doi: 10.17116/kurort2016121-24

Адаптационные изменения гомеостаза под влиянием высокоинтенсивных физических нагрузок

И.Л. РЫБИНА, А.А. МИХЕЕВ, А.И. НЕХВЯДОВИЧ

Республиканский научно-практический центр спорта, Республика Беларусь, Минск, Республика Беларусь, 220007

В статье представлены результаты изучения различных типов неспецифических адаптационных реакций организма (НАРО), определяемых по соотношению лимфоцитов и нейтрофилов периферической крови, у спортсменов под влиянием высокоинтенсивных физических нагрузок. Изучена частота встречаемости НАРО на этапах годичного цикла подготовки у спортсменок в биатлоне и лыжных гонках. Выявлена взаимосвязь метаболических изменений под влиянием тренировочных нагрузок и типа адаптационной реакции. Показано, что возникновение напряженных адаптационных реакций сопровождается возрастанием «метаболической стоимости» выполненных физических нагрузок, что может служить причиной снижения скорости течения адаптационных процессов к тренировочным нагрузкам.

Ключевые слова: нейтрофилы, лимфоциты, адаптация, физические нагрузки.

The adaptive changes of homeostasis under the influence of high-intensity physical exercises

I.L. RYBINA, A.A. MIKHEEV, A.I. NEKHVYADOVICH

Republican Scientific and Practical Center of Sports, Minsk, Republic of Belarus, 220007

The present article was designed to report the results of the investigation into various non-specific adaptive reactions of the organism (NARO) based on the determination of the ratio of lymphocyte to neutrophil levels in the blood of the athletes under conditions of high-intensity training. We evaluated the frequency of different types of adaptive responses in the biathlon skiers at different stages of their annual training cycle. The study has demonstrated the relationship between metabolic changes under the influence of training and the type of adaptive responses. It is concluded that the adaptive stress responses are associated with the increased «metabolic cost» paid for the performance of strenuous exercises which can be a cause of slowdown of the adaptive processes and lead to overtraining.

Keywords: neutrophils, lymphocytes, adaptation, physical activity.

Адаптационные изменения в организме спортсменов под влиянием физических нагрузок являются важным звеном в повышении физической работоспособности. Вместе с тем отсутствие правильной организации тренировочного процесса в соответствии с индивидуальными возможностями спортсменов может являться причиной срыва адаптации.

Проблема оценки адаптации организма спортсменов к тренировочным нагрузкам имеет не только биологическую, но и социальную значимость в связи с тесной взаимосвязью адаптационных процессов к физическим нагрузкам и сохранением здоровья спортсменов, поэтому поиск надежных методов оценки адаптации является актуальным. Один из векторов поиска таких методов лежит в области изучения динамики клеточного состава периферической крови спортсменов под влиянием физических нагрузок [1—4]. Значительный вклад в разработку данной проблемы внесли Л.Х. Гаркави и соавт. [1, 2], которые высказали и обосновали предположение, что в ответ на действие различных по интенсивности раздражителей развиваются различные по качеству неспецифические адаптационные реакции организма (НАРО), являющиеся неспецифическими, комплексными и характеризующиеся автоматизмом. Изучение типа ответа организма спортсменов на выполняемую физическую нагрузку важно в практике спорта, поскольку на каждом уровне реактивности формируется различный комплекс изменений в функционировании важнейших систем организма.

В зарубежных исследованиях также уделяется значительное внимание изучению динамики количества лимфоцитов и нейтрофилов под влиянием физических нагрузок. В отдельных работах отражена идея целесообразности использования коэффициента соотношения нейтрофилы—лимфоциты для оценки стрессорности воздействия физических нагрузок и скорости последующего восстановления у спортсменов [5—8], а также лиц, не занимающихся профессиональным спортом [9, 10], и животных [11]. Вместе с тем в настоящее время в литературе недостаточно сведений о взаимосвязи типа адаптационных реакций и характера метаболических изменений под влиянием физических нагрузок.

Цель исследования — оценка состояния метаболизма при различных типах адаптационных реак-

© Коллектив авторов, 2016

Сведения об авторах:

Рыбина Ирина Леонидовна — к.б.н., в.н.с лаб. биохимии РНПЦ спорта, e-mail: rnpcs@mail.ru; *Михеев Александр Анатольевич* — д.пед.н., д.б.н., доц., зам. дир. по научной работе РНПЦ спорта, e-mail: a_mixeev@mail.ru; *Нехвядович Антонина Ивановна* — к.б.н., доц., в.н.с. лаб. биохимии РНПЦ спорта

ций, определяемых на основании соотношения нейтрофилов и лимфоцитов в периферической крови, у спортсменов высокой квалификации (на примере биатлона и лыжных гонок).

Пациенты и методы

В исследовании приняли участие 11 высококвалифицированных спортсменок (мастера спорта — МС и мастера спорта международного класса — МСМК) в возрасте 21—29 лет, специализирующихся в биатлоне и лыжных гонках. Спортсменки многократно подвергались биохимическому и гематологическому обследованию в начале тренировочных микроциклов в подготовительном периоде. Исследования проводили с использованием гематологического анализатора XT 2000i («Sysmex», Япония), фотометра РМ 2111 («Солар», Республика Беларусь) и микропланшетного фотометра SUNRISE («Tecan», Австрия). Всего в проведенной работе обработаны результаты 1869 биохимических и гематологических обследований на протяжении подготовительного периода в нескольких циклах подготовки. Тип адаптационной реакции определяли по методике, разработанной Л.Х. Гаркави и соавт. [1—2] и адаптированной применительно к спортсменам Г.А. Макаровой [4], согласно которой в основу типа адаптационной реакции положено соотношение лимфоцитов и нейтрофилов периферической крови **(табл. 1)**.

В качестве статистических методов использованы методы описательной статистики и сравнительного анализа выборок с использованием *U*-критерия Манна—Уитни для независимых переменных.

На каждом уровне адаптационных реакций оценивали наличие отклонений биохимических показателей выше границ референтного диапазона.

Результаты и обсуждение

Частота встречаемости различных типов адаптационных реакций в подготовительном периоде была следующая: реакция хронического стресса — 3,8%, тренировки — 16,2%, спокойной активации — 28,6%, повышенной активации — 29,0%, переактивации — 22,4%. Доминирующим типом НАРО являлись реакции активации, как спокойной, так и повышенной. Анализируя последовательность возникновения адаптационных реакций с учетом этапа подготовительного периода, следует отметить более высокую встречаемость реакций стрессорного типа (хронического стресса и переактивации) на общеподготовительном этапе, по сравнению с этапом специальной подготовки, а также возрастание доли реакций, характеризующихся антистрессорным характером (реакции тренировки, спокойной и повышенной активации). Более высокая стрессорность нагрузок связана с особенностью задач общеподготовительного этапа, который отличается большим объемом тренировочных нагрузок и повышает способность спортсмена переносить нагрузки последующих этапов. На данном этапе закладывается основа для дальнейшей работы над повышением результата соревнований. На специально-подготовительном этапе совершенствуется соревновательная техника и тактические навыки на основе функциональной базы, созданной на первом этапе подготовительного периода.

В значительной степени при переходе от общек специально-подготовительному этапу отмечают снижение частоты возникновения реакции переактивации с 30,6 до 18,9%. При этом на специально-подготовительном этапе существенным образом увеличивается встречаемость реакции повышенной активации (21,0 и 32,4% на общем и специальном этапе соответственно) и тренировки (9,7 и 18,7% соответственно), которые по своей сути обладают антистрессорным характером и отличаются высокой функциональной активностью клеточного иммунитета, эндокринных желез и центральной нервной системы. Метаболические процессы характеризуются анаболической направленностью. Отличительной особенностью энергетического обмена при этих типах реакции является сбалансированность процессов образования энергетических субстратов и их потребления. В **табл. 2** представлен сравнительный анализ биохимических и гематологических показателей на различных уровнях НАРО.

Как видно из представленных в **табл. 2** данных, реакции стресса и переактивации характеризуются большим напряжением метаболизма по сравнению с другими адаптационными реакциями. Например, активность креатининфосфокиназы (КФК) на этих уровнях адаптационных реакций составляет 226,8±28,3 Ед/л для реакции хронического стресса и 256,8±38,3 Ед/л для переактивации, что достоверно выше, чем при реакции тренировки (137,5±9,3 Ед/л) ($p<0,05$). Активность КФК при реакции хронического стресса и переактивации превышает верхнюю границу референтного интервала для данного фермента, что свидетельствует о наличии неблагоприятных процессов в мышечных клетках, приводящих

Таблица 1. **Критерии НАРО по соотношению лимфоцитов и нейтрофилов в периферической крови**

Показатель	Тип реакции				
	1	2	3	4	5
	стресс	тренировка	спокойная активация	повышенная активация	переактивация
Лимфоциты, %	<26	26—32	33—38	39—45	>45
Нейтрофилы, %	>60	55—60	50—54	44—49	<44

к увеличению проницаемости их мембран и выходу фермента в периферическую кровь. Несмотря на то что для реакции переактивации характерны отклонения в лейкоцитарной формуле, противоположные реакции хронического стресса, их объединяет наличие неблагоприятных для организма состояний, которые могут представлять собой неспецифическую основу различных заболеваний [1, 2]. Реакция переактивации сопровождается резким повышением глюкокортикоидов, минералокортикоидов, гормонов щитовидной железы. Это составляет основу для высокой напряженности метаболических процессов. При этом отсутствует сбалансированность в расходовании и воспроизводстве энергосубстратов, и скорость расхода энергоисточников превышает их образование, что приводит к истощению запасов энергосубстратов. Преобладают катаболические процессы. Биологический смысл реакции переактивации заключается в попытке сохранить напряженную реакцию в ответ на значительные физические нагрузки без перевода в стресс.

Для другого важного в мониторинге физических нагрузок фермента аспарагиновой трансаминазы (АСТ) также отмечаются достоверно более высокие значения его активности для реакций хронического стресса (35,2±2,9 Ед/л) и переактивации (34,2±2,0 Ед/л) по сравнению со спокойной (26,2±1,4 Ед/л) и повышенной активацией (29,0±1,5 Ед/л) (p<0,05), хотя выход за пределы референтных интервалов в данном случае не наблюдается. Реакции активации характеризуются оптимальными значениями фермента, что связано с высокой степенью сбалансированности метаболических процессов при этих типах НАРО. При реакции повышенной активации возрастает активность органов лимфатической системы, клеточного иммунитета, секреции гормонов щитовидной железы, половых желез, гормонов гипофиза. При реакции спокойной активации это повышение лежит в пределах верхней половины зоны нормы, а при реакции повышенной активации захватывает верхнюю треть зоны нормы, верхнюю границу нормы и несколько выше [1, 2]. При реакциях спокойной и повышенной активации преобладают процессы анаболической направленности, особенно при повышенной активации.

Реакции тренировки свойственны процессы накопления энергетических субстратов, которые превышают расходы на энергообеспечение мышечной деятельности. В нашем исследовании на протяжении длительного периода наблюдений содержание глюкозы в периферической крови при реакции тренировки было самым высоким (4,49±0,10 ммоль/л) и достоверно превышало аналогичный показатель при реакциях спокойной и повышенной активации (4,11±0,06 и 4,19±0,06 ммоль/л) (p<0,05). Авторы адаптационной теории связывают биологический смысл реакции тренировки с сохранением гомеостаза в пределах нижней половины зоны нормы. В первую очередь это касается продукции половых гормонов, гормонов щитовидной железы и гипофиза. При этом продукция глюкокортикоидов соответствует верхней половине зоны нормы. В случае возникновения реакции тренировки наблюдается невысокая активность катаболических и анаболических процессов с незначительным преобладанием анаболизма.

Реакция хронического стресса и переактивации в нашем исследовании ассоциируется с более высокими значениями активности фермента аланиновой трансаминазы (АЛТ) по сравнению с другими типами адаптационных реакций. При реакции переактивации превышение носит достоверный характер по сравнению с реакциями спокойной и повышенной активации (26,3±1,3, 23,2±0,9 и 22,8±0,9 Ед/л соответственно) (p<0,05).

Что касается гормонального статуса, то следует отметить, что реакция повышенной активации характеризуется более низкими значениями кортизола (540,3±21,0 нмоль/л) по сравнению с переактива-

Таблица 2. **Среднегрупповые значения биохимических показателей при различных типах НАРО в подготовительном периоде**

Показатель	Тип реакции									
	n	1	*n*	2	*n*	3	*n*	4	*n*	5
Мочевина, ммоль/л	8	6,07±0,73	34	4,91±0,23	60	4,98±0,15	61	5,39±0,15	47	5,21±0,19
КФК, Ед/л	8	226,8±28,3*[2]	33	137,5±9,3*[1, 4, 5]	58	172,6±21,2	60	203,6±21,2*[2]	44	256,8±38,3*[2]
Глюкоза, ммоль/л	7	4,22±0,20	30	4,49±0,10*[3, 4, 5]	52	4,11±0,06*[2]	56	4,19±0,06*[2]	36	4,35±0,08*[2]
АСТ, Ед/л	7	35,2±2,9*[22]	29	26,2±1,4*[1, 4, 5]	55	29,0±1,5*[5]	58	31,4±1,5*[2]	39	34,2±2,0*[2, 3]
АЛТ, Ед/л	7	26,8±2,2	29	23,4±1,3	55	23,2±0,9*[5]	58	22,8±0,9*[2]	39	26,3±1,3*[3, 4]
Триглицериды, ммоль/л	3	0,70±0,02	18	0,82±0,10	39	0,79±0,05	44	0,81±0,05	28	0,80±0,08
Гематокрит, %	9	44,3±1,1	34	44,3±0,3	61	44,3±0,2	62	44,1±0,2	50	44,0±0,3
Гемоглобин, г/л	9	142,8±3,4	34	143,3±1,1	61	143,2±0,9	62	142,7±0,9	50	143,0±1,1
МСНС, г/дл	9	32,2±0,1	34	32,3±0,1	61	32,3±0,1	62	32,4±0,1	49	32,5±0,1
Кортизол, нмоль/л	4	560,2±33,0	12	623,7±36,9*[4]	19	614,4±21,0	17	540,3±21,0*[2, 5]	15	648,2±45,1*[4]
Тестостерон, нмоль/л	6	1,80±0,29	9	1,83±0,33	15	2,24±0,26	14	1,95±0,26	9	2,02±0,26

Примечание: 1 — реакция хронического стресса, 2 — реакция тренировки, 3 — реакция спокойной активации, 4 — реакция повышенной активации, 5 — реакция переактивации. * — различия достоверны в сравнении с соответствующим типом адаптационной реакции, p<0,05; КФК — креатининфосфокиназа; АЛТ — аланиновая трансаминаза; АСТ — аспарагиновая трансаминаза; МСНС — средняя концентрация гемоглобина в эритроците; *n* — количество обследований.

цией (648,2±45,1 ммоль/л) и реакцией тренировки (623,7±36,9 ммоль/л) ($p<0,05$).

Важным аспектом в проведенном исследовании явилось наличие оптимального состояния метаболизма, характеризующегося соответствующими значениями биохимических показателей, при реакциях антистрессорного типа. При этих реакциях происходит самая быстрая и адекватная перестройка систем организма в ответ на тренировочное воздействие.

Детальный анализ отклонений биохимических показателей от референтных границ для спортсменов (в %), свидетельствующий об ухудшении переносимости тренировочных нагрузок, показал наибольшее количество отклонений при реакциях хронического стресса и переактивации по сравнению с реакциями антистрессорного типа. Например, самая высокая частота встречаемости возрастания содержания мочевины выше границ референтного интервала для спортсменов отмечалась при реакции хронического стресса, затем снижалась и достигала минимальных значений при реакции спокойной активации. При реакции хронического стресса также наблюдалась высокая встречаемость отклонений в активности ферментов КФК и АСТ. При реакциях тренировки и спокойной и повышенной активации, антистрессорный характер которых реализуется за счет оптимизации работы регуляторных и защитных систем организма, количество отклонений в состоянии метаболизма снижается. То есть возникновение напряженных НАРО у спортсменов ассоциируется с отклонениями от нормы биохимических показателей, отражающих снижение адаптации к тренировочным нагрузкам и возникновение элементов напряженности метаболизма. В этом случае возникновение реакций стрессорного типа в ответ на невысокие тренировочные нагрузки может снизить эффективность тренировочного процесса за счет ухудшения переносимости тренировочных нагрузок. В свою очередь благоприятные НАРО создают предпосылки на метаболическом уровне для повышения резервов адаптации к тренировочным нагрузкам и, соответственно, возрастанию эффективности тренировочного процесса.

Выводы

1. Анализ результатов многолетних наблюдений показал, что возникновение неспецифических адаптационных реакций, характеризующихся антистрессорным характером, в биохимическом плане в значительной степени связано с адекватными метаболическими изменениями под влиянием тренировочных нагрузок и, соответственно, является условием для адекватной срочной и долговременной адаптации организма спортсмена к физической нагрузке и повышению его работоспособности.

2. Тип и характер напряженных адаптационных реакций характеризуется возрастанием «метаболической стоимости» выполненных физических нагрузок, что может служить фоном для снижения скорости течения адаптационных процессов к тренировочным нагрузкам. Кроме того, целенаправленное возникновение и поддержание антистрессорных реакций организма с оптимальным метаболизмом в ходе тренировочного процесса на определенном этапе может способствовать улучшению переносимости тренировочных нагрузок.

Конфликт интересов отсутствует.

Участие авторов:

Дизайн исследования, литературный обзор: И.Р.

Выполнение экспериментальных исследований, сбор эмпирических данных: А.Н.

Обработка и обобщение данных, научные выводы и рекомендации: А.М.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаркави Л.Х., Квакина Е.Б., Кузьменко Т.С., Шихлярова А.И. *Антистрессорные реакции и активационная терапия*. Ч. 1. Екатеринбург: Филантроп; 2002.
2. Гаркави Л.Х., Квакина Е.Б., Кузьменко Т.С., Шихлярова А.И. *Антистрессорные реакции и активационная терапия*. Ч. 2. Екатеринбург: Филантроп; 2003.
3. Кузьменко Т.С. Современные представления об активационной терапии. *Прикладная кинезиология*. 2003;2(3):11-14.
4. Макарова Г.А., Локтев С.А. *Медицинский справочник тренера*. М.: Советский спорт; 2005.
5. Bishop NC, Blannin AK, Rand R, Jonson R, Gleeson M. Effects of carbohydrate supplementation on the blood neutrophil degranulation responses to prolonged cycling. *International Journal of Sports Medicine*. 2000;21:73.
6. Iashvili G, Chkhikvishvili M, Kobelashvili D, Kakiashvili L, Chkhartishvili M. Indices of immune reactivity of sportsmen organism after one time physical load of different intensity and duration. *Georgian Med News*. 2010;179:30-33.
7. Robson PJ, Blannin AK, Walsh NP, Castell LM, Gleeson M. Effects of exercise intensity, duration and recovery on in vitro neutrophil function in male athletes. *International Journal of Sports Medicine*. 1999;20:128-135.
8. Walsh NP, Blannin AK, Robson PJ, Gleeson M. Glutamine, exercise and immune function: links and possible mechanisms. Sports Medicine. 1998;26:177-191.
9. Makras P, Koukoulis GN, Bourikas G, Papatheodorou G, Bedevis K, Menounos P, Pappas D, Kartalis G. Effect of 4 weeks of basic military training on peripheral blood leucocytes and urinary excretion of catecholamines and cortisol. *J Sports Science*. 2005;23(8);825-834.
10. Wang R, Chen PJ, Chen WH. Diet and exercise improve neutrophil to lymphocyte ratio in overweight adolescent. *Int J Sports Med*. 2011;32:12:982-986.
11. Lee JI, Shin JS, Lee JE, Jung WY, Lee G, Kim MS, Park CG, Kim SJ. Changes of N/L ratio and cortisol levels associated with experimental training in untrained rhesus macaques. *J Med Primatol*. 2013;42(1):10-14.

Поступила 02.04.2015