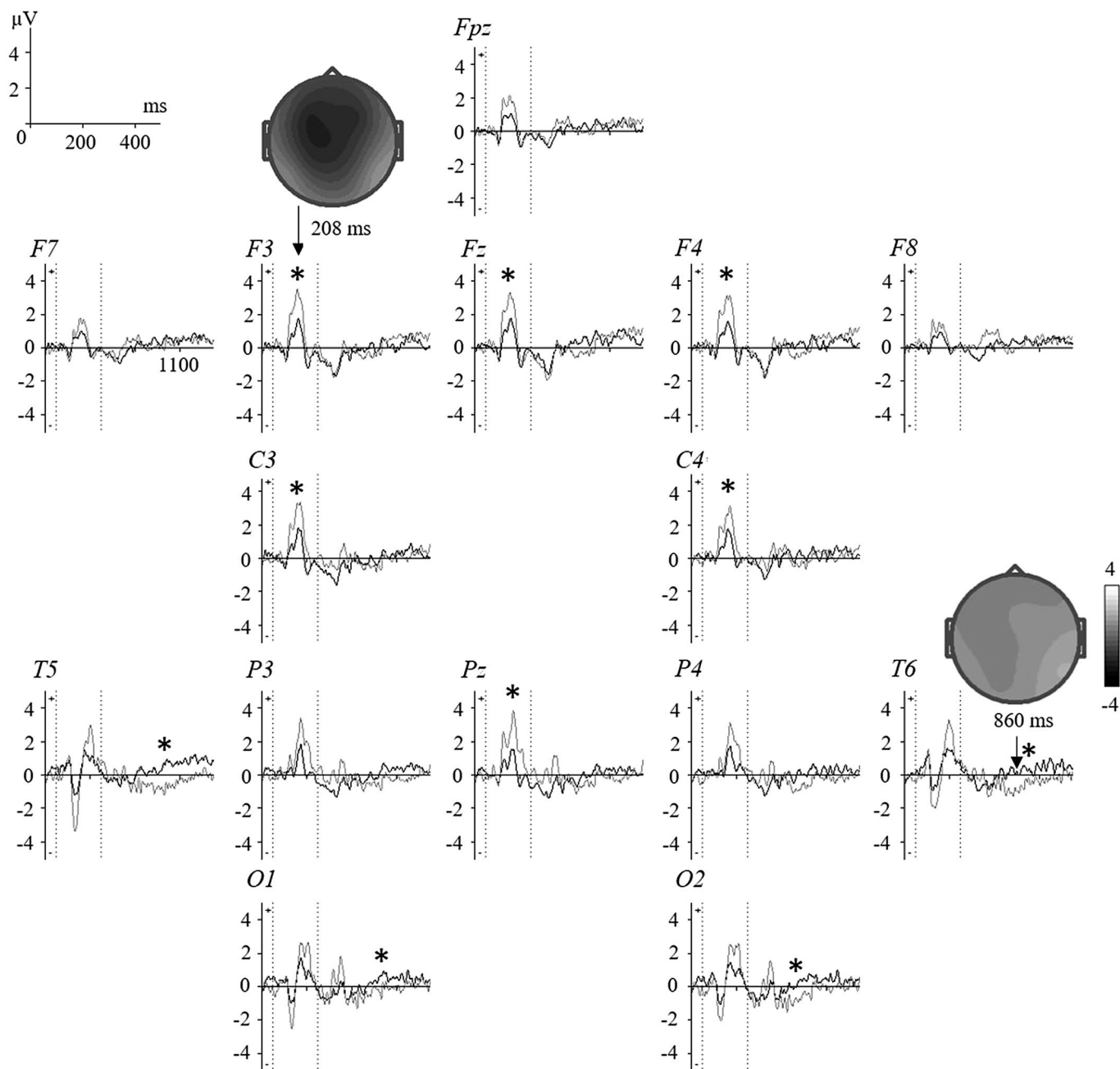
### *Различия амплитуд ВП при выполнении творческого и нетворческого заданий в условиях сотрудничества и индивидуального выполнения*

При выполнении творческого задания в условиях сотрудничества по сравнению с индивидуальным выполнением выявлена меньшая амплитуда компонента вызванных потенциалов P200 в лобных и цен-

тральных областях на интервале 148–272 мс после начала предъявления стимула. Взаимодействие факторов ЗОНА×УСЛОВИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ:  $F_{(14, 812)} = 5.8$ ,  $\epsilon(G-G) = 0.17$ ,  $p < 0.002$ . Зоны различий, согласно апостериорному анализу: F3, Fz, F4, C3, C4, Pz. Помимо этого выполнение творческого задания в условиях сотрудничества характеризуется большей амплитудой волны вызванного потенциала в позднем временном интервале 662–1240 мс в области интереса – задне-

височных и затылочных областях билатерально (T5, T6, O1, O2), эффект фактора УСЛОВИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ:  $F_{(1, 58)} = 4.2$ ,  $p < 0.05$  (рис. 1).

Выполнение нетворческого задания в условиях сотрудничества по сравнению с индивидуальным выполнением характеризовалось уменьшением амплитуды компонента вызванных потенциалов P200 в лобных и центральных областях на интервале 148–272 мс после начала предъявления стимула. Взаимодействие факто-



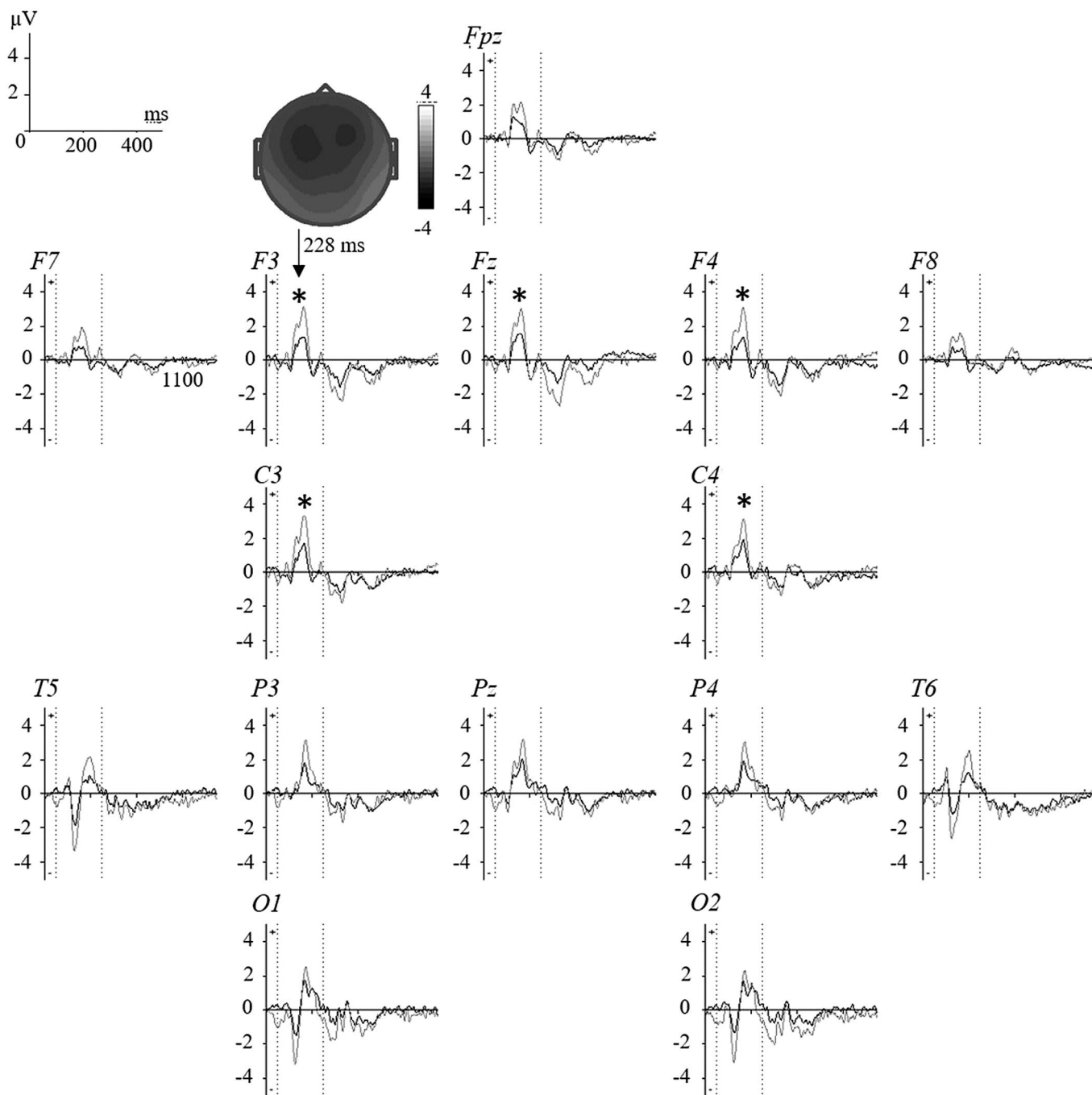
**Рис. 1.** Вызванные потенциалы при выполнении творческого задания в условиях сотрудничества в паре (черная линия) и индивидуально (серая линия). Обозначения: Fpz-O2 – расположение электродов. Для каждого электрода по оси x – время после предъявления первого стимула (мс); по оси y – амплитуда ВП (мкВ). Вертикальные пунктирные линии обозначают начало и конец предъявления стимула (длительность стимула 400 мс). Положительная полярность (плюс) – вверх. Звездочками отмечены электроды и компоненты ВП, амплитуда которых значимо различалась между условиями. Топограммы представляют распределение амплитуд в обозначенный момент времени внутри интервалов различий.

ров ЗОНАх УСЛОВИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ:  $F_{(14, 812)} = 4.3$ ,  $e(G-G) = 0.16$ ,  $p < 0.02$ . Зоны различий, согласно апостериорному анализу: F3, Fz, F4, C3, C4 (рис. 2).

личества ответов: в творческом задании с 59% до 39%, в нетворческом задании — с 87% до 60% в среднем по группе. Можно заключить, что поставленные условия сотрудничества не увеличили продуктивность деятельности в паре участников и самым очевидным здесь будет ситуация, когда испытуемые слышали ответы друг друга и не могли предложить такое же решение в условиях поставленной инструкции “совместно предложить

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Выполнение заданий в условиях социального взаимодействия приводило к значимому уменьшению ко-



**Рис. 2.** Вызванные потенциалы при выполнении нетворческого задания в условиях сотрудничества в паре (черная линия) и индивидуально (серая линия). Обозначения: Fpz-O2 — расположение электродов. Для каждого электрода по оси  $x$  — время после предъявления первого стимула (мс); по оси  $y$  — амплитуда ВП (мкВ). Вертикальные пунктирные линии обозначают начало и конец предъявления стимула (длительность стимула 400 мс). Положительная полярность (плюс) — вверх. Звездочками отмечены электроды и компоненты ВП, амплитуда которых значимо различалась между условиями. Топограмма представляет распределение амплитуд в обозначенный момент времени внутри интервалов различий.

как можно больше решений”. При этом, время ответа не отличалось в условиях сотрудничества от индивидуального выполнения, что может свидетельствовать об отсутствии смены стратегии при придумывании ответа в условиях совместной деятельности: испытуемые, по-видимому, обозначали наличие ответа сразу, как он был найден — как при работе индивидуально, так и в паре. Различий сложности и субъективной оценке эмоций при выполнении заданий в условиях сотрудничества по сравнению с индивидуальным выполнением не наблюдалось. При этом, необходимо отметить совпадение субъективной и объективной оценок сложности заданий: объективно в творческом задании наблюдается большее время ответа и меньшее количество ответов, по сравнению с нетворческим и субъективно участники оценивали это задание, как более трудное для выполнения (табл. 1). Творческая деятельность часто оценивается, как более сложная [15]: в исследовании [16] семантическая дистанция между найденными аналогиями коррелировала с субъективной трудностью задания; в исследовании [17] у более творческих участников при дивергентном мышлении (выполнении теста альтернативного использования) наблюдается большая активация симпатической системы, как показателя больших усилий по данным реокардиографии. Тем не менее, ранее было показано, что нейрофизиологические корреляты творческой деятельности сходны при сравнении как с более “легким” контрольным заданием, так и со сбалансированным по сложности контрольным нетворческим заданием [15], что позволяет сравнивать творческое и контрольное задания вне зависимости от их субъективной сложности. В данном исследовании мы сравниваем ВП отдельно при творческой и нетворческой деятельности, в условиях сотрудничества и индивидуального выполнения, которые не отличались между собой по уровню субъективной сложности заданий. По одному из объективно оцениваемых показателей сложности задания — количеству ответов — условия сотрудничества усложняли деятельность, однако другой показатель объективной сложности заданий — время нахождения ответа — в условиях сотрудничества не изменялся, также, как и субъективные оценки сложности задания. Поэтому рассматриваемые далее различия вызванных потенциалов мы соотносим именно с модулирующим влиянием фактора социальных взаимодействий в условиях сотрудничества, нежели с общим показателем сложности задания.

Уровень кооперативности поведения партнера при выполнении творческого задания в паре была оценена на 6 (5–8) баллов из 10, при выполнении нетворческого задания — на 7 (5–8) баллов из 10, оцененный уровень собственного кооперативного поведения не отличался от уровня кооперативного поведения партнера: 6 (4–8) в творческом задании и 7 (5–8) — в нетворческом задании. Можно заключить, что участники, в целом, были настроены на просоциальное поведение в заданных условиях сотрудничества.

При сравнении ВП во время выполнения творческого и нетворческого заданий в условиях сотрудничества и индивидуального выполнения — наблюдается уменьшение амплитуды компонента P200 (148–172 мс после начала предъявления стимула) — как в творческом, так и в нетворческом задании. Такой же эффект уменьшения амплитуд перцептивных компонентов ВП наблюдался и при выполнении заданий в условиях соревнования [3], в исследовании, проведенном в такой же парадигме, но с заданными условиями соревнования. Амплитуда компонента P200 связана с механизмами внимания и может коррелировать с лучшим выполнением когнитивного задания. Например, амплитуда P200 при предъявлении второго стимула в паре отрицательно коррелирует с количеством ложно-положительных ошибок в тесте отсроченного узнавания пятизначных чисел [18]. Так, включение новых слов из второго (неродного) языка в мультимодальное представление приводило к последующему (при тестировании через неделю) увеличению амплитуды P200 при их предъявлении в задачах определения корректности фраз и сопровождалось лучшим выполнением задания оценки корректности утверждения, включающего это слово [19]. Амплитуда компонента P200 выше при восприятии новых метафор по сравнению с общеупотребительными метафорами, что авторами связывается с большим вовлечением внимания при восприятии менее знакомых фраз [20]. В нашем исследовании, меньшая амплитуда компонента P200 в условиях социального взаимодействия, по-видимому, связана с перераспределением ресурсов внимания от выполнения задачи к оценке прошлых ответов партнера и восприятию невербальных сигналов его поведения, например, ожидание нажатия на кнопку партнером. В творческом задании помимо меньшей амплитуды компонента P200 в условиях сотрудничества, характерной и для творческого, и для нетворческого заданий, наблюдались большие значения амплитуд в позднем временном интервале 662–1240 мс в задневисочных и затылочных отведениях (T5, T6, O1, O2). Данные зоны различий могут соотноситься с активностью височно-теменного соединения (temporo-parietal junction), одной из зон, относящихся наряду с медиальной префронтальной корой к сети ментализации, т. е. понимания состояний и намерений другого [21–23]. Височно-теменное соединение (особенно правого полушария) участвует в различных процессах, включая мультисенсорную интеграцию, социальное познание, чувство субъектности и направленное к стимулам внимание [24]. Мы предполагаем, что большая амплитуда вызванных потенциалов в этих областях при выполнении творческого задания в условиях сотрудничества связана с прогнозированием поведения и ответов партнера. В исследовании [25] увеличение мощности ЭЭГ в бета-диапазоне в правой височно-теменной области коррелировало со способностью участников прогнозировать предпочтения другого человека в фильмах.

Большее влияние условий социального взаимодействия на мозговые корреляты творческой деятельности (при сопоставлении с нетворческой) наблюдалось и в исследовании условий соревнования, проведенного нами ранее [3]. В целом, условия соревнования в большей степени влияли на вызванные потенциалы при творческой и контрольной деятельности, отражаясь в уменьшении амплитуд (в абсолютных значениях) как компонентов, связанных с вниманием (P1, P2), так и поздних компонентов, связанных с семантической обработкой стимулов (N400, P600). Тогда как в условиях сотрудничества только амплитуда компонента P200 и поздних волн (в творческом задании) модулировалась социальными взаимодействиями. При сопоставлении результатов наших исследований можно предположить, что условия соревнования в большей степени влияют на перестройку мозговых механизмов когнитивной деятельности, чем условия сотрудничества. Это, отчасти, соотносится с данными о большей активации ряда областей мозга при соперничестве в сравнении с сотрудничеством при социальном взаимодействии. В исследовании [26] при решении “дилеммы заключенного” общая синхронизация активности мозга была выше в условиях соревнования, чем при сотрудничестве. В исследовании [27] при соревновании наблюдалась большая мощность в бета-диапазоне ЭЭГ, чем при сотрудничестве в игре “ястребы и голуби”. Одним из факторов, который может быть рассмотрен в дальнейшем в контексте влияния условий социальных взаимодействий на нейрофизиологические показатели при совместной творческой деятельности — это пол участников. В данном исследовании группа участников состояла, в основном, из женщин, и на эффективность их деятельности могли повлиять гормональные факторы. Как было показано в исследовании [28], эффективность когнитивной и творческой деятельности, а также уровень психоэмоционального напряжения у женщин зависит от фазы менструального цикла. Можно предположить и различия в просоциальном поведении в зависимости от гормонального статуса, так как эмоциональная регуляция у женщин также связана с фазами цикла [28–31]. В наших исследованиях мы сравниваем между собой задания (творческие и контрольные, в условиях социального взаимодействия и индивидуально), проводимые в один день, тем самым снижая внутрисубъектную вариабельность поведенческих и нейрофизиологических характеристик между заданиями, но межсубъектная вариабельность может быть отчасти обусловлена нейрогуморальным состоянием участниц.

Таким образом, в условиях сотрудничества, ориентированного на предложение большего количества ответов значимо уменьшается индивидуально данное количество ответов при творческой и нетворческой деятельности (в сравнении с одиночным выполнением задания), но не изменяются субъективные характеристики деятельности (ее сложность и эмоциональная окраска). Основное влияние условия сотрудничества оказыва-

ют на компонент ВП, связанный с вниманием (P200, 148–272 мс), уменьшая его амплитуду, вне зависимости от творческого характера деятельности. Творческая деятельность в условиях сотрудничества сопровождается увеличением амплитуды в позднем временном интервале 662–1240 мс по сравнению с индивидуальным выполнением в областях, соотносимых с активностью системы ментализации и понимания субъективного состояния партнера и прогнозирования его действий.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность сотрудникам лаборатории: Васенькиной Виктории Андреевне, Грохотовой Анне Вадимовне — за участие в проведении исследования, регистрации и предобработке файлов ЭЭГ и самоотчетов испытуемых.

## ВКЛАДЫ АВТОРОВ

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

## СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Все процедуры исследования соответствовали этическим нормам Хельсинкской декларации 1964 года и ее последующих изменений. Исследование было одобрено локальным этическим комитетом ИЭФБ РАН (протокол № 1–02, от 02.02.2022 г.). Участие в исследовании было добровольным, участники давали информированное согласие после ознакомления с процедурой и целями исследования.

## ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 22–28–02012).

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

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

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hu Y, Pan Y, Shi X, Cai Q, Li X, Cheng X (2018) Inter-brain synchrony and cooperation context in interactive decision making. *Biol Psychol* 133:54–62. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2017.12.005>
2. Washburn A, Román I, Huberth M, Gang N, Dauer T, Reid W, Nanou C, Wright M, Fujioka T (2019) Musical Role Asymmetries in Piano Duet Performance Influence Alpha-Band Neural Oscillation and Behavioral Synchronization. *Front Neurosci* 13:1088. <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.01088>

3. Nagornova ZV, Shemyakina NV (2023) Impact of Competitive Conditions on Amplitudes of Event-Related Potentials during Verbal Creative and Noncreative Task Performance. *J Evol Biochem Phys* 59:33–44. <https://doi.org/10.1134/S0022093023010039>
4. Rice K, Redcay E (2016) Interaction matters: A perceived social partner alters the neural processing of human speech. *Neuroimage* 129:480–488. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.11.041>
5. Czeszumski A, Eustergerling S, Lang A, Menrath D, Gerstenberger M, Schubert S, Schreiber F, Rendon ZZ, König P (2020) Hyperscanning: A Valid Method to Study Neural Inter-brain Underpinnings of Social Interaction. *Front Hum Neurosci* 14:39. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00039>
6. Lindenberger U, Li SC, Gruber W, Müller V (2009) Brains swinging in concert: cortical phase synchronization while playing guitar. *BMC Neurosci* 10:22. <https://doi.org/10.1186/1471-2202-10-22>
7. Sängers J, Müller V, Lindenberger U (2012) Intra- and interbrain synchronization and network properties when playing guitar in duets. *Front Hum Neurosci* 6:312. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2012.00312>
8. Shemyakina NV, Nagornova ZV (2021) Neurophysiological Characteristics of Competition in Skills and Cooperation in Creativity Task Performance: A Review of Hyperscanning Research. *Hum Physiol* 47:87–103. <https://doi.org/10.1134/S0362119721010126>
9. Lu K, Xue H, Nozawa T, Hao N (2019) Cooperation Makes a Group be More Creative. *Cereb Cortex* 29:3457–3470. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhy215>
10. Guilford JP (1967) *The Nature of Human Intelligence*. McGraw-Hill, New York.
11. Vigário RN (1997) Extraction of ocular artifacts from EEG using independent component analysis. *EEG and Clin Neurophysiol* 103:395–404. [https://doi.org/10.1016/s0013-4694\(97\)00042-8](https://doi.org/10.1016/s0013-4694(97)00042-8)
12. 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>
13. Tereshchenko EP, Ponomarev VA, Kropotov YuD, 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>
14. Greenhouse SW, Geisser S (1959) On methods in the analysis of profile data. *Psychometrika* 24: 95–112.
15. Danko SG, Shemyakina NV, Nagornova ZV, Starchenko MG (2009) Comparison of the effects of the subjective complexity and verbal creativity on EEG spectral power parameters. *Hum Physiol* 35:381–383. <https://doi.org/10.1134/S0362119709030153>
16. Green AE, Kraemer DJ, Fugelsang JA, Gray JR, Dunbar KN (2012) Neural correlates of creativity in analogical reasoning. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn* 38:264–272. <https://doi.org/10.1037/a0025764>
17. Silvia PJ, Beaty RE, Nusbaum EC, Eddington KM, Kwapil TR (2014) Creative motivation: creative achievement predicts cardiac autonomic markers of effort during divergent thinking. *Biol Psychol* 102:30–37. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2014.07.010>
18. Lijffijt M, Lane SD, Meier SL, Boutros NN, Burroughs S, Steinberg JL, Moeller FG, Swann AC (2009) P50, N100, and P200 sensory gating: relationships with behavioral inhibition, attention, and working memory. *Psychophysiology* 46:1059–1068. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2009.00845.x>
19. Boustani N, Pishghadam R, Shayesteh S (2021) Multisensory Input Modulates P200 and L2 Sentence Comprehension: A One-Week Consolidation Phase. *Front Psychol* 12:746813. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.746813>
20. Sun L, Chen H, Zhang C, Cong F, Li X, Härmäläinen T (2022) Decoding brain activities of literary metaphor comprehension: An event-related potential and EEG spectral analysis. *Front Psychol* 13:913521. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.913521>
21. Van Overwalle F, Baetens K (2009) Understanding others' actions and goals by mirror and mentalizing systems: a meta-analysis. *Neuroimage* 48:564–584. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.06.009>
22. Vogeley K (2017) Two social brains: neural mechanisms of intersubjectivity. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 372:20160245. <https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0245>
23. Heleven E, Van Overwalle F (2018) The neural basis of representing others' inner states. *Curr Opin Psychol* 23:98–103. <https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2018.02.003>
24. Eddy CM (2016) The junction between self and other? Temporo-parietal dysfunction in neuropsychiatry. *Neuropsychologia* 89:465–477. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2016.07.030>
25. Park J, Kim H, Sohn JW, Choi JR, Kim SP (2018) EEG Beta Oscillations in the Temporoparietal Area Related to the Accuracy in Estimating Others' Preference. *Front Hum Neurosci* 12:43. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2018.00043>
26. Babiloni F, Astolfi L, Cincotti F, Mattia D, Tocci A, Taranino A, Marciari M, Salinari S, Gao S, Colosimo A, De Vico Fallani F (2007) Cortical activity and connectivity of human brain during the Prisoner's dilemma: an EEG hyperscanning study. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc* 2007:4953–4956. <https://doi.org/10.1109/IEMBS.2007.4353452>
27. Astolfi L, Cincotti F, Mattia D, De Vico Fallani F, Salinari S, Vecchiato G, Toppi J, Wilke C, Doud A, Yuan H, He B, Babiloni F (2010) Imaging the social brain: multi-subjects EEG recordings during the “Chicken's game”. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc* 2010:1734–1737. <https://doi.org/10.1109/IEMBS.2010.5626708>
28. Bazanova OM, Kondratenko AV, Kuz'minova OI, Muravleva KB, Petrova SE (2013) Cognitive efficiency and psychoemotional tension in the various menstrual cycle phases [In Russ] *Russ Fiziol Zh Im I M Sechenova* 99:820–829.

29. Yamazaki M, Tamura K (2017) The menstrual cycle affects recognition of emotional expressions: an event-related potential study. *F1000Res* 6:853. <https://doi.org/10.12688/f1000research.11563.1>
30. Mulligan EM, Nelson BD, Infantolino ZP, Luking KR, Sharma R, Hajcak G (2018) Effects of menstrual cycle phase on electrocortical response to reward and depressive symptoms in women. *Psychophysiology* 55: e13268. <https://doi.org/10.1111/psyp.13268>
31. Sellitto M, Kalenscher T (2022) Variations in progesterone and estradiol across the menstrual cycle predict generosity toward socially close others. *Psychoneuroendocrinology* 140:105720. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2022.105720>

## INFLUENCE OF COOPERATION ON THE EVENT-RELATED POTENTIALS IN VERBAL CREATIVE AND NONCREATIVE TASKS PERFORMANCE

**Zh. V. Nagornova<sup>a, #</sup> and N. V. Shemyakina<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: nagornova\_zh@mail.ru*

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

This study examines the effects of social interaction conditions on brain correlates of verbal creativity. A model of cooperation is considered in the study in which participants were to work together without conferring and create as many answers as possible in creative and non-creative tasks. Subjects (4 males, 26 female) performed two types of tasks individually and cooperatively in pairs (male-male, female-female): creative task – to create as many as possible unusual use of an everyday object, and non-creative task – to list items from the proposed categories. Event-related potentials (ERPs) in each of the tasks were compared between the cooperative and individual performance conditions. The cooperative conditions demonstrated decrease in the amplitude of the P200 component at a time interval of 148–272 ms from the onset of stimulus presentation for both creative and non-creative tasks performance, reflecting reduced attention allocation to the stimulus in the social interaction condition. When performing a creative task, a larger amplitude of the late positive component was observed in the 662–1240 ms interval in the posterior temporal and occipital areas, which may reflect activation of the temporo-parietal junction involved in the processes of understanding the other. The number of answers (productivity) was significantly lower in cooperative conditions compared to individual task performance.

**Keywords:** EEG, event-related potentials (ERP), verbal creativity, cooperation, social interactions, alternative uses test, P200