

МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СПОРТА

ОСОБЕННОСТИ БИОХИМИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ К НАГРУЗКАМ РАЗЛИЧНОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ БИАТЛОНИСТОВ ВЫСОКОЙ КВАЛИФИКАЦИИ

И.Л. РЫБИНА,
Республиканский научно-практический центр спорта,
Республика Беларусь;
Е.А. ШИРКОВЕЦ,
ФГБУ ФНЦ ВНИИФК

Аннотация

В статье представлены результаты изучения процесса адаптации организма спортсменов высокой квалификации к тренировочным нагрузкам различной направленности с использованием данных биохимического контроля на примере 8 биатлонисток.

Выявлены различия в динамике основных биохимических показателей под влиянием физических нагрузок разной направленности. Показаны диапазоны изменения активности креатинфосфокиназы, концентрации мочевины и кортизола в зависимости от направленности физических нагрузок. Полученные данные позволяют оценить переносимость нагрузок различной направленности.

Ключевые слова: физические нагрузки, высококвалифицированные спортсмены, биохимический контроль, энергообеспечение мышечной деятельности.

Abstract

This article presents results of study of elite athletes adaptation to different training loads, using data of biochemical control of 8 biathletes. We estimated differences in trend of biochemical tests under physical loads of various kinds. Ranges of changes in creatinekinase, urea and cortisol level by different training loads were shown. The obtained data allow us to estimate tolerability different loads.

Key words: physical exercise, biathlon, elite athletes, biochemical control, energetics of muscular activity.

Введение

Ключевым моментом эффективного управления тренировочным процессом в циклических видах спорта является индивидуализация тренировочных программ с учетом реакции организма спортсменов на нагрузки. Анализ срочных тренировочных эффектов позволяет прогнозировать изменение работоспособности спортсменов в соответствии с объемом, интенсивностью, направленностью и динамикой физических нагрузок. В настоящее время в системе медико-биологического обеспечения процесса подготовки спортсменов циклических видов спорта используется широкий перечень биохимических тестов [1, 4, 5]. Выбор биохимических маркеров определяется спецификой вида спорта и отражает реакцию организма на выполняемые тренировочные нагрузки.

Основной задачей биохимического контроля тренировочного процесса является оценка динамики адаптационных процессов организма спортсменов к высокоинтенсивной физической деятельности. Принципиально

важным является изучение характера воздействия на организм спортсменов тренировочных нагрузок разной направленности. Целесообразно использовать показатели, которые дают информацию о срочном эффекте нагрузки, а также о характере и продолжительности восстановления функций организма после выполненной нагрузки [2, 7, 8, 10].

Информативными и часто применяемыми биохимическими критериями переносимости тренировочных нагрузок являются содержание мочевины, креатинфосфокиназы (КФК) и кортизола в периферической крови [2, 7, 9, 11]. Вместе с тем в специальной литературе недостаточно данных о динамике вышеуказанных показателей с учетом направленности и объема тренировочных нагрузок.

Цель данного исследования – изучить процесс адаптации организма спортсменов высокой квалификации к тренировочным нагрузкам различной направленности с использованием данных биохимического контроля.



Материалы и методы исследований

Под наблюдением находились 8 биатлонисток высокой квалификации, которые входили в состав национальной сборной команды. Исследования проводились в процессе тренировок в течение подготовительного периода. Обследуемые спортсменки выполняли по две тренировочные сессии в течение дня. В основной тренировке решались задачи тренировочного цикла, вторая тренировка всегда была аэробной направленности. В процессе работы анализировались 4 группы тренировочных нагрузок: с интенсивностью на уровне аэробного порога (АП) продолжительностью 2–2,5 ч; на уровне анаэробного порога (АнП) продолжительностью 35–40 мин; нагрузок гликолитической направленности с продолжительностью 20–25 мин; тренировок силовой направленности с общей продолжительностью 1–1,5 ч.

Забор крови для определения мочевины, КФК и кортизола осуществляли утром натощак и после окончания вечерней тренировки для определения суммарного адаптационного сдвига в течение тренировочного дня. Обработаны результаты биохимического мониторинга 180 тренировок различной направленности. В качестве

критерия оценки интенсивности циклической нагрузки в различных зонах энергообеспечения использовалось содержание лактата периферической крови, которое определялось несколько раз в течение тренировки.

Проведен сравнительный анализ динамики биохимических изменений при описанных выше четырех типах тренировочных нагрузок. Статистическая обработка данных проводилась с применением пакета прикладных программ *Statistica*. Для анализа использовались также методы описательной статистики и сравнительный критерий Манна-Уитни.

Результаты

Результаты сравнительного анализа динамики биохимических показателей под влиянием тренировочных нагрузок различной направленности представлены в табл. 1.

Постнагрузочные значения активности КФК, концентрации мочевины и кортизола и их изменение в ходе тренировочных нагрузок различной направленности варьировались в широких пределах. Анализ статистического распределения значений постнагрузочного содержания мочевины позволяет оценить индивидуальные

Таблица 1

Сравнительный анализ динамики биохимических показателей под влиянием тренировочных нагрузок различной направленности у биатлонисток высокой квалификации ($\bar{X} \pm \sigma$)

Показатель	Виды тренировочных нагрузок			
	1-я группа	2-я группа	3-я группа	4-я группа
	АП (n = 53)	ПАНО (n = 66)	Гликолитическая (n = 16)	Силовая (n = 45)
Лактат, ммоль/л	2,09±0,75	4,02±1,09	9,81±1,55	–
Мочевина до нагрузки, ммоль/л	5,25±1,22	5,22±1,18	5,14±0,91	5,03±1,04
Мочевина после нагрузки, ммоль/л	6,78±1,20* ⁴	6,73±1,44	6,43±1,18	6,23±1,05* ¹
Изменение мочевины, ммоль/л	1,54±1,02	1,50±0,84	1,29±0,78	1,41±0,92
Изменение мочевины, %	32,4±23,6	30,5±18,9	25,8±18,0	31,9±22,5
КФК (до нагрузки), ед./л	178,7±132,6	138,7±83,0	140,6±88,0	173,7±139,6
КФК (после нагрузки), ед./л	246,0±160,7	210,4±115,1	215,5±113,2	308,4±245,9
Изменение КФК, ед./л	67,3±69,9* ⁴	71,7±56,1* ⁴	74,9±55,1* ⁴	134,7±155,5* ^{1, 2, 3}
Изменение КФК, %	49,9±50,8* ⁴	58,3±44,4	59,5±46,1	97,7±81,0* ¹
Кортизол (до нагрузки), нмоль/л	557,3±166,7	536,9±185,9	601,3±197,9	618,5±55,1
Кортизол после нагрузки, нмоль/л	271,2±91,4	263,3±91,4	301,9±108,4	350,5±133,2
Изменение кортизола, нмоль/л	– 286,1±209,7	– 273,6±199,6	– 299,4±215,6	– 268,0±86,7
Изменение кортизола, %	– 49,2±25,8	– 45,8±26,2	– 49,7±27,2	– 44,4±17,9

* Различия достоверны с соответствующей группой, $P < 0,05$.



вариации данного показателя после выполнения нагрузок соответствующей направленности. Динамика данного параметра отражает степень вовлечения белковых структур в процессы метаболизма и степени активации катаболических процессов. Следует отметить, что в процессе исследования нами были минимизированы факторы влияния питания на определяемые показатели, поскольку спортсменки вели дневники питания. В них оценивалось количество потребляемых белков, которое было относительно постоянным. Оно незначительно варьировалось в зависимости от характера тренировок и не превышало 1,6–1,8 г/кг массы тела.

На рис. 1 представлены границы вариаций содержания мочевины в интервале 25–75%, а также среднegrupповые, максимальные и минимальные значения данного показателя в исследуемых выборках. Представление данных таким образом наиболее информативно с точки зрения оценки вариативности диапазона биологического воздействия тренировочных и соревновательных нагрузок на организм спортсменов [6].

Если рассматривать динамику средних величин и вариаций содержания мочевины в диапазоне 25–75%, то можно выделить тенденцию к увеличению данного показателя после тренировок, направленных на развитие аэробного компонента энергообеспечения. Данные статистической обработки свидетельствуют о достоверно более высокой постнагрузочной концентрации мочевины после выполнения длительной аэробной работы на уровне аэробного порога, по сравнению с тренировкой силовой направленности ($P < 0,05$).

Наибольшие максимальные значения постнагрузочной концентрации мочевины также отмечались после проведения тренировок аэробной направленности. Постнагрузочные значения мочевины после тренировок на уровне АП варьировались от 4,03 до 10,1 ммоль/л, а прирост этого показателя наблюдался в диапазоне величин от 0,34 до 4,16 ммоль/л (от 6,8 до 100%). Тренировка на уровне АП вызывала наибольший прирост содержания мочевины как в абсолютных, так и в относительных значениях.

Значительный прирост концентрации мочевины отмечался также при проведении тренировок с интенсивностью на уровне АП, после которых постнагрузочные значения находились в пределах 4,06–11,1 ммоль/л. Наименьшее изменение мочевины наблюдалось при проведении скоростных или силовых тренировок. При этих типах тренировочных нагрузок у отдельных спортсменок вообще не отмечалось постнагрузочное увеличение данного показателя. В ряде случаев постнагрузочные значения мочевины превышали физиологические значения популяционных норм (2,8–8,3 ммоль/л).

Динамика активности фермента КФК под влиянием тренировки различной направленности отражает диапазоны изменений активности данного фермента и характеризуется значительной индивидуальной вариативностью (рис. 2). Следует обратить внимание, что скорость выхода фермента КФК в кровь, обусловленная повышением проницаемости клеточных мембран, индивидуальна и максимальные значения могут быть достигнуты значительно позже времени его определения.

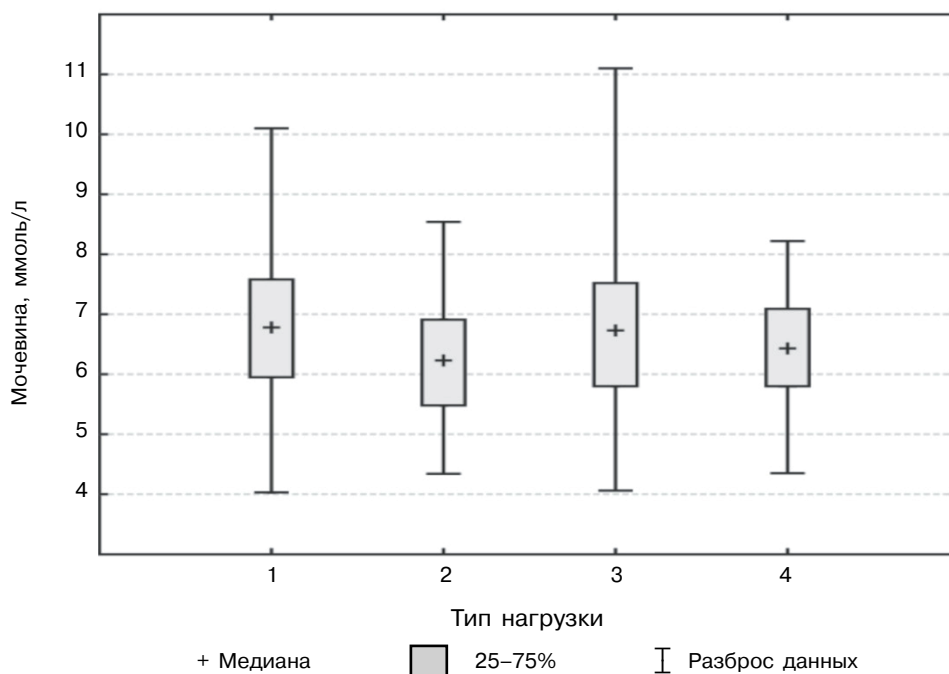


Рис. 1. Содержание мочевины в периферической крови биатлонисток после выполнения нагрузок различной направленности (1 – нагрузка на уровне АП; 2 – силовая; 3 – нагрузка на АП; 4 – нагрузка гликолитической направленности)



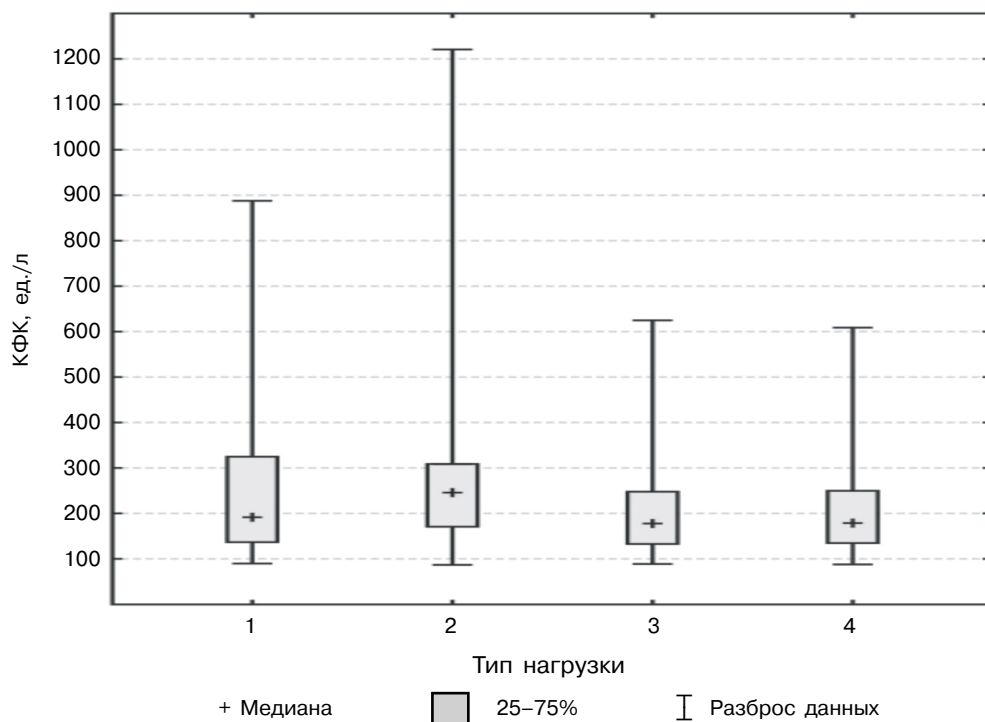


Рис. 2. Содержание КФК в периферической крови биатлонисток после выполнения нагрузок различной направленности (1 – нагрузка на уровне АП; 2 – силовая; 3 – нагрузка на АП; 4 – нагрузка гликолитической направленности)

После нагрузки на уровне аэробного порога значения вышеуказанного фермента варьировались от 90 до 880 ед./л, ПАНО – 89–695 ед./л, гликолитической направленности – 105–515 ед./л. Наибольшие значения активности КФК выявлялись после силовой тренировки и находились в пределах 87–1221 ед./л. Здесь следует отметить, что усредненные значения сравнительно мало отличались при различных типах тренировочной деятельности, тогда как крайние величины варьировали в значительных пределах.

Наибольшие средние значения абсолютного прироста КФК (в ед./л) наблюдались после тренировок силовой направленности, которые достоверно отличались от соответствующих изменений при других режимах тренировочных нагрузок ($P < 0,05$). Оценка относительного увеличения активности КФК (в %) выявила подобную тенденцию, и данные значения могут быть использованы в качестве ориентиров при оценке степени активации креатинфосфатной реакции после тренировок различной направленности. Средние значения прироста КФК после силовой тренировки свидетельствуют об увеличении КФК практически в 2 раза.

Изменения кортизола в зависимости от направленности тренировочной нагрузки варьировались в широких пределах. В отношении данного показателя, который отражает стрессорность анализируемых вариантов тренировочных нагрузок, не выявлено статистически значимых различий. Тренд концентрации кортизола, по-видимому, обусловлен в значительной степени циркадным измене-

нием данного показателя [3] и не обладает необходимой информативностью в выбранной в данном исследовании схеме биохимического мониторинга.

Обсуждение

Характер метаболической адаптации к нагрузкам различной направленности определяется особенностями механизма энергообеспечения и путей ресинтеза АТФ, которые задействованы в процессе соответствующего тренировочного занятия. Энергообеспечение тренировочных нагрузок при интенсивности на уровне аэробного порога осуществляется за счет окисления липидов и углеводов. При длительной работе данной интенсивности углеводные запасы истощаются, и возникает потребность в вовлечении в энергообмен белковых структур. В этом случае глюконеогенез сопровождается образованием в качестве побочного продукта аммиака, который в процессе реакций орнитинового цикла в печени превращается в мочевину.

При тренировках на уровне ПАНО в энергообеспечение включаются углеводы как в аэробном, так и частично в анаэробном процессах. Углеводные энергетические ресурсы организма ограничены, пополнение запасов углеводов происходит главным образом за счет белков, и возрастание уровня мочевины в нагрузочный и постнагрузочный период отражает адаптационные механизмы восполнения запасов углеводов из белковых структур. Повышение уровня мочевины при тренировках на уровне АП и АП свидетельствует о том, что дина-



мика содержания мочевины в крови является одним из информативных показателей для мониторинга тренировок аэробной направленности. Он позволяет оценить реакцию организма на тренировочные нагрузки, адекватность применяемых нагрузок, а также скорость восстановления организма спортсменов в тренировочных микроциклах.

При проведении тренировок скоростной направленности ведущим механизмом энергообеспечения является анаэробный распад глюкозы. Преодоление отрезков дистанции с высокой скоростью не вызывает выраженного увеличения содержания мочевины, так как при этом накопленные углеводно-энергетические ресурсы расходуются в меньшей степени и потребность в покрытии их дефицита за счет белковых структур менее актуальна. Аналогичным образом менее значительный прирост мочевины наблюдается в случае тренировок с силовым компонентом. Вместе с тем при физических нагрузках данной направленности частично происходит распад мышечных белков, приводящий к образованию свободных аминокислот, которые далее дезаминируются, выделяя аммиак.

При выполнении тренировок силовой направленности образование энергии в алактатной системе происходит при расщеплении богатых энергией фосфатных соединений – АТФ и креатинфосфата. Реакция расщепления креатинфосфата стимулируется ферментом креатинфосфокиназой. В зависимости от направленности тренировочных нагрузок выход фермента в кровь из клетки может быть обусловлен различными причинами, главными из которых являются механические повреждения мышц, индуцированные физической нагрузкой, и метаболический стресс, обусловленный образованием свободных радикалов в процессе тренировки. По-видимому, в процессе тренировки силовой направленности значительный рост КФК обусловлен, в первую очередь, причинами механического характера в комплексе с повреждением клеточных мембран метаболического характера. При других видах тренировки наиболее вероятен метаболический компонент, а рост активности КФК сказывается в меньшей степени.

Определение активности КФК в сыворотке крови после нагрузок силовой направленности имеет большое

диагностическое значение для оценки появления мышечных микротравм или растяжений мышц. Высокие значения активности КФК у спортсменов на фоне отдыха дают основание для полного диагностического обследования состояния мышц для выявления скрытых мышечных проблем, вызванных тренировочными нагрузками на фоне пролонгированного утомления. Это также является основанием для снижения интенсивности тренировочных нагрузок с целью обеспечения адекватного восстановления мышц. Активность КФК характеризуется большой индивидуальной вариативностью и зависит от уровня тренированности спортсмена, мышечной массы, типа мышечных волокон, кинетики элиминации КФК из сыворотки крови после окончания тренировочных нагрузок и других факторов.

Практическая ценность мониторинга активности КФК в тренировочном процессе заключается в том, что, используя динамику данного фермента под влиянием физических нагрузок, можно подобрать упражнения различного характера и интенсивности, не вызывающие негативных процессов в мышечной ткани.

Заключение

Оценка переносимости тренировочных нагрузок различной направленности основана на выявлении критериев изменения того или иного биохимического показателя под влиянием активации соответствующего механизма энергообеспечения. Разработка таких критериев позволяет оценить индивидуальную переносимость нагрузок и избегать перенапряжения соответствующих систем энергообеспечения мышечной деятельности.

Различие постнагрузочных величин биохимических показателей при различных типах нагрузок в значительной степени отражает процессы, связанные с механизмами энергообеспечения выполняемых нагрузок. Более значительные сдвиги в содержании мочевины при нагрузках аэробного характера связаны с интенсивностью расходования углеводных энергоресурсов, которые вовлекаются в энергообеспечение этих нагрузок. Результаты исследования динамики КФК в сыворотке крови могут быть использованы для количественного и качественного подбора физических упражнений с целью адекватного ответа на тренировочные нагрузки.

Литература

1. Волков Н.И. Биохимия мышечной деятельности / Н.И. Волков, Э.Н. Несен, А.А. Осипенко, С.Н. Корсун. – Киев: Олимпийская литература, 2000. – 504 с.
2. Дорофейков В.В., Соколова Ф.М., Цветков С.А., Олисов Д.Г. Лабораторный мониторинг состояния организма у спортсменов // Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта. – 2013. – № 6 (100). – С. 159–163.
3. Комаров Ф.И. Хронобиология и хрономедицина / Ф.И. Комаров. – Москва: Триада-Х, 2000. – 488 с.
4. Михайлов С.С. Спортивная биохимия / С.С. Михайлов. – М: Советский спорт, 2004. – 220 с.
5. Rogozkin V.A. Методы биохимического контроля в спорте / В.А. Рогозкин. – Л.: 1990. – 178 с.
6. Ширковец Е.А., Титлов А.Ю., Луньков С.М. Критерии и механизмы управления подготовкой спортсменов в циклических видах спорта // Вестник спортивной науки. – 2013. – № 5. – С. 44–48.
7. Banfi G., Colombini A., Lombardi G., Lubkowska A. Metabolic markers in sports medicine // Adv. Clin. Chem. – 2012. – No. 56. – P. 1–54.



8. *Brancaccio P., Lippi G., Maffulli N.* Biochemical markers of muscular damage // *ClinChem Lab Med.* – 2010. – No. 48 (6). – P. 757–67.

9. *Brancaccio P., Maffulli N., Buonauro R., Limongelli F.M.* Serum enzyme monitoring in sports medicine / *Clin. Sports Med.* – 2008. – No. 27 (1). – P. 1–18.

10. *Gleeson M.* Biochemical and immunological markers of overtraining // *Journal of Sport Science and Medicine.* – 2002. – No. 1. – P. 31–41.

11. *Koch A.J., Pereira R., Machado M.* The creatine kinase response to resistance exercise // *J. Musculoskelet Neuronal Interact.* – 2014. – No. 14 (1). – P. 68–77.

References

1. *Volkov N.I.* Biochemistry of muscle activity / N.I. Volkov, E.N. Nesen, A.A. Osipenko, S.N. Korsun. – Kiev, Olympic Literature, 2000. – 504 p.

2. *Dorofeikov V.V., Sokolov F.M., Tsvetkov S.A., Olishov D.G.* Laboratory monitor the state of the organism athletes // *Scientific notes University P.F. Lesgaft.* – 2013. – No. 6 (100). – P. 159–163.

3. *Komarov F.I.* Chronobiology and chronomedicine / F.I. Komarov. – Moscow: Triada-X, 2000. – 488 p.

4. *Mikhailov S.S.* Sport biochemistry / S.S. Mikhailov. – Moscow: Soviet Sport, 2004. – 220 p.

5. *Rogozkin V.A.* Methods of biochemical control in sport / V.A. Rogozkin. – L.: 1990. – 178 p.

6. *Shirkovets E.A., Titlov A.Y., Lunkov S.M.* Criteria and mechanisms for management training athletes in cyclic sports // *Vestnik sportivnoi nauki.* – 2013. – No. 5. – P. 44–48.

7. *Banfi G., Colombini A., Lombardi G., Lubkowska A.* Metabolic markers in sports medicine // *Adv. Clin. Chem.* – 2012. – No. 56. – P. 1–54.

8. *Brancaccio P., Lippi G., Maffulli N.* Biochemical markers of muscular damage // *ClinChem Lab Med.* – 2010. – No. 48 (6). – P. 757–67.

9. *Brancaccio P., Maffulli N., Buonauro R., Limongelli F.M.* Serum enzyme monitoring in sports medicine / *Clin. Sports Med.* – 2008. – No. 27 (1). – P. 1–18.

10. *Gleeson M.* Biochemical and immunological markers of overtraining // *Journal of Sport Science and Medicine.* – 2002. – No. 1. – P. 31–41.

11. *Koch A.J., Pereira R., Machado M.* The creatine kinase response to resistance exercise // *J. Musculoskelet Neuronal Interact.* – 2014. – No. 14 (1). – P. 68–77.

