

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

© 2023 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 28.10.2022 г.

После доработки 24.11.2022 г.

Принята к публикации 24.11.2022 г.

Мозговая активность существенным образом меняется в различных условиях социального взаимодействия. Однако влияние контекста социальных взаимодействий на нейрофизиологические корреляты когнитивной и творческой деятельности как таковой рассмотрены недостаточно. Могут быть выделены два полярных типа взаимодействий при решении задач – сотрудничество или соревнование. Целью данного исследования была оценка влияния условий соревнования на амплитуды вызванных потенциалов (ВП) при решении творческих и нетворческих задач. Испытуемые (26 мужчин, 18 женщин) выполняли два типа заданий индивидуально и в условиях соревнования в парах (мужчина–мужчина, женщина–женщина): творческое – придумать необычное использование повседневного предмета, и нетворческое – перечислить предметы из предложенных категорий. Сравнивали ВП в каждом из заданий между условиями соревнования и индивидуального выполнения. Условия соревнования приводили к уменьшению амплитуд компонентов  $P_1$ ,  $P_2$  и компонентов с латентностью N400, P600 как при творческой, так и при нетворческой деятельности, по всей видимости, свидетельствуя о затруднении процессов поиска ответа. Процент найденных ответов также был значимо ниже в условиях соревнования по сравнению с индивидуальным выполнением задания. Вероятно, значительная часть ресурсов при выполнении задания в условиях социального взаимодействия направлена на оценку реакций и ответов партнера, что проявляется как в снижении амплитуды более ранних компонентов, связанных с вниманием ( $P_1$ ,  $P_2$ ), так и поздних компонентов, связанных с семантической обработкой стимулов (N400, P600).

**Ключевые слова:** ЭЭГ, вызванные потенциалы (ВП), вербальная творческая деятельность, соревнование (конкуренция), социальные взаимодействия, тест альтернативного использования (AUT),  $P_1$ ,  $P_2$ , N400, поздние позитивные потенциалы (P600)

**DOI:** 10.31857/S0044452923010060, **EDN:** GXNNMR

В условиях социального взаимодействия протекает большая часть когнитивной деятельности человека. Влияние социальных взаимодействий на нейрофизиологические показатели активности мозга при совместной деятельности, в том числе, творческой – стало предметом исследований с начала двадцатого века и развитием технологий гиперсканинга [см. 1]. Можно выделить два основных условия совместного решения задач – условия конкуренции (соревнования) или кооперации (сотрудничества). Кооперативное и конкурентное поведение исследуется при помощи различных моделей социальных игр, например: “Ястребы и голуби” [2, 3], “Диктатор” [4], “Ультиматум” [5], “Доверие” [6] и др., в которых участники должны принимать решение о действии в отношении партнера, исходя из социальных сиг-

налов. Стоит отметить, что исследований ВП в процессе когнитивной деятельности, как таковой, протекающей в условиях социального взаимодействия, крайне мало. Решение задач в группе или в паре, с одной стороны, может быть источником напряжения, например, в условиях отрицательной обратной связи [7], с другой стороны – может повысить мотивацию и вовлеченность в деятельность. Особенно это касается решения творческих задач, в которых одной из эффективных техник повышения количества и оригинальности решений является техника “мозгового штурма” [8, 9]. Немногочисленные нейробиологические исследования совместной творческой деятельности были посвящены анализу изменений кровотока методом спектроскопии в ближней инфракрасной области [7, 9–14] и не относились к прямым исследованиям

биоэлектрической активности мозга (ЭЭГ или ВП). В этих исследованиях было продемонстрировано, что решение творческого задания (тест альтернативного использования, поиск путей решения затруднительной жизненной ситуации) приводит к более оригинальным ответам в паре, при этом наблюдается увеличение межсубъектной синхронизации с вовлечением лобных областей левого полушария и теменно-височных областей правого полушария [9], угловой извилины правого полушария [12]. Таким образом, социальные взаимодействия могут существенным образом влиять на нейробиологические механизмы творческой деятельности. Вместе с тем перечисленные работы связаны с оценкой относительно “медленного” метаболического ответа – изменений соотношения концентраций окси/дезоксигемоглобина. Более точную информацию о быстрых и стадийных изменениях биоэлектрической активности мозга в условиях индивидуального и совместного выполнения заданий дает метод анализа вызванных потенциалов. Целью данного исследования была оценка вызванных потенциалов мозга при решении творческого и нетворческого задания в условиях соревнования в сравнении с индивидуальным выполнением задания.

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

*Участники.* В исследовании одновременной деятельности приняли участие 22 пары испытуемых (мужчина-мужчина, женщина-женщина) 18–23 лет (26 мужчин, 18 женщин), студенты вузов. В сформированных парах для исследования возраст участников различался не более, чем на год. Участники на момент проведения исследования были здоровы, без неврологических нарушений и соматических заболеваний, не проходили медикаментозную терапию.

*Задания, процедура исследования.* Исследование проводилось в тихом, освещенном помещении. Испытуемые располагались в креслах на равном (1.5 м) расстоянии от монитора предъявления стимулов. Стимулы предъявлялись в программе Psy-Task, в центре экрана черным шрифтом на белом фоне, шрифт Times New Roman, 48 кегль, все буквы строчные. Волонтеры выполняли два типа заданий: творческое – придумать необычное использование обычного предмета (тест альтернативного использования (AUT) [15] и контрольное – назвать/перечислить предметы из предложенной категории. В творческой задаче испытуемым предъявлялись обычные предметы, например: газета, скрепка, гвоздь и др., в контрольном задании – названия категорий объектов: мебель, посуда, транспорт и т.п. Задания выполнялись в парадигме вызванных потенциалов и были организованы в короткие блоки проб. В каждом блоке проб испытуемому предъявлялось 10 одинаковых стиму-

лов с одинаковой инструкцией (один и тот же предмет или название категории). В каждой пробе на трехсотой мс предъявлялся стимул: слово, обозначающее предмет или категорию (длительностью 400 мс). Стимул сменялся точкой в центре экрана для фиксации взгляда. Длительность предъявления точки составляла 4400 мс. В этот период времени испытуемые должны были придумать ответ, мысленно “проговорить” его и нажать на кнопку мыши, если ответ найден. На 5100 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 70 проб в “творческих” блоках и более 80 проб в “контрольных” блоках. В творческом задании перед испытуемыми ставилась инструкция “быть оригинальным” – т.е. придумывать наиболее интересные и необычные способы использования предметов, в контрольном задании предполагалось перечисление объектов из предъявленной категории. Задачи быть оригинальным не ставилось, подчеркивалась необходимость следования инструкции и перечисления объектов по принципу принадлежности к указанной категории.

Задания выполнялись в условиях совместной деятельности и индивидуально. При совместной деятельности создавались условия конкуренции – оба участника в паре должны были нажать на кнопку мыши, в случае нахождения ответа, но первым отвечал тот, кто первый нажал на кнопку. При индивидуальном выполнении второй участник из пары находился в этом же помещении, но не видел предъявления стимулов и не слышал ответы своей пары. Порядок индивидуального или совместного выполнения был рандомизирован между парами участников – 10 пар испытуемых начинали выполнять задания совместно, а затем – каждый выполнял такое же задание, но с другими стимулами индивидуально, 12 пар участников выполняли задание сначала индивидуально, а потом – совместно. Ответы испытуемых фиксировались для дальнейшей обработки.

После исследования испытуемые оценивали субъективную сложность заданий (по 10-балльной шкале, где 1 – очень легко, 10 – очень сложно, практически невыполнимо), силу и знак эмоций, возникавших во время выполнения задания (от –3 до 3), а также оригинальность своих идей и предложенных идей партнера (от 1 до 10).

Перед проведением психофизиологического исследования испытуемые проходили ряд психологических тестов, в том числе тест самооценки уровня тревожности по методике Спилберга-Ха-

нина [16]. Согласно методике оценивался уровень личностной тревожности и по данному показателю группа участников была разделена на подгруппы с низкой, средней и высокой тревожностью — для оценки возможных поведенческих и физиологических эффектов тревожности при выполнении задания.

*Регистрация и предобработка ЭЭГ (ВП).* Регистрацию ЭЭГ при выполнении задания проводили с использованием 32-х канального цифрового электроэнцефалографа “Мицар” (ООО “Мицар”, С.-Петербург). ЭЭГ регистрировали в программном пакете WinEEG (В.А. Пономарев, Ю.Д. Кропотов, № государственной регистрации 2001610516 от 08.05.2001) монополярно, от 15 хлорсеребряных электродов, расположенных на головах испытуемых по модифицированной системе 10–20 ( $Fp_z, F_7, F_3, F_z, F_4, F_8, C_3, C_4, T_5, P_3, P_z, P_4, T_6, O_1, O_2$ ), в полосе пропускания от 0.53–70 Гц, с частотой оцифровки сигнала 500 Гц. Объединенных ушной электрод располагался на мочках обеих ушей, заземляющий электрод — в передне-центральной отведении на поверхности головы. Сопротивление электродов не превышало 5 кОМ.

Артефакты горизонтальных и вертикальных движений глаз корректировались методом пространственной фильтрации путем обнуления соответствующих независимых компонентов ЭЭГ [17–19]. Общая фильтрация ЭЭГ исключала фрагменты, содержащие волны с амплитудой больше 100 мкВ. Также исключали фрагменты ЭЭГ, содержащие медленные волны (0–2 Гц с амплитудой выше 50 мкВ) и быстрые волны (25–35 Гц с амплитудой выше 35 мкВ). Качество удаления артефактов контролировали визуально. Для расчета вызванных потенциалов анализировались только безартефактные пробы, в которых испытуемые нашли ответ и нажали на кнопку. ВП рассчитывали в интервале от 300 мс до предъявления стимула и 2000 мс после. Усреднение ВП проводилось для каждого испытуемого, каждого электрода и каждого типа проб отдельно.

*Статистический анализ.* Интервалы и топографии различий амплитуд ВП определялись по полумаксимуму разностной волны между ВП в условиях соревнования и индивидуального выполнения. Различия амплитуд в выделенных временных интервалах рассматривались как независимые. Для каждого выделенного компонента вызванных потенциалов сравнивали амплитуды 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 с учетом коррекции Гринхауза-Гейсера [20] в творческом и контрольном задании отдельно. Дополнительно оценива-

**Таблица 1.** Процент ответов в творческом и контрольном заданиях

Задание	Количество ответов (%), медиана (25–75 квартили)	
	Индивидуальное выполнение	Совместное выполнение
Творческое	56 (49–74)	45 (31–55)
Контрольное	87 (82–93)	66 (60–76)

**Таблица 2.** Показатели самооценки трудности задания

Задание	Субъективная трудность задания, медиана (25–75 квартили)	
	Индивидуальное выполнение	Совместное выполнение
Творческое	7 (6–8)	6.5 (5.5–7.5)
Контрольное	5 (4–6)	4 (4–6.5)

лось влияние независимого межсубъектного фактора — ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЙ (сначала совместное или индивидуальное выполнение заданий). Для оценки влияния уровня тревожности на амплитуды ВП в качестве межгруппового рассматривали фактор УРОВЕНЬ ТРЕВОЖНОСТИ.

Поведенческие данные между состояниями сравнивались при помощи непараметрического критерия Вилкоксона. Сравнение количества ответов между группами с разным уровнем тревожности проводилось при помощи критерия Манна-Уитни.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### *Оценка поведенческих данных и самоотчетов*

Количество (медиана и квартили) ответов в творческом и контрольном задании при индивидуальном и совместном выполнении заданий приведено в табл. 1.

В условиях соревнования участники давали значимо меньше ответов как в творческом ( $Z = -3.9, p < 0.001$ ), так и в контрольном задании ( $Z = -3.9, p < 0.001$ ). При этом не было значимых различий в оценке субъективной трудности задания при индивидуальном и совместном выполнении (см. табл. 2).

Эмоции при совместном выполнении творческого задания были более положительными по сравнению с индивидуальным выполнением

( $Z = 2.7, p < 0.01$ ). В контрольном задании различий не наблюдалось.

По результатам оценки личностной тревожности (проведена у 40 человек из 44) выявлено: у двоих участников уровень тревожности низкий (до 30 баллов), у 22 – средний (31–45 баллов) и у 16 – высокий (46 и выше баллов) [16]. При этом различий в количестве ответов на творческое и контрольное задание между группами “низкий, средний уровень тревожности” (24 человека) и группой с высоким уровнем тревожности (16 человек) не наблюдалось – как при индивидуальном, так и при совместном выполнении заданий.

*Различия ВП при выполнении творческого задания в условиях соревнования по сравнению с индивидуальным выполнением задания*

Различия амплитуд ВП при выполнении творческого задания в зависимости от условий выполнения выявлены в нескольких временных интервалах. Амплитуда компонента  $P_1$  (рис. 1) была значительно ниже при выполнении творческого задания в условиях соревнования по сравнению с индивидуальным выполнением на интервале 56–104 мс после предъявления стимула (в зоне интереса ( $C_3-O_2$ ): эффект фактора УСЛОВИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ:  $F_{(1,43)} = 4.6, p < 0.05$ ) во всех отведениях зоны интереса.

Различия в интервалах 136–240 и 240–320 мс с разными топографиями соотносятся с компонентом  $P_2$  (рис. 1). Амплитуда данного компонента ВП была меньше при выполнении задания в условиях соревнования в отведениях  $F_{pz}, F_3, F_z, F_4, C_3, C_4, P_3, P_z, P_4, O_1, O_2$  (эффект фактора УСЛОВИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ:  $F_{(1,43)} = 11.25, p < 0.01$ , взаимодействие факторов УСЛОВИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ  $\times$  ЗОНА:  $F_{(14,602)} = 5.4, e (G-G) = 0.17, p < 0.01$ ). В данном интервале наблюдается значимое влияние фактора УРОВЕНЬ ТРЕВОЖНОСТИ:  $F_{(1,38)} = 4.8, p < 0.05$  – и при совместном, и при индивидуальном выполнении амплитуда ВП в среднем выше в группе с высокой тревожностью по сравнению с группой с низкой тревожностью, однако топографические особенности данной реакции не специфичны (взаимодействие факторов УРОВЕНЬ ТРЕВОЖНОСТИ  $\times$  ЗОНА не значимо). Во всех других рассматриваемых временных интервалах (как более ранних, так и более поздних) влияние фактора УРОВЕНЬ ТРЕВОЖНОСТИ не было значимо.

В интервале 240–320 мс амплитуда положительного компонента была ниже в условиях соревнования по сравнению с индивидуальным выполнением задания в отведениях  $F_3, F_4, C_3, C_4, T_5, P_3, P_z, P_4, T_6, O_1, O_2$  (эффект фактора УСЛОВИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ:  $F_{(1,43)} = 14.3, p < 0.001$ , взаимодействие

факторов УСЛОВИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ  $\times$  ЗОНА:  $F_{(14,602)} = 5.4, e (G-G) = 0.18, p < 0.001$ ).

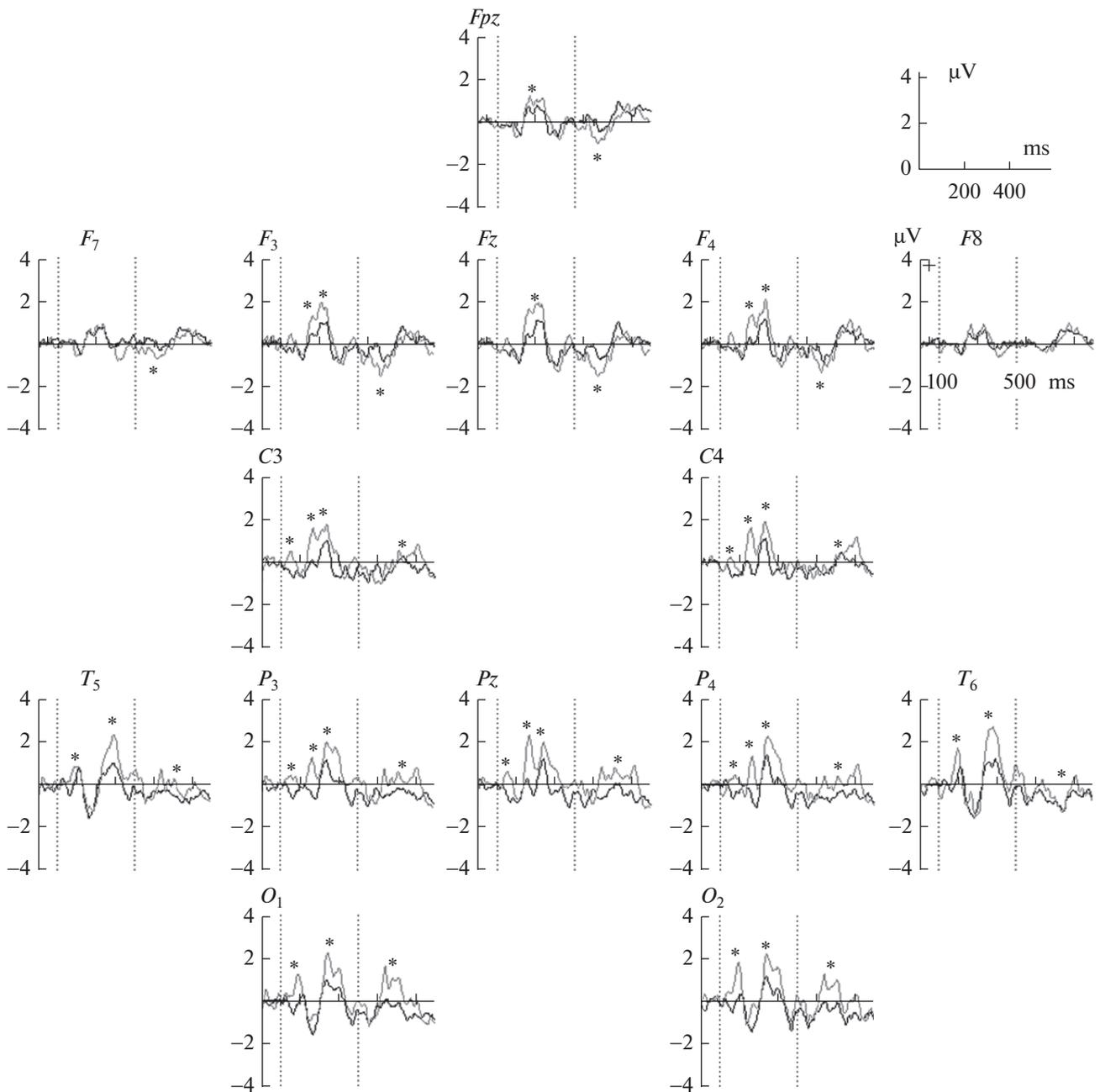
На интервале 456–552 мс наблюдаются различия амплитуды лобного компонента  $N400$ , амплитуда которого менее негативна при совместном выполнении задания по сравнению с индивидуальным (в зоне интереса ( $F_{pz}-F_8$ ): эффект фактора УСЛОВИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ:  $F_{(1,43)} = 5.7, p < 0.05$ , взаимодействие факторов УСЛОВИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ  $\times$  ЗОНА:  $F_{(5,215)} = 4.9, e (G-G) = 0.7, p < 0.01$ ), различия наблюдаются в отведениях  $F_{pz}, F_7, F_3, F_z, F_4$ .

В теменных областях амплитуда позднего положительного компонента, который может быть соотнесен с компонентом  $P600$ , на интервале 524–728 мс также была ниже в условиях соревнования по сравнению с индивидуальным выполнением (в зоне интереса ( $C_3-O_2$ ): эффект фактора УСЛОВИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ:  $F_{(1,43)} = 6.9, p < 0.05$ , взаимодействие факторов УСЛОВИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ  $\times$  ЗОНА:  $F_{(8,344)} = 5.5, e (G-G) = 0.5, p < 0.001$ ) во всех отведениях зоны интереса ( $C_3, C_4, T_5, P_3, P_z, P_4, T_6, O_1, O_2$ ). В данном интервале амплитуда ВП при совместном выполнении задания отрицательная, а при индивидуальном выполнении – положительная в большинстве отведений зоны интереса.

Порядок выполнения заданий не влиял на эффекты факторов ни в одном из выделенных временных интервалов.

*Различия ВП при выполнении контрольного задания в условиях соревнования по сравнению с индивидуальным выполнением задания*

Различия амплитуд ВП при выполнении контрольного задания в зависимости от условий выполнения относятся к тем же компонентам ВП, что и в творческом задании, однако имеют свою специфику (рис. 2). Амплитуда компонента  $P_1$  значительно ниже при выполнении контрольного задания в условиях соревнования по сравнению с индивидуальным выполнением на интервале 76–112 мс после предъявления стимула (в зоне интереса ( $C_3-O_2$ ): эффект фактора УСЛОВИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ:  $F_{(1,43)} = 8.8, p < 0.01$ ) во всех отведениях зоны интереса. При оценке влияния уровня тревожности на амплитуды ВП в интервале 76–112 мс в зоне интереса наблюдается значимое взаимодействие факторов УСЛОВИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ  $\times$  УРОВЕНЬ ТРЕВОЖНОСТИ:  $F_{(1,38)} = 5.3, p < 0.03$ . При анализе апостериорных эффектов выяснено, что в группе с низким и средним уровнем тревожности нет различий амплитуды между индивидуальным выполнением задания и в условиях соревнования, в то время как в группе участников с высоким уровнем тревожности амплитуда ВП в данном компоненте значимо выше при индивидуальном выполнении по сравнению с выполнением в условиях со-



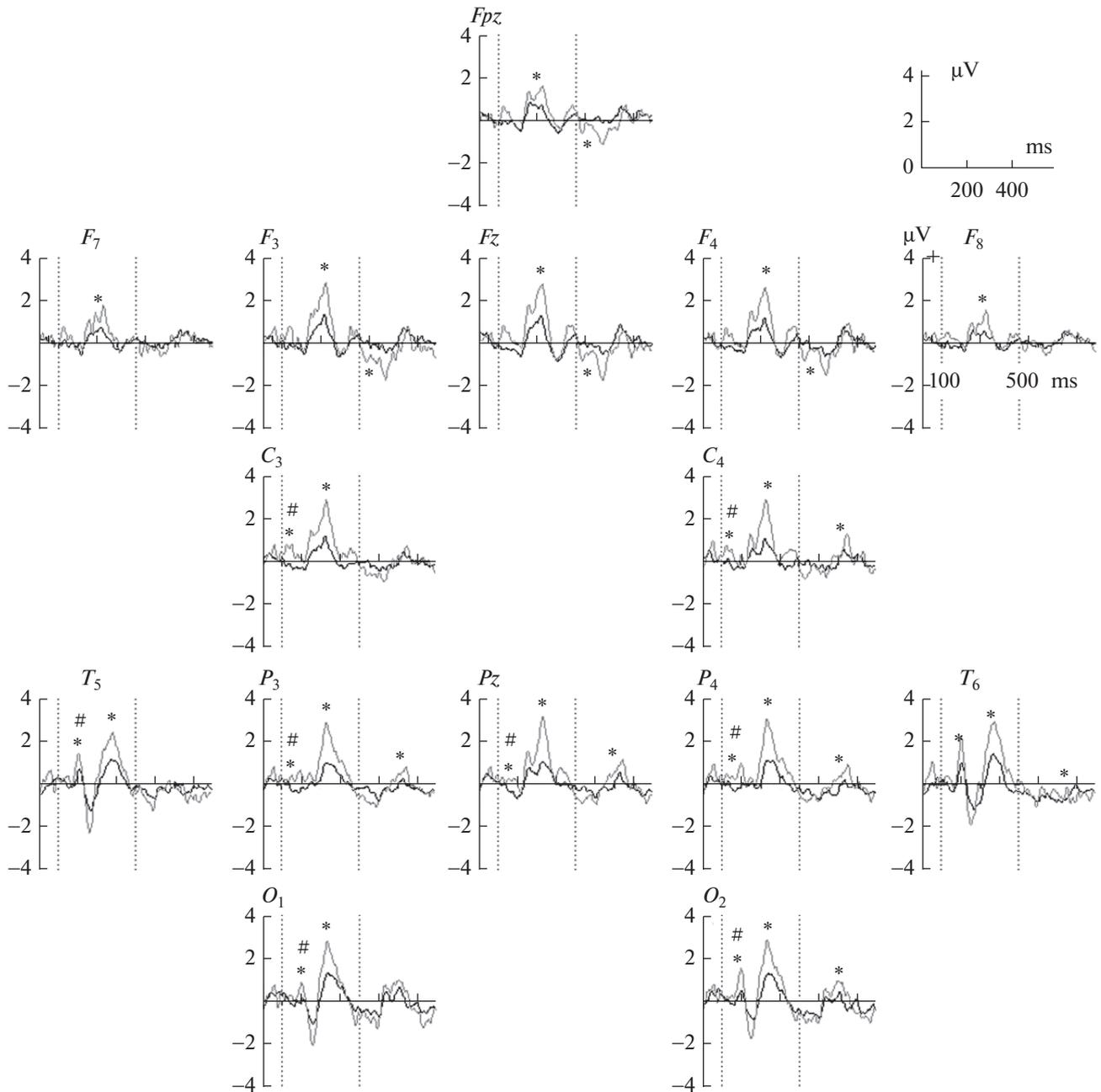
**Рис. 1.** ВП при нахождении ответа в творческом задании в условиях соревнования (черная линия) и индивидуального выполнения (серая линия).

Обозначения:  $Fpz-O_2$ : положение электродов. Для каждого электрода по оси  $x$  – время после предъявления стимула (мс); по оси  $y$  – амплитуда ВП (мкВ), размерность шкал обозначена на графике  $F_8$ . Вертикальные пунктирные линии обозначают начало и конец предъявления стимула (длительность стимула 400 мс). Положительная полярность (плюс) – вверх. \* – электроды и компоненты ВП, амплитуда которых значительно различалась между условиями.

реования. Таким образом, эффект, описанный в общей группе (большая амплитуда ВП при индивидуальном выполнении в сравнении с соревнованием) более характерен для участников с высоким уровнем личностной тревожности. Во всех других рассматриваемых временных интервалах влияние фактора УРОВЕНЬ ТРЕВОЖНОСТИ не значимо

и рассматриваются эффекты в общей группе испытуемых.

Различия в амплитуде компонента P2 наблюдаются во временном интервале 196–264 мс (эффект фактора УСЛОВИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ:  $F_{(1,43)} = 28.3$ ,  $p < 0.001$ ) – во всех зонах коры амплитуда в этом интервале ниже в условиях соревнования.



**Рис. 2.** ВП при нахождении ответа в контрольном задании в условиях соревнования (черная линия) и индивидуального выполнения (серая линия).

Обозначения:  $Fpz-O_2$ : положение электродов. Для каждого электрода по оси  $x$  – время после предъявления первого стимула (мс); по оси  $y$  – амплитуда ВП (мкВ), размерность шкал обозначена на графике  $F_8$ . Вертикальные пунктирные линии обозначают начало и конец предъявления стимула (длительность стимула 400 мс). Положительная полярность (плюс) – вверх. \* – электроды и компоненты ВП, амплитуда которых значимо различалась между условиями. # – компонент ВП, в котором наблюдается значимый эффект фактора УРОВЕНЬ ТРЕВОЖНОСТИ.

Амплитуда во временном интервале 456–552 мс в лобных отделах менее негативная в условиях соревнования по сравнению с индивидуальным выполнением (в зоне интереса ( $Fpz-F_8$ ): эффект фактора УСЛОВИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ:  $F_{(1,43)} = 5.1$ ,  $p < 0.05$ , взаимодействие факторов УСЛОВИЯ ВЫ-

ПОЛНЕНИЯ  $\times$  ЗОНА:  $F_{(5,215)} = 6.9$ ,  $e(G-G) = 0.5$ ,  $p < 0.001$ ), различия наблюдаются в отведениях  $Fpz$ ,  $F_3$ ,  $Fz$ ,  $F_4$ .

Амплитуда позднего положительного компонента на интервале 524–728 мс ниже при выполнении контрольного задания в условиях соревнова-

ния (в зоне интереса ( $C_3-O_2$ ): эффект фактора УСЛОВИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ:  $F_{(1,143)} = 6.9, p < 0.05$ , взаимодействие факторов УСЛОВИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ  $\times$  ЗОНА:  $F_{(8,344)} = 5.5, e (G-G) = 0.5, p < 0.001$ ) в отведениях  $C_4, P_3, P_z, P_4, O_2$ .

Порядок выполнения заданий не влиял на эффекты факторов ни в одном из выделенных временных интервалов.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Выполнение заданий в условиях социального взаимодействия, а в частности, в условиях соревнования продемонстрировало отличия от индивидуального выполнения как при анализе поведенческих данных, так и при оценке физиологических показателей. Примечательно, что с субъективной точки зрения выполнение заданий в паре – в условиях соревнования – увеличивало положительные эмоции при выполнении творческого задания, и не приводило к увеличению трудности заданий, хотя объективно – процент ответов значимо снижался как для творческого, так и для контрольного задания. Объективно – условия соревнования снижали эффективность деятельности, оцениваемой по проценту найденных ответов, соответственно увеличивали трудность задания. Тем не менее оценка эмоционального фона задания была выше, чем при индивидуальном выполнении. Вероятно, есть несколько причин для этого. В нашем исследовании условия соревнования задавались относительно мягко и определялись только присутствием другого человека, который может либо ответить раньше, либо дать большее количество ответов. Обратной связи о полученном результате или поощрения по результатам не предполагалось, условия соревнования формировались автоматически, исходя из процессуального противопоставления результатов двух участников. В этих условиях, участники могли воспринимать процесс больше как игру, а не как соревнование. Кроме того, если в условиях индивидуального выполнения у участника есть обратная связь только о количестве и качестве найденных самостоятельно ответов, то в условиях соревнования – он также слышит ответы партнера и может ориентироваться по количеству и качеству этих ответов. В исследованиях [8, 21] восприятие чужих идей при выполнении теста необычного использования способствовало увеличению оригинальности создаваемых участниками идей.

Выполнение задания в условиях совместной деятельности (в условиях соревнования) существенно влияло на амплитуды вызванных потенциалов. При этом не наблюдалось эффектов “обучения” или утомления – то есть нет значимого эффекта последовательности выполнения задания в паре или индивидуально на амплитуды ВП. Необходимо отметить, что выполнение и творческого и контрольного

(нетворческого) заданий в условиях соревнования относительно индивидуального выполнения – характеризовалось принципиально одинаковыми коррелятами, с некоторыми особенностями, которые будут отмечены отдельно в ходе обсуждения.

Выполнение творческого задания в паре по сравнению с индивидуальным выполнением приводит к уменьшению амплитуды компонента  $P_1$  в затылочных и теменных областях коры. В затылочных отведениях  $O_1$  и  $O_2$  также заметна разница латентности пика компонента  $P_1$  – 84 мс при индивидуальном и 112 мс при совместном выполнении задания. Компонент  $P_1$  связан с механизмами зрительного внимания и сознательного восприятия [22, 23], амплитуда  $P_1$  модулируется внешними стимулами (для зрительных стимулов – это интенсивность освещения, контрастность, цвет) [24]. Помимо внешней модуляции свойствами стимулов, амплитуда и латентность  $P_1$  зависят от “тренированности” зрительного восприятия слов и имеющих концептуальных знаний [25, 26]. Предъявление стимулов в условиях индивидуального и совместного выполнения заданий было одинаковым, поэтому на амплитуду и латентность  $P_1$  влияли, по-видимому, внутренние факторы. Например, обдумывание предыдущего ответа “соперника” или внимание, направленное на поведение и действия “соперника”, вероятно, снижали амплитуду  $P_1$  в ответ на зрительные стимулы. Ранее в работе [27] было показано, что направленное внимание к звуковым вербальным стимулам снижало амплитуду компонентов  $P_1$  и  $P_2/P300$  в ответ на одновременно предъявляемые зрительные вербальные стимулы (существительные). Можно отметить, что при выполнении творческого задания в условиях соревнования по сравнению с индивидуальным выполнением различалась также латентность  $P_1$  усредненных ВП, в то время как при выполнении контрольного задания таких различий нет. Это может свидетельствовать о дополнительной когнитивной нагрузке при выполнении творческого задания, возможно, связанной с тем, что участники могли быть вовлечены в обдумывание предыдущих ответов партнера, которые являются менее предсказуемыми, чем в контрольном задании. Амплитуда компонента  $P_2$  также в большой степени отражает вовлечение механизмов произвольного внимания в выполнение задания. В исследовании [28] при оценке выигрыша в азартной игре условия социального контекста влияли сильнее на амплитуду компонента  $P_2$ , чем, собственный выигрыш и проигрыш. В данном исследовании как при простом сравнении своего выигрыша и выигрыша партнера, так и при “соревновании” за определенную сумму – амплитуда  $P_2$  была ниже, чем при индивидуальной “игре”. Кроме того, в социальном контексте нивелировались различия амплитуды  $P_2$  между выигрышами и проигрышами, тогда как при

индивидуальном выполнении наблюдалась большая амплитуда в случае выигрыша. В нашем исследовании амплитуда  $P_2$  также значимо ниже при выполнении заданий — как творческого, так и контрольного — в условиях социального взаимодействия. На амплитуды ранних компонентов  $P100$  при выполнении нетворческого задания и  $P200$  при выполнении творческого задания влиял показатель уровня тревожности. Амплитуда этих компонентов была выше в группе с высоким уровнем личностной тревожности по сравнению с группой со средней и низкой тревожностью. При выполнении контрольного задания различия проявлялись только при индивидуальном выполнении, при творческом задании — и при индивидуальном и при совместном выполнении. При рассмотрении влияния уровня тревожности на параметры вызванных потенциалов отмечается увеличение амплитуды  $P100$  при восприятии специфических пугающих изображений у людей с соответствующей фобией [29] или лиц у участников с повышенным уровнем личностной и социальной тревожности [30]. Повышенная амплитуда ранних компонентов ВП у лиц с высоким уровнем тревожности связывается авторами с выделением большего количества ресурсов внимания к тревожащей стимуляции [29–31]. В нашем исследовании также наблюдается некоторый эффект увеличения амплитуды ранних компонентов ВП в группе с высоким уровнем тревожности, хотя на показателях деятельности (количестве найденных ответов) это не сказывается. Более того, только при выполнении задания индивидуально в контрольном задании наблюдалась большая амплитуда компонента  $P100$  в группе “высокотревожных” участников, что может указывать на большую тревогу именно в данных условиях, когда нет возможности соотнести эффективность своего выполнения с “референтным” показателем деятельности другого человека.

Амплитуды лобного компонента  $N400$  и позднего позитивного компонента (соотносимого с  $P600$ ) в теменных и затылочных областях — были также ниже в условиях соревнования, по сравнению с индивидуальным выполнением задания. При этом различия  $N400$  выражены больше в лобных областях левого полушария. Амплитуда негативности  $N400$  чувствительна к знакомости запомненного слова (old/new effect), частотности слова и конгруэнтности слова и контекста [32], компонент  $N400$  с распределением в лобных областях (как в нашем исследовании), авторами связывается не только с процессами рабочей памяти [33, 34], но и с автоматической категоризацией предъявленных стимулов [35]. Кроме того, амплитуда  $N400$  может модулироваться уровнем внимания [22]. Так как предъявление стимулов для совместного и индивидуального выполнения было рандомизировано между испытуемыми, предъявленные стимулы по группе можно считать одинаковыми и различия амплитуд

$N400$  связано не с различиями семантического значения стимулов. Таким образом, впервые нами продемонстрировано уменьшение амплитуды семантического компонента вызванных потенциалов при творческой и нетворческой когнитивной деятельности в условиях соревнования по сравнению с индивидуальным выполнением.

Подобное наблюдение характерно и для позднего позитивного компонента, который может быть соотнесен с компонентом  $P600$  (в нашем исследовании — на временном интервале 524–728 мс). Данный компонент в различных исследованиях обозначается как “поздний позитивный потенциал (комплекс)” (late positive complex) [36, 37]. Амплитуда поздней позитивности увеличивается при восприятии отдаленного по сравнению с близким по контексту завершением предложения и при восприятии “аномальных” предложений по сравнению с метафорическими. Также было показано, что восприятие “необычного использования предмета” при предъявлении ответов на тест альтернативного использования — приводит к увеличению амплитуды позднего компонента (500–900 мс) по сравнению с “обычным” использованием, при этом амплитуда при “неподходящем, нереалистичном использовании” (бессмысленная фраза) наиболее высока [38, 39]. В нашем исследовании компонент  $P600$  выделяется только как положительное отклонение потенциала после  $N400$ , и в условиях совместной деятельности амплитуда данного компонента не достигает положительных значений, в противоположность — при индивидуальном выполнении компонент может быть определен и в лобных и в теменных отведениях. Более низкая амплитуда данного компонента в условиях соревнования может быть сопоставлена с влиянием затрудняющих факторов на творческую (и нетворческую) деятельность. В исследовании [40] где в качестве творческих заданий использовались задачи по “расшифровке” иероглифов — более сложные иероглифы вызвали увеличение амплитуды  $N2$ ,  $N400$  и уменьшение амплитуды поздней позитивности по сравнению с простыми иероглифами. В нашем исследовании участие другого человека в качестве соперника объективно затрудняло деятельность, так как количество найденных ответов было значимо меньше, чем при выполнении задания индивидуально.

Таким образом, совместное выполнение как творческого, так и нетворческого вербального задания в условиях соревнования приводило к уменьшению амплитуды вызванных потенциалов, как ранних компонентов ( $P_1$ ,  $P_2$ ), так и поздних, семантических компонентов ВП. Социальные взаимодействия, даже задаваемые простым контекстом выполнения задачи, существенно влияют на нейрофизиологические корреляты деятельности, вероятно, в связи с тем, что социальные стимулы ввиду своего биологического значения, привлека-

ют значительные ресурсы мозга на всех этапах деятельности. В дальнейшем мы планируем изменить условия социального взаимодействия на сотрудничество (в сравнении с соперничеством), однако возможно, что и в условиях сотрудничества значительная часть ресурсов мозга будет также отведена на оценку действий партнера и отличия ВП от индивидуальной деятельности будут принципиально такими же. Объективно затрудняя когнитивную деятельность, совместное выполнение задания приводило к более позитивным эмоциям именно при творческой деятельности, субъективно делая эту деятельность не менее сложной, но более интересной и приятной.

#### ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

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

#### СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Все процедуры, выполненные в исследовании, соответствовали этическим Хельсинкской декларации 1964 г. и ее последующим изменениям. Участие в исследовании было добровольным, после ознакомления с процедурой исследования участники давали информированное согласие (Протокол № 1-02 от 02 февраля 2022 г.).

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

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

#### ВКЛАД АВТОРОВ

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

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность сотрудникам лаборатории: В.А. Галкину, В.А. Васенькиной, А.Н. Грохотовой — за участие в сборе данных, предобработке самоотчетов и файлов ЭЭГ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Shemyakina NV, Nagornova ZV* (2021) Neurophysiological characteristics of competition in skills and cooperation in creativity task performance: a review of hyperscanning research. *Human Physiology* 47: 87. <https://doi.org/10.1134/S0362119721010126>
2. *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. <https://doi.org/10.1109/IEMBS.2010.5626708>
3. *Peng M, Wang X, Chen W, Chen T, Cai M, Sun X, Wang Y* (2021) Cooperate or aggress? An opponent’s tendency to cooperate modulates the neural dynamics of interpersonal cooperation. *Neuropsychologia* 162: 108025. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2021.108025>
4. *Cui F, Wang C, Cao Q, Jiao C* (2019) Social hierarchies in third-party punishment: A behavioral and ERP study. *Biol Psychol* 146: 107722. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2019.107722>
5. *Moore M, Katsumi Y, Dolcos S, Dolcos F* (2021) Electrophysiological Correlates of Social Decision-making: An EEG Investigation of a Modified Ultimatum Game. *J Cogn Neurosci* 34: 54–78. [https://doi.org/10.1162/jocn\\_a\\_01782](https://doi.org/10.1162/jocn_a_01782)
6. *Tortosa MI, Lupiáñez J, Ruz M* (2013) Race, emotion and trust: an ERP study. *Brain Res* 1494: 44–55. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2012.11.037>
7. *Lu K, Qiao X, Hao N* (2019) Praising or keeping silent on partner’s ideas: Leading brainstorming in particular ways. *Neuropsychologia* 124: 19–30. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2019.01.004>
8. *Fink A, Grabner RH, Gebauer D, Reishofer G, Koschnig K, Ebner F* (2010) Enhancing creativity by means of cognitive stimulation: evidence from an fMRI study. *Neuroimage* 52: 1687–1695. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.05.072>
9. *Xue H, Lu K, Hao N* (2018) Cooperation makes two less-creative individuals turn into a highly-creative pair. *Neuroimage* 172: 527–537. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.02.007>
10. *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>
11. *Lu K, Teng J, Hao N* (2020) Gender of partner affects the interaction pattern during group creative idea generation. *Exp Brain Res* 238: 1157–1168. <https://doi.org/10.1007/s00221-020-05799-7>
12. *Lu K, Yu T, Hao N* (2020) Creating while taking turns, the choice to unlocking group creative potential. *Neuroimage* 219: 117025. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.117025>
13. *Lu K, Qiao X, Yun Q, Hao N* (2021) Educational diversity and group creativity: Evidence from fNIRS hyperscanning. *Neuroimage* 243: 118564. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2021.118564>
14. *Maysless N, Hawthorne G, Reiss AL* (2019) Real-life creative problem solving in teams: fNIRS based hyperscanning study. *Neuroimage* 203: 116161. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.116161>
15. *Guilford JP* (1967) *The Nature of Human Intelligence*. New York: McGraw-Hill.

16. *Raigorodskiy DY* (редактор-составитель) (2001) Практическая психодиагностика. Методики и тесты. Учебное пособие. Самара: Издательский Дом "БАХРАХ-М". 672 с. [Raigorodsky DYa (ed) (2001) Practical psychodiagnostics. Techniques and tests. Tutorial. Samara: BAKHRAKH-M Publishing House. 672 p. (In Russ)].
17. *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)
18. *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>
19. *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>
20. *Greenhouse SW, Geisser S.* (1959) On methods in the analysis of profile data. *Psychometrika* 24: 95–112.
21. *Fink A, Koschutnig K, Benedek M, Reishofer G, Ischebeck A, Weiss EM, Ebner F* (2012) Stimulating creativity via the exposure to other people's ideas. *Hum Brain Mapp* 33: 2603–2610. <https://doi.org/10.1002/hbm.21387>
22. *Coull JT* (1998) Neural correlates of attention and arousal: insights from electrophysiology, functional neuroimaging and psychopharmacology. *Prog Neurobiol* 55: 343–361. [https://doi.org/10.1016/s0301-0082\(98\)00011-2](https://doi.org/10.1016/s0301-0082(98)00011-2)
23. *Chica AB, Lasaponara S, Lupiáñez J, Doricchi F, Bartolomeo P* (2010) Exogenous attention can capture perceptual consciousness: ERP and behavioural evidence. *Neuroimage* 51: 1205–1212. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.03.002>
24. *Schindler S, Bruchmann M, Gathmann B, Moeck R, Straube T* (2021) Effects of low-level visual information and perceptual load on P1 and N170 responses to emotional expressions. *Cortex* 136: 14–27. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2020.12.011>
25. *Cao F, Rickles B, Vu M, Zhu Z, Chan DH, Harris LN, Stafura J, Xu Y, Perfetti CA* (2013) Early stage visual-orthographic processes predict long-term retention of word form and meaning: a visual encoding training study. *J Neurolinguistics* 26: 440–461. <https://doi.org/10.1016/j.jneuroling.2013.01.003>
26. *Rabovsky M, Sommer W, Abdel Rahman R* (2012) Depth of conceptual knowledge modulates visual processes during word reading. *J Cogn Neurosci*. 24: 990–1005. [https://doi.org/10.1162/jocn\\_a\\_00117](https://doi.org/10.1162/jocn_a_00117)
27. *Medvedev SV, Rudas MS, Pakhomov SV, Ivanitskii AM, Il'yuchenok IR, Ivanitskii GA* (2003) Mechanisms of Selective Attention during Competitive Discrimination of Visual and Auditory Verbal Information: Positron Emission Tomography and Cortical Evoked Potential Studies. *Hum Physiol* 29: 694–702. <https://doi.org/10.1023/B:HUMP.0000008840.16235.c8>
28. *Rigoni D, Polezzi D, Rumiati R, Guarino R, Sartori G* (2010) When people matter more than money: an ERPs study. *Brain Res Bull* 81: 445–452. <https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2009.12.003>
29. *Kolassa IT, Musial F, Kolassa S, Miltner WH* (2006) Event-related potentials when identifying or color-naming threatening schematic stimuli in spider phobic and non-phobic individuals. *BMC Psychiatry* 6: 38. <https://doi.org/10.1186/1471-244X-6-38>
30. *Wieser MJ, Moscovitch DA* (2015) The Effect of Affective Context on Visuocortical Processing of Neutral Faces in Social Anxiety. *Front Psychol* 6: 1824. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01824>
31. *Mercado F, Carretié L, Hinojosa JA, Peñacoba C* (2009) Two successive phases in the threat-related attentional response of anxious subjects: neural correlates. *Depress Anxiety* 26: 1141–1150. <https://doi.org/10.1002/da.20608>
32. *Thornhill DE, Van Petten C* (2012) Lexical versus conceptual anticipation during sentence processing: frontal positivity and N400 ERP components. *Int J Psychophysiol* 83: 382–392. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2011.12.007>
33. *Bridger EK, Bader R, Kriukova O, Unger K, Mecklinger A* (2012) The FN400 is functionally distinct from the N400. *Neuroimage* 63: 1334–1342. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.07.047>
34. *Stróżak P, Abedzadeh D, Curran T* (2016) Separating the FN400 and N400 potentials across recognition memory experiments. *Brain Res* 1635: 41–60. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2016.01.015>
35. *Wang X, Ma Q, Wang C* (2012) N400 as an index of uncontrolled categorization processing in brand extension. *Neurosci Lett* 525: 76–81. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2012.07.043>
36. *Davenport T, Coulson S* (2011) Predictability and novelty in literal language comprehension: an ERP study. *Brain Res* 1418: 70–82. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2011.07.039>
37. *Rataj K, Przekoracka-Krawczyk A, van der Lubbe RHJ* (2018) On understanding creative language: The late positive complex and novel metaphor comprehension. *Brain Res* 1678: 231–244. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2017.10.030>
38. *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.
39. *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>
40. *Zhang Z, Luo Y, Wang C, Warren CM, Xia Q, Xing Q, Cao B, Lei Y, Li H* (2019) Identification and transformation difficulty in problem solving: Electrophysiological evidence from chunk decomposition. *Biol Psychol* 143: 10–21. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2019.02.004>

## THE IMPACT OF COMPETITIVE CONDITIONS ON AMPLITUDES OF EVENT-RELATED POTENTIALS DURING VERBAL CREATIVE AND NON-CREATIVE TASK PERFORMANCE

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

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

<sup>#</sup> *e-mail: nagornova\_zh@mail.ru*

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

Brain activity changes significantly under various social interaction conditions. However, the impact of the context of social interactions on neurophysiological correlates of cognitive and creative activity per se has not been sufficiently addressed. Two polar types of interactions can be distinguished when solving tasks, cooperation or competition. This study was aimed to assess the impact of competitive conditions on amplitudes of event-related potentials (ERPs) when solving creative and non-creative tasks. The subjects (26 male, 18 female) performed two types of tasks as individuals and dyads (male–male, female–female): a creative task to think up an unusual use of an ordinary item and a non-creative task to enumerate items from the proposed categories. In each of the tasks, ERPs were compared during its competitive and individual performance. Competitive conditions led to a decrease in amplitudes of the components P<sub>1</sub> and P<sub>2</sub>, as well as N400 and P600, during both creative and non-creative activity, suggesting the difficulty of finding an answer. The percentage of answers found was also significantly lower under conditions of competitive versus individual task performance. Apparently, a significant portion of resources when performing a task under social interaction conditions is directed toward the assessment of partner's responses and answers, as manifested in a decrease in the amplitude both of the earlier attention-related ERP components (P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>) and the later components related to semantic stimulus processing (N400, P600).

*Keywords:* EEG, event-related potentials (ERP), verbal creative activity, competition, social interactions, alternative uses task (AUT), P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, N400, late positivity (P600)