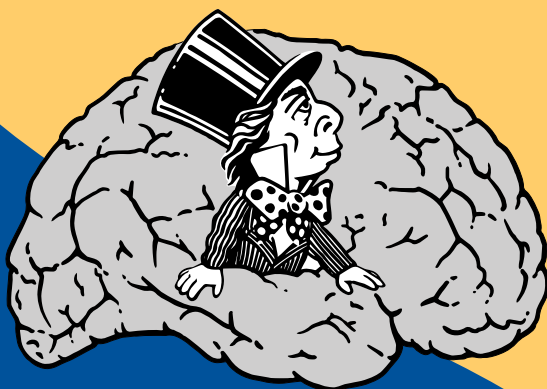


КОГНИТИВНАЯ НАУКА

В МОСКВЕ



НОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

МАТЕРИАЛЫ
КОНФЕРЕНЦИИ
2019

Под ред. Е.В. Печенковой, М.В. Фаликман

УДК 159.9
ББК 88.25
К57

Когнитивная наука в Москве: новые исследования. Материалы конференции 19 июня 2019 г. Под ред. Е. В. Печенковой, М. В. Фаликман. – М.: ООО «Буки Веди», ИППиП. 2019 г. – 656 стр.

ISBN 978-5-4465-2346-7

УДК 159.9
ББК 88.25

ISBN 978-5-4465-2346-7

©Авторы статей, 2019

СВЯЗАНЫ ЛИ P2 И N2 С УРОВНЕМ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ?

К. Э. Сайфулина* (1, 2), В. А. Медведев (1), А. М. Рытикова (1),
Б. В. Чернышев (1, 2)

kseniasayfulina@gmail.com

1 – МЭГ-центр, МГППУ, Москва; 2 – МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва

Аннотация. В своем исследовании мы моделировали состояние высокой и низкой внутренней неопределенности и пытались выяснить, как влияет уровень неопределенности на процессы когнитивного контроля и отражают ли это влияние вызванные потенциалы. Мы использовали слуховую конденсационную задачу: в ответ на все предъявляемые стимулы испытуемый должен был нажимать на одну из двух кнопок в соответствии с правилом. Чтобы создать высокий уровень неопределенности, мы ввели сложные для распознавания (химерные) стимулы, а также неинформативную обратную связь. Кроме того, мы связывали уровень неопределенности со скоростью ответов: согласно результатам наших предыдущих исследований, поздние ответы происходят в условиях высокой неопределенности, а ранние – в условиях низкой. Для анализа выбрали компоненты ВП, в наибольшей степени связанные с когнитивным контролем, – P2 и N2; P2 считается отражением этапа распознавания стимула, а N2 – отражением моторного конфликта на этапе выбора ответа. Исследование показало, что P2 сильнее выражен в ответ на сложные для распознавания стимулы и в случае поздних ответов. N2 сильнее выражен в условиях информативной обратной связи и также в случае поздних ответов. Полученные результаты позволяют заключить, что уровень неопределенности влияет на процессы когнитивного контроля, отражением которых являются P2 и N2.

Ключевые слова: вызванные потенциалы, неопределенность, когнитивный контроль, P2, N2

Введение

Многие решения в повседневной жизни нам приходится принимать в условиях высокой неопределенности. Неопределенность в контексте принятия решений принято описывать как ситуацию ограниченности информации о последствиях выбора поведения (Huettel et al., 2005). Бытовые и экспериментальные свидетельства подтверждают, что люди способны адаптироваться к условиям высокой неопределенности и действовать в них эффективно (Volz et al., 2003). Ключевую роль в такой адаптации играют процессы когнитивного контроля. Когнитивный контроль – это широкое понятие, которое объединяет процессы, управляющие целенаправленным поведением: удержание селективного внимания, удержание в памяти целей и правил дости-

жения целей, активация релевантных моторных программ и торможение нерелевантных, мониторинг выполнения, детекция ошибок и конфликтов, а также адаптивные изменения программы поведения после возникновения различных затруднений.

Канеман и Тверски выделили два типа неопределенности при принятии решения: внутреннюю и внешнюю (Kahneman, Tversky, 1982). Внешняя неопределенность возникает из-за внешних условий — например, из-за случайного характера событий, — и человек не может на нее влиять (такую ситуацию моделируют задачи *gambling tasks*). Внутреннюю же неопределенность можно снизить путем интенсивного поиска релевантной информации в памяти или путем поиска недостающей информации во внешних источниках. Наиболее непосредственное отношение к теоретической парадигме когнитивного контроля имеет внутренняя неопределенность, возникающая в процессе решения задачи испытуемым, а не навязанная внешней вероятностной структурой процедуры эксперимента, характерной для «азартных задач».

Так как для успешного выполнения задачи в условиях неопределенности необходимо активное включение когнитивного контроля, представляют интерес потенциальные различия компонентов, связанных с когнитивным контролем, в условиях низкой и высокой неопределенности. Одним из основных компонентов вызванных потенциалов (ВП), который считают отражением процессов когнитивного контроля, является N2 (N200) — негативный пик с латентностью около 200 мс с момента предъявления стимула. Генератором N2 является передняя поясная кора, максимум амплитуды N2 наблюдается во фронто-центральных областях (Fcz). N2 связывают с детекцией конфликта: например, при выполнении задачи Эриксона N2 сильнее выражен в ответ на неконгруэнтные фланкеры, чем на конгруэнтные (Van Veen, Carter, 2002); нецелевой стимул, похожий на целевой, или стимул NoGo, похожий на Go, вызывает более сильный N2 по сравнению с ситуацией, когда предполагающие разные реакции стимулы различаются сильно (Azizian et al., 2006). По поводу функционального значения компонента P2 до сих пор нет единого мнения, однако наиболее правдоподобным представляется предположение, что P2 отражает некий этап распознавания, классификации стимула, определения его релевантности относительно задачи (Crowley, Colrain, 2004). Есть данные в пользу того, что P2 связан со сложностью задачи — его амплитуда увеличивается с повышением сложности (Kim et al., 2008). Мы решили также включить данный компонент в анализ, предполагая, что он может быть связан с неопределенностью на этапе распознавания стимула.

В своем исследовании мы пытались создать условия высокой внутренней неопределенности, во-первых, за счет введения сложных для распознавания химерных стимулов, а во-вторых, за счет неинформативной обратной связи (мы предположили, что она создаст у испытуемых фоновую неопределенность в отношении правильности ответа). И, наконец, мы связывали степень неопределенности со временем ответа: поздние ответы с большой латентностью осуществляются в условиях более высокой неопределенности, чем ранние.

Методика

Эксперимент включал 2–4 обучающих сессии и 4 основных. Мы использовали слуховую конденсационную задачу, слуховыми стимулами были звуки музыкальных инструментов. В первой обучающей сессии (50 реализаций) испытуемому предъявляли 4 базовых стимула: «низкие» каллиопа и виолончель (A1, 440 Гц) и «высокие» каллиопа и виолончель (C2, 523.25 Гц), он получал инструкцию нажимать на левую кнопку в ответ на предъявление низкой каллиопы и высокой виолончели, а на правую – в ответ на предъявление высокой каллиопы и низкой виолончели. Испытуемый получал обратную связь в виде пиктограмм «палец вверх» или «палец вниз» на экране после ответа. В случае достижения успешности 60% переходили к следующим обучающим сессиям (1–3 в зависимости от успешности, по 100 реализаций), где помимо базовых стимулов присутствовали 8 «химерных». Химерные звуки были получены путем «смешения» в среде Matlab базовых звуков разного тембра, но одинаковой высоты (например, C2 – 60% виолончель и 40% каллиопа). Перед обучающими сессиями с химерными звуками испытуемому сообщали о добавлении новых стимулов и давали инструкцию в случае их предъявления нажимать на кнопку, соответствующую наиболее похожему из базовых стимулов. После достижения критерия обученности 60% переходили к основной части эксперимента, которая включала две сессии с информативной обратной связью и две сессии с неинформативной обратной связью (по 200 реализаций; вместо символов «палец вверх» и «палец вниз» в блоках с неинформативной обратной связью после ответа на экране возникала окружность). Задача оставалась такой же, как в обучающих сессиях.

Длительность слухового стимула составляла 40 мс, время ожидания ответа испытуемого – 4000 мс (при выходе за рамки интервала ответ записывался как пропуск), обратная связь предъявлялась через 530 мс после ответа. В исследовании приняли участие 52 добровольца (из них 46 женщин) в возрасте 20.9 ± 4.1 лет без патологий слуха, зрения и нервной системы. Во время эксперимента добровольцы находились в кресле перед экраном монитора в звукоизолированной камере. Электроэнцефалограмму (ЭЭГ) записывали при помощи энцефалографа NVX-52 («Медицинские компьютерные системы», Россия) и программного обеспечения Neocortex Pro («Нейроботикс», Россия). Запись велась от 40 электродов. Обработку осуществляли в среде Matlab, Brainstorm, EEGLAB, производили ручное удаление артефактов и вычитание глазодвигательных компонент с помощью метода ICA. Вызванные потенциалы строили относительно стимула, области интереса и интервалы выбрали на основании данных литературы и топографии. Измеряли среднюю амплитуду сигнала ВР в интервале 140–190 мс для P2 в отведении Fcz, в интервале 255–305 – для N2 в отведении Fcz. Статистический анализ включал ANOVA с тремя факторами, каждый из которых имел два уровня: фактор специфики стимула (химерный и базовый), фактор скорости реакции (ранние и поздние ответы), фактор информативности обратной связи (информативная и неинформативная). В анализ взяли только ВР на стимулы, за которыми сле-

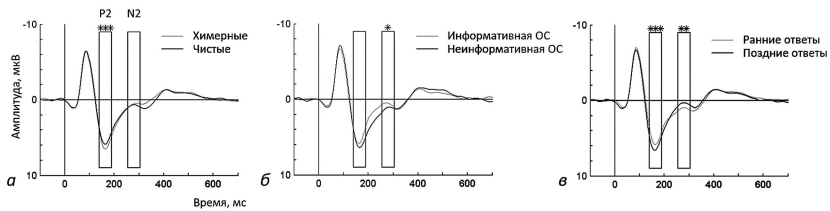


Рисунок 1. Вызванные потенциалы относительно стимула, усредненные для разных условий. Первым прямоугольником обозначен интервал P2, вторым – N2

довали правильные ответы, так как в первую очередь нас интересовало состояние «эффективного» когнитивного контроля в условиях неопределенности.

Результаты

Значимыми факторами, влияющими на амплитуду сигнала в интервале компонента P2, оказались факторы специфики стимула ($F_{26} = 13.942, p < .001$) и скорости реакции ($F_{26} = 13.365, p = .001$). Амплитуда P2 была выше на химерные стимулы, чем на базовые (чистые) стимулы (см. рис. 1, а), и выше в случае поздних реакций, чем в случае ранних реакций (см. рис. 1, в).

В случае N2 значимыми факторами оказались факторы скорости ответа ($F_{26} = 13.17, p = .001$) и информативности обратной связи ($F_{26} = 9.689, p = .004$). Амплитуда N2 была выше в случае ранних реакций, чем в случае поздних (см. рис. 1, в), и в случае неинформативной обратной связи, чем в случае информативной (см. рис. 1, б).

Обсуждение и выводы

Увеличенная амплитуда P2 на химерные стимулы по сравнению с базовыми может быть связана с повышенной сложностью их распознавания (Kim et al., 2008), из чего может следовать повышенный уровень неопределенности на стадии распознавания стимула. Увеличенная амплитуда P2 в случае поздних ответов (которые, согласно результатам наших предыдущих исследований, осуществляются в состоянии высокой неопределенности), также может отражать повышенную неопределенность на стадии распознавания стимула (например, из-за сбоев внимания). Так как в анализ брали только правильные ответы, процессы, стоящие за P2, в итоге могут обеспечивать правильное распознавание – например, чем выше амплитуда и чем сложнее задача, тем более интенсивная обработка стимула производится, и P2, таким образом, может отражать успешную адаптацию к неопределенности.

N2 был сильнее выражен в случае поздних ответов, чем в случае ранних, что соответствует нашим предположениям о том, что в условиях высокой неопределенности, ассоциированной с поздними ответами, конфликт между разными моторными программами должен быть выше из-за недостатка информации о том, какой ответ будет правильным. Кроме того, N2 был сильнее выражен в условиях информативной обратной связи, что не соответствует

нашим предположениям о том, что неинформативная обратная связь должна создавать «фоновую неопределенность» и вести к увеличению моторного конфликта. В качестве объяснения полученного эффекта можно выдвинуть гипотезу, что более выраженный моторный конфликт в случае информативной обратной связи связан с «повышенными ставками»: у испытуемого сильнее мотивация отвечать правильно, чтобы не получить наказания в виде отрицательной обратной связи, поэтому он больше «сомневается».

Можно заключить, что и P2, и N2 связаны с уровнем неопределенности, P2 – на этапе распознавания стимула, а N2 – на этапе выбора ответа.

Литература

Azizian A., Freitas A. L., Parvaz M. A., Squires N. K. Beware misleading cues: Perceptual similarity modulates the N2/P3 complex // *Psychophysiology*. 2006. Vol. 43. No. 3. P. 253 – 260. doi:10.1111/j.1469-8986.2006.00409.x

Crowley K. E., Colrain I. M. A review of the evidence for P2 being an independent component process: Age, sleep and modality // *Clinical Neurophysiology*. 2004. Vol. 115. No. 4. P. 732 – 744. doi:10.1016/j.clinph.2003.11.021

Huettel S., A., Song A. W., McCarthy G. Decisions under uncertainty: Probabilistic context influences activation of prefrontal and parietal cortices // *Journal of Neuroscience*. 2005. Vol. 25. No. 13. P. 3304 – 3311. doi:10.1523/jneurosci.5070-04.2005

Kahneman D., Slovic S. P., Slovic P., Tversky A. Judgment under uncertainty: Heuristics and biases. Cambridge university press, 1982.

Kim K. H., Kim J. H., Yoon J., Jung K. Y. Influence of task difficulty on the features of event-related potential during visual oddball task // *Neuroscience Letters*. 2008. Vol. 445. No. 2. P. 179 – 183. doi:10.1016/j.neulet.2008.09.004

Van Veen V., Carter C. S. The anterior cingulate as a conflict monitor: fMRI and ERP studies // *Physiology & Behavior*. 2002. Vol. 77. No. 4–5. P. 477 – 482. doi:10.1016/s0031-9384(02)00930-7

Volz K. G., Schubotz R. I., von Cramon D. Y. Predicting events of varying probability: Uncertainty investigated by fMRI // *NeuroImage*. 2003. Vol. 19. No. 2. P. 271 – 280. doi:10.1016/s1053-8119(03)00122-8

DO P2 AND N2 INDICATE THE LEVEL OF UNCERTAINTY?

K. E. Sayfulina* (1, 2), V. A. Medvedev (1), A. M. Rytikova (1), B. V. Chernyshev (1, 2)
kseniasayfulina@gmail.com

1 – MEG Centre, Moscow State University of Psychology and Education, Moscow;
2 – Lomonosov Moscow State University, Moscow

Abstract. In our study, we modeled states of high and low internal uncertainty to investigate how the level of uncertainty affects cognitive control processes and whether the components of event-related potentials (ERP) reflect this influence. We used the auditory condensation task: in response to all presented stimuli, the participant had to press one of two buttons according to the rule. To create a high level of uncertainty, we used chimeric stimuli that are difficult to recognize and non-informative feedback. Also, we considered trials with high response times as uncertain, relying on the results of our previous studies. We analyzed the components of ERP most associated with cognitive control: P2 and N2. P2 may reflect

the stimulus recognition stage, and N2 reflects a motor conflict at the stage of decision making. We found that P2 is more pronounced in response to stimuli that are difficult to recognize and in the case of late responses. N2 is more pronounced when feedback is informative and in the case of late responses. We concluded that the level of uncertainty affects the processes of cognitive control, which are reflected in P2 and N2.

Keywords: event-related potentials, uncertainty, cognitive control, P2, N2