

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ У ЛЕВШЕЙ ПРИ ВООБРАЖЕНИИ И ВЫПОЛНЕНИИ ДВИЖЕНИЙ НОГАМИ

© О.А. Ведясова, К.А. Моренова

ФГАОУ ВО Самарский национальный исследовательский университет
им. акад. С.П. Королева, Самара, Россия

Актуальность исследования обусловлена недостатком знаний об особенностях программирования и реализации движений у лиц с разными профилями моторного доминирования. Эти знания важны для понимания нейрофизиологических механизмов двигательных функций и создания нейрокомпьютерных интерфейсов. **Цель работы** – анализ паттернов электроэнцефалограммы (ЭЭГ) у левшей при воображении и выполнении движений правой и левой ногами. **Материалы и методы.** Обследованы студенты-левши, которые с учетом значений коэффициентов моторной асимметрии были разделены на две группы – с низкой ($n=14$) и высокой ($n=7$) степенью правополушарного доминирования (НСПД и ВСПД). ЭЭГ у испытуемых регистрировали на нейровизоре «NVX 36 digital DC EEG» в стандартных отведениях в покое и при последовательном воображении и осуществлении движений правой и левой ног. Анализировали спектральные карты ЭЭГ, по которым определяли типы ЭЭГ, а также оценивали амплитуду сенсомоторного альфа-ритма. **Результаты.** Анализ карт спектральной мощности показал, что в покое большинство левшей с НСПД имели I тип ЭЭГ, меньшинство – III тип, тогда как у всех левшей с ВСПД отмечался I тип ЭЭГ. При воображении и осуществлении движений ногами в первой группе увеличивалось количество лиц с III типом ЭЭГ, а у представителей второй группы тип ЭЭГ не менялся. Двигательные задачи вызывали депрессию мю-ритма в центральных и фронтальных отведениях, но с разной выраженностью у левшей с НСПД и ВСПД. Более заметная десинхронизация центрального мю-ритма наблюдалась у левшей с ВСПД, тогда как амплитуда фронтального альфа-ритма, наоборот, сильнее снижалась у левшей с НСПД. **Заключение.** Полученные данные свидетельствуют о зависимости паттерна ЭЭГ у левшей при воображении и выполнении двигательных актов ведущей и неведущей ногой от степени доминирования правого полушария головного мозга и могут найти клиническое применение.

Ключевые слова: электроэнцефалограмма (ЭЭГ), альфа-ритм, мю-ритм, воображение движений, выполнение движений, левши.

PECULIARITIES OF ELECTROENCEPHALOGRAM OF LEFT-HANDED INDIVIDUALS IN IMAGINATION AND REALIZATION OF FEET MOVEMENTS

O.A. Vedyasova, K.A. Morenova

Samara National Research University, Samara, Russia

Background. Relevance of the study arises from a lack of knowledge about peculiarities of programming and realization of movements in individuals with different profiles of motor dominance. This knowledge is important for understanding the neurophysiological mechanisms of motor functions and for creating neurocomputer interfaces. **Aim.** The analysis of electroencephalo-



gram (EEG) patterns in lefties during imaginary and real motor acts by right and left legs. **Materials and Methods.** The left-handed students were examined. They were divided into two groups on the basis of coefficients of motor asymmetry – with low (n=14) and high (n=7) degree of right-hemisphere dominance (LDRD and HDRD). EEG was recorded on neurovisor «NVX 36 digital DC EEG» in standard leads at rest and in successive imagination and fulfilment of movements by the right and left legs. Types of EEG were determined and the amplitude of the sensorimotor alpha-rhythm (mu-rhythm) was evaluated on the basis of analysis of spectral patterns of EEG. **Results.** It was shown that the majority of left-handed individuals with LDRD had type I EEG, and the minority had type III, whereas all left-handed individuals with HDRD had type I EEG. In imagination and realization of leg movements in the first group the quantity of individuals with EEG of type III increased, while in the second group the type of EEG did not change. Motor tasks were associated with depression of alpha-rhythm in central and frontal areas, but with different extent of evidence in lefties with LDRD and HDRD. More pronounced desynchronization of the central mu-rhythm was observed in left-handed individuals with HDRD, while the amplitude of the frontal alpha-rhythm, on the contrary, was more decreased in left-handed individuals with LDRD. **Conclusions.** The obtained data show dependence of EEG pattern in left-handed people during imagination and realization of motor acts by the leading and non-leading leg on the degree of the right hemisphere dominance that may find clinical application.

Keywords: *electroencephalogram (EEG), alpha-rhythm, mu-rhythm, imagination of movements, realization of movements, left-handed individuals.*

Специфика поведения и физиологических функций человека определяется множеством факторов, в том числе индивидуальными типологическими особенностями организма, важнейшей из которых является функциональная межполушарная асимметрия. Доминирование правого или левого больших полушарий у человека влияет на характер его мыслительной деятельности, эмоциональный статус, латерализацию сенсорных и моторных функций [1,2]. Важным инструментом изучения межполушарной асимметрии служит методика электроэнцефалографии (ЭЭГ), применяемая для выявления различий между правшами и левшами в ходе трудовой, учебной, спортивной деятельности и для прогнозирования течения заболеваний нервной системы [3]. Особое место в проблеме асимметрии занимает анализ центральных механизмов построения двигательных программ и реализации движений у лиц с разными профилями моторного доминирования [4]. В настоящее время интенсивно изучаются паттерны ЭЭГ у человека не только при реальных, но и воображаемых движениях, что важно для более

глубокого понимания нейрофизиологических механизмов двигательных функций и создания нейрокомпьютерных интерфейсов [5,6]. Значительное число исследований связано с изучением роли коры мозга в организации движений рук, причем главным образом у правшей, тогда как ЭЭГ-коррелятам двигательной активности у левшей внимания уделяется гораздо меньше [3,7]. Что касается динамики ритмов ЭЭГ при движениях ног, то сведения по этому вопросу малочисленны [8], а в отношении лиц с разной латерализацией моторных функций этот аспект практически не исследован.

Цель работы – анализ паттернов ЭЭГ у левшей при воображении и выполнении движений правой и левой ногами.

Материалы и методы

Исследование проведено на смешанной группе здоровых студентов-левшей (n=21) в возрасте от 18 до 23 лет. От испытуемых было получено письменное информированное согласие на участие в эксперименте, все этапы которого выполнялись с соблюдением правил биоэтики. Протокол исследования одобрен комиссией по био-

этике биологического факультета Самарского национального исследовательского университета им. академика С.П. Королева (протокол №3 от 10 февраля 2017 г.). Индивидуальный профиль моторного доминирования определяли по коэффициенту двигательной асимметрии (коэффициенту преобладания правой ноги и руки) [7], с учетом значений которого были сформированы две группы левшей. Первую группу (n=14) составили испытуемые с низкой степенью правополушарного доминирования (НСПД), имевшие коэффициенты асимметрии от -16% до -55%, вторую (n=7) – с высокой степенью правополушарного доминирования (ВСПД) и коэффициентами асимметрии от -56% до -70%.

ЭЭГ регистрировали на нейровизоре «NVX 36 digital DC EEG» униполярно в стандартных отведениях, ориентируя электроды по международной схеме «10-20». Референтный (объединенный ушной) электрод закрепляли на мочке правого уха. Во время записи ЭЭГ испытуемые располагались в удобном кресле с закрытыми глазами в комнате, изолированной от шума и света. ЭЭГ регистрировали в исходном состоянии (спокойное бодрствование), при воображении статического мышечного усилия (давление в пол) сначала правой, затем левой ногой и при реальном последовательном выполнении указанного действия правой и левой ногой. Длительность воображаемых и выполняемых мышечных усилий составляла 12 с. Анализировали спектральные карты ЭЭГ и определяли тип ЭЭГ по методике [9], а также оценивали внутриполушарные изменения и межполушарные различия амплитуды альфа-ритма (мю-ритма) в центральных (C3, C4) и фронтальных (F3, F4) отведениях.

Статистическую обработку результатов исследования проводили в программе Sigma Plot 12.5 (Jandel Scientific, USA). Распределение данных проверяли на нормальность с помощью Normality Test (Shapiro-Wilk). Для оценки достоверности изменений амплитуды альфа-ритма при выполнении двигательных заданий в каж-

дой группе применяли t-test, межгрупповые различия оценивали с помощью Mann–Whitney Rank Sum Test. Статистически значимыми считали различия при $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение

На первом этапе исследования был проведен качественный анализ паттернов ЭЭГ по спектральным картам испытуемых левшей. Установлено, что воображаемые и реальные движения ног в виде статического мышечного усилия у лиц с разной степенью правополушарного доминирования приводят к неоднозначным изменениям ЭЭГ-активности. Подтверждением служат особенности топографического представительства разных ритмов на спектральных картах и соответствующая этому динамика типов ЭЭГ у испытуемых в покое и при выполнении двигательных заданий. Так, в покое подавляющее большинство (71,4%) левшей с НСПД имели I тип ЭЭГ, а у остальных (28,6%) отмечался III тип ЭЭГ. Согласно общепринятой классификации, I тип ЭЭГ характеризуется доминированием регулярного альфа-ритма с хорошо выраженными зональными различиями, а III тип ЭЭГ отличается диффузной дезорганизацией ритмов, в том числе уменьшением доли альфа-волн, усилением спектральной мощности бета-ритма и появлением низкочастотных волн [9]. В процессе воображения движений правой и левой ногами у четырех испытуемых первой группы с исходным I типом ЭЭГ наблюдалась его смена на III тип. В процессе реального мышечного напряжения, независимо от его латерализации, у трех человек I тип ЭЭГ менялся на III тип, а у одного, напротив, III тип менялся на I тип. В итоге, при действии как ведущей, так и неведущей ногой I тип ЭЭГ отмечался у 57,1%, а III тип – у 42,9% студентов с НСПД. Что касается левшей с ВСПД, то у них в покое наблюдался только I тип ЭЭГ, который сохранялся как в процессе воображения, так и выполнения движений. То есть, пространственное перераспределение спектров мощности ЭЭГ при представлении и осуществлении действий ногами более характерно для левшей с

НСПД. Различия спектральной мощности ритмов ЭЭГ у левшей с НСПД и ВСПД до

и во время выполнения одной из двигательных задач отражены на рисунке 1.

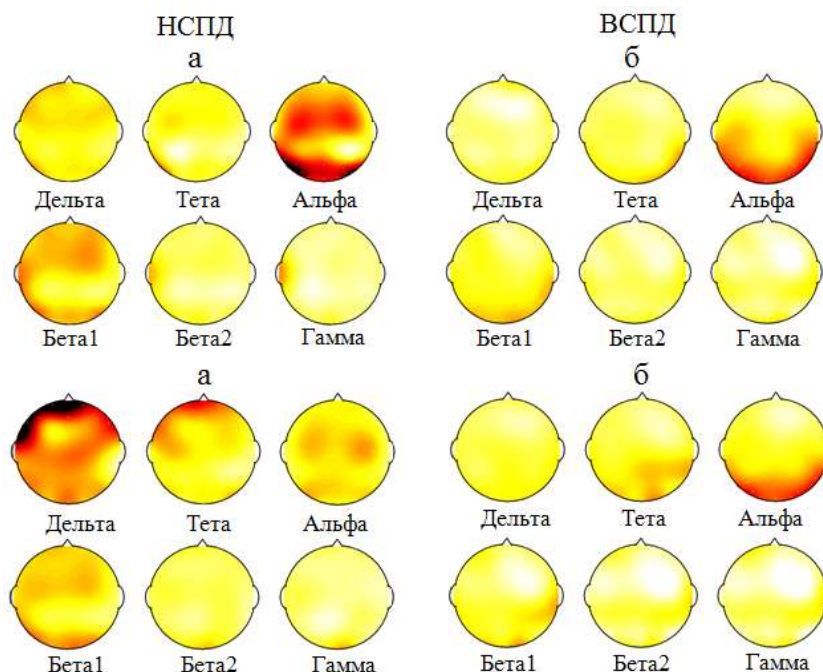


Рис. 1. Примеры спектральных карт ЭЭГ, типичных для левшей с НСПД и ВСПД в состоянии покоя (а) и при напряжении мышц левой ноги (б)

Результаты анализа спектральных карт позволяют говорить о том, что тип ЭЭГ у левшей в определенной степени детерминирован выраженностью функциональной межполушарной асимметрии. При этом вызывает интерес наличие среди левшей с НСПД лиц, имевших III тип ЭЭГ не только при воображении и выполнении двигательных актов, но и в покое. Характерные для этого типа ЭЭГ тета- и дельта-ритмы рассматриваются как базовые ритмы лимбического происхождения, обусловленные кортико-гиппокампальными связями и активацией системы поведенческого торможения [10]. Преобладание медленноволновых ритмов в лобных долях у испытуемых можно рассматривать как коррелят эмоционального напряжения и тревожности [10,11], уровень которых, по всей видимости, более высок у левшей с НСПД. Интересно, что общая картина активности мозга на спектральных картах обеих групп левшей мало зависела от латерализации воображаемых и реальных

движений ног. Этот факт согласуется с результатами исследований, выполненных на правшах, у большинства которых был установлен практически одинаковый паттерн ЭЭГ при представлении движений пальцами левой и правой руки [5].

В пользу наличия особенностей ритмической активности мозга у двух групп левшей при воображении и выполнении движений ногами свидетельствует также анализ амплитуды ритмов ЭЭГ (второй этап исследования). Принимая в расчет литературные данные о характере и локализации изменений ЭЭГ при выполнении двигательных задач [8], мы оценивали амплитуду центрального (отведения С3 и С4) и фронтального (отведения F3 и F4) альфа-ритма, который рассматривается как сенсомоторный мю-ритм [6,12]. В ходе проведенного анализа были установлены некоторые различия в динамике ритмов альфа-диапазона у левшей с НСПД и ВСПД.

Так, в состоянии покоя у левшей с НСПД в отведениях С3 и С4 регистриро-

вался роландический альфа-ритм (мю-ритм) небольшой амплитуды ($26,10 \pm 1,61$ мкВ и $25,97 \pm 1,86$ мкВ соответственно). Что касается левшей с ВСПД, то у них амплитуда мю-ритма в С3 и С4 в покое была выше ($p < 0,05$) и составляла $47,98 \pm 8,01$ мкВ и $35,04 \pm 3,01$ мкВ соответственно. Определенные различия альфа-ритма у испытуемых с НСПД и ВСПД проявлялись также в отведениях F3 и F4, однако, в отличие от С3 и С4, амплитуда фронтального мю-ритма в покое была выше ($p < 0,05$) у левшей с НСПД. В частности, у этих студентов в F3 и F4 регистрировался мю-ритм с амплитудой $58,67 \pm 7,30$ мкВ и $57,97 \pm 12,67$ мкВ, тогда как у представителей с ВСПД амплитуда составляла $36,37 \pm 3,18$ мкВ и $32,62 \pm 2,53$ мкВ соответственно. Различия в исходной амплитуде центрального и фронтального мю-ритмов у двух групп левшей позволяют говорить о неодинаковом уровне фоновой активности соответствующих областей коры у обследованных лиц. Из полученных данных следует, что в состоянии спокойного бодрствования уровень возбуждения в соматосенсорной зоне выше у левшей с НСПД, а активность сенсомоторной коры, наоборот, превалирует у левшей с ВСПД. Причиной этих различий могут быть особенности функционального состояния мозга, обусловленные организацией центральных связей, сформированностью межполушарных взаимоотношений, выраженностью моторной асимметрии. Например, известно, что правополушарные люди отличаются от левополушарных характером интра- и интеркортикальных связей и имеют более диффузное представительство ряда функций в коре правой и левой гемисфер [7].

Различия между студентами с НСПД и ВСПД проявлялись также в изменениях амплитуды альфа-ритма в ответ на воображаемые и реальные движения. В частности, в центральных отведениях у левшей с НСПД при двигательных тестах не наблюдалось существенных изменений мю-ритма, за исключением снижения его амплитуды на

$23,2\%$ ($p < 0,05$) в правом полушарии (С4) при воображении напряжения неведущей (правой) ноги. У лиц с ВСПД на фоне воображаемых и реальных движений изменения ЭЭГ в центральных отведениях формировались с большей закономерностью и имели более выраженный характер. А именно, амплитуда мю-ритма у них уменьшалась при представлении мышечного усилия ведущей (левой) ноги на $37,0\%$ ($p < 0,05$) в С3 и на $31,7\%$ ($p < 0,01$) в С4. Аналогичная картина наблюдалась и в случае реального напряжения левой ноги, когда амплитуда снижалась в С3 и С4 на $30,9$ и $24,5\%$ соответственно ($p < 0,05$). В условиях выполнения задач с участием неведущей (правой) ноги достоверное угнетение мю-ритма у левшей с ВСПД отмечалось только в ответ на реальное действие и только в отведении С4 (на $29,8\%$; $p < 0,05$). При этом обращает внимание отсутствие статистически значимых межполушарных различий в уровне изменений амплитуды мю-ритма в симметричных центральных отведениях при двигательных задачах у испытуемых обеих групп.

Наблюдаемое при воображении и выполнении действий ногами уменьшение амплитуды мю-ритма в центральных отведениях свидетельствует об эффекте десинхронизации ЭЭГ и усилении функциональной активности нейронной сети соматосенсорной области, ответственной за обработку проприоцептивной информации [13]. Полученные данные позволяют полагать, что у левшей с ВСПД при задачах на воображение и исполнение движений ног соматосенсорная область активизируется чаще и сильнее, чем у левшей с НСПД. Выраженная десинхронизация роландического мю-ритма, отмечаемая при двигательных тестах у левшей с ВСПД, возможно, связана с лучшим развитием у них связей коры с ретикулярными и релейными таламическими ядрами, участвующими, по мнению исследователей [14], в генерации и группировке ритмов ЭЭГ. Некоторые авторы рассматривают сильное подавление мю-ритма в центральных отведениях как электрофи-

зиологический показатель кинестетического воображения движений [6,8], которое, вероятно, у левшей с ВСПД выражено лучше, чем у испытуемых с НСПД.

Изменения амплитуды фронтального альфа-ритма у испытуемых при выполнении двигательных заданий также зависели от степени доминирования правого полушария (рис. 2). У левшей с НСПД в отведении F3 статистически значимая депрессия мю-ритма наблюдалась при выполнении двух задач (воображение напряжения правой ноги и реальное напряжение левой ноги), а в F4 при выполнении всех четырех двигательных задач. У лиц с ВСПД реакции мю-ритма во фронтальных отведениях отмечались реже, а именно в F3 при воображении напряжения левой и реальном напряжении правой ноги, а в F4 при воображении напряжения правой и левой ног. Характерно, что изменения амплитуды мю-ритма во фронтальных отведениях правого и левого больших полушарий, как и в симметричных централь-

ных отведениях, статистически значимо не различались. Особого внимания заслуживает тот факт, что в процессе воображения и выполнения движений ногами десинхронизация альфа-ритма, в отведениях F3 и F4 при всех двигательных заданиях сильнее проявлялась у левшей с НСПД (рис. 2). С одной стороны, это может отражать более активное вовлечение сенсомоторных корковых зон в реализацию двигательных задач у этой группы левшей, что согласуется с литературными данными об активации лобной коры при представлении сложных и продолжительных действий [5]. С другой стороны, выраженная десинхронизация фронтального альфа-ритма в сочетании с ростом спектральной мощности дельта- и тета-активности, характерной для значительного числа левшей с НСПД, позволяет говорить о том, что процессы воображения и осуществления латерализованных действий у парциальных левшей сопровождаются заметным напряжением психических функций.

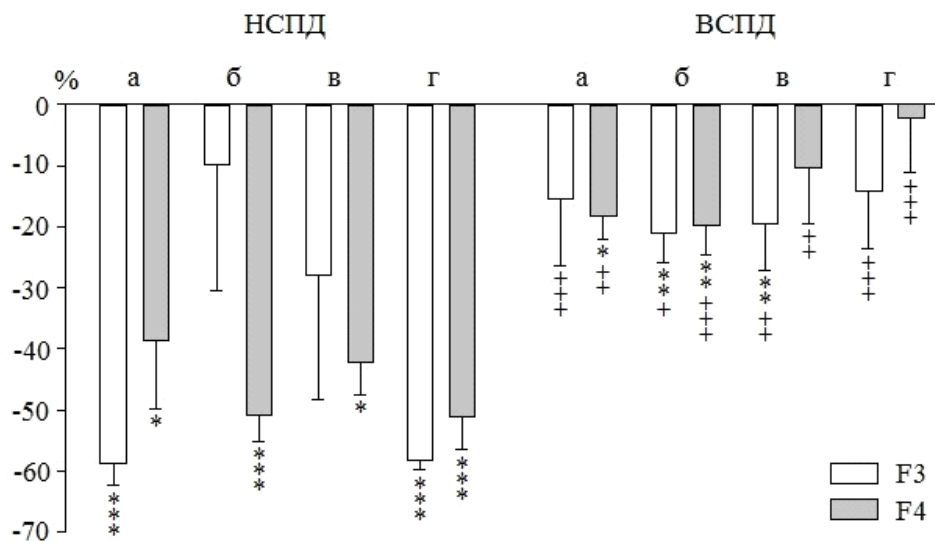


Рис. 2. Изменение (в % относительно покоя) амплитуды мю-ритма в отведениях F3 и F4 у левшей с НСПД и ВСПД при двигательных задачах (а – воображение действия правой ногой, б – воображение действия левой ногой, в – реальное действие правой ногой, г – реальное действие левой ногой).

Примечание: *($p < 0,05$); **($p < 0,01$); ***($p < 0,001$) – статистически значимые различия с состоянием покоя; +($p < 0,05$); ++($p < 0,01$); +++($p < 0,001$) – статистически значимые межгрупповые различия

Оценивая наблюдаемые изменения ЭЭГ, следует отметить, что в ряде исследований выявлены межполушарные различия сенсомоторного мю-ритма. Например, установлена частотная и амплитудная асимметрия мю-ритма в центральных теменных и центральных лобных областях при движениях кистей правой и левой рук у правшей и левшей [3]. При воображении движений кистей рук у правшей показана межполушарная асимметрия мю-ритма в центральных корковых зонах (С3-С4) в виде преобладания его мощности в левом полушарии, в то время как в отведениях F3-F4 достоверной межполушарной асимметрии топографического распределения мю-ритма не отмечалось [12]. У обследованных нами левшей в процессе воображения и осуществления действий ногами межполушарная асимметрия альфа-ритма не имела статистически значимого характера ($p > 0,05$) ни в центральных, ни во фронтальных отведениях, одной из причин чего может быть специфика церебральной организации у людей с левосторонней моторикой. Так, характерными нейроанатомическими и функциональными особенностями мозга левшей являются меньшая его асимметрия по сравнению с правшами [1], преобладание между полушариями, а также корковыми и подкорковыми структурами синхронных взаимодействий по типу комплементарности [7]. Кроме того, име-

ется мнение, объясняющее отсутствие латерализации в изменениях паттернов ЭЭГ сложностью и продолжительностью двигательных заданий, для выполнения которых требуется широкая активация корковых зон в симметричных гемисферах [15].

Заключение

Таким образом, паттерны электроэнцефалограммы у левшей в покое, а также при воображении и выполнении движений ногами зависят от степени доминирования правого полушария головного мозга. Степень правополушарного доминирования является фактором, определяющим топографическое распределение спектральной мощности ритмов электроэнцефалограммы и ее принадлежность к определенному классификационному типу, а также влияющим на амплитуду сенсомоторного мю-ритма. Различия амплитуды мю-ритма в центральных и фронтальных отведениях в процессе воображаемых и реальных действий ногами у левшей с низкой и высокой степенью правополушарного доминирования могут быть отражением разной степени вовлечения соматосенсорных и сенсомоторных областей коры в механизмы программирования и реализации двигательных актов у таких представителей. Полученные данные развивают представления о нейрофизиологических механизмах регуляции произвольных движений у левшей и могут быть использованы в практических целях.

Литература

1. Брагина Н.Н., Доброхотова Т.А. Функциональные асимметрии человека. М.: Медицина; 1981.
2. Corballis M.C., Badzakova-Trajkov G., Häberling I.S. Right hand, left brain: genetic and evolutionary bases of cerebral asymmetries for language and manual action // WIREs Cogn. Sci. 2012. Vol. 3, №1. P. 1-17. doi:10.1002/wcs.158
3. Маркина Л.Д., Баркар А.А. Межполушарная асимметрия головного мозга: морфологический и физиологический аспекты // Тихоокеанский медицинский журнал. 2014. №1. С. 66-70.
4. Строганова Т.А., Пушина Н.П., Орехова Е.В., и др. Функциональная асимметрия мозга и индивидуальные различия в предпочтении руки в раннем онтогенезе // Физиология человека. 2004. Т. 30, №1. С. 20-30.
5. Васильев А.Н., Либушкина С.П., Каплан А.Я. Латерализация паттернов ЭЭГ у человека при представлении движений руками в интерфейсе мозг-компьютер // Журнал высшей нервной деятельности имени И.П. Павлова. 2016. Т. 66, №3. С. 302-312.
6. Фролов А.А., Федотова И.Р., Гусек Д., и др. Ритмическая активность мозга и интерфейс мозг-компьютер, основанный на воображении движений // Успехи физиологических наук. 2017. Т. 48, №3. С. 72-91.
7. Жаворонкова Л.А. Правши – левши: межполушарная асимметрия электрической активности

- мозга человека. М.: Наука; 2006.
8. Pfurtscheller G., Brunner C., Schlögl A., et al. Mu rhythm (de)synchronization and EEG single-trial classification of different motor imagery tasks // *NeuroImage*. 2006. Vol. 31, №1. P. 153-159. doi: 10.1016/j.neuroimage.2005.12.003
 9. Жирмунская Е.А. Атлас классификации ЭЭГ. М.: Наука; 1996.
 10. Афтanas Л.И., Павлов С.В. Особенности межполушарного распределения спектров мощности у высокотревожных индивидуумов в эмоционально-нейтральных условиях и при отрицательной эмоциональной активации // *Журнал высшей нервной деятельности имени И.П. Павлова*. 2005. Т. 55, №3. С. 322-328.
 11. Трушина Д.А., Ведясова О.А., Павленко С.И. Пространственная картина ритмов электроэнцефалограммы у студентов-правшей с разными уровнями тревожности в покое и во время экзаменационного стресса // *Ульяновский медико-биологический журнал*. 2016. №2. С. 141-150.
 12. Гарах Ж.В., Зайцева Ю.С., Новотоцкий-Власов В.Ю., и др. Подавление мю-ритма ЭЭГ при представлении движения у больных шизофренией // *Социальная и клиническая психиатрия*. 2014. Т. 24, №3. С. 5-11.
 13. Suffczynski P., Kalitzin S., Pfurtscheller G., et al. Computational model of thalamo-cortical networks: dynamical control of alpha rhythms in relation to focal attention // *Int. J. Psychophysiol.* 2001. Vol. 43, №1. P. 25-40.
 14. Steriade M. Grouping of brain rhythms in corticothalamic systems // *Neuroscience*. 2006. Vol. 137, №4. P. 1087-1106. doi:10.1016/j.neuroscience.2005.10.029
 15. Gueugneau N., Bove M., Avanzino L., et al. Interhemispheric inhibition during mental actions of different complexity // *PLoS One*. 2013. Vol. 8, №2: e56973. doi:10.1371/journal.pone.0056973
- References**
1. Bragina NN, Dobrokhotova TA. *Funktsional'nye asimmetrii cheloveka*. Moscow: Meditsina; 1981. (In Russ).
 2. Corballis C, Badzakova-Trajkov G, Häberling IS. Right hand, left brain: genetic and evolutionary bases of cerebral asymmetries for language and manual action. *WIREs Cogn Sci*. 2012; 3(1):1-17. doi:10.1002/wcs.158
 3. Markina LD, Barkar AA. Interhemispheric asymmetry of the brain: morphological and physiological aspects. *Tikhookeanskiy meditsinskiy zhurnal*. 2014;1:66-70. (In Russ).
 4. Stroganova TA, Pushina NP, Orekhova EV, et al. Functional brain asymmetry and individual differences in hand preference in early ontogeny. *Human Physiology*. 2004;30(1):20-30. (In Russ).
 5. Vasil'ev AN, Liburkina SP, Kaplan AYa. Lateralization of EEG patterns in humans during motor imagery of arm movements in the brain-computer interface. *IP Pavlov Journal of Higher Nervous Activity*. 2016;66(3):302-12. (In Russ).
 6. Frolov AA, Fedotova IR, Gusek D, et al. Rhythmic brain activity and brain computer interface based on motor imagery. *Uspekhi Fiziologicheskikh Nauk*. 2017;48(3):72-91. (In Russ).
 7. Zhavoronkova LA. *Pravshi – levshi: mezhpulsharnaya asimmetriya elektricheskoy aktivnosti mozga cheloveka*. Moscow: Nauka; 2006. (In Russ).
 8. Pfurtscheller G, Brunner C, Schlögl A, et al. Mu rhythm (de)synchronization and EEG single-trial classification of different motor imagery tasks. *NeuroImage*. 2006;31(1):153-9. doi:10.1016/j.neuroimage.2005.12.003
 9. Zhirmunskaya EA. *Atlas klassifikatsii EEG*. Moscow: Nauka; 1996. (In Russ).
 10. Aftanas LI, Pavlov SV. Peculiarities of interhemispheric EEG band power distribution in high anxiety individuals under emotionally neutral and aversive arousal conditions. *IP Pavlov Journal of Higher Nervous Activity*. 2005; 55(3):322-8. (In Russ).
 11. Trushina DA, Vedyasova OA, Pavlenko SI. Spatial pattern of electroencephalogram rhythms in right-handed students with different anxiety levels at rest and during examination stress. *Ul'yanovskiy Mediko-Biologicheskii Zhurnal*. 2016;2:141-50. (In Russ).
 12. Garakh JV, Zaytseva YuS, Novototskiy-Vlasov VYu, et al. Suppression of mu-waves in EEG recordings of schizophrenic patients while imagining movement. *Sotsial'naya i Klinicheskaya Psikhatriya*. 2014;24(3):5-11. (In Russ).
 13. Suffczynski P, Kalitzin S, Pfurtscheller G, et al. Computational model of thalamo-cortical networks: dynamical control of alpha rhythms in relation to focal attention. *Int J Psychophysiol*. 2001; 43(1):25-40.
 14. Steriade M. Grouping of brain rhythms in corticothalamic systems. *Neuroscience*. 2006;4:1087-106. doi:10.1016/j.neuroscience.2005.10.029
 15. Gueugneau N, Bove M, Avanzino L, et al. Interhemispheric inhibition during mental actions of different complexity. *PLoS One*. 2013;8(2): e56973. doi:10.1371/journal.pone.0056973

Дополнительная информация [Additional Info]

Финансирование исследования. Бюджет Самарского национального исследовательского университета им. акад. С.П. Королева. [Financing of study. Budget of Samara National Research University.]

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, о которых необходимо сообщить в связи с публикацией данной статьи. [**Conflict of interests.** The authors declare no actual and potential conflict of interests which should be stated in connection with publication of the article.]

Участие авторов. Ведясова О.А. – концепция и дизайн исследования, написание текста, редактирование, Моренова К.А. – сбор и обработка материала, статистическая обработка, написание текста. [**Participation of authors.** O.A. Vedyasova – concept and design of the study, writing the text, editing, K.A. Morenova – acquisition and processing of the material, statistical processing, writing the text.]

Информация об авторах [Authors Info]

Ведясова Ольга Александровна – д.б.н., профессор, профессор кафедры физиологии человека и животных ФГАОУ ВО Самарский национальный исследовательский университет им. акад. С.П. Королева, Самара, Россия. [**Olga A. Vedyasova** – PhD in Biological sciences, Professor of the Human and Animal Physiology Department, Samara National Research University, Samara, Russia.]
SPIN: 1026-1978, ORCID ID: 0000-0002-3392-6112, Researcher ID: C-4744-2018. E-mail: o.a.vedyasova@gmail.com

***Моренова Ксения Александровна** – аспирант кафедры физиологии человека и животных ФГАОУ ВО Самарский национальный исследовательский университет им. акад. С.П. Королева, Самара, Россия. [**Kseniya A. Morenova** – PhD Student of the Human and Animal Physiology Department, Samara National Research University, Samara, Russia.]
SPIN: 1049-3599, ORCID ID: 0000-0002-6044-133X, Researcher ID: C-7377-2018.

Цитировать: Ведясова О.А., Моренова К.А. Особенности электроэнцефалограммы у левшей при воображении и выполнении движений ногами // Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова. 2018. Т. 26, №3. С. 360-368. doi:10.23888/PAVLOVJ2018263360-368

To cite this article: Vedyasova OA, Morenova KA. Peculiarities of electroencephalogram of left-handed individuals in imagination and realization of feet movements. *IP Pavlov Russian Medical Biological Herald*. 2018;26(3):360-8. doi:10.23888/PAVLOVJ2018263360-368

Поступила/Received: 18.02.2018
Принята в печать/Accepted: 10.09.2018