

<https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.3.4>

УДК: 612.829.34

Тип статьи: Оригинальное исследование / Original article



Динамика маркера повреждения миокарда тропонина Т у биатлонистов высокого класса на этапах подготовительного периода

М.А. Дикунец, Е.В. Федотова, Г.А. Дудко*, Э.Д. Вирюс

ФГБУ «Федеральный научный центр физической культуры и спорта», Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Цель исследования: изучение динамики маркера повреждения миокарда тропонина Т (cardiac troponin T, cTnT) у биатлонистов высокого класса под воздействием циклических средств подготовки, используемых на этапах подготовительного периода годичного тренировочного цикла.

Методы: в исследовании приняли участие биатлонисты, проходящие централизованную подготовку в составе сборной команды Российской Федерации ($n = 23$). Количественное измерение cTnT в сыворотке осуществляли методом электрохемилюминесцентного анализа.

Результаты: среднегрупповое содержание cTnT в крови биатлонистов не превышало верхней границы референтного интервала, установленного для здоровых мужчин (< 14 пг/мл). Концентрация cTnT на общеподготовительном этапе была достоверно выше, чем на специально-подготовительном ($p < 0,05$), статистически значимых различий между специально-подготовительным и предсоревновательным этапами не обнаружено ($p > 0,05$). Максимальные уровни cTnT в группе спортсменов были зафиксированы в мае и июне, в июле его концентрация снижалась на уровне тенденции ($p > 0,05$), а с августа по октябрь зафиксировано достоверное снижение ($p < 0,05$).

Заключение: низкая тканевая специфичность АЛТ и АСТ не позволяет достоверно выявить функциональную перегрузку миокарда в ответ на физические нагрузки. Спортсменам с аномальными концентрациями cTnT в крови с целью стратификации риска рекомендуется диагностика сердечно-сосудистой системы в рамках углубленного медико-биологического обеспечения, поскольку нельзя исключить тот факт, что регулярные повторные нагрузки, направленные на развитие выносливости, каждая из которых вызывает субклинические эффекты, могут иметь кумулятивный эффект на структуру или функцию сердца.

Ключевые слова: тропонин Т, повреждение миокарда, биатлон, физическая нагрузка, биомаркер

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Дикунец М.А., Федотова Е.В., Дудко Г.А., Вирюс Э.Д. Динамика маркера повреждения миокарда тропонина Т у биатлонистов высокого класса на этапах подготовительного периода. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2024;14(3):46–54. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.3.4>

Поступила в редакцию: 12.11.2024

Принята к публикации: 18.12.2024

Online first: 04.02.2025

Опубликована: 04.03.2025

* Автор, ответственный за переписку

Dynamics of the myocardial damage marker troponin T in elite biathlonists at the stages of the early season

Marina A. Dikunets, Elena V. Fedotova, Grigory A. Dudko*, Edward D. Virus

Federal Science Center of Physical Culture and Sport, Moscow, Russia

ABSTRACT

Aim of the study: To study the quantitative dynamics of the myocardial damage marker troponin T (cTnT) in elite biathlonists as a response to the cyclic training aids used at the stages of the early season during the annual training cycle.

Methods: The study involved 23 biathlonists undergoing centralized training as members of the national team of the Russian Federation. Serum cTnT quantitation was performed by means of electrochemiluminescent assay using Elecsys Troponin T hs reagent kit (Roche Diagnostics, Germany).

Results: The mean group cTnT blood level in biathlonists did not exceed the upper limit of cardiac marker reference range established for healthy men (< 14 pg/ml). cTnT concentration of at the general preliminary stage was significantly higher than at the special preliminary stage ($p < 0.05$), whereas statistically significant differences between the special preliminary and precompetition stages were not found ($p > 0.05$). The maximum cTnT levels in the group of athletes were recorded in May and June, in July its concentration decreased at the trend level ($p > 0.05$), then from August to October a significant decrease was documented ($p < 0.05$).

Conclusion: The low ALT and AST tissue specificity does not reliably reveal functional myocardial overload as the response to physical exertion. In order to stratify the risk athletes with abnormal blood cTnT levels are recommended to diagnose the cardiovascular system within the in-depth biomedical observation, since it cannot be excluded that repeated bouts of endurance exercise, each causing subclinical effects, may have a cumulative effect on cardiac structure or function.

Keywords: troponin T, myocardial damage, biathlon, exercise, biomarker

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Dikunets M.A., Fedotova E.V., Dudko G.A., Virus E.D. Dynamics of the myocardial damage marker troponin T in elite biathlonists at the stages of the early season. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika* (Sports medicine: research and practice). 2024;14(3):46–54. (In Russ.). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.3.4>

Received: 12 November 2024

Accepted: 18 December 2024

Online first: 04 February 2025

Published: 04 March 2025

*Corresponding author

1. Введение

Умеренная регулярная физическая активность считается полезной для здоровья и оказывает благоприятное воздействие на все системы организма и, в частности, на состояние сердечно-сосудистой системы (ССС) [1]. Данные крупных популяционных продольных исследований показали, что поддержание или улучшение физической подготовки связано с более низким риском сердечно-сосудистых событий [2, 3]. В то время как сократительная функция сердца улучшается под влиянием регулярных упражнений умеренной интенсивности [4], в 1964 году впервые было продемонстрировано снижение функции левого желудочка после продолжительных интенсивных нагрузок [5]. Подобные нагрузки могут способствовать развитию «сердечной усталости» [6], характеризующейся временным снижением функции левого желудочка [7, 8], связанным с повреждением кардиомиоцитов, снижением чувствительности к катехоламинам или перераспределением объема крови [9]. Повреждение кардиомиоцитов приводит к выбросу в систему кровообращения маркеров повреждения клеток сердечной мышцы, к которым относятся локализованные в кардиомиоцитах сердечные тропонины — тропонин T и I (cTnT и cTnI) [7].

Основными причинами повышения содержания cTnT в крови после выполнения упражнений являются

интенсивность и продолжительность нагрузки, возраст и пол спортсмена, его функциональная подготовленность, условия окружающей среды (температура окружающего воздуха, высота над уровнем моря), а также высокая частота сердечных сокращений [10–12]. Однако наиболее значимое влияние на высвобождение cTnT имеют интенсивность и продолжительность нагрузки. Повышенные концентрации сердечных тропонинов, как правило, наблюдаются у спортсменов циклических видов спорта на выносливость, что связано с дистрофическими морфофункциональными изменениями сердечной мышцы, протекающими под воздействием сверхинтенсивных физических нагрузок, характерных для спорта высших достижений [13].

Большинство исследований повышения уровней cTn в ответ на физическую нагрузку проводится с участием непрофессиональных спортсменов или спортсменов средней и низкой квалификации, как правило, после длительных физических упражнений (полумарафон, марафон и различные ультрадистанции) [8, 10, 14], тогда как количество исследований о закономерностях высвобождения cTnT у спортсменов высокой квалификации, специализирующихся в зимних циклических видах спорта, ограничено.

В статье Wuestenfeld и соавт. с участием элитных спортсменов ($n = 219$) различных видов спорта ($n =$

36) повышенный уровень сTnT наблюдался в группах, тренирующихся в видах спорта на выносливость (биатлон, бег на средние дистанции, лыжные гонки, триатлон) [15]. Однако в этом исследовании не проводилась объективизация интенсивности физической нагрузки в ежедневном режиме. В другом исследовании с участием 36 элитных лыжников (членов сборной команды Германии) было продемонстрировано, что после стандартизированной соревновательной нагрузки (две высокоинтенсивные тренировки) почти у 10% спортсменов наблюдались повышенные сывороточные концентрации сTnT [16].

Вместе с тем в научной литературе отсутствует информация о изучении динамики маркеров повреждения миокарда у элитных спортсменов в рамках продолжительного тренировочного процесса и кумулятивном эффекте выполненных нагрузок на сердечно-сосудистую систему. Таким образом, **целью исследования** являлось изучение динамики маркера повреждения клеток сердечной мышцы сTnT в группе спортсменов высокого класса, специализирующихся в виде спорта с преимущественным проявлением выносливости, в ответ на адаптацию к физическим нагрузкам, выполненным на различных этапах подготовительного периода.

2. Материалы и методы

В исследовании приняли участие 23 спортсмена, проходящих централизованную подготовку в составе мужской сборной команды России по биатлону. Все участники были здоровы и минимум за 24 часа до проведения обследования им запрещалось выполнение развивающих нагрузок циклического и силового характера.

Количественное определение сTnT осуществлялось на этапах подготовительного периода на протяжении последовательных трех лет (2021–2023 гг.). Антропометрические характеристики спортсменов выглядели следующим образом: средний возраст — $25,3 \pm 3,2$ года; масса тела — $76,1 \pm 7,6$ кг; длина тела — $179,5 \pm 6,7$ см; индекс массы тела — $23,6 \pm 1,4$ кг/м²; максимальное потребление кислорода — $69,6 \pm 6,7$ мл/мин/кг.

Образцы венозной крови отбирались в вакуумные пробирки с SiO₂ с гелем-сепаратором VACUETTE® (Greiner Bio-One, Австрия). Количественное определение сTnT в сыворотке осуществляли методом гетерогенного электрохемилюминесцентного иммуноферментного анализа типа «сэндвич» с технологией магнитной сепарации реакционной смеси на автоматическом анализаторе cobas e411 (Roche Diagnostics, Германия) с использованием высокочувствительного теста Elecsys Troponin T hs STAT (Roche Diagnostics, Германия). Метрологические характеристики методики определения сTnT выглядели следующим образом: предел измерения холостой пробы — 1,58 пг/мл, предел обнаружения — 2,54 пг/мл, верхняя граница диапазона референтных значений (99-й перцентиль) — 14 пг/мл.

Активность аспартатаминотрансферазы (АСТ) и аланинаминотрансферазы (АЛТ) в сыворотке измеряли на автоматическом биохимическом анализаторе cobas c 311 (Roche Diagnostics, Германия).

Параметры циклической нагрузки (объем и интенсивность) оценивались по результатам ежедневного мониторинга с использованием пульсометрии. Интенсивность тренировочной нагрузки определялась на основе программного алгоритма Polar Flow с определением времени (абсолютного — в минутах и секундах и относительного — в процентах) нахождения спортсмена в каждой из индивидуальных пульсовых тренировочных зон, заранее установленных для каждого из участников исследования при прохождении функционального тестирования.

Нагрузкой низкой интенсивности считали I–II зоны по частоте сердечных сокращений (ЧСС) ниже аэробного порога (далее — АэП): концентрация лактата в крови < 2 мм/л; нагрузкой средней интенсивности считали III зону по ЧСС (от АэП до порога анаэробного обмена (АнП): концентрация лактата 2–4 мм/л; нагрузкой высокой интенсивности считали IV–V зоны по ЧСС (выше АнП): концентрация лактата > 4 мм/л.

Исследование было одобрено этическим комитетом ФГБУ ФНЦ ВНИИФК (протокол № 2 от 01 апреля 2021 г.) и выполнено в рамках государственного задания ФГБУ ФНЦ ВНИИФК № 777-00001-24 (№ 001-22/3). Спортсмены добровольно подписывали информированное согласие на участие в исследовании, медицинское вмешательство, использование информации в научных целях и публикацию результатов при условии соблюдения анонимности.

Статистический анализ проводился с использованием программного обеспечения Statistica, версия 10 (StatSoft, USA). При проведении статистического анализа параметры были проверены на нормальность распределения с использованием теста Колмогорова — Смирнова. Достоверность различий содержания сTnT между этапами подготовительного периода оценивали с помощью однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) при уровне значимости, равном 0,05. Для выявления зависимости между концентрацией сTnT и показателями, характеризующими морфологический статус и частоту сердечных сокращений (ЧСС), и оценки ее тесноты использовался корреляционный анализ — количественной мерой взаимосвязи являлась величина коэффициента ранговой корреляции Спирмена. Оценка достоверности рассчитанных коэффициентов проводилась по *t*-критерию на уровне значимости 0,05.

3. Результаты

Наиболее высокое содержание сTnT в группе биатлонистов зафиксировано в мае и июне, в июле его концентрация снижалась на уровне тенденции ($p > 0,05$), а с августа по октябрь — достоверно ($p < 0,05$). Концентрация сTnT на общеподготовительном этапе была достоверно

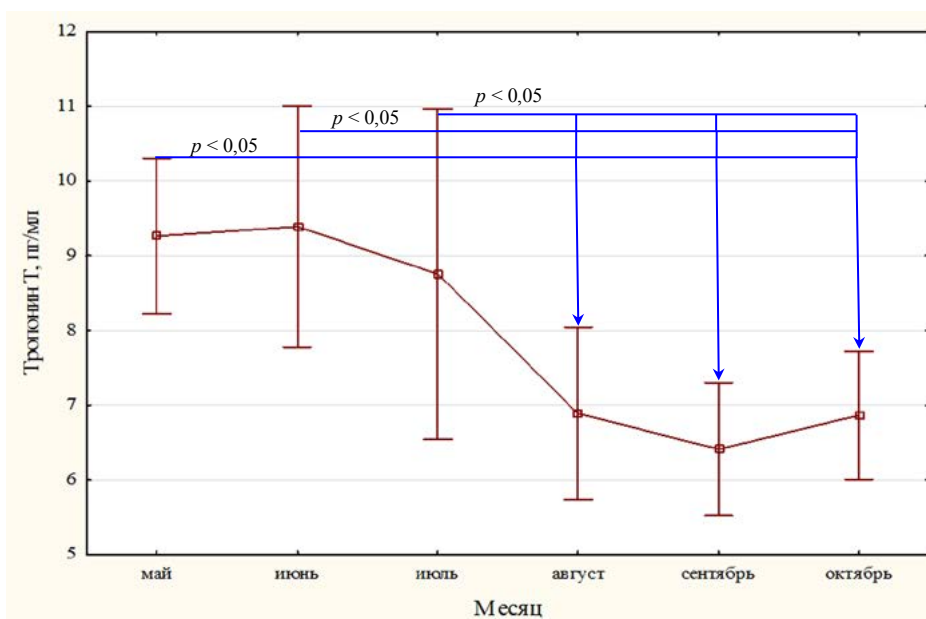


Рис. 1. Динамика концентрации сТнТ, измеренной в крови биатлонистов высокого класса ($n = 23$) в подготовительном периоде годичного макроцикла ($\bar{X} \pm \sigma$)

Fig. 1. Dynamics of cTnT blood levels in elite biathlonists ($n = 23$) during the early season of the annual macrocycle ($\bar{X} \pm \sigma$)

выше, чем на специально-подготовительном ($p < 0,05$), статистически значимых различий между специально-подготовительным и предсоревновательным этапами не обнаружено ($p > 0,05$).

Среднегрупповые сывороточные концентрации сТнТ, измеренные на общеподготовительном, специально-подготовительном и предсоревновательном этапах, составили $8,91 \pm 2,94$, $6,79 \pm 2,72$ и $6,51 \pm 2,42$ пг/мл соответственно. Среднегрупповые уровни сТнТ в крови спортсменов не превышали верхней границы общепопуляционного референтного интервала для здоровых мужчин (< 14 пг/мл) (рис. 1).

При проведении исследования были выявлены и проанализированы случаи превышения содержания сТнТ верхней границы общепопуляционной нормы, свидетельствующие о повреждении клеточных мембран кардиомиоцитов и высокой степени напряжения ССС в ответ на физические нагрузки. Анализ полученных данных показал, что в 80 % случаев превышение концентрации сТнТ верхней границы референтного интервала (> 14 пг/мл) было незначительным (20–50 %), тогда как в 20 % повышение достигало 200–300 %. Наиболее часто случаи значительного повышения концентрации сТнТ были зафиксированы на специально-подготовительном этапе, максимальная концентрация сТнТ составила 42 пг/мл.

Необходимо отметить, что активность АЛТ и АСТ, измеренные в крови биатлонистов с повышенным, относительно общепопуляционной нормы, уровнем сТнТ, не превышали верхних границ референтных диапазонов активностей ферментов — 41 и 40 Ед/л соответственно. Средняя же активность АЛТ и АСТ среди участников исследования находились в диапазоне $24,87 \pm$

7,43 и $31,80 \pm 7,15$ Ед/л, а коэффициент де Ритиса, рассчитанный на основании индивидуальных активностей аминотрансфераз, составлял $1,62 \pm 0,28$.

Выявление тесноты и направленности взаимосвязей между уровнем сТнТ и морфофункциональными показателями спортсмена (ЧСС и масса тела) осуществлялось с использованием корреляционного анализа. Полученные данные свидетельствуют о наличии положительной, в ряде случаев достоверной, но слабой корреляции между переменными, в связи с чем результаты дальнейшего изучения этого вопроса в статье не приводятся и не рассматриваются.

В таблице представлено распределение циклических средств подготовки по интенсивности на каждом этапе подготовительного периода годичного макроцикла. Данные, полученные с использованием подхода «время в зоне», приведены как в абсолютном выражении (в часах и минутах), так и в виде парциального объема от общего времени циклической нагрузки.

Общий объем нагрузок циклического характера, выполненный биатлонистами в подготовительном периоде, составил $361:30 \pm 45:18$ ч: мин, из них доля нагрузок низкой интенсивности составила 94,4 %, средней — 3,7 %, высокой — 1,9 %. На общеподготовительном этапе в тренировочном процессе биатлонистов практически отсутствуют циклические нагрузки высокой интенсивности, соответствующие уровню IV–V пульсовых зон. Наибольший объем работы средней и высокой интенсивности локализован на специально-подготовительном этапе — 4,4 и 2,7 % соответственно. Изменение показателей суммарного времени циклической нагрузки и времени работы в зонах интенсивности в ходе подготовительного периода представлено на рисунке 2.

Таблица

Объемы работы циклической направленности, выполненные биатлонистами высокого класса ($n = 23$) на различных этапах подготовительного периода (ОП — общеподготовительный, СП — специально-подготовительный, ПС — предсоревновательный)

Table

Volumes of cyclic loads performed by elite biathlons ($n = 23$) at various stages of the early season (GP — general preliminary, SP — special preliminary, P — precompetition)

Параметр	Интенсивность по ЧСС (зона)	Этап подготовительного периода		
		ОП (май—июнь)	СП (июль—сентябрь)	ПС (октябрь)
Объем циклической работы, ч: мин	I, II	116:04 ± 22:42	170:20 ± 21:40	55:11 ± 23:45
	III	2:56 ± 1:24	8:05 ± 1:29	2:18 ± 1:22
	IV, V	00:32 ± 00:12	04:55 ± 00:37	01:04 ± 00:28
	Всего	119:47 ± 15:00	183:31 ± 13:56	58:40 ± 12:20
Объем циклической работы, %	I, II	97,1	92,9	94,2
	III	2,5	4,4	3,9
	IV, V	0,5	2,7	1,8
	Всего	100	100	100

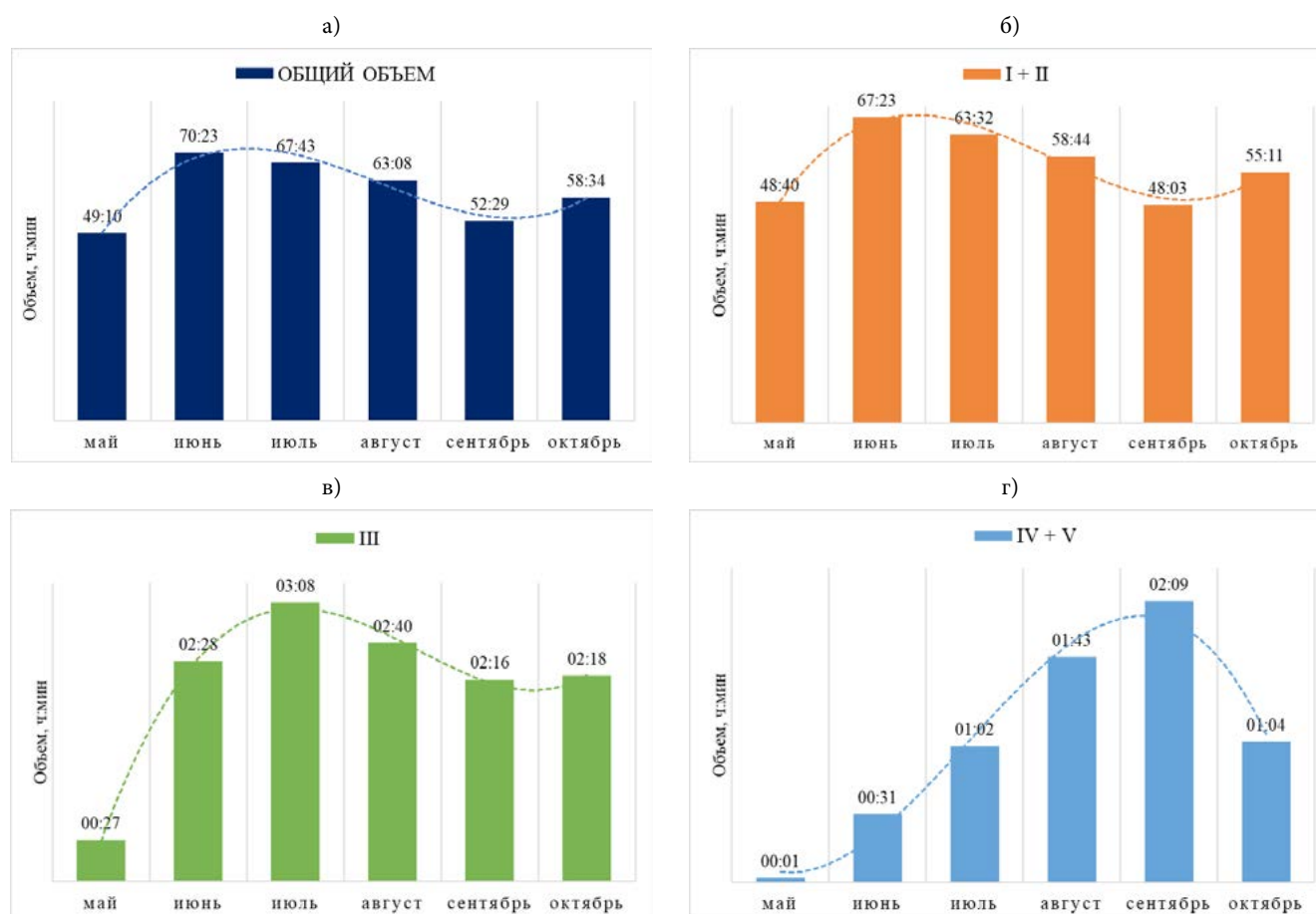


Рис. 2. Распределение циклических средств подготовки по интенсивности в подготовительном периоде годичного макроцикла биатлонистов высокого класса ($n = 23$)

Fig. 2. Distribution of cyclic training aids by intensity during the early season of the annual macrocycle of elite biathlons ($n = 23$)

Динамика общего объема циклических упражнений (рис. 2 а) имела волнообразный характер: с максимумом в июне, последовательным снижением к сентябрю (на 18 часов относительно июня) и увеличением в октябре. Объем низкоинтенсивной аэробной нагрузки также имел двухпиковую динамику с преобладанием первой волны (рис. 2 б). Динамика циклических средств подготовки средней интенсивности по месяцам подготовительного периода годичного макроцикла биатлонистов (рис. 2 в) имела аналогичный вид, однако максимальный объем был зафиксирован в июле. Объемы низко- и среднеинтенсивной аэробной нагрузки повышались постепенно, начиная с короткого втягивающего этапа в мае и достигая максимальных значений в июне — июле. Характер динамики объема высокоинтенсивной нагрузки циклической направленности отличался от выше рассмотренных наличием одного пика. Так, циклические нагрузки высокой интенсивности биатлонисты начинают использовать только в конце общеподготовительного этапа (июнь), их доля от общего объема составляет всего 0,7 %. В июле и августе объем высокоинтенсивных нагрузок увеличивался, максимум был зафиксирован в сентябре — 4,1 %, а в октябре нагрузка снижалась приблизительно в два раза (1,8 %).

4. Обсуждение полученных результатов

Показано, что физические упражнения способны провоцировать повышение уровней сТн [10, 17, 18], при этом у спортсменов по сравнению с общей популяцией и пациентами с сердечно-сосудистыми заболеваниями, как правило, наблюдается относительно невысокое увеличение содержания сТнТ по отношению к верхней границе референсных значений. При этом точные механизмы и клиническое значение высвобождения сТн, вызванного физическими упражнениями, остаются неясными. Анализ современных литературных данных позволяет выделить следующие основные механизмы высвобождения сТн под воздействием физической нагрузки: некроз и апоптоз клеток, клеточное высвобождение продуктов распада сТн, повышенная проницаемость клеточной мембраны кардиомиоцитов за счет производства активных форм кислорода, изменения ионного обмена кальция, рН, метаболизма жиров, углеводов и связи между интегративными белками клеточной мембраны, образование блебинг-везикул (пузырьков) на поверхности клеточной мембраны и последующего их разрыва на поверхности кардиомиоцитов [19]. Однако в связи со специфичностью анализа вероятность перекрестной реактивности от повреждения мышц, способствующего повышению концентраций сТн, минимальна [19, 20].

Несмотря на то что повышенные уровни сТн в крови спортсменов, специализирующихся в видах спорта на выносливость, не считаются патологическим явлением, повышение концентрации сТн, вызванное физическими нагрузками, может сигнализировать

о повышенном риске возникновения сердечно-сосудистых событий [19]. Ряд исследователей предполагают, что спортсмены, реагирующие на тренировочный стресс высвобождением сТн, подвержены повышенному долгосрочному сердечно-сосудистому риску [14, 21]. В исследовании Tesema и соавт. было показано, что в ответ на 12-недельную тренировку, направленную на развитие выносливости, у молодых спортсменов-любителей, занимающихся видами спорта на выносливость, уровни сТн достоверно и положительно связаны с изменением целого ряда показателей деятельности сердечной мышцы [22]. Аналогичные результаты были описаны в исследовании триатлонистов-любителей, наблюдавшихся на протяжении 11 месяцев подготовительного периода [23].

В проведенном исследовании среднegrupповое содержание сТнТ в крови биатлонистов высокого класса не превышало верхней границы референтного интервала, установленного для здоровых мужчин (< 14 пг/мл). В то же время достоверно более высокая концентрация сТнТ в группе участников исследования зафиксирована на общеподготовительном этапе, являющемся первой фазой эффективной адаптации к функционированию сердечно-сосудистой системы (ССС) в условиях соревновательной деятельности. Использование тренировок на выносливость направлено на обеспечение морфофункционального ремоделирования сердечной мышцы, а именно дилатации его камер с целью повышения функциональных возможностей ССС. Такой вектор адаптации сердца (гипертрофия L-типа) способствует безопасному переходу к выполнению биатлонистами большего объема работы средней и высокой интенсивности, вызывающего значительное напряжение ССС и обладающего определенными рисками перенапряжения миокарда. Несмотря на то что общеподготовительный этап у биатлонистов высокого класса в первую очередь характеризуется высокой долей низкоинтенсивных и продолжительных аэробных тренировок, на данном этапе подготовки нередко используются высокоинтенсивные тренировочные импульсы. Следовательно, однозначно утверждать вызваны ли достоверно высокие концентрации сТнТ на общеподготовительном этапе длительными низкоинтенсивными тренировками или высокоинтенсивными интервальными тренировками не представляется возможным.

Для уменьшения риска перенапряжения миокарда на фоне большой дилатации камер сердца с июня в программу подготовки биатлонистов включаются упражнения средней и высокой интенсивности, вызывающие гипертрофию задней стенки левого желудочка (гипертрофия D-типа), что приводит к увеличению выталкивающей силы сердца и обеспечивает более полное опорожнение камер сердца в фазе систолы. Таким образом, физиологическим ответом сердца спортсмена на высокоинтенсивные физические нагрузки является его морфофункциональное ремоделирование с целью

поддержания высокого сердечного выброса и обеспечения достаточной доставки кислорода к работающим мышцам, что подтверждается наблюдаемым с августа достоверным снижением сывороточной концентрации сТнТ у участников исследования. Таким образом, выбранная на всем протяжении подготовительного периода тренерами стратегия в целом рациональна, так как характеризуется высокой преемственностью тренировочных эффектов циклических средств подготовки различной интенсивности, позволяющих повысить функциональные возможности CCC и увеличить ее адаптационный потенциал.

Кинетика сТн после острого инфаркта миокарда хорошо изучена — пиковые концентрации сТнI и сТнТ в сыворотке фиксируются через 10–12 часов после инфаркта и остаются повышенными в течение 4–10 дней. Однако характер и величина повышения сТн у пациентов различны и зависят от размера поражения и динамики элиминации сТн под влиянием реперфузии [12]. Кинетика высвобождения сТн в ответ на физические нагрузки менее ясна, но, как и в случае острого инфаркта миокарда, зависит от времени отбора крови после окончания нагрузки. После прекращения выполнения упражнений концентрации сТнТ и сТнI в сыворотке постепенно увеличиваются, однако первая достигает максимума спустя 3 часа [24], а вторая — в течение 4–6 часов [12]. В отличие от острого инфаркта миокарда, уровни сТнТ после тренировки повышаются умеренно и, как правило, возвращаются к характерным для состояния покоя значениям в течение 24 часов [25].

С одной стороны, по этой причине в рамках настоящей работы возможна недооценка концентрации сТнТ, поскольку измерения проводились спустя не менее чем 24 часа после окончания тренировочных мероприятий. С другой стороны, рассматриваемый факт можно считать и преимуществом данного исследования,

Вклад авторов:

Дикунец Марина Александровна — разработка концепции и дизайна исследования, написание первого варианта рукописи.

Федотова Елена Викторовна — разработка концепции и дизайна исследования, проведение статистического анализа результатов.

Дудко Григорий Алексеевич — сбор и обработка данных, редактирование текста.

Вирюс Эдуард Даниэлевич — сбор и обработка данных, утверждение окончательного варианта рукописи.

Список литературы / References

1. Maessen M.F.H., Verbeek A.L.M., Bakker E.A. et al. Life-long exercise patterns and cardiovascular health. *Mayo Clin. Proc.* 2016;91(6):745–754. <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2016.02.028>
2. Lee D.C., Sui X., Artero E.G., Lee I.M., Church T.S., McAuley P.A., et al. Long-term effects of changes in cardiorespiratory fitness and body mass index on all-cause and cardiovascular disease mortality in men: the Aerobics Center Longitudinal Study.

поскольку биохимический мониторинг спортсменов проводился в стандартизированных условиях (перед обследованием биатлонистам запрещалось выполнение развивающих нагрузок циклической и силовой направленности), а с целью исключения гендерной и возрастной изменчивости сердечных эффектов в когорту включены только взрослые биатлонисты высокого класса. Одним из ограничений данной работы является участие в эксперименте только спортсменов мужского пола. Последующие исследования могут быть направлены на изучение динамики сТнТ у юных спортсменов 14–18 лет, поскольку их сердечная мышца ввиду несформированной кардиореспираторной системы испытывает повышенное напряжение при выполнении высокоинтенсивных нагрузок.

5. Заключение

Длительные интенсивные тренировочные нагрузки у спортсменов высокого класса в видах спорта на выносливость могут вызывать повышение сывороточной концентрации сТнТ выше верхних границ общепринятых референсных значений, что может являться проблемой при интерпретации полученных данных с учетом широкого спектра состояний, которые могут выступать в качестве причины.

Несмотря на то что многие ученые не считают повышение сТнТ, вызванное физической нагрузкой, патологией, нельзя исключать, что эта аномалия может быть предиктором развития различных патологических изменений СС в долгосрочной перспективе. Особенно актуальным это утверждение может быть в отношении молодых спортсменов. По этой причине спортсменам с аномальными значениями сТнТ рекомендуется в рамках углубленного медико-биологического обеспечения проводить полноценную диагностику состояния СС для стратификации риска.

Author contributions:

Marina A. Dikunets — concept and design of the study, writing the first draft of the manuscript.

Elena V. Fedotova — concept and design of the study, statistical analysis.

Grigory A. Dudko — data collection and processing, text editing.

Edward D. Virus — data collection and processing, approval of the final version of the manuscript.

Circulation. 2011;124(23):2483–2490. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.111.038422>

3. Thompson P.D., Franklin B.A., Balady G.J., Blair S.N., Corrado D., Estes N.A., et al. Exercise and acute cardiovascular events placing the risks into perspective: a scientific statement from the American Heart Association Council on nutrition, physical activity, and Metabolism and the Council on Clinical Cardiology. *Circulation.* 2007;115(17):2358–2368. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.107.181485>

4. Warburton D.E., Nicol C.W., Bredin S.S. Health benefits of physical activity: the evidence. *CMAJ*. 2006;174(6):801–809. <https://doi.org/10.1503/cmaj.051351>
5. Saltin B., Stenborg J. Circulatory response to prolonged severe exercise. *J. Appl. Physiol.* 1964;19:833–838. <https://doi.org/10.1152/jappl.1964.19.5.833>
6. Douglas P.S., O'Toole M.L., Hiller W.D., Hackney K., Reichel N. Cardiac fatigue after prolonged exercise. *Circulation*. 1987;76(6):1206–1213. <https://doi.org/10.1161/01.cir.76.6.1206>
7. Middleton N., Shave R., George K., Whyte G., Hart E., Atkinson G. Left ventricular function immediately following prolonged exercise: a meta-analysis. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2006;38(4):681–687. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000210203.10200.12>
8. Vitiello D., Palacin F., Poinard L., Kirsch M., Jouini S., Billat V. Marathon-induced cardiac fatigue: a review over the last decade for the preservation of the athletes' health. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2021;18(16):8676. <https://doi.org/10.3390/ijerph18168676>
9. Сущевиц Д.С., Рудченко И.В., Качнов В.А. Влияние физических упражнений на метаболизм и ремоделирование сердечно-сосудистой системы. *Наука молодых*. 2020;8(3):433–443. [Sushchevich D.S., Rudchenko I.V., Kachnov V.A. Effect of physical exercises on metabolism and remodeling of the cardiovascular system. *Nauka molodykh = Eruditio Juvenium*. 2020;8(3):433–443. (In Russ.)].
10. Martínez-Navarro I., Sánchez-Gómez J., Sanmiguel D., Collado E., Hernando B., Panizo N., Hernando C. Immediate and 24-h post-marathon cardiac troponin T is associated with relative exercise intensity. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2020;120(8):1723–1731. <https://doi.org/10.1007/s00421-020-04403-8>
11. Airaksinen K.E.J. Cardiac troponin release after endurance exercise: still much to learn. *J. Am. Heart Assoc.* 2020;9(4):e015912. <https://doi.org/10.1161/JAHA.120.015912>
12. Aengevaeren V.L., Baggish A.L., Chung E.H., George K., Kleiven Ø., Mingels A.M.A., et al. Exercise-induced cardiac troponin elevations: from underlying mechanisms to clinical relevance. *Circulation*. 2021;144(24):1955–1972. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.121.056208>
13. Gresslien T., Agewall S. Troponin and exercise. *Int. J. Cardiol.* 2016;221:609–621. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2016.06.243>
14. Omland T., Aakre K.M. Cardiac troponin increase after endurance exercise. *Circulation*. 2019;140(10):815–818. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.119.042131>
15. Wuestenfeld J.C., Kastner T., Hesse J., Fessler L., Froberg F., Rossbach C., Wolfarth B. Differences in troponin I and troponin T release in high-performance athletes outside of competition. *Int. J. Mol. Sci.* 2024;25(2):1062. <https://doi.org/10.3390/ijms25021062>
16. Kastner T., Froberg F., Hesse J., Wolfarth B., Wuestenfeld J.C. Exercise-induced troponin elevation in high-performance cross-country skiers. *J. Clin. Med.* 2024;13(8):2335. <https://doi.org/10.3390/jcm13082335>
17. Nie J., Zhang H., Kong Z., Wang C., Liu Y., Shi Q., George K. The impact of exercise modality and menstrual cycle phase on circulating cardiac troponin T. *J. Sci. Med. Sport*. 2020;23(3):309–314. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2019.10.003>
18. Weippert M., Divchev D., Schmidt P., Gettel H., Neugebauer A., Behrens K., et al. Cardiac troponin T and echocardiographic dimensions after repeated sprint vs. moderate intensity continuous exercise in healthy young males. *Sci. Rep.* 2016;6:24614. <https://doi.org/10.1038/srep24614>
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. Exercise-induced cardiac troponin I increase and incident mortality and cardiovascular events. *Circulation*. 2019;140(10):804–814. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.119.041627>
20. Janssen S.L.J.E., Berge K., Luiken T., Aengevaeren V.L., Eijssvogels T.M. Cardiac troponin release in athletes: what do we know and where should we go? *Curr. Opin. Physiol.* 2023;31:100629. <https://doi.org/10.1016/j.cophys.2022.100629>
21. Kleiven Ø., Omland T., Skadberg Ø., Melberg T.H., Bjørkavoll-Bergseth M.F., Auestad B., et al. Occult obstructive coronary artery disease is associated with prolonged cardiac troponin elevation following strenuous exercise. *Eur. J. Prev. Cardiol.* 2019;27(11):1212–1221. <https://doi.org/10.1177/2047487319852808>
22. Tesema G., George M. Associations between cardiac troponin I and cardiovascular parameters after 12-week endurance training in young moderately trained amateur athletes. *BMJ Open Sport Exerc. Med.* 2021;7(1):e001065. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2021-001065>
23. Díaz-Garzón J., Fernández-Calle P., Aarsand A.K., Sandberg S., Buno A. Increases in high-sensitivity cardiac troponin I in athletes during a long-term period of routine training out of competition. *Clin. Chem.* 2020;66(8):1109–1111. <https://doi.org/10.1093/clinchem/hvaa129>
24. Baker P., Leckie T., Harrington D., Richardson A. Exercise-induced cardiac troponin elevation: an update on the evidence, mechanism and implications. *Int. J. Cardiol. Heart Vasc.* 2019;22:181–186. <https://doi.org/10.1016/j.ijcha.2019.03.001>
25. Lasocka-Koriat Z., Lewicka-Potocka Z., Kaleta-Duss A., Siekierzycka A., Kalinowski L., Lewicka E., Dąbrowska-Kugacka A. Differences in cardiac adaptation to exercise in male and female athletes assessed by noninvasive techniques: a state-of-the-art review. *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* 2024;326(5):H1065–H1079. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00756.2023>

Информация об авторах:

Дикунец Марина Александровна, кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории биохимии ФГБУ «Федеральный научный центр физической культуры и спорта», Россия, 105005, Москва, Елизаветинский переулок, 10с1. ORCID: 0000-0002-5945-0722 (dikunets.m.a@vniifk.ru)

Федотова Елена Викторовна, доктор педагогических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории биохимии ФГБУ «Федеральный научный центр физической культуры и спорта», Россия, 105005, Москва, Елизаветинский переулок, 10с1. ORCID: 0000-0002-3725-5651 (fedotova.e.v@vniifk.ru)

Дудко Григорий Алексеевич*, старший научный сотрудник лаборатории биохимии ФГБУ «Федеральный научный центр физической культуры и спорта», Россия, 105005, Москва, Елизаветинский переулок, 10с1. ORCID: 0000-0002-1064-3283 (dudko.g.a@vniifk.ru)

Вирюс Эдуард Даниэлевич, доктор химических наук, заведующий лабораторией биохимии ФГБУ «Федеральный научный центр физической культуры и спорта», Россия, 105005, Москва, Елизаветинский переулок, 10с1. (virus.e.d@vniifk.ru)

Information about the authors:

И Marina A. Dikunets, Ph.D. (Chemistry), Leading Researcher, Laboratory of Biochemistry, Federal Science Center of Physical Culture and Sport, 10c1 Elizavetinsky lane, Moscow, 105005, Russia. ORCID: 0000-0002-5945-0722 (dikunets.m.a@vniifh.ru)

Elena V. Fedotova, D.Sc. (Pedagogy), Associate Professor, Leading Researcher, Laboratory of Biochemistry, Federal Science Center of Physical Culture and Sport, 10c1 Elizavetinsky lane, Moscow, 105005, Russia. ORCID: 0000-0002-3725-5651 (fedotova.e.v@vniifh.ru)

Grigory A. Dudko*, Senior Researcher, Laboratory of Biochemistry, Federal Science Center of Physical Culture and Sport, 10c1 Elizavetinsky lane, Moscow, 105005, Russia. ORCID: 0000-0002-1064-3283 (dudko.g.a@vniifh.ru)

Edward D. Virus, D.Sc. (Chemistry), Head of the Laboratory of Biochemistry, Federal Science Center of Physical Culture and Sport, 10c1 Elizavetinsky lane, Moscow, 105005, Russia. ORCID: 0000-0001-9371-6494 (virus.e.d@vniifh.ru).

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author