

Отзыв официального оппонента

Левика Юрия Сергеевича, доктора биологических наук, г.н.с., и.щ.
заведующего лабораторией нейробиологии моторного контроля Института
проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН
на диссертацию Решетниковой Варвары Викторовны
«Исследование механизмов организации воображения движений конечностей
при управлении системами "интерфейс мозг-компьютер"»

Представленную на соискание ученой степени кандидата биологических
наук по специальности 03.03.01 – «Физиология» в диссертационный совет
24.1.137.01 по защите кандидатских и докторских диссертаций при ФГБУН
Институт физиологии им. И.П. Павлова РАН

Актуальность

Традиционно вопрос о воображении движений рассматривался в связи с идеомоторикой. Идеомоторный акт (от греч. *idea* – идея, образ и лат. *motor* – приводящий в движение и *actus* – движение, действие) – это переход представления о движении в реальное выполнение этого движения. Идеомоторные эффекты известны очень давно, они, были открыты еще в восемнадцатом веке английским врачом Д. Гартли и более подробно описаны английским психологом В. Карпентером. И.П. Павлов в статье «Физиологический механизм так называемых произвольных движений» писал: «Давно было замечено и научно доказано, что, раз вы думаете об определенном движении (т. е. имеете кинестетическое представление), вы его невольно, этого не замечая, производите». Тем не менее, длительное время и идеомоторные эффекты и воображаемые движения вообще не привлекали особого внимания, находясь в стороне от магистральных направлений развития физиологии движений. Однако сейчас интерес к воображаемым движениям оживился, в частности, в связи с проблематикой интерфейсов мозг-компьютер. Дело в том, что именно воображая те или иные движения, оператор должен управлять различными внешними устройствами. В связи с этим возникает вопрос о том, в какой мере человек может воображать движения, остаются ли они воображаемыми, не сопровождаются ли они реальными движениями только уменьшенной амплитуды. Можно поставить целый ряд других вопросов, от чего зависит эффективность мысленного

выполнения двигательных задач, зависят ли она от когнитивного, эмоционального или сенсорного профиля обследуемого, от характера мысленного представления движения, от поступающей во время воображения дополнительной сенсорной информации и т.д. Зависит ли успешность выполнения задания по воображению движений от ведущего типа афферентации, латерализации двигательных функций, модальности предъявления образа движения? В целом способность нервной системы воображать движения пока мало изучена, поэтому необходимы фундаментальные нейрофизиологические исследования, которые позволят глубже понять ее механизмы. При воображении движений может быть использована обратная связь, обеспечиваемая системой «интерфейс мозг-компьютер». С ее помощью возможно не только управление вспомогательными устройствами (ортезы, экзоскелеты), но и восстановление двигательных функций за счет активации нейропластических механизмов. Однако, что часть людей не способна управлять ИМК (т.н. ИМК-«неграмотные»), а также что в результате инсульта, в зависимости от того, поражено правое или левое полушарие головного мозга, по-разному нарушаются не только двигательные функции, но и характеристики личности. В связи с этим возникает вопрос, как личностные характеристики влияют на успешность воображения движений, и как это связано с межполушарной асимметрией при организации движений. Также мало освещенным в литературе остается вопрос о том, как различается точность классификации сигналов мозга при воображении разных движений верхних и нижних конечностей. Важным малоизученным фундаментальным вопросом в исследовании центральных механизмов формирования воображения движений является вопрос о спинально-кортикальных взаимодействиях: каково влияние афферентных входов, которые могут быть модулированы стимуляционными и/или механотерапевтическими воздействиями. Ответам на эти вопросы посвящена данная диссертационная работа.

Цель и задачи исследования

Была поставлена цель исследовать особенности формирования воображения движений верхних и нижних конечностей, их зависимости от варьирования афферентных воздействий, от обучения и межполушарной асимметрии.

Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи: Изучить особенности регуляции кинестетического воображения движений при стимуляционных воздействиях на уровне спинного мозга и при пассивном перемещении нижних конечностей путем анализа кортикальной и мышечной активности.

Проанализировать и сопоставить активность мозга при воображении движений верхних и нижних конечностей, актуальных для нейрореабилитации пациентов с нарушениями движений: раскрытия правой и левой кисти, тыльного сгибания правой и левой стопы и локомоции, начинающейся с правой и левой ноги, исследовать изменение активности мозга при обучении воображению этих движений;

Выявить зависимость кортикальной и мышечной активности при воображении движений от факторов, связанных с межполушарной асимметрией.

Положения, вынесенные на защиту, и выводы

На защиту автором были вынесены следующие положения:

При кинестетическом воображении тыльного сгибания стопы в условиях управления нейроинтерфейсом афферентный восходящий поток, возникающий вследствие ЧЭССМ и механотерапии, влияет на кортикальную и мышечную активность. Увеличивается точность классификации сигналов мозга, характеризующая отличие активности мозга при воображении движений от таковой в покое. Возникают изменения активности мышц, обеспечивающих реальное осуществление воображаемого движения, но не приводящие к реальному движению (сублиминальная активность мышц), а также изменения активности их антагонистов.

Отличия в активности мозга при воображении движений по сравнению с состоянием покоя, оцененные по величине точности классификации при работе с нейроинтерфейсом, выше при воображении движений кистей, чем стоп и локомоции. Активность мозга различна в зависимости от воображения движений правой или левой конечности, а также от длительности обучения.

На процессы воображения движений при управлении ИМК влияют следующие факторы: тип воображаемого движения, длительность обучения, активация афферентных входов и межполушарная асимметрия.

Научная новизна

Можно констатировать, что в работе впервые изучены влияния афферентных воздействий на активность головного мозга и мышц при использовании системы, сочетающей в себе чрескожную электрическую стимуляцию спинного мозга (ЧЭССМ) и механотерапию, запускаемую от сигналов ИМК, основанного на кинестетическом воображении движений нижних конечностей. Выявлены различия активности головного мозга при воображении

движений верхних и нижних конечностей, в том числе при обучении воображению этих движений. Получены новые данные о межполушарной асимметрии при воображении движений, проявляющейся в различиях кортикальной и мышечной активности, в различиях связей активности мозга и личностных характеристик при воображении движений правых и левых конечностей.

Теоретическая и практическая значимость работы

Проведенное исследование имеет высокую теоретическую и практическую значимость. Значимость исследования определяется современным состоянием проблемы изучения механизмов воображения движений. Впервые изучены эффекты стимуляции спинного мозга и механотерапии при управлении нейроинтерфейсом, основанном на кинестетическом воображении движений, не только на спинальные механизмы регуляции двигательной функции и активности мышц, но и на кортикальный уровень управления движениями, что позволяет исследовать механизмы периферической обратной связи (обратный контур) при организации воображаемых движений. С точки зрения фундаментальной науки, выяснение механизмов обратных связей при воображении движений на разных уровнях регуляции (спинальном и кортикальном) является чрезвычайно важной задачей.

Полученные данные можно использовать для разработки индивидуального подхода к нейрореабилитации, которая базируется на применении нейроинтерфейса, основанного на воображении движений. Разработка и апробирование системы, состоящей из нейроинтерфейса, ЧЭССМ и механотерапии на здоровых испытуемых является первым шагом в доклинических исследованиях и создания доказательной базы эффективности данного комплекса.

Методы исследования, апробация и достоверность полученных результатов

В соответствии с многоплановым характером исследования в нем использовался широкий спектр физиологических, психофизиологических и психологических методов. Надо отметить, что по набору применяемых подходов из разных областей физиологии и психологии, умелому использованию методов математической обработки данных работа является по-настоящему мультидисциплинарной.

Структура диссертации

Диссертация имеет традиционную структуру, он состоит из введения, обзора литературы, методического раздела, главы с изложением результатов, обсуждения, выводов и списка литературы. Обзор литературы очень подробный, качественный, включает самые современные работы, базируется на обширном материале (список цитируемой литературы включает 267 источников). В разделе методика описываются использовавшиеся в работе физиологические методы и перечисляются применявшиеся психологические тесты. Глава «Результаты» состоит из нескольких разделов: «Исследование механизмов воображения движений стоп при модификация афферентных входов путем добавления к работе нейроинтерфейса чрескожной стимуляции спинного мозга (ЧЭССМ) и механотерапии», «Сравнение особенностей воображения движений верхних и нижних конечностей» и «Особенности воображения движений правой и левой руки, связи с личностными характеристиками и межполушарной асимметрией». Автором изучены особенности спинально-кортикальной регуляции кинестетического воображения движений при стимуляционных воздействиях на уровне спинного мозга путем анализа кортикальной и мышечной активности. В.В. Решетникова проанализировала активность мозга при воображении движений верхних и нижних конечностей, что актуально для нейрореабилитации пациентов с нарушениями движений кисти и левой стопы. Была выявлена зависимость активности мозга при воображении движений от факторов, связанных с межполушарной асимметрией, а также произведена оценка связи активности мозга при воображении движений с личностными характеристиками.

Обсуждение результатов проведено на высоком уровне, логично с привлечением собственных данных и данных других авторов. Выводы обоснованы и логично вытекают из полученных результатов.

Автореферат достаточно полно и адекватно отражает содержание диссертации.

Личный вклад автора

Материалы, вошедшие в данную работу, обсуждались и публиковались автором совместно с научным руководителем. Автор внес значительный вклад в разработку концепции научного исследования, в получение и анализ результатов. Экспериментальные данные при работе с испытуемыми получены автором лично.

Стиль и оформление, публикации по теме диссертации

Рукопись занимает 147 страниц машинописного текста, включая список литературы (268 источников). Работа содержит 11 таблиц и 34 рисунка. Диссертация и автореферат написаны в хорошем научном стиле, число опечаток и стилистических погрешностей минимально. Оформление соответствует требованиям ВАК.

По результатам диссертационной работы опубликовано 8 статей в рецензируемых журналах и более 30 тезисов в материалах российских конференций и конференций с международным участием.

Вопросы и замечания

Хотя в целом работа заслуживает высокой оценки, можно сделать ряд замечаний. Возможно, в разделе «Методика» следовало бы чуть подробнее охарактеризовать используемые психологические тесты, так как работа рассчитана на физиологов, и читателям могут понадобиться пояснения.

В работе все же есть опечатки, несогласования слов, неясные места и т.п., хотя они и не многочисленны. Например: «дополнительная моторной область», «небольшим количеством выборки испытуемых», «нейроинтерфейса, основанного на воображении нижних конечностей». Испытуемым давалась инструкция «кинестетического воображения движений». Не вполне понятно, как можно проверить кинестетически или визуально обследуемый воображал движение. Еще один вопрос связан с тем, что в большинстве случаев при воображении движений наблюдалась реальная ЭМГ-активность. Тогда возникает вопрос, с какого уровня активности движение следует перестать считать чисто воображаемым?

Известно, что пороги восприятия движений и эффекты афферентного притока сильно зависят от двигательной задачи, внешних условий и т.п. Интересно, в какой мере полученные автором выводы специфичны для конкретных условий, в какой – универсальны. Что было бы, например, если бы обследуемый воображал движение ног в положении стоя?

Автор несколько раз упоминает в тексте систему внутреннего представления и схему тела. Может быть стоило в обзоре литературы и обсуждении привлечь данные по этим вопросам в большей мере.

Заключение

Сделанные замечания не снижают общей высокой оценки работы. На основании представленных материалов можно сделать вывод, что диссертационная работа Варвары Викторовны Решетниковой представляет собой ценный вклад в исследования по тематике интерфейса «Мозг-компьютер». В целом полученные результаты и выводы, сформулированные на их основе, актуальны, достоверны и, несомненно, обладают научной новизной и практической значимостью. Таким образом, диссертация Решетниковой В.В. «Исследование механизмов организации воображения движений

конечностей при управлении системами "интерфейс мозг-компьютер" является законченным научно-квалификационным трудом и соответствует специальности 1.5.5 – Физиология. Она полностью отвечает требованиям к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, (в редакции от 26.09. 2022), а автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.5 – Физиология.

«28» декабря 2023 г

Официальный оппонент

Главный научный сотрудник, и.о. зав. Лабораторией нейробиологии моторного контроля
Федерального государственного бюджетного учреждения науки.

Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича Российской Академии
Наук.

Доктор биологических наук



Левик Юрий Сергеевич

Левик

УДОСТОВЕРЯЮ

Зав. канцелярией

Жижкова НВ

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки.

Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича Российской Академии
Наук.

Адрес: 127051, Москва, Большой Каретный переулок 19, стр. 1.

Телефон: +7 906 712 19 54

Электронная почта: YuriLevik@yandex.ru