

ОБРАЗНЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ МОТОРНЫХ ДЕЙСТВИЙ И ИХ МОЗГОВЫЕ МЕХАНИЗМЫ

И.С. Поликанова, irinapolikanova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5323-3487>

С.В. Леонов, svleonov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8883-9649>

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Аннотация. Цель: изучение и анализ основных аспектов, связанных с организацией и реализацией движений, включая образные представления моторных актов. **Методология исследования.** Использован теоретический анализ научных публикаций отечественных и зарубежных авторов в области изучения мозговых механизмов организации движений и их образных представлений, начиная с конца XIX века и до сегодняшних дней. **Результаты.** На основе проведенного анализа показано, что мозговые механизмы организации движений и образных представлений действий являются сложными, комплексными, многоуровневыми процессами, участие в которых принимают множество структур центральной нервной системы. **Заключение.** Мозговым субстратом образных представлений является распределенная функциональная система, включающая комплекс мозговых структур: кору больших полушарий (в частности, моторные области, а также ассоциативные зоны коры – префронтальную и теменную кору), мозжечок, базальные ганглии, таламус и другие структуры. Также важная роль в образных представлениях движений отводится таламопариетальной и таламифронтальной системам.

Ключевые слова: мозговые механизмы движений, произвольные движения, моторные репрезентации, образные процессы, мысленная тренировка, идеомоторная тренировка, образ тела, схема тела

Благодарности. Исследование проведено при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 19-78-10134.

Для цитирования: Поликанова И.С., Леонов С.В. Образные представления моторных действий и их мозговые механизмы // Человек. Спорт. Медицина. 2023. Т. 23, № 2. С. 16–23. DOI: 10.14529/hsm230202

MENTAL REPRESENTATIONS OF MOTOR ACTIONS AND THEIR BRAIN MECHANISMS

I.S. Polikanova, irinapolikanova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5323-3487>

S.V. Leonov, svleonov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8883-9649>

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Abstract. Aim. The aim of this work was to identify and analyze all the main aspects related to the organization and execution of movements, including mental representations of motor acts. **Materials and methods.** This paper provides a theoretical analysis of scientific publications from Russian and foreign authors related to the brain mechanisms of organization of movements and their mental representations from the late XIX century to the present day. **Results.** The results obtained demonstrate that brain mechanisms of movement organization and mental representations of movements are complex and multilevel by nature and involve many structures of the central nervous system. **Conclusions.** The brain substrate of mental representations is a distributed functional system that includes a complex of brain structures: the cortex of large hemispheres (in particular, motor areas, as well as associative cortical areas that include prefrontal and parietal

cortex), cerebellum, basal ganglia, thalamus, and other structures. The thalamoparietal and thalamofrontal systems also play an important role in mental representations of movements.

Keywords: brain mechanisms of movements, voluntary movements, motor training, mental processes, mental training, ideomotor training, body image, body scheme

Acknowledgments. The study was supported by the Russian Science Foundation, Project No. 19-78-10134.

For citation: Polikanova I.S., Leonov S.V. Mental representations of motor actions and their brain mechanisms. *Human. Sport. Medicine.* 2023;23(2):16–23. (In Russ.) DOI: 10.14529/hsm230202

Введение. Изучение вопросов, связанных с мозговыми механизмами организации движений, а также образными представлениями моторных действий, имеет важное значение, в том числе для спортивной практики.

Одним из ярких примеров единства этих процессов является практика использования мысленных, или идеомоторных, тренировок в спорте [2, 4]. Целесообразность и эффективность применения мысленных образов показана, начиная еще с работ Е. Джэкобсона [19] и Р. Саккета [33], проведенных в первой половине XX века. С тех пор было предложено несколько теорий, объясняющих эффективность мысленных тренировок, среди которых: психонейромышечная теория, группа когнитивных теорий, включающих теорию символического обучения [33], теорию двойного кодирования [31], пропозициональную теорию [10], биоинформационную когнитивную теорию [18], теория инсайта [16].

В контексте нашей темы особый интерес представляет психонейромышечная теория, основанная на идеомоторном принципе, предложенном У. Карпентером в конце XIX века [8], в соответствии с которым во время мысленного представления движения возникает мышечная активность, идентичная по локализации реальному движению, но гораздо меньшая по величине. Эти результаты были подтверждены Э. Джэкобсоном [19] при сравнении мышечной активации во время реальных и воображаемых движений. Он показал эквивалентность задействованных мышц, однако при мысленном выполнении действия уровень активации мышц был значительно меньше.

В настоящее время накоплено достаточно много данных, включая нейровизуализационные исследования, которые демонстрируют эквивалентность активации мозговых структур как во время реального выполнения моторных действий, так и при их мысленном представлении [34]. Также эти данные дополняются клинической практикой на пациентах с нарушениями восприятия [7, 11] и двига-

тельными нарушениями [28, 29], демонстрируют аналогичные проявления как в отношении реальных действий, так и в отношении воображаемых.

Таким образом, в настоящее время собрано достаточное количество данных, доказывающих состоятельность теории функциональной эквивалентности мысленных и реальных движений. Однако для того, чтобы понять механизм, лежащий в основе данных процессов, рассмотрим более подробно особенности мозговой организации движений, а также различных образных процессов, связанных с движениями.

История изучения организации произвольных движений и образных представлений моторных действий, включая моторные репрезентации. История исследования моторных репрезентаций начинается с конца XIX века, когда в области физиологии движений доминирующую позицию занимала сенсомоторная концепция организации движений. Произвольные движения рассматривались как разные виды рефлексов с определенной степенью автономности по отношению к внешним раздражителям [20].

Важным шагом в развитии представлений о реализации произвольных движений было открытие корковых моторных областей, активирующихся при реализации движений. В конце XIX века в работах физиологов и клинических неврологов начало появляться понятие о моторных центрах. В 1870 году Эдуардом Хитцигом с Густавом Фричем был открыт эффект, связанный с прямой электростимуляцией прецентральной коры у собак [15]. Их эксперименты выявили существование соматической организации коркового представления движений [35]. Однако авторы интерпретировали эти результаты с позиции представления моторных образов произвольных движений и полагали, что в случае разрушения конкретной моторной области животное неспособно выполнить движение не из-за паралича мышц, а из-за невозможности представить эти движения.

Еще одна концепция осуществления произвольных движений принадлежит Дэвиду Ферриеру [12], который также проводил эксперименты со стимуляцией на собаках и на обезьянах. Его сенсомоторная концепция происхождения движений заключалась в следующем: сенсорные пути несут отпечатки в сенсорные центры коры больших полушарий, где в дальнейшем происходит переключение на моторные области коры, которые уже непосредственно осуществляют реализацию движения [13]. В ряде исследований Д. Фарриера было показано, что реализация движений у собак с разрушенными двигательными зонами вскоре восстанавливалась и наблюдались квазинормальные движения. Автор объясняет это ролью базальных ганглиев, которые он рассматривал как центры автоматических движений, в отличие от произвольных движений.

Важное значение для определения корковых моторных центров имел ряд клинических исследований на пациентах с двигательными нарушениями. Так, в конце 1860-х годов Хаглингс Джексон описал случай с пациентом, у которого наблюдался односторонний эпилептический спазм. Х. Джексон предположил, что определенные поражения коры больших полушарий могут приводить к соответствующим двигательным нарушениям. Он предположил, что часть тела, где начинается судорога, должна указывать на соответствующую область коры с поражением. Кроме того, распространение эпилептической активации из очага на соседние области мозга должно приводить к соответствующим двигательным нарушениям [14, 26, 30].

Харви Кушинг смог продемонстрировать в исследованиях на людях с использованием метода электростимуляции, что сенсорная кора расположена позади центральной извилины: во время стимуляции пациенты сообщали о кожных ощущениях, расположенных в определенных частях тела [9]. В исследованиях Х. Кушинга принимали участие пациенты с эпилепсией, которые сообщали о том, что ощущения при стимуляции определенных областей постцентральной извилины соответствовали ауре, которую пациенты испытывали перед эпилептическими припадками. Полученные результаты были в дальнейшем подтверждены, а также расширены Уайлдером Пенфилдом и его коллегами [32].

Параллельно с развитием представлений о двигательных центрах в конце XIX века раз-

вивались теории, касающиеся представлений о мышечных чувствах, связанных с реализацией движений, и их природе. Среди данных теорий можно выделить два основных направления – периферические и центральные.

Периферическая концепция, предполагающая возникновение мышечных ощущений на периферии, развивалась Чарльзом Шеррингтоном и на какое-то время стала доминирующей теорией. Однако она подвергалась сильной критике в связи с отсутствием прямых доказательств и экспериментальных данных.

Развитие концепции, предполагающей центральную природу происхождения мышечных ощущений, связанных с положением конечностей, принадлежит Александру Бейну. Он предполагал возникновение ощущения приложенной силы и сопутствия этого ощущения мышечному стимулированию. В качестве источника данных А. Бейн использовал клинические наблюдения за пациентами с полной анестезией одной конечности, которые все еще были способны совершать произвольные движения с этой конечностью [20]. Эти пациенты все еще имели «мышечное сознание», хотя они потеряли мышечные ощущения, вызванные мышечной деятельностью. Это привело к предположению, что мышечное сознание может существовать независимо от мышечных ощущений. Эта точка зрения была четко сформулирована Льюисом [22], который различал «моторное чувство», сопровождающее активное сокращение мышцы, и «ощущение», создаваемое этим сокращением. Таким образом, Льюис считал, что сложный опыт, возникающий в результате произвольных движений, является суммой как «чувства усилия», так и «моторного чувства».

В конце 1880-х годов наиболее часто используемой концепцией, объясняющей реализацию действий, была «кинестезия», представленная Чарльтоном Бастианом. Согласно этой концепции, кинестетические образы были сформированы из сенсорных следов, оставленных предшествующим движением, сохраненных в моторной коре и возобновленных, когда то же самое движение было выполнено снова [5]. При выполнении движения происходит восстановление мышечных чувств. Таким образом, кортикальные центры движений были фактически сенсорными центрами, где могли храниться кинестетические изображения: поражения этих центров вызывали паралич, потому что они не позволяли паци-

енту вспомнить соответствующие паттерны движения.

Основное подтверждение идей Ч. Бастиана было получено в работах Ч. Шеррингтона в эксперименте с обезьянами [29], который показал, что подавление сенсорной информации от одной конечности вызывает паралич этой конечности, то есть тот же эффект, что и разрушение коркового двигательного центра.

Таким образом, спор между периферическими и центральными теориями мышечных ощущений заключался в природе и содержании моторных репрезентаций.

Необходимым условием для реализации произвольных движений, независимых от среды, является то, что им предшествует представление, которое может быть сформировано в отсутствие сенсорной информации. Ч. Бастианом предложены понятия «умственная концепция действия» или «двигательная идея», чтобы объяснить роль образов памяти или отдаленных впечатлений в формировании действия [5].

Тем не менее основной вклад в развитие мысленных представлений движений был сделан Хьюго Липманном на основе опыта клинической неврологии. Он предложил совершенно новую схему, концентрируясь на том, как действие может быть собрано из его элементарных составляющих. Согласно Липману, действие должно исходить из внутреннего «плана». Представленная цель может быть достигнута на основе внутреннего плана, включающего основные направления и последовательность элементарных актов [25]. Липман ввел понятие «формула движения», представляющее собой упреждающую иерархическую структуру, в которой представлены все аспекты планируемого действия.

На развитие представлений Х. Липманна большое влияние оказало наблюдение за одним пациентом, который перенес цереброваскулярную травму в декабре 1899 года. Х. Липманн отмечал, что пациент не мог с помощью своей правой руки или ноги производить простые движения на словесные команды, а также имитировать движения, выполняемые другим человеком. Движения левых конечностей были при этом в норме [24, 27]. После смерти пациента (спустя 16 месяцев) его вскрытие показало наличие двусторонних поражений в нижней теменной доле, преобладающих на левой стороне, и значительное размягчение

мозолистого тела [23]. Интерпретация Х. Липманном заключалась в том, что область мозга, ответственная за эти двигательные нарушения (сенсомоторная), была расположена в левом полушарии. Интерпретация этой асимметрии состояла в том, что левый корковый центр был доминирующим для представлений действия и посылал свои команды в правое полушарие через мозолистое тело. Когда левый центр и/или мозолистое тело были разорваны, появилась апраксия. На рисунке представлена диаграмма Х. Липманна, показывающая различные возможности внутримушарной разобщенности и их клинические последствия. После поражения, нарушающего пути ассоциации между левым центром и другими областями мозга, где обрабатывается сенсорная информация, представление действия больше не было возможным.

В более поздних работах термин «формула движения», предложенный Х. Липманном, заменялся рядом других терминов, к примеру, «энграммой» [21], «схемой» [17] или «внутренней моделью» [6], однако общий смысл сохранялся прежний.

Мозговые механизмы организации движений. Любые произвольные движения реализуются за счет интегративной и координированной работы множества систем организма, включая комплекс мозговых структур. Чем сложнее действие, тем больше мозговых структур (моторных центров) вовлечено в его выполнение. По мере приобретения опыта произвольные движения становятся все более координированными, точными и плавными, а также автоматизированными.

Любые произвольные движения могут быть реализованы разными способами, к примеру, мы можем поднять предмет левой рукой, а можем – правой. Перед совершением любого произвольного движения происходит формирование программы действий, которая и определяет то, как именно будет реализовано действие, включая временное распределение эфферентных импульсов, то есть выполнение более простых двигательных актов, благодаря которым и будет реализовано запланированное действие (разгибание/сгибание локтя или плеча, движения пальцев, движения ног, поддержание позы и др.).

В ходе реализации любого произвольного движения большое значение имеют обратные связи (обратные афферентации), благодаря

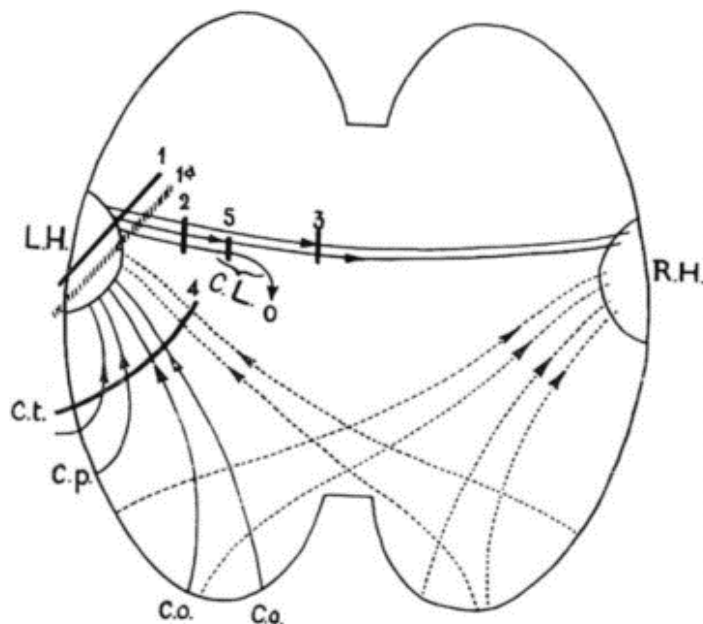


Диаграмма Липманна, показывающая внутрикортикальные связи, ответственные за представление действий

Примечание: левый корковый центр (LH) для правой руки получает соединения из затылочной, височной и теменной сенсорных областей (Co, Cp, Ct). Этот центр посылает команды правой руке через пирамидный тракт и левой руке через мозолистое тело в правый корковый центр (RH). Повреждения в 1 и 2 вызывают паралич правой руки и диспраксию левой руки. Повреждения в 3 вызывают диспраксию левой руки. Повреждения в 4 вызывают двустороннюю идеомоторную апраксию. Повреждения в 5 приводят к параличу правой руки и не дают диспраксии левой руки

Lippmann diagram showing intracortical relations responsible for the mental representation of movements

Note: the left cortical center (LH) receives signals from the occipital, temporal, and parietal sensory areas (Co, Cp, Ct) for the right hand. This center sends commands to the right hand through the pyramidal tract and to the left hand through the corpus callosum to the right cortical center (RH). Lesions in 1 and 2 cause paralysis of the right hand and dyspraxia of the left hand. Lesions in 3 cause dyspraxia of the left hand. Lesions in 4 cause bilateral ideomotor apraxia. Lesions in 5 lead to paralysis of the right hand and no dyspraxia of the left hand

которым моторные центры получают информацию о соответствии выполняемого движения запланированному. В случае необходимости программа действия корректируется.

Важно также отметить, что одни двигательные программы являются генетически детерминированными, например, ползание или ходьба. Другие же формируются в течение жизни. Более простые двигательные программы могут объединяться в более сложные. При этом для выполнения ряда сложных действий критически значимым является созревание определенных структур мозга, в частности, лобных отделов коры больших полушарий [3].

В двигательной системе существует иерархический принцип контроля моторных действий, который заключается в том, что более высшие двигательные центры могут отменить команды низших центров и/или поручить вы-

полнить другую команду. К примеру, стволовые двигательные центры могут контролировать активность моторных центров спинного мозга, но при этом они могут быть подконтрольны моторным центрам коры больших полушарий.

В формировании произвольных движений участвует целый комплекс мозговых структур: ассоциативные и моторные области коры, мозжечок, базальные ганглии, таламус, стволовые структуры и др. Особую роль в программировании движения играют ассоциативные системы мозга – таламопариетальная и таламофронтальная ассоциативные системы.

Таламофронтальная ассоциативная система (от медиодорсального и переднего ядер таламуса к фронтальной и лимбической коре) отвечает за переработку информации о мотивационном состоянии, а также о вегетативных процессах в организме. В части организации

движений таламофронтальная ассоциативная система отвечает за формирование общего плана действия на основе доминирующей мотивации и прошлого жизненного опыта. Благодаря связям с другими ассоциативными зонами и подкорковыми структурами таламофронтальная ассоциативная система обеспечивает гибкую адаптацию организма к меняющимся условиям среды.

Таламопариетальная ассоциативная система (от заднелатерального ядра и подушки таламуса к теменной и височной коре) в части организации движений связана с формированием интегральной схемы тела. При этом все части тела соотносятся не только друг с другом, но и с вестибулярными и зрительными сигналами. Кроме того, таламопариетальная ассоциативная система контролирует направленное внимание к стимулам и обеспечивает координацию всего тела относительно этих стимулов.

Входящая в состав таламопариетальной ассоциативной системы теменная кора больших полушарий (5, 7, 39 и 40 поля по Бродману) является центром конвергенции различных афферентных путей, в частности, проекционной зрительной области (поле 17 по Бродману), проекционной слуховой области (поля 41 и 42 по Бродману) и соматосенсорной чувствительности (поля 1, 2 и 3 по Бродману). Теменная кора также связана практически со всеми структурами моторной системы [1]. Кроме того, теменная кора связана с таламофронтальной ассоциативной корой (поля 8 и 46 по Бродману) и височной ассоциативной корой (поля 20 и 21 по Бродману). Таким образом, теменная кора находится на стыке между сенсорными и двигательными структурами мозга.

В теменной коре выделяют две специальные подсистемы таламо-париетальной ассоциативной системы [1]. Одна из них связана с восприятием схемы тела и включает заднюю группу ядер, вентральное переднее и вентральное латеральное ядра, интраламинарные ядра вместе с центральным срединным ядром таламуса. Вторая подсистема таламопариетальной ассоциативной системы отвечает за координацию и контроль движений глаз и образована афферентными путями от подушки

таламуса, наружного коленчатого тела, зрительной и фронтальной коры больших полушарий, а также афферентными путями к верхним холмам и ядрам моста. На уровне теменной коры эти подсистемы в значительной степени перекрываются.

Таким образом, теменная кора является полимодальным центром, который синтезирует многие афферентные модальности, связанные с пространственной ориентацией (зрение, слух, схема тела). Эта область отвечает за осведомленность о положении тела в пространстве, за извлечение биологически значимой информации из среды и за формирование двигательной команды, которая далее будет программироваться в мозжечке, базальных ганглиях и двигательной коре. Теменная область коры получает возбуждение от заднего латерального, латерального дорсального ядер таламуса и от подушки, формируя таламопариетальную ассоциативную систему.

По мере овладения и повторения движение или двигательный навык становится автоматизированным. Однако существует проблема четкого разделения автоматизированных и произвольных движений, поскольку граница между ними весьма условна. Суть обучения двигательным навыкам состоит в постепенном переходе от жестко контролируемого и сознательного процесса к автоматизированной слитной «кинетической мелодии», которая исполняется со значительно меньшими энергетическими затратами. При этом даже малейшего изменения автоматизированного навыка достаточно, чтобы он перестал быть полностью автоматизированным и потребовал вмешательства сознательного контроля.

Заключение. Таким образом, мы рассмотрели основные мозговые механизмы, связанные с организацией движений. С учетом представленной информации, можно заключить, что мозговым субстратом образных представлений моторных действий является распределенная функциональная система, включающая комплекс мозговых структур: кора больших полушарий (в частности, моторные области, а также ассоциативные зоны коры – префронтальная и теменная), мозжечок, базальные ганглии, таламус и другие структуры.

Список литературы / References

1. Батуев А.С., Таиров О.П. Мозг и организация движений. СПб.: Наука; 1978. 139 с. [Batuyev A.S., Tairov O.P. *Mozg i organizatsiya dvizheniy* [Brain and Organization of Movements]. St. Petersburg, Science Publ., 1978. 139 p.]
2. Каминский И.В., Веракса А.Н. Традиционные теории и современные взгляды на природу мысленного образа движения: применение в спортивной практике // Нац. психол. журнал. 2017. № 2 (26). С. 16–25. [Kaminskiy I.V., Veraksa A.N. [Traditional Theories and Modern Views on the Nature of the Mental Image of Movement. Application in Sports Practice]. *Natsional'nyy psikhologicheskiy zhurnal* [National Psychological Journal], 2017, no. 2 (26), pp. 16–25. (in Russ.)] DOI: 10.11621/npj.2017.0203
3. Мачинская Р.И., Семенова О.А. Особенности формирования высших психических функций у младших школьников с различной степенью зрелости регуляторных систем мозга // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. 2004. Т. 40, № 5. С. 427–435. [Machinskaya R.I., Semenova O.A. [Features of the Formation of Higher Mental Functions in Younger Schoolchildren with Different Degrees of Maturity of the Regulatory Systems of the Brain]. *Zhurnal evolyutsionnoy biokhimii i fiziologii* [Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology], 2004, vol. 40, no. 5, pp. 427–435. (in Russ.)] DOI: 10.1007/s10893-005-0009-3
4. Веракса А.Н., Горовая А.Е., Грушко А.И., Леонов С.В. Мысленная тренировка в психологической подготовке спортсмена. М.: Спорт, 2016. 208 с. [Veraksa A.N., Gorovaya A.E., Grushko A.I., Leonov S.V. *Myslennaya Trenirovka v Psikhologicheskoy Podgotovke Sportsmena* [Mental Training in the Psychological Training of an Athlete]. Moscow, Sport Publ., 2016. 208 p.]
5. Bastian H.C. The “Muscular Sense”; its Nature and Cortical Localization. *Brain*, 1887, vol. 10, no. 1, pp. 1–89. DOI: 10.1093/brain/10.1.1
6. Bernstein N. The Co-Ordination and Regulation of Movements. Oxford: Pergamon Pre, 1967.
7. Bisiach E., Luzzatti C. Unilateral Neglect of Representational Space. *Cortex*, 1978, vol. 14, no. 1, pp. 129–133. DOI: 10.1016/S0010-9452(78)80016-1
8. Carpenter C.B. *Principles of Mental Physiology*. 4th ed. New York: Appleton, 1894.
9. Cushing H. A Note Upon the Faradic Stimulation of the Postcentral Gyrus in Conscious Patients. *Brain*, 1909, vol. 32, no. 1, pp. 44–53. DOI: 10.1093/brain/32.1.44
10. Dvoretzky J. *Psychology*. 3rd ed. St. Paul: West Publishing. 1988.
11. Farah M.J., Soso M.J., Dasheiff R.M. Visual Angle of the Mind's Eye Before and After Unilateral Occipital Lobectomy. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 1992, vol. 18, no. 1, p. 241. DOI: 10.1037/0096-1523.18.1.241
12. Ferrier D. Experimental Researches in Cerebral Physiology and Pathology. *British Medical Journal*, 1873, vol. 1, no. 643, p. 457. DOI: 10.1136/bmj.1.643.457
13. Ferrier D. The Localization of Function in the Brain. *Proceedings of the Royal Society of London*, 1874, vol. 22, no. 148–155, pp. 228–232. DOI: 10.1098/rspl.1873.0032
14. Foerster O. The Motor Cortex in Man in the Light of Hughlings Jackson's Doctrines. *Brain*, 1936, vol. 59, no. 2, pp. 135–159. DOI: 10.1093/brain/59.2.135
15. Fritsch G. Uber Die Elektrische Erregbarkeit des Grosshirns. *Arch, Anatomy Physiology Wiss. Med.*, 1870, vol. 37, pp. 300–332.
16. Grouios G. Mental Practice: A Review. *Journal of Sport Behavior*, 1992, vol. 15, no. 1, p. 42.
17. Head H. *Aphasia and Kindred Disorders of Speech*. Cambridge University Press, 2014.
18. Hecker J.E., Kaczor L.M. Application of Imagery Theory to Sport Psychology: Some Preliminary Findings. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 1988, vol. 10, no. 4, pp. 363–373. DOI: 10.1123/jsep.10.4.363
19. Jacobson E. Electrical Measurements of Neuromuscular States During Mental Activities: V. Variation of Specific Muscles Contracting During Imagination. *American Journal of Physiology-Legacy Content*, 1931, vol. 96, no. 1, pp. 115–121. DOI: 10.1152/ajplegacy.1931.96.1.115
20. Jeannerod M. The Origin of Voluntary Action. History of a Physiological Concept. *Comptes Rendus Biologies*, 2006, vol. 329, no. 5–6, pp. 354–362. DOI: 10.1016/j.crv.2006.03.017
21. Kleist K. Der Gang Und der Gegenwärtige Stand der Apraxieforschung. *Ergebnisse der Neurologie und Psychiatrie*, 1912, vol. 1, pp. 343–452.
22. Lewes G.H. *The Motor Feelings and the Muscular Sense*, 1879. DOI: 10.1093/brain/1.1.14
23. Liepmann H., Storch E. Der Mikroskopische Gehirnbefund bei dem Fall Gorstelle. *European Neurology*, 1902, vol. 11, no. 2, pp. 115–120. DOI: 10.1159/000220967

24. Liepmann H. Das Krankheitsbild der Apraxie (Motorische Asymbolie): Auf grund eines falles von einseitiger apraxia. *Monatschrift für Psychiatrie und Neurologie*, 1900, vol. 8, pp. 15–44. DOI: 10.1159/000221489
25. Liepmann H. *Über Störungen des Handelns bei Gehirnkranken*. S. Karger, 1905.
26. Meltzoff A.N. Towards a Developmental Cognitive Science: The Implications of Cross-Modal Matching and Imitation for the Development of Representation and Memory in Infancy. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1990. 608 p. DOI: 10.1111/j.1749-6632.1990.tb48889.x
27. Tomasino B., Budai R., Mondani M. et al. Mental Rotation in a Patient with an Implanted Electrode Grid in the Motor Cortex. *Neuroreport*, 2005, vol. 16, no. 16, pp. 1795–1800. DOI: 10.1097/01.wnr.0000185957.65723.52
28. Dominey P., Decety J., Broussolle E. et al. Motor Imagery of a Lateralized Sequential Task is Asymmetrically Slowed in Hemi-Parkinson's Patients. *Neuropsychologia*, 1995, vol. 33, no. 6, pp. 727–741. DOI: 10.1016/0028-3932(95)00008-Q
29. Mott F.W., Sherrington C.S. Experiments Upon the Influence of Sensory Nerves Upon Movement and Nutrition of the Limbs. Preliminary Communication. *Proceedings of the Royal Society of London*, 1985, vol. 57, no. 340–346, pp. 481–488. DOI: 10.1098/rspl.1894.0179
30. Munzert J., Lorey B., Zentgraf K. Cognitive Motor Processes: The Role of Motor Imagery in the Study of Motor Representations. *Brain Research Reviews*, 2009, vol. 60, no. 2, pp. 306–326. DOI: 10.1016/j.brainresrev.2008.12.024
31. Paivio A. Coding Distinctions and Repetition Effects in Memory. *Psychology of Learning and Motivation*, 1975, vol. 9, pp. 179–214. DOI: 10.1016/S0079-7421(08)60271-6
32. Penfield W., Boldrey E. Somatic Motor and Sensory Representation in the Cerebral Cortex of Man as Studied by Electrical Stimulation. *Brain*, 1937, vol. 60, no. 4, pp. 389–443. DOI: 10.1093/brain/60.4.389
33. Sackett R.S. The Influence of Symbolic Rehearsal Upon the Retention of a Maze Habit. *The Journal of General Psychology*, 1934, vol. 10, no. 2, pp. 376–398. DOI: 10.1080/00221309.1934.9917742
34. Stippich C., Ochmann H., Sartor K. Somatotopic Mapping of the Human Primary Sensorimotor Cortex During Motor Imagery and Motor Execution by Functional Magnetic Resonance Imaging. *Neuroscience Letters*, 2002, vol. 331, no. 1, pp. 50–54. DOI: 10.1016/S0304-3940(02)00826-1
35. Young R.M. *Mind, Brain, and Adaptation in the Nineteenth Century: Cerebral Localization and its Biological Context from Gall to Ferrier*. Oxford University Press, USA, 1990, no. 3.

Информация об авторах

Поликанова Ирина Сергеевна, кандидат психологических наук, старший научный сотрудник лаборатории «Психология профессий и конфликта» факультета психологии, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия.

Леонов Сергей Владимирович, кандидат психологических наук, доцент кафедры методологии факультета психологии, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия.

Information about the authors

Irina S. Polikanova, Candidate of Psychological Sciences, Senior Researcher, Laboratory “Psychology of Professions and Conflict”, Faculty of Psychology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia.

Sergey V. Leonov, Candidate of Psychological Sciences, Associate Professor of the Department of Methodology, Faculty of Psychology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 29.01.2023

The article was submitted 29.01.2023