

БИОДИНАМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ДИАГНОСТИКИ УТОМЛЕНИЯ В ТРЕНИРОВОЧНЫХ ЗАНЯТИЯХ КВАЛИФИЦИРОВАННЫХ ВЕЛОСИПЕДИСТОВ

А. Н. Колумбет, д-р пед. наук, профессор,

Киевский национальный университет технологий и дизайна, Украина

Аннотация

Целью исследований явилось изучение особенностей структуры педалирования и создание диагностической модели изменений координации движений велосипедистов под воздействием утомления в тренировочных занятиях различной направленности. В исследованиях приняли участие 18 спортсменов высокой квалификации. Особенности координационной структуры движений велосипедистов изучались в эксперименте, моделирующем занятия различной направленности. Спортсмены на велоэргометре выполняли программы тренировочных занятий, направленных на развитие скоростно-силовых возможностей и выносливости к работе анаэробного и аэробного характера. Выявлено, что в период преодолеваемого утомления исчезают динамические толчки в характере прикладываемых усилий и рисунок биодинамических составляющих становится более сглаженным. При этом возрастает относительное использование горизонтальных составляющих усилий, тогда как импульс силы вертикальных усилий остается без существенных изменений. В период явного утомления возрастает вариативность кинематических характеристик движений, снижается экономичность работы и возрастает интегрированная биоэлектрическая активность исследуемых мышц велосипедистов.

BIODYNAMIC CRITERIA OF FATIGUE'S DIAGNOSTIC DURING THE TRAINING SESSIONS OF QUALIFIED BICYCLISTS

Annotation

Goals: to investigate the structure's peculiarities of pedaling and to create the diagnostic models of coordination change in coordination motions of bicyclists driven by fatigue during different orientation's training session. Cohesive: 18 high qualification sportsmen took part in researches. Results: Peculiarities of coordinating structure of bicyclists' motion were studied in the experiment, modeling training of different direction. Sportsmen on a veloergometer accomplished the training session programmes, focused on speed and power capabilities' development and work's endurance of anaerobic and aerobic character. Conclusions: In the period of the overcome fatigue disappear dynamic impulses in applied force character disappear and picture of biodynamic components become more smoothed out. Thus the relative usage of horizontals of efforts' components increases, while the impulse of force's momentum of vertical efforts remains without substantial changes. The variability of kinematic motions characteristics increases in the period of obvious fatigue, bicyclists' work efficiency decreases and the integrated electrobiological activity of the bicyclists' investigated muscles increases.

Введение

Эффективность управления тренировочной нагрузкой в значительной мере определяется возможностью объективной диагностики утомления спортсменов непосредственно в процессе занятий.

В настоящее время, несмотря на обширный экспериментальный материал, освещающий различные аспекты проблемы утомления при мышечной деятельности в спорте, нет единого мнения как в определении самого понятия утомления, так и возможности диагностики этого состояния в процессе тренировочных занятий различной направленности. При этом дифференцирование степени тренирующих воздействий часто основано на субъективных ощущениях спортсменов трудности выполнения упражнения, характеристике общего самочувствия, изменениях некоторых психофизиологических, биохимических и других показателей, регистрируемых после нагрузки. В ряде работ выявлена возможность диагностики фазовой структуры утомления на основе оценивания суммарных показателей объемов и интенсивности выполняемой нагрузки, динамики скорости на отдельных отрезках в процессе тренировки [14].

Ограниченность представленных методических приемов становится очевидной, когда речь идет о дифференцировании отдельных периодов утомления, которое, как показали исследования [3, 8, 13], включает в себя период преодолеваемого (компенсируемого) и период непреодолимого (явного) утомления, характеризующегося дискоординацией в деятельности центральных и периферических образований, снижением результирующей эффективности движений спортсменов [10].

Сложившиеся представления о характере воздействия утомления на структуру движений спортсменов основаны на исследовании нагрузок, моделирующих различные виды соревновательной деятельности. При этом особенности проявления утомления в процессе тренировок практически не рассматривались. Остается открытым также вопрос о выборе информативных критериев для диагностики этого состояния.

В основу *гипотезы* исследований положено предположение о возможности использования параметров структуры двигательных действий как наиболее чутких индикаторов динамики и эффективности функционирования различных систем организма в качестве информативных критериев диагностики утомления в процессе спортивной тренировки.

Цель настоящей работы – исследование закономерностей динамики координационной структуры движений квалифицированных велосипедистов в период преодолеваемого утомления в занятиях с большими нагрузками различной преимущественной направленности, а на этой основе – определение и количественная характеристика биомеханических критериев диагностики утомления.

Методы и организация исследований

Изменения координационной структуры движений квалифицированных велосипедистов изучены в эксперименте, моделирующем тренировочные занятия с большими нагрузками различной преимущественной направленности. Обследовано 18 велосипедистов в возрасте от 19 до 24 лет, специализирующихся в гонках на треке. Спортсмены на модифицированном велоэргометре «Mopark» выполняли программы занятий, направленных на развитие скоростно-силовых возможностей, выносливости к работе аэробного и анаэробного характера. Занятие скоростно-силовой направленности: 12–14 ускорений длительностью 15 с и нагрузкой 3,0–3,5 кг, пульс в пределах 185–210 уд/мин. Занятие анаэробной направленности: 6–8 серий ускорений, по 4 ускорения дли-

тельностью 60 с в серии, нагрузка 2,0–2,5 кг, пульс в пределах 175–190 уд/мин. Занятие аэробной направленности: работа в режиме пульса на уровне порога анаэробного обмена (определялась индивидуально) продолжительностью 60–120 мин, нагрузка 2,0–2,5 кг. В работе использована комплексная методика для биомеханических исследований, позволяющая регистрировать кинематические и динамические характеристики вертикальной и горизонтальной составляющих усилий, прикладываемых к правой педали, показатели биоэлектрической активности четырехглавой и двуглавой мышц бедра, икроножной и передней большеберцовой мышц правой ноги велосипедиста, динамику внутрицикловой и средней скорости педалирования [9].

В качестве методологической основы анализа экспериментальных данных использованы положения и принципы системно-структурного подхода к оценке параметров двигательной активности спортсменов в видах спорта с циклическим характером деятельности [9]. Такой подход предполагает оценку как отдельных биомеханических показателей структуры педалирования, так и количественную характеристику обобщенных свойств системы двигательных действий спортсменов, отражающих экономичность и эффективность реализации силы, вариативность элементов системы и структуры движений в целом.

При обработке экспериментальных данных мы определяли средние значения показателей и их ошибки ($X \pm m$), степень различия средних и достоверность различий (t , p), устанавливали величину рассеивания – вариант вокруг средней (σ , CV), а также определяли степень взаимосвязи между исследуемыми показателями (r).

При проведении комплексных педагогических, биомеханических и биологических обследований с участием спортсменов придерживались законодательства Украины об охране здоровья, Хельсинской декларации 2000 г., директивы № 86/609 Европейского общества относительно участия людей в медико-биологических исследованиях.

Результаты исследований и их обсуждение

В результате анализа динамики скорости педалирования, экономичности и эффективности использования усилий в цикле движения, биоэлектрической активности мышц велосипедистов в процессе выполнения программ тренировочных занятий с большими нагрузками различной преимущественной направленности выявлены периоды вработывания, «устойчивой работоспособности», преодолеваемого и явного утомления.

Начальный период работы характеризовался снижением скорости педалирования, уменьшением напряженности сократительной активности мышц, некоторой тенденцией к повышению экономичности и эффективности двигательных действий велосипедистов. При этом для периода вработывания, продолжительность которого составила $32,4 \pm 1,86$ % (здесь и далее указана продолжительность периода тренировочных занятий по отношению к общей продолжительности тренировки до момента явного утомления), по сравнению с другими периодами занятий характерна высокая вариативность и разнонаправленность изменений биомеханических характеристик. Различия оказываются тем выраженнее, чем выше интенсивность мышечной деятельности.

В дальнейшем скорость педалирования стабилизируется, снижается вариативность кинематических показателей до 3,6–8,7 % ($p < 0,05$) и динамических характеристик усилий до 6,8–13,0 % ($p < 0,05$). Вместе с тем отмечено достоверное снижение на 6,9–8,7 % результирующего импульса силы, а также интегрированной электрической активности мышц. Однако уменьшение диапазона вариативности исследуемых биомеханических характеристик, экономизация

двигательных действий велосипедистов существенно выражены лишь в занятиях преимущественно скоростно-силовой и анаэробной направленности, тогда как при работе аэробного характера в этот период происходит постоянная смена величины и знака биомеханических характеристик структуры педалирования. Как показали исследования, продолжительность периода «устойчивой работоспособности» для занятий разной направленности составила $30,8 \pm 3,2$ % общей продолжительности занятия.

В заключительной стадии тренировочных занятий, спустя $63,4 \pm 1,9$ % времени от начала работы, необходимость поддержания работоспособности на заданном уровне воспринимается испытуемыми как значительная трудность. При этом несмотря на выраженные признаки утомления велосипедисты еще продолжительное время сохраняют, а в занятиях аэробной направленности даже несколько увеличивают темп педалирования ($p > 0,05$).

Результаты анализа экспериментальных данных свидетельствуют о том, что в период преодолеваемого утомления по сравнению с периодом «устойчивой работоспособности» возрастает (и тем значительнее, чем выше интенсивность работы) суммарная биоэлектрическая активность исследуемых мышц. Причем если в занятиях аэробной направленности биоэлектрическая активность в период преодолеваемого утомления увеличивается всего на 2,5 %, то в занятиях скоростно-силового и анаэробного характера этот показатель возрастает соответственно на 18,4 и 17,7 % ($p < 0,01$).

Исследованиями установлено, что увеличение результирующего сократительного эффекта мышц в движениях велосипедистов в период преодолеваемого утомления независимо от направленности нагрузки определяется разным соотношением и степенью изменений амплитудно-частотных и пространственно-временных характеристик иннервационной структуры сократительной активности мышц. Причем, как свидетельствует анализ взаимосвязи исследуемых характеристик интерференционных электромиограмм, к числу показателей, наиболее вероятно определяющих повышение суммарного биоэлектрического эффекта мышц (коэффициент корреляции 0,60–0,87 при $p < 0,01$) в период преодолеваемого утомления в процессе занятий скоростно-силового и анаэробного характера, могут быть отнесены увеличение амплитуды и в меньшей мере – снижение частоты колебаний биопотенциалов, тогда как ритмовая структура биоэлектрической активности большинства исследуемых мышц, за исключением икроножной, остается без существенных изменений.

Как показали исследования, вовлечение двигательных единиц и синхронизация их активности – не единственный механизм поддержания необходимого двигательного эффекта в условиях снижающейся сократительной функции мышц. В частности, на занятиях аэробной направленности градация силы мышечного сокращения осуществлялась преимущественно в результате изменения ритма активности мотонейронов, что проявилось в увеличении к концу тренировочного занятия частоты колебаний биопотенциалов практически всех исследуемых мышц на 4,0–17,1 % ($p < 0,05$).

Полученные данные свидетельствуют о достоверно выраженных различиях в механизме градации силы мышечного сокращения в период преодолеваемого утомления в занятиях различной направленности. Причем если для работы скоростно-силовой и анаэробной направленности, связанной с проявлением предельных или околопредельных усилий, доминирующим фактором поддержания заданного уровня мышечной активности следует считать способность к рекрутированию в максимально короткое время дополнительных двигательных единиц, то для работы в оптимальном темпе и при оптимальных усилиях ре-

шающее значение приобретает возможность осуществления градуального способа реализации силы, которая тесно коррелирует с динамикой частотных характеристик электромиограмм.

Для понимания механизмов, лежащих в основе выявленных нами компенсаторных перестроек иннервационной структуры сократительной активности мышц в период преодолеваемого утомления, значительный интерес представляет анализ характера межмышечных координационных отношений. Как показали исследования, изменения особенностей межмышечной координации в период преодолеваемого утомления наиболее характерны для работы умеренной интенсивности и менее выражены в занятиях скоростно-силовой и анаэробной направленности. При этом факт высокой переключаемости акцентов активности мышц в период преодолеваемого утомления рассматривается как проявление координационных перестроек в деятельности нервных центров и периферических образований с целью сохранения результирующего динамического компонента педалирования.

Вместе с тем анализ комплексных осциллограмм убеждает в том, что перераспределение уровней мышечной активности вносит существенные изменения в биодинамическую структуру усилий велосипедистов. Чаще всего это проявляется (независимо от направленности тренировочных занятий) в увеличении доли относительного использования горизонтальных составляющих усилий при некотором снижении импульса силы вертикальных усилий. Однако отмеченные различия биодинамической структуры педалирования в период преодолеваемого утомления не вносят принципиальных изменений в характер распределения усилий в цикле движения. Полученные данные скорее свидетельствуют о переходе на биомеханически рациональный способ внутрицикловой динамики усилий, обеспечивающий необходимый уровень эффективности их реализации и, как следствие, поддержание заданной скорости в конце тренировочного занятия.

Работа на фоне преодолеваемого утомления в тренировочных занятиях различной направленности оказывает существенное положительное воздействие на структуру движений спортсменов, естественным образом стимулируя проявление компенсаторных реакций [2]. Наиболее характерным является повышение напряженности функционирования мышц, что выразилось в вовлечении дополнительных двигательных единиц в занятиях скоростно-силовой и анаэробной направленности, усилении частоты импульсации мотонейронов, а также перераспределение активности на уровне отдельных мышц и мышечных комплексов в занятиях, направленных на развитие выносливости к работе аэробного характера. В период преодолеваемого утомления происходит «коррекция» внешних характеристик движений – возрастает значимость так называемых «отстающих» элементов структуры педалирования, а также, что весьма важно, повышается активность использования результирующих усилий велосипедистов. Отмеченные нами изменения в структуре педалирования в период явного утомления свидетельствуют как о снижении сократительной функции мышц, так и о проявлении дискоординации в деятельности нервных центров [6, 11].

По мнению ряда авторов [8, 9, 12, 14], увеличение амплитуды колебаний биопотенциалов и снижение частотных характеристик электромиограммы (как в наших исследованиях) свидетельствует о вовлечении в деятельное состояние дополнительных, ранее не функционировавших двигательных единиц вследствие возросшей эфферентной импульсации и синхронизации их деятельности [4, 7, 13].

Полученные нами данные позволяют предполагать различия в механизмах градации силы мышечных сокращений в период преодолеваемого утомления

при выполнении работы разной мощности [4, 7, 14]. При этом существенным резервом поддержания величины мышечного сокращения при нагрузках максимальной мощности является способность к вовлечению дополнительных двигательных единиц [1, 12], тогда как при работе в оптимальном темпе фактором, определяющим уровень мышечной активности, а также возможность градуального осуществления движений [12, 14] в период преодолеваемого утомления, является дифференцирование ритма возбуждения двигательных единиц.

Высокую переключаемость мышечной активности в условиях различной утомляемости и функциональной неоднозначности мышц в период преодолеваемого утомления следует рассматривать как проявление координационных перестроек в системе взаимоотношения управляющих центров с целью сохранения результирующего динамического компонента работы [3, 5].

Заключение

Сохранение работоспособности на заданном уровне в заключительной стадии тренировочных занятий различной направленности в значительной мере определяется возможностью проявления системы компенсаторных перестроек в структуре двигательных действий квалифицированных велосипедистов. При этом независимо от направленности тренировочной нагрузки к наиболее чувствительным индикаторам, сигнализирующим о наступлении периода утомления, могут быть отнесены изменения режимов сократительной активности мышц. Это выражается прежде всего в увеличении интегрированной биоэлектрической активности, средних и максимальных значений амплитуды колебаний биопотенциалов при относительно стабильной ритмической структуре интерференционных электромиограмм. Причем для занятий скоростно-силовой и анаэробной направленности прирост значений интегрированной электрической активности в период преодолеваемого утомления носит более выраженный характер, чем в занятиях аэробного характера, для которых более информативным диагностическим признаком следует считать перераспределение уровней мышечной активности в цикле педалирования.

Список использованных источников

1. Ambrosini E, Ferrante S, Ferrigno G, Molteni F, Pedrocchi A. Cycling induced by electrical stimulation improves muscle activation and symmetry during pedaling in hemiparetic patients. *IEEE Transaction on Neural Systems & Rehabilitation Engineering*, 2012;20:320–330.
2. Bernstein N. *The Coordination and Regulation of Movement*. Oxford: Pergamon, 1967.
3. Castronovo AM, De Marchis C, Bibbo D, Conforto S, Schmid M, D'Alessio T. Neuromuscular adaptations during submaximal prolonged cycling. *Conf. Proc. IEEE Medicine & Engineering of Biology Society*, 2012:3612–3615.
4. Conforto S, D'Alessio T. Real time monitoring of muscular fatigue from dynamic surface myoelectric signals using a complex covariance approach. *Medicine & Engineering Physiology*, 1999;21:225–234.
5. Dorel S, Drouet JM, Couturier A, Champoux Y. (2009). Changes of pedaling technique and muscle coordination during an exhaustive exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2009;41(6):1277-86.
6. Ericson MO. Mechanical muscular power output and work during ergometer cycling at different workloads and speeds. *European Journal of Applied Physiology & Occupational Physiology*, 1988;57:382-387.
7. Hug F, Dorel S. Electromyographic analysis of pedaling: a review. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 2009;19:182–198.

8. Jorge M, Hull ML. Analysis of EMG measurements during pedaling. Journal of Biomechanics, 1986;19:683-94.
9. Monogarov VD, Bratkovsky VK. Coordination motions of sportsmen in the period of the compensated fatigue during muscular work of cyclic character. Optimization of management by the process of perfection technical trade of sportsmen higher qualification, Kiev, 1979:36-43.
10. Patterson RP, Pearson JL, Fisher SV. The influence of flywheel weight and pedalling frequency on the biomechanics and physiological responses to bicycle exercise. Ergonomics, 1983;26:659-668.
11. Person RS. Electromyography in researches of man. Moscow, Medicine, 1969.
12. Petrofsky JS. Frequency and amplitude analysis of the EMG during exercise on the bicycle ergometer. European Journal of Applied Physiology & Occupational Pyhsiology, 1979;41:1-15.
13. Theurel J, Crepin M, Foissac M, Temprado JJ. Effects of different pedalling techniques on muscle fatigue and mechanical efficiency during prolonged cycling. Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports, 2011;22:714-721.
14. Ting LH, Kautz SA, Brown DA, Zajac FE. Phase reversal of biomechanical functions and muscle activity in backward pedaling. Journal of Neurophysiology, 1999;81:544-551.

01.03.2017

УДК 797.122.3

ОЦЕНКА СИЛОВОЙ ВЫНОСЛИВОСТИ ВЕДУЩИХ ГРУПП МЫШЦ ГРЕБЦОВ-КАНОИСТОВ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОМИОГРАФИИ

Д. А. Лукашевич, магистр пед. наук,

Белорусский национальный технический университет;

И. Ю. Михута, канд. пед. наук, доцент,

УО «Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина»,
Республика Беларусь

Аннотация

В статье изложены проблемы оценки силовой выносливости спортсменов-ребцов. Показана возможность контроля силовой выносливости ведущих групп мышц методом электромиографии при выполнении специальных тестовых заданий на гребных тренажерах. Применение современных мобильных аппаратно-программных средств для диагностики биоэлектрической активности ведущих мышечных групп позволяет объективно и точно оценить уровень развития силовой выносливости спортсменов, специализирующихся в гребном спорте. В результате проведенного исследования выявлена динамика биоэлектрической активности мышц при выполнении соревновательного упражнения в различных тренировочных режимах и при разных степенях утомления.

EVALUATION OF THE STRENGTH ENDURANCE OF THE LEADING GROUPS OF MUSCLE OF CANOEISTS USING ELECTROMYOGRAPHY METHOD

Annotation

The article develop the problems of the evaluation of the strength endurance of rowers. The possibility of controlling the strength endurance of the leading muscle