

Контроль и управление тренировочным процессом с помощью комплекса лабораторных маркеров

Лариса Гунина¹, Ирина Рыбина², Жасталап Санауов³

¹Национальный университет физического воспитания и спорта Украины, Учебно-научный олимпийский институт, Киев, Украина

²Белорусская Федерация биатлона, Комплексная научная группа по научно-методическому обеспечению, Минск, Республика Беларусь

³Федерация карате-до Казахстана, Алматы, Республика Казахстан

Training process control and management using laboratory marker complex

Larisa Gunina, Irina Rybina, Zhastalap Sanauov

ABSTRACT. *Objective.* Based on the analysis of the modern literature data, to form an idea of those laboratory markers that can be rationally and reasonably used by the coach during training sessions to control and manage the training process of athletes. *Methods.* Analysis and generalization of the results of scientific and methodological literature and abstract databases on the studied issue. *Results.* Based on literature data analysis and the results of authors' practical work the use of a complex of indices (lactate, urea, glucose content) has been substantiated, changes of which reflect all metabolic aspects and mechanisms of muscular activity energy supply in the dynamics of training session aimed at development of various physical qualities. *Conclusion.* Suggested algorithm for the use of laboratory marker complex can be implemented by the coach independently, especially in the presence of portable analyzers. To obtain more detailed data reflecting the body homeostatic balance status, this complex can be easily supplemented with markers of the enzymatic link (creatine phosphokinase, lactate dehydrogenase, aminotransferase, etc.) as well as the calculation of the muscle tissue damage index.

Keywords: elite sport, physical capacities, energy supply mechanisms, intensity zones, training process management, lactate, urea, glucose.

Контроль і управління тренувальним процесом за допомогою комплексу лабораторних маркерів

Лариса Гуніна, Ірина Рибіна, Жасталап Санауов

АНОТАЦІЯ. *Мета.* На основі аналізу даних сучасної літератури сформувані уявлення про ті лабораторні маркери, які раціонально і обґрунтовано можуть бути застосовані тренером у процесі тренувальних занять для контролю і управління тренувальним процесом спортсменів. *Методи.* Аналіз і узагальнення результатів науково-методичної літератури та реферативних баз даних з досліджуваного питання. *Результати.* На основі аналізу даних літератури та результатів практичної роботи авторів обґрунтовано застосування комплексу показників (вміст лактату, сечовини, глюкози) зміни яких відображають всі метаболічні аспекти та механізми енергозабезпечення м'язової діяльності у динаміці тренувального заняття, спрямованого на розвиток різних фізичних якостей. *Висновок.* Запропонований алгоритм застосування комплексу лабораторних маркерів може бути реалізований тренером самостійно, особливо за наявності портативних аналізаторів. Для отримання більш детальних даних, що відображають стан гомеостатичної рівноваги організму, даний комплекс може бути легко доповнений маркерами ферментативної ланки (креатинфосфокіназа, лактатдегідрогеназа, амінотрансферази та ін.), а також розрахунком індексу пошкодження м'язової тканини.

Ключові слова: спорт вищих досягнень, фізичні якості, механізми енергозабезпечення, зони інтенсивності, управління тренувальним процесом, лактат, сечовина, глюкоза.

Контроль и управление тренировочным процессом с помощью комплекса лабораторных маркеров

Лариса Гунина, Ирина Рыбина, Жасталап Санауов

АННОТАЦИЯ. *Цель.* На основе анализа данных современной литературы сформировать представления о тех лабораторных маркерах, которые рационально и обоснованно могут быть применены тренером в процессе тренировочных занятий для контроля и управления тренировочным процессом спортсменов. *Методы.* Анализ и обобщение результатов научно-методической литературы и реферативных баз данных по изучаемому вопросу. *Результаты.* На основе анализа данных литературы и результатов практической работы авторов обосновано применение комплекса показателей – содержания лактата, мочевины, глюкозы, изменения которых отображают все метаболические аспекты и механизмы энергообеспечения мышечной деятельности в динамике тренировочного занятия, направленного на развитие различных физических качеств. *Заключение.* Предложенный алгоритм использования комплекса лабораторных маркеров может быть реализован тренером самостоятельно, особенно при наличии портативных анализаторов. Для получения более детальных данных, отражающих состояние гомеостатического равновесия организма, данный комплекс может быть легко дополнен маркерами ферментативного звена (креатинфосфокиназа, лактатдегидрогеназа, аминотрансферазы и др.), а также расчетом индекса повреждения мышечной ткани.

Ключевые слова: спорт высших достижений, физические качества, механизмы энергообеспечения, зоны интенсивности, управление тренировочным процессом, лактат, мочевина, глюкоза.

Постановка проблемы. В настоящее время устойчивой тенденцией в области спортивной педагогики является индивидуализация тренировочного процесса и построение программы подготовки с учетом адаптационного потенциала спортсменов. В основе такого подхода лежит необходимость получения объективной информации о физиологическом ответе организма спортсмена на то или иное тренировочное воздействие как в рамках срочной, так и долговременной адаптации [16]. При таком подходе первостепенное значение имеет поиск адекватных методов исследования, результаты которого наиболее точно отражали бы физиологические и метаболические изменения при напряженной мышечной деятельности [38].

В данной статье будет заострено внимание на обоснованности применения в практике работы тренера наиболее часто используемых лабораторных, прежде всего, биохимических, маркеров и объективности информации, получаемой на основании анализа данных относительно изменений значений этих маркеров. Исследования могут быть выполнены как в процессе тренировочного занятия с использованием портативных приборов, так и быть доступными для выполнения в клиничко-диагностических и научных лабораториях. Известно, что в основе всех гомеостатических перестроек, возникающих в организме спортсмена вследствие интенсивных физических нагрузок, лежат изменения направленности и интенсивности метаболических (обменных) процессов в работающих мышцах, а также других органах и тканях [3, 5, 9, 12]. Эти метаболические сдвиги опосредуются нейроэндокринной системой при участии практически всех гормонов [29, 30], которые вырабатываются в организме, и затрагивают мышечную систему, печень, миокард, головной мозг, поджелудочную железу, почки и др. Интенсивные и длительные спортивные нагрузки, не соответствующие адаптационным возможностям организма спортсмена, приводят к развитию утомления, вследствие чего уменьшается работоспособность, снижается эффективность тренировочной и соревновательной деятельности [12]. Контроль процессов утомления и восстановления, которые являются неотъемлемыми компонентами спортивной деятельности, необходим для оценки переносимости физической нагрузки и раннего, доклинического, выявления признаков переутомления и перетренированности [2], определения достаточности времени отдыха после физических нагрузок, оценки эффективности средств повышения работоспособности, а также для решения других задач [43].

В настоящее время существует широкий перечень биохимических, гематологических иммунологических и других критериев, применяемых в практике подготовки спортсменов не только для оценки их функционального состояния и уровня здоровья [20], а также, прежде всего, для контроля и управления тренировочным процессом [34]. Проблема заключается лишь в адекватном,

соответствующем стратегическим и текущим задачам тренировочного процесса выборе таких критериев для обоснованной последующей коррекции метаболически «узких мест» [41, 47].

Цель исследования – поиск простого и доступного алгоритма оценки лабораторных параметров в сопоставлении с данными мониторинга частоты сердечных сокращений в динамике тренировочного занятия для контроля и управления процессом подготовки спортсменов.

Методы исследования: анализ и синтез результатов исследований, опубликованных в научно-методической литературе по изучаемому вопросу, данных сети Интернет и собственных данных авторов.

Результаты исследования. Исходя из вышеизложенного, при формировании комплекса лабораторных показателей, пригодных к использованию в контроле и управлении тренировочным процессом, следует учитывать важные требования к используемым тестам:

1) лабораторные тесты должны быть информативными для решения конкретной задачи тренировочного процесса, отражать важные стороны метаболизма, задействованные в ее реализации, служить основой для принятия дальнейших практических решений тренера;

2) лабораторные показатели должны обладать высокой чувствительностью, т.е. их значения должны значительно изменяться под влиянием физических нагрузок или воздействия других факторов (например, базового рациона, фармакологического и нутрициологического обеспечения и др.);

3) применяемые технологии лабораторных исследований должны обеспечивать необходимую аналитическую точность;

4) результаты исследований должны предоставляться максимально быстро от момента забора биоматериала до принятия решения о дальнейших действиях тренера и врача [15, 40].

При формировании профиля лабораторного обследования в динамике тренировочного процесса и отдельного тренировочного занятия целесообразно придерживаться алгоритма, приведенного на рисунке 1. При этом важно иметь объективную информацию о пределах изменений лабораторных показателей, ассоциированных именно с локомоциями, что дает тренеру ценные ориентиры для дальнейшего дозирования физических нагрузок.

В свою очередь, специалистам, работающим в практике спортивной подготовки, важно знать границы допустимых референтных интервалов для спортсменов, чтобы выявить за пределами высокие или аномально низкие значения показателей с целью проведения мероприятий, способствующих профилактике травматизма, развитию хронического утомления и дальнейшей перетренированности [38].

При этом, естественно, нужно помнить, что для спортсменов, особенно высококвалифицированных, вопрос о

РИСУНОК 1 – Алгоритм профиля лабораторного обследования спортсмена



последующем принятии решения об адекватности тренировочных нагрузок адапционным возможностям организма на основе лишь результатов лабораторного анализа не всегда может быть правильно решен путем сравнения определяемых показателей с диапазоном нормальных значений, установленных в общей популяции.

Важно помнить, что при оценке выраженности наступающих метаболических сдвигов следует учитывать время возвращения отдельных показателей к референтному уровню после нагрузок (табл. 1) для получения адекватного интенсивности физических нагрузок у спортсмена ответа.

Для планирования, контроля и управления процессом подготовки спортсменов тренером может быть использован очень значительный спектр лабораторных показателей, но важной задачей в этой ситуации является необходимость заострить внимание на доступных, просто и достаточно легко интерпретируемых тестах, которые рационально использовать тренеру в контроле и управлении тренировочным процессом.

К таким тестам, результаты которых рационально и удобно использовать тренеру в динамике отдельных тренировочных занятий для контроля процесса подготовки, относятся:

1. **Лактат.** Наиболее популярным лабораторным тестом, широко используемым в тренерской практике, является определение содержания лактата. Лактат (соль молочной кислоты, или часто терминологически в спорте – собственно сама молочная кислота) является продуктом метаболизма углеводов в процессе анаэробного гликолиза. Молочная (лактат) и пировиноградная (или пируват, ПВК) кислоты связаны процессами взаимопревращения, т.е. ПВК является источником для образования молочной кислоты, и, наоборот. Содержание

молочной (лактата) и пировиноградной кислот в крови существенно возрастает при выполнении интенсивной физической нагрузки. При этом накопление этих метаболитов в крови совпадает с усиленным образованием их в скелетных мышцах. В значительной степени концентрация молочной и пировиноградной кислот отражает степень ишемии тканей [24, 59].

Содержание молочной кислоты в покое у здорового нетренированного человека в норме составляет $1,0-1,5 \text{ ммоль} \cdot \text{л}^{-1}$, а при интенсивных физических нагрузках происходит достаточно быстрое увеличение концентрации лактата в крови, иногда очень существенное, что зависит от направленности и интенсивности тренировочной работы, степени тренированности работающих мышц, состава мышечных волокон, рациональности распределения нагрузки, скорости элиминации (выведения) лактата из крови [10, 55].

Мониторинг содержания лактата в крови в практике спортивной подготовки широко используется для оценки адаптации к предлагаемым тренировочным нагрузкам. Избыточное накопление лактата во время тренировочной и соревновательной деятельности – один из важнейших факторов, лимитирующих повышение работоспособности и результативности спортивных достижений, что особо значимо при циклических нагрузках.

Различают следующие типы повышения уровня лактата (лактат-ацидоз) в крови:

- I – содержание лактата повышено, соотношение лактат/пируват (Л/П) в норме; нет выраженного ацидоза;
- II А – связан с гипоксией, содержание лактата повышено, значение Л/П увеличено; характерен выраженный ацидоз;
- II Б – идиопатический тип, уровень лактата повышен, соотношение Л/П увеличено; ацидоз от умеренного до выраженного.

Утилизация лактата осуществляется в ряде органов (печень, почки, миокард, головной мозг, мышцы). При дефиците кислорода и развитии гипоксического состояния в клетках тканей концентрация молочной кислоты в крови повышается. Чрезмерное накопление лактата в крови нарушает ее кислотность, снижая рН и может привести к нарушению кислотно-основного баланса в организме [25, 27].

Существует несколько практических направлений в работе тренера относительно использования динамики содержания лактата для решения определенных задач тренировочного процесса.

Во-первых, наряду с показателем ЧСС, содержание лактата является надежным маркером для оценки соответствия интенсивности физической нагрузки зонам

ТАБЛИЦА 1 – Динамика восстановления основных продуктов и субстратов биохимического гомеостаза в организме спортсмена (Сейфулла, Орджоникидзе, 2003, в модификации авторов; цит. по: 18)

Процесс (реакция)	Время восстановления
Восстановление алактатных анаэробных резервов в мышцах (главным образом, креатинфосфат)	2–5 мин
Устранение избытка лактата в сыворотке крови	0,5–1,5 ч
Ресинтез запасов мышечного гликогена	12–48 ч
Восстановление запасов гликогена в печени	12–48 ч
Восстановление активности ферментов и содержания структурных белков	12–72 ч

ТАБЛИЦА 2 – Зоны энергообеспечения и интенсивность мышечной работы

Зона	Направленность и интенсивность работы	ЧСС, уд.·мин ⁻¹	[La], ммоль·л ⁻¹
I	Аэробная работа малой интенсивности (восстановительная)	60–70 % максимальной	
II	Аэробная работа умеренной интенсивности на уровне порога анаэробного обмена	70–80 % максимальной	2,0–3,0
III	Аэробная работа высокой интенсивности на уровне порога анаэробного обмена	80–90 % максимальной	3,0–4,0
IV	Смешанная аэробно-анаэробная работа с преимущественной мобилизацией аэробной системы энергообеспечения	90–95 % максимальной	5,0–6,0
V	Смешанная аэробно-анаэробная работа с преимущественной мобилизацией анаэробной лактатной системы энергообеспечения	95–100 % максимальной	На коротких дистанциях – 7,0–9,0 На средних дистанциях – 7,0–8,0 На длинных дистанциях – 6,0–7,0
VI	Анаэробная работа с максимальной активацией анаэробной лактатной системы энергообеспечения	100 % максимальной	На коротких дистанциях – 10,0–12,0 На средних дистанциях – 9,0–10,0 На длинных дистанциях – 8,0–9,0
VII	Спринтерская работа с максимальной активацией анаэробной алактатной системы и подвижности анаэробной лактатной системы; скорость максимальная	100 % максимальной	–

ТАБЛИЦА 3 – Классификация интенсивности нагрузок, принятая для циклических видов спорта Норвежской Олимпийской федерацией [цит. по: 51]

Зона интенсивности	Потребление кислорода, % $\dot{V}O_{2\max}$	ЧСС, % макс.	[La], ммоль·л ⁻¹	Продолжительность работы в зоне интенсивности
1	50–65	60–72	0,8–1,5	1–6 ч
2	66–80	72–82	1,5–2,5	1–3 ч
3	81–87	82–87	2,5–4,0	50–90 мин
4	88–93	88–92	4,0–6,0	30–60 мин
5	94–100	93–100	6,0–10,0	15–30 мин

энергообеспечения, и этот тест целесообразно выполнять в ходе тренировочного занятия. Особенно это актуально для циклических видов спорта с целью определения индивидуальных зон тренировочных режимов. Например, при выполнении непрерывной длительной циклической нагрузки, направленной на развитие аэробного механизма энергообеспечения, целесообразно выполнение исследований в ходе тренировочного занятия и на основании полученных данных – проведение корректировки интенсивности локомоций. При выполнении серий циклической нагрузки (например, на уровне ПАНО) определение уровня лактата по окончании каждой серии позволяет оценить соответствие планируемой интенсивности тренировочных занятий и реально-индивидуального физиологического ответа на выполняемые нагрузки. При несоответствии этих показателей существует возможность регулировать правильность включения механизма энергообеспечения путем увеличения или уменьшения интенсивности нагрузки циклического характера.

Существуют различные классификации интенсивности тренировочных нагрузок, включающие в себя несколько зон (от пяти и более). Несмотря на разнооб-

разии классификаций в их основе лежит специфика механизмов энергообеспечения мышечной деятельности [13], которые являются ведущими в процессе той или иной циклической нагрузки (табл. 2).

Примером одной из распространенных классификаций относительно зон интенсивности для практического применения в циклических видах спорта является классификация, разработанная Норвежской Олимпийской федерацией (табл. 3).

В целом же, независимо от применяемого подхода, физиологический смысл распределения нагрузок по зонам интенсивности предполагает разработку ориентиров для проведения тренировочных занятий на уровне порога аэробного обмена и ПАНО, а также гликолитических и анаэробных тренировочных занятий с акцентом на преимущественное функционирование креатинфосфатного механизма энергообеспечения.

При отсутствии возможности частого определения уровня лактата в ходе тренировочного занятия требуется проведение тестирований, позволяющих на основе динамики накопления лактата определить индивидуальные показатели ЧСС, соответствующие включению различных механизмов энергообеспечения. Этот подход базируется на утверждении, что уровень лактата хорошо коррелирует с показателями ЧСС, которые являются легко измеряемыми и контролируруемыми в процессе тренировочного занятия [44]. Однако в этом случае необходимо учитывать также спортивную квалификацию атлетов [26], поскольку, например, у спортсменов средней квалификации, специализирующихся в циклических видах спорта, накопление лактата на уровне ПАНО и выше наблюдается при интенсивности работы, соответствующей 60–65 % величины $\dot{V}O_{2\max}$. В то же время у высококвалифицированных спортсменов подключение анаэробной лактатной системы к процессам энергообеспечения мышечной деятельности происходит при

более высокой интенсивности работы – на уровне около 80 % величины $\dot{V}O_{2max}$ [11, 35].

Для этой цели наиболее часто используются тесты со ступенчато возрастающей нагрузкой, которые предполагают постепенное увеличение мощности выполняемой нагрузки и поэтапное включение механизмов энергообеспечения мышечной деятельности. В ходе тестов на каждой ступени фиксируются показатели мощности нагрузки (или скорости), ЧСС, содержание лактата и потребление кислорода. Путем соответствующей математической обработки определяются пульсовые и мощностные характеристики в разных зонах энергообеспечения. Тесты могут быть выполнены как в стандартных условиях с использованием эргометров (тредмилы, гребные эргометры, велоэргометры, лыжероллерные тредбаны и др.), так и в «полевых условиях» с выполнением специфичных серий нагрузки циклического характера с повышающейся интенсивностью.

Вместе с тем важно помнить, что накопление лактата зависит от того, какие группы мышц вовлекаются в работу [48]. Поэтому при одних и тех же показателях ЧСС накопление лактата будет различаться при разных видах тренировочных нагрузок, например, в беге, плавании, гребле и др. В соответствии с этим для определения пульсовых режимов тренировки при разных видах нагрузки необходимо специфическое тестирование по определению пороговых значений для каждой конкретной дисциплины. Например, недопустимо использовать данные тестирования на велоэргометре для других видов циклической нагрузки.

Во-вторых, актуальным практическим приложением для тренера является определение концентрации лактата при выполнении стандартной и максимальной нагрузки (например, на финише соревновательной дистанции в циклических видах спорта, при выполнении работы заданной мощности у гребцов, тесте 5 × 54 у хоккеистов и др.). В ходе стандартных тестирующих нагрузок возможно получить информацию о степени вклада тех или иных механизмов образования энергии в обеспечение стандартной нагрузки. В ходе тестов с максимальной нагрузкой определение содержания лактата дает информацию о мощности развертывания анаэробного гликолиза [45, 54]. Особенно важно проведение подобных тестов в динамике. У одного и того же спортсмена при выполнении стандартной нагрузки на разных этапах тренировочного процесса уменьшение содержания лактата свидетельствует о росте уровня тренированности, а повышение содержания лактата – об ухудшении тренированности [19]. Значительные же концентрации молочной кислоты в крови после выполнения максимальной работы – признак более высокого уровня тренированности при хорошем спортивном результате или большей метаболической емкости гликолиза, большей устойчивости его ферментов к смещению pH в кислую сторону. Таким образом, изменение концентрации молочной кислоты в крови после выполнения определенной физической на-

грузки связано с уровнем тренированности спортсмена. По изменению содержания лактата в крови определяют уровень развития анаэробных гликолитических возможностей организма, что важно при отборе спортсменов, совершенствовании их двигательных качеств, контроле тренировочных нагрузок и хода процессов восстановления и развития утомления у спортсменов.

В-третьих, к важным практическим направлениям использования теста содержания лактата относится оценка скорости срочного (постнагрузочного) восстановления. Одним из показателей способности спортсмена к восстановлению, а, следовательно, к последующему выполнению увеличенного объема физических нагрузок, является скорость утилизации лактата из периферической крови [33]. Снижение pH внутренней среды организма вследствие накопления продуктов анаэробного обмена негативным образом сказывается на показателях физической работоспособности. Эффективность срочного постнагрузочного восстановления существенным образом зависит от параметров утилизации лактата после нагрузок, требующих мобилизации возможностей гликолитической анаэробной системы энергообеспечения. Метаболические характеристики скорости устранения лактата после мышечной работы зависят от большого количества факторов, ведущими из которых являются величина его накопления, продолжительность работы гликолитической направленности, характер восстановительных заданий, а также индивидуальные особенности организма спортсмена [21].

В зависимости от специфики вида спорта (соревновательной дисциплины) и характера тренировочной работы утилизация лактата может оцениваться спустя 1–45 мин после окончания нагрузки. Одним из наиболее часто используемых показателей срочного восстановления являются концентрация лактата через 3 и 8 мин после окончания нагрузки. У женщин утилизация лактата протекает с более высокой интенсивностью по сравнению с мужчинами [1]. Например, в наших наблюдениях у биатлонисток скорость утилизации лактата, выраженная в процентах от исходного уровня, в течение восьмиминутного интервала отдыха после нагрузки составляла от 11,4 до 52,6 %. У мужчин в биатлоне наблюдаемые худшие показатели утилизации лактата заключались в приросте его концентрации на 5,4 %, наилучшие – в снижении на 58,2 %. Сравнительный анализ параметров утилизации лактата в крови биатлонистов в процентах по сравнению с исходными данными, проведенный в работе [14], показал достоверно ($p < 0,05$) более высокие показатели у женщин по сравнению с мужчинами на финише соревнований в спринте (рис. 2).

Динамика элиминации лактата из периферической крови через 8 мин у обследуемых значительным образом варьируется. Спортсмены, показавшие более высокие результаты, как правило, отличаются лучшей способностью к утилизации лактата в первые минуты после окончания нагрузки.

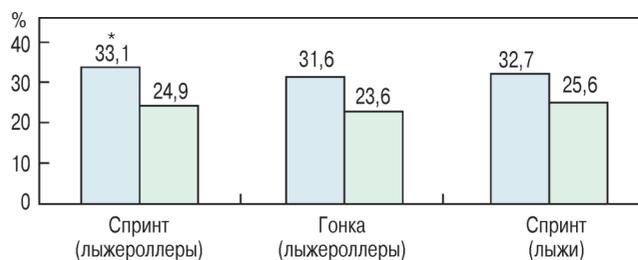


РИСУНОК 2 – Среднегрупповые данные скорости утилизации лактата в периферической крови биатлонистов через 8 мин по окончании нагрузки:

■ – женщины; ■ – мужчины

* Различия достоверны по сравнению с мужчинами; $p < 0,05$.

Скорость элиминации лактата из периферической крови после соревновательных нагрузок, требующих предельной мобилизации возможностей гликолитической анаэробной системы энергообеспечения, характеризует способность спортсмена к срочному восстановлению. Спортсмены, характеризующиеся меньшим накоплением и лучшей скоростью утилизации лактата, в большей степени способны к выполнению повышенного объема и интенсивности тренировочных нагрузок, и соответственно, достижению более высокого результата.

Величина скорости утилизации лактата служит одним из критериев оценки способности организма спортсменов к быстрому восстановлению и, наряду с другими данными, может использоваться при оценке перспективности спортсменов и разработке тренировочных программ, способствующих лучшей элиминации лактата в динамике постнагрузочного восстановления. Более интенсивной утилизации лактата способствует более высокий уровень гемоглобина, позволяя в условиях лучшего снабжения кислородом различных тканей организма в целом [42] и скелетных мышц, в частности [61], продуктам распада быстрее диффундировать из мышц в кровь и элиминироваться из организма [23].

Таким образом, в контроле тренировочного процесса оценка динамики содержания лактата может оказать тренеру существенную помощь и не потребует значительных усилий и затрат финансовых средств и времени. При трактовке результатов исследования содержания лактата тренеру важно принимать во внимание ряд факторов, влияющих на его величину. На накопление лактата в кровотоке влияют, как уже упоминалось, абсолютная интенсивность упражнений, степень тренированности работающих мышц, состав мышечных волокон, рациональность распределения нагрузки, скорость элиминации (выведения) лактата из крови. Кроме того, уровень лактата напрямую зависит от емкости буферных систем организма (бикарбонатной, фосфатной, белковой и др.). Проведение восстановительных мероприятий – массаж, сауна, водные процедуры и др. – способствуют усилению процессов снижения содержания лактата в крови, что обусловлено ускорением микроциркуляторного кровотока. Снижению со-

держания лактата в крови будут также способствовать средства, действие которых направлено на увеличение буферной емкости крови (Lactate Puffer и др.), а также микроэлементы, гепатопротекторы, аминокислоты, препараты метаболического и антиоксидантного действия (например, бенфогамма, янтарная кислота, астаксантин и др.) [7, 18, 36].

Оборудование для определения содержания лактата на мировом рынке представлено как портативными лактометрами, так и стационарными анализаторами лактата, позволяющими обеспечить высокое качество исследований. При работе важно придерживаться всех необходимых технологических моментов в ходе исследования, контролировать сроки годности реагентов, температурный режим исследования и другие факторы, способные повлиять на конечный результат.

2. **Мочевина.** Одним из важнейших и очень часто используемых в тренерской практике маркеров, отображающих рациональность построения тренировочного процесса спортсменов, является содержание мочевины. У практически здоровых людей референтное содержание мочевины в сыворотке крови находится в интервале 2,1–8,0 ммоль·л⁻¹. Величина этого показателя зависит от баланса между скоростью образования мочевины в печени и скоростью ее выведения почками. Концентрация мочевины в крови в состоянии покоя и при отсутствии патологических процессов у каждого взрослого человека индивидуальна и может увеличиваться до 7,0–8,0 ммоль·л⁻¹ при значительном поступлении белков с пищей, до 16,0–20,0 ммоль·л⁻¹ – при нарушении выделительной функции почек, а также до 9,0 ммоль·л⁻¹ и более после выполнения длительной физической нагрузки за счет усиления катаболизма белков.

Для получения объективной информации о переносимости разных нагрузок концентрацию мочевины определяют, в соответствии с данными таблицы 1, на следующий день, т.е. спустя 24 ч после окончания предшествующего тренировочного занятия утром натощак. В практике спортивной подготовки этот показатель широко используется для оценки переносимости спортсменом тренировочных и соревновательных нагрузок, контроля хода отдельных тренировочных занятий и процессов постнагрузочного восстановления организма. Если выполненная физическая нагрузка адекватна функциональным возможностям организма, и произошло относительно быстрое восстановление метаболизма, то содержание мочевины в крови утром натощак возвращается к референтным для спортсмена значениям (3,5–8,0 ммоль·л⁻¹). Это связано с уравниванием скорости синтеза и распада белков в тканях организма, что свидетельствует о его восстановлении. Если содержание мочевины на следующее после тренировочного занятия утро остается выше нормы, значит, организм спортсмена недовосстановлен либо развилось постнагрузочное утомление. При уровне мочевины от 6,0 до 7,5 ммоль·л⁻¹ полагают отсутствие равновесия

в обменных процессах (т.е. недовосстановление), а при увеличении до $8,0\text{--}8,5$ ммоль·л⁻¹ делают заключение о чрезмерности тренировочной нагрузки и прогнозируют дальнейшее развитие утомления в случае отсутствия коррекции структуры тренировочного процесса [9]. Следует заметить, что у женщин уровень мочевины выше $5,5\text{--}6,0$ ммоль·л⁻¹ расценивается как признак недовосстановления [6, 53], что ниже усредненных показателей у мужчин-спортсменов [57].

Незначительные колебания содержания мочевины в крови указывают на сбалансированность катаболических и анаболических процессов [46, 50], а также свидетельствуют о том, что нагрузки, применяемые в тренировочном процессе, соответствуют функциональным возможностям организма спортсменов. При увеличении в тренировочном процессе доли нагрузок анаэробной направленности наблюдается повышение уровня мочевины [49], свидетельствующее о дефиците углеводных ресурсов и расходе белков для ликвидации этого дефицита [22].

Правильная интерпретация данных содержания мочевины в крови спортсмена возможна лишь при сопоставлении этих показателей с данными относительно объемов и интенсивности тренировочных нагрузок. Г. А. Макарова и соавт. [9, 10] приводит информацию о трех возможных типах соотношения динамики нагрузок и содержания мочевины в сыворотке крови.

Для реакции *первого типа* характерна прямая корреляция между динамикой содержания мочевины и объемом нагрузок. При этом наибольшее содержание мочевины в крови, как правило, на протяжении двух дней подряд не превышает среднegrupповые нормативы. Прямая корреляция между содержанием мочевины и объемом нагрузок указывает на сбалансированность катаболических и анаболических процессов, а также свидетельствует о том, что нагрузки, используемые в тренировочном занятии, соответствуют диапазону функциональных возможностей спортсмена.

При *втором типе* реакций взаимосвязь динамики содержания мочевины и нагрузок нарушается, и дальнейшее увеличение объема и/или интенсивности нагрузок приводит к уменьшению содержания мочевины в сыворотке крови, иногда даже ниже исходного уровня. Подобное снижение следует рассматривать как отражение незавершенности восстановительных процессов. Спортсмены, у которых регистрируют подобный тип реакции, отмечают трудность выполнения скоростных нагрузок при неудовлетворительном общем самочувствии.

При *третьем типе* реакции не наблюдается какой-либо зависимости между изменением нагрузок и содержанием мочевины. Уровень мочевины на протяжении двух и более дней, как правило, выше среднего референтного (стандартного) значения. Этот тип реакции отмечают в случаях высокоинтенсивных нагрузок «стрессового» характера. После такого «ударного» воздействия высокий уровень мочевины имеет тенденцию к

дальнейшему повышению, независимо от интенсивности последующих нагрузок. Данный тип реакции указывает на несоответствие между функциональными возможностями организма и используемыми тренировочными нагрузками и является неблагоприятным показателем, указывающим на существующее или формирующееся состояние недовосстановления/переутомления [10].

Для оценки переносимости тренировочных нагрузок в микро- и мезоциклах тренеру целесообразно использовать следующий подход. Необходимо провести определение мочевины утром натощак после дня отдыха и в последний день микроцикла и сделать следующие трактовки: а) при сбалансированности метаболических процессов к концу микроцикла отмечается увеличение содержания мочевины; б) при адекватной скорости постнагрузочного восстановления после дня отдыха в следующем микроцикле содержание мочевины снижается, но может незначительно превышать данные начала предыдущего микроцикла.

Для определения суммарного тренировочного эффекта в течение дня целесообразно проводить определение уровня мочевины в крови утром и вечером спустя один час после окончания тренировочного занятия. При такой схеме мониторинга прирост уровня мочевины менее чем на $1,0$ ммоль·л⁻¹ в данном случае может рассматриваться как отражение низкой тренировочной нагрузки; до $2,5$ ммоль·л⁻¹ – средних нагрузок; выше $3,0$ ммоль·л⁻¹ – высоких нагрузок [14].

При интерпретации данных содержания мочевины тренеру важно принимать во внимание величину диуреза, особенности питания и фармакологического обеспечения, а также индивидуальные диапазоны референтных значений показателя для каждого спортсмена.

Факторами, влияющими на уровень мочевины у спортсменов, являются:

- *Половая принадлежность.* У мужчин содержание мочевины в крови обычно выше, чем у женщин.

- *Состояние выделительной функции почек.* Почки являются своеобразным фильтром крови, который освобождает организм от побочных продуктов метаболизма. Фильтрация осуществляется в клубочках нефронов с образованием конечного продукта – мочи. Скорость этого процесса называется скоростью клубочковой фильтрации (СКФ). При нарушении процессов клубочковой фильтрации в почках и снижении диуреза скорость выведения мочевины может снижаться и, соответственно, увеличивается ее содержание в крови. Нарушения выделительной функции почек приводят к резкому повышению содержания мочевины в крови.

- *Функциональное состояние печени.* Мочевина синтезируется в печени из аммиака, образовавшегося при распаде белка, и потому при нарушении функции печени скорость мочевинообразования снижается [17].

- *Вид, интенсивность и продолжительность тренировочных нагрузок.* Содержание мочевины в крови, определяемое у спортсменов утром натощак, яв-

ляется информативным показателем общей переносимости тренировочных нагрузок. Определение мочевины используется для оценки влияния различных типов тренировочных нагрузок на течение метаболических реакций [6, 60], а также оценки выраженности DOMS – синдрома отсроченной мышечной болезненности [8, 56], играющего важнейшую роль в процессе мышечного утомления при физических нагрузках [7, 8, 28]. Тренировки на выносливость приводят к достоверному увеличению содержания мочевины в сыворотке крови [31, 56].

- *Особенности питания.* Изменение концентрации мочевины в крови зависит от содержания белка в рационе спортсменов. Прием значительного количества белковой пищи – более $2,0\text{--}2,5\text{ г}\cdot\text{кг}^{-1}$ массы тела – может приводить к повышению уровня мочевины в крови, а нагрузка углеводами, наоборот, способствует снижению концентрации мочевины. Если тренировочное занятие закончилось через 5–6 ч после приема пищи, содержащей большое количество белка, то увеличение содержания мочевины в крови может дать не вполне объективную картину состояния метаболизма, вызванного физической нагрузкой, если принимать во внимание только этот биохимический показатель [17]. Длительное голодание сопровождается усилением катаболизма белков, поскольку организм использует белки как источник энергии [15].

- *Состояние водного баланса.* При обезвоживании организма концентрация мочевины в сыворотке крови увеличивается.

3. **Глюкоза.** Как простой углевод, глюкоза ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) является одним из главных энергетических субстратов для обеспечения потребностей организма. Определение содержания глюкозы в крови дополняет информацию относительно емкости анаэробного гликолиза у спортсменов [30, 58].

Метаболизм глюкозы имеет две важные особенности: запасание полисахарида гликогена, особенно в печени и мышцах (гликоген может быть быстро использован в качестве источника глюкозы и, следовательно, энергии для поддержания работы мышц); обеспечение необходимой энергией за счет окисления глюкозы многих тканей организма, например, мозга, клеток крови, мозгового вещества надпочечников и семенников. Концентрация глюкозы в крови зависит от соотношения интенсивности процессов ее выброса в кровоток и утилизации тканями. Основными гормонами, регулирующими гомеостаз глюкозы, являются инсулин и глюкагон [52].

Референтное содержание глюкозы в сыворотке крови в покое у практически здоровых людей составляет $4,1\text{--}5,5\text{ ммоль}\cdot\text{л}^{-1}$. В цельной крови содержание глюкозы ниже и составляет примерно 90 % значения содержания глюкозы в сыворотке крови. Однако спортсмены высокой квалификации способны в значительно большей мере использовать глюкозу для ресинтеза мышечного гликогена, что приводит к снижению концентрации этого показателя в крови до $2,0\text{--}2,5\text{ ммоль}\cdot\text{л}^{-1}$, т.е. до уровня

вдвое меньшего, чем у нетренированных лиц [32], и это обстоятельство обязательно необходимо учитывать в лабораторном контроле спортсменов.

Важной характеристикой переносимости физических нагрузок и качества восстановления после тренировочных занятий является сохранение углеводного баланса. В спорте важно адекватное обеспечение организма углеводами для поддержания необходимого содержания глюкозы, поскольку глюкоза используется организмом в качестве энергетического субстрата как в аэробных, так и в анаэробных механизмах энергообеспечения.

В аэробном механизме ресинтеза АТФ метаболизм глюкозы завершается образованием углекислого газа и воды. Глюкоза в цепи последовательных реакций превращается в пировиноградную кислоту (пируват), которая далее при достаточном кислородном обеспечении превращается в ацетилКоА и вступает в цикл Кребса. В цикле Кребса в результате метаболизма одной молекулы глюкозы образуется углекислый газ (CO_2) и вода, а также синтезируется 38 молекул АТФ [3]. При недостатке кислорода включается анаэробный путь метаболизма глюкозы. В результате анаэробного гликолитического механизма образуется молочная кислота (лактат), которая поступает в кровь [3, 12, 13].

Факторами, влияющими на уровень глюкозы в крови спортсменов, являются:

- *Эмоциональное состояние.* На содержание глюкозы оказывают влияние сразу несколько гормонов, в том числе адреналин и кортизол, в связи с чем при стрессовых и эмоциональных состояниях возможно повышение глюкозы. При легких физических упражнениях, не сопровождающихся выраженными эмоциями, концентрация глюкозы изменяется в меньшей степени, а при высокоинтенсивных соревновательных нагрузках, связанных с сильным эмоциональным напряжением, может существенно возрастать. Это регулируется как метаболическими, так психоэмоциональными факторами.

- *Функциональное состояние поджелудочной железы.* На фоне повреждения внутренних структур поджелудочной железы может снижаться выработка инсулина, что сопровождается нарушением метаболизма глюкозы, и в тяжелых случаях может развиваться сахарный диабет 2 типа [17].

- *Запасы и скорость мобилизации гликогена печени и мышц.* Содержание в крови глюкозы зависит от соотношения скорости процессов ее поступления в кровь и потребления работающими мышцами.

- *Гормональный фон организма.* В регуляции содержания глюкозы, кроме глюкагона и инсулина, принимают участие гормоны щитовидной железы, тиреотропный гормон (ТТГ), гормоны надпочечников и другие, поэтому от их уровня в организме могут также зависеть колебания концентрации глюкозы в крови.

- *Особенности рациона.* Изменение концентрации глюкозы в крови существенным образом зависит от со-

держания различных видов углеводов (простых и сложных) в рационе спортсмена.

- *Мощность и продолжительность физических упражнений.* Физические нагрузки субмаксимального характера приводят к повышению содержания глюкозы вследствие высокой скорости мобилизации гликогена и активной фазы глюконеогенеза. По мере выполнения тренировочных нагрузок содержание гликогена в печени и мышцах снижается. При длительных тренировках для развития выносливости наблюдается снижение концентрации глюкозы в крови. При длительных и очень длительных нагрузках (стайерские дистанции в легкой атлетике, марафонский бег, триатлон и др.) содержание глюкозы может падать до гипогликемического – менее $3,0 \text{ ммоль} \cdot \text{л}^{-1}$ [3]. Если запасы углеводов своевременно не восполняются, то может наступить истощение запасов гликогена, и, как следствие, развитие гипогликемии. Повышенное содержание глюкозы в постнагрузочном периоде свидетельствует о высокой скорости распада гликогена печени или снижении скорости ее утилизации тканями.

- *Уровень тренированности организма спортсмена.* У менее тренированных спортсменов наблюдается более выраженное снижение глюкозы крови в результате воздействия длительных нагрузок, чем у высококвалифицированных.

Если при повторных измерениях уровень глюкозы в крови соответствует нижней границе нормы, необходимо исключить передозировку тренировочных нагрузок или дефицит углеводов в пищевом рационе. Стабильные адекватные уровни глюкозы на протяжении мезоциклов подготовки являются отражением сбалансированности углеводного потенциала. Снижение уровня глюкозы у спортсменов ниже $3,5 \text{ ммоль} \cdot \text{л}^{-1}$ является признаком снижения углеводных ресурсов организма.

Конечно, приведенный перечень лабораторных показателей, который может быть использован тренером в динамике тренировочных занятий, в современных условиях может быть значительно расширен и включать также определение ряда гематологических и биохимических показателей. Важным моментом для их внедрения в практику является разработка критериев их оценки для последующего практического использования тренером. Наиболее информативными с этой точки зрения являются показатели кислотно-основного равновесия, прежде всего уровни pH (существующие на сегодня переносные кассетные анализаторы это позволяют), гематологические показатели (гемоглобин, гематокрит, количество лейкоцитов и других клеточных элементов, характери-

стики эритроцитов и др.), а также активность ряда ферментов, прежде всего креатинфосфокиназы (КФК) [37, 39], а также лактатдегидрогеназы (ЛДГ), аланин- и аспаратаминотрансфераз (АЛТ, АСТ) и других маркеров долговременной адаптации к тренировочным нагрузкам, отражающих интенсивность и направленность процессов энергообеспечения и напряжения метаболизма в различных органах и тканях [5]. В частности, при исследовании динамики КФК после силовых упражнений с отягощениями [37] показано, что активность этого фермента возрастает примерно на 100 % через 8 ч, а пиковые значения могут быть достигнуты в интервале от 24 до 96 ч в зависимости от вида упражнений и индивидуальных особенностей организма спортсменов. Изучение активности подобных маркерных ферментов особенно целесообразно для оценки степени микроповреждений мышц после высокоинтенсивных эксцентрических нагрузок у представителей силовых видов спорта и единоборств [8, 28] с целью планирования серий нагрузочных и восстановительных упражнений.

При лабораторном контроле состояния спортсмена и развития утомления может использоваться также «индекс повреждения мышечной ткани», рассчитываемый по соотношению активности КФК к активности АСТ [4]. При повышенной активности ферментов, если их соотношение ниже 9,0 (от 2,0 до 9,0), это, скорее всего, связано с повреждением кардиомиоцитов; если соотношение выше 13,0 (в диапазоне от 13,0 до 56,0) – с повреждением скелетной мускулатуры при физических нагрузках, не соответствующих адаптационным возможностям организма спортсмена. Значения индекса повреждения мышечной ткани в диапазоне от 9,0 до 13,0 являются промежуточными значениями, опосредованно отражающими степень синдрома микроповреждения мышечной ткани (EIMD) [8].

Выводы. Исходя из тезиса, что в практике оценки текущего функционального состояния спортсмена, адекватности построения и контроля тренировочного процесса не всегда рядом с тренером присутствует специалист по лабораторной диагностике, наиболее обоснованным в практической работе тренера является применение небольшого и доступного комплекса лабораторных показателей, которые при совместном использовании с функциональными методами контроля (динамика ЧСС) помогут решить тактические задачи процесса подготовки спортсменов в определенном микро- или мезоцикле.

Конфликт интересов. Авторы заявляют, что не существует никакого конфликта интересов.

■ Литература

1. Арансон МВ, Овчаренко ЛН, Озолин ЭС, Шустин БН. Анализ современных тенденций научных исследований в спорте высших достижений [Analysis of current trends in scientific studies of elite sport]. Вестник спортивной науки. 2016;(5): 60-68.
2. Винничук ЮД, Чикина ИВ. Маркеры повреждения мышечной ткани у спортсменов [Markers of muscular tissue damage in athletes]. Вісник проблем біології і медицини. 2016;2(3): 288-293.

3. Волков НИ, Несен ЭН, Осипенко АА, Корсун СН. Биохимия мышечной деятельности [Muscular activity biochemistry]. Киев, Олимпийская литература, 2000. 504 с.
4. Грязных АВ. Индекс тестостерон/кортизол как эндокринный маркер процессов восстановления висцеральных систем после мышечного напряжения [Testosterone/cortisol index as an endocrine marker of visceral systems recovery processes after muscle tension]. Вестник ЮУрГУ. Серия «Образование, здравоохранение, физическая культура». 2011;11(27): 107-111.
5. Гунина ЛМ, Винничук ЮД, Носач ЕВ. Биохимические маркеры утомления при физической нагрузке [Biochemical markers of fatigue during physical loads]: методические рекомендации. Киев, Олимпийская литература, 2013. 36 с.
6. Гунина ЛМ, Дмитриев АВ, Винничук ЮД, Высочина НЛ, Сентябрев НН. Медико-биологическое обеспечение подготовки хоккеистов [Medico-biological support of hockey player preparation] (изд-е 2-е, перераб. и дополн.); под общ. ред. Л.М. Гуниной. Москва, Издательство «Спорт», 2019. 360 с.
7. Дмитриев АВ, Гунина ЛМ. Спортивная нутрициология [Sports nutritiology]. Москва, Издательство «Спорт», 2020а. 639 с.
8. Дмитриев АВ, Гунина ЛМ. Синдромы микроповреждения мышц и отсроченной мышечной болезненности в спорте высших достижений: роль в развитии утомления и профилактики [Syndromes of muscle microdamage and delayed onset muscle soreness in elite sport: role in fatigue development and prevention]. Наука в олимпийском спорте. 2006;1: 57-70.
9. Макарова ГА, Холявко ЮА. Лабораторные показатели в практике спортивного врача: Справочное руководство [Laboratory indices in sports physician practice: reference manual]. Москва, Советский спорт, 2006. 199 с.
10. Макарова, ГА, Холявко ЮА, Верлина ГВ. Клинико-лабораторное обследование спортсменов высшей квалификации: основные направления совершенствования [Clinical laboratory examination of elite athletes: major improvement directions]. Лечебная физкультура и спортивная медицина. 2013;7(115): 4-12.
11. Платонов ВН. Двигательные качества и физическая подготовка спортсменов. [Motor qualities and physical fitness of athletes]. Киев, Олимпийская литература, 2017; с. 90–125.
12. Платонов ВН. Система подготовки спортсменов в олимпийском спорте. Общая теория и ее практические приложения [System of athletes' preparation in the Olympic sport. General theory and its practical applications]. Москва, Советский спорт, 2005. 820 с.
13. Платонов ВН. Система подготовки спортсменов в олимпийском спорте. Общая теория и ее практические приложения [System of athletes' preparation in the Olympic sport. General theory and its practical applications]: учебник для тренеров. Киев, Олимпийская литература, 2015. Кн. 1; с. 172–205.
14. Рыбина ИЛ. Биохимические аспекты оценки адаптации организма высококвалифицированных спортсменов циклических видов спорта к напряженным физическим нагрузкам [Biochemical aspects of the adaptation of the body of highly qualified athletes of cyclic sports events to strenuous physical loads]. Диссертация. Москва, ВНИИФК; 2016. 285 с.
15. Рыбина ИЛ, Ширковец ЕА. Алгоритм оценки адаптационных изменений организма спортсменов с использованием данных клинико-лабораторного контроля [Algorithm for assessing the adaptive changes in the body of athletes using the data of clinical and laboratory control]. Вестник спортивной науки. 2017;(3): 36-40.
16. Сакин НА, Ерохина НН. Адаптация спортсмена к физическим нагрузкам [Athlete adaptation to physical loads]. Проблемы развития физической культуры и спорта в новом тысячелетии. 2015;1: 236-39.
17. Тица НУ. Клиническое руководство по лабораторным тестам [Laboratory test clinical guide]. Москва, ЮНИМЕД-пресс, 2003. 960 с.
18. Фармакология спорта [Sports pharmacology]; под ред. Олейника СА, Гуниной ЛМ. Киев, Олимпийская литература, 2010. 639 с.
19. Baldi M, DA Silva JF, Buzzachera CF, Castagna C, Guglielmo LG. Repeated Sprint Ability in Soccer Players: Associations With Physiological and Neuromuscular Factors. J Sports Med Phys Fitness. 2017;57(1-2): 26-32. doi: 10.23736/S0022-4707.16.05776-5.
20. Banfi G, Colombini A, Lombardi G, Lubkowska A. Metabolic markers in sports medicine. Adv Clin Chem. 2012;56: 1-54. doi: 10.1016/b978-0-12-394317-0.00015-7.
21. Buchheit M, Cormie P, Abbiss CR, Ahmaidi S, Nosaka KK, Laursen PB. Muscle deoxygenation during repeated sprint running effect of active vs. passive recovery. Int J Sports Med. 2009;30(6): 418-25. doi: 10.1055/s-0028-1105933.
22. Burke LM, Hawley JA, Angus DJ, Cox GR, Clark SA, Cummings NK, Desbrow B, Hargreaves M. Adaptations to short-term high-fat diet persist during exercise despite high carbohydrate availability. Med Sci Sports Exerc. 2002;34(1): 83-91. doi: 10.1097/00005768-200201000-00014.
23. Burtcher M, Nachbauer W, Wilber R. The upper limit of aerobic power in humans. Eur J Appl Physiol. 2011;111(10): 2625-28. doi: 10.1007/s00421-011-1885-4.
24. Cabrera ME, Saidel GM, Kalhan SC. A model analysis of lactate accumulation during muscle ischemia. J Crit Care. 1999;14(4): 151-63. doi: 10.1016/s0883-9441(99)90029-1.
25. Cairns SP. Lactic acid and exercise performance: culprit or friend? Review. Sports Med. 2006;36(4): 279-91. doi: 10.2165/00007256-200636040-00001. PMID: 16573355.
26. Camps A, Vercruyssen F, Brisswalter J. Variation in heart rate and blood lactate Concentration in freestyle kitesurfing. J Sports Med Phys Fitness. 2011;51(2): 313-21.
27. Chycki J, Kurylas A, Maszczyk A, Golas A, Zajac A. Alkaline water improves exercise-Induced metabolic acidosis and enhances anaerobic exercise performance in combat sport athletes. PLoS One. 2018;13(11): e0205708. doi: 10.1371/journal.pone.0205708. eCollection 2018.
28. Contro V, Mancuso EP, Proia P. Delayed onset muscle soreness (DOMS) management: present state of the art. Trends in Sport Sciences. 2016;3(23): 121-27.
29. de la Iglesia HO, Meyer J, Schwartz WJ. Lateralization of circadian pacemaker output: Activation of left- and right-sided luteinizing hormone-releasing hormone neurons involves a neural rather than a humoral pathway. J Neurosci. 2003;23(19): 7412-14.
30. Diel GA, Cruz NF. Aerobic glycolysis during brain activation: adrenergic regulation and Influence of norepinephrine on astrocytic metabolism. J Neurochem. 2016;138(1): 14-52. doi: 10.1111/jnc.13630.
31. Hong C.Z, Lien I.N. Metabolic effects of exhaustive training of athletes. Arch Phys Med Rehabil. 1984;65(7): 362-5.
32. Jensen TE, Richter EA. Regulation of glucose and glycogen metabolism during and after exercise. J Physiol. 2012;590(5): 1069-76. doi: 10.1113/jphysiol.2011.224972.
33. Kang SR, Min JY, Yu C, Kwon TK. Effect of whole body vibration on lactate level recovery and heart rate recovery in rest after intense exercise. Technol Health Care. 2017;25(51): 115-23. doi: 10.3233/THC-171313.
34. Kellmann M. Preventing overtraining in athletes in high-intensity sports and stress/recovery monitoring. Scand J Med Sci Sports. 2010;20(Suppl 2): 95-102. doi: 10.1111/j.1600-
35. Kenney LW, Wilmore JH, Kostill DL. Physiology of sport and exercise. Champaign, Human Kinetics, 2012. 621 p.
36. Kiyici F, Eroglu H, Kishali NF, Burmaoglu G. The effect of Citrulline/Malate on blood lactate levels in intensive exercise. Biochem Genet. 2017;55(5-6): 387-94. doi: 10.1007/s10528-017-9807-8.
37. Koch AJ, Pereira R, Machado M. The creatine kinase response to resistance exercise. J Musculoskelet Neuronal Interact. 2014;14(1): 68-77.
38. Lee EC, Fragala MS, Kavouras SA, Queen RM, Pryor JL, Casa DJ. Biomarkers in sports and exercise: tracking health, performance, and recovery in athletes. J Strength Cond Res. 2017;31(10): 2920-37. doi: 10.1519/JSC.0000000000002122.
39. Machado M, Willardson JM, Silva DP, Frigulha I C, Koch AJ, Souza SC. Creatine kinase activity weakly correlates to volume completed following upper body resistance exercise. Res Q Exerc Sport. 2012;83(2): 276-81.
40. Mashiko T, Umeda T, Nakaji S, Sugawara K. Position related analysis of the appearance of and relationship between post-match physical and mental fatigue in university rugby football players. Br J Sports Med. 2004;38(5): 617-21. doi: 10.1136/bjism.2003.007690.
41. Maughan RJ, Zerguini Y, Chalabi H, Dvorak J. Achieving optimum sports performance during Ramadan: some practical recommendations. J Sports Sci. 2012;30(Suppl 1): 109-17. doi: 10.1080/02640414.2012.696205.
42. Mitchell SC, Vinnakota A, Deo SV, Markowitz AH, Sareyupoglu B, Elgudin Y, Medalion B, Tzagournis A, Sabik J, Park SJ. Relationship between intraoperative serum lactate and hemoglobin levels on postoperative renal function in patients undergoing elective cardiac surgery. J Card Surg. 2018 Jun;33(6):316-21. doi: 10.1111/jocs.13713.

43. Mougios V. Exercise biochemistry. Champaign, Illinois, USA: Human Kinetics, 2006. 296 p.
44. Mujika I. Quantification of training and Competition loads in endurance sports: methods and applications. *Int J Sports Physiol Perform.* 2017;12(Suppl 2): 29-217. doi: 10.1123/ijspp.2016-0403.
45. Nitzsche N, Lenz JC, Voronoi P, Schulz H. Adaption of maximal glycolysis rate after resistance exercise with different volume load. *Sports Med Int Open.* 2020;4(2): E39-E44. doi: 10.1055/a-1146-4236.
46. Poortmans JR, Francaux M. Adverse effects of creatine supplementation: fact or fiction? *Sports Med.* 2000;30(3): 155-70. doi: 10.2165/00007256-200030030-00002.
47. Robson-Anstey PJ, Gleeson M, Ansley L. Fatigue management in the preparation of Olympic athletes. *J Sports Sci.* 2009;27(13): 1409-20. doi: 10.1080/02640410802702186.
48. Rodríguez-Zamora L, Engan HK, Lodin-Sundström A, Schagatay F, Iglesias X, Rodríguez FA, Schagatay E. Blood lactate accumulation during competitive freediving and synchronized swimming. *Undersea Hyperb Med.* 2018;45(1): 55-63.
49. Rowlands DS, Hopkins WG. Effects of high-fat and high-carbohydrate diets on metabolism and performance in cycling. *Metabolism.* 2002;51(6): 678-90. doi: 10.1053/meta.2002.32723.
50. Schoenfeld BJ, Aragon AA. How much protein can the body use in a single meal for muscle-building? Implications for daily protein distribution. *J Int Soc Sports Nutr.* 2018;15: 10. doi: 10.1186/s12970-018-0215-1.
51. Seiler KS. What is best practice for training intensity and duration distribution in endurance athletes? *Int J Sports Physiol Perf.* 2010;5(3): 276-91. doi: 10.1123/ijspp.5.3.276.
52. Sellami M, Bragazzi NL, Slimani M, Hayes L, Jabbour G, De Giorgio A, Dugué B. The effect of exercise on glucoregulatory hormones: a countermeasure to human aging: insights from a comprehensive review of the literature. *Int J Environ Res Public Health.* 2019;16(10): 1709. doi: 10.3390/ijerph16101709.
53. Shi R, Zhang J, Fang B, Tian X, Feng Y, et al. Runners' metabolomic changes following marathon. *NutrMetab (Lond).* 2020;17: 19. doi: 10.1186/s12986-020-00436-0.
54. Tegtbur U, Busse MW, Braumann KM. Estimation of an individual equilibrium between lactate production and catabolism during exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 1993;25(5): 620-27.
55. Warr-di Piero D, Valverde-Estevé T, Redondo-Castán JC, Pablos-Abella C, Sánchez-Alarcos Díaz-Pintado JV. Effects of work-interval duration and sport specificity on blood lactate concentration, heart rate and perceptual responses during high intensity interval training. *PLoS One.* 2018;13(7): e0200690. doi: 10.1371/journal.pone.0200690.
56. Wiewelhove T, Raeder C, Meyer T, Kellmann M, Pfeiffer M, Ferrauti A. Markers for routine assessment of fatigue and recovery in male and female team sport athletes during high-intensity interval training. *PLoS One.* 2015;10(10): e0139801. doi: 10.1371/journal.pone.0139801.
57. Yan B, Liu Y, Shi A, Wang Z, Aa J, Huang X, Liu Y. Investigation of the antifatigue effects of korean ginseng on professional athletes by gas chromatography-time-of-flight-mass spectrometry-based metabolomics. *J AOAC Int.* 2018;101(3): 701-07. doi: 10.5740/jaoacint.17-0220.
58. Yellen G. Fueling thought: management of glycolysis and oxidative phosphorylation in neuronal metabolism. *J Cell Biol.* 2018;217(7): 2235-46. doi: 10.1083/jcb.201803152.
59. Zhou L, Salem JE, Saidel GM, Stanley WC, Cabrera ME. Mechanistic model of cardiac energy metabolism predicts localization of glycolysis to cytosolic subdomain during ischemia. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2005;288(5): H2400-2411. doi: 10.1152/ajpheart.01030.2004.
60. Zhu Y, Shi J, Shang Y. Effect of different training time and loads on the metabolism of carbohydrate, fat and protein. *Zhongguo Ying Yong Sheng Li Xue Za Zhi.* 1997;13(3): 202-04.
61. Zhu YI, Haas JD. Altered metabolic response of iron-depleted nonanemic women during a 15-km time trial. *J Appl Physiol (1985).* 1998;84(5): 1768-75. doi: 10.1152/jappl.1998.84.5.1768.

Автор для корреспонденции:

Гунина Лариса Михайловна – д-р биол. наук, Национальный университет физического воспитания и спорта Украины, Учебно-научный олимпийский институт, Украина, 03150, Киев, ул. Физкультуры, 1;
<http://orcid.org/0000-0003-2107-0983>
gunina.sport@gmail.com

Corresponding author:

Gunina Larisa – Dr. Sci in Biology, Natinal University of Ukraine on Physical Education and Sports, Olympic Education and Research Institute; Ukraine, 03150, Kyiv, 1.
 Fizcultury Str.;
<http://orcid.org/0000-0003-2107-0983>
gunina.sport@gmail.com

Поступила 16.06.2020