

ЭЭГ реакции у здоровых детей и детей с нарушениями поведенческого контроля в условиях исполнения заданий в стоп-сигнал парадигме

Зорина К.А.^{1*}, Дашкевич Г.Э.², Савостьянов А.Н.^{1, 3, 4}

¹ *Институт медицины и психологии им. В. Зельмана Новосибирского государственного университета, Новосибирск, Россия*

² *Частный нейropsychологический центр, Новосибирск, Россия*

³ *Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия*

⁴ *Научно-исследовательский институт нейронаук и медицины, Новосибирск, Россия*

* k.zorina1@g.nsu.ru

Ключевые слова: исполнительный контроль; стоп-сигнал парадигма; ЭЭГ; вызванные потенциалы головного мозга

Мотивация и цель: Исполнительный контроль над поведением – совокупность нейрофизиологических процессов, обеспечивающих возможность целенаправленного управления собственными двигательными реакциями в изменяющихся условиях внешней среды [1]. Исполнительный контроль включает в себя два компонента: активационный контроль, направленный на достижение поставленных целей, и тормозный контроль – подавление неадекватных действий. Парадигма стоп-сигнал (ССП) – экспериментальный метод, позволяющий оценить индивидуальные особенности активационного и тормозного контроля над поведением. В ходе SSP экспериментов участник должен либо быстро реагировать на один из нескольких стимулов нажатием кнопки, либо подавлять уже начатое действие, если после целевого стимула появляется стоп-сигнал [2]. В работах Савостьянова с соавторами [3] были выявлены нейрофизиологические маркеры, характеризующие мозговые механизмы активационного и тормозного контроля у здоровых взрослых. SSP широко применяется для исследования нейрофизиологических причин нарушений исполнительного контроля в разных группах пациентов [4]. Чаще всего при сравнении групп пациентов и здоровых контрольных участников в качестве показателей мозговой активности используются средние для каждого участника показатели амплитуды и латентности вызванных потенциалов, возникающих при выполнении активационных и тормозных заданий SSP. Однако можно предположить, что в качестве маркера расстройства могут выступать не средние значения ERP, а показатели внутрииндивидуальной или межиндивидуальной вариабельности мозговых ответов. Мы предполагаем, что вариабельность амплитуды и латентности ERP у детей с нарушениями поведенческого контроля будет существенно выше, чем в группе здоровых детей. Мы планируем сравнить показатели вариабельности амплитуды и латентности ERP пиков в условиях выполнения заданий парадигмы стоп-сигнал у здоровых детей и детей с нарушениями поведенческого контроля.

Методы и алгоритмы: В качестве экспериментальной группы были обследованы 20 школьников в возрасте 7–13 лет (12 мальчиков и 8 девочек), которые проходили

коррекцию в частном нейropsychологическом центре в связи с наличием у них нарушений поведенческого контроля. У этих детей наблюдалось снижение успеваемости в школе, нарушение внимания, слухоречевой памяти, праксиса, сформированности «образа тела» и пространственных представлений. В качестве контрольной группы были приглашены 20 детей того же возраста, у которых не было отмечено отклонений в поведенческом контроле. ЭЭГ обследование проводилось на основе парадигмы стоп-сигнал, модифицированной А.Н. Савостьяновым и его коллегами [3]. Испытуемым предлагалось быстро нажимать на одну из двух кнопок после появления одного из двух целевых сигналов либо останавливать движение после стоп-сигнала. Всего участники выполняли 95 испытаний на активационный контроль и 35 заданий на тормозный контроль, предъявляемых в случайном порядке. ЭЭГ регистрировалась при выполнении заданий при помощи 64-канального усилителя NVX, Россия.

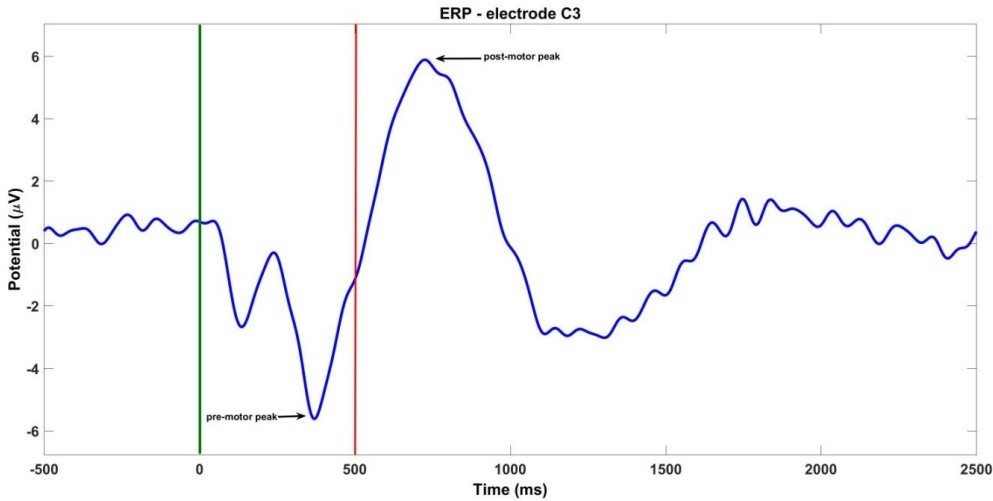


Рис. 1. Амплитудно-временной график событийных потенциалов в условиях активации SSP. Зеленая линия указывает момент появления целевого стимула, красная линия — среднее время нажатия кнопки

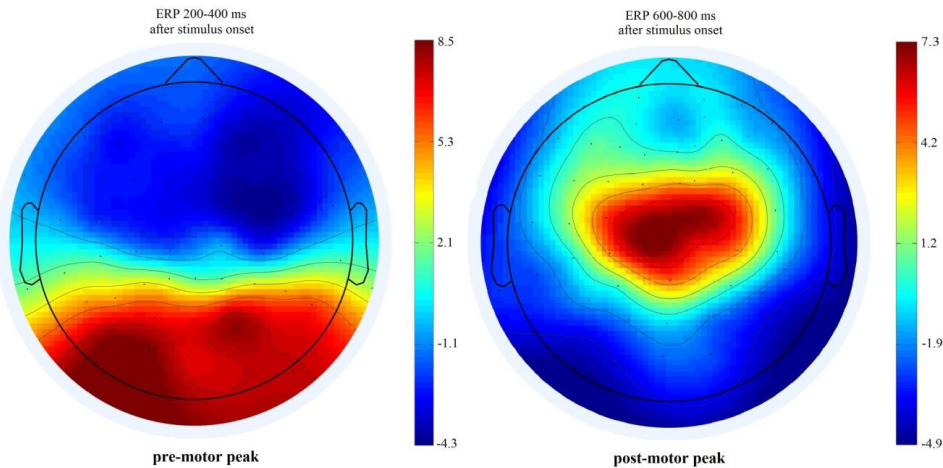


Рис. 2. Кортиковое распределение премоторных (слева) и постмоторных (справа) пиков

Артефакты подавлялись при помощи анализа независимых компонент. В качестве нейрофизиологических маркеров для условия активационного контроля вычислялась вариабельность амплитуды и латентности двух ERP пиков – премоторного компонента во временном окне 200–400 мс после появления целевого стимула и постмоторного компонента во временном окне 600–800 мс после целевого стимула (рис. 1 и 2). Для условия тормозного контроля оценивалась вариабельность амплитуды и латентности во временном окне 200–300 мс после появления стоп-сигнала.

Результаты: По предварительным данным для детей с нарушениями поведенческого контроля характерно увеличение как внутрииндивидуальной, так и внутригрупповой вариабельности для всех выбранных ERP пиков. При этом средняя амплитуда и латентность пиков в контрольной и экспериментальной группе достоверно не различаются ни для активационного, ни для тормозного условий в парадигме стоп-сигнал.

Выводы: Вариабельность амплитуды пиков ERP в парадигме стоп-сигнал может использоваться в качестве нейрофизиологического маркера нарушений в самоконтроле поведения.

Финансирование: Исследование поддержано за счет средств бюджетного проекта ИЦиГ СО РАН № FWNR-2022-0020.

EEG reactions in healthy children and children with behavioral control disorders during performing tasks in the stop-signal paradigm

Zorina K.A.^{1*}, Dashkevich G.E.², Savostyanov A.N.^{1, 3, 4}

¹ V. Zelman Institute for Medicine and Psychology, Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

² Private Neuropsychology Center, Novosibirsk, Russia

³ Institute of Cytology and Genetics, SB RAS, Novosibirsk, Russia

⁴ Scientific Research Institute of Neurosciences and Medicine, Novosibirsk, Russia

* k.zorina1@g.nsu.ru

Key words: executive control; stop-signal paradigm; EEG; event-related potentials

Motivation and Aim: Executive behavioral control is a complex of neurophysiological processes that provide the ability to the self-control of behavior in a changing environment. [1]. Executive control includes two components – (1) activation control, aimed at achieving goals, and (2) inhibitory control – suppression of no-longer required or inappropriate actions. The stop-signal paradigm (SSP) is an experimental method that allows assessing the individual characteristics of activation and inhibitory control over behavior. During ERP experiments, the participant has to either quickly respond to one of several target stimuli by pressing a button, or suppress an action that has already begun if the stop-signal appears after the target stimulus [2]. The study of Savostyanov et al. [3] identified neurophysiological markers characterizing the brain mechanisms of activation and inhibitory control in healthy adults. Event-related potentials (ERP) is widely used to study the neurophysiological causes of executive control disorders in different groups of patients [4]. Most often, when comparing groups of patients and healthy control participants, the average amplitude and latency of ERPs arising during

the performance of activation and inhibitory SSP tasks for each participant are used as indicators of brain activity. However, it can be assumed that it is not the average ERP values that may serve as a marker of the disorder, but rather the indicators of intra-individual or inter-individual variability of brain responses. We hypothesize that the variability of ERP amplitude and latency in children with behavioral control disorders will be significantly higher than in the group of healthy children. We plan to compare the variability of the amplitude and latency of ERP peaks during the performance of stop-signal tasks in healthy children and children with behavioral control disorders.

Methods and Algorithms: As an experimental group, 20 school children aged 7–13 years (12 boys and 8 girls) were examined, who underwent correction in a private neuropsychological center due to the presence of behavioral control deviations. These children experienced a decline in school performance, impairment of attention, auditory-verbal memory, praxis, formation of “body image” and spatial concepts. 20 children of this age who had no deviations in behavioral control were invited as a control group. The EEG examination was carried out on the basis of the stop-signal paradigm, modified by A.N. Savostyanov et al. [3]. Subjects were asked to quickly press one of two buttons after the appearance of one of two target signals, or to stop moving after a stop-signal. In total, participants completed 95 activation control tasks and 35 inhibitory control tasks, presented in random order. The EEG was recorded while performing tasks using a 64-channel amplifier NVX, Russia. Artifacts were suppressed using independent component analysis. As neurophysiological markers for the activation control condition, we calculated the variability of the amplitude and latency of two ERP peaks – (1) the premotor component in the time window 200–400 ms after the appearance of the target stimulus, and (2) the postmotor component in the time window 600–800 ms after the target stimulus (Fig. 1 and 2). For the inhibitory control condition, amplitude and latency variability were assessed in a time window of 200–300 ms after the onset of the stop-signal.

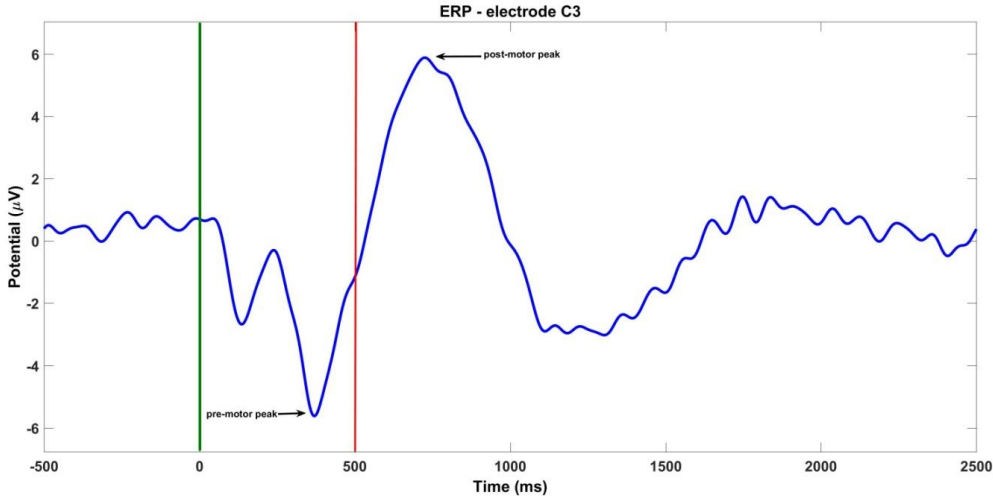


Fig. 1. The amplitude-time plot of event-related potentials under activation condition of SSP. The green line indicates a moment of target-stimulus onset, the red line indicates averaged time of a button pressing

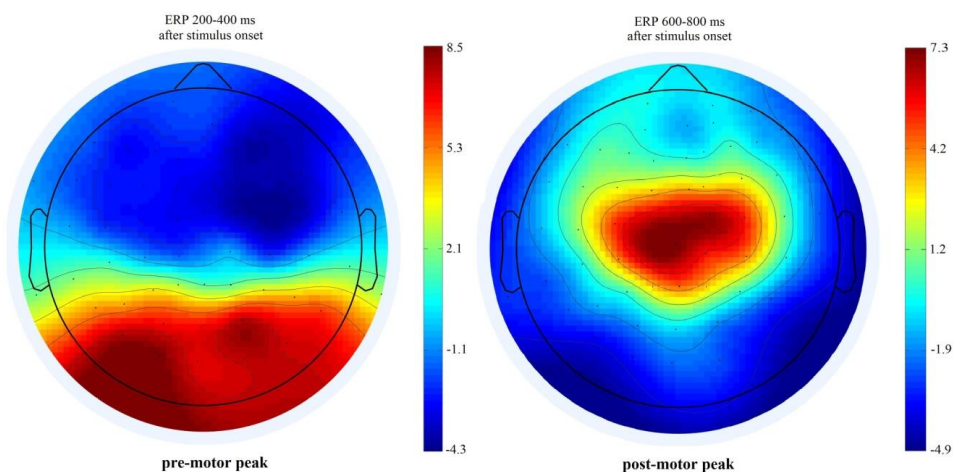


Fig. 2. The cortical distribution of pre-motor (left) and post-motor (right) ERP peaks

Results: According to preliminary data, children with behavioral control disorders are characterized by an increase in intra-individual and intra-group variability for all selected ERP peaks. At the same time, the average amplitude and latency of peaks in the control and experimental groups do not differ significantly for either activation or inhibitory conditions in the stop signal paradigm.

Conclusion: Amplitude and latency variability of ERP peaks in the stop-signal paradigm can be used as a neurophysiological marker of behavioral control disorder.

Funding: The study is supported by the budget project of the Institute of Cytology and Genetics SB RAS No. FWNR-2022-0020.

Список литературы/References

1. Logan G.D., Cowan W.B., Davis K.A. On the ability to inhibit simple and choice reaction time responses: A model and a method. *J Exp Psychol Hum Percept Perform.* 1984;10:276
2. Band G.P.H., van der Molen M.W., Logan G.D. Horse-race model simulations of the stop-signal procedure. *Acta Psychol.* 2003;112(2):105-142. doi 10.1016/s0001-6918(02)00079-3
3. Savostyanov A.N., Tsai A.C., Liou M. et al. EEG-correlates of trait anxiety in the stop-signal paradigm. *Neurosci Lett.* 2009;449(2):112-116. doi 10.1016/j.neulet.2008.10.084
4. Kaiser A., Aggensteiner P.M., Baumeister S., Holz N.E., Banaschewski T., Brandeis D. Earlier versus later cognitive event-related potentials (ERPs) in attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD): A meta-analysis. *Neurosci Biobehav Rev.* 2020;112:117-134. doi 10.1016/j.neubiorev.2020.01.019