

© Коллектив авторов, 2022

УДК 796.922.093.642

Дикунец М.А.¹, Дудко Г.А.¹, Вирус Э.Д.², Крючков А.С.¹

Применение расширенного биохимического профиля спортсмена сверхвысокой квалификации для прогнозирования стойкого снижения работоспособности

¹ФГБУ «Федеральный научный центр физической культуры и спорта»,

105005, Москва, Россия, Елизаветинский пер., д. 10, с. 1;

²ФГБНУ «Научно-исследовательский институт общей патологии и патофизиологии»,

125315, Москва, Россия, Балтийская ул., д. 8

Введение. Выявление биохимических критериев диагностики ранних симптомов переутомления особенно актуально для спортсменов юношеского возраста. Однако, в комплекс биохимических показателей, регистрируемых в рамках этапного комплексного обследования, и в программу углубленных медицинских обследований спортсменов сборных команд России не включены маркеры, отражающие напряжение адаптационных возможностей организма. **Цель работы** – оценка преимуществ применения расширенного биохимического профиля спортсмена сверхвысокой квалификации при прогнозировании стойкого снижения его работоспособности.

Методика. Объектом исследования являлся спортсмен сборной команды России по лыжным гонкам (18 лет, 175.5 см, 68.2 кг, стаж 6 лет). Спортсмен прошел функциональное тестирование на беговом тредбане h/p/cosmos venus 200/100r с регистрацией уровня потребления кислорода с использованием системы эргоспирометрии MetaMax 3B. Гематологический анализ цельной крови проводили на автоматизированном гематологическом анализаторе XN-1000. Анализ образцов сыворотки для определения АСТ, АЛТ, КФК, КФК-МВ, глюкозы, общего белка, мочевины, триглицеридов и железа проводили на биохимическом анализаторе cobas c 311, определение β -CrossLaps, P1NP, N-MID фрагмента остеокальцина, NT-proBNP и миоглобина – на анализаторе cobas e 411. Концентрацию лактата в капиллярной крови измеряли на полуавтоматическом фотометре BTS-350 с использованием коммерческого набора реагентов. Количественное определение эндогенных стероидных гормонов и жирорастворимых витаминов в сыворотке и нейромедиаторов в плазме осуществляли методом СВЭЖХ-МС/МС.

Результаты. Регистрируемые в рамках этапного комплексного обследования, спортсменов сборной команды России по лыжным гонкам стандартные биохимические маркеры не выходили за границы референсных интервалов. Однако, у обследуемого спортсмена были зафиксированы высокие концентрации P1NP и β -CrossLaps, сопровождавшиеся низким содержанием N-MID фрагмента остеокальцина и метаболита витамина D. Кроме того, уровень NT-proBNP у лыжника превышал границы референсного интервала.

Заключение. Биохимический профиль спортсмена ультравысокой квалификации при проведении этапного комплексного обследования, спортсменов, занимающихся видами спорта на выносливость, не полностью отражает адаптационные процессы, происходящие под воздействием физического стимула. Дополнительный контроль за состоянием ЦНС, ОДА и сердечно-сосудистой системы позволяет не только оценить текущее функциональное состояние организма, но и открывает возможности прогнозирования угрозы срыва адаптации и определения вероятного механизма возникновения состояния стойкого утомления.

Ключевые слова: элитный спортсмен; биохимический профиль; адаптация, утомление; функциональное состояние; снижение работоспособности

Для цитирования: Дикунец М.А., Дудко Г.А., Вирус Э.Д., Крючков А.С. Применение расширенного биохимического профиля спортсмена сверхвысокой квалификации для прогнозирования стойкого снижения работоспособности. *Патологическая физиология и экспериментальная терапия.* 2022; 66(4): 86-93.

DOI: 10.25557/0031-2991.2022.04.86-93

Участие авторов: концепция и дизайн обзора, сбор и обработка информации, написание текста – Дикунец М.А. Крючков А.С.; редактирование – Вирус Э.Д., Дудко Г.А. Утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи – все соавторы.

Для корреспонденции: Дудко Григорий Алексеевич, e-mail: dudko.g.a@vniifk.ru

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУ ФНЦ ВНИИФК № 777-00026-22-00 (тема № 001-22/3).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила 18.09.2022

Принята к печати 27.10.2022

Опубликована 15.12.2022

Dikunets M.A.¹, Dudko G.A.¹, Viryus E.D.², Kryuchkov A.S.¹

The use of extended biochemical profile for predicting a sustained decline in the performance of highly qualified athlete

¹Federal Science Center for Physical Culture and Sport, Elizavetinsky Pereulok, 10/1, Moscow, 105005, Russian Federation;

²Institute of General Pathology and Pathophysiology, Baltiyskaya St. 8, Moscow, 125315, Russian Federation

Introduction. Identification of biochemical parameters to diagnose early symptoms of fatigue is especially important for youth athletes. However, markers for the strain of adaptive capabilities, specifically those involved in the regulation of the central nervous system (CNS), cardiovascular system (CVS), and bone tissue metabolism, are not included into the number of the markers that are recorded as a part of the stepwise complex examination (SCE) or the program of comprehensive medical examination of Russian national teams. These programs are designed for determining an expanded panel of biochemical parameters. **Aim.** To evaluate advantages of an expanded biochemical panel in predicting a persistent performance slowdown of an elite athlete.

Methods. The subject of this study was a member of the Russian junior national cross-country skiing team (age, 18 years; height, 175.5 cm, body weight, 68.2 kg; 6 years in professional sports). As a part of this study, the athlete was tested on a h/p/cosmos venus 200/100r running treadmill with recording the oxygen consumption with a MetaMax 3B spirometer. Hematological tests were performed on a XN-1000 automated hematological analyzer. Serum concentrations of ALT, AST, CK, CK-MB, glucose, total protein, urea, triglycerides, and iron were measured on cobas c 311. Concentrations of β -CrossLaps, P1NP, N-MID fragment of osteocalcin, NT-proBNP, and myoglobin were measured using a cobas e 411 immunochemical analyzer. Lactate concentration in capillary blood was measured on a BTS-350 semi-automatic photometer with a respective reagent kit. Serum concentrations of endogenous steroid hormones, fat-soluble vitamins, and plasma concentrations of neurotransmitters were measured by UPLC-MS/MS.

Results. The concentrations of standard biochemical markers measured as a part of SCE for athletes of the Russian national cross-country skiing team were within the sport-specific reference range. However, this athlete had high concentrations of P1NP, β -CrossLaps and NT-proBNP, and low concentrations of the N-MID fragment of osteocalcin and vitamin D.

Conclusions. The biochemical profile of the ultrahigh-qualification athlete during the complete physical examination is not sufficient to reflect the adaptive processes induced by a physical stimulus. Additional monitoring of the state of CNS, CVS and the locomotor system together with biochemical tests during the training process would not only provide assessment of the current functional state but also predict threatening maladaptation and help identifying a possible mechanism of steady fatigue.

Keywords: competitive athlete; biochemical profile; fatigue; functional state; decreased performance

For citation: Dikunets M.A., Dudko G.A., Viryus E.D., Kryuchkov A.S. The use of extended biochemical profile for predicting a sustained decline in the performance of highly qualified athlete. *Patologicheskaya Fiziologiya i Eksperimental'naya terapiya. (Pathological Physiology and Experimental Therapy, Russian Journal)*. 2022; 66(4): 86-93. (in Russian).

DOI: 10.25557/0031-2991.2022.04.86-93

Author's contribution: study concept and design, information collection and processing, text writing – Dikunets M.A., Kryuchkov A.S.; text editing – Viryus E.D., Dudko G.A. Approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article – all authors.

For correspondence: *Dudko Grigoriy Alekseevich*, Senior Scientist, Federal State Budgetary Institution «Federal Science Center for Physical Culture and Sport», Elizavetinsky lane 10/1, 105005, Moscow, Russia, e-mail: dudko.g.a@vniifk.ru

Information about the authors:

Dikunets M.A., <https://orcid.org/0000-0002-5945-0722>

Dudko G.A., <https://orcid.org/0000-0002-1064-3283>

Viryus E.D., <https://orcid.org/0000-0001-9371-6494>

Kryuchkov A.S., <https://orcid.org/0000-0001-9423-8092>

Financing. The current study was carried out within the state task of Federal State Budgetary Institution «Federal Science Center for Physical Culture and Sport» № 777-00026-22-00 (subject № 001-22/3).

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Received 18.09.2022

Accepted 27.10.2022

Published 15.12.2022

Введение

Подготовка лыжника высокого класса представляет собой многолетний процесс, условно разделенный на периоды и этапы. Каждый этап многолетней

подготовки отличается специфичностью содержания и формой организации физических нагрузок, обеспечивая сложное системное воздействие на физическое состояние и здоровье спортсменов [1]. Начиная с этапа специализированной базовой подготовки трени-

ровочный процесс ориентирован на создание избирательной морфофункциональной специализации систем организма спортсмена в соответствии с требованиями лыжных гонок. В то же время, в возрасте 17–18 лет еще продолжают ростовые процессы, сопровождающиеся психосоматическими и гормональными перестройками организма [2]. Следовательно, создается ситуация, когда на этапе специализированной базовой подготовки процесс естественного онтогенеза начинает активно взаимодействовать с искусственным (тренировочным) процессом, стимулирующим соматическое и функциональное развитие организма в направлении требований лыжного спорта. В случае, если характер акцентов тренирующих воздействий не совпадает с естественными возрастными процессами изменения физического потенциала спортсмена и его текущей готовностью к восприятию тренирующей информации определенного типа, возникает угроза истощения адаптационных ресурсов в нагружаемых системах организма и возрастает риск развития переутомления и перенапряжения организма [3].

Патогенные аспекты перенапряжения до сих пор недостаточно четко определены и не отличаются от тех, которые характеризуют перетренированность. Снижение работоспособности, преждевременная усталость и усиление мышечных болей у спортсменов могут свидетельствовать как о перенапряжении, так и о перетренированности, с той разницей, что в первом случае для восстановления требуется несколько дней или недель, а во втором, в виду тяжелого патологического состояния, на это уходят месяцы [4]. Отличительными чертами перетренированности являются неспособность спортсмена выдерживать интенсивные физические нагрузки и снижение работоспособности даже в условиях существенного снижения силы тренирующих воздействий.

Для диагностики утомления используется комплекс методов, в том числе и биохимический мониторинг. Применяемая практика биохимических обследований спортсменов юношеского возраста и спортсменов сборной команды России по лыжным гонкам и биатлону направлена на оценку общепринятых маркеров, отражающих уровень адаптационных резервов организма спортсмена [5]. Однако ни в программу этапного комплексного обследования (ЭКО), ни даже в программу углубленных медицинских обследований

спортсменов сборных команд России, в рамках которой определяют расширенную панель биохимических показателей¹, не включены маркеры, отражающие напряжение адаптационных возможностей организма, в частности, вовлеченные в регуляцию ЦНС и сердечно-сосудистой (ССС) систем, метаболизма костной ткани. Таким образом, прогнозирование переутомления является актуальной задачей, особенно для спортсменов юношеского возраста, поскольку их организм находится в зоне повышенного риска. Комплексный подход к оценке взаимосвязи физиологических систем в процессе адаптации к физическим нагрузкам для своевременного выявления факторов, лимитирующих физическую деятельность, поможет не только достичь высоких результатов в спорте, но и сохранить здоровье юного спортсмена.

Цель работы – оценка преимуществ использования расширенного биохимического профиля спортсмена сверхвысокой квалификации при прогнозировании стойкого снижения его работоспособности.

Методика

Все исследования выполнялись по международным правилам работы с биоматериалом людей. Исследование одобрено этическим комитетом ФГБУ ФНЦ ВНИИФК. В нашем наблюдении участвовал спортсмен сборной команды России по лыжным гонкам (18 лет, 175.5 см, 68.2 кг, стаж 6 лет), подписавший информированное согласие на участие в обследовании. Спортсмен жаловался на быструю утомляемость и низкую работоспособность, сохраняющуюся несколько последних месяцев. Он утверждал, что увеличение периода отдыха между высокоинтенсивными нагрузками в рамках недельного микроцикла не приводило к восстановлению уровня физических кондиций.

Для оценки уровня и выявления возможных причин спада работоспособности спортсмену было предложено пройти функциональное тестирование на беговом тредбане h/p/cosmos venus 200/100r (h/p/cosmos sports & medical gmbh, Германия) с регистрацией уровня потребления кислорода на мощности аэробного (АЭП) и анаэробного (ПАНО) порогов с использованием системы эргоспирометрии MetaMax 3B (Cortex, Германия). Начальная скорость полотна тредбана в ступенчатом тесте составляла 6 км/ч в течение 2 мин,

¹Приказ Министерства здравоохранения РФ от 23 октября 2020 г. №1144н «Об утверждении порядка организации оказания медицинской помощи лицам, занимающимся физической культурой и спортом (в том числе при подготовке и проведении физкультурных и спортивных мероприятий), включая порядок медицинского осмотра лиц, желающих пройти спортивную подготовку, заниматься физической культурой и спортом в организациях и (или) выполнить нормативы испытаний (тестов) Всероссийского физкультурно-спортивного комплекса "Готов к труду и обороне" (ГТО)" и форм медицинских заключений о допуске к участию физкультурных и спортивных мероприятиях».

затем каждую последующую минуту повышалась на 0.5 км/ч при неизменном угле наклона (10 град.) до достижения спортсменом уровня ПАНО. До, во время (3 и 9 мин) и после (3, 7 и 10 мин восстановления) ступенчатого теста у спортсмена проводили забор капиллярной крови для определения текущего уровня лактата. До и после ступенчатого теста (5 мин восстановления) оценивали функциональное состояние и вегетативную ортостатическую устойчивость ССС спортсмена методом электрокардиографии (ЭКГ) с использованием 12-канального электрокардиографа Cardisuny C300 (Fukuda Denshi, Япония).

До проведения функционального тестирования (после 12-часового голодания и 24-часового отсутствия тренировок) у спортсмена проводился забор крови из локтевой вены в вакуумные пробирки (Greiner Bio One, Австрия), содержащие: антикоагулянт КЗ-ЭДТА для гематологического исследования цельной крови, активатор свертывания и гель-сепаратор для биохимического анализа сыворотки, антикоагулянт лития гепарин для исследования плазмы, фторид натрия и оксалат калия для определения концентрации лактата. Образцы тщательно перемешивали, инкубировали при комнатной температуре в течение 30 мин, после чего центрифугировали согласно рекомендациям производителя вакуумных пробирок.

Гематологический анализ цельной крови проводили с использованием автоматизированного гематологического анализатора XN-1000 с технологией флуоресцентной проточной цитометрии (Sysmex, Япония). Анализ образцов сыворотки для определения активностей АСТ, АЛТ, КФК и концентраций КФК-МВ, глюкозы, общего белка, мочевины, триглицеридов и железа проводили на автоматическом биохимическом анализаторе cobas с 311 (Roche/Nitachi, Япония) с использованием коммерческих наборов (Roche, Германия). Количественное определение маркеров метаболизма костной ткани (C-концевой телопептид коллагена I типа (β -CrossLaps), N-терминальный пропептид проколлагена I типа (P1NP), N-MID фрагмент остеокальцина) и повреждения сердечной мышцы (N-концевой полипептид натрийуретического гормона (NT-proBNP), миоглобин) в сыворотке выполняли на автоматическом иммунохимическом анализаторе cobas e 411 (Roche, Германия) с использованием коммерческих наборов (Roche, Германия). Концентрацию лактата в капиллярной крови измеряли на полуавтоматическом фотометре BTS-350 (BioSystems S.A., Испания) с использованием коммерческого набора (АО «Витал Девелопмент Корпорэйшн», Россия).

Для определения концентраций эндогенных стероидных гормонов и жирорастворимых витаминов в сыворотке и нейромедиаторов в плазме использовали метод высокоэффективной жидкостной хроматографии в сочетании с тандемной масс-спектрометрией. Анализ выполняли на сверхбыстром жидкостном хромато-масс-спектрометре с тройным квадруполом и внешним источником электрораспылительной ионизации с нагреваемым потоком при атмосферном давлении LCMS-8060 (Shimadzu, Япония).

Результаты

Показатели потребления кислорода на мощности АЭП и ПАНО у лыжника составили 56 и 68 мл/кг/мин, частота сердечных сокращений (ЧСС) для АЭП и ПАНО – 156 и 182 уд./мин соответственно. Биохимический профиль спортсменов сборной команды России по лыжным гонкам, предусмотренный программой ЭКО, включает следующие показатели: гемоглобин, гематокрит, тестостерон, кортизол, мочевины, общий белок, АЛТ, АСТ, КФК, железо, глюкоза, триглицериды, лактат (**рис. 1**). Данная программа была расширена за счет включения маркеров активации ЦНС, метаболизма костной ткани и кардиомаркеров (**рис. 2**).

Обсуждение

Показатели потребления кислорода на мощности АЭП и ПАНО у лыжника указывают на достаточно высокий уровень аэробных возможностей как медленных, так и быстрых мышечных волокон. Показатели ЧСС для АЭП и ПАНО не выходили за границы нормальных для данного спортсмена значений, отклонения от индивидуальных пульсовых коридоров под нагрузкой отсутствовали. В характеристиках ЭКГ, полученных перед функциональным тестированием, также не обнаружено отклонений в работе сердечной мышцы, однако после ступенчатого теста были выявлены признаки ранней реполяризации задней стенки миокарда.

Биохимические маркеры были нами распределены по функциональным системам организма. Регистрируемые в рамках проведения ЭКО спортсменов сборной команды России по лыжным гонкам маркеры энергообеспечения, кислородтранспортной системы и гормонального гомеостаза не выходили за границы референсных интервалов, установленных нами для данного вида спорта, что может служить критерием адекватности реакций организма спортсмена на нагрузки (**рис. 1**). Активности КФК, АЛТ, АСТ и расчетный коэффициент де Ритиса, широко используемые для оценки механического повреждения клеток скелет-

ных мышц и особенностей метаболической адаптации под воздействием физического стимула, параметры глубины воздействия, динамика процесса восстановления, а также адаптационный потенциал и уровень тренированности спортсмена не выявили признаков повреждения скелетных мышц и клеток печени лыжника под воздействием механического или метаболического стресса.

Концентрация мочевины превышала верхнюю границу референсного диапазона, что может указывать на состояние утомления. Вместе с тем, высокое содержание общего белка свидетельствует о том, что повышенный уровень мочевины, скорее всего, вызван употреблением спортсменом пищи, содержащей большое количество белка, и различных форм протеинсодержащих продуктов. Таким образом, полученные пе-

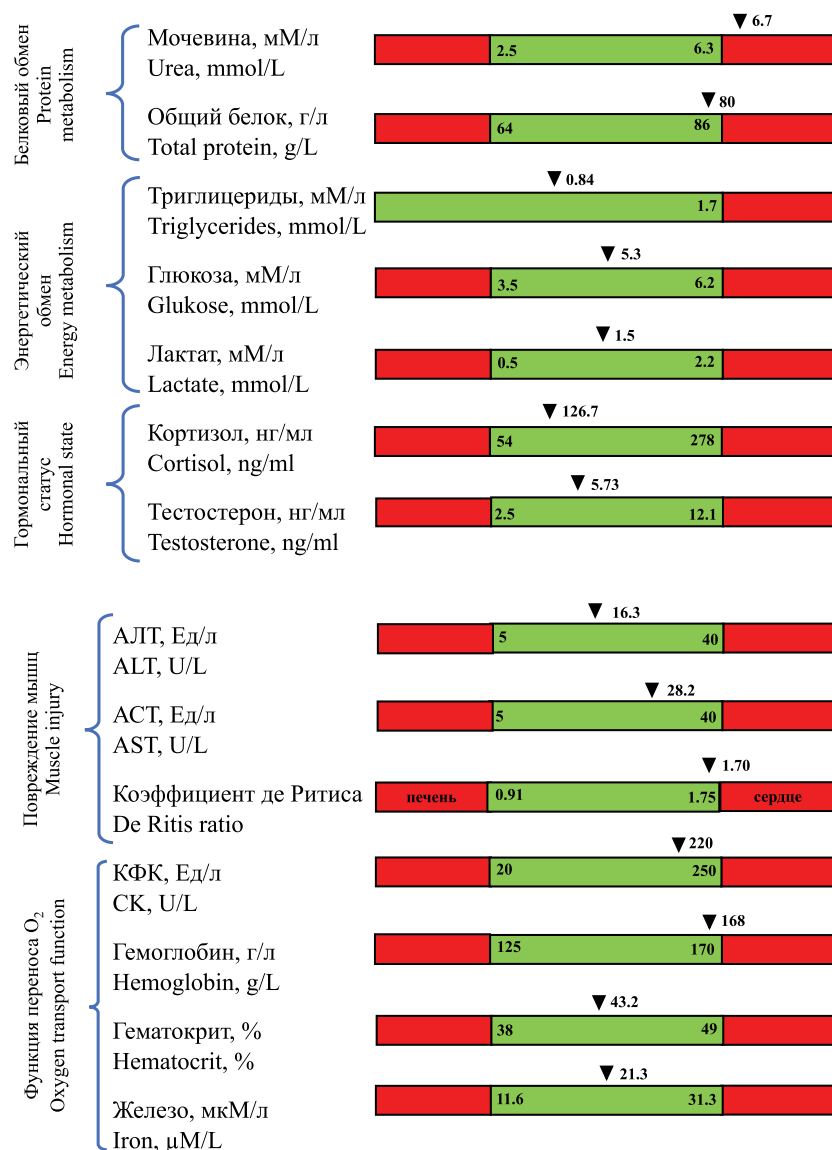


Рис. 1. Биохимический профиль обследуемого спортсмена, регистрируемый в рамках этапного комплексного обследования спортсменов сборной команды России по лыжным гонкам. АЛТ – аланинаминотрансфераза; АСТ – аспаратаминотрансфераза; КФК – креатинфосфокиназа; O₂ – кислород.

Fig. 1. Biochemical profile, registered for the tested subject during complete physical examination for the athletes of the Russian national cross-country team. ALT – alanine transaminase (EC 2.6.1.2); AST – aspartate transaminase (EC 2.6.1.1); CK – creatine phosphokinase (EC 2.7.3.2).

ред функциональным тестированием ЭКГ, результаты функциональной диагностики и биохимический профиль с регистрацией показателей, включенных в плановое этапное комплексное обследование сборной команды России по лыжным гонкам, не выявили каких-либо нарушений/напряжений в мышечной и метаболической адаптации у данного спортсмена, а также причин быстрой утомляемости и низкой работоспособности.

Хорошо известно, что главенствующую роль в развитии утомления играет ЦНС. Концентрации нейромедиаторов (адреналин, норадреналин, дофамин, серотонин) рассматривали как предикторы активации симпатoadреналовой, серотонинергической и дофаминергической систем организма спортсмена в ответ

на нагрузки, предшествующие функциональному тестированию. С позиции «гипотезы центрального утомления», основанной на взаимосвязи между серотонином и дофамином [6], у спортсмена наблюдали низкую дофаминергическую активность на фоне высокой серотонинергической. Это может являться причиной возникновения утомления, приводящего к снижению физической работоспособности и сопровождаться колебаниями настроения, самочувствия, желания тренироваться и завышением субъективного восприятия тяжести нагрузки.

Как правило к 18 годам достигается баланс ремоделирования кости, то есть стабилизация остеорезорбтивных и остеосинтетических механизмов. У обследуемого спортсмена высокие концентрации P1NP и β -CrossLaps

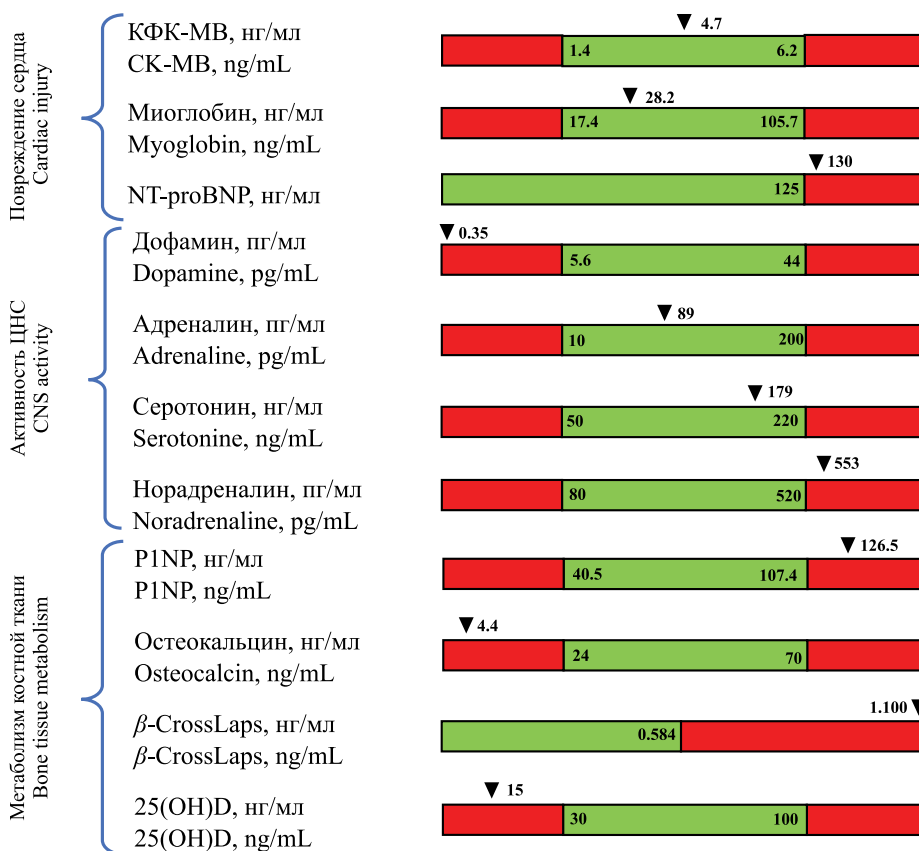


Рис. 2. Панель биомаркеров, предлагаемая нами для расширения биохимического профиля спортсменов, регистрируемого в рамках этапного комплексного обследования спортсменов сборной команды России по лыжным гонкам. КФК-МВ – сердечная изоформа креатинфосфокиназы; ЦНС – центральная нервная система; NT-proBNP – N-концевой полипептид натрийуретического гормона; P1NP – N-терминальный пропептид проколлагена I типа; β -CrossLaps – C-концевой телопептид коллагена I типа; 25(OH)D – 25-гидроксивитамин D.

Fig. 2. A panel of biomarkers to expand the biochemical profile of athletes collected during complete physical examination for the athletes of the Russian national cross-country team. CK-MB – cardiac creatine phosphokinase isoform; CNS – central nervous system; NT-proBNP – N-terminal prohormone of brain natriuretic peptide; P1NP – N-terminal propeptide of type I procollagen; β -CrossLaps – C-terminal telopeptide of type I collagen; 25(OH)D – 25-hydroxyvitamin D.

сопровождались низким содержанием N-MID фрагмента остеокальцина, что свидетельствует о высоком уровне процесса ремоделирования костной ткани. Повышенное содержание β -CrossLaps является индикатором длительного воздействия нагрузок высокой интенсивности и несоответствия их общему уровню физической подготовленности спортсмена, что может привести к хроническому перенапряжению или микротравмам, нарушающим структуру и функцию тканей.

Концентрация биологически активной формы витамина D – 25(OH)D у спортсмена была в 2 раза ниже нижней границы референтного диапазона (30–100 нг/мл) [7]. Известно, что витамин D влияет на секрецию гормонов, регуляцию экспрессии генов, функционирование нервной, иммунной, эндокринной, сердечно-сосудистой и мышечной систем, включая синтез митохондриальных белков в мышечных клетках человека за счет ингибирования образования активных форм кислорода и митохондриальной дисфункции [8, 9]. Кроме того, истощение витамина D может привести к гипериннервации и ноцицептивной гиперчувствительности в глубоких мышечных тканях и потере равновесия без влияния на мышечную силу, которые во время выполнения физических упражнений могут вызывать ложное появление миалгии. На основании этого мы можем предположить, что снижение работоспособности у лыжника может быть также связано с выявленным у него дефицитом витамина D.

У спортсменов, занимающихся видами спорта на выносливость, гипертрофия миокарда обычно развивается как за счет расширения его полостей, так и за счет утолщения стенок [10]. Высокоинтенсивные нагрузки представляют особую опасность для сердца юных спортсменов в возрасте 14–18 лет, когда прирост объема миокарда существенно опережает увеличение диаметра аорты, при этом за счет возрастного увеличения длины тела сосуды вытягиваются и сужаются. Кроме того, скорость роста сердечных клапанов уступает скорости изменения размера миокарда, что приводит к асинхронности работы сосочковых мышц сердца [11, 12]. При такой «незрелости» кардиореспираторной системы сердце юных спортсменов испытывает повышенное напряжение при выполнении физических упражнений и особенно при работе в циклических высокоскоростных двигательных режимах.

Концентрация изоформы КФК-МВ, которую часто используют в качестве маркера повреждения кардиомиоцитов, не выходила за рамки референтных значений. Содержание белка саркоплазмы скелетных и сердечной мышц – миоглобина, считающегося в клинической практике наиболее информативным

маркером мышечного повреждения и используемого для ранней диагностики острых коронарных синдромов, у спортсмена не отклонялось от нормы. На наш взгляд, в спортивной медицине использовать миоглобин в качестве маркера оценки адаптационных процессов сердца к предлагаемым нагрузкам нецелесообразно, поскольку к его высвобождению и попаданию в кровоток приводит лизис клеток миокарда и/или скелетных мышц, и при отсутствии осложнений его уровень возвращается к физиологическим значениям в течение 24 ч. В тоже время концентрация секретируемого в ответ на стресс кардиомиоцитов NT-proBNP у лыжника была выше верхней границы референтного интервала, что указывает на растяжение стенки левого желудочка и наличие угрозы срыва адаптации сердца спортсмена к предлагаемым нагрузкам.

Заключение

Важным фактором планирования тренировочного процесса и оценки результатов соревновательной деятельности является контроль функционального состояния спортсмена. Биохимический профиль спортсмена, получаемый при проведении ЭКО спортсменов, занимающихся видами спорта на выносливость, не полностью отражает состояние адаптационных процессов, происходящих при воздействии физического стимула. Дополнительный контроль за состоянием ЦНС, ОДА и ССС с традиционной биохимической диагностикой в условиях тренировочного процесса позволяет оценить текущее функциональное состояние организма, и открывает новые возможности прогнозирования угрозы срыва адаптации и установления вероятного механизма возникновения устойчивого состояния утомления. Подход на основе выявления новых факторов, лимитирующих физическую деятельность, позволит спортивным врачам и тренеру использовать адекватные средства коррекции тренировочного процесса и разработать соответствующие средства восстановления для обеспечения максимального сохранения функционального потенциала спортсмена и повышения эффективности тренировочной деятельности и результативности соревновательной деятельности в профессиональном спорте.

Литература

(п.п. 6; 8–10; 12 см. References)

1. Платонов В.Н. Система подготовки спортсменов в олимпийском спорте. Общая теория и ее практическое приложение: учебник для тренеров. В 2 кн. Киев: Олимпийская литература; 2015.
2. Солодков А.С., Сологуб Е.Б. Физиология человека. Общая. Спортивная. Возрастная: учебник. Изд. М.: Спорт; 2016.

3. Бальсевич В.К. *Очерки по возрастной кинезиологии человека*. М.: Советский спорт; 2009.
4. Платонов В.Н. Перетренированность в спорте. *Наука в олимпийском спорте*. 2015; 1: 19–34.
5. Никулин Б.А., Родионова И.И. *Биохимический контроль в спорте: научно-методическое пособие*. М.: Советский спорт; 2011.
7. Пигарова Е.А., Рожинская Л.Я., Белая Ж.Е., Дзеранова Л.К., Каронова Т.Л., Ильин А.В. и др. Клинические рекомендации Российской ассоциации эндокринологов по диагностике, лечению и профилактике дефицита витамина D у взрослых. *Проблемы эндокринологии*. 2016; 62(4): 60–84.
11. Ляксо Е.Е., Ноздрачев А.Д., Соколова Л.В. *Возрастная физиология и психофизиология: учебник для среднего профессионального образования*. М.: Издательство Юрайт; 2020.
5. Nikulin B.A., Rodionova I.I. *Biochemical control in sports: a scientific and methodological guide. [Biohimicheskiy kontrol' v sporte: nauchno-metodicheskoe posobie]*. Moscow; Sovetskiy sport; 2011. (in Russian)
6. Davis J.M., Bailey S.P. Possible mechanisms of central nervous system fatigue during exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1997; 29(1): 45–57. <https://doi.org/10.1097/00005768-199701000-00008>
7. Pigarova E.A., Rozhinskaja L.Ja., Belaja Zh.E., Dzeranova L.K., Karonova T.L., Il'in A.V., et al. Clinical guidelines of the Russian Association of Endocrinologists for the diagnosis, treatment and prevention of vitamin D deficiency in adults. *Problemy endokrinologii*. 2016; 62(4): 60–84. <https://doi.org/10.14341/probl201662460-84>. (in Russian)
8. Caballero-Garcia A., Cordova-Martinez A., Vicente-Salar N., Roche E., Perez-Valdecantos D. Vitamin D, its role in recovery after muscular damage following exercise. *Nutrients*. 2021; 13(7): 2336. <https://doi.org/10.3390/nu13072336>
9. Wrzosek M., Lukaszkiwicz J., Wrzosek M., Jakubczyk A., Matsu-moto H., Piatkiewicz P., et al. Vitamin D and the central nervous system. *Pharmacol. Rep.* 2013; 65(2): 271–8. [https://doi.org/10.1016/s1734-1140\(13\)71003-x](https://doi.org/10.1016/s1734-1140(13)71003-x)
10. McCann G.P., Muir D.F., Hillis W.S. Athletic left ventricular hypertrophy: long-term studies are required. *Eur. Heart J.* 2000; 21(5): 351–3. <https://doi.org/10.1053/euhj.1999.1783>
11. Ljasko E.E., Nozdrachev A.D., Sokolova L.V. *Developmental physiology and psychophysiology: a textbook for secondary vocational education. [Vozrastnaya fiziologiya i psikhofiziologiya: uchebnik dlya srednego professional'nogo obrazovaniya]*. Moscow; Izdatel'stvo Yurayt; 2020. (in Russian)
12. Rodriguez-Lopez A.M., Javier G., Carmen P., Esteban P., Luisa G.C., Tomas F., et al. Athlete heart in children and young athletes. Echocardiographic findings in 331 cases. *Pediatr. Cardiol.* 2022; 43(2): 407–12. <https://doi.org/10.1007/s00246-021-02736-5>

References

1. Platonov V.N. *The system for training athletes in Olympic sports. General theory and its practical application: manual for coaches. [Sistema podgotovki sportsmenov v olimpiyskom sporte. Obshchaya teoriya i ee prakticheskoe prilozhenie: uchebnik dlya trenerov]*. Kiev; Olimpiyskaya literature; 2015. (in Russian)
2. Solodkov A.S., Sologub E.B. *Human physiology. General. Age-specific: textbook. [Fiziologiya cheloveka. Obshhaya. Sportivnaya. Vozrastnaya: uchebnik]*. Moscow; Sport; 2016. (in Russian)
3. Bal'sevich V.K. *Essays on human developmental kinesiology. [Oчерки по возрастнoй кинезиологии человека]*. Moscow; Sovetskiy sport; 2009. (in Russian)
4. Platonov V.N. Overtraining in sports. *Nauka v olimpiyskom sporte*. 2015; (1): 19–34. (in Russian)

Сведения об авторах:

Марина Александровна Дикунец, канд. хим. наук, вед. науч. сотр. лаб. проблем спортивной подготовки, ФГБУ «ФНЦ физической культуры и спорта», e-mail: dikunets.m.a@vniifk.ru;

Григорий Алексеевич Дудко, ст. науч. сотр. лаб. проблем спортивной подготовки, ФГБУ «ФНЦ физической культуры и спорта», e-mail: dudko.g.a@vniifk.ru;

Эдуард Даниэлевич Вирюс, доктор хим. наук, вед. науч. сотр. лаб. функциональной протеомики и метаболомики, ФГБУ НИИОПП РАН, e-mail: edwardvirus@yandex.ru;

Андрей Сергеевич Крючков, канд. пед. наук, зав. лаб. проблем спортивной подготовки, ФГБУ «ФНЦ физической культуры и спорта», e-mail: kruchkova_an@mail.ru