

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора биологических наук, профессора, заведующего кафедрой физиологии ФГБОУ ВО «Российский университет спорта «ГЦОЛИФК»» Мельникова Андрея Александровича на диссертационную работу Барканова Максима Геннадьевича на тему «ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ НЕРВНО-МЫШЕЧНОГО АППАРАТА СПОРТСМЕНОВ-ЛЕГКОАТЛЕТОВ В ПРОЦЕССЕ ЧРЕСКОЖНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТИМУЛЯЦИИ РАЗНЫХ ЗОН СПИННОГО МОЗГА», представленную на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.5 – Физиология человека и животных.

Актуальность темы диссертации и ее соответствие отрасли науки

Работа Барканова М.Г. посвящена изучению закономерностям изменения функционального состояния нервно-мышечного аппарата спортсменов-легкоатлетов в процессе чрескожной электрической стимуляции разных зон спинного мозга. Данная тема является высоко актуальной для нейрофизиологии и спортивной физиологии, поскольку особенности возбудимости мотонейронов и сократительные свойства мышц во время чрескожной электрической стимуляции разных зон спинного мозга до настоящего времени полностью не ясны. Кроме того, особое значение данная тема имеет для подготовки спортсменов высокого класса, поскольку технология электростимуляции спинного мозга показала срочную эффективность в повышении сократительных свойств мышц.

В своей работе автор провел углубленные исследования с нейростимуляцией разных отделов спинного мозга в нескольких аспектах и с разными задачами. Во-первых, он проанализировал билатеральные моторные ответы мышц нижних конечностей на стимуляцию разных зон спинного мозга (грудных T11-T12, поясничных L1-L2, копчиковых Co1-Co2), где изучалась сила в форме амплитуды ЭМГ-ответа мышцы бедра и голени в ответ на однократный максимальный электрический стимул. Во-вторых, проанализированы постактивационные эффекты предварительной 10/60 секундной ритмической стимуляции копчикового сплетения на

последующие моторные ответы билатеральных мышц бедра и голени на стимуляцию грудных T11-T12 позвонков. В-третьих, были исследованы электромиографические и кинематические параметры бега с разными видами стимуляции спинного мозга: а) без стимуляции, б) во время мультисегментарной электрической стимуляции в областях T11-T12 в фазу переноса и L1-L2 в фазу опоры бегового шага (МССМ); в) во время селективной ритмической электрической стимуляции копчикового сплетения (СКС) и г) при комбинированной мультисегментарной и копчиковой стимуляциях (МССМ+СКС). Такой дизайн исследования отличается последовательностью, внутренней научной логикой и практической направленностью, что многократно усиливает научную актуальность темы диссертации.

Диссертация соответствует паспорту научной специальности 1.5.5. «Физиология человека и животных» (биологические науки) по п.п. 3, 4, 7, 9.

Научная новизна полученных результатов

Автором проведено тщательное исследование механизмов изменений в сократимости мышц в состоянии покоя и двигательных возможностей спортсменов во время бега под воздействием стимуляции разных зон спинного мозга. Среди наиболее новых результатов, полученных автором, на мой взгляд, можно выделить следующие.

Во-первых, в едином эксперименте получены новые данные о том, что стимуляция нижнегрудного сегмента T11-T12 активировать преимущественно проксимальные мышцы бедра, стимуляция верхнепоясничного сегмента L1-L2 влияет на проксимальные и дистальные мышцы, а стимуляция копчикового сплетения (Co1-Co2) сильнее активировать дистальные мышцы голени.

Во-вторых, кратковременная (10-60 секунд) ритмическая стимуляция копчикового сплетения повышает возбудимость пояснично-грудных (L2-T11) мотонейронных пулов как флексоров, так и экстензоров бедра и голени,

причем этот эффект может быть асимметричным для правой и левой конечностей, а продолжительность стимуляции не имеет существенного значения.

В-третьих, новыми являются данные о влиянии электрической стимуляции спинного мозга на характеристики бега. В частности, комбинированная стимуляция, включающая мультисегментарную стимуляцию в зонах T11-T12 в фазу переноса и L1-L2 позвонков в фазу опоры совместно с ритмической стимуляцией копчикового сплетения даёт наибольший эффект: повышает амплитуду ЭМГ мышц, улучшает внутри- и межмышечную координацию, увеличивает темп и скорость бега легкоатлетов.

Наконец, новые данные получены в отношении паттернов активности различных мышц нижних конечностей во время скоростного бега. Автор выявил фазозависимые паттерны активности мышц, реципрокные и синергетические взаимодействия, что предполагает наличие синергизмов в активности нейронных сетей спинномозговых генераторов локомоторных паттернов.

Можно утверждать, что полученные результаты, выводы и защищаемые положения, отличаются существенной научной новизной.

Значения выводов и рекомендаций, полученных в диссертации для науки и практики

Результаты, представленные в диссертации, обладают существенной теоретической ценностью для физиологии управления движениями и спортивной физиологии. В частности, данные о взаимоотношениях в функциональной активности мышц нижних конечностей в разные фазы бегового шага вносят существенный вклад в развитие теории «синергий» в системе управления движениями, в частности локомоций. Результаты и выводы о изменении активности мышц в процессе чрескожной электрической стимуляции разных зон спинного мозга обогащают арсенал

технологий спортивной подготовки особенно в легкой атлетике. Разработанные методы оценки функционального состояния нервно-мышечного аппарата расширяют методологическую базу диагностики нервно-мышечной системы. Результаты об эффективности электростимуляционных воздействий на нервно-мышечную активность имеет большое значение для теорий реабилитации двигательных нарушений, связанных с нервными патологиями.

Практическая значимость работы состоит в том, что разработанная и апробированная методика мультисегментарной электрической стимуляции спинного мозга в различные фазы движения совместно с ритмической электрической стимуляцией копчикового сплетения может использоваться в качестве дополнительного эффективного средства восстановления локомоторных движений в медицинской неврологии, а в спорте - для повышения скорости бега и спортивных результатов.

Апробированные методики регистрации вызванных моторных ответов мышц нижних конечностей при электрической стимуляции различных отделов спинного мозга и копчикового сплетения могут быть полезны для изучения рефлекторных двигательных механизмов, развивая двигательную нейрологию.

Полученные результаты и выводы диссертации могут использоваться в образовательном процессе по дисциплинам «физиология нервной системы» и «спортивная физиология» в высших учебных заведениях и системе повышения квалификации. В частности, результаты работы уже используются в лекционных курсах при преподавании ряда дисциплин по направлениям подготовки 49.04.01 «Физическая культура»; 49.04.03 «Спорт», а также в аспирантуре по специальности 1.5.5 Физиология человека и животных в ФГБОУ ВО «ВЛГАФК».

Обоснованность и достоверность научных положений выводов и рекомендаций

Достоверность научных положений и выводов обосновывается следующими методическими особенностями, статистической значимостью результатов и их апробацией.

Поскольку для оценки изменений использовались парные критерии, то выборка в 9 человек по всем задачам исследования является минимально достаточной. Кроме того, все измерения были выполнены не менее 3 раз и затем усреднялись, что также указывает на достаточную точность полученных данных.

В работе использовано современное автоматизированное оборудование и принятые в мировой нейрофизиологии методы исследования, позволяющие объективно оценить реакцию вызванных моторных ответов и активность мышц на различные виды стимуляций спинного мозга:

- регистрация ВМО мышц осуществлялась с помощью 8-канального электронейромиографа «Нейро-МВП-8» («Нейрософт», Россия);
- чрескожная электрическая стимуляция спинного мозга проводилась с помощью 5-канального стимулятора «БиоСтим-5» («Косима», Россия);
- регистрация электромиографической активности мышц нижних конечностей выполнялась с помощью телеметрического 16-канального электроромеографа ME-6000 и ПО «MegaWin» (Mega Electronics Ltd, Kuopio, Финляндия);
- биомеханика бега фиксировалась при помощи системы 3D-видеозахвата движений «Qualisys» и ПО «Qualisys Track Manager» (Швеция) на беговой дорожке «Venus Saturn» (HP Cosmos, Германия);
- детектирование периодов бегового цикла для запуска электростимуляции спинного мозга в соответствии с фазами бегового шага выполнено цифровым акселерометром и гироскопом LSM6DSL (STMicroelectronics, Швейцария).

Автор адекватно использовал статистические методы для обработки

первичных данных в программе Statistica 10 (StatSoft, США).

Все положения, выносимые на защиту, и выводы согласованы с задачами, подкреплены собственными результатами и достаточно аргументированы.

Таким образом, полученные результаты, сделанные на их основе выводы, и научные положения обоснованы и достоверны.

Полнота опубликования основных результатов исследования

Результаты, защищаемые положения и выводы хорошо апробированы в научном сообществе. По материалам диссертации опубликовано 28 печатных работы, 7 из них входящие в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, 3 статьи в журналах базы Scopus и 1 статья в базе Web of Science.

Оценка содержания и качества оформления диссертации, степени завершенности исследования

Работа, представленная к оппонированию, имеет классическую структуру и включает: список сокращений, введение, главу с обзором литературы, главу «Материалы и методы исследования», две главы собственных результатов, главу обсуждение, выводы, практические рекомендации, список литературы, 4 приложения. Работа, объемом 230 страниц, содержит 42 рисунка и 11 таблиц (с приложениями). Библиография включает 272 источника (81 – отечественные и 191 – зарубежные).

Во *введении* диссертант достаточно подробно обосновывает актуальность темы исследования, раскрывает ее разработанность, формулирует цель и задачи исследования, личный вклад автора, методологическую основу исследования, определяет научную новизну и теоретико-практическую значимость работы.

В *первой главе* представлен аналитический обзор литературы в 5 подглавах по функциональному состоянию нервно-мышечного аппарата спортсменов и нейрофизиологическим механизмам регуляции локомоторных движений. Анализ значительного количества отечественных и зарубежных источников, позволило соискателю создать современное представление по изучаемым проблемам, которое характеризуется высокой научной глубиной и логикой повествования.

Во *второй главе* описаны организация и методы исследования. Подробно и логично представлены: 1) Организация исследования и характеристика испытуемых, 2) Общее построение экспериментов, 3) Методы исследования, включающие: методы чрескожной стимуляции спинного мозга, метод поверхностной интерференционной электромиографии, методы математического моделирования импульсной активности первичных и вторичных афферентов скелетных мышц, методы кинематики беговых шагов и методы статистической обработки данных. Необходимо заключить, что методическая база исследования соответствует современным стандартам и требованиям исследований в области стимуляционной нейрологии и биомеханики локомоций.

Третья глава посвящена собственным результатам, в ней дано описание и интерпретация вызванных моторных ответов нижних конечностей у легкоатлетов в зависимости от зоны воздействия электрической стимуляции на спинной мозг. В первой подглаве подтверждено, что стимуляция разных сегментов спинного мозга вызывает выраженные рефлекторные ответы в разных группах мышц, что связано с анатомическим расположением их мотонейронов. Во второй подглаве доказано, что кратковременная ритмическая стимуляция копчикового сплетения вызывает, хотя и разнонаправленные изменения возбудимости спинальных центров, но, в среднем по группе, преобладает облегчающий эффект.

Четвертая глава посвящена собственным данным о

электромиографических характеристиках и афферентной активности при скоростном беге со стимуляцией спинного мозга, результаты оформлены в 5 подглавах. В первой подглаве анализировалась естественная активность мышц без стимуляции во время бега и была подтверждена сложная перекрёстно-фазная организация активности мышц: в фазе опоры доминировала активность экстензоров (разгибателей) левой (толчковой) ноги и связанная с ними активность флексоров (сгибателей) правой (маховой) ноги. В фазе переноса левой ноги, наоборот, активировались экстензоры правой ноги и флексоры левой ноги. Наиболее активны были афференты Ib (сигнализирующие о силе мышечного напряжения), менее - афференты II группы (датчики длины/тактильных сигналов), и самыми слабыми - афференты Ia (чувствительные к скорости растяжения).

Во второй подглаве описана активность мышц ног и афферентной активность проприоцепторов при мультисегментарной стимуляции грудных позвонков во время переноса и поясничных – во время фазы опоры. Установлено, что электрическая стимуляция, синхронизированная с фазами, усиливала естественные паттерны: стимуляция L1-L2 в фазу опоры усиливала активность флексоров голени правой ноги, а стимуляция T11-T12 в фазу переноса повышала активность экстензоров бедра и голени правой конечности. Межмышечная координация особенно в правой (маховой) конечности улучшалась, и реципрокные отношения в бедре усиливались.

В третьей подглаве представлены результаты о мышечной активности во время бега при селективной ритмической стимуляции копчикового сплетения (СКС). Автор обнаружил усиление электромиографической активности икроножной и передней большеберцовой мышц опорной конечности. Кроме того, повышалась активность афферентов Ia и II типов от опорной конечности, при одновременном перераспределении активности афферентов в переносной конечности, что было интерпретировано, как избирательная модуляция афферентных потоков в опорной конечности. В целом, СКС умеренно увеличивала эффективность нейро-моторной

организации бега, делая взаимодействие мышц более скоординированным. В частности, СКС усиливала внутримышечную координацию проксимальных и дистальных мышц разных конечностей, межмышечную координацию экстензоров и флексоров одной конечности, повышала реципрокность гомонимных мышц-антагонистов бедра (VL×BF) обеих конечностей, а также синергию гетеронимных мышц-экстензоров (VL×GM) обеих конечностей и мышц-флексоров (BF×TA) только правой конечности.

Четвертая подглава была посвящена мышечной и афферентной активности во время бега при сочетанной мультисегментарной (T11-T12(перенос)+L1-L2(опора)) стимуляции спинного мозга совместно с ритмической стимуляцией копчикового сплетения (СКС: Co1-Co2). В результате этих экспериментов было установлено, что комбинированная стимуляция (МССМ+СКС) даёт наибольшую эффективность, проявляющуюся: в повышении амплитуды ЭМГ ведущих мышц (то есть естественных паттернов мышечных активаций, причем эффект сильнее, чем при любом изолированном виде стимуляций), в усилении внутримышечной (более выраженный перекрестный паттерн: синхронное усиление экстензоров одной конечности и флексоров другой) и межмышечной координации (усиление реципрокных отношений между антагонистами одной конечности), а также в росте темпа, скорости и ускорения бега.

В пятой подглаве представлены интегральная оценка и ранжирование всех исследованных методов чрескожной электростимуляции спинного мозга по их влиянию на нейрофизиологические и двигательные показатели скоростного бега. Наибольшая эффективность в приросте скорости и темпа бега была получена при комбинированной трёхуровневой стимуляции (T11-T12 (перенос) + L1-L2 (опора) + Co1-Co2 (ритмическая)), несколько меньший прирост был после мультисегментарной стимуляции грудных позвонков (МССМ: T11-T12(перенос)+L1-L2(опора)), затем шла ритмическая стимуляция копчикового сплетения. Наименьшая скорость бега была при отсутствии стимуляции. Кроме того, в подглаве представлены результаты по

приросту многих показателей, отражающих активность и афферентацию мышц нижних конечностей и показатели координационных взаимоотношений между мышцами. Логика рассуждений авторы базировалась на следующей гипотезе. Поскольку между скоростью бега и многими этими показателями отмечался параллелизм, то чем больше был прирост показателей, тем более эффективна была стимуляция. Резюмируя совокупность сравнений, автор заключает, что СКС показала умеренное, но достоверное облегчающее влияние, преимущественно за счет модуляции афферентных потоков и улучшения межсегментарных взаимодействий. Стимуляция МССМ вызывала значительное адресное усиление моторной активности в нужные фазы движения благодаря фазозависимой синхронизации. Её эффект был существенным и избирательным. Наконец, комбинированный протокол МССМ + СКС продемонстрировал наибольшую эффективность. Ритмическая СКС, по-видимому, создавала оптимальный уровень общей возбудимости спинальных сетей и афферентного фона, на котором фазовая МССМ действовала с максимальной эффективностью. Это привело не к простому сложению, а к мультипликации положительных эффектов.

В главе 5 «Обсуждение результатов исследования» автор объясняет механизмы действия разных протоколов чрескожной стимуляции спинного мозга. Результаты соотносятся с классическими и современными работами по физиологии движений, афферентному контролю движений и известными механизмами нейромодуляции с помощью чрескожных электрических стимуляций. В конце главы автор обосновывает практическую значимость полученных данных и обсуждает ограничения исследования и дальнейшие перспективы исследований. Рассматривая данную главу диссертации можно отметить, что обсуждение написано логично, аргументировано с критическим анализом полученных данных, и отражает глубокое понимание сложных и малоизученных вопросов нейрональной (спинномозговой) организации управления движениями и особенно локомоций.

Автореферат диссертации написан с соблюдением всех основных требований ВАК и полностью отражает содержание диссертации. В целом, диссертация и автореферат написаны на высоком научном уровне, не содержат критических недостатков и соответствуют всем основным требованиям, предъявляемым к диссертациям и авторефератам.

Подводя итог анализу необходимо еще раз отметить выделить ценную особенность диссертационного исследования Барканова М.Г., заключающееся в высокой актуальности и глубоком уровне поставленных научных задач и методологической аккуратности проведения нейрофизиологических исследований, что отражает высокий уровень исследовательской базы и руководителя диссертации.

Замечания к научной работе.

Делая, в целом, положительное заключение о диссертационной работе Барканова М.Г., в процессе рецензирования возникли следующие замечания.

1. Замечание по представлению табличных и рисуночных данных. Современный научный стиль по представлению результатов: параметрические данные представляются как средняя арифметическая \pm стандартное отклонение, а непараметрические: как медиана \pm межквартильный размах. При небольшом n , целесообразны и \max/\min . В диссертации указываются средняя \pm стандартная ошибка средней.

2. Не указана сила стимула ритмической электрической стимуляции в области копчикового сплетения Co1-Co2 стимулятором БиоСтим-5 во 2 серии эксперимента.

3. Замечание по определению «облегчения и торможения амплитуд ВМО после 60-секундной (10-сек) ритмической стимуляции в области копчикового сплетения» на рисунке 14. Не указаны критерии «облегчения» и «торможения». Или на сколько должна увеличиться или снизиться амплитуда ВМО, чтобы отнести изменение к «облегчению или торможению».

4. Замечание по методике математического моделирования импульсной активности первичных и вторичных афферентов скелетных

мышц. Так, в приведенной формуле расчета активности Ia афферентов и II афферентов используются показатели v – скорость изменения длины мышечных пучков и l – изменение длины мышечных пучков. Однако не указывается, как они измерялись у спортсменов. Также в формуле расчета Ib, вероятно, допущена неточность, поскольку не указана нормированная ЭМГ к ЭМГmax, при этом не описано, как определялась ЭМГmax. Таким образом, этот подраздел необходимо было дополнить более детальным описанием методик определения промежуточных переменных, входящих в расчет.

Принципиальных вопросов к автору по диссертации нет.

Указанные замечания являются дискуссионными и не снижают общей положительной оценки диссертационного исследования.

Заключение

Таким образом, диссертационная работа Барканова Максима Геннадьевича на тему «Закономерности изменения функционального состояния нервно-мышечного аппарата спортсменов-легкоатлетов в процессе чрескожной электрической стимуляции разных зон спинного мозга», представленная на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.5 Физиология человека и животных, является законченной научно-квалификационной работой, которая по актуальности темы, адекватности использованных методов, новизне, теоретической и практической значимости полученных результатов полностью соответствует требованиям пп. 9-11, 13, 14 Положения о присуждении учёных степеней, утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (с изменениями в редакции Постановлений Правительства Российской Федерации от 21.04.2016 г. №335, от 02.08.2016 г. №748, от 29.05.2017 г. № 650, от 28.08.2017 г. №1024, от 01.10.2018 г. № 1168, от 20.03.2021 г. №426, от 11.09.2021 г. №1539, от 26.09.2022 г. №1690, от 26.01.2023 г. №101, от 18.03.2023 г. №415, от 26.10.2023 г. № 1786, от 25.01.2024 г. №62) и не

содержит недостоверных сведений об опубликованных соискателем учёной степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации, а её автор, Барканов Максим Геннадьевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.5 Физиология человека и животных (биологические науки).

Официальный оппонент
доктор биологических наук, профессор,
заведующий кафедрой физиологии
ФГБОУ ВО «Российский университет спорта
«ГЦОЛИФК»»,
специальность 03.00.13 – физиология



Мельников Андрей Александрович

« 15 » __ января __ 2026 г.

Место работы, адрес и контакты оппонента:
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет спорта «ГЦОЛИФК»»
105122, г. Москва, Сиреневый бульвар, д. 4
Телефон рабочий: +7 (495) 961 31 11, добавочный 51-85;
Мобильный: +7 961 025 4836
E-mail: melnikov.aa@gtsolifk.ru

*Подпись заведующего кафедрой физиологии Мельникова Андрея Александровича
заверяю:*

