

ФИЗИОЛОГИЯ ВЫСШЕЙ НЕРВНОЙ (КОГНИТИВНОЙ)  
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

УДК 612.821

ПРАВЫЙ – ЗНАЧИТ ПРАВИЛЬНЫЙ?  
ВЛИЯНИЕ ТИПА МОТОРНОГО ОТВЕТА  
НА ПОВЕДЕНЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ  
ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЗАДАЧИ ОРФОГРАФИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ

© 2024 г. Е. В. Ларионова\*, Ж. В. Гарах, Е. А. Лушекина

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, Москва, Россия

\*e-mail: larionova.ekaterin@gmail.com

Поступила в редакцию 09.04.2024 г.

После доработки 24.06.2024 г.

Принята к публикации 22.07.2024 г.

В настоящее время широко обсуждается роль сенсомоторного компонента в обработке вербальной информации. Мы предполагаем, что тип моторного ответа может влиять на поведенческие и электрофизиологические показатели в задаче орфографического решения. Связанные с событиями потенциалы (ССП) были зарегистрированы у 42 правшей во время выполнения задачи на определение правильности написания слов. Половине участников было сказано нажимать правой рукой на правильно написанные слова и левой – на слова, написанные с ошибкой, а другой половине – наоборот. Моторная реакция на правильно написанные слова была короче для ведущей руки по сравнению с неведущей, что может быть обусловлено совпадением семантических и двигательных репрезентаций (эффект совместимости стимула и реакции). Кроме того, время реакции на неправильно написанные слова было больше, чем на правильно написанные слова только в группе участников, отвечавших ведущей рукой на правильно написанные слова. Компоненты ССП Р200 и N400 не зависели от типа моторного ответа. Однако у группы участников, нажимавших правой рукой на правильно написанные слова, амплитуда компонента Р600 была больше на слова, написанные с ошибками, по сравнению с правильно написанными словами. Таким образом, тип моторного ответа влиял на эффекты, связанные с распознаванием правильности написания слов.

**Ключевые слова:** ССП, ЭЭГ, орфография, правописание, моторный ответ, совместимость стимул-реакция, теория воплощенного познания

**DOI:** 10.31857/S0044467724040079

Согласно теории воплощенного познания (*theory of embodied cognition*) понимание языка неразрывно связано с нашим взаимодействием с окружающим миром, что отражается в определенных мозговых коррелятах обработки вербальных стимулов (см. обзор Bechtold et al., 2023). То есть с одной стороны, когнитивные функции более высокого порядка основаны на активности мозговых систем, поддерживающих сенсомоторные взаимодействия более низкого уровня между телом и окружающей средой, а с другой стороны, процессы более высокого порядка могут влиять на двигательные реакции, о чем говорит парадигма совместимости стимула и реакции (Cicero et al., 2023). Мы предполагаем, что тип моторного ответа может влиять на поведенческие и электрофизиологические показатели при выполнении задачи орфографического решения.

Парадигма совместимости стимул-реакция (*stimulus-response compatibility paradigm*) предполагает

возможность давать более быстрый ответ на основе значения свойства стимула: например, время ответа левой рукой на стимулы, которые расположены в пространстве слева, а правой – на стимулы, расположенные справа (Tucker, Ellis, 1998). То есть определенные свойства стимула могут модулировать поведенческие и даже нейрональные ответы, по крайней мере, в отношении информации о пространственном положении (Tucker, Ellis, 1998; Zhang et al., 2021). Кумар и соавт. исследовали поведенческие и электрофизиологические показатели при двух типах моторного ответа. Участники должны были распознать, является ли изображение реальным предметом, который можно схватить (например, молоток) или нет (такие предметы были созданы путем объединения частей двух разных объектов, например, ножниц и молотка). Ответы они давали с помощью указательного пальца правой (является предметом – конгруэнтный ответ,

соответствует руке, которая захватывает этот объект; не является предметом — неконгруэнтный ответ) или левой руки (Kumar et al., 2012). При конгруэнтном ответе время реакции было меньше, чем при неконгруэнтном. Кроме того, эффекты конгруэнтности наблюдались для раннего компонента связанных с событием потенциалов (ССП): амплитуда N1 ( $\approx 150$  мс) была больше на стимулы с конгруэнтным захватом; и для более позднего: амплитуда компонента P300, связанного с разрешением и мониторингом конфликтов, была больше на стимулы с неконгруэнтным захватом по сравнению со стимулами с конгруэнтным захватом.

Эффект совместимости стимула и реакции наблюдается и в задачах классификации чисел с двумя типами ответов — например, нажатие левой и правой кнопок. Те, кто читают слева направо, быстрее (и/или точнее) оценивают относительно небольшие числа, когда требуется ответ левой кнопкой, и большие числа, когда требуется ответ правой кнопкой (например, когда цифры меньше и больше 5 реагируют нажатием левой и правой клавиш соответственно) (Dehaene et al., 1990). Аналогичные эффекты уменьшения времени реакции наблюдаются и при классификации четных и нечетных чисел. Если испытуемый должен нажимать на четные числа правой, а на нечетные числа — левой рукой, время реакции у читающих слева направо уменьшается, поскольку моторный ответ соответствует пространственному расположению цифр (четные числа в числовом ряду расположены правее нечетных) (Hutchinson, Louwerse, 2014; Uccula et al., 2020). В схожих задачах на определение четности чисел было выявлено и влияние соответствия стимула и реакции на электрофизиологические параметры: большая амплитуда P300 наблюдалась в конгруэнтных условиях по сравнению с неконгруэнтными (Gut et al., 2012).

Немногочисленные исследования показывают, что такие пространственные ассоциации типов ответа могут распространяться и на вербальные стимулы (см. обзор Macnamara et al., 2018). Например, на слова, обозначающие первые месяцы года, время реакции было меньше при ответе левой рукой, а на слова, обозначающие более поздние месяцы года — правой рукой (Gevers et al., 2003). В работе Селларо и соавт. было показано, что слова, обозначающие объекты определенного размера, проявляют эффект совместимости с типами ответа: участники быстрее оценивают слова, обозначающие небольшие объекты (например, «муравей»), когда требуется нажатие левой клавиши левой рукой, и слова, обозначающие большие объекты (например, «слон»), когда требуется нажатие правой клавиши правой рукой (Sellaro et al., 2015). Похожие эффекты наблюдались и при классификации эмоционально окрашенных слов: правши быстрее реагировали на положительные слова правой рукой

и на отрицательные слова левой рукой, тогда как левши демонстрировали противоположную картину (Kong, 2013).

Более общее объяснение подобных эффектов заключается в наделении стимула определенным значением, которое можно сопоставить с пространственным расположением типа моторного ответа, так называемая гипотеза полярности (Proctor, Cho, 2006). Так, в задачах бинарной классификации значения параметров стимула и реакции на этот стимул могут кодироваться как имеющие положительную или отрицательную полярность. Это означает, что они не будут отражать представление величины стимула только в пространственном формате, а скорее это будет абстрактное или символическое представление (Proctor, Cho, 2006; Sellaro et al., 2015; Uccula et al., 2020).

Настоящее исследование было направлено на оценку эффекта совместимости стимула и реакции во время выполнения задачи орфографического решения у правшей. Используемая нами задача требует определения типа написания предъявляемых на экране вербальных стимулов и предполагает их бинарную классификацию — правильно написанное слово или слово, написанное с ошибкой — с помощью нажатия правым или левым указательными пальцами соответствующей клавиши ответа. Основываясь на парадигме совместимости стимула и реакции, мы предположили, что тип моторного ответа может влиять на поведенческие — время реакции и процент ошибок — и электрофизиологические параметры при выполнении задачи орфографического решения. И также влиять на орфографические эффекты, так как правильно написанные слова и слова, написанные с ошибкой, могут кодироваться участниками эксперимента как имеющие положительную (правильные) или отрицательную (неправильные) полярность.

Ранее нами была исследована нисходящая модуляция при распознавании орфографических ошибок во время пассивного чтения и задачи орфографического решения (Larionova et al., 2023). Задача орфографического решения модулировала эффекты орфографии начиная с временного окна 180–260 мс, соответствующего компоненту P200: его амплитуда была больше для правильно написанных слов по сравнению со словами с ошибками. На более позднем этапе после 350 мс эффекты орфографии были одинаковыми для двух задач: слова с ошибками вызывали увеличение амплитуды компонента N400 по сравнению с правильно написанными словами. Кроме того, эффекты орфографии наблюдались в целом ряде работ и для поздней позитивной волны P600. Описано как увеличение, так и уменьшение амплитуды этого компонента на слова с ошибками по сравнению с правильно написанными словами (Van de Meerendonk et al., 2011; Bakos et al., 2018; Larionova, Martynova, 2022;

Larionova et al., 2024). Основываясь на этих данных, в настоящем исследовании мы ожидали орфографических эффектов для компонентов P200, N400 и P600 и оценивали влияние типа моторного ответа на эти электрофизиологические параметры.

## МЕТОДИКА

В исследовании приняли участие 42 человека (28 женщин, 14 мужчин) в возрасте от 18 до 35 лет (средний возраст  $25.43 \pm 5.22$  лет) и средним уровнем образования  $14.79 \pm 1.49$  лет. Все участники были правшами без черепно-мозговых травм и имели нормальное или скорректированное до нормального зрение.

ЭЭГ регистрировали во время задачи орфографического решения – участники должны были определить правильность написания слова, предъявляемого на экране. Моторный ответ они выполняли с помощью геймпада Logitech F310 путем нажатия на левую кнопку устройства указательным пальцем левой руки, а на правую кнопку – указательным пальцем правой руки. Половина участников (ИНСТР1, 14 женщин, 7 мужчин) получили следующую инструкцию: «Если в слове есть ошибка – нажми левую кнопку. Если в слове нет ошибки – нажми правую кнопку». Для другой половины (ИНСТР2, 14 женщин, 7 мужчин) инструкция звучала наоборот: «Если в слове есть ошибка – нажми правую кнопку. Если в слове нет ошибки – нажми левую кнопку». Таким образом, задачи давать ответ как можно быстрее перед испытуемыми не стояло, их задача заключалась только в распознавании правильности написания. Дополнительно всех участников просили постараться не двигаться во время эксперимента и смотреть в центр экрана. Группы участников не отличались по возрасту и уровню образования ( $t$ -test,  $p > 0.1$ ).

Все слова были существительными из 5–7 букв, написанными без ошибок или с орфографическими ошибками в безударной гласной (47 слов, например, «барьба»), в словах с ошибкой была только одна ошибка. В правильно написанных словах тоже была безударная гласная, но она была написана правильно (46 слов, например, «темнота»). Предъявляли два различных набора стимулов, первый из которых получили 24 человека (15 женщин, 9 мужчин, возраст от 18 до 34 лет, средний возраст  $25.38 \pm 4.66$  лет, средний уровень образования  $14.87 \pm 1.15$  лет, ИНСТР1 – 12 человек, ИНСТР2 – 12 человек), второй – 18 человек (13 женщин, 5 мужчин, возраст от 18 до 35 лет, средний возраст  $25.5 \pm 6.03$  лет, уровень образования  $14.67 \pm 1.88$  лет, ИНСТР1 – 9 человек, ИНСТР2 – 9 человек). Частотность слов, длина слова и размер орфографической окрестности не различались для двух категорий стимулов и между наборами ( $t$ -test,  $p > 0.1$ ).

Во время эксперимента участники находились в темной комнате на расстоянии около 1 м от монитора. Слова, написанные белым цветом на черном фоне, предъявлялись в центре экрана в случайном порядке с помощью программного обеспечения PsychoPy Experiment Builder v3.0.7 (Peirce et al., 2019). Угловой размер стимулов составлял  $1.15^\circ$ . Время предъявления стимула составляло 300 мс; интервал до начала предъявления следующего стимула отсчитывали от моторного ответа и варьировали случайным образом от 1500 до 2200 мс. Если ответа не было в течение 5000 мс, предъявляли следующий стимул.

Перед началом эксперимента у каждого участника был короткий период обучения, состоящий из четырех стимулов (два слова были написаны правильно и два слова были написаны с ошибкой, в основной серии эксперимента эти слова не использовались), чтобы потренироваться нажимать на соответствующие кнопки и убедиться, что участник не путает правую и левую кнопки. В конце обучающей серии участник видел на экране количество правильных ответов. Если участник давал менее 3 правильных ответов, то он проходил обучающую серию повторно.

Основная серия эксперимента была поделена на три равных блока (по 31 стимула в каждом), чтобы при необходимости участник мог отдохнуть. Общее время выполнения трех блоков варьировалось в зависимости от скорости ответа участников и не превышало 10 мин. В конце эксперимента участник видел количество данных им правильных ответов.

ЭЭГ регистрировали на усилителе «Энцефалан» (Медиком, Россия) от 19 электродов: Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8, C3, C4, T3, T4, T5, T6, P3, P4, O1, O2, Fz, Cz, Pz, расположенных по системе 10–20. Референты устанавливали на сосцевидных отростках. Частота дискретизации составляла 250 Гц. Импеданс не превышал 10 кОм. Потенциалы, связанные с событиями, обрабатывались с использованием программного обеспечения Brain Vision Analyser 2.0.4 (Brain Products, Германия). Сначала данные фильтровали в диапазоне 0.5–30 Гц аналогично предыдущим работам, посвященным изучению вербальных стимулов, которые фонологически идентичным существующим словам, но отличаются от них написанием (González-Garrido et al., 2013; González-Garrido et al., 2015; Bakos et al., 2018). Затем удаляли артефакты с использованием анализа независимых компонентов. ССП усредняли отдельно для правильных ответов в каждой категории слов во временном окне 300 мс до предъявления стимула и 1500 мс после. Коррекцию базовой линии проводили по 300 мс отрезку ЭЭГ до предъявления стимула.

Статистический анализ выполняли в программе STATISTICA 8. Для анализа поведенческих данных

(процента ошибок и время реакции) использовали *t*-тест. Для анализа ССП выполняли дисперсионный анализ с повторными измерениями (RM ANOVA). Исследовали следующие компоненты ССП: P200 во временном окне 180–260 мс, N400 во временном окне 350–500 мс, P600 во временном окне 500–750 мс. RM ANOVA применяли к средней амплитуде в каждом исследуемом временном окне в 9 областях интереса: левая передняя область (Fp1, F3, F7), средняя передняя область (Fz), правая передняя область (Fp2, F4, F8), левая центральная область (T3, C3), центральная область (Cz), правая центральная область (T4, C4), левая задняя область (T5, P3, O1), средняя задняя область (Pz) и правая задняя область (T6, P4, O2). Амплитуду ССП усредняли по электродам в каждой интересующей области. Дисперсионный анализ включал следующие факторы: ОРФОГРАФИЯ (2 уровня: правильно написанные слова и слова с ошибками), ПОЛУШАРИЕ (3 уровня: левая, правая и средняя линия электродов) и ПОЛОЖЕНИЕ ЭЛЕКТРОДА (3 уровня: передний, центральный и задний). Тип моторного ответа (правый правой рукой для правильных – ИНСТР1 и левый левой рукой для правильных – ИНСТР2) использовали в качестве группового фактора статистической модели. При определении достоверности эффектов учитывали поправку Гринхауса-Гейссера. Поправка Бонферрони использовалась для апостериорного анализа, приведенные в тексте значения даны с учетом поправки.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

*Сравнение групп участников, получивших разные наборы стимулов.* Поскольку не для всех испытуемых использовали идентичные наборы стимулов, на первом этапе выполняли сравнение полученных поведенческих данных у групп испытуемых, использовавших разные наборы стимулов. Группы не отличались по возрасту и уровню образования (возраст: 25.38 vs 25.50 лет,  $t$ -value =  $-0.08$ ,  $df = 40$ ,  $p > 0.1$ ; уровень образования 14.88 vs 14.67 лет,  $t$ -value =  $0.44$ ,  $df = 40$ ,  $p > 0.1$ ). Группы не отличались по времени реакции на правильно написанные слова (0.87 vs 0.80 с,  $t$ -value =  $0.85$ ,  $df = 40$ ,  $p > 0.1$ ), по времени реакции на неправильно написанные слова (0.92 vs 0.90 с,  $t$ -value =  $0.23$ ,  $df = 40$ ,  $p > 0.1$ ), по проценту ошибок на правильно написанные слова (4.26 vs 3.50 %,  $t$ -value =  $0.48$ ,  $df = 40$ ,  $p > 0.1$ ) и по проценту ошибок на неправильно написанные слова (7.45 vs 10.52 %,  $t$ -value =  $-1.50$ ,  $df = 40$ ,  $p > 0.1$ ). Кроме того, обе группы демонстрировали идентичные орфографические эффекты: время реакции на неправильно написанные слова было больше времени реакции на правильно написанные

слова ( $n = 24$ : 0.92 vs 0.87 с,  $t$ -value =  $-2.47$ ,  $df = 23$ ,  $p = 0.02$ ;  $n = 18$ : 0.90 vs 0.80 с,  $t$ -value =  $-3.44$ ,  $df = 17$ ,  $p = 0.003$ ), а процент ошибок на неправильно написанные слова был больше процента ошибок на правильно написанные слова ( $n = 24$ : 7.45 vs 4.26 %,  $t$ -value =  $-2.49$ ,  $df = 23$ ,  $p = 0.02$ ;  $n = 18$ : 10.52 vs 3.50%,  $t$ -value =  $-3.87$ ,  $df = 17$ ,  $p = 0.001$ ). Поскольку по перечисленным параметрам группы, получившие разные наборы стимулов, не отличались между собой, в дальнейшем анализ проводили без учета этого фактора.

*Сравнение поведенческих данных у групп участников, получивших разную инструкцию.* Среди участников с разной инструкцией было равное количество мужчин и женщин (по 14 женщин и 7 мужчин в каждой группе), однако в сумме число женщин было больше, поэтому мы оценили влияние гендерного состава на поведенческие данные: время реакции и процент ошибок не различались у женщин и мужчин (время реакции на правильно написанные слова: 0.81 vs 0.90 с,  $t$ -value =  $-1.19$ ,  $df = 40$ ,  $p > 0.1$ ; время реакции на неправильно написанные слова: 0.88 vs 0.98 с,  $t$ -value =  $-1.19$ ,  $df = 40$ ,  $p > 0.1$ ; процент ошибок на правильно написанные слова: 3.42 vs 4.97 %,  $t$ -value =  $-0.96$ ,  $df = 40$ ,  $p > 0.1$ ; процент ошибок на неправильно написанные слова: 8.89 vs 8.51 %,  $t$ -value =  $0.17$ ,  $df = 40$ ,  $p > 0.1$ ).

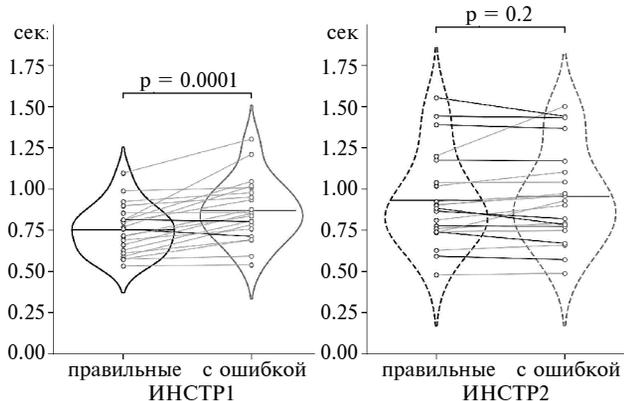
В группе ИНСТР1: время реакции на неправильно написанные слова было больше времени реакции на правильно написанные слова (0.87 vs 0.75 с,  $t$ -value =  $-4.89$ ,  $df = 20$ ,  $p = 0.0001$ , рис. 1), а процент ошибок на неправильно написанные слова был больше процента ошибок на правильно написанные слова (8.41 vs 3.00 %,  $t$ -value =  $-4.20$ ,  $df = 20$ ,  $p = 0.0004$ ).

В группе ИНСТР2: время реакции на неправильно и правильно написанные слова не отличалось (0.95 vs 0.93 с,  $t$ -value =  $-1.23$ ,  $df = 20$ ,  $p = 0.2$ , рис. 1), а процент ошибок на неправильно написанные слова был больше процента ошибок на правильно написанные слова, однако различия были менее выраженные, чем в группе ИНСТР1 (9.12 vs 4.87 %,  $t$ -value =  $-2.37$ ,  $df = 20$ ,  $p = 0.03$ ).

При сравнении поведенческих данных участников, использовавших разные моторные ответы, были выявлены различия только по времени реакции на правильно написанные слова: группа ИНСТР1 давала ответ быстрее, чем группа ИНСТР2 (0.75 vs 0.93 с,  $t$ -value =  $-2.56$ ,  $df = 40$ ,  $p = 0.01$ ).

*Сравнение амплитуд компонентов P200, N400 и P600 у групп участников, получивших разную инструкцию.* Анализируемые компоненты представлены на рис. 2.

Для компонента P200 (180–260 мс) был значим фактор ОРФОГРАФИЯ:  $F(1, 40) = 5.69$ ,  $p = 0.02$ , для правильно написанных слов амплитуда была



**Рис. 1.** Распределения времени реакции для двух типов стимулов для двух типов моторного ответа – ИНСТР1 и ИНСТР2 – отображаются в виде скрипичного графика; средние значения показаны горизонтальными линиями. Светло-серые наклонные линии означают, что время реакции на слова с ошибкой больше времени реакции на правильно написанные слова; темно-серые – наоборот. Подпись по оси x: правильные – правильно написанные слова; с ошибкой – слова, написанные с ошибкой.

**Fig. 1.** Distributions of reaction times for two types of stimuli for two types of motor response – Instruction1 and Instruction2 – are displayed as a violin plot; the average values are shown by horizontal lines. Light gray slanted lines mean that the reaction time to misspelled words is longer than the reaction time to correctly spelled words; dark gray – on the contrary. Label on the x-axis: correct – correctly written words; misspelled – words spelled incorrectly.

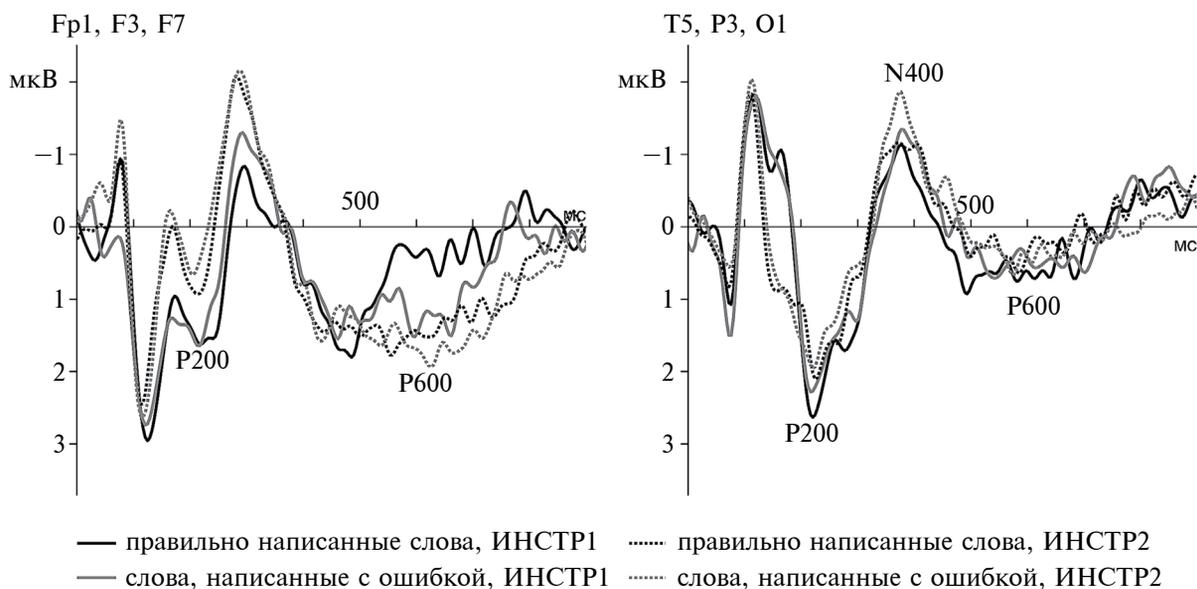
больше (более положительная), чем на слова, написанные с ошибками.

Для компонента N400 (350–500 мс) было значимо взаимодействие факторов ОРФОГРАФИЯ × ПОЛУШАРИЕ × ПОЛОЖЕНИЕ ЭЛЕКТРОДА:  $F(4, 160) = 2.85, p = 0.04$ . Апостериорный анализ показал, что в правой передней ( $p = 0.01$ ), левой центральной ( $p = 0.002$ ), центральной ( $p = 0.001$ ), левой задней ( $p = 0.04$ ) и средней задней ( $p = 0.0003$ ) областях амплитуда компонента N400 более отрицательная на слова, написанные с ошибками, по сравнению с правильно написанными словами.

Для компонента P600 (500–750 мс) было значимо взаимодействие факторов ОРФОГРАФИЯ × ПОЛУШАРИЕ × ПОЛОЖЕНИЕ ЭЛЕКТРОДА × ИНСТР:  $F(4, 160) = 7.66, p = 0.0001$ . Апостериорный анализ показал, что эффект орфографии наблюдался только в группе ИНСТР1: на уровне тенденции в левой передней ( $p = 0.09$ ) и значимо в средней передней ( $p = 0.001$ ) областях амплитуда компонента P600 была больше (более позитивная) на слова, написанные с ошибками, по сравнению с правильно написанными словами.

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В настоящей работе мы продемонстрировали влияние типа моторного ответа на поведенческие и электрофизиологические показатели при



**Рис. 2.** Усредненные по группам ИНСТР1 и ИНСТР2 ССП в левой передней (отведения Fp1, F3, F7) и левой задней (отведения T5, P3, O1) областях.

**Fig. 2.** Averaged across groups Instruction1 and Instruction2 ERPs in the left anterior (electrodes Fp1, F3, F7) and left posterior (electrodes T5, P3, O1) regions.

выполнении задачи орфографического решения. Моторная реакция на правильно написанные слова была короче для ведущей руки по сравнению с неведущей. Кроме того, только в группе участников, отвечавших ведущей рукой на правильно написанные слова, время реакции на неправильно написанные слова было больше, чем на правильно написанные слова, а амплитуда компонента P600 была больше на слова, написанные с ошибками, по сравнению с правильно написанными словами. Таким образом, тип моторного ответа влиял на эффекты, связанные с распознаванием правильности написания слов.

Согласно поведенческим данным орфографический эффект был больше выражен в группе участников, нажимавших правую кнопку правой рукой на правильно написанные слова, а левую кнопку левой рукой — на слова, написанные с ошибкой. У них наблюдался орфографический эффект как для времени реакции, так и для процента ошибок, в то время как в другой группе, нажимавшей левую кнопку на правильно написанные слова, для времени реакции не было этого эффекта, а для процента ошибок он был менее выражен, чем у первой группы испытуемых. Эти различия, касающиеся орфографических эффектов в двух группах, можно объяснить двумя факторами. Во-первых, неправильно написанные слова сложнее распознать, чем правильно написанные — это проявляется в увеличении процента ошибок и времени ответа на такие стимулы. Ранее было показано, что в задаче на орфографическое решение время реакции на правильно написанное слово короче, чем время реакции на слово с ошибкой, когда ответы на правильно написанное слово даются правой рукой, а на неправильно написанное — левой (например, Larionova et al., 2023; Larionova et al., 2024). Однако это справедливо и тогда, когда ответы и на правильно, и на неправильно написанное слово участники дают правой рукой (например, Montant et al., 2011). Схожие орфографические эффекты мы наблюдаем у группы, которая нажимала правой рукой на правильно написанные слова.

Во-вторых, группа, нажимавшая правую кнопку на правильно написанные слова, давала ответы на эти стимулы быстрее, чем группа, нажимавшая левую кнопку. Действительно, около 90% людей предпочитают использовать правую руку для манипуляций, т.е. демонстрируют праворукость, поэтому выполнение задачи ведущей рукой часто лучше, чем неведущей (Corballis, 2003; Yang et al., 2021). Кроме того, можно предположить, что у испытуемых, нажимающих правой рукой на правильно написанные слова, на поведенческом уровне наблюдался эффект соответствия стимул-реакции, но только для правильных ответов. Такие эффекты соответствия могут возникать в результате совпадения вербальных ярлыков, присвоенных значениям

стимула и реакции: во время выполнения задания участники могут заметить, что все значения параметров стимула и реакции можно разделить на две дихотомические категории, соответственно более быстрые и/или более точные ответы будут наблюдаться в случае перекрытия вербальных репрезентаций (Gevers et al., 2010). В задаче орфографического решения такими категориями могли быть правильно написанные слова — правое нажатие, неправильно написанные слова — левое нажатие. Основываясь на гипотезе полярности (Proctor, Cho, 2006), можно предположить, что правильно написанное слово кодируется как имеющее положительную полярность. Поэтому у участников, нажимавших правой рукой на правильно написанные слова, такое семантическое представление стимула совпадало с пространственным расположением типа моторного ответа. Таким образом, в этой группе наблюдались более выраженные различия между правильно и неправильно написанными словами на поведенческом уровне, вероятно, за счет собственно орфографического эффекта и эффектов преимущества ведущей руки и совместимости стимула и реакции.

Интересно, что для слов, написанных с ошибкой, различий по скорости реакции между группами, реагирующими на такой стимул левой или правой рукой, не было. Как уже было указано выше, в целом у правшей время сенсомоторной реакции на зрительные стимулы меньше при ответе правой рукой, чем левой рукой (Chouamo et al., 2020). Поэтому, с одной стороны, при моторной реакции на слова с ошибкой испытуемые, дававшие ответ правой рукой, должны иметь преимущество в скорости реакции ведущей руки над группой, дававшей ответ на этот тип стимула левой рукой. С другой стороны, слова с ошибками более сложные для распознавания, чем правильно написанные слова. Кроме того, вербальные навыки как часть высших психических функций связаны с индивидуальным сенсомоторным опытом (Pulvermüller, 1999), можно предположить, что в процессе обучения правши приобретают навык написания слов правой рукой, придавая им смысл «правильного». Таким образом, у испытуемых при нажатии кнопки правой рукой на слова с ошибкой эти факторы могли компенсировать друг друга: правильное слово идентифицируется быстрее, однако ответ дается медленной левой рукой; слово с ошибкой обрабатывается медленнее, в то время как ответ дается быстрой правой рукой. В результате в группе, которая нажимала на правильно написанное слово неведущей рукой, не было различий времени реакции между правильно и неправильно написанными словами.

Для компонентов P200 и N400 были выявлены эффекты орфографии, соответствующие ранее

полученным нами данным (Larionova, Martynova, 2022; Larionova et al., 2023), однако на эти эффекты не влиял тип моторного ответа. Амплитуда компонента P200 для правильно написанных слов была больше, чем для слов, написанных с ошибками. Компонент P200 связывают с процессами кодирования словоформы и извлечением орфографических и фонологических особенностей слов на ранних этапах их распознавания (Carreiras et al., 2005; Sánchez-Vincitore et al., 2018; Bermúdez-Margaretto et al., 2020; Wang et al., 2021). Кроме того, эту волну связывают с ранними процессами категоризации стимулов, в том числе на основе правописания в задаче орфографического решения (Gonzalez-Garrido et al., 2014). Слова, написанные с ошибками, звучат как настоящие слова, однако их фонологические представления не соответствуют орфографическим репрезентациям этих слов в памяти. Таким образом, увеличение амплитуды P200 на правильно написанные слова в нашем исследовании отражает наличие орфографических представлений в памяти для правильно написанных слов.

Компонент N400 связывают с лексико-семантической обработкой, при этом уменьшение амплитуды этой волны отражает более легкий доступ к лексико-семантической информации (Kutas, Federmeier, 2000). По мнению некоторых авторов, амплитуда N400 отражает количество усилий, необходимых для интеграции орфографической, фонологической и семантической информации при лексической обработке (Grainger, Holcomb, 2009). В исследованиях, посвященных псевдооофонам, то есть вербальным стимулам, которые звучат как реальные слова, но их написание отличается (например, псевдооофон *BRANE* и слово *BRAIN* в английском языке), было показано увеличение амплитуды N400 для псевдооофонов по сравнению со словами (Briesemeister et al., 2009; Hasko et al., 2013; Gonzalez-Garrido et al., 2014). Увеличение амплитуды N400 для псевдооофонов связывают с конфликтом между орфографическими (не совпадают с реальными словами) и фонологическими (совпадают с реальными словами) представлениями, что затрудняет их интеграцию при лексической обработке (Briesemeister et al., 2009). В нашем исследовании слова, написанные с ошибками, являются псевдооофонами: они звучат как правильно написанные слова, однако их написание отличается, поэтому более отрицательная амплитуда N400 на слова, написанные с ошибками, по сравнению с правильно написанными словами, вероятно, отражает трудности интеграции орфографической и фонологической информации и затруднение лексической обработки для слов, написанных с ошибками. Это согласуется и с поведенческими данными – правильно написанные слова обрабатывались точнее, чем слова, написанные с ошибками: процент правильных ответов был больше на слова без

ошибок в двух группах с разным типом моторного ответа.

Вероятно, в задаче орфографического решения компоненты P200 и N400 отражают автоматические процессы распознавания орфографии, которые не зависят от типа моторного ответа. В то время как более поздний компонент P600 связан с процессами явного анализа и может зависеть от моторного ответа.

Орфографические эффекты компонента P600 могут быть связаны с процессами повторного анализа (Osterhout, Holcomb, 1992; Larionova et al., 2024), например, наблюдающиеся при сопоставлении прочитанного слова с уже известным (Гальперина и др., 2021). К функциональному значению P600 относят также перепроверку возможных ошибок обработки информации (Meerendonk et al., 2011), что может требовать повышенных ресурсов рабочей памяти. В то же время есть сведения о том, что амплитуда компонента P600 отражает процессы внимания, категоризации и принятия решений (Kutas et al., 2006), имея сходное функциональное значение с компонентом P300 (Leckey, Federmeier, 2020; Бойцова, Старченко, 2020). Ранее при сравнении задачи на пассивное чтение и задачи орфографического решения, требующей как оценки правильности, так и внимания к обоим типам предъявленных стимулов, в отличие от задачи чтения, мы показали, что в задаче с моторным ответом амплитуда компонента P600 была больше в центральных и задних областях по сравнению с задачей на пассивное чтение (Larionova et al., 2023). Эффекты P600 в настоящем исследовании наблюдались во фронтальной области (левая и средняя передние области интереса), что совместимо с топографией компонента P300, связанного с процессами внимания (Sassenhagen, Bornkessel-Schlesewsky, 2015). Контье и соавт. обнаружили, что во время задачи на определение правильности написания предложений амплитуда P600 была значительно больше в периоды низкой вариабельности времени реакции (высокое устойчивое внимание), чем в периоды высокой вариабельности времени реакции (низкое устойчивое внимание) (Contier et al., 2022). Напротив, на амплитуду N400 в их работе, как и в нашей, не влияла изменчивость времени реакции. В нашем исследовании показано, что только у испытуемых, которые получали инструкцию нажимать правой рукой в ответ на правильно написанные слова, а левой – на неправильно написанные, имеются различия по амплитуде компонента P600: она была больше на слова с ошибкой, чем на правильно написанные слова. У испытуемых с противоположной инструкцией данный эффект отсутствовал. На рис. 1 видно распределение времени реакции: действительно, для группы ИНСТР1 более компактное распределение, чем для группы ИНСТР2. Ведущая

рука и распределение внимания связаны: ранее было показано, что компоненты ССП, связанные с вниманием, возникающие через 100–250 мс после появления стимула, в основном модулировались рукой участников (Kourtis, Vingerhoets, 2016). Наши данные показывают, что поздний компонент Р600, вероятно, также связан с ведущей рукой. Следовательно, только у одной группы испытуемых, у которых мы предполагаем присутствие эффекта соответствия стимула и реакции, имеет место высокое устойчивое внимание, необходимое для успешного выполнения повторного анализа вербальной информации, отражающегося в Р600.

### ВЫВОДЫ

1. Моторная реакция на правильно написанные слова у правшей короче для ведущей руки по сравнению с неведущей, что может быть проявлением эффекта совместимости стимула и реакции. В этом случае, правильно написанное слово кодируется как имеющее положительную полярность.

2. У участников, дававших ответ на правильно написанные слова ведущей рукой, наблюдались более выраженные различия между словами с ошибками и без ошибок на поведенческом уровне по сравнению с участниками, дававшими ответ на правильно написанные слова неведущей рукой, что свидетельствует о влиянии типа моторного ответа на поведенческие показатели в задаче орфографического решения.

3. В задаче орфографического решения компоненты ССП Р200 и N400, связанные с наличием орфографических представлений в памяти и лексико-семантической обработкой, могут отражать автоматические процессы распознавания орфографии, которые не зависят от типа моторного ответа.

4. Эффекты компонента Р600, отражающего процесс повторного анализа информации, выявляются только у испытуемых при совместимости стимула и моторной реакции, что может быть следствием устойчивости внимания, необходимого для успешной дифференциации слов на основе их написания.

### ИНФОРМАЦИЯ О ВКЛАДЕ КАЖДОГО АВТОРА

Е.В. Ларионова и Ж.В. Гарах – концепция, проведение экспериментов, анализ данных; Е.В. Ларионова, Ж.В. Гарах, Е.А. Лушекина – интерпретация данных и обсуждение результатов исследования; Е.В. Ларионова – написание текста; Ж.В. Гарах и Е.А. Лушекина – редактирование текста статьи.

### ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ РАБОТЫ

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки Российской Федерации.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Мы благодарим А.Б. Ребрейкину за помощь в сборе данных на начальном этапе исследования.

### УКАЗАНИЕ НА ОТСУТСТВИЕ КОНФЛИКТА ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Перед началом эксперимента все участники подписали добровольное информированное согласие на участие в исследовании. Исследование проведено с соблюдением принципов Хельсинкской декларации и было одобрено этической комиссией ИВНД и НФ РАН (протокол №03 от 15.07.2019).

### УКАЗАНИЕ НА ДОСТУПНОСТЬ ПЕРВИЧНЫХ ДАННЫХ

Данные, собранные и проанализированные в ходе текущего исследования, доступны у соответствующего автора по обоснованному запросу.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бойцова Ю.А., Старченко М.Г.* Потенциалы, связанные с событиями при выполнении теста Go/NoGo в подгруппах испытуемых с разным уровнем выраженности вербальной креативности. Журнал высшей нервной деятельности им И.П. Павлова. 2020. 70 (5): 609–615.
- Гальперина Е.И., Кручинина О.В., Станкова Е.П., Корнев А.Н.* Поздние компоненты связанных с событиями потенциалов у детей, подростков и взрослых при чтении слов. Журнал высшей нервной деятельности им И.П. Павлова. 2021. 71 (4): 500–514.
- Bakos S., Landerl K., Bartling J., Schulte-Körne G., Moll K.* Neurophysiological correlates of word processing deficits in isolated reading and isolated spelling disorders. *Clinical Neurophysiology*. 2018. 129 (3): 526–540.
- Bechtold L., Cospes S.H., Malyshevskaya A., Montefinese M., Morucci P., Niccolai V., Repetto C., Zappa A., Shtyrov Y.*

- Brain Signatures of Embodied Semantics and Language: A Consensus Paper. *Journal of cognition*. 2023. 6 (1): 61.
- Bermúdez-Margaretto B., Beltrán D., Shtyrov Y., Dominguez A., Cuetos F.* Neurophysiological Correlates of Top-Down Phonological and Semantic Influence during the Orthographic Processing of Novel Visual Word-Forms. *Brain Sciences*. 2020. 10 (10): 1–19.
- Briesemeister B.B., Hofmann M.J., Tamm S., Kuchinke L., Braun M., Jacobs A.M.* The pseudohomophone effect: evidence for an orthography-phonology-conflict. *Neuroscience letters*. 2009. 455 (2): 124–128.
- Carreiras M., Vergara M., Barber H.* Early event-related potential effects of syllabic processing during visual word recognition. *Journal of cognitive neuroscience*. 2005. 17 (11): 1803–1817.
- Chouamo A. K., Griego S., Susana Martinez Lopez F.* Reaction time and hand dominance. *The Journal of Science and Medicine*. 2021.
- Contier F., Weymar M., Wartenburger I., Rabovsky M.* Sustained Attention as Measured by Reaction Time Variability Is a Strong Modulator for the P600, but Not the N400. *Journal of Cognitive Neuroscience*. 2022. 34 (12): 2297–2310.
- Corballis M.C.* From mouth to hand: Gesture, speech, and the evolution of right-handedness. *Behavioral and Brain Sciences*. 2003. 26 (02).
- Currò T., Candidi M., Calvo-Merino B.* Inhibitory mechanisms are affected by stimulus-response congruency. *Current Research in Behavioral Sciences*. 2023. 4. 100108.
- Dehaene S., Dupoux E., Mehler J.* Is numerical comparison digital? Analogical and symbolic effects in two-digit number comparison. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 1990. 16 (3): 626–641.
- Gevers W., Reynvoet B., Fias W.* The mental representation of ordinal sequences is spatially organized. *Cognition*. 2003. 87 (3): B87–B95.
- Gevers W., Santens S., Dhooge E., Chen Q., Bossche L. Van den, Fias W., Verguts T.* Verbal-spatial and visuospatial coding of number–space interactions. *Journal of Experimental Psychology: General*. 2010. 139 (1): 180–190.
- González-Garrido A.A., Gómez-Velázquez F.R., Rodríguez-Santillán E.* Orthographic Recognition in Late Adolescents. *Clinical EEG and Neuroscience*. 2013. 45 (2): 113–121.
- González-Garrido A.A., Gómez-Velázquez F.R., Zarabozo D., Zarabozo-Hurtado D., Joshi R.M.* ERP effects of word exposure and orthographic knowledge on lexical decisions in Spanish. *Journal of Behavioral and Brain Science*. 2015. 5 (6). 185–193.
- Grainger J., Holcomb P.J.* Watching the Word Go by: On the Time-course of Component Processes in Visual Word Recognition. *Language and linguistics compass*. 2009. 3 (1): 128–156.
- Gut M., Szumska I., Wasilewska M., Jaśkowski P.* Are low and high number magnitudes processed differently while resolving the conflict evoked by the SNARC effect? *International Journal of Psychophysiology*. 2012. 85 (1): 1: 7–16.
- Hasko S., Groth K., Bruder J., Bartling J., Schulte-Körne G.* The time course of reading processes in children with and without dyslexia: an ERP study. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2013. 7: 570.
- Hutchinson S., Louwerse M.M.* Language statistics explain the spatial–numerical association of response codes. *Psychonomic Bulletin & Review*. 2013. 21 (2): 470–478.
- Kong F.* Space–valence associations depend on handedness: evidence from a bimanual output task. *Psychological Research*. 2013. 77 (6): 773–779.
- Kourtis D., Vingerhoets G.* Evidence for dissociable effects of handedness and consistency of hand preference in allocation of attention and movement planning: An EEG investigation. *Neuropsychologia*. 2016. 93. 493–500.
- Kumar S., Yoon E.Y., Humphreys G.W.* Perceptual and motor-based responses to hand actions on objects: evidence from ERPs. *Experimental Brain Research*. 2012. 220 (2): 153–164.
- Kutas M., Federmeier K.D.* Electrophysiology reveals semantic memory use in language comprehension. *Trends in cognitive sciences*. 2000. 4 (12): 463–470.
- Kutas M., Van Petten C.K., Kluender R.* Psycholinguistics Electrified II (1994–2005). *Handbook of Psycholinguistics*. 2006. 659–724.
- Larionova E., Garakh Z., Martynova O.* Top-down modulation of brain responses in spelling error recognition. *Acta Psychologica*. 2023. 235. 103891.
- Larionova E.V., Martynova O.V.* Frequency Effects on Spelling Error Recognition: An ERP Study. *Frontiers in Psychology*. 2022. 13. 1977.
- Larionova E., Rebreikina A., Martynova O.* Electrophysiological signatures of spelling sensitivity development from primary school age to adulthood. *Scientific Reports*. 2024. 14. 7585.
- Leckey M., Federmeier K.D.* The P3b and P600(s): Positive contributions to language comprehension. *Psychophysiology*. 2020. 57 (7).
- Macnamara A., Keage H.A.D., Loetscher T.* Mapping of non-numerical domains on space: a systematic review and meta-analysis. *Experimental Brain Research*. 2017. 236 (2): 335–346.
- Montant M., Schön D., Anton J.L., Ziegler J.C.* Orthographic Contamination of Broca’s Area. *Front Psychol. Frontiers in Psychology*. 2011. 2. 378.
- Osterhout L., Holcomb P.J.* Event-related brain potentials elicited by syntactic anomaly. *Journal of Memory and Language*. 1992. 31 (6): 785–806.
- Peirce J., Gray J.R., Simpson S., MacAskill M., Höchenberger R., Sogo H., Kastman E., Lindeløv J.K.* PsychoPy2: Experiments in behavior made easy. *Behavior research methods*. 2019. 51 (1): 195–203.
- Proctor R.W., Cho Y.S.* Polarity correspondence: A general principle for performance of speeded binary

- classification tasks. *Psychological Bulletin*. 2006. 132 (3): 416–442.
- Pulvermüller F.* Words in the brain's language. *Behavioral and Brain Sciences*. 1999. 22 (2): 253–279.
- Sánchez-Vincitore L. V., Avery T., Froud K.* Word-related N170 responses to implicit and explicit reading tasks in neoliterate adults. *International Journal of Behavioral Development*. 2018. 42 (3): 321–332.
- Sassenhagen J., Bornkessel-Schlesewsky I.* The P600 as a correlate of ventral attention network reorientation. *Cortex*. 2015. 66. A3–A20.
- Sellaro R., Treccani B., Job R., Cubelli R.* Spatial coding of object typical size: evidence for a SNARC-like effect. *Psychological Research*. 2014. 79 (6): 950–962.
- Tucker M., Ellis R.* On the relations between seen objects and components of potential actions. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 1998. 24 (3): 830–846.
- Uccula A., Enna M., Treccani B.* Compatibility between response position and either object typical size or semantic category: SNARC and MARC-like effects in primary school children. *Journal of Experimental Child Psychology*. 2020. 189. 104682.
- Van de Meerendonk N., Indefrey P., Chwilla D.J., Kolk H.H.J.* Monitoring in language perception: Electrophysiological and hemodynamic responses to spelling violations. *NeuroImage*. 2011. 54 (3): 2350–2363.
- Wang Y., Jiang M., Huang Y., Qiu P.* An ERP Study on the Role of Phonological Processing in Reading Two-Character Compound Chinese Words of High and Low Frequency. *Frontiers in Psychology*. 2021. 12. 490.
- Yang Y., Weiss P.H., Fink G.R., Chen Q.* Hand preference for the visual and auditory modalities in humans. *Scientific reports*. 2021. 11 (1): 7868.
- Zhang Z., Zeidman P., Nelissen N., Filippini N., Diedrichsen J., Bracci S., Friston K., Rounis E.* Neural Correlates of Hand–Object Congruency Effects during Action Planning. *Journal of Cognitive Neuroscience*. 2021. 33 (8): 1487–1503.

## RIGHT IS IT RIGHT? INFLUENCE OF THE TYPE OF MOTOR RESPONSE ON BEHAVIORAL AND ELECTROPHYSIOLOGICAL INDICATORS DURING THE ORTHOGRAPHIC DECISION TASK

E. V. Larionova<sup>#</sup>, Zh. V. Garakh, E. A. Luschekina

*Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology Russian Academy of Science, Moscow, Russia*  
<sup>#</sup>*e-mail: larionova.ekaterin@gmail.com*

The role of the sensorimotor component in the processing of verbal information is currently widely discussed. We hypothesize that the type of motor response may influence behavioral and electrophysiological performance in an orthographic decision task. Event-related potentials (ERPs) were recorded in 42 right-handers during an orthographic decision task. Half of the participants were instructed to press the right button with their right hand upon encountering correctly spelled words and the left button with their left hand upon encountering misspelled words, while the other half followed the opposite instruction. The motor response to correctly spelled words was shorter for the dominant hand compared to the non-dominant hand, which may be due to the coincidence of semantic and motor representations (stimulus-response compatibility effect). In addition, reaction times to incorrectly spelled words were longer than to correctly spelled words only in the group of participants who responded with their dominant hand to correctly spelled words. The P200 and N400 ERP components did not depend on the type of motor response. However, in the group of participants who pressed correctly spelled words with their right hand, the amplitude of the P600 component was greater for misspelled words compared to correctly spelled words. Thus, the type of motor response influenced the effects associated with word spelling recognition.

*Keywords:* ERP, EEG, orthography, spelling, motor response, stimulus-response compatibility, embodied cognition