



<https://doi.org/10.34883/PI.2023.12.2.014>
УДК 612.062:796.015.6



Смирнов М.С.¹✉, Дорофейков В.В.^{1,2}, Зырянова И.В.^{1,2}, Фурсов В.В.²

¹ Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт физической культуры, Санкт-Петербург, Россия

² Национальный государственный университет физической культуры, спорта и здоровья имени П.Ф. Лесгафта, Санкт-Петербург, Россия

Биохимические изменения в организме атлета при ультрадлительных физических нагрузках (оригинальное персонифицированное исследование)

Конфликт интересов: не заявлен.

Вклад авторов: концепция и дизайн исследования – Смирнов М.С., Дорофейков В.В., Фурсов В.В.; сбор материала – Смирнов М.С., Зырянова И.В.; обработка материала и выполнение лабораторных тестов – Дорофейков В.В.; статистическая обработка данных – Смирнов М.С.; обзор литературы – Смирнов М.С., Зырянова И.В.; написание текста – Смирнов М.С., Дорофейков В.В.; редактирование – Зырянова И.В., Фурсов В.В.

Подана: 02.04.2023

Принята: 02.05.2023

Контакты: smirnovmihail439@gmail.com

Резюме

Введение. При выполнении физической нагрузки большой длительности происходят биохимические сдвиги, которые могут существенно повлиять на состояние здоровья спортсмена. Проблема изменений метаболизма в организме при ультрадлительных нагрузках (более 12 часов) недостаточно изучена, так как количество таких спортсменов небольшое, а соревнования не входят в олимпийскую программу.

Цель. Изучить и оценить значимость биохимических изменений при ультрадлительных физических нагрузках с использованием автоматизированных методов исследований.

Материалы и методы. Исследовали изменения метаболизма у атлета 56 лет мужского пола, мастера спорта СССР по спортивной ходьбе. В ходе исследования испытуемый выполнял непрерывную 24-часовую физическую нагрузку на профессиональных беговых дорожках. Взятие крови для выполнения биохимических исследований проводили за 24 часа до начала ходьбы, во время нагрузки, через 8, 12 и 20 часов после старта, сразу после финиша и через 2, 4, 6 и 24 часа отдыха. Изучали активность аланинаминотрансферазы, аспартатаминотрансферазы и общей креатинкиназы, уровень мочевины, общего белка, альбумина и общего холестерина, С-реактивного протеина, минеральный состав крови (кальций, хлор, калий и натрий) – на анализаторе Architect c4000. Концентрацию тестостерона, кортизола, витамина D(OH) и высокочувствительного тропонина I определяли на анализаторе Architect i1000 (Abbott, США).

Результаты. После завершения ходьбы незначительно повышается активность аланинаминотрансферазы, уровень мочевины, в 2 раза увеличивается активность аспартатаминотрансферазы. Активность общей креатинкиназы возрастает во время выполнения физической нагрузки и достигает пика сразу после ее завершения;

снижение активности энзима происходит через 6 часов после окончания мышечной работы, через 24 часа отдыха активность снижается в 2 раза. Отмечено многократное повышение концентрации С-реактивного протеина после ультрадлительной физической нагрузки и снижение уровней тестостерона и кортизола через 24 часа после завершения ходьбы. Уровень тропонина I максимально повышался через 12 часов выполнения физической нагрузки, и далее его концентрация в крови стабилизировалась. Длительное повышение концентрации сердечного тропонина повышает риск развития аутоиммунного процесса в организме атлета с возможным образованием комплексов «протеин – антитело», которые могут длительно циркулировать в системе кровообращения. Многократное повышение С-реактивного протеина в сыворотке объективно характеризует одно из проявлений развития системного воспалительного процесса в организме атлета во многом в результате токсического действия метаболитов мышечной деятельности.

Заключение. Врачи спортивной медицины и специалисты, участвующие в медико-биологическом сопровождении высококвалифицированных спортсменов, должны учитывать и использовать описанные лабораторные изменения в процессе длительных нагрузок и отдыха для сохранения здоровья атлетов.

Ключевые слова: ультрадлительные физические нагрузки, воспаление, С-реактивный протеин, креатинкиназа, тропонин I, тестостерон, кортизол

Mikhail S. Smirnov¹✉, Vladimir V. Dorofeykov^{1,2}, Irina V. Zyryanova^{1,2}, Vyacheslav V. Fursov²

¹ Saint Petersburg Scientific-Research Institute for Physical Culture, Saint Petersburg, Russia

² Lesgaft National State University of Physical Education, Sports and Health, Saint Petersburg, Russia

Changes in Biochemical Markers in the Athlete's Body Before, In and Past Ultra-Endurance Exercises: An Original Personalized Research

Conflict of interest: nothing to declare.

Authors' contribution: concept and design – Mikhail S. Smirnov, Vladimir V. Dorofeykov, Vyacheslav V. Fursov; data collection – Mikhail S. Smirnov, Irina V. Zyryanova; material processing and laboratory testing – Vladimir V. Dorofeykov; statistical processing – Mikhail S. Smirnov; literary review – Mikhail S. Smirnov, Irina V. Zyryanova; text writing – Mikhail S. Smirnov, Vladimir V. Dorofeykov; editing – Irina V. Zyryanova, Vyacheslav V. Fursov.

Submitted: 02.04.2023

Accepted: 02.05.2023

Contacts: smirnovmihail439@gmail.com

Abstract

Introduction. Under ultra-endurance exercises, biochemical changes occur that can dramatically affect athletes' health. The issue of body metabolism changes during ultra-endurance exercises (more than 12 hours) remains understudied, since the number of such athletes is low, and competitions are not included in the Olympic programme.



Purpose. To study and evaluate the significance of biochemical changes during ultra-endurance exercise using automated research methods.

Materials and methods. Metabolic changes were studied in a 56-year-old male athlete, USSR Master of Sports in race walking. During the study, the subject performed continuous 24-hour physical activity on professional treadmills. Blood sampling for biochemical studies was carried out 24 hours before the start of walking, during exercise, 8, 12, and 20 hours after the start, immediately after the finish, and after 2, 4, 6, and 24 hours of rest. The activity of alanine aminotransferase, aspartate aminotransferase and total creatine kinase, the level of urea, total protein, albumin and total cholesterol, C-reactive protein, blood mineral composition (calcium, chlorine, potassium and sodium) were studied on the analyzer "Architect c4000". The concentration of testosterone, cortisol, vitamin D(OH), and highly sensitive troponin I was determined using "Architect i1000" analyzer (Abbott, USA).

Results. After the completion of walking, the activity of alanine aminotransferase and the level of urea slightly increase, while the activity of aspartate aminotransferase increases by 2 times. The activity of total creatine kinase increases during exercise and reaches a peak immediately after its completion; a decrease in enzyme activity occurs in 6 hours after the end of muscle work, and after 24 hours of rest the activity decreases by 2 times. A multiple increase in C-reactive protein concentration after ultra-endurance exercise and a decrease in testosterone and cortisol levels in 24 hours after completion of walking were observed. The level of troponin I increased to the maximum after 12 hours of exercise, and then its concentration in the blood stabilized. A prolonged increase in the concentration of cardiac troponin increases the risk of developing an autoimmune process in the athlete's body including eventual formation of protein-antibody complexes that can circulate in the systemic blood flow for a long time. A multiple increases in serum C-reactive protein objectively characterise one of manifestations of the systemic inflammatory process development in the athlete's body, largely as a result of toxic effects of muscle activity metabolites.

Conclusion. Sports medicine physicians and specialists involved in medical and biological support of highly qualified athletes should consider and use the described laboratory changes during prolonged exertion and rest periods to maintain the athletes' health.

Keywords: Ultra-endurance, inflammation, C-reactive protein, creatine kinase, troponin I, testosterone, cortisol

■ ВВЕДЕНИЕ

Существуют виды спорта, в которых атлет должен преодолевать дистанцию в течение нескольких часов и даже суток. Такие виды спорта относятся к циклическим нагрузкам. В основном это бег, спортивная ходьба, велоспорт, лыжные гонки и триатлон. При выполнении физической нагрузки большой длительности происходят биохимические сдвиги, которые могут повлиять кардинально на состояние здоровья спортсмена. Проблема изменений метаболизма в организме при ультрадлительных нагрузках (более 12 часов) недостаточно изучена, так как количество таких спортсменов небольшое, а соревнования не входят в олимпийскую программу.

■ ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучить и оценить значимость биохимических изменений при ультрадлительных физических нагрузках с использованием автоматизированных методов исследований.

■ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проведено в рамках научно-исследовательской работы «Разработка комплексной оценки работоспособности и повреждения жизненно важных органов у спортсменов высокого класса на основе инновационных лабораторно-биохимических автоматизированных методов», одобрено локальным этическим комитетом (протокол № 4, регистрационный номер № 0089 от 30.12.2017 г.) Национального государственного университета физической культуры, спорта и здоровья имени П.Ф. Лесгафта (Санкт-Петербург). Осуществлена оценка состояния отдельных видов метаболизма у атлета 56 лет мужского пола (вес 70 кг, рост 176 см, индекс массы тела 22,6 кг/м²), мастера спорта СССР по спортивной ходьбе, который многие годы профессионально занимается спортивной ходьбой на ультрадлинные дистанции: неоднократно выигрывал самые престижные международные соревнования. В ходе исследования испытуемый выполнял непрерывную 24-часовую физическую нагрузку на профессиональных беговых дорожках, основные параметры ходьбы представлены в табл. 1. Все время велась непрерывная видеозапись для фиксации отсутствия перехода на бег и регистрации рекорда расстояния, пройденного за 24 часа. После подписания информированного добровольного согласия испытуемого за сутки до выполнения нагрузки производили забор крови из вены локтевого сгиба для биохимических исследований. Во время нагрузки выполнялись взятие капиллярной крови из пальца через 8, 12 и 20 часов после старта, сразу после финиша и через 2, 4 и 6 часов отдыха. На следующие сутки (через 24 часа после завершения ходьбы) был осуществлен повторный забор крови из вены локтевого сгиба.

Лабораторные исследования крови выполняли на автоматических биохимическом и иммунохимическом анализаторах Architect c4000SR и Architect i1000SR с использованием реактивов и контрольных материалов производителя оборудования (Abbott, США). Исследовали активность аланинаминотрансферазы (АЛТ) и аспартатаминотрансферазы (АСТ), общей креатинкиназы, уровень мочевины, общего белка

Таблица 1
Параметры выполняемой нагрузки
Table 1
Parameters of ultra-endurance exercise

Показатели	
Расстояние (км)	206,39
Чистое время ходьбы (ч)	Более 22
Средняя скорость (км/ч)	9,4
Сред. ЧСС (уд/мин)	130
Max ЧСС (уд/мин)	157
Min ЧСС (уд/мин)	105
Сред. сатурация (%)	94
Max сатурация (%)	96
Min сатурация (%)	92



и альбумина крови; определяли концентрацию С-реактивного протеина, минеральный состав крови – кальций, хлор, калий и натрий, липидограмму. С помощью автоматизированного иммуноанализа определяли уровень тестостерона и кортизола, витамина D(OH), главного маркера повреждения миокарда – сердечного тропонина I (Тн), определенного высокочувствительным методом. Клинические анализы крови выполняли на 25-параметровом автоматическом анализаторе CELL-DYN Ruby (Abbott, США).

■ РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

До нагрузки активность трансаминаз находилась в пределах нормы АЛТ 19 Ед/л и АСТ 21 Ед/л. Через 24 часа после завершения выполнения физической нагрузки активность АЛТ увеличилась до 32 Ед/л, АСТ – до 74 Ед/л. Повышение активности трансаминаз в крови является характерным ответом организма на физическую нагрузку. У спортсменов-бегунов после марафона активность АСТ обычно возрастает в 1,5 раза, активность АЛТ достоверно не изменяется. С увеличением дистанции наблюдается более значительное повышение активности АСТ, чем АЛТ [1, 2].

Перед выполнением ультрадлительной нагрузки для атлета важно находиться в оптимальной форме. Одним из наиболее информативных показателей, отражающих нарушение обменных процессов в организме, является уровень мочевины сыворотки крови. Повышение данного показателя выше 8 ммоль/л свидетельствует о преобладании катаболических процессов в организме и состоянии перетренированности. У испытуемого до нагрузки уровень мочевины был в норме (6,4 ммоль/л), как и уровень общего белка и альбумина крови. После завершения нагрузки концентрация мочевины возросла и немного превысила верхний предел референсных значений для мужчин. Об этом также свидетельствует тенденция к снижению уровня альбумина на 4% от исходной концентрации до нагрузки. В исследовании Shin K.A. и соавт. показано, что после бега на 100 км концентрация альбумина возрастает, однако после более длительной нагрузки (308 км) она значительно снижается [1]. Таким образом, снижение концентрации альбумина более характерно для ультрадлительных нагрузок. Общий белок (ТР) находился ближе к нижней границе нормы. Снижение ТР может свидетельствовать о том, что при выполнении ультрадлительной физической нагрузки организм начинает использовать белки в качестве «топлива», хоть и в небольших количествах [1]. По нашему мнению, очень важно при выполнении ультрадлительных физических нагрузок уделять внимание питанию, чтобы организм не увеличивал процент использования белков в энергетических целях.

Известно, что при длительных физических нагрузках усиливаются воспалительные процессы в организме; одним из весьма информативных показателей системного воспалительного ответа в крови является С-реактивный протеин (CRP). В нашем исследовании до нагрузки данный показатель, определенный ультрачувствительным методом, составил 0,53 мг/л, через 24 часа после выполнения нагрузки увеличился в 125 раз и составил 66,6 мг/л. Значимое повышение CRP характерно для подобных нагрузок и не характерно для коротких по длительности, но схожих по характеру мышечной деятельности [3]. Можно полагать, что причина такого многократного увеличения связана с воспалительными процессами в работающих мышцах. Максимальное возрастание уровня CRP в крови наблюдается через 24 часа после окончания нагрузки [4]. Предполагается, что высокая концентрация метаболитов,

образованных в ходе мышечной деятельности, оказывает характерное воздействие на иммунную систему организма и в ответ повышается уровень CRP. В исследовании Smith K.A. с соавторами также показано многократное увеличение CRP, но проведенный анализ изменения цитокинов показал, что уровни IL-17 и IL-23 значимо не изменяются и по этой причине могут являться маркерами положительной адаптации к ультрадлительным нагрузкам. Авторы отметили, что уровень IL-6 и IL-10 значительно не изменился, хотя отмечена взаимосвязь между концентрацией IL-10 и временем, затраченным на дистанцию [5].

Оценку гормонального фона проводили по уровню сывороточного кортизола и главного анаболического гормона – тестостерона. Концентрация кортизола до нагрузки составила 437,4 нмоль/л, концентрация тестостерона – 35,5 нмоль/л. В практике спортивной медицины часто используют их соотношение как показатель преобладания анаболических или катаболических процессов в организме. Уменьшение соотношения тестостерон/кортизол может служить предиктором переутомления или перетренированности [6]. После нагрузки у атлета уровень кортизола и тестостерона снизился (257,5 нмоль/л и 19,03 нмоль/л соответственно). Кортизол после длительных физических нагрузок в организме спортсмена должен повышаться [3]. Причина снижения кортизола, вероятно, связана со временем забора крови (24 часа после окончания ходьбы). Поскольку соотношение тестостерон/кортизол не изменилось, мы можем предположить, что, хоть физическая нагрузка была большая, у спортсмена не наблюдалось состояние переутомления. Испытуемый был готов к такой нагрузке и перенес ее хорошо.

При оценке гормонального фона спортсменов важно оценить уровень «витамина-гормона» 25-ОН витамина D, который оказывает колоссальное влияние на многие функции организма, в том числе и мышечную активность. В крови профессиональных спортсменов в темное время года концентрация витамина D и его активных метаболитов снижается быстрее, чем у здоровых, не занимающихся ежедневно спортом людей [7]. Концентрация D(OH) до нагрузки у нашего атлета была 20,4 нг/мл. Такой уровень можно оценить как хороший, хоть и классифицируется врачами как пониженный, учитывая, что исследование проходило в начале мая в Санкт-Петербурге, когда на данной территории индекс ультрафиолетового излучения низкий. У 90% спортсменов, постоянно проживающих в северных регионах России, диагностируется недостаток витамина D от 20 до 30 нг/мл [8]. Показатель является стабильным, и концентрация не изменяется после нагрузки. Определение после нагрузки уровня 25-ОН витамина D не несет дополнительной информации о состоянии метаболизма атлета.

Во время выполнения физических нагрузок минеральный состав крови значительно изменяется вследствие потерь электролитов и воды с потом. При ультрадлительных нагрузках изменения могут быть катастрофическими. В табл. 2 представлены изменения минерального состава крови до нагрузки и через 24 часа после завершения дистанции.

Уровень кальция (Ca) после нагрузки снижается и восстанавливается обычно через несколько дней. Если во время и после выполнения нагрузки спортсмен получает необходимое питание, в том числе жидкое, то потери будут незначительные. Так, в исследовании Castellar-Otín C. и др. показано, что после дистанции 768 км в течение 11 дней у непрофессиональных спортсменов потеря кальция сразу после нагрузки



Таблица 2
Минеральный состав крови
Table 2
Blood mineral composition

Минералы (ммоль/л)	До нагрузки	Через 24 часа
Ca	N/A	2,3
Cl	104	N/A
K	4,7	4,3
Na	140	140

составила 3%, а через день еще 3% [9]. Существует взаимосвязь между концентрацией кортизола и уровнем натрия. Считается что, что уменьшение концентрации кортизола приводит к снижению уровня натрия [10]. Однако в нашем исследовании такая взаимосвязь не прослеживалась. Натрий находился на одном уровне, а кортизол снизился на 40%. Для оценки минерального состава полезно использовать биохимический анализ мочи, что даст дополнительную информацию о состоянии метаболизма атлета [11]. Следует отметить, что опытный атлет и его команда уделили серьезное внимание питьевому режиму, в общей сложности на дистанции спортсменов выпил 7,0 л минеральной воды и энергетических напитков.

Анализ морфологического состава крови не выявил существенных изменений. Отмечено повышение количества лейкоцитов, в основном сегментоядерных нейтрофилов и моноцитов, что свидетельствует о развитии воспалительной реакции организма. Остальные гематологические показатели достоверно не изменились (табл. 3).

Уровень общего холестерина до нагрузки превышал норму для обычного здорового человека (6,3 ммоль/л), через 24 после достоверно снизился (5,27 ммоль/л). Липидограмма показала отклонение от физиологической нормы (холестерол липопротеинов низкой плотности – 4,12 ммоль/л, холестерол липопротеинов высокой плотности – 1,69 ммоль/л). Возможно, такие результаты связаны с возрастом спортсмена – 56 лет. Учитывая его активный образ жизни, отсутствие вредных привычек и избыточного веса, по нашему мнению, риск осложнений атеросклероза у атлета низкий.

Главное, что необходимо контролировать при подобных физических нагрузках, это метаболические параметры состояния мышц и миокарда. Во время выполнения

Таблица 3
Клинический анализ крови (основные показатели)
Table 3
Clinical blood test (main indicators)

Показатели	Ед. измерения	До нагрузки	Через 24 часа после нагрузки
WBC – лейкоциты	$10^9/\text{л}$	6,31	9,17
RBC – эритроциты	$10^{12}/\text{л}$	5,19	5,05
HGB – гемоглобин	г/л	160	157
HCT – гематокрит	% соотношение	47,4	45,7
PLT – тромбоциты	$10^9/\text{л}$	207	190
PCT – тромбокрит	мл/л	1,63	1,34

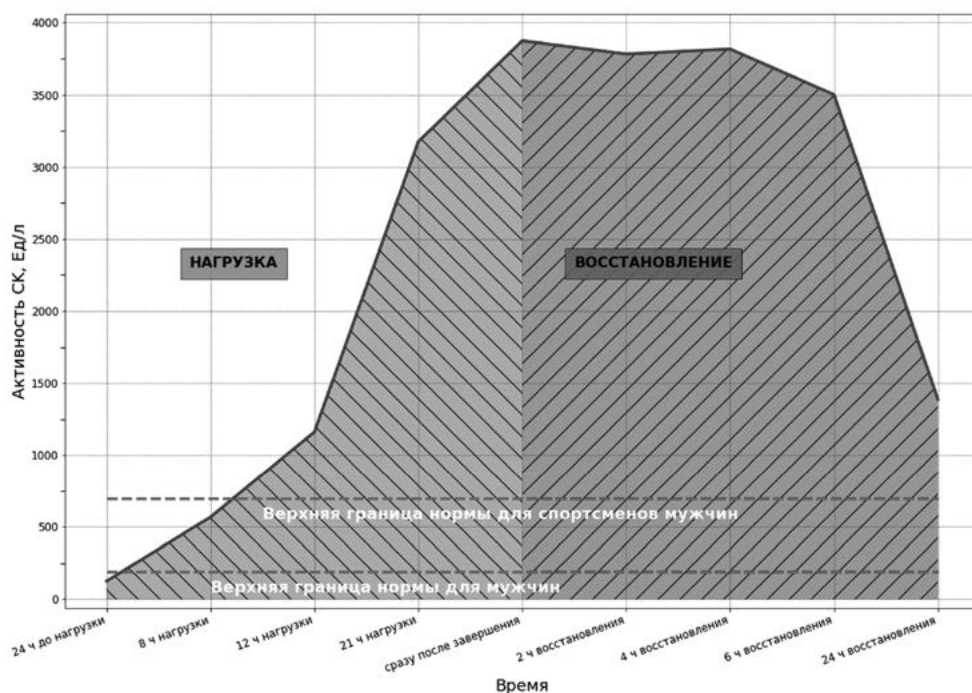


Рис. 1. СК до и во время ультрадлительной нагрузки и в первые сутки восстановления
Fig. 1. CK before and during ultra-endurance exercise and on the first day of recovery

нагрузки производили забор капиллярной крови для выполнения исследований общей активности креатинкиназы (СК) и содержания сердечного тропонина I. Динамика изменения активности СК представлена на рис. 1.

Активность общей СК многократно повышается во время физической нагрузки. После 8 часов непрерывной ходьбы активность СК превысила верхний уровень нормы для мужчин, учитывая, что нагрузка характеризуется средней интенсивностью (ЧСС=130 уд/мин). Через 12 часов активность СК превысила верхнюю границу нормы для спортсменов. Считается, что значения показателя до 800 Ед/л допустимы для активно тренирующихся атлетов и не могут оцениваться как патология [12]. Повышение продолжилось до окончания нагрузки, после ее завершения наблюдали пик активности общей СК. На протяжении 6 часов после завершения ходьбы активность фермента не изменялась. Через 24 часа после окончания ходьбы активность СК снизилась в 2,5 раза по сравнению со значениями сразу после завершения спортивной ходьбы. Некоторые авторы указывают, что пик активности СК наступает через 24 часа после нагрузки, далее идет нормализация показателя в течение 5 дней [4]. В других исследованиях пик наступал сразу после нагрузки, а восстановление зависит от ее длительности; чем длиннее дистанция, тем дольше идут процессы восстановления [1, 2, 13]. Повышение активности общей СК может возрасти в результате воздействия



неблагоприятных погодных условий во время выполнения физической работы (высокая температура воздуха и влажность) [14]. Интенсивность высвобождения СК из мышц в сосудистое русло является индивидуальной характеристикой, а динамика уровня данного фермента в крови служит интегральным показателем отставленного эффекта физических нагрузок [12], зависит от вида спорта [15].

Изменение концентрации Тн в кровяном русле может характеризовать состояние миокарда во время нагрузки и после ее завершения. В систематическом анализе Aengevaeren V. с соавт. показано, что пиковые значения концентрации Тн регистрируются в промежутке от 2 до 6 часов после нагрузки [16]. Исходный уровень Тн у испытуемого атлета составлял 7,1 нг/л, что не превышало нижний квартиль от верхней границы нормы для мужчин (34 нг/л для используемого метода определения кардиомаркера). Через 8 часов после начала выполнения физической нагрузки концентрация возросла до 37,6 нг/л и превысила верхний референсный уровень. Через 12 часов наблюдали дальнейшее увеличение концентрации Тн в крови (64,8 нг/л). В более поздние сроки концентрация маркера значительно не изменялась в отличие от активности СК, которая продолжала повышаться до завершения выполнения физической нагрузки. После завершения и на протяжении первых 6 часов восстановления также значимых изменений Тн не наблюдали, через сутки уровень Тн снизился до 17 нг/л (рис. 2).

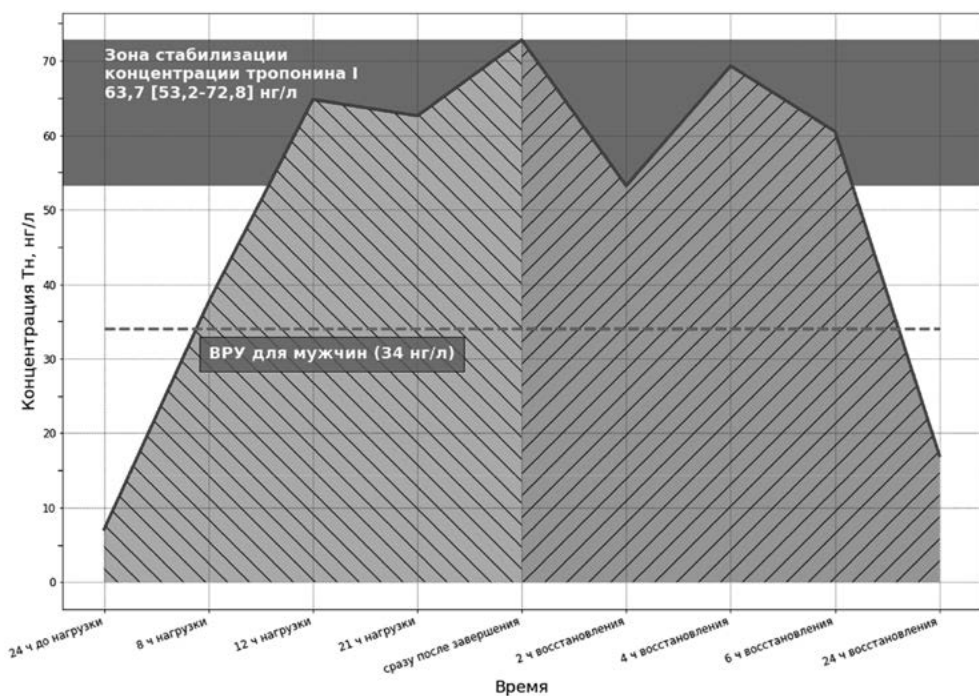


Рис. 2. Динамика изменения концентрации тропонина I во время ультрадлительной нагрузки и восстановления

Fig. 2. Dynamics of changes in troponin I concentration during ultra-endurance exercise and recovery

Промежуток времени от 12 часов нагрузки до 6 часов восстановления можно назвать периодом стабилизации концентрации Тн в крови (63,7 [53,2–72,8] нг/л). Мы предполагаем, что в этот период произошла адаптация миокарда к выполняемой нагрузке. Можно утверждать, что в ответ на ультрадлительную физическую нагрузку средней интенсивности концентрация Тн в крови достигает пикового значения через 12 часов после начала выполнения и стабилизируется в области этих значений. С увеличением интенсивности физической нагрузки рост концентрации Тн заметно увеличивается [16–18]. Повышение уровня Тн в крови связано с его высвобождением из кардиомиоцитов в результате увеличения проницаемости сарколеммы клетки [16]. У спортсменов-любителей старшего возраста повышение концентрации Тн выше верхней границы нормы после нагрузки может иметь важный прогностический характер и определять кардиоваскулярные риски [19]. Мы считаем, что превышение верхней границы нормы концентрации Тн в 2–4 раза у профессиональных спортсменов, специализирующихся на выносливости, является адекватным и не должно расцениваться спортивными врачами и тренерами как патология миокарда. Многократное повышение уровня Тн после нагрузки (в 5 раз и более) требует углубленного медицинского обследования. Длительное повышение уровня тропонина в крови, как и других внутриклеточных протеинов, может увеличивать риск развития аутоиммунного процесса в организме атлета.

■ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Концентрация С-реактивного протеина многократно повышается на следующие сутки после выполнения ультрадлительной физической нагрузки. Такие изменения объективно характеризуют развитие системного воспалительного процесса в организме атлета в результате токсического воздействия метаболитов мышечной деятельности. Снижение уровня тестостерона через 24 часа после завершения такой работы характерно для длительных и интенсивных нагрузок. Активность общей креатинкиназы возрастает во время выполнения физической нагрузки и достигает пика сразу после ее завершения. Снижение активности креатинкиназы начинается через 6 часов после окончания мышечной работы, через 24 часа отдыха активность энзима снижается в 2 раза. Концентрация сердечного тропонина в сыворотке крови максимально повышается через 12 часов выполнения физической нагрузки, далее его концентрация в крови стабилизируется. Длительное повышение концентрации сердечного тропонина диктует необходимость исключить развитие аутоиммунного процесса в организме атлета или значимого повреждения миокарда. Авторы надеются, что это наблюдение может быть полезно спортивным врачам, физиологам и тренерам, участвующим в сопровождении атлетов высокого уровня подготовки.

■ ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Shin K.A., Park K.D., Ahn J., Park Y., Kim Y.J. (2016) Comparison of Changes in Biochemical Markers for Skeletal Muscles, Hepatic Metabolism, and Renal Function after Three Types of Long-distance Running: Observational Study. *Medicine*, 95(20):e3657. <https://doi.org/10.1097/MD.0000000000003657>
2. Lecina M., Castellar C., Prada F., López-Laval I. (2022) 768-km Multi-Stage Ultra-Trail Case Study-Muscle Damage, Biochemical Alterations and Strength Loss on Lower Limbs. *International journal of environmental research and public health*, 19(2):876. <https://doi.org/10.3390/ijerph19020876>
3. Tauler P., Martinez S., Moreno, C., Martínez P., Aguilo A. (2014) Changes in salivary hormones, immunoglobulin A, and C-reactive protein in response to ultra-endurance exercises. *Physiologie appliquee, nutrition et metabolisme*, 39(5):560–565. <https://doi.org/10.1139/apnm-2013-0466>



4. Bernat-Adell M.D., Collado-Boira E.J., Moles-Julio P., Panizo-González N., Martínez-Navarro I., Hernando-Fuster B., Hernando-Domingo C. (2021) Recovery of Inflammation, Cardiac, and Muscle Damage Biomarkers After Running a Marathon. *Journal of strength and conditioning research*, 35(3):626–632. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003167>
5. Smith K.A., Kisiolek J.N., Willingham B.D., Morrissey M.C., Leyh S.M., Saracino P.G., Baur D.A., Cook M.D., Ormsbee M.J. (2020) Ultra-endurance triathlon performance and markers of whole-body and gut-specific inflammation. *European journal of applied physiology*, 120(2):349–357. <https://doi.org/10.1007/s00421-019-04279-3>
6. De Luccia T.P.B. (2016). Use of the testosterone/cortisol ratio variable in sports. *The Open Sports Sciences Journal*, 9(1). <https://doi.org/10.2174/1875399X01609010104>
7. Dorofeykov V.V., Shapot E.V., Zyryanova I.V. (2022) Biochemical Tests in the Diagnosis and Control of Treatment of Vitamin D Deficiency and Calcium Metabolism Disorders in Athletes. Analysis of Scientific Literature and Summary of Own Research. *Scientific and pedagogical schools of the University*, (7):13–28. (In Russian)
8. Fedorova E.P., Stepanov A.S., Dydyrov N.A. (2022) Assessment of Vitamin D Security of Young Biathlon Athletes and Medical Students Permanently Residing in the Northern Region (Khmao-Yugra). *Sports medicine and rehabilitation: tradition, experience and innovation*, pp. 271–276. (In Russian)
9. Castellar-Otin C., Lecina M., Pradas F. (2022) Bone Turnover Alterations after Completing a Multistage Ultra-Trail: A Case Study. *Healthcare (Basel, Switzerland)*, 10(5):798. <https://doi.org/10.3390/healthcare10050798>
10. Castro-Sepulveda M., Cancino J., Fernández-Verdejo R., Pérez-Luco C., Jannas-Vela S., Ramirez-Campillo R., Del Coso J., Zbinden-Foncea H. (2019) Basal Serum Cortisol and Testosterone/Cortisol Ratio Are Related to Rate of Na+ Lost During Exercise in Elite Soccer Players. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 29(6):658–663. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2019-0129>
11. Jablan J., Inić S., Stosnach H., Hadžabdić M.O., Vujić L., Domijan A.M. (2017) Level of minerals and trace elements in the urine of the participants of mountain ultra-marathon race. *Journal of trace elements in medicine and biology : organ of the Society for Minerals and Trace Elements (GMS)*, 41:54–59. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2017.02.004>
12. Rybina I.L. (2015) Physiological Values of Creatinephosphokinase in Elite Athletes of Cyclic Sports. *Sports Science Bulletin*, (6):36–41. (In Russian)
13. Rubio-Arias J.Á., Ávila-Gandía V., López-Román F.J., Soto-Méndez F., Alcaraz P.E., Ramos-Campo D.J. (2019) Muscle damage and inflammation biomarkers after two ultra-endurance mountain races of different distances: 54 km vs 111 km. *Physiology & behavior*, 205:51–57. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2018.10.002>
14. Gutiérrez-Vargas R., Martín-Rodríguez S., Sánchez-Ureña B., Rodríguez-Montero A., Salas-Cabrera J., Gutiérrez-Vargas J.C., Simunic B., Rojas-Valverde D. (2020) Biochemical and Muscle Mechanical Postmarathon Changes in Hot and Humid Conditions. *Journal of strength and conditioning research*, 34(3):847–856. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002746>
15. Radzhabkadiyev R.M. (2019). Biochemical Markers of Adaptation of Highly Qualified Athletes to Various Physical Activities. *Science and sport: current trends*, 23(2):81–91. (In Russian)
16. Aengevaeren V.L., Baggish A.L., Chung E.H., George K., Kleiven Ø., Mingels A.M.A., Ørn S., Shave R.E., Thompson P.D., Eijssvogels T.M.H. (2021) Exercise-Induced Cardiac Troponin Elevations: From Underlying Mechanisms to Clinical Relevance. *Circulation*, 144(24):1955–1972. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.121.056208>
17. Marshall L., Lee K.K., Stewart S.D., Wild A., Fujisawa T., Ferry A.V., Stables C.L., Lithgow H., Chapman A.R., Anand A., Shah A.S.V., Dhaun N., Strachan F.E., Mills N.L., Ross M.D. (2020) Effect of Exercise Intensity and Duration on Cardiac Troponin Release. *Circulation*, 141(1):83–85. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.119.041874>
18. Cantinotti M., Clerico A., Giordano R., Assanta N., Franchi E., Koestenberger M., Marchese P., Storti S., D'Ascenzi F. (2022) Cardiac Troponin-T Release After Sport and Differences by Age, Sex, Training Type, Volume, and Intensity: A Critical Review. *Clinical journal of sport medicine: official journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 32(3):e230–e242. <https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000000940>
19. Aengevaeren V.L., Hopman M.T.E., Thompson P.D., Bakker E.A., George K.P., Thijssen D.H.J., Eijssvogels T.M.H. (2019) Exercise-Induced Cardiac Troponin I Increase and Incident Mortality and Cardiovascular Events. *Circulation*, 140(10):804–814. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.119.041627>