

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

ЭЭГ-КОРРЕЛЯТЫ КОГНИТИВНОГО КОНТРОЛЯ ПОДГОТОВКИ И ТОРМОЖЕНИЯ САККАДИЧЕСКИХ ОТВЕТОВ У ЧЕЛОВЕКА

М. В. Славущая (1, 2), С. А. Карелин (1), А. В. Котенев (1)

mvslav@yandex.ru

1 – МГУ имени М. В. Ломоносова, биологический факультет, Москва;

2 – ФГБНУ «Научный центр психического здоровья», Москва

Аннотация. Для исследования нейрональных коррелятов когнитивного контроля саккадического поведения изучались параметры и топография негативных компонентов ВП на включение «пусковых» и «тормозных» стимулов в саккадической парадигме Go/NoGo при равновероятностном предъявлении сигнальных стимулов. Показано, что негативные компоненты ВП могут отражать включение процессов внимания в когнитивный контроль на стадии оценки стимула (N1) и принятия решения о торможении саккадического ответа (N2). Полученные данные позволяют предполагать различные механизмы когнитивного контроля саккадических ответов у «быстрых» и «медленных» испытуемых, которые могут быть ассоциированы с различными «паттернами» нейронной активации корковых зон лобно-теменных сетей внимания, принятия решения и торможения.

Ключевые слова: саккада, негативные компоненты ВП, Go/NoGo, когнитивный контроль, внимание, торможение, принятие решения

Введение

Саккадические движения глаз являются информативной моделью для исследования когнитивного контроля адаптивного поведения. Согласно ряду психофизиологических концепций, базовые когнитивные функции внимания, принятия решения и торможения непосредственно включены в программирование саккадического ответа (Becker, 1989; Findley, Walker, 1999). Механизмы когнитивного контроля глазодвигательного поведения находят отражение в параметрах и топографии связанных с событием потенциалов ЭЭГ, которые развиваются в латентном периоде саккады на этапах переработки зрительной информации и программирования саккады (Slavutskaya, Shulgovskiy, 2007).

Использование саккадической парадигмы Go/NoGo (Becker, 1989) позволяет исследовать ЭЭГ-корреляты процессов когнитивного контроля подготовки и торможения саккадического ответа. Ранее нами были изучены позитивные компоненты ВП на действие «пусковых» и «тормозных» стимулов и показано отражение в них процессов оценки стимулов, принятия решения и торможения

(Славущая и др., 2019). При этом функциональное значение одних и тех же компонентов ВП отличалось в зависимости от скорости программирования саккадического ответа в группе «быстрых» и «медленных» испытуемых. Анализ негативных компонентов ВП может дать дополнительную информацию о нейрофизиологических механизмах взаимосвязи когнитивных функций внимания, принятия решения и торможения при подготовке саккадического ответа или его торможении.

Цель работы: изучить функциональное значение негативных компонентов ВП на включение «пусковых» и «тормозных» стимулов как возможных коррелятов когнитивного контроля в саккадической парадигме Go/NoGo.

Методика

У 20 здоровых испытуемых (3 женщины) в возрасте 18–22 лет с ведущей правой рукой регистрировали ЭЭГ монополярно с 25 отведений головы по системе 10–20. Горизонтальные движения глаз регистрировали биполярно с помощью ЭОГ. Зрительные стимулы в виде кружков или крестиков белого цвета (диаметр 0.2 угловых градуса) предъявляли на черном экране монитора последовательно – фиксационный стимул в центре экрана (ЦФС) и два периферических целевых стимула (ПЗС) на расстоянии 7 угловых градусов слева или справа от ЦФС. Сигнальное значение стимулов (Go или NoGo – кружок или крестик) с равной вероятностью чередовалось у различных испытуемых. Испытуемым давали инструкцию: «Фиксируйте взгляд на центральном стимуле. При предъявлении периферического стимула в виде кружка (крестика) Вы должны как можно быстрее перевести на него взгляд. После движения глаз надо вернуть взгляд в центр экрана и продолжить фиксацию. При предъявлении стимула в виде крестика (кружка) взгляд переводить не надо». Длительность центрального стимула составляла 1000–1300 мс, длительность периферического – 150 мс. Пусковые (Go) или тормозные (NoGo) стимулы предъявляли равновероятно, что минимизировало возможность формирования установки на совершение саккады или ее торможение. Каждому испытуемому предъявляли от 250 до 400 зрительных стимулов в течение эксперимента.

Использовали выборочный способ усреднения ЭЭГ перед саккадами, величина латентного периода (ЛП) которых варьировала в узком диапазоне от среднего значения ($M \pm 20$ мс). Подобный метод усреднения необходим из-за широкого диапазона колебаний величины ЛП саккады у всех испытуемых (от 90 до 500 мс) и позволяет оценить локальные компоненты ВП, связанные со стадиями программирования саккады в латентном периоде. Записи ЭЭГ с окулографическими артефактами в усреднение не включали. Число записей ЭЭГ для усреднения колебалось от 25 до 30 в зависимости от испытуемого. Латеральных различий в величине ЛП саккад и в параметрах компонентов ВП обнаружено не было, и их значения объединялись. Для оценки достоверности различий средних значений использовали непараметрический двухвыборочный критерий Вилкоксона (W) с поправкой Бонферрони для коррекции множественных сравнений. Различия в частотах событий оценивали по Z -критерию согласия частот.

Результаты и обсуждение

Статистический анализ позволил разделить всех испытуемых по значениям средней величины ЛП саккады в усреднениях ЭЭГ на две группы: «быстрые» испытуемые и «медленные» испытуемые (10 человек в каждой) со средней величиной ЛП саккады 187 ± 8 мс и 278 ± 10 мс соответственно ($p = .007$).

У всех испытуемых были выделены компоненты вызванного ответа P1, N1, P2, N2 и P3 на Go и NoGo стимулы (рис. 1). В интервале ЛП саккады у «быстрых» испытуемых располагались только компоненты P1 и N1, а у «медленных» – P1, N1, P2 и N2.

Ранее было показано, что в группе «быстрых» испытуемых компоненты Go – P1, Go – P2 и Go – P3 могут отражать соответственно процессы принятия решения, инициации ответа и мониторинга поведения, а у «медленных» испытуемых – процессы детекции и оценки стимула, принятия решения и инициации ответа (Славуцкая и др., 2019).

Компонент N1. Для негативного компонента N1 не было обнаружено зависимости от группы испытуемых в «пусковых» условиях: амплитуда компонента Go – N1 равнялась 3.7 ± 0.4 мкВ и 4.3 ± 0.5 мкВ, а латентность пика – 127.4 ± 8.9 мс и 132 ± 6.8 мс соответственно в группе «быстрых» и «медленных» испытуемых ($p > .05$). Согласно многочисленным данным литературы, компонент N1 рассматривается как маркер процессов направленного внимания, необходимого как для детекции, оценки стимула и подготовки двигательного ответа, так и для его торможения. Полученные данные могут быть обусловлены общим снижением уровня направленного внимания в условиях равновероятностного предъявления «пусковых» и «тормозных» стимулов.

В зависимости от испытуемого пика компонента Go – N1 располагались в контралатеральных лобной, центральной или теменно-затылочной зонах коры, что может быть обусловлено индивидуальным «паттерном» активации лобно-теменной сети внимания. При этом показано преобладание пиков компонента Go – N1 в лобно-центральных зонах у «быстрых» испытуемых и в теменно-затылочных – у «медленных» испытуемых соответственно – 14 против 6 ($p = .004$) и 13 против 7 ($p = .027$). В отличие от компонента Go – P1 фокусы компонента Go – N1 реже располагались в сагиттальных отведениях (18 против 10, $Z = 2.4$, $p = .016$), что может отражать различные уровни избирательного внимания на последовательных этапах сенсомоторной трансформации.

В «тормозных» условиях обнаружены различия в параметрах и топографии пиков компонента NoGo – N1 у «быстрых» и «медленных» испытуемых. У «быстрых» испытуемых показано увеличение амплитуды и латентности пика компонента NoGo – N1 по сравнению с «медленными», соответственно – 4.66 ± 0.3 мкВ и 3.55 ± 0.5 мкВ ($p = .008$) и 159.5 ± 5.8 мс и 127.4 ± 8.9 мс ($p = .006$). Кроме того, только у «быстрых» испытуемых наблюдалось увеличение амплитуды и латентности компонента N1 в «тормозных» условиях по сравнению с «пусковыми» (на 1 ± 0.3 мкВ ($p = .02$) и на 32 ± 6.5 мс ($p = .017$) соответственно). Эти факты, а также преобладание пиков компонента NoGo – N1 в лобно-центральных зонах коры могут отражать усиление внимания на стадии оценки

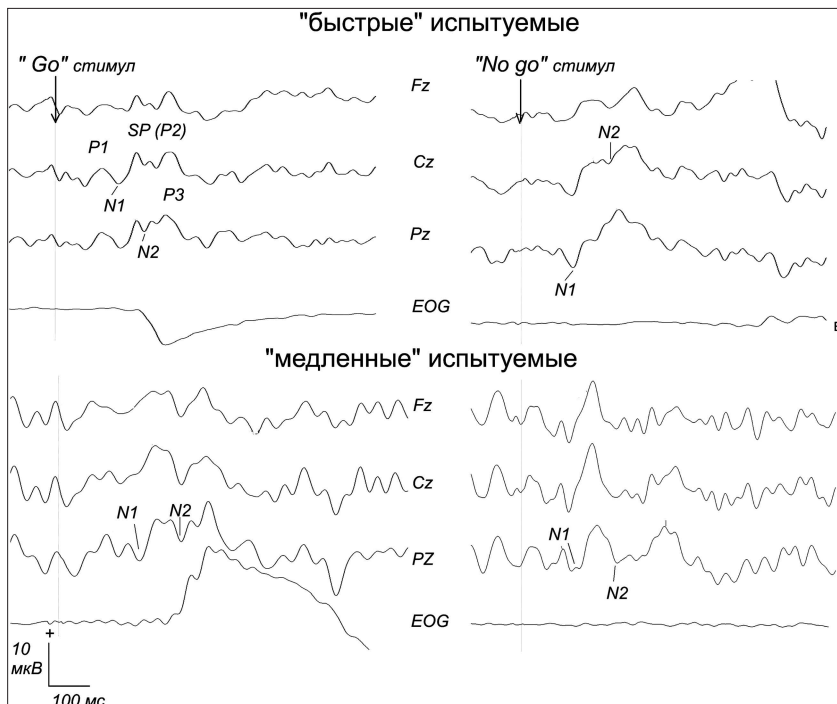


Рисунок 1. Компоненты ВП на включение Go- и NoGo-стимулов в группе «быстрых» (испытуемый В.Б.) и «медленных» (испытуемый С.К.) в парадигме Go/NoGo. SP – спайковый потенциал, совпадающий с началом саккады

тормозного стимула как механизм повышения эффективности торможения у «быстрых» испытуемых.

Компонент N2. Согласно данным литературы, компонент N2 имеет комплексную природу, связанную как с процессами внимания и сенсорной переработки, так и с когнитивными функциями принятия решения и мониторинга ответных реакций (Friedrich, Beste, 2018). Во многих работах он рассматривается также как маркер торможения (Falkenstein et al., 2002). Однако исследований природы компонента N2 в окуломоторных парадигмах недостаточно и имеющиеся данные противоречивы.

В нашей работе компонент Go – N2 изучался только у «медленных» испытуемых, так как у «быстрых» он в большинстве случаев развивался одновременно с саккадическим ответом или сразу после его окончания и мог искажаться моторными потенциалами. У «медленных» испытуемых не было обнаружено влияния сигнального значения стимулов на параметры компонента N2: амплитуда компонентов Go – N2 и NoGo – N2 составляла соответственно 4.9 ± 0.6 мкВ и 4.1 ± 0.5 мкВ, а латентность пика – 193.9 ± 7 мс и 193.9 ± 6.2 мс ($p > .05$). Эти

данные свидетельствуют о том, что в условиях саккадического варианта парадигмы Go/NoGo при равновероятностном предъявлении пусковых и тормозных стимулов компонент N2 не может рассматриваться как однозначный маркер торможения, возможно, из-за усиления общей «тормозной» установки.

В «тормозных» условиях обнаружилось отсутствие значимых различий в амплитуде компонента NoGo–N2 у «быстрых» и «медленных» испытуемых (5.1 ± 0.5 мкВ и 4.1 ± 0.5 мкВ, $p > .05$), однако латентность этого компонента у «быстрых» испытуемых была меньше по сравнению с «медленными» (179.5 ± 2.1 мс и 194.6 ± 6.5 мс, $p = .008$). Последний факт может отражать ускорение «принятия решения» о торможении саккады как дополнительный механизм повышения эффективности торможения у «быстрых» испытуемых. Независимо от группы испытуемых показано преобладание пиков компонента NoGo–N2 в теменно-затылочных зонах. Однако в группе «медленных» испытуемых встречаемость пиков во фронто-центральных зонах была чаще, чем у «быстрых» испытуемых (8 против 12 и 3 против 17 соответственно, $p = .033$).

Использование метода обратного усреднения от начала саккады показало, что пресаккадическим аналогом компонента Go–N1 у «быстрых» испытуемых и Go–N2 у «медленных» является компонент инициации N–50, который развивается в интервале 70–20 мс до начала саккады и находится под модулирующим влиянием пространственного внимания (Slavutskaya, Shulgovskiy, 2007).

Таким образом, использование саккадического варианта схемы Go/NoGo показало, что негативные компоненты ВП отражают включение процессов внимания в когнитивный контроль на стадии оценки стимула (N1) и принятия решения о торможении саккадического ответа (N2). Полученные данные позволяют предполагать различные механизмы когнитивного контроля саккадических ответов у «быстрых» и «медленных» испытуемых, которые могут быть ассоциированы со специфическими «паттернами» нейронной активации корковых зон лобно-теменных сетей внимания, принятия решения и торможения.

Литература

Славуцкая М. В., Карелин С. А., Котенев А. В., Шульговский В. В. Позитивные компоненты вызванного ответа на зрительные стимулы в саккадической парадигме "Go/NoGo" у человека // Физиология человека/Human Physiology. 2019. Т. 45. № 2. С. 5–15.

Becker W. Saccadic eye movements as a control system // The neurobiology of saccadic eye movements / Wurtz, Goldberg (Eds.). Elsevier Science Publisher BV, 1989. P. 13–67.
Falkenstein M., Hoormann J., Hohnsbein J. Inhibition related ERP components: variations with modality, age, and time-on task // Journal of Psychophysiology. 2002. Vol. 16. No. 3. P. 167–175. doi:10.1027//0269-8803.16.3.167

Findley J. M., Walker R. A model of saccadic generation based on parallel processing and competitive inhibition // Behavioral and Brain Sciences. 1999. Vol. 22. No. 4. P. 661–674. doi:10.1017/s0140525x99002150

Friedrich J., Beste C. Paradoxical, causal effects of sensory gain modulation on motor inhibitory control – a tDCS, EEG-source localization study // Scientific Reports. 2018. Vol. 8. No. 1. P. 1–174. doi:10.1038/s41598-018-35879-2

Slavutskaya M. V., Shulgovskiy V. V. Presaccadic brain potentials in conditions of covert attention orienting // The Spanish Journal of Psychology. 2007. Vol. 10. No. 2. P. 277–284. doi:10.1017/s1138741600006545

EEG CORRELATES OF SACCADIC PREPARATION AND INHIBITION COGNITIVE CONTROL IN HUMANS

M. V. Slavutskaya* (1, 2), S. A. Karelin (1), A. V. Kotenev (1)

mvslav@yandex.ru

1 – Lomonosov Moscow State University, Biological Faculty, Moscow;

2 – “Mental Health Research Centre” Moscow

Abstract. To study the neuronal correlates of saccadic behavior cognitive control, we studied the parameters and topography of the ERP negative components related to “start” and “inhibitory” stimuli switching in the “Go/No go” paradigm. An equal probability of signal stimuli presentation was used. The negative ERP components were shown to reflect attention processes inclusion in cognitive control at the stage of stimulus evaluation (N1) and at the stage of decision making of the saccadic inhibition (N2). The data suggest various cognitive control mechanisms of saccadic preparing in “fast” and “slow” participants, which can be associated with different patterns of the front-parietal cortical networks of attention, decision-making and inhibition neural activation.

Keywords: saccade, negative ERP components, Go/NoGo paradigm, cognitive control, attention, inhibition, decision making