

РОЛЬ ЛАТЕРАЛЬНОЙ АСИММЕТРИИ В ЗАДАЧЕ ПОДАВЛЕНИЯ ОТВЕТА ПО КОМПОНЕНТАМ ВЫЗВАННЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ

Ю.А. МАРАКШИНА^{а,b}, А.В. ВАРТАНОВ^а, Б.И. БЕСПАЛОВ^а

^а *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 119991, Россия, Москва, Ленинские горы, д. 1*

^б *Психологический институт Российской академии образования, 125009, Россия, Москва, ул. Моховая, д. 9, стр. 4*

Резюме

Исследование посвящено проблеме реализации функции подавления когнитивного контроля у лиц с различными характеристиками латеральной асимметрии – доминантности левой или правой руки или глаза. Группы участников с ведущим правым и левым глазом, а также ведущей правой и левой рукой выполняли задачи Go/NoGo различной перцептивной сложности. В результате обнаружены значимые различия в амплитуде компонентов вызванных потенциалов N200 и P300. Различия в амплитуде N200 в правом височном отведении обнаружены между участниками с правым и левым векторами латеральной асимметрии в двух задачах в обоих условиях (Go и NoGo) в отведении T6 и могут свидетельствовать о независимости процессов цветовой обработки стимулов от необходимости подавления ответа, а также о том, что на раннем этапе обработки стимулов различия между группами касаются обработки их цвета. Различия в амплитуде компонента P300 представлены в большем диапазоне отведений и могут быть связаны с перцептивной сложностью визуальных стимулов. Использование ресурсов когнитивного контроля различается у групп с право- и левосторонним векторами латеральной асимметрии. В задаче, где целевые стимулы находятся вне фона, больше различий регистрируется в условии, требующем подавления нерелевантного ответа (NoGo); в задаче, где стимулы интегрированы в фон, – в условии, не требующем подавления (Go). Данное обстоятельство свидетельствует о различиях в осуществлении контроля у участников с различными типами латеральной асимметрии в связи с разными типами стимулов.

Ключевые слова: когнитивный контроль, вызванные потенциалы, Go/NoGo, доминантность руки, глазодоминантность.

Исследование когнитивного контроля как совокупности функций, позволяющих осуществлять целена-

правленное поведение, является широко распространенным и перспективным направлением когнитивной

психологии (Alvarez, Emory, 2006). В число данных функций входят подавление активности, нерелевантной текущей задаче, переключение между задачами, обновление релевантной информации (Miyake et al., 2000). Подавление нерелевантной активности изучается в ситуации выполнения испытуемыми различных задач (Kok, 1999). Одной из них является классическая задача Струпа: испытуемому предъявляется ряд слов, обозначающих цвета. При этом цвет шрифта, которым написаны эти слова, не совпадает с цветом, который обозначают слова. Перед испытуемым возникает две альтернативы ответа: прочитывать слово или называть цвет его букв. Тенденция прочесть слово является более привычной, поэтому способность назвать цвет букв характеризует величину подавления. Еще одним примером задачи на подавление нерелевантной активности является антисаккада. Задача испытуемого — реагировать на появление объектов в разных, заранее неизвестных сторонах визуального поля. Перед появлением объекта в противоположной стороне визуального поля возникает сигнал, который, с одной стороны, выступает подсказкой, что в следующий момент времени появится отслеживаемый объект, с другой стороны, задача испытуемого состоит в подавлении саккады в сторону этого стимула. Величина подавления определяется способностью испытуемого не отвечать саккадическими движениями глаз на стимулы-подсказки (так как в противном случае время, отводимое на отслеживание целевого объекта, будет упущено) и рассчитывается исходя из общего количества

правильных ответов. Также широко распространены при изучении подавления ответов можно назвать задачи в парадигме Go/NoGo: испытуемый должен реагировать на один стимул и тормозить ответ на другой, при нахождении в том же контексте. Примером может служить задача стоп-сигнал, stop-signal task (Logan, 1994). У испытуемого формируется установка на категоризацию объектов (например, разделять гласные и согласные буквы). В то же время дается инструкция не реагировать на объекты в случае появления стоп-сигнала, который может выступать в качестве звукового либо визуального (смена цвета буквы) предупреждения. Задержка стоп-сигнала по отношению к стимулу, определяемая исходя из индивидуального времени реакции, ведет к усложнению задачи. Величина подавления определяется исходя из ошибочных реакций на те стимулы, которые были помечены стоп-сигналом.

Функциональная асимметрия и ее связь с подавлением ответов

До сих пор остаются невыясненными многие особенности и механизмы когнитивного функционирования в зависимости от функциональной асимметрии органов, например, таких характеристик, как предпочтение ведущей руки и глазо-доминантность. Левшество встречается в популяции с частотой 10.0–12.6 и 5.9–10.4% среди мужчин и женщин соответственно (Perelle, Ehrman, 1994). Известно, что в популяции леворуких чаще встречаются пациенты с неврологическими нарушениями — эпилепсией,

трудностями в обучении (Bryden et al., 2005; Lewin et al., 1993). Однако существуют и данные, подтверждающие высокие способности левшей в выполнении когнитивных задач (Benbow, 1986; Halpern et al., 1998). Это касается в том числе задач, задействующих когнитивный контроль, и в частности подавление нерелевантных ответов. Так, лица с левой ведущей рукой показали меньшую степень интерференции в задаче Струпа и более успешно справлялись с ней по сравнению с правшами (Veratis et al., 2010). Стоит отметить, что эти данные противоречат более ранним исследованиям, показавшим большую успешность правшей в выполнении задачи Струпа, что может быть объяснено, однако, малым объемом выборки (Jorgenson et al., 1980). Также невозможно сделать окончательные выводы о мозговых механизмах подавления ввиду того, что в большей части исследований принимают участие добровольцы с правой ведущей рукой, однако существуют данные о том, что у них в этот процесс вовлечены в большей степени области правого полушария (Garavan et al., 1999). Существуют данные, подтверждающие большую успешность левшей в некоторых когнитивных задачах, в том числе включающих функцию подавления, что объясняется большей вовлеченностью в эти процессы правого полушария (Veratis et al., 2013). Наряду с этим представлены данные о преимущественном вовлечении левого полушария в успешное осуществление подавления ответов как у правшей, так и у левшей (Serrien, Sovijärvi-Sparé, 2013). Так или иначе, вопрос о мозговых механизмах

подавления у лиц с левосторонней асимметрией остается открытым.

Электрофизиологические корреляты подавления ответа в компонентах вызванных потенциалов

Исследования с использованием задач в парадигме Go/NoGo связывают подавление ответа с двумя основными компонентами вызванного потенциала (Vokura et al., 2001). Первый из них — компонент N200, негативная волна в промежутке между 200 и 300 мс после стимула. Он отмечен только в ситуации предъявления стимулов, требующих подавления ответа (NoGo). Второй компонент — P300, появляющийся в интервале от 300 до 600 мс. Он имеет большую латентность и амплитуду в условии NoGo, требующем подавления ответа, по сравнению с условием Go, где подавлять ответ не требуется.

Исследований различия между компонентами вызванных потенциалов у испытуемых с различными характеристиками латеральной асимметрии в ситуациях, где требуется подавление произвольного ответа, немного. В экспериментах с использованием антисаккад выявлено снижение амплитуды предсаккадической настройки в лобной области и повышение — в левой задневисочной области в группе участников с левым ведущим глазом по сравнению с участниками с правым ведущим глазом, кроме того, показана более значительная активация правого полушария у участников с левым ведущим глазом перед саккадами влево (Лазарев, Киренская, 2008). Полученные результаты интерпретируются

как снижение вовлечения лобной коры наряду с повышением роли правого полушария и постцентральных областей коры у участников с левым ведущим глазом. В исследовании рабочей памяти, где сравнивалась активность в ситуациях инициации и подавления, наблюдалась большая амплитуда компонента P50 фронтальных областей в ситуации инициации у участников с левой ведущей рукой (Beratis et al., 2009). Амплитуда этого компонента снижалась в ситуации подавления только у участников с левой ведущей рукой. У участников с правой ведущей рукой, напротив, в ситуации подавления активация увеличивалась.

Таким образом, эти данные косвенно подтверждают необходимость большей активации правого полушария при выполнении задач на подавление. Однако в связи с малой представленностью работ по исследованию подавления у испытуемых с характеристиками левосторонней асимметрии (в частности, на материале задач Go/NoGo) существует необходимость выявления мозговых механизмов этого процесса. Данное исследование направлено на выделение компонентов вызванного потенциала, связанных с осуществлением функции подавления у испытуемых с левой ведущей рукой, а также у испытуемых с левым ведущим глазом на материале задачи в парадигме Go/NoGo.

Характеристики выборки и методы исследования

В исследовании приняли участие 27 участников мужского пола (средний возраст — 23.7 ± 3.9 года) с высшим (13 человек, 48%), неокончен-

ным высшим (11 человек, 41%) и средним специальным образованием (3 человека, 11%).

Все участники выполнили вспомогательные методики, позволяющие определить их ведущую руку и ведущий глаз. В качестве методики для определения ведущей руки использовался теппинг-тест в классическом варианте Ильина (Ильина, Ильин, 1975). Методика была представлена в графическом варианте и проводилась индивидуально с каждым участником. Процедура тестирования осуществлялась с помощью секундомера. В качестве измеряемого показателя теста рассчитывался коэффициент функциональной асимметрии по работоспособности левой и правой рук. Положительный знак коэффициента функциональной асимметрии свидетельствует о ведущей правой руке, отрицательный — о ведущей левой руке. После оценки результатов пройденных методик образовались группы участников с ведущей левой рукой (8 человек) и ведущей правой рукой (19 человек). В качестве методик для определения ведущего глаза использовались следующие пробы: «карта с дырой», «подзорная труба», проба Розенбаха, «моргание» (Хомская и др., 1995). После оценки результатов пройденных методик были образованы группы участников с левым ведущим глазом (9 человек) и участников с правым ведущим глазом (18 человек). Группы по доминантности руки и глаза формировались независимо друг от друга и поэтому существенно пересекались (часто включали в себя тех же участников).

В основном эксперименте выполнялись две задачи на подавление

ответа в парадигме Go/NoGo. Обе задачи отличались друг от друга по условиям восприятия. В первой задаче (Бабочка 1, Б1) участнику в центре черного экрана в течение 400 мс предъявлялось черно-белое изображение бабочки, служившее фоном. Затем появлялся стимул, требующий ответа или его подавления: цветные колечки справа или слева от бабочки. Смена цвета и местоположения колечка осуществлялась последовательно в квазислучайном порядке. Участнику давалась инструкция: «Нажимайте левую кнопку мыши, если зеленое колечко появляется слева от бабочки, и правую кнопку, если зеленое колечко появляется справа от бабочки. При этом во время появления красного колечка независимо от его местоположения ничего нажимать не нужно». Предъявляемый паттерн сохранялся на протяжении 1000 мс, в течение которых принимался ответ участника. Затем следовала пауза (800 мс), после которой предъявление осуществлялось в таком же порядке. Во второй задаче (Бабочка 2, Б2) стимул, требующий ответа или его подавления, был непосредственно интегрирован в фоновое изображение. Участнику, так же как и в первой задаче, в центре черного экрана в течение 400 мс предъявлялось черно-белое изображение бабочки, служившее фоном, затем появлялся стимул, требующий ответа или его подавления: цветные пятнышки на левом или правом верхнем крыле. Смена цвета и местоположения пятна также осуществлялась в квазислучайном порядке. Участнику давалась инструкция: «Нажимайте левую кнопку мыши, если зеленое пятно появляет-

ся на левом крыле, и правую кнопку, если зеленое пятно появляется на правом крыле. При этом во время появления красного пятна независимо от его местоположения ничего нажимать не нужно». Предъявляемый паттерн сохранялся на протяжении 1000 мс, в течение которых принимался ответ участника. После паузы (800 мс) предъявление осуществлялось в таком же порядке.

Таким образом, в обеих задачах необходимость нажимать на клавишу после появления зеленого колечка либо пятна выступала в качестве условия Go. При появлении красного колечка либо пятна у участника возникало произвольное желание нажать определенную клавишу для левого или правого пятна, но красный цвет являлся сигналом «стоп» (условие NoGo), на который должен был ориентироваться участник, чтобы произвольно «подавить» это желание. В каждой из задач было по 400 проб, предъявление осуществлялось с помощью программы Presentation (Neurobehavioral Systems, Inc.).

Измеряемые показатели: правильность нажатия и время реакции (ВР) испытуемого на стимулы зеленого цвета (в миллисекундах). Во время выполнения задач основного эксперимента регистрировались вызванные потенциалы электроэнцефалограммы на момент предъявления цветного кольца/пятна. Для этого использовался энцефалограф «Нейро-КМ» фирмы «Статокин» (19 каналов, система 10–20%, референтные электроды — мостоиды М1 и М2, заземляющий электрод на Fpz, сопротивление 3–30 кОм) с программой «BrainWin» для регистрации ЭЭГ и ВР. Для оценки значимо-

сти различия в ВП при сравнении выделяемых групп испытуемых и задач использовался t-критерий Стьюдента для независимых выборок. Независимо анализировались центральные, теменные, височные и фронтальные отведения. Данные регионы представляют наибольший интерес, так как, по данным исследований, N200 регистрируется в нижней фронтальной, средне-цингулярной коре; P300, кроме этих регионов, — еще в островковой, премоторной, фронтальной коре, в височных и фронтальных отделах (Enriquez-Geppert et al., 2010).

Результаты

В результате сортировки отрезков ЭЭГ по номерам стимулов, удаления фрагментов, содержащих артефакты, и усреднения ВП для каждого из испытуемых было получено по четыре ВП на предъявление стимула: для каждого условия (наличие/отсутствие подавления) и задачи — Бабочка 1 (Б1) и Бабочка 2 (Б2). Далее эти индивидуальные ВП усреднялись (с оценкой значимости различия) по четырем группам участников: участники с правым ведущим глазом (ПГ), участники с

левым ведущим глазом (ЛГ), участники с правой ведущей рукой (ПР), участники с левой ведущей рукой (ЛР). Для анализа ВП был взят отрезок записи, начиная с 200 мс до стимула (появление пятна/кольца) и заканчивая 500 мс после стимула. Отрезок до стимула не представляет собой ровную линию, так как во время него испытуемый реагировал на появление фонового изображения (бабочки). Мы анализировали, в первую очередь, компоненты N200 и P300.

На рисунке 1 представлены четыре групповых ВП, по группам ЛР и ПР в условиях Go (отсутствие подавления ответа) и NoGo (подавление) в задаче Б1. В задаче Б1 амплитуда пика N200 в отведении Т6 достоверно ($p < 0.05$) различается между группами ПР и ЛР — выше у ПР участников.

Амплитуда пика N200 достоверно различается в отведении Т6 в обеих задачах, что показано в таблицах 1 и 2.

Компонент P300 зарегистрирован в задачах Б1 и Б2 в различных отведениях. В задаче Б1 есть значимые различия в амплитуде P300 между группами ПГ и ЛГ в условии Go (отсутствие подавления) по отведениям Cz, Fz, C4, T3, T5, F3, F7. В этой

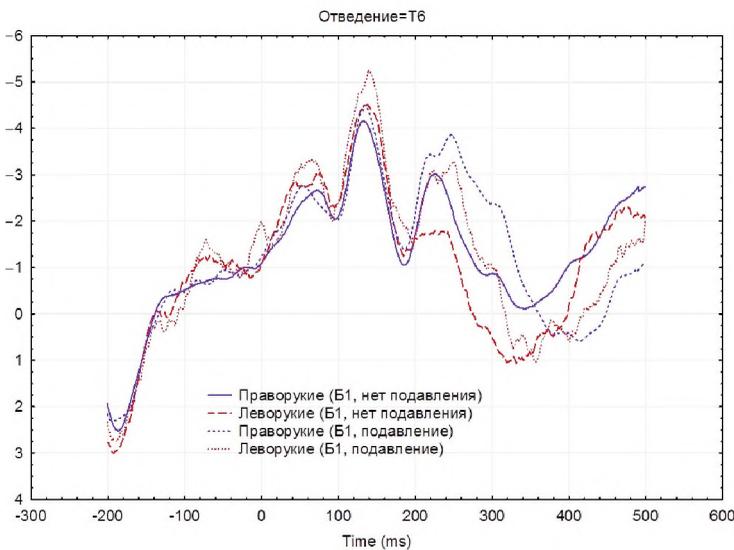
Таблица 1

Различия в амплитуде N200 в отведении Т6 в задаче Б1 ($p < 0.05$)

Группы	Условие			
	Go		NoGo	
	Латентность	t-значение	Латентность	t-значение
ПР и ЛР	–	–	313–317	от –2.149 до –2.086
ПГ и ЛГ	214–229	от –2.301 до –2.033	226–231 291–310	от –2.229 до –2.035 от –2.736 до –2.014

Рисунок 1

Вызванные потенциалы в отведении Т6 для задачи Б1, усредненные по группам участников с правой (сплошная линия и пунктир) и левой (штрихпунктир и мелкий пунктир) ведущей рукой на стимулы, требующие реакции (Go, нет подавления, сплошная линия и штрихпунктир для соответствующих групп участников) и не требующие реакции (NoGo, реакция подавления, пунктир и мелкий пунктир для соответствующих групп участников)



Примечание. Достоверные различия между группами ПР и ЛР участников обнаруживаются в амплитуде компонента N200 для стимулов, которые требуют подавления. При этом амплитуда N200 выше у ПР участников.

Таблица 2

Различия в амплитуде N200 в отведении Т6 в задаче Б2 ($p < 0.05$)

Группы	Условие			
	Go		NoGo	
	Латентность	t-значение	Латентность	t-значение
ПР и ЛР	209–225 244–254	от -2.282 до -2.039 от -2.112 до -2.013	–	–
ПГ и ЛГ	–	–	257–285	от -2.855 до -2.070

же задаче есть значимые различия в амплитуде P300 в условии NoGo (наличие подавления) в отведениях Pz, Cz, Fz, C3, T3, T4, T5, F3, F4, F7, F8 (см. таблицу 3).

На рисунке 2 для примера представлены четыре ВП по группам ЛГ и ПГ испытуемых в условиях отсутствия и наличия подавления в задаче Б1. Амплитуда пика P300 в отведении

Таблица 3

Различия в амплитуде P300 между группами ПГ и ЛГ в задаче Б1 ($p < 0.05$)

Отведение	Условие			
	Go		NoGo	
	Латентность	t-значение	Латентность	t-значение
Pz	–	–	270–328	от –2.734 до –2.015
Cz	492–499	от –2.187 до –2.036	255–276	от –2.522 до –2.009
Fz	208–295	от –3.718 до –2.027	208–318	от –5.505 до –2.043
			320–322	от –2.043 до –2.028
			336–354	от –2.315 до –2.060
C3	–	–	253–294	от –3.313 до –2.039
C4	491–499	от –2.308 до –2.097	–	–
T3	478–485	от –2.240 до –2.036	209	–2.093
			223–229	от –2.164 до –2.033
			261–265	от –2.090 до –2.022
			268–300	от –3.272 до –2.054
			323–334	от –2.232 до –2.020
			357–370	от –2.194 до –2.008
T4	–	–	221	–2.048
			267–295	от –3.190 до –2.056
			322–341	от –3.045 до –2.080
			420–432	от 2.046 до 2.288
T5	352	2.018	365–370	от 2.061 до 2.148
			397–402	от 2.016 до 2.234
			404	2.028
F3	212–293	от –3.601 до –2.020	201–357	от –5.439 до –2.086
F4	–	–	204	–2.114
			211	–2.022
			213–216	от –2.106 до –2.079
			249–285	от –3.906 до –2.011
			332–341	от –2.104 до –2.018
F7	265–277	от –2.105 до –2.007	267–288	от 2.046 до 2.288
F8	–	–	204	–2.021
			246–272	от –2.768 до –2.049

F4 достоверно различается между группами ПГ и ЛГ.

В задаче Б1 есть значимые различия в амплитуде P300 между группами ПР и ЛР в условии Go (отсутствие подавления) по отведениям Cz, Fz, C3, F3, F4, F8. В этой же задаче есть значимые различия в амплитуде P300 между группами ПР и ЛР в условии NoGo (наличие подавления) в отведениях Cz, Pz, Fz, P3, C3, C4, T3, T4, F3, F4, F7, F8 (см. таблицу 4).

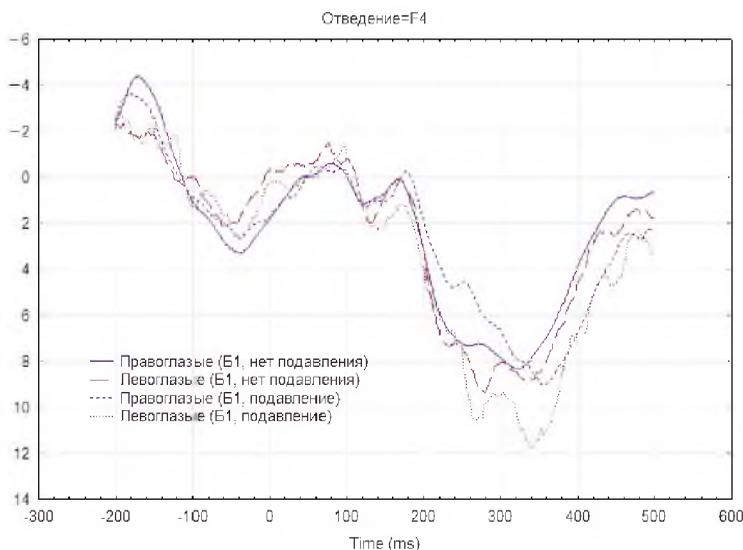
В задаче Б2 есть значимые различия в амплитуде P300 между группами ПГ и ЛГ в условии Go (отсутствие подавления) по отведениям Fz,

P3, C4, T3, T4, F3, F4, F8. В этой же задаче есть значимые различия в амплитуде P300 в условии NoGo (наличие подавления) в отведениях Cz, Fz, C3, C4, F3, F4 (см. таблицу 5).

В задаче Б2 есть значимые различия в амплитуде P300 между группами ПР и ЛР в условии Go (отсутствие подавления) по отведениям Pz, Cz, Fz, P3, P4, C3, C4, T3, T6, F3, F4. В этой же задаче есть значимые различия в амплитуде P300 между группами ПР и ЛР в условии NoGo (наличие подавления) в отведениях Pz, Cz, P3, C3, C4, T3, T4 (см. таблицу 6).

Рисунок 2

Вызванные потенциалы в отведении F4 для задачи Б1, усредненные по группам участников с правым (сплошная линия и пунктир) и левым (штрихпунктир и мелкий пунктир) ведущим глазом на стимулы, требующие реакции (Go, нет подавления, сплошная линия и штрихпунктир для соответствующих групп участников) и не требующие реакции (NoGo, реакция подавления, пунктир и мелкий пунктир для соответствующих групп участников)



Примечание. Достоверные различия между группами ПГ и ЛГ участников обнаруживаются в амплитуде компонента P300 для стимулов, которые требуют подавления. При этом амплитуда P300 больше у ЛГ участников.

Таблица 4

Различия в амплитуде P300 между группами ПР и ЛР в задаче Б1 ($p < 0.05$)

Отведение	Условие			
	Go		NoGo	
	Латентность	t-значение	Латентность	t-значение
Cz	263–290	от -2.696 до -2.027	259–295	от -3.137 до -2.007
Pz	-	-	266–299	от -3.210 до -2.013
Fz	254–300	от -3.736 до -2.031	258–316	от -4.759 до -2.075
			384–391	от -2.090 до -2.019
P3	-	-	289–290	от -2.048 до -2.019
C3	254–292	от -2.293 до 2.010	264–290	от -3.306 до -2.027
C4	-	-	264–286	от -2.705 до -2.049
			474–483	от 2.027 до 2.155
T3	-	-	270–287	от -2.332 до -2.007
			368–400	от -3.522 до -2.010
			412–435	от -2.962 до -2.040
			460–467	от -2.297 до -2.033
			494–496	от -2.134 до -2.034
T4	-	-	328–330	от -2.056 до -2.020
			335–337	от -2.050 до -2.015
F3	253–300	от -3.620 до -2.042	258–300	от -4.417 до -2.069
	-	-	381–398	от -2.352 до -2.036
F4	260–296	от -3.490 до -2.010	258–301	от -3.833 до -2.027
F7	-	-	276–286	от -2.330 до -2.090
F8	273–285	от -2.188 до -2.007	264–278	от -2.259 до -2.042
			465–490	от 2.064 до 2.942

На рисунке 3 для примера представлены четыре ВП по группам ЛР и ПР испытуемых в условиях отсутствия и наличия подавления в задаче Б2. Амплитуда пика P300 в отведении F4 достоверно различается между группами ПР и ЛР.

Кроме анализа компонентов ВП, для каждого участника оценивалось

среднее время реакции (ВР) в условии Go. Затем оценивалось среднее ВР для каждой из четырех групп (ЛГ, ПГ, ЛР, ПР). Различия ВР между группами оценивались по непараметрическому критерию Манна–Уитни. Данные представлены в таблице 7. При сравнении групп ПР и ЛР в задачах Б1 и Б2 различия оказались

Таблица 5

Различия в амплитуде P300 между группами ПГ и ЛГ в задаче Б2 ($p < 0.05$)

Отведение	Условие			
	Go		NoGo	
	Латентность	t-значение	Латентность	t-значение
Cz	–	–	466–497	от –2.447 до –2.034
Fz	471–485	от –2.371 до –2.018	262–277	от –2.287 до –2.013
			443–493	от –2.931 до –2.017
P3	299–311	от 2.007 до 2.102	–	–
C3	–	–	454–456	от –2.120 до –2.040
			458	–2.012
			497–498	от –2.028 до –2.040
C4	470–473	от –2.094 до –2.022	471–499	от –2.505 до –2.033
	475	–2.043		
T3	245–259	от –2.958 до –2.073	–	–
T4	306–372	от 2.008 до 3.834	–	–
F3	244–264	от –2.651 до –2.020	449–469	от –2.644 до –2.027
	470–493	от –2.427 до –2.027		
F4	455–488	от –2.762 до –2.038	457	–2.008
	490–491	от –2.047 до –2.038	459–487	от –2.670 до –2.043
F8	329–345	от 2.007 до 2.247	–	–

минимальны и незначимы ($U = 73$, $p > 0.05$). При сравнении групп ПГ и ЛГ в задаче Б1 ВР у ЛГ было на 30 мс больше, чем у ПГ, однако различия были также незначимы ($U = 59$, $p > 0.05$). В задаче Б2 ВР у ЛГ было на 33 мс больше, значимость различий была на уровне тенденции ($U = 47$, $p = 0.08$).

Обсуждение

Нам удалось обнаружить наличие компонента N200 в обеих задачах. N200 характеризует процессы когнитивного контроля, связанного с подавлением (Neil et al., 2000). В процессе выполнения задач пик

N200 появляется как в условии Go, так и в условии NoGo в правой височной области (отведение Т6). Появление пика может быть связано с опознанием стимулов, включающим в себя дифференцировку его цвета (зеленое или красное пятно) (Barnett, 2008). Дифференцировка цвета стимула происходит в правом полушарии, что требует меньших когнитивных затрат от лиц с левосторонним вектором асимметрии. Лицам с правосторонним вектором асимметрии, напротив, может потребоваться больше ресурсов для этой операции. Проведенные ранее исследования показали, что N200

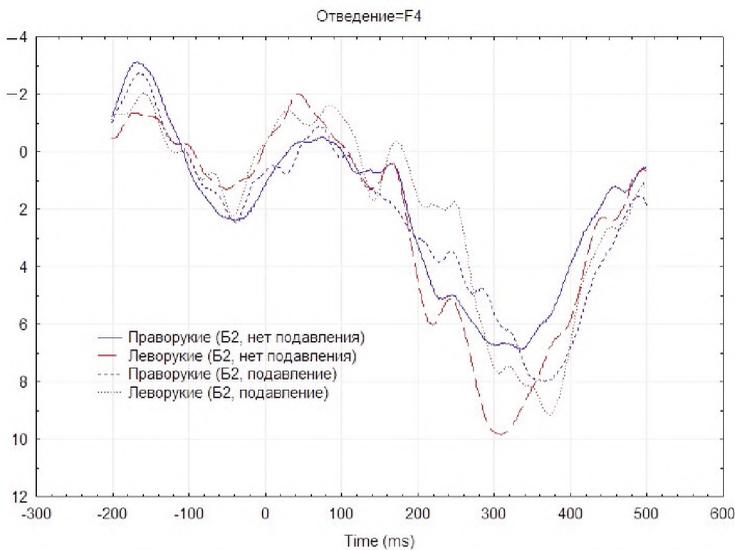
Таблица 6

Различия в амплитуде P300 между группами ПР и ЛР в задаче Б2 ($p < 0.05$)

Отведение	Условие			
	Go		NoGo	
	Латентность	t-значение	Латентность	t-значение
Pz	272–368	от -3.072 до -2.010	272–330	от -3.177 до -2.094
	389–405	от -2.248 до -2.012		
Cz	202–223	от -2.482 до -2.052	272–341	от -3.413 до -2.036
	253–365	от -3.403 до -2.007	364–387	от -2.203 до -2.015
	385–407	от -2.206 до -2.013		
Fz	282–329	от -2.798 до -2.020	–	–
P3	298	-2.007	291–326	от -2.698 до -2.028
	300	-2.011		
P4	282–335	от -2.935 до -2.007	–	–
	349–350	от -2.025 до -2.007		
	352–360	от -2.039 до -2.015		
	362–363	от -2.011 до -2.008		
	388–394	от -2.205 до -2.025		
C3	207–375	от -3.474 до -2.009	262–330	от -3.016 до -2.043
	382–412	от -2.608 до -2.009		
C4	206–222	от -2.351 до -2.027	282–339	от -2.800 до -2.009
	269–332	от -2.869 до -2.010		
	394–409	от -2.171 до -2.008		
T3	216–233	от -2.520 до -2.016	290–326	от -2.800 до -2.019
	253–354	от -2.933 до -2.040		
	357	-2.015		
	360–374	от -2.169 до -2.012		
	390–414	от -2.799 до -2.011		
T4	–	–	482	2.022
T6	310–336	от -2.558 до -2.010	–	–
F3	276–335	от -3.453 до -2.045	–	–
F4	280–332	от -2.664 до -2.012	–	–

Рисунок 3

Вызванные потенциалы в отведении F4 для задачи Б2, усредненные по группам участников с правой (сплошная линия и пунктир) и левой (штрихпунктир и мелкий пунктир) ведущей рукой на стимулы, требующие реакции (Go, нет подавления, сплошная линия и штрихпунктир для соответствующих групп участников) и не требующие реакции (NoGo, реакция подавления, пунктир и мелкий пунктир для соответствующих групп участников)



Примечание. Достоверные различия между группами ПР и ЛР участников обнаруживаются в амплитуде компонента P300 для стимулов, которые не требуют подавления. При этом амплитуда P300 больше у ЛР участников.

Таблица 7

Среднее время реакции в группах ЛГ и ПГ, ЛР и ПР в задачах Б1 и Б2

Группы	Среднее ВР в задаче Б1 (мс)	Среднее ВР в задаче Б2 (мс)	Различия среднего ВР между группами в задаче Б1 (мс)	Различия среднего ВР между группами в задаче Б2 (мс)
ЛГ	410	430	30	33
ПГ	380	397		
ЛР	393	403	5	7
ПР	388	410		

появляется в условии NoGo только при выполнении визуальной задачи и не регистрируется при выполнении аудиальной (Falkenstein et al., 1995). Можно говорить о независимости

возникновения N200 от необходимости подавлять или не подавлять ответ. Различия между группами участников с различными векторами латеральной асимметрии указывают

на то, что процессы цветовой обработки осуществляются у лиц с левосторонними характеристиками с меньшими затратами ресурсов вне зависимости от наличия дополнительной нагрузки в виде осуществления подавления нерелевантных ответов. Появление N200 в обоих условиях (Go и NoGo) может свидетельствовать о важности этого компонента как для подавления, так и для инициации ответа, что согласуется с ранними исследованиями, предполагающими, что N200 связан с мониторингом конфликта (Donkers, van Boxtel, 2004). Подтверждается значимость N200 для инициации действия (Bruin, Wijers, 2002).

Пик P300 связан с процессом принятия решения и регистрируется обычно в теменной коре при активации произвольного внимания и во фронтальной коре при вовлечении произвольного, целенаправленного внимания (Li et al., 2010). Эти данные согласуются с нашими результатами: P300 зарегистрирован как в париетальных, так и во фронтальных отведениях. Нам удалось обнаружить, что в обеих задачах различия в амплитуде P300 между группами участников с левым и правым векторами латеральной асимметрии выражены по многим отведениям, широко распределенным по мозгу: теменным, височным, центральным, фронтальным. Однако в задаче B1 различия выражены по большему количеству отведений в условии NoGo. В то же время в задаче B2 различия более выражены в условии Go. Можно предположить, что задачи различаются перцептивной сложностью. В задаче B1 стимулы, требующие ответа или подавления

нежелательной реакции, находятся вне фонового изображения бабочки (колечки, появляющиеся сбоку от крыльев), в то время как в задаче B2 стимулы интегрированы в фон (пятнышки на крыльях). В связи с тем, что целевые стимулы в задаче B2 интегрированы в фон, это может потребовать больше ресурсов по их дифференциации для успешной инициации ответа, что требует больших затрат когнитивных ресурсов в условии Go. В задаче B1 отсутствует интеграция стимулов с фоном, их легче перцептивно различать, поэтому ресурсы затрачиваются на условие NoGo, требующее торможения ответа. Косвенное подтверждение предположению о связи перцептивной сложности визуальной задачи и различий в P300 можно найти в исследованиях с использованием fMRI-данных, где обнаружены различия в паттернах мозговой активации при выполнении задач Go/NoGo различной степени сложности (Simmonds et al., 2008).

Наличие различий в амплитуде P300 отчасти согласуется с данными по ВР: среднее ВР в условии, не требующем подавления ответа, у ЛГ на 33 мс больше, чем у ПГ, в задаче B2 (хотя различия незначимы, выражена только тенденция). Таким образом, электрофизиологические показатели позволяют более точно дифференцировать различия в осуществлении когнитивного контроля у лиц с различными вариантами латеральной асимметрии.

Выводы

Различия в амплитуде N200 в группах участников с право- и левосторонним векторами асимметрии в

правой височной области (отведение Т6) в обоих условиях (Go и NoGo) могут свидетельствовать о разных процессах цветовой обработки стимулов в данных группах, а также о том, что они не зависят от необходимости подавлять ответ.

Различия в амплитуде Р300 в группах участников с право- и левосторонним векторами асимметрии представлены по многим отведениям (фронтальным, теменным, височным и центральным) в обоих условиях (Go и NoGo).

Активация ресурсов когнитивного контроля различается у групп с право- и левосторонним векторами латеральной асимметрии. Вклад фронтальных и других областей мозга в функцию подавления нерелевантного ответа связан с перцептивной сложностью задачи. В задаче, где целевые стимулы находятся вне фона, больше различий регистрируется в условии, требующем подавления нерелевантного ответа (NoGo). В задаче, где стимулы интегрированы в фон, — в условии, не требующем подавления (Go).

Литература

- Ильина, М. Н., Ильин, Е. П. (1975). Об одном из условий диагностирования силы нервной системы по возбуждению с помощью теппинг-теста. В кн. *Психофизиологические особенности спортивной деятельности: Сборник научных работ* (с. 183–186). Л.: ЛГПИ.
- Лазарев, И. Е., Киренская, А. В. (2008). Влияние фактора ведущего глаза на характеристики саккад и медленных потенциалов ЭЭГ. *Физиология человека*, 34(2), 23–33.
- Хомская, Е. Д., Привалова, Н. Н., Ениколопова, Е. В., Ефимова, И. В., Степанова, О. Б., Горина, И. С. (1995). *Методы оценки межполушарной асимметрии и межполушарного взаимодействия*. М.: Изд-во Московского университета.

Ссылки на зарубежные источники см. в разделе *References* после англоязычного блока.



Маракшина Юлия Александровна — аспирант, факультет психологии, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; научный сотрудник, Психологический институт Российской академии образования.

Сфера научных интересов: психофизиология, механизмы когнитивного контроля, внимания и рабочей памяти.

Контакты: retalika@yandex.ru



Вартанов Александр Валентинович — старший научный сотрудник, факультет психологии, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, кандидат психологических наук.

Сфера научных интересов: психофизиология, механизмы семантики, сознания и высших психических функций.

Контакты: a_v_vartanov@mail.ru



Беспалов Борис Иванович — старший научный сотрудник, факультет психологии, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, кандидат психологических наук.

Сфера научных интересов: культурно-деятельностная психология, психофизиологическая проблема, логико-математические модели познавательных действий.

Контакты: bespalovb@mail.ru

Role of the Lateral Asymmetry in Response Inhibition Task in Event-Related Potentials Components

J.A. Marakshina^{ab}, A.V. Vartanov^a, B.I. Bespalov^a

^a *Lomonosov Moscow State University, 1 Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russian Federation*

^b *Psychological Institute of Russian Academy of Education, 9/4 Mohovaya str., Moscow, 125009, Russian Federation*

Abstract

The research is dedicated to the issue of realization of inhibition as the function of cognitive control in people with various characteristics of lateral asymmetry – right or left hand or eye dominance. Groups of the subjects with right or left dominant eye, as well as right- or lefthanded solved the problems of Go/NoGo of various perceptual complexity. As a result, significant differences were found in the amplitude of components of evoked potentials N200 and P300. The differences in the amplitude N200 in the right temporal lead were found between the subjects with the right and left vectors of lateral asymmetry in 2 tasks in both conditions (Go and NoGo) in the lead T6, and they may speak for the independence of color processing of stimuli from the need to inhibit the response, as well as for the fact that in the early stage of processing the stimuli there are differences in color processing. The differences in the amplitude of the component P300 are seen in a wide range of leads and may be linked to perceptual complexity of the visual stimuli. The usage of cognitive control responses varies in groups with right and left vectors of lateral asymmetry. In the task where the relevant stimuli are out of the context, more differences are reg-

istered in the condition that demands inhibition of the irrelevant response (NoGo); in the task where stimuli are integrated in the context, more differences are registered in the condition that doesn't demand the inhibition (Go). This fact speaks for the differences in performance of control in subjects with various types of lateral asymmetry, when they answer various types of stimuli.

Keywords: cognitive control, event-related potentials, Go/NoGo, handedness, eye dominance.

References

- Alvarez, J. A., & Emory, E. (2006). Executive function and the frontal lobes: A meta-analytic review. *Neuropsychology Review*, *16*(1), 17–42. doi:10.1007/s11065-006-9002-x.
- Barnett, K. J. (2008). Colour knowledge: The role of the right hemisphere in colour processing and object colour knowledge. *Laterality*, *13*(5), 456–467. doi:10.1080/13576500802146387
- Benbow, C. P. (1986). Physiological correlates of extreme intellectual precocity. *Neuropsychologia*, *24*(5), 719–725. doi:10.1016/0028-3932(86)90011-4
- Beratis, I. N., Rabavilas, A. D., Kyprianou, M., Papadimitriou, G. N., & Papageorgiou, C. (2013). Investigation of the link between higher order cognitive functions and handedness. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *35*(4), 393–403. doi:10.1080/13803395.2013.778231
- Beratis, I. N., Rabavilas, A., Nanou, E. D., Hountala, C., Maganioti, A. E., Capsalis, C. N., & Papageorgiou, C. (2009). Effect of initiation-inhibition and handedness on the patterns of the P50 event-related potential component: A low resolution electromagnetic tomography study. *Behavioral and Brain Functions*, *5*(51). doi:10.1186/1744-9081-5-51. Retrieved from <http://behavioralandbrainfunctions.biomedcentral.com/articles/10.1186/1744-9081-5-51>
- Beratis, I. N., Rabavilas, A., Papadimitriou, G. N., & Papageorgiou, C. (2010). Effect of handedness on Stroop Colour Word Task. *Laterality*, *15*(6), 597–609. doi:10.1080/13576500903071104
- Bokura, H., Yamaguchi, S., & Kobayashi, S. (2001). Electrophysiological correlates for response inhibition in a Go/NoGo task. *Clinical Neurophysiology*, *112*(12), 2224–2232. doi:10.1016/S1388-2457(01)00691-5
- Bruin, K. J., & Wijers, A. A. (2002). Inhibition, response mode, and stimulus probability: A comparative event-related potential study. *Clinical Neurophysiology*, *113*(7), 1172–1182. doi:10.1016/S1388-2457(02)00141-4
- Bryden, P. J., Bruyn, J., & Fletcher, P. (2005). Handedness and health: An examination of the association between different handedness classifications and health disorders. *Laterality*, *10*(5), 429–440. doi:10.1080/13576500442000193
- Donkers, F. C. L., & van Boxtel, G. J. M. (2004). The N2 in go/no-go tasks reflects conflict monitoring not response inhibition. *Brain and Cognition*, *56*(2), 165–176. doi:10.1016/j.bandc.2004.04.005
- Enriquez-Geppert, S., Konrad, C., Pantev, C., & Huster, R. J. (2010). Conflict and inhibition differentially affect the N200/P300 complex in a combined Go/Nogo and stop-signal task. *NeuroImage*, *51*(2), 877–887. doi:10.1016/j.neuroimage.2010.02.043
- Falkenstein, M., Koshlykova, N. A., Kiroj, V. N., Hoormann, J., & Hohnsbein, J. (1995). Late ERP components in visual and auditory Go/Nogo tasks. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *96*(1), 36–43. doi:10.1016/0013-4694(94)00182-K

- Garavan, H., Ross, T. J., & Stein, E. A. (1999). Right hemispheric dominance of inhibitory control: An event-related functional MRI study. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *96*(14), 8301–8306.
- Halpern, D. F., Haviland, M. G., & Killian, C. D. (1998). Handedness and sex differences in intelligence: Evidence from the medical college admission test. *Brain and Cognition*, *38*(1), 87–101. doi:10.1006/brcg.1998.1021
- Heil, M., Osman, A., Wiegmann, J., Rolke, B., & Henninghausen, E. (2000). N200 in the Eriksen-task: Inhibitory executive process? *Journal of Psychophysiology*, *14*(4), 218–225. doi:10.1027//0269-8803.14.4.218
- Ilyina, M. N., & Ilyin, E. P. (1975). Ob odnom iz uslovii diagnostirovaniya sily nervnoi sistemy po vzbuzhdeniyu s pomoshch'yu tepping-testa [On the one condition of diagnostics of the power of nervous system with the arousal in tapping test]. In *Psikhofiziologicheskie osobennosti sportivnoi deyatel'nosti: Sbornik nauchnykh rabot* [Psychophysiological characteristics of sport activity: Collected works] (pp. 183–186). Leningrad: LGPI.
- Jorgenson, C., Davis, J., Opella, J., & Angerstein, G. (1980). Hemispheric asymmetry in the processing of Stroop stimuli: an examination of gender, hand-preference, and language differences. *International Journal of Neuroscience*, *11*(3), 165–169. doi:10.3109/00207458009147582
- Khomskaya, E. D., Privalova, N. N., Enikolopova, E. V., Efimova, I. V., Stepanova, O. B., & Gorina, I. S. (1995). *Metody otsenki mezhpolusharnoi asimmetrii i mezhpolusharnogo vzaimodeistviya* [Methods of assessment of hemispheric asymmetry and hemispheric intercommunication]. Moscow: Moscow University Press.
- Kok, A. (1999). Varieties of inhibition: Manifestations in cognition, event-related potentials and aging. *Acta Psychologica*, *101*(2–3), 129–158. doi:10.1016/S0001-6918(99)00003-7
- Lazarev, I. E., & Kirenskaya, A. V. (2008). The influence of eye dominance on saccade characteristics and slow presaccadic potentials. *Human Physiology*, *34*(2), 150–160.
- Lewin, J., Kohen, D., & Mathew, G. (1993). Handedness in mental handicap: Investigation into populations of Down's syndrome, epilepsy and autism. *British Journal of Psychiatry*, *163*(5), 674–676. doi:10.1192/bjp.163.5.674
- Li, L., Gratton, C., Yao, D., & Knight, R. T. (2010). Role of frontal and parietal cortices in the control of bottom-up and top-down attention in humans. *Brain Research*, *1344*, 173–184. doi:10.1016/j.brainres.2010.05.016
- Logan, G. D. (1994). On the ability to inhibit thought and action: A user's guide to stop signal paradigm. In D. Dagenbach, & T. H. Carr (Eds.), *Inhibitory processes in attention, memory, and language* (pp. 189–239). San Diego, CA: Academic Press.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., & Howerter, A. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex “frontal lobe” tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, *41*, 49–100. doi:10.1006/cogp.1999.0734
- Perelle, I. B., & Ehrman, L. (1994). An international study of human handedness: The data. *Behavior Genetics*, *24*(3), 217–227. doi:10.1007/BF01067189
- Serrien, D. J., & Sovijärvi-Spapé, M. M. (2013). Cognitive control of response inhibition and switching: hemispheric lateralization and hand preference. *Brain and Cognition*, *82*(3), 283–290. doi:10.1016/j.bandc.2013.04.013
- Simmonds, D. J., Pekar, J. J., & Mostofsky, S. H. (2008). Meta-analysis of Go/No-go tasks demonstrating that fMRI activation associated with response inhibition is taskdependent. *Neuropsychologia*, *46*, 224–232.

Julia A. Marakshina – graduate student, Faculty of Psychology, Lomonosov Moscow State University; research fellow, Psychological Institute of Russian Academy of Education.
Research area: psychophysiology, mechanisms of cognitive control, attention and working memory.
E-mail: retalika@yandex.ru

Alexander V. Vartanov – senior research fellow, Faculty of Psychology, Lomonosov Moscow State University, Ph.D.
Research area: psychophysiology, mechanisms semantics of consciousness and higher mental functions.
E-mail: a_v_vartanov@mail.ru

Boris I. Bespalov – senior research fellow, Faculty of Psychology, Lomonosov Moscow State University, Ph.D.
Research area: cultural-activity psychology, psychophysiological problem, logical-mathematical models of cognitive activities.
E-mail: bespalovb@mail.ru