

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

НАУКА. ИННОВАЦИИ. ТЕХНОЛОГИИ, № 1, 2017

УДК 612.178;
796 :61 (075.8)

Коломиец О.И. [Kolomietc O.],
Петрушкина Н.П. [Petrushkina N.],
Быков Е.В. [Bykov E.]

ОСОБЕННОСТИ МЕТАБОЛИЧЕСКИХ АДАПТАЦИОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ

**Features of metabolic adaptive changes
in various physical activities**

Цель исследования состояла в оценке метаболических изменений при различных стратегиях адаптации к физической нагрузке. Обследованы две группы спортсменов: спортсмены высокой квалификации (основная группа) и спортсмены, занимающиеся тхэквондо рекреационного характера (контрольная группа). В процессе тренировки для измерения и оценки показателей, характеризующих механизмы энергообеспечения двигательной деятельности спортсменов, использовали мониторинг Firstbeat-bodyguard. Выявлены особенности потребления кислорода и энергообмена в зависимости от степени тренированности. Полученные результаты подтверждают влияние уровня подготовленности спортсмена на характер течения адаптационных процессов, а также эффективность неинвазивных мониторинговых исследований, позволяющих вести постоянный контроль за функциональным состоянием спортсмена.

The aim of the study was to assess metabolic changes in different strategies of adaptation to physical load. The study included two groups of sportsmen: sportsmen of high qualification (major group) and athletes engaged in Taekwondo recreational nature (control group). In the process of training for measuring and evaluation of the indicators characterizing the mechanisms of energy supply of motive activity of sportsmen, used monitoring Firstbeat-bodyguard. The peculiarities of oxygen consumption and energy metabolism depending on the degree of fitness. The obtained results confirm the influence of the level of preparedness of the athlete on the nature of the flow adaptation processes, and the effectiveness of non-invasive monitoring studies that allow for constant monitoring of the functional state of the athlete.

Ключевые слова: спортсмены, метаболизм, энергообмен, адаптация, Firstbeat-мониторинг.

Key words: athletes, metabolism, energy metabolism, adaptation, Firstbeat-monitoring.

ВВЕДЕНИЕ

Повышение эффективности спортивной деятельности и снижение вероятности возникновения перетренированности обусловлены, прежде всего, корректной организацией тренировочного процесса. Характер адаптации к физической нагрузке связан со спецификой, направленностью и степенью выраженности биохимических и функциональных изменений, возникающих при систематической мышечной работе [9, 10, 11].

Нейроэндокринная регуляция, изменяя метаболические адаптационные процессы на различных этапах подготовки спортсмена, определяет сценарий адаптации в каждом конкретном случае. При этом для оценки метаболизма традиционно используют оценку различных биохимических и гормональных показателей [8]. Сложность выполнения таких исследований обусловлена инвазивностью, регистрацией этих показателей в различные моменты времени, применением специального оборудования и дорогостоящих реактивов и т.д.

В настоящее время внимание исследователей обращено к мониторинговым аппаратным (неинвазивным) исследованиям, которые позволяют непрерывно (ежесекундно) фиксировать функциональные изменения в основных системах жизнеобеспечения не только во время тренировки, но и в период позднего восстановления. На основе круглосуточного наблюдения оценивается характер адаптации к конкретной мышечной работе, выявляются «слабые места» спортсмена, прогнозируется успешность его деятельности и своевременно корректируются как тренировочный процесс, так и программа восстановления [2, 3]. Эти положения определяют актуальность и новизну проведенного исследования.

Цель исследования заключалась в оценке особенностей метаболических адаптационных изменений при различных мышечных нагрузках в тхэквондо на основе мониторинга физиологических показателей.

ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Эксперимент был проведен в соответствии с положениями Хельсинской Декларацией этических принципов для исследований с участием людей. На проведение исследования было получено этическое разрешение в Комитете по этике УралГУФК. Испытуемые подписали письменное согласие на добровольное участие в исследовании. Они были информированы о цели исследования, используемых методиках и предупреждены о рисках и преимуществах данного проекта.

Для оценки метаболических изменений при различных стратегиях адаптации к физической нагрузке были сформированы две группы спортсменов - тхэквондистов, однородных по возрасту и антропометрическим показателям. Средние значения возраста составили $19,7 \pm 0,81$ года, длины тела – $177,3 \pm 6,2$, массы тела – $66,1 \pm 2,11$ кг.

Спортсмены высокой квалификации (20 человек) объединены в основную группу. Контрольная группа представлена 20 спортсменами, занимающимися тхэквондо рекреационного характера.

Протокол исследования [7] предусматривал специальные физические нагрузки во время утренней и вечерней тренировок и регистрацию метаболических адаптационных изменений на протяжении занятия (60 минут).

Мониторинг осуществляли с использованием Firstbeat-bodyguard (Firstbeat-Technology-Ltd, Ювяскюля, Финляндия). Полученные данные были проанализированы с помощью соответствующего программного обеспечения “Firstbeat-sport” (версия 5.3.0.4).

Проведена оценка устойчивости к гипоксии (уровень потребления кислорода), характера и уровня метаболизма (метаболический эквивалент, общий энергетический обмен, в том числе отдельно – за счет углеводов и жиров).

Полученные данные были подвергнуты традиционной статистической обработке: расчет средних, ошибок средних, сравнение средне-групповых значений по критерию Стьюдента [1]. Различия считали статистически значимыми при значении $t > 1,96$ (уровень достоверности – 95%).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследования представлены в таблице 1. Как следует из этих данных, максимальное потребление кислорода в основной группе оказалось достоверно ниже, чем в контрольной, соответственно: $68 \pm 1,26$ мл/кг/мин и $79 \pm 1,38$ мл/кг/мин ($t = 5,89$). Этот факт свидетельствует о более высоком уровне тренированности квалифицированных спортсменов по сравнению с лицами, у которых тренировочный процесс носил рекреационный характер, и соответственно о лучшей адаптации к мышечным нагрузкам.

Поскольку сценарий адаптации к мышечным нагрузкам определяется уровнем метаболизма, анализу подвергли такие показатели как: метаболический эквивалент (эквивалент обмена веществ) и общий энергообмен, в том числе отдельно за счет углеводов и жиров.

Уровни метаболического эквивалента, рассчитанные в мл/кг/мин/3,5, достоверно не различались (табл. 1), составляя в основной группе – $21,5 \pm 1,12$ и $19,9 \pm 0,21$ – в контрольной группе ($t = 1,40$), то есть спортсмены обеих групп при выполнении мышечной работы вне зависимости от ее характера реализовали физические возможности в одинаковой степени.

Далее были рассмотрены такие значимые характеристики, как показатели общего энергообмена и отдельно энергообмена за счет углеводов и жиров (табл. 1). Общий энергообмен в основной группе оказался значимо ниже, чем в контрольной группе (рекреационный характер тренировки): $366 \pm 9,9$ ккал против $578 \pm 11,2$ ккал ($t = 14,18$), что также подтверждает лучшую адаптацию квалифицированных спортсменов к реализованным в процессе тренировки мышечным нагрузкам.

Хотя в обеих группах показатели энергообмена за счет углеводов и жиров были однонаправлены, установлены статистически значимые различия между группой спортсменов, занимавшихся по рекреационной программе, и

Таблица 1. ПОКАЗАТЕЛИ МЕТАБОЛИЧЕСКОЙ СТОИМОСТИ ТРЕНИРОВКИ ОБСЛЕДОВАННЫХ СПОРТСМЕНОВ

Показатели	Группы, М ± m, значение критерия Стьюдента		
	контрольная	основная	t*
Максимальное потребление кислорода, мл/кг/мин	62 ± 1,26	79 ± 1,38	5,89
Метаболический эквивалент, мл/кг/мин/3,5	21,1 ± 1,12	19,9 ± 0,21	1,40
Общий энергообмен, ккал,	578 ± 11,2	366 ± 9,9	14,18
в том числе:			
за счет углеводов, в % от общего энергообмена	68,9 ± 1,76	55,7 ± 0,99	6,54
за счет жиров, в % от общего энергообмена	31,1 ± 1,25	44,3 ± 0,63	9,43

* — различия статистически значимы при значении $t > 1,96$ (95% уровень значимости).

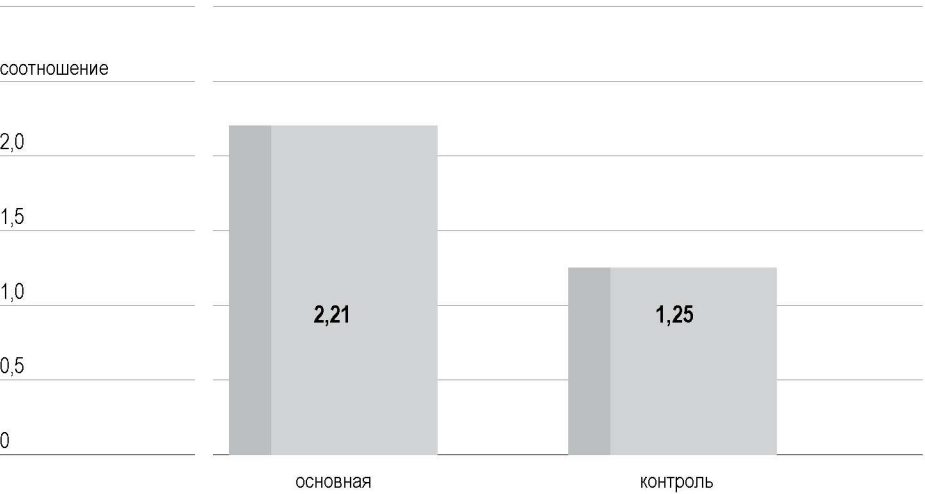


Рис. Соотношение обменных процессов «углеводы / жиры» в обследуемых группах спортсменов.

группой квалифицированных спортсменов. Так, общий энергообмен за счет углеводов в основной группе составил $68,9 \pm 1,76\%$ от общего энергообмена, в контрольной – $55,7 \pm 0,99\%$ ($t = 6,54$). В основной группе энергообмен за счет жиров оказался достоверно выше, чем в контрольной группе, соответственно: $44,3 \pm 0,63\%$ и $31,1 \pm 1,25$ и ($t = 9,43$).

Вследствие таких особенностей соотношение обменных процессов «углеводы / жиры» в основной группе было равным 2,21, а в контрольной – 1,25 (рисунок). Установленные различия свидетельствуют о различных сценариях адаптации к мышечной нагрузке обследованных спортсменов.

Известно, что адаптация к факторам окружающей среды может быть достигнута за счет использования механизмов двух полярных стратегий: резистентная и толерантная [4].

Резистентная стратегия направлена на активное преодоление организмом действия экстремального раздражителя, что обеспечивается максимизацией функций, усилением основного обмена и катаболических процессов. Это приводит к истощению резервов организма и срыву адаптации.

В случае реализации адаптационных механизмов по сценарию толерантной стратегии увеличивается устойчивость к стрессорным воздействиям, гипоксии и наблюдается экономизация основных функций на всех уровнях организации [5, 10].

Толерантная стратегия адаптации к нагрузкам сопровождается изменением физиологических характеристик состояния человека, а именно уменьшением потребления кислорода и снижением энергетических затрат при одинаковом метаболическом эквиваленте нагрузки. Таким образом, полученные в ходе проведенного исследования результаты подтверждают влияние уровня подготовленности спортсмена на характер течения адаптационных процессов.

Организация тренировочного процесса направлена, в конечном счете, на повышение эффективности спортивной деятельности, что в свою очередь обусловлено комплексом физиологических изменений, обеспечивающих оптимальный сценарий адаптации к мышечным нагрузкам. Реализация этого сценария определяется направленностью и выраженностью физиологических трансформаций и биохимических реакций [6, 13].

При выполнении физической нагрузки максимальное потребление кислорода и метаболический эквивалент отражают максимальные аэробные возможности спортсмена и соответственно максимальную реализацию уровня физических возможностей [12].

При оценке особенностей метаболических адаптационных изменений, регистрируемых в процессе постоянного мониторинга, нами были выявлены некоторые особенности, связанные со спецификой мышечных нагрузок.

Эти различия касались таких показателей как: максимальное потребление кислорода, уровень общего энергообмена и отдельно энергообмена за счет углеводов и жиров. При этом уровни метаболического эквивалента, рас-

считанные для квалифицированных спортсменов и для спортсменов, занимающихся по рекреационной программе, достоверно не различались. Эти факты подтверждают влияние специфики тренировочного процесса на характер адаптации к мышечным нагрузкам.

Обращает на себя внимание факт значительного превышения общего энергообмена в основной группе и большой вклад в него утилизации жиров, что также объясняется особенностями регуляции висцеральных систем и, соответственно, сценарием адаптации.

Ранее при исследовании особенностей метаболизма спортсменов в период сна под воздействием восстановительных мероприятий [3] было выявлено не только преобладание процессов восстановления, но и улучшение качества сна. Более выраженное вагусное влияние в период сна, зарегистрированное в этой работе было подтверждено высоким индексом восстановления, низкими значениями минимальной и максимальной частоты сердечных сокращений, а также показателей потребления кислорода и особенностями энергообмена, зафиксированного во время сна.

Поскольку именно при выполнении физической нагрузки максимальное потребление кислорода и метаболический эквивалент отражают максимальные аэробные возможности спортсмена и соответственно максимальный уровень физических возможностей, мы посчитали оценку этих показателей в ночное время и при восстановлении в этот период малоинформативной. Апробированная программа восстановления продемонстрировала более высокий *уровень* энергообмена за счет жиров.

Эти данные, а также результаты, полученные в настоящем исследовании, по-видимому, могут быть далее использованы для разработки методик «сгонки веса» спортсменов, необходимой в предсоревновательном и соревновательном периоде подготовки. При этом оценка физиологических и метаболических показателей будет сопоставлена с величиной потери массы тела, а также с сохранением спортивной формы и соревновательной эффективностью.

ВЫВОДЫ

Выявленные в ходе исследования различия изученных показателей свидетельствуют о различных сценариях адаптации к мышечной нагрузке обследованных спортсменов высокой квалификации и спортсменов, занимающиеся тхэквондо рекреационного характера.

1. Высокий уровень тренированности квалифицированных спортсменов подтвержден достоверно более низким показателем максимального потребления кислорода в основной группе, что доказывает факт лучшей адаптации мышечным нагрузкам.

2. Отсутствие достоверных различий между группами по уровню метаболического эквивалента, зарегистрированного при выполнении мышечной работы, свидетельствует о том, что спортсмены обеих групп вне зависимости от ее характера реализовали физические возможности в одинаковой степени.
3. Особенности энергообмена (общий энергетический обмен, отдельно – за счет углеводов и жиров, и соотношение обменных процессов «углеводы/жиры») также подтвердили лучшую адаптацию квалифицированных спортсменов к реализованным в процессе тренировки мышечным нагрузкам.
4. Результаты проведенного исследования доказывают эффективность неинвазивных мониторинговых исследований, которые позволяют вести постоянный контроль функционального состояния спортсмена (не только во время тренировки, но и в различные периоды после нее). Полученная при этом информация может быть использована для внесения коррекции в тренировочный процесс и программу восстановительных мероприятий, а далее для оценки эффективности этой коррекции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика. Основы моделирования и первичная обработка данных. М.: Финансы и статистика, 1983. 471 с.
2. Быков Е.В., Коломиец О.И. Совершенствование методов контроля за тренировочным процессом на основе современных информационных технологий // Теория и практика физической культуры. 2016. №5. С. 59-61.
3. Коломиец О.И., Быков Е.В., Петрушкина Н.П. Синхронизированное музыкальное воздействие как средство восстановления

- спортсменов // Педагогико-психологические и медико-биологические проблемы физической культуры и спорта. 2017. Т. 123. №1. С. 7-14.
4. Кулинский В.И., Ольховский И.А. Две адаптационные стратегии в неблагоприятных условиях – резистентная и толерантная. Роль гормонов и рецепторов // Успехи современной биологии. 1992. Вып. 56. С. 697–714.
 5. Макунина О.А., Коломиец О.И., Петрушкина Н.П. Заболеваемость и вегетативный статус студентов-первокурсников как показатели стратегии адаптации к обучению в высших учебных заведениях // Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта. 2015. № 1 (119). С. 97-104.
 6. Мищенко И.А., Кашкаров В.А. Контроль особенностей адаптации высококвалифицированных тхэквондистов к тренировочным нагрузкам в условиях среднегорья // Физическая культура и здоровье. 2015. № 4. С. 56–61.
 7. Никитин И., Коломиец О.И., Быков Е.В. Анализ восстановления спортсменов высшей категории, основанный на вариабельности сердечного ритма: обзор метода анализа восстановления // Материалы IV Международного конгресса «Проблемы физического образования: содержание, направленность, методика, организация». Челябинск, 2015. Т. 1. С. 646–652.
 8. Никулин Б.А. Клинико-лабораторные показатели в системе медико-биологического контроля за спортсменами // Спортивная медицина: национальное руководство / под ред. акад. РАН и РАМН С.П. Миронова, проф. Б.А. Поляева, проф. Г.А. Макаровой. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2012. С. 281–313.
 9. Пономарев В.А., Петрушкина Н.П. Физиологические основы спортивной деятельности // Уральская академия- Челябинск, 2014. 60 с.
 10. Цейликман В.Э., Цейликман О.Б., Синицкий А.И. и др. Биохимические стратегии адаптации в условиях хронического стресса // Человек. Спорт. Медицина. Издательство: Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет). Челябинск. 2008. № 4 (104). С. 56-57.
 11. American College of Sports Medicine. ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription, 7th ed. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins, 2015: 289.
 12. Borsheim E., Bahr, R. Effect of exercise intensity, duration and mode on post-exercise oxygen consumption. Sports Med. 2003. 33. P. 1037–1060.
 13. Brendan Egan, Juleen R. Zierath. Exercise Metabolism and the Molecular Regulation of Skeletal Muscle Adaptation. 2013. Vol. 17. Issue 2. P. 162–184. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cmet.2012.12.012>

REFERENCES

1. Ayvazyan S., Anyukov I., Meshalkin L. Prikladnaya statistika. Osnovy modelirovaniya i pervichnaya obrabotka dannyh (Applied statistics. Fundamentals of modelling and primary data processing). M.: Finance and statistics, 1983.
2. Bykov E.V., Kolomietc O. Sovershenstvovanie metodov kontrolya za trenirovochnym processom na osnove sovremennyh informacionnyh tehnologiy (Improvement of methods of control over the training process based on modern information technology) // Theory and practice of physical culture. 2016. № 5. P. 59-61.
3. Kolomietc O., Bykov E., Petrushkina N. Sinhronizirovannoe muzykal'noe vozdeistvie kak sredstvo vosstanovleniya sportsmenov (Synchronized musical influence as a means of recovery of sportsmen) // Pedagogical-psychological medico-biological problems of physical culture and sports). 2017. T. 123. № 1. P. 7-14.
4. Kulinskiy V., Olkhovsky I. Dve adaptacionnye strategii v neblagopriyatnyh usloviyah – rezistentnaya i tolerantnaya. Rol' gormonov i receptorov (Two adaptive strategies in adverse conditions – resistant and tolerant. The role of hormones and receptors) // Successes of modern biology. 1992. Vol. 56. P. 697-714.
5. Makunina O. A., Kolomietc O., Petrushkina N. Zabolevaemost' i vegetativniy status studentov-pervokursnikov kak pokazateli strategii adaptacii k obucheniyu v vysshih uchebnyh zavedeniyah (The incidence and vegetative status of first-year students as indicators of the strategy of adaptation to training in higher educational institutions) // Scientific notes of University named after P. F. Lesgaft, 2015. N 1 (119). S. 97-104.
6. Mishchenko I., Kashkarov V. Kontrol' osobennostey adaptacii vysokokvalificirovannyh tkhekvondistov k trenirovochnym nagruzkam v usloviyah srednegoria (Control features of adaptation of highly skilled athletes to training loads in the mountains) // Physical culture and health. 2015. N 4. P. 56-61.
7. Nikitin I., Kolomietc O., Bykov E. Analiz vosstanovleniya sportsmenov vysshey kategorii, osnovanniy na variabel'nosti serdechnogo ritma: obzor metoda analiza vosstanovleniya (Analysis of recovery of athletes of the highest category, based on heart rate variability: a review of the method of analysis recovery) // Proceedings of the IV International Congress "Problems of physical education: content, focus, methodology, organization"/ Chelyabinsk. 2015. Vol. 1. P. 646-652.
8. Nikulin B. Kliniko-laboratornye pokazateli v sisteme mediko-biologicheskogo kontrolya za sportsmenami // Sportivnaya medicina: nacional'noe rukovodstvo (Clinical and laboratory parameters in the

- system of medico-biological control in athletes) // Sports medicine: the national manual / ed. RAS and RAMS, S.P. Mironov, Professor B.A. Polyayev, Professor G.A. Makarova. M.: GEOTAR-Media, 2012. P. 281–313.
9. Ponomarev V., Petrushkina N. Fiziologicheskie osnovy sportivnoy deyatel'nosti (Physiological bases of sports activity) // Ural Academy. Chelyabinsk, 2014. 60С
 10. Tseilikman V. E., Zelikman.B., Sinitsky A. I. Biohimicheskie strategii adaptatsii v usloviyah hronicheskogo stressa (Biochemical adaptation strategies under conditions of chronic stress) // Man. Sport. Medicine Publisher: South-Ural state University (national research University). Chelyabinsk., N 4 (104) 2008. P. 56-57.
 11. The American College of sports medicine. The ACSM guidelines for testing and prescription, 7th / Ed. Philadelphia, PA: Lippincott Williams and Wilkins. 2015: 289.
 12. Borsheim E., Bahr R. Effect of exercise intensity, duration and mode post-workout oxygen consumption // Sports Med. 2003. 33. P. 1037-1060.
 13. Brendan Egan, Juleen R. Zierath. The exercise metabolism and the molecular mechanisms regulating adaptation of skeletal muscles. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cmet.2012.12.012>. 2013. Vol. 17. Issue 2. P. 162–184.