

Электрическая активность мозга при воображении целенаправленных движений рук у лиц, играющих на струнных и клавишных музыкальных инструментах

Павел Владимирович Ткаченко✉, Николай Сергеевич Кононенко,
Анастасия Александровна Насмачная

Курский государственный медицинский университет, Курск, Россия

Аннотация. Воображение целенаправленных движений и их реализация активируют одни и те же участки коры головного мозга, что активно используется в создании интерфейса мозг – компьютер и внедряется в область здравоохранения в виде нейроуправляемых экзоскелетных конечностей и роботов, которые выполняют сложные медицинские манипуляции при помощи мозга человека. Игра на музыкальных инструментах способствует развитию моторики верхней конечности и развитию межнейронных связей коры головного мозга. Целью работы стало изучение активности мозга при воображении целенаправленного движения у лиц, играющих на музыкальных инструментах. Измерение мозговой активности проводили с помощью метода электроэнцефалографии. Межполушарное асимметрию определяли с помощью комплексного метода на определение ведущего полушария. В результате проведенного исследования установили, что навыки игры на музыкальных инструментах даже при отсутствии сенсорной афферентации с периферии при воображаемой инициации движения способствуют более сильной сочетанной активации сенсорной и двигательной областей коры.

Ключевые слова: воображаемые бimanуальные движения, произвольная двигательная активность, электроэнцефалография, корреляты функциональной активности головного мозга

Original article

doi: <https://doi.org/10.19163/1994-9480-2023-20-1-24-28>

Electrical activity of the brain during the imagination of purposeful hand movements in persons playing stringed and keyboard musical instruments

Pavel V. Tkachenko✉, Nikolay S. Kononenko, Anastasia A. Nasmachnaya

Kursk State Medical University, Kursk, Russia

Abstract. The imagination of purposeful movements and their implementation activates the same areas of the cerebral cortex, which is actively used in the creation of the brain computer – interface and its implementation in the field of healthcare in the form of neuro-controlled exoskeletal limbs and robots that perform complex medical manipulations using the human brain. Playing musical instruments contributes to the development of upper limb motor skills and the development of interneuronal connections of the cerebral cortex. The aim of the work was to study brain activity when imagining purposeful movement in persons playing musical instruments. Brain activity was measured using electroencephalography. Interhemispheric asymmetry was determined using a complex method to determine the leading hemisphere. Because of the conducted research, it was found that the skills of playing musical instruments, even in the absence of sensory afferentation from the periphery during the imaginary initiation of movement, contribute to a stronger combined activation of the sensory and motor areas of the cortex.

Keywords: imaginary bimanual movements, voluntary motor activity, electroencephalography, correlates of functional activity of the brain

В настоящее время у исследователей усиливается интерес к изучению электрофизиологических коррелятов моторной деятельности человека, а электрической активности мозга при воображаемом целенаправленном движении. Поиск ответов на эти вопросы поможет развитию нейрокомпьютерного интерфейса и более глубокому внедрению его в экспериментальную практику.

Рост фундаментальной и экспериментальной базы знаний об интерфейсе «мозг – компьютер»

(ИМК) позволяет усовершенствовать текущие разработки в сфере управления экзоскелетной конечности, а также формирует новые методики по восстановлению работоспособности рук и ног [1, 2].

Технология ИМК позволяет компенсировать не только моторные дисфункции, а также способствуют восстановлению чувствительности пораженных участков [1]. Благодаря развитию данного направления уже сегодня имеется возможность с помощью

фокусирования внимания, нажимая на электронные кнопки, запускать определенные программы ЭВМ. Это существенно расширяет практическое применение данной технологии в различных областях медицины, инженерии, повседневной жизни и других. В частности, внедрение ИМК в области медицины, а именно в управлении робототехническими системами позволит выполнять более сложные медицинские манипуляции с организмом с помощью мозга человека [2].

Большим количеством исследователей было доказано, что воображение целенаправленных движений и их реализация активирует одни и те же участки коры головного мозга, следовательно, воображение движений может вызывать такие же пластические изменения в моторной системе, как и реальная физическая активность [3, 4, 5]. В этом процессе достаточно хорошо изучен вопрос влияния восходящих активирующих систем мозга, расположенных на уровне ретикулярной формации среднего и преоптических ядер переднего мозга, однако влияние активации нисходящих систем остается до сих пор малоизученным.

Исследование электрической активности головного мозга при воображении движения рук у правшей и левшей показали достоверные отличия в частоте и амплитуде μ -ритма во фронтальных и парietальных участках коры, что, в свою очередь, влияет на характер внутримозговых взаимодействий при планировании и реализации движения. Взаимосвязи β -, γ - и θ -диапазонов остаются по-прежнему малоизученными [1, 6].

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение особенностей функциональной активности головного мозга при активации систем, реализующих произвольные бимануальные движения путем воображения инициации движений рук у лиц, играющих на струнных и клавишных музыкальных инструментах.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводилось на базе лаборатории физиологии двигательной активности НИИ физиологии, объединенного с однопрофильной кафедрой ФГБОУ ВО КГМУ Минздрава России.

В исследовании на основе информированного согласия приняли участие 80 человек, из них 40 юношей и 40 девушек в возрасте от 18 до 23 лет. Из проведенного анкетирования на наличие способности игры на музыкальных инструментах было установлено: 52 человека не имеют навыков игры на музыкальных инструментах, 12 человек обладают способностью игры на клавишных инструментах (фортепиано), 10 испытуемых указали, что освоили игру на струнных музыкальных инструментах (гитара) и 6 опрошенных играют на струнных и на клавишных инструментах. Тип доминирования полушария уста-

навливали по результатам комплексного метода на определение ведущего полушария [7]. Испытуемые располагались в удобном положении сидя в кресле, в стандартных условиях лаборатории при соблюдении звукоизоляции. Первая фаза эксперимента заключалась в записи электроэнцефалограммы в состоянии полного покоя, с закрытыми глазами. Вторая фаза заключалась в записи электроэнцефалограммы при воображении движения (сжатие кисти в кулак) вначале правой рукой, а затем левой.

Исследование проводилось путем записи электроэнцефалограммы в течение 2,5 мин. При наложении 21 чашечкового электрода на интактные покровы головы и экстракраниальные точки использовалась международная система отведений «10-20». Для изучения использовали данные, полученные с отведений C4-A2 и C3-A1, так как именно в эти отведения проецируется область моторной коры, отвечающая за движения кисти. Показатель электродного импеданса не превышал 20 кОм, чувствительность установлена 7 мкВ/мм. Дальнейшая компьютерная обработка сигнала проводилась методом быстрого преобразования Фурье, с усреднением не менее 30 эпох по 2 с. В эксперименте использовался электроэнцефалограф-анализатор ЭЭГА-21/26 «Энцефалан-131-03» (Таганрог, Россия) [8]. Дальнейшая статистическая обработка проводилась путем сравнения спектральных параметров ЭЭГ (величин спектральной мощности ритмов) группы исследуемых, играющих на музыкальных инструментах, с группой не играющих. Количественные показатели оценивались на предмет соответствия нормальному распределению с помощью критерия Колмогорова – Смирнова (при числе исследуемых более 50). В случае отсутствия нормального распределения количественные данные описывались с помощью медианы (Me), нижнего и верхнего квартилей (Q1–Q3). Категориальные данные описывались с указанием абсолютных значений и процентных долей. Сравнение трех и более групп по количественному показателю, распределение которого отличалось от нормального, выполнялось с помощью критерия Краскела – Уоллиса, апостериорные сравнения – с помощью критерия Данна с поправкой Холма [9].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведения корреляционного анализа спектральных параметров ЭЭГ головного мозга в отведениях C4-A2, C3-A1 с наличием навыков игры на музыкальных инструментах у исследуемых лиц (табл.), были выявлены статистически значимые различия ($p = 0,049$, $p = 0,030$ соответственно).

При сопоставлении спектральных параметров ЭЭГ головного мозга в остальных отведениях статистически значимых различий выявлено не было.

Топографическая локализация отведений С3-А1 и С4-А1 в «международной схеме 10-20» соответствует дну центральной борозды, а также постцен-

тральной и прецентральной извилины, которые ответственны за проприоцептивную чувствительность и моторную активность.

Анализ спектральных параметров ЭЭГ головного мозга в альфа-диапазоне в зависимости от наличия навыка игры на музыкальных инструментах у исследуемых лиц

Отведения ЭЭГ	Категории	Игра на музыкальных инструментах			p
		Me	Q1-Q3	n	
C4-A2	клавишные	16	14-22	12	0,049
	нет	10	7-20	52	
	струнные	14	11-29	10	
	струнные + клавишные	22	17-30	6	
C3-A1	клавишные	19	17-25	12	0,030
	нет	13	11-26	52	
	струнные	18	15-32	10	
	струнные + клавишные	26	22-33	6	

В правой половине мозга у лиц, не играющих на музыкальных инструментах, показатели спектра мощности регистрируются в интервале 7–20 мкВ² (Me-10), в то время как у играющих на струнных инструментах – 11–29 мкВ² (Me-14), что говорит о более сильной активации участков коры и более выраженном и точном представлении движении. Показатели у играющих на клавишных инструментах 14–22 мкВ² (Me-14) несколько отличаются в своем интервале, однако медиана совпадает и говорит о незначительных отличиях. Лица, владеющие обеими видами инструментов, показывают результаты 17–30 мкВ² (Me-22) и по медиане значительно выше остальных (рис. 1). Полученные данные свидетельствуют о том, что выработка двигательных навыков и развитая мелкая бимануальная сложно скоординированная моторика оказывают модулирующее влия-

ние на развитие корковых центров, отвечающих за формирование произвольных моторных программ в правом полушарии, что приводит к повышению эффективности и результативности извлечения двигательных энграмм, определяющих сложные локомоции [4, 6].

В левом полушарии значения спектра мощности выше, чем в правом. Так у лиц, не играющих на музыкальных инструментах, показатель равен 11–26 мкВ² (Me-3), на струнных – 15–32 мкВ² (Me-18), на клавишных – 17–25 мкВ² (Me-19), играющих на обоих видах инструментов – 22–33 мкВ² (Me-26) (рис. 2). Так как именно левое полушарие отвечает за тонкий двигательный контроль пальцев обеих рук, а также за восприятие музыкальных композиций, медиана показателей активности головного мозга здесь намного выше, чем в правом полушарии [5, 6].

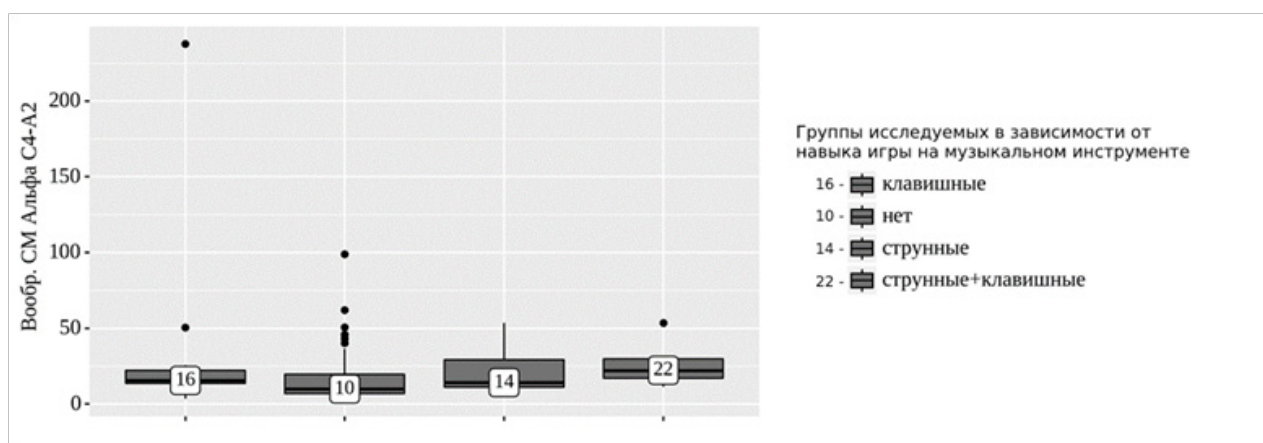


Рис. 1. Анализ спектральных параметров ЭЭГ головного мозга в альфа-диапазоне в отведении C4-A2 в зависимости от наличия навыка игры на музыкальных инструментах у исследуемых лиц. Цифрами здесь и на рис. 2 обозначены показатели медианы (Me) значений спектральной мощности нейронов по группам исследуемых

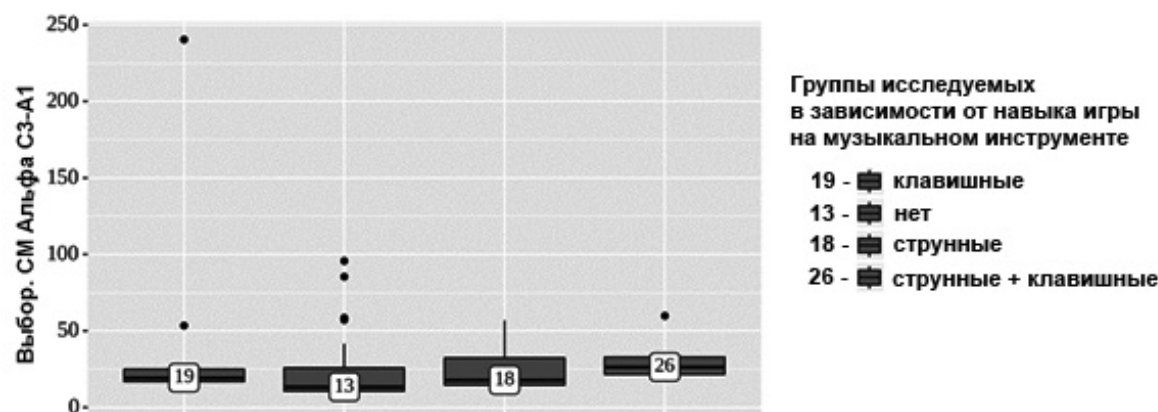


Рис. 2. Анализ спектральных параметров ЭЭГ головного мозга в альфа-диапазоне в отведении С3-А1 в зависимости от наличия навыка игры на музыкальных инструментах у исследуемых лиц

Различия в показателях между правым и левым отделами мозга указывают на связь между активностью альфа-волн и доминирующим типом полушария. Проведенный сравнительный анализ активности правого и левого полушария у испытуемых, владеющих навыком игры на музыкальных инструментах и характеризующихся разным доминированием полушария, не выявил статистически значимых различий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, навыки игры на музыкальных инструментах даже при отсутствии сенсорной афферентации с периферии при воображаемой инициации движения способствуют более сильной сочетанной активации сенсорной и двигательной областей коры, что связано с более развитой бимануальной моторикой, а также с чувственным представлением движений. При этом разнообразие двигательных программ (фортепиано и гитара) закономерно усиливают проявления пусковой активности соответствующих зон коры. Следует отметить отсутствие выраженной асимметрии активации. В соответствии с теорией функциональных систем развитая точность движений способствует настройке взаимодействия «мозг – верхняя конечность : программа – эффектор» и приводит к эффективной активации соответствующих корковых зон с формированием специфических межнейронных связей, что и обнаружено в нашем исследовании.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Каплан А.Я., Кочетова А.Г., Шишкин С.Л. и др. Экспериментально-теоретические основания и практические реализации технологии «интерфейс мозг-компьютер». *Бюллетень сибирской медицины*. 2013;12(2):21–29.
2. Fedotchev A.I., Parin S.B., Polevaya S.A., Velikova S.D. Brain-computer interface and neurofeedback technologies:

current state, problems and clinical prospects (review). *Современные технологии в медицине*. 2017;9(1):175–184. doi: 10.17691/stm2017.9.1.22

3. Мокиенко О.А., Черникова Л.А., Фролов А.А., Бобров П.Д. Воображение движения и его практическое применение. *Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова*. 2013;63(2):195–204.

4. Соколова Н.И., Петрова Е.В., Ткаченко П.В. Тонкие манипуляторные движения как характеристика организации и уровня произвольной двигательной активности. *Региональный вестник*. 2019;29(14):12–14.

5. Ткаченко П.В., Бобынцев И.И. Соотношение моторных и сенсорных функций человека. Курск: Изд-во КГМУ, 2016. 264 с.

6. Чалбаш Э.Т. Влияние музыки на развитие мозговой деятельности человека. *Материалы IV международной научно-практической конференции*. 2013. 231 с.

7. Брагина Н.Н., Доброхотова Т.А. Функциональные асимметрии человека. М.: Медицина, 1999. 298 с.

8. Зенков Л.Р., Клиническая электроэнцефалография (с элементами эпилептологии): руководство для врачей. 4-е изд. М.: МЕДпресс-информ, 2011. 355 с.

9. Баврина А.П. Современные правила применения параметрических и непараметрических критериев в статистическом анализе медико-биологических данных. *Медицинский альманах*. 2021;1(66):64–73.

REFERENCES

1. Kaplan A.Y., Kochetova A.G., Shishkin S.L. et al. Experimental and theoretical foundations and practical implementation of the brain-computer interface technology. *Byulleten' sibirskoj mediciny = Bulletin of Siberian Medicine*. 2013;12(2): 21–29. (In Russ.)
2. Fedotchev A.I., Parin S.B., Polevaya S.A., Velikova S.D. Brain-computer interface and neurofeedback technologies: current state, problems and clinical prospects (review). *Sovremennye*

tehnologii v medicine = Modern Technologies in Medicine. 2017;9(1):175–184. (In Russ.) doi: 10.17691/stm2017.9.1.22.

3. Mokienko O.A., Chernikova L.A., Frolov A.A., Bobrov P.D. Motion imagination and its practical application. *Zhurnal vysshei nervnoi deyatel'nosti im. I.P. Pavlova = Journal of Higher Nervous Activity named after I.P. Pavlov.* 2013;63(2):195–204. (In Russ.)

4. Sokolova N.I., Petrova E.V., Tkachenko P.V. Subtle manipulative movements as a characteristic of the organization and level of voluntary motor activity. *Regional'nyj vestnik = Regional Bulletin.* 2019;29(14):12–14. (In Russ.)

5. Tkachenko P.V., Bobynceva I.I. The ratio of motor and sensory functions of a person. Kursk, KGMU Publ., 2016. 264 p. (In Russ.)

6. Chalbash E.T. The influence of music on the development of human brain activity. *Materialy IV mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii = Materials of the IV International Scientific and practical conference.* 2013. 231 p. (In Russ.)

7. Bragina N.N., Dobrohotova T.A. Functional asymmetries of a person. Moscow, Medicina Publ., 1999. 298 p. (In Russ.)

8. Zenkov L.R. Clinical electroencephalography (with elements of epileptology). A guide for doctors. 4th edition. Moscow, MEDpress-inform Publ., 2011. 355 p. (In Russ.)

9. Bavrina A. P. Modern rules for the application of parametric nonparametric criteria in the statistical analysis of biomedical data. *Meditsinskij al'manah.* 2021;1(66):64–73. (In Russ.)

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Информация об авторах

П.В. Ткаченко – доктор медицинских наук, доцент, заведующий кафедрой нормальной физиологии имени профессора А.В. Завьялова, Курский государственный медицинский университет, Курск, Россия; <https://orcid.org/0000-0002-2725-6482>; pwtkaichenko@rambler.ru

Н.С. Кононенко – аспирант кафедры нормальной физиологии имени профессора А. В. Завьялова, Курский государственный медицинский университет, Курск, Россия; kononenkons@kursksmu.net

А.А. Насмачная – студентка лечебного факультета, Курский государственный медицинский университет, Курск, Россия; nesmachnaya.n@mail.ru

Статья поступила в редакцию 14.04.2022; одобрена после рецензирования 21.05.2022; принята к публикации 30.05.2022.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Information about the authors

P.V. Tkachenko – Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Normal Physiology named after Professor A.V. Zavyalov, Kursk State Medical University, Kursk, Russia; <https://orcid.org/0000-0002-2725-6482>; pwtkaichenko@rambler.ru

N.S. Kononenko – Postgraduate student of the Department of Normal Physiology named after Professor A.V. Zavyalov, Kursk State Medical University, Kursk, Russia; kononenkons@kursksmu.net

A.A. Nasmachnaya – student of the Faculty of Medicine, Kursk State Medical University, Kursk, Russia; nesmachnaya.n@mail.ru

The article was submitted 14.04.2022; approved after reviewing 21.05.2022; accepted for publication 30.05.2022.