

ФИЗИОЛОГИЯ ВЫСШЕЙ НЕРВНОЙ
(КОГНИТИВНОЙ) ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

УДК 612.821.6

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПОНЕНТА N400 ДЛЯ АНАЛИЗА
МАТЕМАТИЧЕСКИХ ВЫЧИСЛЕНИЙ НА БЕССОЗНАТЕЛЬНОМ УРОВНЕ

© 2019 г. Н. В. Полякова^{1,*}, А. А. Александров¹

¹ Кафедра высшей нервной деятельности и психофизиологии, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

* e-mail: nadezhda.polyakova@spbu.ru

Поступила в редакцию 22.06.2018 г.

После доработки 17.07.2018 г.

Принята к публикации 24.09.2018 г.

В работе изучалось выполнение арифметических действий (умножение однозначных чисел) на подпороговом для сознания уровне. В основе работы использован метод замаскированного прайминга. Для проверки возможности выполнения бессознательно арифметических операций был применен метод регистрации вызванных потенциалов и в качестве критерия правильности арифметических вычислений нами был выбран арифметический эффект N400. В ходе исследования было выявлено влияние тренировки на формирование компонента N400 в условиях бессознательного восприятия стимулов. По результатам исследования подтверждается возможность бессознательно выполнять простые операции на умножение. Арифметический эффект N400 может быть использован для исследования рефлекторных вычислений на бессознательном уровне.

Ключевые слова: вызванные потенциалы (ВП), N400, метод замаскированного прайминга, бессознательные математические вычисления

DOI: 10.1134/S0044467719030109

В настоящее время в литературе существуют данные, указывающие на то, что выполнение арифметических действий с однозначными числами может происходить рефлекторно, без участия сознания. В пользу этого свидетельствуют несколько работ, в которых изучались бессознательные арифметические вычисления [García-Orza et al., 2009; Van Opstal et al., 2011; Ric, Muller, 2012; Sklar et al., 2012; Goldstein, Hassin, 2017]. В основе большинства работ был применен метод замаскированного прайминга, суть которого заключается в том, что часть информации предъявляется испытуемому в виде короткой по длительности экспозиции, т.е. на подпороговом уровне, с последующим предъявлением стимула-маски. Так, в свое время было показано, что участники исследования называют числа-мишени на 8.3 мс быстрее, если им предъявлялось перед этим совпадающее по значению с числом-мишенью замаскированное произведение чисел в сравнении с произведением чисел, не совпадающим по значению. На основании полученных данных

авторы говорят о подтверждении их гипотезы о непроизвольном умножении однозначных чисел [García-Orza et al., 2009]. Дальнейшие исследования бессознательного сложения показали, что при предъявлении подпороговой инструкции “сложить” и следующих за этим двух цифр, символ в виде цифры, равной сумме чисел, распознавался участниками исследования достоверно быстрее, чем если бы инструкция была иной, или предъявлялся бы другой символ. Таким образом, согласно полученным данным, можно говорить о бессознательном выполнении по крайней мере простых арифметических действий, таких как сложение [Ric, Muller, 2012]. Еще в одном исследовании было выявлено, что вычисление суммы или среднего арифметического для трех – пяти чисел может тоже происходить неосознанно [Van Opstal et al., 2011]. Также существуют данные о возможности бессознательного выполнения сложных пошаговых операций на сложение и вычитание [Sklar et al., 2012].

В исследованиях с применением метода функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ) было показано, что горизонтальный сегмент интрапариетальной (верхнетеменной) борозды (HIPS), левая угловая извилина (AG), задняя верхняя теменная доля (PSPL), а также ряд структур левого полушария являются основными структурами мозга, активными при обработке чисел [Ярец и соавт., 2018; Arsalidou et al., 2018; Dehaene et al., 2003; Peters, De Smedt, 2018; Vogel et al., 2017a]. На основе данных, полученных посредством фМРТ, было обнаружено, что активация HIPS сильнее при выполнении операций деления, чем умножения. Авторы предположили, что поскольку числовые данные из таблицы умножения сформированы путем механического запоминания в школьном возрасте, то такого рода информация хранится в механической вербальной памяти, и соответственно предъявляются минимальные требования к выполнению вычислительных манипуляций. В то же время возрастает активность левой угловой извилины при вычислении примеров из таблицы умножения в сравнении с операциями, такими как деление или сравнение чисел.

В ряде работ также показано влияние на поведенческие и электрофизиологические характеристики таких параметров, как последовательность предъявляемых числовых символов [Vogel et al., 2017b] и эффект величины операндов [Van Beek et al., 2014].

Для проверки возможности выполнения бессознательных арифметических операций мы решили применить метод регистрации вызванных потенциалов, и в качестве электрофизиологического коррелята правильности арифметических вычислений нами был выбран эффект N400.

Впервые эффект N400 был обнаружен более тридцати лет назад. Было выявлено, что в случае нарушения смыслового контекста в предложении в вызванных потенциалах возникает негативное отклонение с пиком около 400 мс, которое в дальнейшем получило название эффект N400 [Kutas, Federmeier, 2011].

В дальнейшем генерация компонента N400 была получена при самых разных исследованиях, включая обработку языка, объектов, лиц, действий и жестов, математическое распознавание, семантическую память и т.д. В частности, в 1999 г. был получен схожий с семантическим арифметический эффект

N400 (N400 effect) [Niedeggen et al., 1999]. Авторы показали, что в случае появления неверных ответов, следующих за примерами умножения из однозначных чисел, возникает негативное отклонение в интервале от 300 до 500 мс, амплитуда пика которого больше в сравнении с амплитудой пика негативной волны на верные ответы. В последующем арифметический эффект N400 был получен и в других работах [Jost et al., 2004; Prieto-Corona et al., 2010].

Поскольку арифметический эффект N400 является достаточно убедительным критерием правильности решения при выполнении арифметических вычислений, цель работы заключалась в следующем — исследовать возможность выполнения математических вычислений на бессознательном уровне.

МЕТОДИКА

Участники исследования. В исследовании принимали участие 11 человек (9 женщин, 2 мужчин) в возрасте от 19 до 44 лет. Протокол эксперимента одобрен Этическим комитетом биологического факультета СПбГУ. Согласно результатам тестирования по Эдинбургскому опроснику для оценки моторной асимметрии [Oldfield, 1971] все участники исследования правши. Все испытуемые давали информированное согласие на участие в исследовании.

Процедура и методика исследования. Исследование состояло из двух этапов и проводилось в разные дни: один день — один этап. Промежуток между днями исследования составлял от 5 мес до 1 года. Накануне вечером, перед вторым этапом исследования, испытуемый дважды в течение пяти минут решал примеры из таблицы умножения с небольшим перерывом между подходами. Для тренировки была использована программа “Таблица умножения и сложения — программа для изучения и проверки для детей”, версия 5.12, ИТК Мобинтех (<http://www.mobintech.ru/multiplication/>).

В нашем исследовании были использованы примеры, которые предъявлялись в блоках с осознанным и неосознаваемым восприятием (короткая по длительности экспозиция), а так же верные и ошибочные результаты (тестовый стимул).

Примеры были взяты из таблицы умножения от 2 до 9. Исключены примеры с одинаковыми множителями (например, 2×2),

примеры, множители которых присутствовали (являлись частью) в ответах (например, $2 \times 6 = 12$), а также примеры с множителями 1 и 10.

Структура пробы в блоке, где пример на умножение предъявлялся на подпороговом уровне, представляла собой следующую последовательность: интервал перед примером – 100 мс; пример на умножение – 32 мс; маска – 96 мс; результат – тестовый стимул (одно- или двузначное число) – 1000 мс; пустой экран – 1272 мс. Межстимульный интервал составлял 2500 мс (рис. 1(а)). Значения длительности демонстрации тестирующих сигналов и синхронизация предъявления изображений с кадровой разверткой оценивались с использованием датчика яркости светового потока OPT101 (“Texas Instruments”, США). Согласно опросу всех участников исследования в указанном блоке стимулов были видны только маска и результат.

Структура пробы в блоке с осознанным восприятием, следующая: интервал перед примером – 100 мс; пример на умножение – 1000 мс; результат – тестовый стимул (одно- или двузначное число) – 100 мс; пустой экран – 800 мс. Межстимульный интервал составлял 2000 мс (рис. 1(б)), несколько короче, чем в блоке с неосознанным восприятием, в связи с простотой задачи.

Пример на умножение, маска и тестовый стимул были расположены в центре монитора. Использовались цифры зеленого цвета на сером фоне. Размер шрифта 100 кеглей. Маска представлена в виде трех знаков “&@&”, шрифт Agency FB. Монитор 21.5 дюйма, частота обновления экрана 60 Гц. Стимулы предъявлялись с помощью программы Presentation. Во время исследования испытуемые располагались в удобном кресле, расстояние от глаз до монитора 100 см, угловой размер составлял 2.86° по горизонтали (для трех знаков) и 2.005° по вертикали.

Количество проб в каждом блоке 132. Тестовый стимул, на который регистрировались вызванные ответы мозга, представлял собой либо верный, либо ошибочный результат примера. Соотношение проб с верными результатами и проб с неверными результатами 50/50. Ошибка в неверных результатах отклонялась на \pm от 1 до 3 от верного решения. Количество вариантов примеров 44, вариантов результатов 88 (верных и неверных решений поровну).

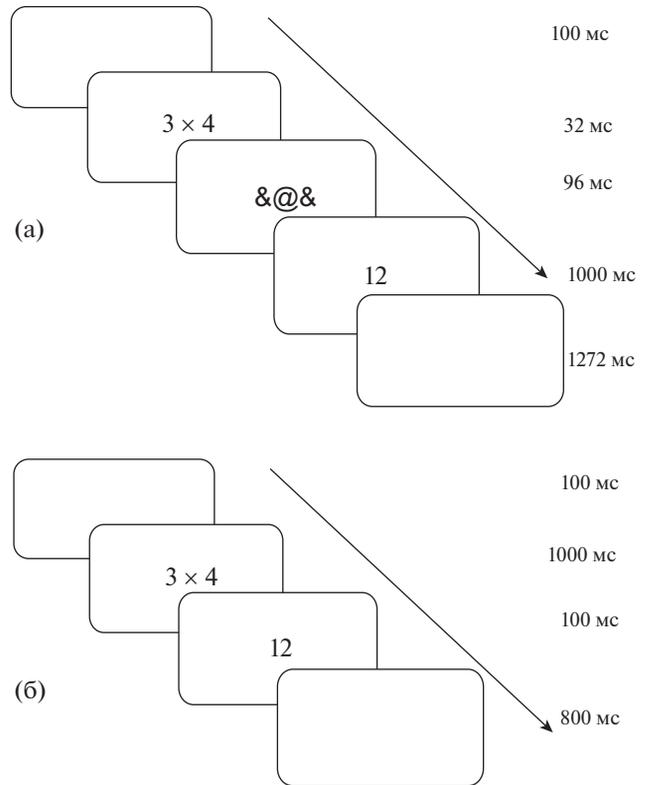


Рис. 1. Последовательность предъявления стимулов в пробах с неосознанным (а) и осознанным (б) восприятием.

Рис. 1. Sequence of events for each trial for unconscious (а) and conscious (б) perception.

Блоки стимулов следовали в определенном порядке. Блок стимулов, где примеры на умножение были замаскированы (использовали маску из трех символов), – бессознательная часть, затем блок стимулов, где примеры на умножение воспринимались осознанно, – сознательная часть, и вновь повторение первого блока с замаскированными примерами на умножение – бессознательная часть.

Между блоками делали небольшие перерывы для отдыха. Длительность блоков составляла: блок стимулов для бессознательного восприятия – 5 мин 30 с, блок стимулов для осознанного восприятия – 4 мин 24 с.

Запись вызванных потенциалов. Регистрация ЭЭГ производилась с помощью 24-канального цифрового энцефалографа “Мицар-ЭЭГ-201”, а также пакета программного обеспечения для регистрации и обработки электроэнцефалограммы “WinEEG” (В.А. Пономарёв, Институт мозга человека им. Н.П. Бехтерева, РАН).

Для установки хлорсеребряных электродов была использована токопроводящая паста Ten 20 conductive, а также абразивная паста Nuprer для подготовки поверхности кожи перед установкой электрода, что обеспечивает низкое сопротивление контакта. Поскольку было показано, что эффект N400 максимально выражен в центрo-париетальной области [Dehaene et al., 2003; Jost et al., 2004; Niedeggen et al., 1999], то регистрация вызванных потенциалов в нашем исследовании проводилась от следующих точек отведения: F_z , C_z , P_z , C_3 , C_4 , P_3 , P_4 (в соответствии с системой 10–20 по Н.Н. Jasper, 1958). С целью контроля над движениями глаз выполнялась запись электроокулограммы (ЭОГ). В качестве референта использовался объединенный ушной электрод. Заземляющий электрод располагался в точке F_{p_z} . Сопротивление электродов не превышало 5 кОм. Сигнал оцифровывался с частотой дискретизации 500 Гц и полосой пропускания 0.53–30 Гц.

Испытуемого просили внимательно смотреть на экран монитора. В случае предъявления блока с замаскированными примерами — по завершении блока производился опрос с целью выяснить, что видел испытуемый. В случае предъявления блоков, где примеры воспринимались осознанно, испытуемого просили выполнять указанные вычисления.

Перед вычислением вызванных потенциалов производилась предварительная обработка ЭЭГ с помощью пакета программ WinEEG. В случае появления в любом отведении потенциалов, превышающих 100 мкВ, соответствующая запись считалась артефактом и автоматически отбраковывалась. Затем вычислялись усредненные вызванные потенциалы отдельно для каждого типа тестового стимула (верный или ошибочный результат примера) и для каждого отведения у каждого испытуемого. В связи с большим количеством артефактов ЭЭГ из дальнейшей обработки были исключены данные двоих испытуемых.

Статистический анализ. По завершении экспериментов подсчитывались суммарные потенциалы по всей группе испытуемых. Статистическая оценка результатов производилась с помощью методов дисперсионного анализа (SPSS 11.5). Использовался вариант двухфакторной модели с факторами “Тип стимула” (число уровней 2: верный и неверный результаты) и “Отведения” (число уров-

ней 7). В рамках каждого из блоков выполнялось сравнение основных эффектов с коррекцией по Бонферрони.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Все участники исследования при предъявлении блоков стимулов, где примеры на умножение были замаскированы, утверждали, что сам пример не был виден, видна только маска и тестовый стимул.

На рис. 2 представлены результаты по первому этапу исследования по трем блокам стимулов для центральных отведений. При предъявлении примеров, скрытых маской (неосознанное восприятие), ВП на правильные результаты примеров практически полностью совпадают с ВП на ошибочные результаты (рис. 2(а)). При статистической обработке данных по первому блоку для всех отведений достоверных различий в интервале, характерном для компонента N400, найдено не было.

При предъявлении стимулов во втором блоке с осознаваемым восприятием примеров (рис. 2(б)), в интервале от 300 мс до 460 мс от начала стимула хорошо выражено негативное отклонение ВП на тестовый стимул с ошибочным решением в сравнении с ВП на тестовый стимул с верным результатом. Амплитуда и латентность пика разностной кривой в указанном интервале равны -2.074 мкВ на 376 мс для отведения C_z ; -2.462 мкВ на 370 мс для отведения C_3 ; -2.287 мкВ на 384 мс для отведения C_4 . Статистический анализ данных показал, что вызванные потенциалы на неверные результаты достоверно отличаются от вызванных потенциалов на верные результаты для всех отведений в интервале от 328 мс до 414 мс ($p = 0.041$). Таким образом, при выполнении блока, где примеры воспринимались осознанно, регистрируется арифметический эффект N400.

Повторное предъявление блока стимулов, где пример скрыт маской (неосознаваемое восприятие), было проведено сразу после блока, в котором испытуемые совершали активные осознанные вычисления, что дало следующие результаты. Хотя по результатам статистического анализа по фактору “Тип стимула” ВП на тестовый стимул с ошибочным решением в сравнении с ВП на тестовый стимул с верным результатом отличаются маргинально ($p = 0.082$), тем не менее достигается уровня статистической значимости

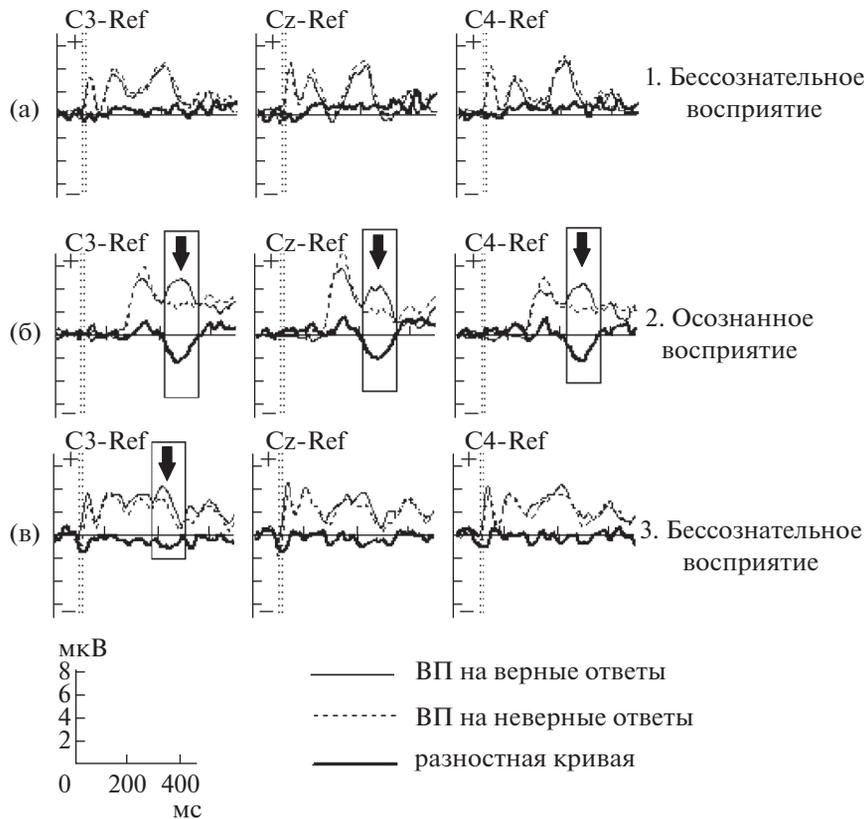


Рис. 2. Групповые вызванные потенциалы в ответ на тестовый стимул в первый день исследования. а – первый блок стимулов – неосознанное восприятие (короткая по длительности экспозиция примера); б – второй блок стимулов – осознанное восприятие; в – третий блок стимулов – неосознанное восприятие. Тонкая линия – вызванные потенциалы на тестовый стимул – правильный результат примера. Прерывистая линия – вызванные потенциалы на тестовый стимул – ошибку. Толстая линия – разностная кривая. По оси абсцисс – время, мс, по оси ординат – амплитуда, мкВ. ↓ – достоверное отличие ВП на тестовый стимул – ошибку от ВП на тестовый стимул – правильный результат примера. Рамкой выделено временное окно, в котором производился анализ эффекта N400.

Pic. 2. Grand averaged event-related potentials (ERPs) in response to a test stimulus on the first day of the investigation. а – first stimulus block – unconscious perception (short duration exposure of the single-digit multiplication); б – second stimulus block – conscious perception; в – third stimulus block – unconscious perception. Thin line – ERPs for the correct result of multiplication. Broken line – ERPs for the incorrect result of multiplication. Thick line – difference wave. X axis – time, ms, Y axis – amplitude, μV . ↓ – significant difference between ERPs for the incorrect result of multiplication and ERPs for the correct result of multiplication. A time window in which the N400 effect was analyzed is marked by the frame.

($p = 0.024$) взаимодействие факторов “Тип стимула” \times “Отведения” для интервала 308–350 мс от начала стимула. Последующий анализ показал, что вызванные потенциалы на неверный результат достоверно отличаются от ВП на верный результат для отведения C_3 ($p = 0.023$). Для отведений C_z , P_3 и P_z вызванные потенциалы на верные и ошибочные результаты отличаются маргинально ($p = 0.089$, $p = 0.074$ и $p = 0.060$ соответственно). Как видно на рис. 2 (в), наблюдается появление эффекта N400 в интервале от 296 мс до 452 мс

от начала стимула. Амплитуда и латентность пика разностной кривой составляют -1.257 мкВ на 346 мс для отведения C_3 .

На основании полученных результатов по первому этапу исследования нами было принято решение пригласить участников исследования повторно (через значительный промежуток времени после первого этапа), причем накануне дня исследования вечером перед сном (overnight consolidation) испытуемые выполняли интенсивную тренировку по

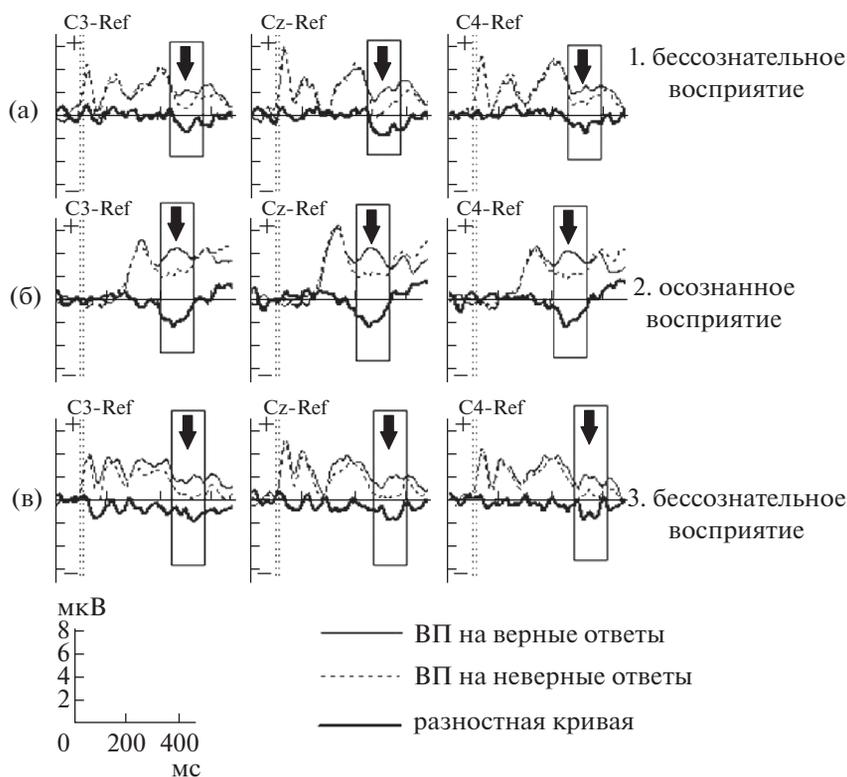


Рис. 3. Групповые вызванные потенциалы в ответ на тестовый стимул во второй день исследования. Обозначения те же.

Pic. 3. Grand averaged event-related potentials (ERPs) in response to a test stimulus on the second day of the investigation. The designations are the same.

вычислению примеров из таблицы умножения в течение 10 мин.

В первом блоке второго этапа (неосознанное восприятие) было получено достоверное увеличение по амплитуде компонента N400 на тестовый стимул с ошибочным решением в интервале 390–432 мс от начала стимула ($p = 0.044$) в сравнении с компонентом N400 на тестовый стимул с верным решением для всех отведений. На рис. 3(а) виден хорошо сформированный эффект N400 в интервале 370–532 мс. Амплитуда и латентность пика эффекта N400 составляют -1.846 мкВ на 414 мс для отведения C_z , -1.580 мкВ на 420 мс для отведения C_3 , -1.619 мкВ на 446 мс для отведения C_4 .

При сравнении значений разностной кривой первого блока первого этапа со значениями разностной кривой первого блока второго этапа в интервале 370–452 мс получены достоверные отличия для отведений F_z , C_z , P_z , C_3 , C_4 ($p = 0.040$).

На рис. 3 (б) показаны групповые вызванные потенциалы при сознательном восприятии примеров. Как и на первом этапе, здесь также хорошо видно отклонение в негативную сторону ВП на тестовый стимул – ошибку в сравнении с ВП на правильный результат в интервале 278–452 мс. Амплитуда и латентность пика разностной кривой составляют -2.406 мкВ на 364 мс для отведения C_z , -2.333 мкВ на 370 мс для отведения C_3 , -2.430 мкВ на 364 мс для отведения C_4 . В сравнении с первым этапом, значения второго блока во втором этапе практически совпадают по амплитуде и латентности пика эффекта N400. При сравнении данных по второму блоку стимулов между первым и вторым этапами исследования достоверных различий найдено не было. Статистический анализ данных по второму блоку стимулов второго этапа показал достоверные отличия вызванных потенциалов на тестовый стимул с неверным результатом от вызванных потенциалов на тестовый стимул с верным результатом

в интервале от 370 мс до 480 мс ($p = 0.023$) для всех отведений.

Что касается результатов, полученных при обработке данных по третьему блоку стимулов (бессознательное восприятие), то здесь также можно увидеть формирование хорошо выраженного эффекта N400 в интервале 346–514 мс. Амплитуда и латентность пика эффекта N400 составляют -1.907 мкВ на 446 мс для отведения C_2 , -1.942 мкВ на 446 мс для отведения C_3 , -1.788 мкВ на 432 мс для отведения C_4 . При сравнении со значениями по первому этапу исследования в аналогичном блоке стимулов значения во втором этапе практически не отличаются по амплитуде и латентности пика (достоверных отличий между первым и вторым этапом исследования по данному блоку стимулов найдено не было). Статистический анализ данных по всем отведениям в третьем блоке показал достоверное отличие ВП на ошибочный результат от ВП на правильное решение примера в интервале 370–480 мс ($p = 0.009$).

Таким образом, во втором этапе исследования происходит отчетливое формирование эффекта N400 во всех трех блоках с осознанным и неосознаваемым восприятием.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В нашей работе изучалось выполнение математических вычислений на бессознательном уровне. Критерием правильности решения при умножении однозначных чисел нами был выбран арифметический эффект N400.

По результатам первого этапа исследования было получено, что формирование эффекта N400 при неосознанном восприятии примеров на умножение в первом блоке первого этапа исследования не происходит. Во втором блоке с осознанным восприятием регистрируется арифметический эффект N400, что полностью соответствует данным, указанным в литературе [Jost et al., 2004; Niedeggen et al., 1999; Prieto-Corona et al., 2010]. В этих работах было показано, что арифметический эффект N400 был зарегистрирован в интервале от 250 мс до 500 мс и амплитуда арифметического компонента N400 была меньше на верные, чем на неверные ответы, что также подтверждается нашими данными. Однако при повторном предъявлении блока стимулов, где пример скрыт маской (бессознательное восприятие), после блока, в котором производились осознанные вычисления,

наблюдается появление эффекта N400. Становится очевидным, что предыдущий блок с осознанным восприятием, в котором осуществлялось интенсивное вычисление примеров испытуемым, оказал влияние на результаты в третьем блоке с неосознанным восприятием.

Таким образом, появление эффекта N400 при предъявлении примеров на подпороговом для сознания уровне позволяет сделать предположение, что после тренировки выполнение операции по вычислению примеров на умножение, которое совершалось ранее сознательно, может перейти на рефлекторный уровень.

Согласно данным второго этапа исследования, полученным после интенсивных вычислений накануне, уже в первом блоке (неосознанное восприятие) было получено достоверное увеличение по амплитуде компонента N400 на тестовый стимул с ошибочным решением. Очевиден выраженный эффект тренировки на выполнение операций умножения на бессознательном уровне, когда один и тот же блок стимулов приводит к достоверному различию ВП на верные и ошибочные результаты примеров до и после тренировки. Таким образом, подтверждается наше предположение о влиянии тренировки на способность выполнения операций по вычислению примеров на умножение рефлекторно, не достигая уровня сознания.

Данные, полученные по второму и третьему блокам второго этапа исследования, достоверно не отличаются от данных, полученных в аналогичных блоках первого этапа исследования. Формирование хорошо выраженного эффекта N400 в третьем блоке второго этапа позволяет сделать вывод, что тренировка накануне вечером, а также дополнительная тренировка во время исследования значительно повлияли на возможность решения примеров на бессознательном уровне.

Согласно нашим данным выявлено, что примеры, предъявляемые на подпороговом для сознания уровне, не воспринимаются как значимый стимул без предварительной тренировки. Это может быть связано с тем, что в настоящее время взрослые люди в повседневной жизни достаточно редко прибегают к вычислениям в уме. Однако небольшой тренировки с вычислениями в ходе выполнения блока с осознанным восприятием оказалось достаточно для появления признаков эффек-

та N400 при предъявлении последующего блока с восприятием на подпороговом уровне (см. рис. 2 (в) для отведения C₃).

Во втором же этапе исследования после интенсивной тренировки накануне в первом блоке с неосознанным восприятием (рис. 3(а)) мы уже наблюдаем формирование выраженного арифметического эффекта N400, а значит, можно сделать вывод, что выполнение операций по вычислению примеров из таблицы умножения происходит на рефлекторном уровне. Результаты исследования показывают, что арифметический эффект N400 может быть использован для исследования рефлекторных вычислений на бессознательном уровне.

ВЫВОДЫ

1. Анализ вызванных потенциалов (арифметического эффекта N400) позволяет сделать вывод о возможности совершения операций умножения в условиях бессознательного восприятия стимулов.

2. Рефлекторные вычисления на бессознательном уровне значительно облегчаются при предварительной тренировке (интенсивные вычисления накануне исследования).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ярец М.Ю., Шарова Е.В., Смирнова А.С., Погосбекян Э.Л., Болдырева Г.Н., Зайцев О.С., Ениколопова Е.В. Анализ структурно-функциональной организации задачи счета в контексте исследования управляющих функций. Журн. высш. нервн. деят. им. И.П. Павлова. 2018. 68 (2): 176–189.
- Arsalidou M., Pawliw-Levac M., Sadeghi M., Pascual-Leone J. Brain areas associated with numbers and calculations in children: Meta analyses of fMRI studies. *Developmental Cognitive Neuroscience*. 2018. 30: 239–250.
- Dehaene S, Piazza M., Pinel P., Cohen L. Three parietal circuits for number processing. *Cognitive Neuropsychology*. 2003. 20 (3–6): 487–506.
- García-Orza J., Damas-López J., Matas A., Rodríguez J.M. “2 x 3” primes naming “6”: Evidence from masked priming. *Attention, Perception, & Psychophysics*. 2009. 71 (3): 471–480.
- Goldstein A., Hassin R. R. Commentary: Definitely maybe: can unconscious processes perform the same functions as conscious processes? *Frontiers in Psychology*. 2017. 8 (1230): 1–4. doi: 10.3389/fpsyg.2017.01230
- Jost K., Hennighausen E., Rösler F. Comparing arithmetic and semantic fact retrieval: Effects of problem size and sentence constraint on event-related brain potentials. *Psychophysiology*. 2004. 41: 46–59.
- Kutas M., Federmeier K.D. Thirty years and counting: Finding meaning in the N400 component of the event related brain potential (ERP). *Annu. Rev. Psychol.* 2011. 62: 621–647.
- Niedeggen M., Rösler F., Jost K. Processing of incongruous mental calculation problems: Evidence for an arithmetic N400 effect. *Psychophysiology*. 1999. 36: 307–324.
- Oldfield R.C. “The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory.” *Neuropsychologia*. 1971. 9 (1): 97–113.
- Peters L., De Smedt B. Arithmetic in the developing brain: A review of brain imaging studies. *Developmental Cognitive Neuroscience*. 2018. 30: 265–279.
- Prieto-Corona B., Rodriguez-Camacho M., Silva-Pereyra J., Marosi E., Fernandez T., Guerrero V. Event-related potentials findings differ between children and adults during arithmetic-fact retrieval. *Neuroscience Letters*. 2010. 468: 220–224.
- Ric F., Muller D. Unconscious addition: when we unconsciously initiate and follow arithmetic rules. *Journal of Experimental Psychology: General*. 2012. 141 (2): 222–226.
- Sklar A.Y., Levy N., Goldstein A., Mandel R., Maril A., and Hassin R.R. Reading and doing arithmetic nonconsciously. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2012. 109 (48): 19614–19619.
- Van Beek L., Ghesquière P., De Smedt B. and Lagae L. The arithmetic problem size effect in children: an event-related potential study. *Front. Hum. Neurosci.* 2014. 8 (756): 1–11. doi: .10.3389/fnhum.2014.00756
- Van Opstal F., de Lange F.P., Dehaene S. Rapid parallel semantic processing of numbers without awareness. *Cognition*. 2011. 120: 136–147.
- Vogel S.E., Goffin C., Bohnenberger J., Koschutnig K., Reishofer G., Grabner R.H., Ansari D. The left intraparietal sulcus adapts to symbolic number in both the visual and auditory modalities: Evidence from fMRI. *NeuroImage*. 2017a. 153: 16–27.
- Vogel S.E., Haigh T., Sommerauer G., Spindler M., Brunner C., Lyons I.M., Grabner R.H. Processing the order of symbolic numbers: A reliable and unique predictor of arithmetic fluency. *Journal of Numerical Cognition*. 2017b. 3 (2): 288–308.

N400 COMPONENT FOR ANALYSIS OF UNCONSCIOUS MATHEMATICAL CALCULATIONS

N. V. Polyakova^{a,#} and A. A. Aleksandrov^a

^a *Department of Higher Nervous Activity and Psychophysiology, St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia*

[#] *e-mail: nadezhda.polyakova@spbu.ru*

The unconscious arithmetic calculations (single-digit multiplication) were studied. The masked priming paradigm was applied. To test the possibility of unconscious arithmetic operations the event related potentials method was used. The arithmetic N400 effect served as calculations correctness criterion. The influence of training on the N400 component formation during stimuli unconscious perception was revealed. The results of this study confirm the possibility of unconsciously executing simple operations for multiplication. The N400 arithmetic effect can be used to study reflex calculations at an unconscious level.

Keywords: event related potentials (ERP), N400, masked priming paradigm, unconscious arithmetic calculations