На правах рукописи

Пискунов Иван Васильевич

Регуляция активности мышц у спринтеров различной спортивной квалификации при скоростном беге по прямой и виражу

03.03.01 – Физиология

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Москва – 2021

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Великолукская государственная академия физической культуры и спорта» (ФГБОУ ВО «ВЛГАФК»)

Научный руководитель: доктор биологических наук, профессор
Городничев Руслан Михайлович

Официальные оппоненты: **Брук Татьяна Михайловна**
доктор биологических наук, профессор
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Смоленский государственный университет спорта», кафедра биологических дисциплин, заведующий кафедрой

Шевцов Анатолий Владимирович
доктор биологических наук, профессор
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный государственный университет физической культуры, спорта и здоровья имени П.Ф. Лесгафта, кафедра физической реабилитации, заведующий кафедрой

Ведущая организация: **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный университет физической культуры, спорта и туризма»**

Защита состоится «19» января 2022 года в 14.00 часов на заседании диссертационного совета Д 311.003.03 при РГУФКСМиТ по адресу: 105122. г. Москва, Сиреневый бульвар. д. 4. ауд. 603.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке РГУФКСМиТ и на сайте http://theses.sportedu.ru/

Автореферат разослан «____» _____ 20 ___ года

Ученый секретарь
Диссертационного совета Жийяр М.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Формирование и реализация целенаправленных двигательных действий представляет собой важнейший аспект управляющей деятельности мозга. В связи с этими обстоятельствами исследование регуляции активности мышц при выполнении движений, обеспечивающих достижение успешного результата, является одной из центральных проблем физиологии (Ю.П. Герасименко, 2000; H. Sozen, 2010; В.С. Фарфель, 2011; E. Pierrot-Dessilligny, 2012). За счет регуляции активности мышц решается основная задача управления движениями человека – преодоление механической избыточности двигательного аппарата посредством связывания степеней свободы – их координацией (Н.А. Бернштейн, 1947; 1966). Ограничение избыточных степеней свободы осуществляется неслучайным образом, поскольку координациям присуща определенная структура – координационная структура, которая характеризуется определенными силовыми и пространственно-временными параметрами, а также порядком выполнения движений, организованных в серию (А.В. Курганский, 2014).

Степень разработанности темы исследования. В большинстве научных исследований, проведенных на здоровых испытуемых, в качестве модели произвольного движения изучались локомоции (ходьба, бег). В этих работах получены данные о характеристиках электрической активности мышц, обеспечивающих выполнение ходьбы и бега с умеренной и средней скоростью по прямой (В.К. Бальсевич, 2000; M.K. Poulsen et al., 2013; M. Ishikawa et al., 2013), приводятся сведения о порядке активации рабочих мышц (Р.С. Персон, 1985; C.J. De Luca, 1997). На несложных по координации движениях изучено проявление устойчивого взаимодействия мышц, обслуживающих группы функционально связанных суставов (Н.А. Бернштейн, 1961; 1990; Е.А. Михайлова и др., 2015), а также взаимодействие мышц-антагонистов верхних и нижних конечностей (Я.М. Коц, 1975; Д. Козаров, 1983). Показано значение пресинаптического и аутогенного видов торможения в реализации статических усилий (E. Pierrot-Deseilligny, 2012; А.А. Челноков, 2014).

В имеющейся литературе приводятся данные о координационной структуре бегового шага – рациональных пространственно-временных и силовых параметрах, необходимых для обеспечения бега с различной скоростью (И.М. Козлов, 1992; Э.С. Озолин, 2010), описаны сведения о некоторых характеристиках электрической активности мышц в быстром беге по прямой у спринтеров высокой квалификации (И.М. Козлов, 1966; P. Komi, 1982; A Cerrah, 2010; A. Smirniotou et al., 2013; О.В. Ланская, 2016; М.Н. Поповская, 2019). Однако к настоящему времени отсутствуют данные о кинематических и электромиографических параметрах, отражающих регуляцию активности мышц у спринтеров низкой и высокой квалификации при беге с максимальной скоростью по прямой и виражу, а также не выявлено значение тормозных процессов в ЦНС для формирования рациональной координационной структуры бегового шага у спринтеров различного уровня спортивного мастерства. Получение таких сведений весьма актуально с теоретических и практических позиций и может быть использовано для разработки более обоснованных подходов к повышению эффективности процесса технической подготовки спринтеров на разных этапах многолетней подготовки.

Гипотеза: предполагалось, что регуляция активности мышц, проявляющаяся в особенностях координационной структуры бегового шага и параметрах электрической активности рабочих мышц, будет существенно отличаться у спринтеров различной спортивной квалификации при скоростном беге по прямой и виражу.

Цель исследования - определение особенностей координационной структуры быстрых произвольных циклических движений при изменении их направления по данным кинематики и электромиографической активности скелетных мышц у спринтеров разной спортивной квалификации.

Применительно к этой цели были поставлены следующие **задачи:**

1. Выявить особенности координационной структуры бегового шага у спринтеров при беге по виражу в сравнении с бегом по прямой.

2. Установить характерные особенности регуляции активности мышц у спринтеров различной спортивной квалификации при быстром беге по прямой и виражу.

3. Определить изменения координационной структуры бегового шага у спринтеров при развитии утомления.

4. Изучить роль и выраженность тормозных процессов в ЦНС в формировании особенностей функционального состояния двигательной (моторной) системы у бегунов на короткие дистанции разного уровня спортивного мастерства.

Научная новизна. Настоящая диссертационная работа является исследованием, впервые раскрывающим особенности мышечной активности при беге с изменением направления (бег по виражу) у спортсменов разной спортивной квалификации. Выявлено, что при смене направления бега происходит значительное увеличение амплитуды движения в коленном суставе в фазе отталкивания у спринтеров низкой и высокой квалификации. Обнаружена зависимость регуляции активности мышц, обеспечивающей реализацию бегового шага, от уровня спортивного мастерства. Показано, что пресинаптическое и аутогенное торможение в центральной нервной системе в большей мере выражено у спортсменов высокой квалификации и обеспечивает более рациональную реализацию бегового шага.

Теоретическая значимость исследования. Полученные в работе данные расширяют современные представления о физиологических механизмах циклической мышечной работы с максимальной скоростью и развитии состояния утомления. Сведения о параметрах электроактивности ведущих скелетных мышц в каждой фазе бегового шага, выполняемого с максимальной скоростью, уточняют имеющиеся в настоящее время знания о физиологических резервах организма человека.

Практическая значимость исследования. Полученная информация об электрической активности мышц может быть использована для формирования и совершенствования техники бега с максимальной скоростью и дает обоснованные данные для подбора специально-подготовительных упражнений, применяемых при технической подготовке бегунов на короткие дистанции.

Методология и методы исследования. Методологическую основу диссертационного исследования составили теория управления движениями (Н.А. Бернштейн), теория функциональных систем (П.К. Анохин), работы отечественных и зарубежных авторов по спортивной биомеханике (В.М. Зациорский, Д.Д. Донской, И.П. Ратов, G.L. Soderberg, F. Saibene, M. Ishikawa) и физиологии (Я.М. Коц, В.С. Гурфинкель, P. Komi, A. Cerrah), работы по изучению координационной структуры бегового шага у спринтеров (И.М. Козлов, В.В. Тюпа, Э.С. Озолин, О.Б. Немцев, C. Frye, M. Coh).

Для исследования регуляции мышечной деятельности при скоростном беге использовали методы поверхностной электромиографии и систему 3D-видеозахвата, позволяющие регистрировать электромиографические и кинематические параметры двойного бегового шага при беге по прямой и виражу. Результаты собственных исследований проанализированы с применением статистических методов обработки информации и изложены в соответствующих главах диссертационной работы.

Положения, выносимые на защиту.

1. Циклические движения при скоростном беге по прямой и виражу характеризуются активностью большинства мышечных групп в различные фазы бегового шага, многообразием форм взаимодействия мышц-антагонистов, вариативными сокращениями одних и тех же мышц в разные периоды двигательного цикла.

2. Продолжительность отдельных фаз бегового шага у спринтеров низкой и высокой квалификации в значительной степени обусловливалась длительностью электрической активности определенных мышц, обеспечивающих реализацию движения.

3. Снижение физической работоспособности спринтеров при повторном скоростном беге по виражу определялось уменьшением амплитуды ЭМГ-активности рабочих мышц и нерациональными изменениями реципрокных отношений мышц-антагонистов нижних конечностей.

Внедрение результатов исследования. Результаты исследований и методика оценки технической подготовленности с помощью метода электромиографии

внедрены в практику работы муниципального бюджетного учреждения дополнительного образования «Детско-юношеская спортивная школа №1 «Атлетика» (Акт внедрения 27.11.2019г.), муниципального автономного учреждения «Спортивная школа олимпийского резерва «Экспресс» (Акт внедрения 18.02.2019г.), муниципального бюджетного учреждения дополнительного образования «Детско-юношеская спортивная школа №3 «Олимпия» (Акт внедрения 15.01.2020г.).

Степень достоверности и апробация результатов работы. Достоверность и обоснованность положений, выводов и результатов диссертации обусловлена использованием комплексной системы информативных и общепринятых методов исследования, адекватной целью и задачами исследования, достаточным объемом фактического материала, конкретной обработкой и анализом полученных материалов с применением современного сертифицированного оборудования.

Результаты исследований доложены и обсуждены на: конференции сотрудников научно-исследовательского института проблем спорта и физической культуры ВЛГАФК (Великие Луки, 2015, 2016); общевузовской конференции преподавателей ВЛГАФК (Великие Луки, 2017); IX Всероссийской с международным участием конференции с элементами научной школы по физиологии мышц и мышечной деятельности, посвященной памяти Е.Е. Никольского «Новые подходы к изучению классических проблем» (Москва, 2019); VII и VIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Биомеханика двигательных действий и биомеханический контроль в спорте» (Москва, 2019; 2020); VIII Российской с международным участием конференции по управлению движением «Motor Control 2020» (Петрозаводск, 2020).

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Научные положения диссертации соответствуют специальности 03.03.01 – физиология. Результаты проведённого исследования соответствуют области исследования специальности, конкретно пунктам 2, 3, 8 паспорта специальности: 2) Анализ механизмов нервной и гуморальной регуляции, генетических, молекулярных, биохимических процессов, определяющих динамику и взаимодействие

физиологических функций. 3) Исследование закономерностей функционирования основных систем организма (нервной, иммунной, сенсорной, двигательной, крови, кровообращения, лимфообращения, дыхания, выделения, пищеварения, размножения, внутренней секреции и др.). 8) Изучение физиологических механизмов адаптации человека к различным географическим, экологическим, трудовыми социальным условиям.

Публикации. По материалам диссертации за последние 5 лет опубликовано 14 печатных работ, в том числе, в том числе 2 статьи в журнале Scopus и 2 статьи в журналах, входящих в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 148 страницах печатного текста и состоит из введения, четырех глав, заключения, выводов, практических рекомендаций, списка литературы и приложений. Работа содержит 23 рисунка и 11 таблиц. Библиография включает 269 литературных источников (отечественных – 168, зарубежных – 101).

ОСОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Методы и методика исследования. В экспериментах приняли участие 42 спортсмена (мужского пола) в возрасте от 20 до 25 лет, специализирующиеся в беге на короткие дистанции. В предварительной серии экспериментов у 22 бегунов на короткие дистанции регистрировалась электрическая активность двадцати трех билатеральных скелетных мышц, для выявления ведущих мышц, участвующих при быстром беге. В основной серии экспериментов участвовало 20 спринтеров различной спортивной квалификации. Первую группу составили спринтеры I разряда и КМС (10 человек), вторая группа состояла из спринтеров III разряда (10 человек). Проводились исследования по регистрации электрической активности мышц при быстрых произвольных циклических движениях в четырех экспериментальных условиях: а) при беге с максимальной скоростью по прямой; б) при беге с максимальной скоростью по виражу; в) при повторном беге с

максимальной скоростью по прямой, вызывающим состояние утомления; г) при повторном беге с максимальной скоростью по виражу, вызывающим состояние утомления.

В отдельной серии экспериментов у этих же испытуемых регистрировали: тормозные процессы в ЦНС; моторные ответы мышц, вызываемые стимуляцией головного и спинного мозга; М-ответ и Н-рефлекс мышц левой ноги при стимуляции периферического нерва (n. tibialis).

Для решения поставленных задач, использовались следующие методы исследования:

1. Поверхностная электромиография. Данный метод позволяет оценить активность отдельных мышц и их взаимодействие, как в состоянии покоя, так и при выполнении циклических движений. Для регистрации параметров ЭМГ при выполнении движения использовался 16-канальный биомонитор «ME 6000» (Финляндия, 2008). Биполярные поверхностные отводящие электроды располагались на следующих билатеральных мышцах: m. biceps femoris – BF (двуглавая бедра); m. rectus femoris – RF (прямая бедра); m. vastus medialis – VM (медиальная широкая бедра); m. vastus lateralis – VL (латеральная широкая бедра); m. soleus – Sol (камбаловидная мышца); m. gastrocnemius – GM (икроножная мышца); m. tibialis anterior – TA (передняя большеберцовая мышца). Определялась длительность электроактивности исследуемых мышц, частота следования биопотенциалов, средняя амплитуда и суммарная амплитуда.

2. Вызванная электромиография. М-ответ и Н-рефлекс мышц бедра и голени в состоянии покоя регистрировались по традиционной методике (Л.Р. Зенков, М.А. Ронкин, 2013) с помощью 8-канального электромиографа «Нейро-МВП-8» (Россия, 2006), а обработку полученных данных проводили в специальной программе «Нейрософт». Определяли следующие параметры: порог, длительность электроактивности и максимальная амплитуда.

3. 3D-видеоанализ. Кинематические параметры бегового шага регистрировали с помощью системы 3D-анализа «Qualisys Track Motion Capture System» (Швеция, 2010). Светоотражающие маркеры размещались на антропометрических точках

сегментов тела, а именно на тазобедренном, коленном и голеностопном суставах. Камеры располагались по кругу на расстоянии, оптимальном для регистрации кинематических параметров. Таким образом создавалась 3D-модель спортсмена, на основании которой беговой шаг был разделен на 4 фазы: вынос ноги в полете, опускание ноги к опоре, подседание, отталкивание.

4. Магнитная стимуляция. При исследовании вызванных моторных ответов (ВМО) мышц бедра и голени вызываемых транскраниальной магнитной стимуляцией (ТМС) использовали магнитный стимулятор «Magstim Rapid» (Magstim Company Ltd, Великобритания, 2007), позволяющей индуцировать импульсное магнитное поле. Для ТМС использовался сдвоенный угловой койл (Double Cone Coil) с мощностью магнитного поля 1,4 Т. При ТМС моторной коры мышц левой ноги центр сдвоенного койла располагали над теменными долями головного мозга.

5. Метод регистрации силовых способностей. Регистрацию динамограммы сокращений мышц голени осуществляли на мультисуставном лечебно-диагностическом комплексе «Biodex Multi-Joint System Pro-3» (Biodex Medical System, USA, 2006).

Результаты исследования. При смене направления бега (бег по виражу) наблюдалось уменьшение длительности двойного бегового шага. У спортсменов низкой квалификации продолжительность бегового цикла при беге по виражу в сравнении с бегом по прямой уменьшилась на 0,04с, а у спортсменов высокой квалификации на 0,01с

Длина двойного бегового шага при беге по виражу у спринтеров низкой и высокой квалификации была меньше, чем при беге по прямой на 3,5% и 2,7% соответственно.

При сравнении периодов полета и периодов опоры во всем беговом цикле при беге по прямой установлено, что длительность опорного периода у спринтеров высокой квалификации меньше, чем у низкоквалифицированных спортсменов, а период полета наоборот, больше.

Более значительное перемещение в тазобедренном суставе при беге по прямой у квалифицированных бегунов в сравнении с низкоквалифицированными было определено соответствующей ЭМГ-активностью мышц передней поверхности бедра (Рисунок 1).

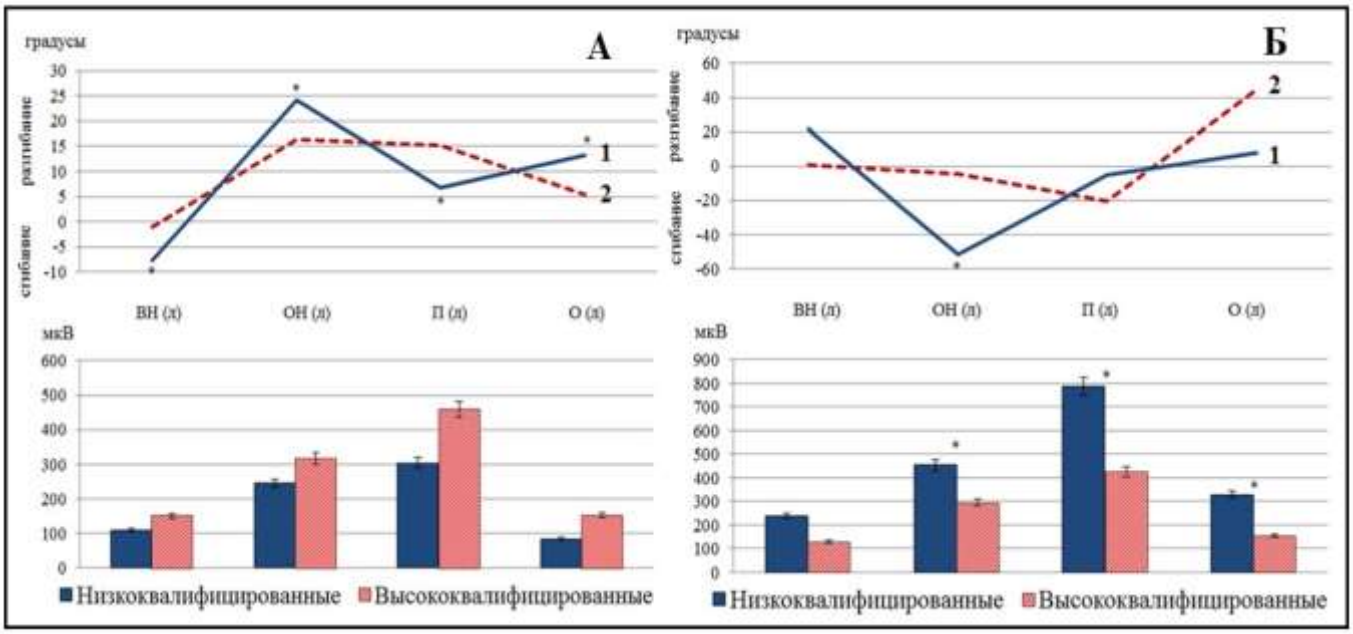


Рисунок 1 – Средняя амплитуда ЭМГ и амплитуда движений при беге по прямой у спринтеров разной квалификации (А – тазобедренный сустав, мышцы передней поверхности бедра; Б – голеностопный сустав, мышцы задней поверхности голени)

Примечания: Фазы: ВН (л) – вынос левой ноги в полете; ОН (л) – опускание левой ноги к опоре; П (л) – подседание на левой ноге; О (л) – отталкивание левой ноги. 1 – низкоквалифицированные; 2 – высококвалифицированные * $p<0,05$- достоверность различий амплитуды движения в суставе и средней амплитуды ЭМГ между высококвалифицированными и низкоквалифицированными спринтерами

Усреднённая амплитуда электрической активности (сумма средних амплитуд всех мышц, деленная на их количество) m. rectus femoris, m. vastus lateralis, и vastus medialis у бегунов высокой квалификации была выше значений испытуемых другой группы в диапазоне на 13,7% - 119,1%. В фазе опускания левой ноги для низкоквалифицированных спринтеров характерно чрезмерное подошвенное сгибание стопы за счет избыточной электроактивности задней группы мышц голени: m. soleus – 521,7мкВ, m. gastrocnemius – 385,7мкВ. ЭМГ-активность этих мышц у бегунов высокой квалификации достоверно меньше, в то время как активность

передней большеберцовой, наоборот, больше на 12,7%, где носок голеностопного сустава берется на себя.

Аналогичные различия в кинематических и электромиографических параметрах между группами спринтеров отмечаются и при беге по виражу (Таблица 1). Средняя амплитуда m. tibialis anterior, m. biceps femoris, m. rectus femoris, и m. vastus medialis во всех фазах двойного бегового шага была выше у спринтеров высокой квалификации по сравнению с низкоквалифицированными бегунами.

Таблица 1 – Отличие средней амплитуды ЭМГ у высококвалифицированных спринтеров относительно бегунов низкой квалификации при беге по виражу, %

Мышцы	Фазы двойного бегового шага							
	ВН (л)	ОН (л)	П (л)	О (л)	ВН (п)	ОН (п)	П (п)	О (п)
Soleus	-0,3	-51,7*	-49,7*	-68,0*	-16,5	102,0	727,5	102,4
Gastrocnemius	282,7	16,0	-28,1*	-11,0	333,8	456,9	583,2	495,4
Tibialis anterior	217,8	239,7	279,2*	515,9	208,1	30,9	123,7	522,4*
Biceps femoris	27,3	64,2	100,4*	60,0	130,4*	262,3*	1338,9*	146,3*
Rectus femoris	87,8	16,7	91,7	266,8	31,5	57,9	161,2*	298,6
Vastus lateralis	30,5	123,3*	70,6	-3,2	-45,7	-50,5	-11,8	27,8
Vastus medialis	63,9	38,4	95,2*	110,9	95,9	94,7	345,7	209,2

Примечания: Фазы: ВН(л) – вынос левой ноги в полете; ОН(л) – опускание левой ноги к опоре; П(л) – подседание на левой ноге; О(л) – отталкивание левой ноги; ВН(п) – вынос правой ноги в полете; ОН(п) – опускание правой ноги к опоре; П(п) – подседание на правой ноге; О(п) – отталкивание правой ноги. Знак «-» обозначает большую величину в % у низкоквалифицированных, отсутствие знака - более высокая амплитуда ЭМГ у высококвалифицированных. * $p<0,05$- достоверность различий между высококвалифицированными и низкоквалифицированными спринтерами

Продолжительность электроактивности основных рабочих мышц при беге по прямой и виражу определяла временные параметры бегового шага – длительность периода полета и опоры, длительность четырех фаз. Величины перемещений в тазобедренном, коленном и голеностопном суставах зависели от амплитуды ЭМГ-активности мышц, обеспечивающих сгибание и разгибание в данных суставах.

При выполнении повторного бега до утомления испытуемые выполняли от 5 до 7 повторений с 20-30 секундным отдыхом между ними. Наступление состояния утомления определялась по снижению скорости бега на 10% и внешним признакам.

В группе низкоквалифицированных спринтеров длительность двойного бегового шага при беге по прямой в состоянии утомления не изменялась, но

возрастала на 14,3% при беге по виражу. У низкоквалифицированных спринтеров под влиянием утомления продолжительность фазы отталкивания снижалась на 16,7% в беге по прямой, но не изменялась в условиях бега по виражу. В группе спринтеров высокой квалификации длительность фазы отталкивания достоверно возрастала в состоянии утомления при беге как по прямой, так и виражу – на 16,8% и 60,2% соответственно ($p<0,05$) (Рисунок 2).

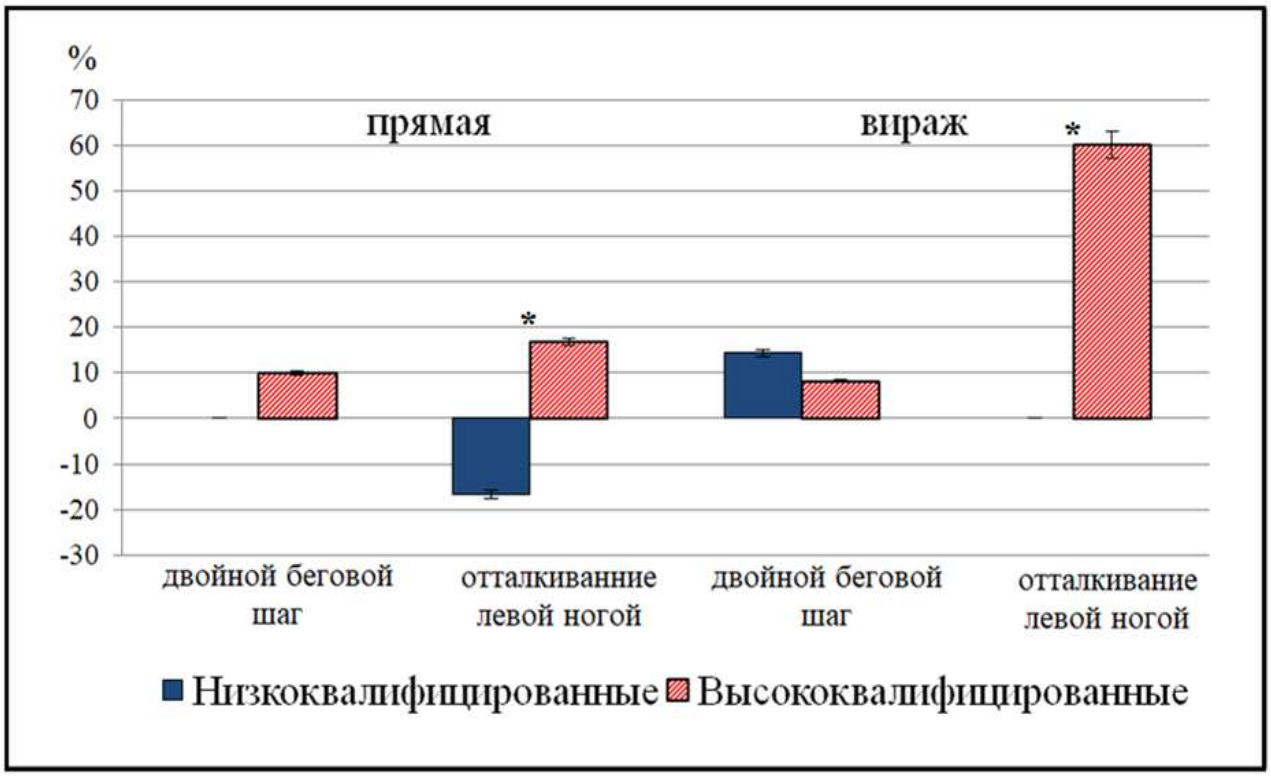


Рисунок 2 – Изменение временных параметров бегового шага в состоянии утомления при беге по прямой и виражу у спринтеров различной квалификации, (%)

Примечание: * $p<0,05$- достоверность различий временных параметров между высококвалифицированными и низкоквалифицированными спринтерами

Увеличение длительности бегового шага и фазы отталкивания у высококвалифицированных бегунов обусловливалось более продолжительной ЭМГ-активностью рабочих мышц при развитии утомления. При беге по прямой в обычном состоянии время активности рабочих мышц в фазе отталкивания в среднем по группе составляло 31,1мс, при утомлении – 37,9мс, при беге по виражу – 22,4мс и 31,7мс соответственно.

В процессе утомления при скоростном беге по прямой и виражу изменялись угловые перемещения в суставах, снижалась амплитуда электроактивности мышц в

опорном периоде как у низкоквалифицированных, так и у высококвалифицированных спринтеров.

У низкоквалифицированных бегунов в состоянии утомления наблюдалось увеличение коэффициента реципрокности исследуемых мышц-антагонистов голени (GM/TA; Sol/TA) и, напротив, уменьшение этого показателя в мышцах-антагонистах бедра (RF/BF). Коэффициент реципрокности мышц-антагонистов голени высококвалифицированных спринтеров возрастал при наступлении утомления только при беге по прямой, но снижался в беге по виражу, что проявлялось в изменениях амплитуды электрической активности исследуемых мышц.

На втором этапе экспериментов у этих же испытуемых регистрировали: тормозные процессы в ЦНС; моторные ответы мышц, вызываемые стимуляцией головного и спинного мозга; М-ответ и Н-рефлекс мышц левой ноги при стимуляции переднебольшеберцового нерва.

При анализе пресинаптического торможения мотонейронов спинного мозга, выявлено, что данный тип торможения более выражен у спринтеров высокой квалификации по сравнению с низкоквалифицированными бегунами (Рисунок 3).

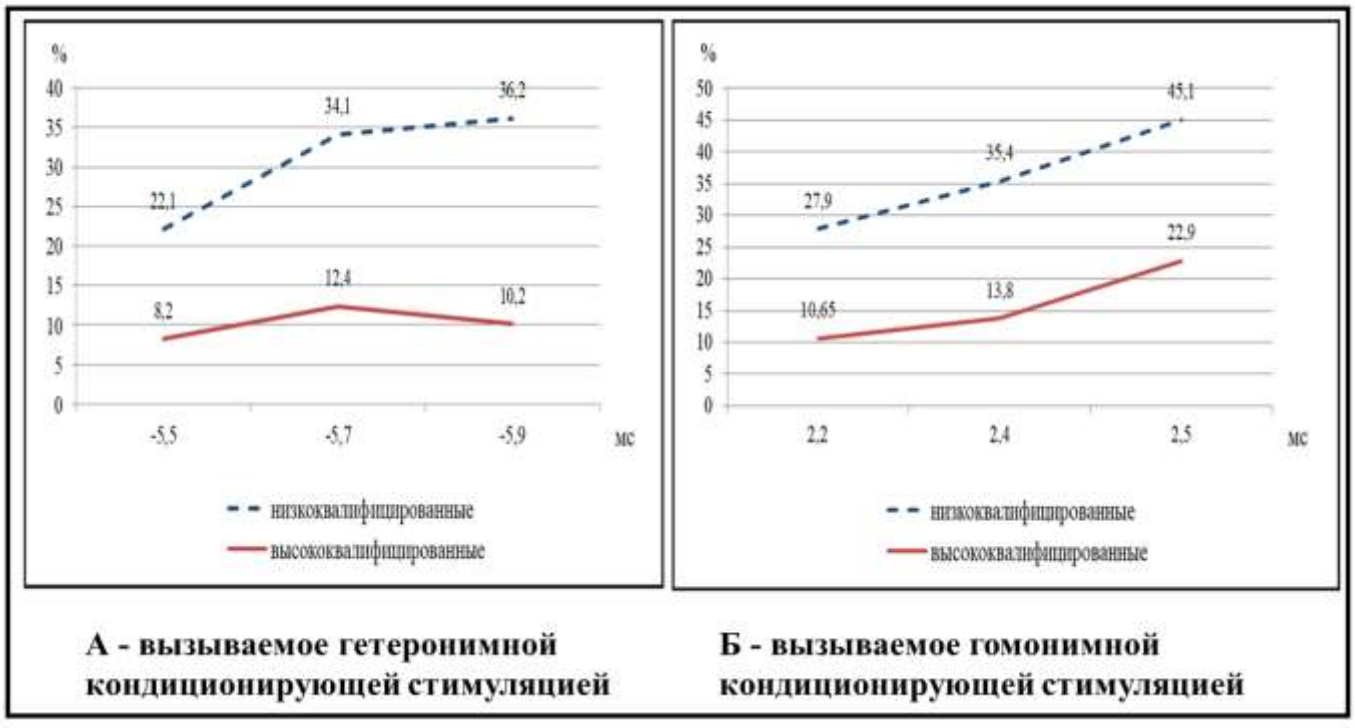


Рисунок 3 – Облегчение Н-рефлекса m. soleus у спринтеров низкой и высокой квалификации, при разных интервалах между стимулами, %

Среднегрупповые величины периода молчания были выше у спринтеров высокой квалификации при статических усилиях, составляющих 75% и 100% от МПС, но варьировали практически в одинаковом диапазоне со значениями испытуемых другой группы в процессе развития более слабых усилий.

Величина порога возбуждения и амплитуда моторных ответов при магнитной стимуляции коры головного мозга и электрической стимуляции спинного мозга на уровне Т11-Т12 зависели от уровня спортивного мастерства обследуемых спринтеров (Таблица 2). Спринтеры высокой квалификации отличались от менее квалифицированных значительными по величине вызванными моторными ответами скелетных мышц при указанных стимуляционных воздействиях.

Таблица 2 – Среднегрупповые значения порогов и величины максимальной амплитуды ВМО (мВ) мышц нижних конечностей при магнитной стимуляции головного мозга и электрического раздражения спинного мозга у спринтеров низкой и высокой квалификации

Мышцы	Вид стимула	Пороговые значения ВМО		Максимальная амплитуда ВМО (мВ)	
		Низкая квалификация	Высокая квалификация	Низкая квалификация	Высокая квалификация
Tibialis anterior	МС	60,2±3,2	55,1±2,3	0,35±0,04	1,71±0,04*
	ЭС	61,1±4,3	62,5±4,4	0,18±0,02**	0,38±0,07*,**
Soleus	МС	60,5±2,1	51,4±2,3	0,12±0,01	0,94±0,05*
	ЭС	60,6±4,6	62,4±3,3	3,84±0,09**	4,19±0,08**
Rectus femoris	МС	60,9±3,3	80,1±5,9*	0,21±0,02	0,37±0,03*
	ЭС	54,1±3,1	45,2±2,1*	0,83±0,02**	0,22±0,01*
Biceps femoris	МС	61,4±5,3	55±3,2	0,32±0,01	0,61±0,02*
	ЭС	55,9±3,7	44,7±3,6*	1,73±0,06**	2,32±0,09**

Примечание: Единица изменения МС выражена в % от максимального выхода стимулятора, ЭС – в миллиамперах; * $p<0,05$- достоверность различий между высококвалифицированными и низкоквалифицированными спринтерами; ** $p<0,05$- достоверность различий между магнитной и электрической стимуляцией.

Пороги ВМО трех мышц при магнитной стимуляции коры головного мозга ниже у спринтеров высокой квалификации. При электрической стимуляции поясничного отдела спинного мозга значения порогов мышц голени у испытуемых сравниваемых групп были примерно одинаковыми, но пороги мышц бедра низкоквалифицированных спринтеров достоверно превышали таковые у спортсменов высокой квалификации.

Обсуждение результатов. Результаты собственных экспериментальных исследований показали, что смена направления движения бега с максимальной скоростью обеспечивается модификацией координационной структуры ведущих мышц, отражаемая в изменении амплитуды электроактивности некоторых мышц, увеличении длительности электроактивности, изменении амплитуды движений в тазобедренном, коленном и голеностопном суставах, а также изменении скорости бега, и длины, и частоты беговых шагов. У спортсменов низкой квалификации результат в беге преимущественно осуществляется за счет частоты шагов, а у спортсменов высокой квалификации – за счет длины шагов. Данный факт отражается в характере взаимодействия с опорой. Для спринтеров I разряда и КМС характерна более значительная электрическая активность мышц при беге по виражу в сравнении с ее величиной, зарегистрированной в условиях бега по прямой, что обеспечивает высокую скорость преодоления виража и эффективное противодействие центробежной силе. Изменение временных параметров фаз двойного бегового шага тесно взаимосвязано с амплитудой изменения движений в суставах во время движения. Очевидно, что большая амплитуда движений в суставах совершенствуется в процессе роста технического мастерства во время многолетней подготовки спринтера.

Механизмы развития утомления во многом определяются характеристиками выполняемой мышечной работы: мощностью и длительностью физической нагрузки; координационной сложности спортивных двигательных действий; адаптивными реакциями, возникающими при выполнении напряженной двигательной деятельности (S. Goodall et al., 2015). При циклической работе максимальной мощности, к которой относится бег на короткие дистанции, энергосбережение работающих мышц осуществляется исключительно анаэробным путем. В этом случае ни одна из вегетативных функций не достигает возможного максимума, который мог бы обеспечить необходимую скорость доставки кислорода к работающим мышцам (В.И. Тхоревский, 2001). В таких условиях эффективность скоростной двигательной деятельности во многом определяется физиологическими резервами организма спортсмена, которые обеспечивают скоростно-силовую

работу. К этим физиологических резервам относятся: активация дополнительного количества двигательных единиц рабочих мышц; повышение частоты разрядов активированных двигательных единиц; степень одновременной активности отдельных двигательных единиц; своевременное вытормаживание мышц-антагонистов; срочность проведения возбуждения через синапсы, локализованные в структуре моторной системы (А.С. Мозжухин, 1984; O. Girard et al., 2011).

Сведения литературы и собственные данные об особенностях выраженности тормозных процессов у спортсменов сравниваемых групп дают основание полагать, что высококвалифицированные спринтеры за счет более выраженного в сравнении с низкоквалифицированными спортсменами пресинаптического торможения афферентов Ia m. soleus и первичных афферентных волокон m. quadriceps, а также аутогенного торможения, более адекватно и четко дифференцируют и ограничивают афферентные потоки от проприорецепторов на спинальном уровне (M.E. Zidek, 2010; А.А. Челноков, 2014). Следовательно, такой уровень проявлений пресинаптического и аутогенного торможения мотонейронов спинного мозга позволяет высококвалифицированным спринтерам выполнять скоростной бег с более рациональной координационной структурой бегового шага в сравнении со спринтерами низкой квалификации.

Низкие пороги возбуждения и значительные величины максимальной амплитуды вызванных мышечных ответов у высококвалифицированных спринтеров можно рассматривать как объективное доказательство более высокой возбудимости их моторной зоны коры головного мозга и мотонейронов поясничного отдела спинного мозга в сравнении со спортсменами низкой квалификации. Систематические мышечные нагрузки в ходе многолетнего тренировочного процесса приводят к повышению эффективности синаптической передачи от нейронов моторной зоны головного мозга к мотонейронным пулам спинного мозга, а также к повышению рефлекторной возбудимости самих спинальных нейронов, поскольку реализация физических упражнений обеспечивается повышенным уровнем ритмических нервных потоков от коры головного мозга к спинальным мотонейронам. Высокая возбудимость нейронных сетей моторной зоны коры

больших полушарий головного мозга позволяет квалифицированным спринтерам оперативно и адекватно реагировать на сигналы периферической афферентации от сенсорных систем и предоставляет широкие возможности для осуществления более координированных циклических двигательных действий как при беге по прямой, так и в условиях бега по виражу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе тренировочной деятельности изменяется координационная структура бегового шага. С ростом технического мастерства происходит изменение в длине и частоте шагов. Амплитуда движений в исследуемых суставах и электромиографические параметры двойного бегового шага у высококвалифицированных спринтеров более рациональны по сравнению с низкоквалифицированными. Особенности характеристик моторных ответов и выраженность тормозных процессов обеспечивают спринтерам I разряда и КМС более рациональную координационную структуру бегового шага при быстром беге по прямой и виражу

ВЫВОДЫ

1. Характерным для спринтеров низкой и высокой квалификации при беге по виражу в сравнении с бегом по прямой является более короткая длительность двойного бегового шага и укорочение периода полета, обусловленные существенным снижением продолжительности электроактивности рабочих мышц. При этом происходит значительное увеличение амплитуды движения в коленном суставе в фазе отталкивания правой ногой, которое определяется более продолжительной ЭМГ-активностью m. biceps femoris, m. rectus femoris и m. vastus medialis.

2. Обнаружено, что регуляция активности мышц, обеспечивающих реализацию бегового шага при быстром беге по прямой и виражу, зависит от уровня спортивного мастерства спринтеров:

– у квалифицированных спринтеров продолжительность полета превышала длительность опоры, что предопределялось высокой амплитудой ЭМГ-активности мышц передней поверхности бедра в фазе выноса левой ноги в полете. У низкоквалифицированных спринтеров, наоборот, период опоры был продолжительнее периода полета, что обусловливалось чрезмерным подошвенным сгибанием стопы и высокой амплитудой электроактивности мышц задней поверхности голени в момент опускания ноги к опоре;

– для квалифицированных спринтеров характерна более значительная электрическая активность мышц при беге по виражу в сравнении с ее величиной, зарегистрированной в условиях бега по прямой, что обеспечивает высокую скорость преодоления виража и эффективное противодействие центробежной силе. У спринтеров низкой квалификации амплитуда ЭМГ-активности исследуемых мышц при беге по виражу аналогична таковой при беге по прямой и недостаточна для успешного противодействия центробежной силе;

– реципрокные отношения мышц-антагонистов голеностопного сустава в фазе подседания, отражающиеся в величинах коэффициента реципрокности, более рациональны у квалифицированных спринтеров, чем у спринтеров низкой квалификации и достигаются за счет существенного возрастания амплитуды ЭМГ-активности m. tibialis anterior.

3. Под влиянием утомления происходит модификация координационной структуры бегового шага, отражающаяся в значительных изменениях его пространственно-временных параметров и характеристик ЭМГ-активности. Направленность и количественная выраженность этих изменений зависит от спортивной квалификации спринтеров. В сравнении со спортсменами низкого уровня спортивного мастерства квалифицированные спринтеры в состоянии утомления отличались: значительным увеличением длительности двойного бегового шага при беге по прямой и продолжительности фазы отталкивания при беге по прямой и виражу; более длительной ЭМГ-активностью рабочих мышц; использованием механизма преимущественного увеличения частоты потенциалов действия при относительно неизменной величине амплитуды их электроактивности;

рациональным изменением реципрокных отношений мышц-антагонистов бедра и голени в фазе отталкивания.

4. Выраженность пресинаптического и аутогенного торможения спринтеров зависит от уровня их спортивного мастерства. Тормозные процессы в ЦНС в большей степени выражены у высококвалифицированных спринтеров, что создает необходимые возможности для формирования рациональной координационной структуры бегового шага при беге по прямой и виражу, проявляющейся коротким по продолжительности опорным периодом и активными действиями маховой ноги в период полета.

5. Адаптивные процессы, возникающие в ходе многолетней тренировочной деятельности, оказывают специфические влияния на параметры мышечных ответов, вызываемые стимуляцией различных отделов ЦНС. Спортсмены высокой квалификации отличаются от низкоквалифицированных: высокой возбудимостью моторной зоны коры головного мозга; большей амплитудой ВМО скелетных мышц при стимуляции головного мозга; низкими порогами возбуждения при чрескожной стимуляции спинного мозга и периферического нерва. Такие позитивные изменения функционального состояния нервной системы являются физиологической основой для проявления высоких скоростно-силовых качеств спринтеров.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Сведения о динамике электрической активности в процессе циклических движений и особенности тормозных процессов в ЦНС у спортсменов разной квалификации можно использовать при моделировании тренировочных нагрузок, оказывающих оптимальное воздействие на функциональное состояние организма спортсменов.

2. Характеристики электрической активности скелетных мышц, обеспечивающих выполнение бега с максимальной скоростью, могут учитываться специалистами по легкой атлетике при отборе специально-подготовительных упражнений.

3. Тренерам, работающим со спринтерами различной спортивной квалификации, рекомендуется в процессе тренировочной деятельности уделять особое внимание использованию специально-беговых и прыжковых упражнений, влияющих на подъем бедра и длину бегового шага.

Перспективы дальнейшей разработки темы. Дальнейшие исследования могут быть направлены на изучение физиологических механизмов регуляции движений у спортсменов в условиях их тренировочной и соревновательной деятельности

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, входящих в международную базу Scopus

1. Пискунов, И.В. Выраженность пресинаптического торможения у бегунов на короткие дистанции разной квалификации / И.В. Пискунов // Теория и практика физической культуры. – 2020. – №6. – С. 20 (Scopus).

2. Пискунов, И.В. Особенности координационной структуры бегового шага у спринтеров различного уровня спортивного мастерства в состоянии утомления / И.В. Пискунов, Р.М. Городничев, С.А. Моисеев // Физиология человека . – 2021. – том 47. - №3. – С. 80-87 (Scopus).

Статьи, опубликованные в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК России

3. Пискунов, И.В. Электромиографическое исследование регуляции произвольных быстрых циклических движений ног при спринтерском беге по прямой и виражу / И.В. Пискунов, С.А. Моисеев, Р.М. Городничев // Журнал медико-биологических исследований – 2017. – №2 (Том 5). – С.5-12.

4. Моисеев, С.А. Особенности организации процессов управления скелетными мышцами человека при локомоциях различной интенсивности / С.А. Моисеев, Е.А. Михайлова, И.В. Пискунов, Е.Н. Бобкова, Г.В. Дубинин, Р.М. Городничев // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. Том 5(71). – Симферополь, 2019. – №4. – С. 79-90.

Публикации в других изданиях, тезисы докладов.

5. Ланская, О.В. Биоэлектрическая активность мышц при спринтерском беге / О.В. Ланская, Е.В. Ланская, И.В. Пискунов // Международный научный журнал «Символ науки». – 2016. – №1. – С.22-26.

6. Гладченко, Д.А. Особенности моторных ответов человека при неинвазивной стимуляции различных сегментов спинного мозга / Д.А. Гладченко, А.М. Пухов, С.А. Моисеев, И.В. Пискунов, Р.М. Городничев // Материалы VI Российской с международным участием конференции по управлению движением. Казань, 14-16 апреля 2016. – Казань, 2016. – С. 27.

7. Городничев, Р.М. Эффекты электрической и электромагнитной стимуляции спинного мозга на моторную систему человека / Р.М. Городничев, А.М. Пухов, И.В. Пискунов, Е.А. Пивоварова, Л.В. Рощина, В.Н. Шляхтов // Материалы XXIII съезда физиологического общества им. И.П. Павлова. Воронеж. 18-22 сентября 2017. – Воронеж, 2017. – С. 1614-1615.

8. Пискунов, И.В. Особенности организации электрической активности мышц при беге с максимальной скоростью / И.В. Пискунов // Развитие и актуальные вопросы современной науки: международный научный журнал под редакцией В.И. Вахрушева. – Магнитогорск: ИП Вахрушев В.И., 2017. – №7 (Том 7). – С. 61-65.

9. Пискунов, И.В. Особенности регуляции произвольных быстрых циклических движений с изменением их направления по данным электромиографии / И.В. Пискунов, С.А. Моисеев // Биомеханика двигательных действий и биомеханический контроль в спорте: материалы V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, 23-24 ноября 2017. – Москва; Малаховка, 2017. – С. 96-102.

10. Пискунов, И.В. Кинематические параметры бегового шага при беге с максимальной скоростью по прямой и виражу у спринтеров разной квалификации / И.В. Пискунов // Биомеханика двигательных действий и биомеханический контроль в спорте: материалы VI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, 21-23 ноября 2018. – Москва; Малаховка, 2018. – С. 59-62.

11. Пискунов, И.В. Электромиографическое исследование регуляции произвольных быстрых циклических движений с изменением их направления / И.В. Пискунов // Новые подходы к изучению классических проблем: IX Всероссийская с международным участием конференция с элементами научной школы по физиологии мышц и мышечной деятельности, посвященная памяти Е.Е. Никольского Москва, 18-21 марта 2019. – Москва, 2019. – С. 59.

12. Пискунов, И.В. Кинематические и электромиографические параметры двойного бегового шага при беге с максимальной скоростью по прямой и виражу у спринтеров разной квалификации / И.В. Пискунов, Р.М. Городничев // Биомеханика двигательных действий и биомеханический контроль в спорте: материалы VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием , 21-22 ноября 2019. – Москва; Малаховка, 2019. – С. 131-135.

13. Пискунов, И.В. Координационная структура двойного бегового шага при беге с максимальной скоростью по прямой и виражу у спринтеров разной спортивной квалификации / И.В. Пискунов, Р.М. Городничев // Управление движением Motor Control 2020: материалы VIII Российской с международным участием конференции по управлению движением (Петрозаводск, 20-22 апреля 2020 г.). – Петрозаводск, 2020. – С.53-54.

14. Пискунов, И.В. Мышечные ответы, вызываемые стимуляцией коры, спинного мозга и периферического нерва, у спринтеров различной квалификации / И.В. Пискунов // Физическая культура и спорт. Олимпийское образование: материалы международной научно-практической конференции (18 февраля 2021 г.). - Краснодар: КГУФКСТ, 2021. – С. 209-212.