

УДК 796.81.071.5

Приймаков А. А., Ейдер Ежи, Омельчук Е. В., Архипов А. А.

АКТИВНОСТЬ МЫШЦ И МЕЖМЫШЕЧНЫЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ЦИКЛИЧЕСКИМ И АЦИКЛИЧЕСКИМ ДВИЖЕНИЯМИ У СПОРТСМЕНОВ

Изучена мышечная активность и межмышечные взаимосвязи у спортсменов высокой квалификации при управлении стереотипно повторяющимися циклическим и ациклическим движениями. Обследовались велосипедисты при велоэргометрии и тяжелоатлеты при выполнении прыжков на динамометрической платформе. Выявлен жесткий, программный механизм управления движениями. Отражена специфика межмышечных перестроек в компенсации утомления и в поддержании высокого уровня работоспособности при напряженной мышечной деятельности.

Ключевые слова: управление движением, утомление, велосипедисты, тяжелоатлеты.

Постановка проблемы. Анализ последних исследований и публикаций. В основе управления движениями различной координационной структуры лежат врожденные и приобретенные механизмы регулирования, определяющие специфику кинематического рисунка движения, активности мышц и их вегетативного обеспечения [1, 3, 13].

В работах ряда исследователей [1–4, 12] отмечается, что резервы системы управления произвольными движениями связаны с мощностью механизмов координационных перестроек. Однако оценка этих резервов в условиях вариативной мышечной деятельности является недостаточно разработанной [2, 4, 11]. Недостаточно изучены компенсаторные механизмы межмышечных и внутримышечных перестроек при управлении движениями разной координационной структуры в различных состояниях при мышечной деятельности, при развитии утомления, отказе от работы и т.п. [5, 6–7, 9].

Систематический тренировочный процесс совершенствует механизмы компенсации утомления, благодаря которым у тренированных спортсменов не происходит нарушения координационной структуры движений при мышечной деятельности в условиях преодолеваемого утомления [6, 7].

Однако при мышечной деятельности, выполняемой до явного (не преодолеваемого) утомления, компенсаторные межмышечные перестройки при управлении движениями недостаточно освещены. Освещение их имеет большое теоретическое и практическое значение в связи с уточнением механизмов управления движениями различного координационного состава, и в связи с разработкой рекомендаций для эффективного поддержания высокой работоспособности [5, 6].

Целью работы является изучение закономерностей мышечной активности и межмышечных взаимосвязей при управлении циклическим и ациклическим движениями у спортсменов в условиях напряженной мышечной деятельности.

Задачи исследования

1. Изучить закономерности управления циклическим и стереотипно повторяющимся ациклическим движениями при напряженной мышечной деятельности спортсменов высокой квалификации.

2. Исследовать внутри- и межмышечные координационные перестройки для компенсации утомления при напряженной мышечной деятельности.

3. Исследовать взаимосвязи электрической активности мышц нижних конечностей с отдельными биомеханическими характеристиками движений при выполнении работы до отказа.

Методы и организация исследований. В процессе исследований изучалась активность и взаимосвязи мышц нижних конечностей у велосипедистов и тяжелоатлетов высокой квалификации в динамике мышечной работы, выполняемой до вынужденного отказа. Спортсмены-велосипедисты выполняли циклическую работу на велоэргометре, тяжелоатлеты – скоростно-силовую работу в виде вертикальных прыжков с места максимальной высоты на тензодинамометрической платформе [8, 10, 12]. В обеих группах работа выполнялась до состояния стойкого снижения работоспособности. При велоэргометрии и выполнении прыжков регистрировалась электрическая активность четырехглавой (ЧМБ) и двуглавой (ДМБ) мышц бедра, икроножной (ИМ) и передней большеберцовой (ПБМ) мышц голени, частота сердечных сокращений (ЧСС).

Одновременно регистрировались показатели работоспособности: у велосипедистов – скорость педалирования, усилия, прилагаемые к педалям велоэргометра; у тяжелоатлетов – развиваемые усилия при отталкивании от динамометрической платформы, высота прыжка и др. показатели [6–8].

Результаты исследований свидетельствуют о том, что управление циклическим движением на велоэргометре при внешней нагрузке постоянной или нарастающей мощности характеризуется относительной стабильностью кинематического рисунка, межмышечных взаимосвязей в цикле одиночного движения, мало изменяющимися по ходу нагрузки, что отражает жесткий, программный характер механизмов управления циклическим ритмическим движением.

При развитии утомления происходит перераспределение активности мышц, изменяются внутрисистемные взаимосвязи и степень долевого участия мышц в развиваемом усилии при сохранении высокой работоспособности, то есть возникают реакции компенсаторного характера [6, 7, 10] (рис. 1).

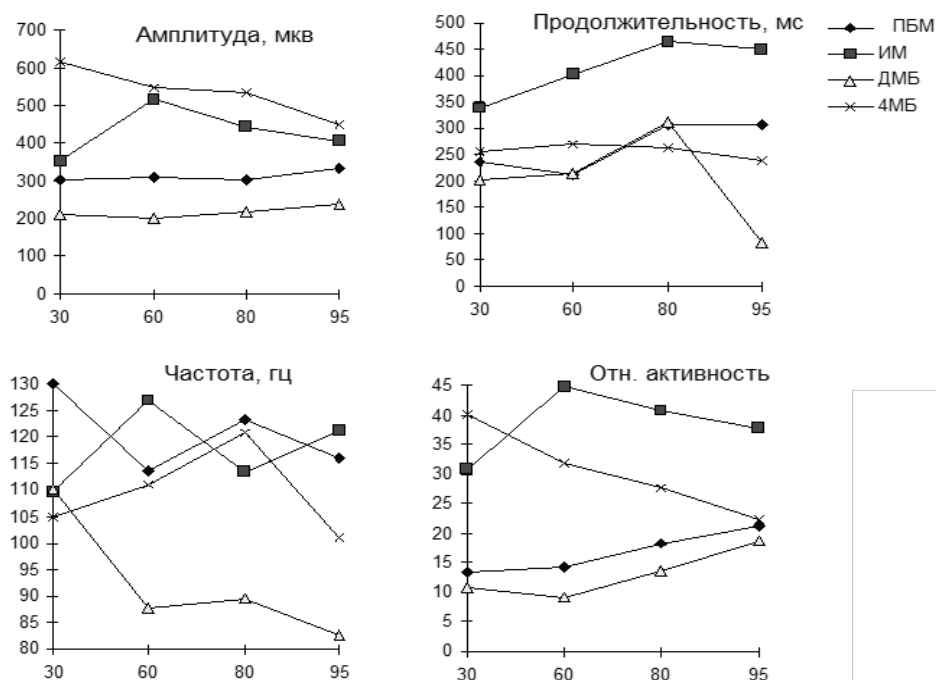


Рис. 1. Изменения электрической активности мышц у квалифицированных велосипедистов при нагрузке на велоэргометре большой интенсивности, выполняемой до вынужденного отказа от работы [10]

Если у большей части мышц средняя амплитуда колебаний биопотенциалов и продолжительность электрической активности возрастают, то у части мышц изменения имеют противоположный характер.

Снижение амплитуды биопотенциалов отдельных мышц является признаком их явного утомления [5, 6, 9]. Увеличение электрической активности и времени занятости наиболее активных мышц следует рассматривать как компенсаторную реакцию организма, направленную на преодоление развиваемого утомления.

При выполнении движения изменяются также межмышечная координация: уменьшение активности одних мышц компенсаторно сопровождается повышением активности других [5, 6], изменяются их взаимосвязи [6, 7].

Анализ межмышечных взаимосвязей показал, что в каждом одиночном цикле педалирования они являются преимущественно линейными, как при стабильной, так и ступенчато повышающейся нагрузке.

Коэффициенты корреляций (рис. 2), свидетельствуют о том, что ведущая роль ИМ (ИМ), ЧМБ и ДМБ в развиваемых усилиях в каждом одиночном движении при велоэргометрии принципиально не меняется. Они проявляют высокие положительные взаимосвязи между собой и с развиваемыми усилиями, и отрицательные – с ПБМ, а также с ЧМБ противоположной конечности.

Перед отказом от работы электрическая активность ЧМБл и ДМ возрастает, ИМ – стабильно сохраняется, взаимосвязи ведущих мышц в процессе развития всего усилия изменяются меньше. Вклад ЧМБ в развитие начального усилия в одиночном движении уменьшается, а ИМ – повышается, снижаются взаимосвязи исследуемых мышц. Реципрокные взаимосвязи ЧМБ правой ноги с ведущими мышцами левой ноги нарушаются и, как следствие, изменяется пространственно-временной рисунок движения: корреляционные взаимосвязи, представленные на рис. 2 свидетельствуют, о том, что при утомлении, на начальном отрезке развиваемого усилия при велоэргометрии взаимосвязи ИМ, ДМБ левой ноги и ЧМБ – правой с ЧМБ левой ноги из отрицательных становятся положительными, отражая синхронность в сдвигах в начальный период развития усилия при утомлении. Это отражает нарушение межмышечных взаимосвязей, развитие генерализованного возбуждения, иррадиирующего на реципрокно взаимодействующие (в обычных условиях) нервные центры, управляющие мышечной активностью правой и левой конечностей.

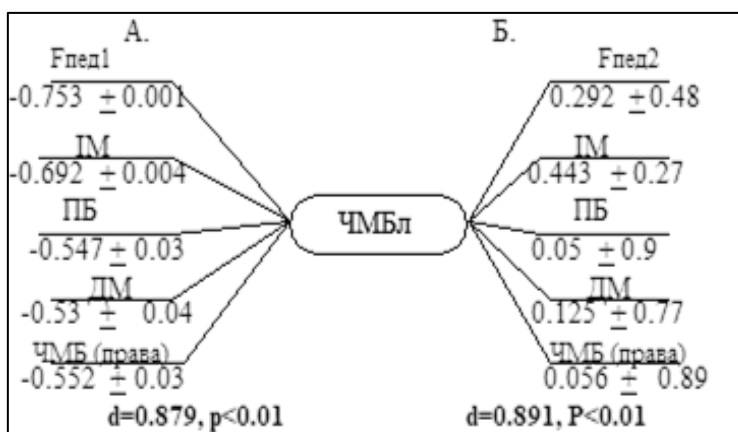


Рис. 2. Взаимосвязи мышц нижних конечностей при развитии усилия (Гпед) до максимального в цикле педалирования в устойчивом состоянии (А) и при утомлении (Б)

В процессе развивающегося утомления эффективность механизмов компенсации снижается, утомление становится явным, общая работоспособность спортсмена снижается.

Анализ показателей, характеризующих состояние и уровень работоспособности мышц *при выполнении прыжков на тензодинамометрической платформе*, показал, что усилия, развиваемые спортсменами во время прыжков и высота прыжков тесно взаимосвязаны с электрической активностью мышц, их взаимодействием.

Стартовое усилие является ведущим детерминантом сократительных качеств мышц.

При утомлении происходит «запаздывание» прироста электрической активности ведущих мышц в процессе развития усилий, снижение усилий при отталкивании и высоты прыжков, «перераспределение» активности и взаимосвязей исследуемых мышц в развиваемом усилии (рис. 3), уменьшением взаимосвязей ведущих мышц между собой и с развиваемым усилием, при сохранении ведущей роли ЧМБ в разные фазы реализации как низких, так и высоких прыжков.

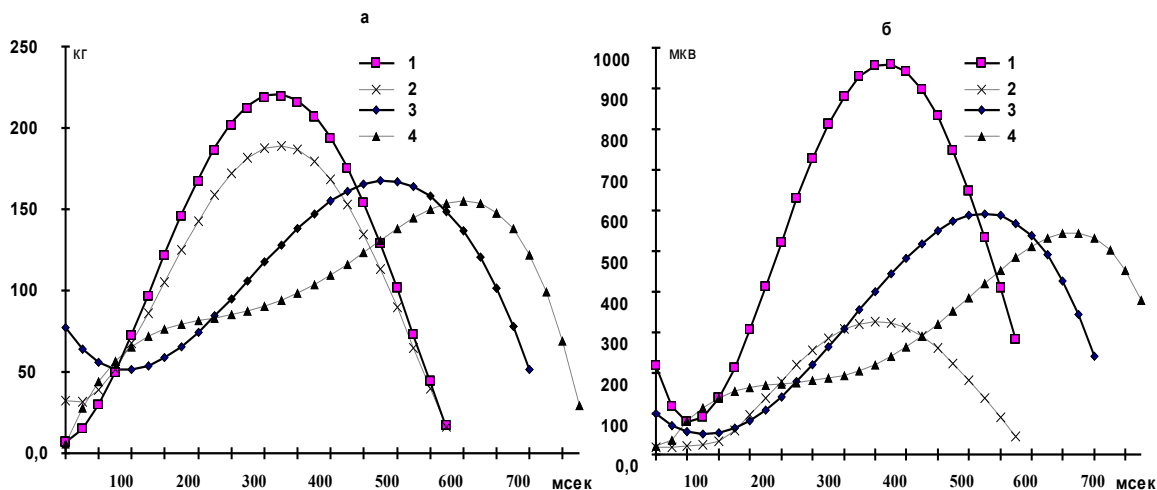


Рис. 3. Развиваемые усилия (А) и электрическая активность ЧМБ (Б) у спортсменов с высокими (1,2) и низкими (3,4) взрывными качествами мышц при выполнении прыжка в начале (1,3) и в конце (2,4) тестирования

При развитии декомпенсированного утомления значительно снижается электрическая активность четырехглавой мышцы бедра (ЧМБ), уменьшаются величины развиваемых усилий у спортсменов, как с высокими, так и с низкими взрывными качествами мышц.

При утомлении происходит «запаздывание» роста электрической активности ЧМБ левой ноги до максимальных значений (рис. 3). И максимальная сила (F_{max}) достигается при значительно меньшей ее активности. При этом, компенсаторно повышается вклад в развиваемые усилия ЧМБ правой ноги и икроножной мышцы.

Дисперсионный анализ показал, что у спортсменов с *высокими взрывными сократительными* качествами мышц, обеспечивающими наибольшую высоту прыжков, доля участия ЧМБ в развиваемом усилии составляет от 76,2% до 88,2%. При этом наибольший ее вклад проявляется в стартовое усилие

(G), которое, в свою очередь, проявляет среднюю корреляционную взаимосвязь с высотой прыжка (h) ($r=0,621\pm 0,23$, $P<0,001$) и аппроксимируется следующим линейным уравнением:

$$y = 0,016x + 29,8, \text{ где "x"-G, "y"-h.}$$

Из биомеханических характеристик наибольшую взаимосвязь с h проявляет ускоряющая сила (I) ($r=0,857\pm 0,15$, $P<0,001$). Эта зависимость аппроксимируется следующим линейным уравнением:

$$y = 0,39x + 13,1, \text{ где "x"-I, "y"-h.}$$

У спортсменов с *высокой скоростной и общей выносливостью* проявляется относительно слабая зависимость электрической активности мышц, максимального и взрывного усилия от степени развиваемого утомления.

У спортсменов, проявляющих *высокие взрывные качества и низкую скоростную выносливость*, наблюдается значительное снижение амплитуды ЭМГ ЧМБ перед отказом от работы, уменьшение высоты прыжков и соотношения количества высоких прыжков к общему их числу, снижение величины развиваемых усилий. При утомлении доля вклада ЧМБ в развиваемые усилия уменьшается, особенно в стартовое усилие.

У спортсменов, проявляющих *малые взрывные усилия*, при прыжках наблюдается более длительная электрическая активность мышц, меньшие величины амплитуды ЭМГ при развитии стартовой силы, меньший градиент нарастания амплитуды ЭМГ, относительно низкая высота прыжков.

У спортсменов, мышцы которых предрасположены к выполнению работы на выносливость, характерными признаками утомления являлись: снижение максимальной и ускоряющей силы, замедление градиента достижения максимальной амплитуды биотоков ведущих мышц при развитии ускоряющей силы, удлинение электрической активности мышц.

Заключение. Управление стереотипно повторяющимися циклическим и ациклическим движениями при отсутствии признаков утомления характеризуется относительной стабильностью кинематического рисунка, межмышечных взаимосвязей в каждом отдельном движении на протяжении всей работы, что отражает жесткий, программный характер механизмов управления таких движений. На каждой ступени велоэргометрии и в разные периоды работы при прыжках изменяется лишь степень развиваемых мышечных напряжений, то есть, происходит масштабирование выходных параметров центральной программы регулирования по мощности в ответ на изменившуюся проприоцептивную афферентацию (что согласуется с параметрической концепцией управления движениями [3]).

При утомлении же происходит перераспределение активности мышц и изменение межмышечных взаимосвязей в различных фазах движения: степень участия в развиваемых усилиях и взаимосвязи ведущих мышц уменьшаются, происходит запаздывание в их электрической активности, уменьшение амплитуды электромиограммы при развитии максимальных усилий: увеличивается их амплитуда и продолжительность электрической активности. Снижается работоспособность при велоэргометрии и выполнении прыжков. Положительный характер коэффициентов корреляций при велоэргометрии между мышцами-антагонистами правой и левой ноги, взаимодействующих в обычных условиях, при развитии начального усилия, реципрочно, свидетельствует о нарушении при утомлении межмышечных взаимосвязей, изменении в программе регулирования, нарушении внутренней структуры движения.

Выводы

– Результаты исследований отражают важную роль внутри- и межмышечных координационных перестроек для компенсации утомления при напряженной мышечной деятельности, для поддержания высокого уровня работоспособности, который обеспечивается различными механизмами.

– Усилия, развиваемые спортсменами при велоэргометрии и при взаимодействии с опорой во время прыжков, тесно взаимосвязаны с проявлением электрической активности мышц, их взаимодействием, морфофункциональным статусом организма, развиваемым утомлением.

– Полученные результаты являются важными для научно обоснованного отбора и спортивной ориентации, для определения уровня биологических резервов с целью совершенствования врожденных качеств, для выявления возможных функциональных нарушений на более ранних стадиях, либо скрытых неблагоприятных состояний с целью профилактики перегрузки организма спортсмена.

Использованные источники

1. Бернштейн Н. А. О построении движений: монография / Н. А. Бернштейн. – Москва : Медгиз, 1947. – 255 с.
2. Голубев В. Н. Оценка функциональных резервов в системе управления движением / В. Н. Голубев, Д. Н. Давиденко, А. С. Мозжухин, А. И. Шабанов // Системные механизмы адаптации и мобилизации функциональных резервов организма в процессе достижения высшего спортивного мастерства: монография. Л. : ГДОИФК им П. Ф. Лесгафта, 1987. – С. 12–18.
3. Гурфинкель В. С. Центральные программы и многообразие движений / В. С. Гурфинкель, Ю. С. Левиц // Управление движениями: монография: отв ред. А. А. Митькин, Г. Пик / Москва : Наука, 1990. – С. 32–41.

4. Давиденко Д. Н. Мобилизация физиологических резервов при напряженной мышечной деятельности / Д. Н. Давиденко, А. С. Мозжухин, В. В. Телегин // Физиология человека. – 1987. – Т. 13. – №1. – С. 127–132.
5. Моногаров В. Д. Утомление в спорте: монография / В. Д. Моногаров. – К. : Здоров'я, 1986. – 119 с.
6. Приймаков А. А. Активность мышц и межмышечные взаимодействия при управлении программными движениями в условиях напряженной мышечной деятельности у спортсменов / А. А. Приймаков, В. Д. Моногаров // Наука в олимпийском спорте. – 2000. – Спец. Выпуск. – С. 47–55.
7. Приймаков А. А. Сопряженная активность мышц нижних конечностей при управлении циклическим движением в различных режимах эргометрического тестирования спортсменов / А. А. Приймаков, Ежи Ейдер, А. В. Коленков // Науковий часопис Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова. Серія № 15. «Науково-педагогічні проблеми фізичної культури / фізична культура і спорт»: зб. наукових праць. – К. : Вид-во НПУ імені М. П. Драгоманова, 2018. – Випуск 3К (97)18. – С. 442–446.
8. Щегольков А. Н. Комплексная методика спортивной диагностики и отбора / А. Н. Щегольков, А. А. Приймаков, А. А. Пилашевич // Научно-методич. обеспечение системы подготовки квалифицированных спортсменов и спортивных резервов: Матер. науч.-практ. конф. – М.: ЦНИИФК, 1990. – Часть 2. – С. 409–410.
9. Jascaninas J. Peripheral compensation mechanisms of muscle fatigue / J. Jascaninas I., V. Monogarov // Svecatos Apsauge. – 1987–12. – P. 27–29.
10. Oleksandr Pryimakov. Monitoring of functional fitness of combat athletes during the precompetitive preparation stage / Oleksandr Pryimakov, Sergii Iermakov, Oleksandr Kolenkov, Ivan Samokish, Jury Juchno // Journal of Physical Education and Sport ® (JPES), 16(2), Art 87, 2016. – PP. 551–561. DOI:10.7752/jpes.2016.02087
11. Pryimakov A. A. Reliability of functioning and reserves of system, controlling movements with different coordination structure of special health group girl students in physical education process / A. A. Pryimakov, E. Eider, M. O. Nosko, S. S. Iermakov // Physical education of students, 2017; 2:84–89. doi:10.15561/20755279.2017.0206
12. Vandewalle H. Force-velocity relationship and maximal power on a cycle ergometer: Correlation with height of a vertical jump / H. Vandewalle, G. Peres, J. Heller, J. Panel, H. Monod // European Journal of Applied Physiology. – 1987. – 56, 46–51.
13. Wilmore J. Physiology of Sport and Exercise / J. Wilmore, D. Costill // – Human Kinetics, Champagne, 1997. – P. 340 – 347.

Pryimakov A., Eider E., Omelchuk E., Arkhipov A.

THE ACTIVITY AND THE INTERRELATION OF MUSCLES OF THE LOWER EXTREMITIES WITH INTENSE MUSCULAR ACTIVITY OF THE ATHLETES

The patterns of the muscle activity and intermuscular relationships in high-skill athletes under the control of stereotypically repeated cyclic movement during Cycle Ergometer Test and maximum and vertical jumping on a force platform for the assessment of vertical jump height have been studied.

The subject of the study was the high-qualified athletes: cyclists – with bicycle ergonomics and weightlifters – when performing jumps. In the both groups, the work was carried out until a steady decline in efficiency.

During the test, the electrical activity of the quadriceps femoris muscles and biceps of femoris, the calf and anterior muscles of the lower leg, and the heart rate were recorded.

At the same time, performance indicators were recorded: for cyclists, the speed and effort applied to the pedals of the Cycle Ergometer; weightlifters – developed efforts when pushing away from the dynamometer platform, the height of the jump and other indicators.

It is revealed that the efforts developed by athletes during Cycle Ergometer and during jumping are closely interrelated with the manifestation of the electrical activity of the muscles of the lower extremities, their interaction, the morphofunctional status of the organism, and the development of the fatigue.

A rigid, software mechanism for controlling such movements has been revealed. The specifics of intermuscular coordination reorganizations in compensating fatigue and maintaining a high level of efficiency with intense muscular activity are reflected.

The results of the studies testify to the important role of intra- and intermuscular coordination reorganizations to compensate for the fatigue in the intense of the muscular activity, to maintain a high level of efficiency, which is provided by various mechanisms.

The obtained results are important for the scientifically based of the selection and of the sports orientation, for determining the level of biological reserves with the purpose of improving the innate qualities, for the identifying possible functional disorders at earlier stages, or for the concealing unfavorable conditions in order to prevent of the organism from overloading of the athlete.

Key words: *cyclic movements, acyclic movements, control, exhaustion, athletes, cyclists, weightlifters.*

Стаття надійшла до редакції 22.09.2018 р.