

УТВЕРЖДАЮ

Проректор

МГУ имени М.В.Ломоносова

А.А.Федянин

2024 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»

о научно-практической ценности диссертации Решетниковой Варвары Викторовны «Исследование механизмов организации воображения движений конечностей при управлении системами интерфейс мозг-компьютер», представленной на соискание ученой степени доктора биологических наук по специальности 1.5.5 – Физиология человека и животных.

Актуальность темы диссертации

Феномен воображения является одной из высших психических функций, обеспечивающей человеку не только адаптивные функции прогностического свойства, но и возможность осознанного модулирования пластических функций мозга путем на основе ментальных образов для формирования новых и восстановления нарушенных навыков. Последнее, известное как идеомоторная тренировка, особенно востребовано в практике спортивного мастерства и в области реабилитационной медицины как психический ресурс для выработки новых моторных координаций у спортсменов и для восстановления двигательных функций у пациентов после инсульта или нейротравмы. Однако фундаментальные механизмы формирования мысленных представлений движения, а также влияния двигательных образов на пластические перестройки в соответствующих мозговых структурах остаются все еще недостаточно изученными. Прежде всего, очень слабо отражены в литературе вопросы о модальностях представления движения, о различиях кортико-графических отображений при представлении разных движений нижних и верхних конечностей, о динамике этих отображений в многократных пробах представления движений. Важным при этом является и вопрос о спинально-кортикальной интеграции, в частности, при электро- или механо-модуляции восходящего потока нервной импульсации. Наконец, практически значимым является вопрос о реализации идеомоторной тренировки посредством контуров так называемых интерфейсов мозг-компьютер (ИМК), которые позволяют транслировать электрографические маркеры представления движений в сигналы

обратной связи, свидетельствующие спортсмену или пациенту о выраженности и устойчивости его мысленных усилий. Именно ИМК-контуры позволяют сделать идеомоторную тренировку продолжительной и эффективной.

Таким образом, целевой замысел диссертационного исследования В.В.Решетниковой, раскрывающийся в поставленных выше вопросах, является актуальным и насущным как для фундаментальной нейрофизиологической науки, так и для практических исследований в области спорта и реабилитационной медицины.

Степень обоснованности научных положений и выводов, сформулированных в диссертации

Глубокий анализ проблемы формирования мысленных образов движения на основе данных литературы и собственного опыта позволил автору диссертации сформулировать вполне обоснованные и эвристически оправданные положения. Во-первых, положение о том, что запускаемая кинестетическим воображением движения стопы через ИМК электро- или механо-стимуляция спинного мозга влияет существенно модулирует кортикальную и мышечную активность. Во-вторых, положение о том, что в соответствии с эволюционно оправданным неравным распределением коркового представительства частей тела активация коры при представлении движений кисти должна быть выше, чем при представлении движений стопы или шагательных движений, а также различаться в зависимости от латеральности представляемой конечности, от длительности идеомоторной тренировки и от того, в каких ритмических диапазонах ЭЭГ рассматривается динамика активности мозга. Наконец, делалось предположение о зависимости параметров работы ИМК на основе воображения движения от межполушарной асимметрии.

В целом, анализируя тексты диссертации и автореферата, можно заключить, что реализация этих положений в диссертационном исследовании, выполненная с использованием адекватных и современных экспериментальных методов, с применением для анализа данных адекватных алгоритмов и вероятностно-статистических методов, позволила автору сформулировать вполне однозначные и соответствующие общему замыслу работы выводы, исчерпывающим образом поставленные в работе цели и задачи.

Научная новизна полученных результатов и сделанных выводов

Научная новизна диссертационного исследования В.В.Решетниковой не вызывает сомнений, так как автором действительно впервые получены важные данные о модулирующем влиянии на активность головного мозга и мышц кинестетического воображении движений нижних конечностей в контуре интерфейса на фоне чрескожной

электрической стимуляцией спинного мозга и механотерапии. Кроме того, были получены приоритетные данные о различиях в активности головного мозга при воображении движений отдельно верхних и нижних конечностей как при первых тестированиях, так и в процессе обучения мысленному представлению этих движений. Наконец, новым является и подтвержденное авторами собственное предположение о наличии различий в активности мозга и мышц при воображении движений правых и левых конечностей

Теоретическая и практическая значимость работы

Серьезным достижением автора диссертации в фундаментальной области следует считать открытие влияния, восходящий афферентных потоков спинного мозга на специфические формы активности головного мозга, инициируемые формированием двигательного образа при кинестетическом мысленном представлении движения в контуре интерфейса мозг-компьютер.

В практическом отношении эти данные открывают широкую перспективу создания тренажерных комплексов для восстановления движений, сочетающих в себе не только мысленное представление движений, но и сочетанную с этим активацию афферентных потоков в спинном мозге, что может существенно повысить эффективность медицинской реабилитации. Разработанные автором подходы для оценивания эффективности мысленного представления движений в сочетании с электро- и механо-стимуляцией спинного мозга также можно использовать для мониторинга эффективности реабилитационных мероприятий.

Структура и содержание работы

Структура диссертации выстроена в соответствии с поставленными целями и решаемыми задачами. Во Введении и в первой главе автор обосновывает актуальность работы, ставит цели и задачи, демонстрирует научную новизну, теоретическую и практическую значимость исследования. В частности, автор раскрывает перспективу изучения модулирующих воздействий электро- и механо-стимуляции спинного мозга не только в отношении спинальных локомоторных механизмов, но и связи с модуляцией кортикальных пластических перестроек, индуцируемых многократным мысленным представлением движений конечностей.

Во второй главе В.В.Решетникова подробно описывает материалы и методы исследований, включая классические методы электроэнцефалографии, электромиографии, для специфических условий их использования в контуре интерфейсов мозг-компьютер и последующего анализа для управления этим контуром и получения научных данных.

В третьей главе автор исследования описывает собственно полученные экспериментальные результаты, последовательно рассматривая сначала нейрофизиологические механизмы воображения движений нижних конечностей на фоне чрескожной стимуляции спинного мозга и механотерапии в нейро-интерфейсных контурах, переходя затем к детальному анализу десинхронизации сенсомоторных ритмов при воображении движений и описанию особенностей активации мышц разной принадлежности.

Отдельным этапом экспериментального анализа является у автора сравнительные испытания особенностей воображения движений верхних и нижних конечностей, а также точности классификации паттернов ЭЭГ при воображении движений кистей, стоп и при шагательных движениях. Наконец, в заключительных разделах описания результатов исследования автор приводит данные анализа динамики сенсомоторных ритмов мозга при воображении движений кистей, стоп и локомоции в целом по всем опытным дням и отдельно для каждого дня тестовых испытаний.

Завершающая диссертацию четвертая глава посвящена обсуждению полученных результатов. Здесь автор в первую очередь на основе собственных результатов постулирует, что дополнительные стимуляционные электрические и механические воздействия на восходящую афферентацию спинного мозга дает существенную прибавку в активации корковых сенсо-моторных областей при воображении движений правой и левой стоп, что выражается в повышении точности классификации связанных с воображением паттернов ЭЭГ на 14,3%. При этом важно отметить авторское суждение о том, что стимуляционные электрические и механические воздействия на восходящую афферентацию спинного мозга одновременно с корковыми эффектами на фоне воображения движений приводят к повышению активности тех мышц, которые обеспечивают реальное движение. При этом, изолированная механотерапия мало что добавляет к активации мозга и мышц. Причиной этому авторы считают гораздо большую эффективность электрической стимуляции в повышении интенсивности восходящей нервной импульсации.

В объяснении собственно нейрофизиологических механизмов центрального влияния афферентных воздействий спинного мозга на паттерны ЭЭГ, связанные с воображением движения, автор диссертации на основании анализа ритмов мозга разных частотных диапазонов делает заключение, что поскольку альфа- и бета-ритмы генерируются разными областями мозга и по-разному отражают эффекты электро- и механо-стимуляции спинного мозга, это свидетельствует что тот и другой эффекты опосредуются разными нейронными сетями.

Основной текст диссертации завершается выводами в количестве 5 пунктов, которые на основе логического и вероятностно-статистического анализа вытекают из полученных экспериментальных данных, а также полностью соответствуют и подтверждают вынесенные на защиту диссертации научные положения.

Список литературы включает 268 источников, из которых около 14% составляют источники последних 5 лет.

Замечания по представленной диссертационной работе

Возможно стоило бы в диссертации обсудить вопрос о том, что основным нейрофизиологическим механизмом сенсо-моторного сопряжения восходящих и нисходящих потоков нервной импульсации при воображении движения и стимуляции спинного мозга является повышение кортико-спинальной возбудимости за счет ретикулярной иррадиации стимульного воздействия на спинной мозг. В таком случае описанные в диссертации феномены усиления десинхронизации ритмов мозга при добавлении электрической стимуляции спинного мозга на фоне воображения движения можно было бы рассматривать, как частное проявление повышения кортикоспинальной возбудимости. Между тем эта возможность проверена в очень близкой по идеям и задачам работе Antonio Capozio et al. «The acute effects of motor imagery and cervical transcutaneous electrical stimulation on manual dexterity and neural excitability». *Neuropsychologia*, 2023, 187, 108613, в которой было показано, что кортико-спинальная возбудимость действительно повышается при чрескожной электрической стимуляции спинного мозга, но только на фоне воображения движения. Однако, эта работа не цитируется в диссертации

Вопросов по работе нет.

Приведенные замечания носят дискуссионный характер и не затрагивают сути диссертационного исследования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационное исследование В.В.Решетниковой, несомненно, обладает научной новизной, обоснованностью и достоверностью научных положений и выводов, теоретической и практической значимостью полученных результатов. Достоверность выводов и высокий уровень правдоподобия гипотез обусловлены хорошо регламентированными экспериментальными условиями и адекватным выбором вероятностно-статистических методов анализа данных.

В представленном автором работы списке собственных публикаций по результатам исследования указаны 8 публикаций в рекомендованных ВАК журналах, семь из которых

опубликованы в отечественных изданиях. Кроме того, Материалы диссертации докладывались на 20 всероссийских конференциях с международным участием.

Диссертация написана хорошим научным языком и адекватным образом иллюстрирована.

В автореферате в полной мере изложены полученные в ходе диссертационного исследования результаты, а также итоги обсуждения полученных данных, и сделанные на основании исследования выводы.

Таким образом, диссертационная работа В.В.Решетниковой представляет собой самостоятельную законченную научно-квалификационную работу, соответствующую требованиям п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», от 24.09.2013 г., № 842 (в редакции Постановления Правительства РФ от 21.04.2016 г. № 335 с изменениями от 26.09.2022 г., № 1690), утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени, а ее автор Решетникова Варвара Викторовна заслуживает присуждения степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.5 – Физиология человека и животных.

Отзыв обсужден на заседании кафедры физиологии человека и животных биологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова. Протокол № 1 от 15 января 2024г.

Заведующий лабораторией
нейрофизиологии и нейрокомпьютерных
интерфейсов д.б.н. профессор



А.Я.Каплан

Заведующий кафедрой физиологии
человека и животных
д.б.н.



Д.В.Абрамочкин

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»
Адрес: 119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1
(495) 939-27-29
info@rector.msu.ru

