

DOI: 10.17238/ISSN2223-2524.2019.3.49

УДК: 616.1+577.1

Методология комплексной оценки адаптационного потенциала спортсмена к нагрузке

А.А. Спасский¹, М.А. Мягкова², А.И. Левашова², С.К. Кукушкин³, В.В. Куршев^{1,4}, Ю.В. Янова¹, Л.В. Веселова⁴

¹АНО «Клиника спортивной медицины «Лужники», г. Москва, Россия

²ФГБУ Институт физиологически активных веществ, Российская академия наук, г. Черноголовка, Россия

³ФГБОУ ВО Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова, Министерство здравоохранения РФ, г. Москва, Россия

⁴ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), Министерство здравоохранения РФ, г. Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

В обзоре представлены современные данные о методах оценки адаптации и дизадаптации (утомления, перенапряжения, перетренированности (ПТ)) спортсмена к физической нагрузке, особое внимание уделено биохимическим и иммунологическим маркерам потенциала адаптации (АП), проанализирована их диагностическая значимость. Рассмотрены гипотезы и возможные механизмы развития ПТ. На основании результатов исследований последних лет, опубликованных отечественными и зарубежными авторами, установлено как разнообразие, так и многочисленность предлагаемых маркеров адаптации, также выявлено отсутствие единства подходов в оценке АП и ПТ. Суммирован большой объем биохимических, иммунологических и других тестов, потенциально применимых для оценки АП. Наиболее информативны маркеры белкового обмена, ферменты мышц, лактат, мочевины. Выявлен высокий потенциал роли иммунной системы в патогенезе АП и ПТ. Так, иммунными маркерами АП, помимо лейкоцитов и лимфоцитов, могут быть: лейкоцитарный индекс токсичности, уровень нейтрофилов, цитокинов, естественные антитела (е-Ат) к биорегуляторам АП. Показана перспективность применения комплексной тест-системы определения панели е-Ат к биорегуляторам АП, для мониторинга состояния спортсмена, и особенно для ранней диагностики ПТ.

Ключевые слова: спортсмены адаптационный потенциал, перетренированность, биохимические маркеры, естественные антитела

Для цитирования: Спасский А.А., Мягкова М.А., Левашова А.И., Кукушкин С.К., Куршев В.В., Янова Ю.В., Веселова Л.В. Методология комплексной оценки адаптационного потенциала спортсмена к нагрузке // Спортивная медицина: наука и практика. 2019. Т.9, №3. С. 49-61. DOI: 10.17238/ISSN2223-2524.2019.3.49.

Methodology of comprehensive assessment of the athlete's adaptive potential to the load

Andrey A. Spassky¹, Marina A. Myagkova², Anna I. Levashova², Sergey K. Kukushkin³, Vladislav V. Kurshev^{1,4}, Julia V. Yanova¹, Lyudmila V. Veselova⁴

¹«Luzhniki» Sports Medicine Clinic Autonomous Nonprofit Organization, Moscow, Russia

²Institute of Physiologically Active Substances of the Russian Academy of Sciences, Chernogolovka, Russia

³Pirogov Medical University, Moscow, Russia

⁴Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russia

ABSTRACT

The review summarizes the current data on the methods of assessment of adaptation and disadaptation (fatigue, overreaching, overtraining, OT) of athlete during training; special attention is paid to the diagnostic value of biochemical and immunological markers of adaptation potential (AP). Their diagnostic significance was analyzed. Hypotheses and possible mechanisms of OT development were considered. Based on the results of recent studies published by domestic and foreign authors, both the diversity and the number of proposed adaptation markers have been established, and a lack of unity of approaches in the assessment of AP and OT has been revealed. Large amount of biochemical, immunological and other tests proposed for the evaluation of AP was summed up. The most significant AP and OT markers are protein metabolism factors, enzymes, lactate, urea. The role of immune factors, besides leukocytes and lymphocytes, is intensively studied: these are leukocyte toxicity index, level of neutrophils, cytokines, natural antibodies to AP bioregulators. The prospects of using an integrated test system for determining the e-At panel to AP bioregulators is shown for monitoring the athlete's condition, and especially for early diagnosis of OT.

Key words: athletes, adaptation potential, overtraining, biochemical markers, natural antibodies

For citation: Spassky AA, Myagkova MA, Levashova AI, Kukushkin SK, Kurshev VV, Yanova JuV, Veselova LV. Methodology of comprehensive assessment of the athlete's adaptive potential to the load. Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice). 2019;9(3):49-61. Russian. DOI: 10.17238/ISSN2223-2524.2019.3.49.

1.1 Введение

Изучение специфических механизмов адаптации организма при воздействии различных экстремальных факторов, включая физические, психические, социальные, является актуальной задачей, которая требует всестороннего научного исследования [1]. Даже самые общие знания о закономерностях адаптационных процессов организма имеют стратегическое значение для понимания биологической сущности этого явления, обоснования теории и методики адаптивной физической культуры. Для профессионального спортсмена адаптация определяется необходимостью его организма приспособляться к физическим нагрузкам за относительно короткий промежуток времени [2-5]. Именно скорость наступления адаптации, ее длительность во многом определяют физическое состояние и тренированность спортсмена. Оценка адаптационных ресурсов организма спортсмена к тренировочным нагрузкам имеет не только биологическую, но и социальную значимость. Причиной тому является тесная связь адаптационных процессов с физическими нагрузками и сохранением здоровья спортсменов [2, 6]. Для обеспечения высокой работоспособности организм работает в режиме гиперфункционирования, сопровождающееся высоким уровнем метаболизма. В ответ на это включается ряд эндогенных процессов, направленных на поддержание гомеостаза, запускаются приспособительные реакции, которые могут иметь как адаптационный, так дизадаптационный характер [7]. Важно отметить, что выраженность этих процессов зависит от внутренних резервов спортсмена. Предел возможностей спортсмена индивидуален и физиологически предопределен. При длительной чрезмерной тренировочной нагрузке, особенно в сочетании с другими стрессорными факторами и недостаточным периодом восстановления, происходит усугубление дизадаптационных процессов, истощение адаптационных резервов, возникновение и развитие синдрома перетренированности (СПТ) [7]. Предшественником СПТ зачастую является перенапряжение (ПН), которое исследователи и врачи подразделяют на функциональное и нефункциональное, считая их прекурсорами СПТ [8-10].

В настоящее время на практике для диагностики адаптационного потенциала (АП) применяют несколько подходов [3, 5, 11]:

- 1) оценка психологического состояния,
- 2) функциональные методы,
- 3) мониторинг биохимических показателей.

У специалистов возникает вопрос о необходимости максимального расширения перечня методов определения клиничко-лабораторных биохимических, иммунологических показателей для спортсменов [5, 9, 11]. Анализ динамики их изменения позволит объективно оценивать особенности процесса восстановления после нагрузки, своевременно регламентировать тренировочные периоды, при этом прогнозировать уровень спортивных

достижений. Целью настоящего обзора является описание имеющихся на сегодняшний день сведений о подходах к выбору критериев оценки АП, включая СПТ.

Характеристика распространенности СПТ у спортсменов

Явление перетренированности распространено как в спорте высших достижений [7, 12], так среди юниоров [13]. Из 296 американских спортсменов, участников Игр Олимпиады 1996 г., и 83 – участников зимних Олимпийских игр 1998 г., перетренированными оказались 28 и 10%, соответственно [12]. В другом исследовании пловцов из разных стран (n=231), участвующих в ответственных соревнованиях, перетренированность отмечена у 35% спортсменов. В подобном исследовании с участием австралийских пловцов показано, что к концу соревновательного сезона перетренированными оказались 21% спортсменов [12]. Отмечено, что не менее 70% спортсменов высокого класса, специализирующихся в видах спорта, связанных с проявлением выносливости, испытывали в течение спортивной карьеры состояние перетренированности [12].

Считается, что среди спортсменов высшей квалификации в любой момент времени 7-20% из них находятся в состоянии перетренированности. Особенно часто она развивается у спортсменов, тренирующихся ежедневно по 4-6 ч в течение многих месяцев. Вероятность перетренированности возрастает по мере интенсификации тренировочного процесса и роста квалификации. Исследование элитных спортсменов бегунов на длинные дистанции показало, что 60% женщин и 64% мужчин хотя бы раз за свою спортивную карьеру испытывали СПТ [12].

Часто перетренированность возникает и у юных спортсменов, находящихся на втором и третьем этапах многолетней подготовки, что несет угрозу здоровью и спортивному будущему. Так, учащиеся спортивного колледжа США испытывали состояние переутомления не менее двух раз за время спортивных выступлений. У юных спортсменов-пловцов, испытывавших состояние переутомления в первый год учебы, для 91% этот синдром возникал в последующие сезоны. Спортсмен, испытывавший состояние переутомления однажды, с большой вероятностью переживет его в последующем.

Проблема заключается в том, что первые проявления СПТ, такие как отсутствие роста спортивных результатов, жалобы на повышенную утомляемость, нарушение сна, плохой аппетит, иногда нежелание тренироваться, носят временный характер и/или являются неопределенными, и поэтому, и тренер, и спортсмен начальные стадии СПТ пропускают. В дальнейшем при нарастании СПТ изменения общего состояния становятся более выраженными. Результатом СПТ может стать 2-3 месячное восстановительное лечение.

Во всем мире [3, 4, 9, 11, 15, 16] диагностика СПТ представляет собой сложную задачу, связанную с чрез-

Таблица 1

Эпидемиология СПТ среди спортсменов высшей квалификации и юниоров

Table 1

Epidemiology of OT among highly qualified athletes and juniors

Событие/вид спорта/Event / Type of sport	Процент перетренированных спортсменов/ Percentage of overtrained athletes
Зимняя Олимпиада 1996 г/Winter Olympics, 1996	28%
Зимняя Олимпиада 1998 г/Winter Olympics, 1998	10%
Пловцы из разных стран (n = 231)/Swimmers from different countries (n = 231)	35%
Пловцы из Австралии/Swimmers from Australia	21%
Бегуны на средние и длинные дистанции (мужчины)/ Medium and long distance runners (men)	64%
Бегуны на средние и длинные дистанции (женщины)/ Medium and long distance runners (women)	60%
Виды спорта на выносливость (один СПТ за карьеру)/ Endurance sports (one OT per career)	70%
Спортсмены высшей квалификации (в любой момент времени)/ Athletes of the highest qualification (at any time)	7-20%
Юные спортсмены-пловцы (первого года колледжа)/ Young swimmers (first year of college)	91%

вычайным многообразием и неспецифичностью проявлений показателей.

Ни один из клинических, биохимических маркеров сам по себе не обладает высокой диагностической значимостью. Кроме того, эти показатели в большей степени отражают фактическое состояние спортсмена на конкретном этапе подготовки, а не ранние признаки СПТ.

Молекулярные механизмы развития СПТ

Существует ряд гипотез, предлагающие объяснение патофизиологии СПТ на молекулярном уровне [7, 9, 16, 17]. Научное обоснование получили гипотезы:

- 1) цитокиновая,
- 2) гипоталамическая,
- 3) гликогеновая.

Также известны: гипотеза центральной утомления и связанные с ней гипотезы разветвленных аминокислот (BCAA), окислительного оксидативного стресса и другие. Но следует подчеркнуть, что любое объяснение должно учитывать сложность и вариабельность проявлений СПТ. Однако, ни одна из гипотез не объясняет все аспекты СПТ. Рассмотрим более подробно биологический механизм, предлагаемый авторами научных гипотез.

Гипотеза центрального утомления.

По мнению ряда исследователей, главную роль в СПТ для всех видов спорта играет ЦНС [3, 9, 11, 18]. Так при циклической работе умеренной интенсивности снижается уровень глюкозы, что сказывается на деятельности ЦНС: нарушается координация, следствие чего наблюдается дизрегуляция в работе двигательного аппарата и вегетативных центров. С увеличением нагрузки про-

исходит накопление в организме не окисленных продуктов, приводящее к угнетению нервных центров. При максимальной интенсивности с коротким временем выполнения возникает утомление из-за изменения функционального состояния ЦНС – развития состояния парабактериального торможения. Работа, выполняемая в анаэробных условиях, накапливает недоокисленные продукты, молочную кислоту, что уменьшает скорость сокращения мышц. Главную роль утомления и ПН играют изменения функциональных свойств ЦНС и мышц.

Первоначальная гипотеза центрального утомления предполагала, что вызванное длительными физическими упражнениями увеличение концентрации внеклеточного серотонина в нескольких областях мозга способствовало развитию ПН. В ряде исследований по питанию и фармакологии была предпринята попытка изменять центральную серотонинергическую активность во время упражнений, но не было представлено надежных доказательств значительной роли серотонина в процессе утомления [9, 17]. Функция мозга не определяется одной нейротрансмиттерной системой. Исследовано регулирующее взаимодействие серотонина и дофамина в развитии ПН во время длительных упражнений [19]. Пересмотренная гипотеза центрального утомления предполагает, что увеличение отношения серотонина к дофамину в ЦНС связано с ощущением усталости и вялости, ускоряя наступление ПН. Низкое соотношение нейротрансмиттеров способствует повышению производительности за счет поддержания мотивации и возбуждения [20]. Получены результаты, которые подтвердили значительную роль дофамина и норадреналина во время

тренировок в жару. Повышенная концентрация серотонина или норадреналина в ЦНС ухудшает физическую работоспособность, в то время как увеличение дофамина играет положительную роль.

Рассматривается роль ВСАА в поддержании АП. Показано, что длительные тренировки уменьшают уровень ВСАА и увеличивают уровень жирных кислот в крови, в результате чего увеличивается уровень триптофана, нейротрансмиттера, предшественника серотонина, который вызывает сонливость, депрессию, а также сдвиги различных эндокринных показателей [9]. В целом, наблюдается сложное взаимодействие между периферическими и центральными факторами, опосредующими развитие усталости в ЦНС при длительных чрезмерных тренировках

Гликогеновая гипотеза

Мышечный гликоген – один из вероятных триггеров СПТ. При длительных тренировках его запасы истощаются в мышцах и печени, подавляется гликолиз и транспорт глюкозы, возрастает скорость окислительных процессов, уменьшается уровень ВСАА. Это может приводить к снижению синтеза нейротрансмиттеров ЦНС, участвующих в поддержании высокой работоспособности, концентрации внимания и др. Тем не менее, не выявлено четкой связи низкого уровня гликогена с развитием СПТ, несмотря на корреляции с усталостью. Кроме того, в ряде работ установлено, что уровень гликогена у спортсменов при высокой физической нагрузке (ФН) остается в норме [9, 15, 16].

Глутаминовая гипотеза

При СПТ глутамин может выступать маркером функции иммунной системы. После продолжительных ФН уровень глутамина падает, что снижает функцию иммунных клеток. Спортсмены становятся более подвержены инфекциям верхних дыхательных путей после интенсивной ФН [3, 16]. При обследовании спортсменов с СПТ из различных видов спорта выявляется сниженный уровень глутамина в крови. Однако, это может не влиять на его доступность для иммунных клеток [9]. Кроме того, на уровень глутамина влияют такие факторы как питание, травмы, инфекции, что следует учитывать при интерпретации результатов. В связи с этим требуется уточнение роль глутамина в СПТ [2].

На основании анализа последних данных выдвинута гипотеза об редукации состояния утомления у спортсменов при активации глутаминэргической системы при применении глутамина в качестве нутриента [21]. При этом снижение утомления может протекать по следующим механизмам:

- 1) влияние на восполнение цикла Кребса и глюконеогенез,
- 2) прямая стимуляция синтеза гликогена
- 3) снижение уровня аммиака в мышцах,
- 4) косвенное антиоксидантное действие, через стимуляцию синтеза глутатиона.

Гипоталамическая системы

Изменения в гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой (ГГНС) и гипоталамо-гипофизарно-гонадные системах (ГГГС) могут быть ответственны за развитие СПТ [22]. У перетренированных спортсменов наблюдаются существенные сдвиги уровня кортизола, АКТГ, кортикотропина, тестостерона и других гормонов, по сравнению с выносливыми [5]. Критерием для диагностики СПТ является соотношение тестостерон/кортизол [3, 5]. Имеющиеся данные относительно структуры этих гормональных изменений противоречивы [23-24]. Колебания в ГГНС и ГГГС индивидуальны и зависят от других факторов, в том числе индивидуального уровня ФН, адаптации к ней [7].

Цитокиновая гипотеза

Эта гипотеза предполагает, что СПТ является физиологической адаптацией/дезадаптацией к чрезмерному стрессу, вызванному дисбалансом между тренировкой и восстановлением. Мышечная адаптация происходит через активацию местного воспалительного ответа и участие цитокинов. При интенсивных тренировках, отсутствии адекватного отдыха воспалительный ответ может стать усиленным, хроническим и привести к патологии [3, 25]. Перечень участвующих в СПТ цитокинов включает интерлейкин 1-бета (IL-1 β), IL-6, фактор некроза опухоли (TNF- α) [26]. Наблюдаемое снижение мышечного уровня гликогена у перетренированных спортсменов может быть следствием цитокин-опосредованного эффекта [27]. Уменьшенные запасы гликогена может объяснять ощущение тяжелых ног и мышечной усталости у перетренированных спортсменов.

Гипотеза окислительного стресса

При ФН окислительный стресс за счет активных форм кислорода регулирует восстановление клеток. Процесс становится патологическим, когда активные формы кислорода индуцируют воспаление, мышечную усталость, болезненность. У перетренированных спортсменов маркеры окислительного стресса в покое выше по сравнению с контролем [26, 28]. Однако остается неясным, является ли состояние повышенного окислительного стресса триггером СПТ или его результатом. Количество клинически значимых исследований по этой теме весьма ограничено.

Этиологические механизмы СПТ до сих пор остаются неясными. Каждая гипотеза предлагает наличие ведущего маркера СПТ [7, 17]. Все перечисленные выше исследования, объясняющие развитие состояния перетренированности при физической нагрузке, стали основой создания методов оценки адаптационных ресурсов спортсмена и поиска оптимальных маркеров, характеризующих изменения в системах организма, обеспечивающих на разных уровнях стабильность гомеостатического равновесия.

Методы оценки АП спортсмена

В литературе представлены работы, в которых подробно освещены все существующие в настоящее время методы медицинского обследования спортсменов, включающие как оценку его текущей работоспособности, прогнозирование достижений, так и методы диагностики СПТ [3-4, 10, 11, 16, 18, 29-31]. Регулярно выходят клинические [3] и методические рекомендации с обновленной информацией по диагностике и лечению спортсменов высокой квалификации с СПТ [2, 3, 29]. Принципы диагностики СПТ носят комплексный характер обследования и включают три основных подхода: оценку психологического состояния, методы функциональной диагностики и мониторинг биохимических и иммунологических показателей. Приоритетом является индивидуализация диагностики с оценкой динамики показателей СПТ на раннем этапе утомления.

Оценку психоэмоционального статуса спортсменов проводят по ряду опросников: «Профиль настроения», «Вопросник по реабилитации после стресса» [32, 33]. Психодиагностику может проводить только специалист, который не всегда есть в физкультурных диспансерах. Спортсмены нередко скрывают симптомы заболевания или не чувствуют плохого состояния вследствие резкой активации гормонов, повышающих самооценку и настроение [11, 16].

Функциональное состояние организма спортсмена и его работоспособность оценивают по психофизиологическим показателям, применяя различные аппаратные и бланковые методы [3]. Аппаратные методы более информативны, а бланковые могут применяться в полевых условиях. Работоспособность оценивают по максимальному потреблению кислорода, в тесте PWC170 [3, 30]. Спортсмены, страдающие СПТ, как правило, способны начать нормальный тренировочный цикл, но не могут довести до конца заданную тренировочную нагрузку. Поэтому тест нагрузка/работоспособность считается важным для диагностики СПТ [3]. На практике измеряют электро-физиологические показатели, (ЭЭГ, ЭМГ, ЭКГ, MEMS, ЭМС) стабилometriю и др. Используют бланковые методы: теппинг-тест Ильина, моторный тест, функциональные пробы (тесты с нагрузкой, давлением, гипоксией), оценка морфологии организма [3, 11].

СПТ у спортсменов часто вызывает нарушение ритма сердца. Наряду с наиболее распространенным методом ЭКГ предлагаются новые методы оценки деформации миокарда [4, 34]. Разработано большое количество методов, основанных на анализе variability сердечного ритма (BCR) [4]. Среди них выделяют методы временного и частотного анализа, вариационная пульсометрия по Баевскому. Методы анализа нелинейных хаотических колебаний кардиоритма. При этом смысл значимости показателей BCR достаточно сложен, что иногда приводит к неверным заключениям. Важным моментом являются требования к записи ЭКГ и стандартизации оборудования [4]. На базе методов (ЭКГ, ЭЭГ, ЭМГ и др.)

создаются носимые устройства с мультимодальными сигналами, включающие мобильные приложения с возможностью хранения данных [35].

Несмотря на обилие методов ранняя диагностика ПН до сих пор является нерешенной задачей. Картина хронического ПН не отличается ясностью клинических симптомов и нередко протекает на фоне отсутствия жалоб [11]. Ранними критериями (за 4-6 недель до развития СПТ) считают серьезные нарушения настроения, сна, образа жизни [11, 33]. Однако оценить степень их важности, удается, как правило, только ретроспективно, когда у спортсмена в итоге уже развился СПТ. Остановимся более подробно на выборе биомаркеров, рекомендованных в настоящее время для оценки АП и СПТ спортсмена.

Биомаркеры для оценки АП и СПТ спортсмена

К настоящему моменту выделены общепринятые маркеры, характеризующие уровень адаптационных резервов организма спортсмена. В практике спортивной медицины предполагается, что клинико-лабораторные анализы позволяют оценить здоровье спортсмена, и исключить не только патологию, но и прогнозировать степень риска при наличии пограничных состояний. То есть, можно выявить лиц с «безопасным уровнем здоровья», лиц в состоянии предболезни или обнаружить начало формирования «неманифестированного патологического процесса» [3, 16, 25].

Наиболее полное определение биохимических показателей спортсмена проводят в рамках углубленного медицинского обследования (УМО). Обязательное УМО включает оценку гемостаза и микроциркуляции (8 показателей), углеводного (2 показателя), липидного (4 показателя) и белкового обмена (степени повреждения мышечной ткани) (10 показателей), гормонального профиля (8 показателей), исследование функции печени и поджелудочной железы (6 показателей), эритропоэза (3 показателя), минерального обмена (11 показателей) (табл. 2).

Дополнительно УМО включают определение иммунного и цитокинового профиля, определение в моче кетонов, белка, солей, глюкозы, наркотических веществ, диагностику вирусных и бактериальных инфекций. В ряде случаев при УМО анализируют наличие СС заболевания (6 показателей), активность метаболических процессов (37 показателей), проводят расширенную оценку гемостаза (3 показателя), функции поджелудочной (7 показателей), и щитовидной (доп. 5 показателей), обмена железа и гемостаза (5 доп. показателей) [18].

В 2016 году утвержден перечень исследований в рамках УМО, в том числе два списка биохимических показателей крови: отдельно для спортсменов на этапе высшего спортивного мастерства и более углубленный, для спортсменов спортивных Сборных команд РФ [29]. Применение панели биомаркеров из утвержденного списка для оценки функционального состояния хоккеистов,

Таблица 2

Биохимические показатели при обязательном УМО [18]

Table 2

Biochemical parameters with mandatory in-depth medical examination [18]

Группа или вид обмена, функции, системы (крови), органа/ Group or type of exchange, function, system (blood), organ	Биомаркеры/ biomarkers
Параметры гемограммы, лейкоцитарная формула/ Hemogram parameters, leukocyte formula	Эритроциты, RBC, гемоглобин HGB, средний объем MCV, среднее содержание гемоглобина в эритроците MCH, средняя концентрация гемоглобина в эритроците MCHC, показатель распределения RDW, тромбоциты PLT, ретикулоциты Ret
Гемостаз, оценка микроциркуляции/ Hemostasis, microcirculation assessment	Фибриноген, тромбиновое и протромбиновое время, антитромбин III, АЧТВ, растворимые комплексы фибрин-мономеров (РКФМ), Д-димер, фибринолитическая активность
Углеводный обмен/Carbohydrate metabolism	Глюкоза, инсулин
Липидный обмен/Lipid metabolism	Холестерин, ЛВП, ЛНП, триглицериды
Белковый обмен, степень повреждения мышечной ткани/ Protein metabolism, the degree of damage to muscle tissue	Общий белок, альбумин, глобулин, белковые фракции, креатинин, КФК, миоглобин
Функция печени и поджелудочной железы/ Liver and pancreas function	Билирубин, АСТ, АЛТ, ЩФ, ЛДГ, альфа-амилаза
Эритропоэз/Erythropoiesis	Сывороточное железо, ферритин, эритропоэтин
Минеральный обмен/Mineral exchange	Паратиреоидный гормон, кальцитонин, Mg, Ca, K, Cr, Zn, Se, Cu
Гормональный профиль/Hormonal profile	тестостерон, кортизол, ТТГ, Т4, соматотропин, стероидсвязывающий гормон, инсулиноподобный фактор роста, катехоламины (адреналин, норадреналин, дофамин)

играющих в высшем дивизионе страны, уже в начале сезона показала высокий уровень психоэмоционального напряжения и состояние перетренированности у спортсменов [4]. Интересно отметить, что в процессе анализа данных выявлен ряд информативных биохимических показателей, не включенных в приказ Минздрава России от 01.03.2016 г. [29].

Принимая во внимание общие регламентирующие документы, включающие список показателей обязательного тестирования спортсмена, спортивные врачи и ученые-биохимики постоянно осуществляют поиск более надежных методов, с большей точностью отражающих картину изменений метаболизма при физических нагрузках с разной направленностью воздействий на организм и выявление биохимических критериев диагностики ранних этапов СПТ организм [18, 24, 33, 36].

Анализ отечественной и зарубежной литературы показал, что в качестве маркеров СПТ рассматриваются следующие показатели: реакция лейкоцитов на антигены (пролиферация лимфоцитов, дегрануляция нейтрофилов, цитотоксическая активность NK), IgA слюны, соотношение нейтрофилов/лимфоцитов, соотношение Т-клеток CD4+/CD8+, экспрессия на Т-клетках CD4+CD45RO+. В плазме крови информативны показатели: кортизол, соотношение кортизол/тестостерон, глутамин, мочевины, цитокины (IL-6), уровень лактата до и после нагрузки. В моче – уровень стероидов, катехола-

минов. В слюне – уровень кортизола до и после нагрузки [8, 24, 33, 37].

Отечественными врачами для диагностики адаптационного резерва спортсмена и риска развития СПТ рекомендовано проводить обследования в между-тренировочный и ранний тренировочный периоды [5, 31], анализировать показатели красной крови (оценка среднего объема эритроцитов), показатели белой крови (оценка уровня лимфоцитов и нейтрофилов) [16, 18, 34], проводить оценку детоксикационной и белково-синтетической функций печени [10].

Далее представлены методы оценки адаптационных ресурсов спортсмена, применяемые в практической спортивной медицине.

Биохимические методы оценки АП спортсмена

Хорошо известно, что острый или хронический рост физической активности приводит к структурным, метаболическим, гормональным, нервным и молекулярным адаптациям. Это выражается в изменении чувствительности и экспрессии рецепторов активности ферментов, концентрациях субстратов, участвующих в адаптационных процессах. Установлено, что высокоинтенсивные тренировки приводят к увеличению как гликолитических, так и окислительных ферментов, мышечной капилляризации, улучшению ресинтеза фосфокреатина и регуляции ионов K⁺, H⁺ и лактата. Разгрузка мышц снижает их электромиографическую активность [38],

вызывает их атрофию, значительное снижение активности капилляризации и активности окислительных ферментов [38]. Рассмотрим основные биохимические показатели оценки АП спортсмена.

Функциональное состояние мышечной ткани определяют измерением является активности фермента креатин фосфат киназы (КФК) в сыворотке крови. КФК может предоставить информацию относительно повышенного мышечного и/или метаболическое напряжение, но не подходит для диагностики состояния ПН или СПТ [23].

Рыбиной И.Л. и Кузнецовой З.М. (2015) проведен мониторинг активности КФК у 311 спортсменов высокой квалификации циклических видов спорта, как предполагаемый маркер долговременной адаптации организма спортсменов на различных этапах годичного цикла подготовки [39]. Выявлена зависимость активности КФК от пола спортсмена, что требует учета данного аспекта и разработки референтных значений для представителей мужского и женского пола. Показано, что для правильной интерпретации результатов мониторинга КФК необходимо принимать во внимание этап подготовки спортсмена и некоторые другие факторы. Однако обнаружена большая внутри- и межиндивидуальная вариация, которая затрудняет разработку физиологической нормы для спортсменов. Тем не менее КФК предлагается как маркер, оценка динамики активности которого позволит дать заключение о состоянии систем энергообеспечения, переносимости тренировочных нагрузок, скорости и качестве восстановительных процессов.

Исследование активности КФК у 32 биатлонистов при различных видах ФН показали, что наиболее высокая активность КФК выявлялась после нагрузки силовой направленности. При этом средние значения данного показателя сравнительно мало отличались при различных типах тренировочной деятельности, тогда как крайние величины варьировали в значительных пределах [38].

Следует также упомянуть, что КФК катализирует образование креатинфосфата из креатина и АТФ, который расходуется организмом при увеличенных физических нагрузках. Тяжелые, высокоинтенсивные тренировки приводят к дефициту фосфоркреатина. Определение его уровня в моче может использоваться как тест для выявления СПТ и патологических изменений в мышцах [18].

Адаптацию организма спортсмена к ФН высокой интенсивности отражает оценка активности других ферментов: лактатдегидрогеназы (ЛДГ), альдолазы, каталазы. Так оценка активности КФК, ЛДГ в сочетании уровнем миоглобина, лейкоцитов, малонового альдегида позволяют диагностировать наличие микроповреждений мышц [5, 18, 23].

Измерение уровня лактата в крови до и после нагрузки является одним из наиболее часто используемых тестов для оценки уровня мышечной гипоксии [35, 39]. В рамках традиционной гипотезы рост концентрации лак-

тата при субмаксимальной нагрузке связан с адекватной доставкой кислорода в мышцы.

Динамика концентрации лактата иногда является показательной для оценки работоспособности и истощения [36, 40, 41]. Определение лактата может быть эффективным для оптимизации работы в зоне ПАНО.

Обнаружение высоких уровней лактата в крови были у юных бегунов (КМС и Иразряд), тренирующихся в условиях среднегорья в первые 14 дней тренировок позволит, по мнению авторов, планировать тренировочную нагрузку, в соответствии с индивидуальными изменениями содержания лактата, для дальнейшего роста спортивных результатов [42].

Уровень лактата может быть маркером готовности мышц к повторному действию. Так, 5-тикратное его повышение на пике субмаксимальной зоны по сравнению с его уровнем при разминке и незначимое снижение через 10 минут после завершения двигательного действия, по-видимому, указывает на неготовность мышечного аппарата эффективно выполнить последующее двигательное действие [41]. Авторы делают вывод о том, что накопление лактата негативно влияет на мышцы, на подвижность позвоночного столба, и, следовательно, на адаптационные возможности спортсмена, так как иррациональное выполнение последующих упражнений является предпосылкой к развитию остеохондроза.

Лактат в первой фазе аэробной реакции не нейтрализуется полностью. Во второй фазе происходит его накопление в ведущих задействованных мышцах двигательного акта спортсмена. Молочная кислота оказывает непосредственное влияние на трофику тканей организма. Очень важно понимать, что взаимосвязь лактата с мышечным корсетом влияет на подвижность позвоночного столба, что оказывает влияние на адаптационные возможности спортсмена.

Изменение содержания лактата в капиллярной крови связывают с процессом адаптации кислотно-основного равновесия (КОР) крови к ФН. Исследование у пловцов уровня лактата и других показателей КОР показало, что на фоне повышения содержания лактата снижаются другие показатели КОР, что указывает на развитие лактат-ацидоза [42]. В периоде раннего восстановления авторы наблюдали снижение лактата, увеличение остальных показателей КОР. В работе подчеркивается важность оценки уровня лактата в динамике, так как недостаточное удаление лактата из крови спортсменов в периоде раннего восстановления может приводить к дополнительному напряжению буферных систем организма, что, в свою очередь, вызывает срыв адаптационных реакций с угрозой развития утомления. В результате к следующей тренировке спортсмен подходит в состоянии неполного восстановления. Авторы считают целесообразным применять исследованные показатели для диагностики нарушений КОС и для сохранения физической работоспособности организма спортсменов [42].

Иммунологические методы оценки АП спортсменов

Иммунный статус организма спортсмена теснейшим образом связан с его функциональным состоянием и уровнем специальной физической работоспособности. Обнаружен механизм отклика иммунной системы организма на экзогенные и эндогенные изменения, который является неспецифической адаптационной реакцией [42]. Показано, что содержание клеток периферической крови изменяется при стрессорных воздействиях. Они являются обратной связью, сигнальными показателями адаптации организма. Изучена реакция иммунной системы на интенсивную и длительную ФН.

Четыре фазы, аналогичные этапам адаптации по Гаркави и стадиям развития стресса по Г. Селье, выделены в иммунной системе спортсмена. Это фазы: активации, компенсации, декомпенсации и восстановления [43]. В фазе активации повышается содержание иммуноглобулинов и титров естественных антител (Ат) к патогенным микроорганизмам. В фазе компенсации проявляются резервные возможности иммунной системы. Уровень некоторых классов Ат снижается, других – повышается. Во время третьей фазы значительно снижаются все классы иммуноглобулинов и естественных Ат. Четвертая фаза пока мало изучена.

В настоящее время имеется ряд публикаций, в которых рассматриваются вопросы адаптации к физическим нагрузкам с позиции иммунитета [44]. Отмечено, что уже при однократной мышечной нагрузке могут происходить изменения ряда иммунологических показателей [44]. Границы показателей иммунного гомеостаза у спортсменов значительно расширены по сравнению с нетренированными людьми. В иммунологическом статусе спортсменов прослеживается особая группа скрытых или компенсированных иммунодефицитов, проявляющихся внезапным срывом адаптации в определенных стрессовых ситуациях [45]. При ФН возрастает поступление в кровь эндотоксина - липополисахарида (ЛПС), структурного компонента клеточной мембраны грамотрицательных бактерий. В отличие от бактериальных экзотоксинов, ЛПС выделяется во внешнюю среду при разрушении бактериальных клеток [46]. Показано, что содержание ЛПС в контрольной группе (здоровые мужчины 20-40 лет) было в 10 раз ниже, чем в группах баскетболистов, легкоатлетов и неспортсменов (студентов 2 курса), что свидетельствует об эндотоксиновой агрессии. На этом фоне выявлена группа лиц с дизадаптацией к ФН [46]. Показана связь дизадаптации с прогрессированием эндотоксиновой агрессии.

Оценка уровня лимфоцитов лежит в основе модели смены адаптационных фаз [43]. Согласно этой модели, живой организм реагирует на внешние и внутренние воздействия, изменением общей неспецифической адаптационной реакцией, которая отражается на уровне лимфоцитов [10]. У спортсменов выделено три состояния в соответствии с содержанием лимфоцитов: реакция тренировки, спокойной и повышенной активации. В

дальнейшем сделано усовершенствование диагностики. Проводили совместную оценку уровней лимфоцитов и нейтрофилов с выделением пяти типов адаптационных реакций [34].

В современной научной литературе имеются сведения о состоянии иммунной системы спортсменов различной специализации. Есть данные о состоянии иммунитета борцов, пловцов, лыжников, легкоатлетов [47]. Показано, что при нагрузках у спортсменов высшей квалификации изменяется уровень показателей Т- и В- клеточного звеньев иммунного ответа. Угнетение Т-клеточного иммунитета влечет за собой активацию В-системы гуморального иммунитета.

В качестве маркеров «поломки» адаптационных механизмов рассматривают также уровень иммуноглобулинов в крови (IgA, IgG, IgM), их соотношение и соответствующие коэффициенты сорбции. Показана взаимосвязь этих показателей с заболеваемостью спортсменов. Предполагается, что отклонения данных показателей от нормальных значений, можно рассматривать как неблагоприятный прогностический фактор, указывающий на затянувшийся инфекционный процесс, переход его в хроническую фазу, нарастание интоксикации или продолжающееся влияние неблагоприятных факторов внешней среды [48].

Исследованы иммунологические маркеры – антигенсвязывающие лимфоциты (АСЛ) к тканевым антигенам, которые могут быть предикторами патологических состояний. Так, их повышение на 3-5% считается признаком дистрофии органа. Однократное исследование содержания в крови этих показателей у 60 юных спортсменов разных специализаций (регби, тэквандо, футбол, стаж 1-2 года) выявило повышение АСЛ к тканевым антигенам миокарда у 40% спортсменов, головного мозга – у 22%, эндокарда – у 13%, печени – у 10%, почек у 8% [14].

В литературе приводятся данные исследований содержания иммунных молекул, уровни которых изменены относительно нормальных значений. Следует отметить, что в ряде случаев полученные данные являются противоречивыми, и не коррелируют с состоянием спортсмена. Комплексное исследование состояния иммунитета у юных спортсменов (106 чел.), прошедших подготовительный тренировочный этап показало удовлетворительное состояние иммунной системы [49]. Не выявлено грубых нарушений в виде дисбаланса Т-клеточного звена иммунитета, гипер-IgA-емия, значимого снижения титров антител, снижение функциональной активности нейтрофилов. Однако, наблюдали выраженный дисбаланс интерферонов, повышение числа лимфоцитов, снижение Т-хелперов, повышение доли циркулирующих В-лимфоцитов. При этом отмечается, что уровни IgG, IgM, а также «спортивного» IgA оставались в диапазоне нормы, а уровень IgE был повышен у 37%, причем у 15% повышен в 7-20 раз, и это не было связано с аллергической реакцией.

Исследование показателей врожденного иммунитета у спортсменов высокой квалификации обнаружило, что состоянию ПТ сопутствует повышение лейкоцитарного индекса интоксикации, а также снижение уровня лизоцима как в слюне, так и в сыворотке крови [24]. Однако, при этом не выявлены достоверных отличия ферментативной активности АСТ, АЛТ, КФК у спортсменов с СПТ и без него.

Важным источником информации о состоянии адаптационных резервов организма, как сказано выше, являются показатели иммунной системы. Они отражают метаболические перестройки, происходящие в организме человека. В современной научной литературе имеются сведения о состоянии иммунной системы спортсменов различной специализации. Есть данные о состоянии иммунитета борцов, пловцов, лыжников, легкоатлетов [24, 47-49]. Показано, что при нагрузках у спортсменов высшей квалификации изменяется уровень показателей Т- и В-клеточного звеньев иммунного ответа, что угнетение Т-клеточного иммунитета влечет за собой активацию В-системы гуморального иммунитета [3, 4, 10, 43, 47, 48]. Одним из основных параметров гуморального звена иммунной системы, присутствующим в организме всех здоровых лиц, являются естественные Ат, направленные к самым различным эндогенным молекулам (нейропептидам, гормонам, рецепторам). Совокупность е-Ат отражает и регулирует индивидуальный молекулярно-клеточный состав организма. При различных па-

тологических состояниях количество Ат в кровотоке достоверно изменяется. Кроме того, модуляция уровня Ат к некоторым эндогенным молекулам возникает уже на доклинической стадии, что делает возможным предсказать заболевание до появления характерных симптомов.

Эти молекулы играют важную роль в нейрогуморальном механизме развития СПТ. Патогенетическая роль этих соединений отражается в увеличении их содержания в крови, изменении метаболизма, запускающего механизм, модулирующий влияние нервной системы на общий иммунный статус. На этом фоне может происходить качественное и количественное изменение уровня Ат к эндогенным биорегуляторам, участвующим в патогенезе СПТВ выполнены исследования, показавшие, что определение индивидуального профиля панели е-Ат может быть диагностически значимым в оценке снижения АП [50-51].

Таким образом, в обзоре представлены современные представления о подходах и выборе критериев оценки состояния адаптационных ресурсов организма спортсмена. Описаны молекулярные механизмы развития синдрома перетренированности. Приведены статистические данные о его распространенности. Представлены регламентирующие документы с указанием перечня анализируемых показателей для спортсменов различной квалификации. Дана характеристика методам, используемым в оценке адаптационного потенциала.

Список литературы

1. Болотов Д.Д., Русакевич А.П., Стариков С.М. Оценка толерантности к физической нагрузке у пациентов с ампутированными конечностями // Вестник восстановительной медицины. 2019. №2. С. 29-34.
2. Schweltnus M, Soligard T, Alonso JM, Bahr R, Clarsen B, Dijkstra HP, Gabbett TJ, Gleeson M, Hägglund M, Hutchinson MR, Janse Van Rensburg C, Meeusen R, Orchard JW, Plum BM, Raftery M, Budgett R, Engebretsen L. How much is too much? (Part 2). International Olympic Committee consensus statement on load in sport and risk of illness // Br J Sport Med. 2016. Vol.50, №17. P. 1030-41. DOI: 10.1136/bjsports-2016-096581.
3. Поляев Б.А. Клинические рекомендации по диагностике и лечению общего и частных синдромов перенапряжения центральной нервной системы, сердечно-сосудистой системы, опорно-двигательного аппарата, иммунной системы и переутомления у спортсменов высокой квалификации. Москва, 2016. 93 с.
4. Гаврилова Е.А. Вариабельность ритма сердца и спорт. Прогноз функционального состояния и соревновательной деятельности спортсменов. Palmarium Academic Publishing, 2017. 180 с.
5. Рахманов Р.С., Разгулин С.А., Блинова Т.В., Колесов С.А., Страхова Л.А., Берзин И.А., Хайров Р.Ш. Оценка функциональной надежности спортсменов по показателям обменных процессов организма // Вестник спортивной науки. 2018. №1. С. 44-8.
6. Машковский Е.В., Ачкасов Е.Е., Богова О.Т., Винничук Д.О. Влияние регулярных физических нагрузок на морфофункциональное состояние сердечно-сосудистой системы у действующих спортсменов и ветеранов спорта // Спортивная медицина: наука и практика. 2014. №1. С. 22-31.

References

1. Bolotov DD, Rusakevich AP, Starikov SM. Otsenka tolerantnosti k fizicheskoy nagruzke u patsientov s amputatsionnymi defektami nizhnikh konechnostey. Vestnik vosstanovitelnoy meditsiny (Journal of restorative medicine and rehabilitation). 2019;(2):29-34. Russian.
2. Schweltnus M, Soligard T, Alonso JM, Bahr R, Clarsen B, Dijkstra HP, Gabbett TJ, Gleeson M, Hägglund M, Hutchinson MR, Janse Van Rensburg C, Meeusen R, Orchard JW, Plum BM, Raftery M, Budgett R, Engebretsen L. How much is too much? (Part 2). International Olympic Committee consensus statement on load in sport and risk of illness. Br J Sport Med. 2016;50(17):1030-41. DOI: 10.1136/bjsports-2016-096581.
3. Polyayev BA. Klinicheskie rekomendacii po diagnostike i lecheniyu obshchego i chastnyh sindromov perenapryazheniya centralnoy nervnoy sistemy, serdechno-sosudistoy sistemy, oporno-dvigatel'nogo apparata, immunnoy sistemy i pereutomleniya u sportmenov vysokoy kvalifikacii. Moscow, 2016. 93 p. Russian.
4. Gavrilova EA. Variablnost ritma serdca i sport. Palmarium Academic Publishing, 2017. 180 p. Russian.
5. Rakhmanov RS, Razgulin SA, Blinova TV, Kolesov SA, Strakhova LA, Berzin IA, Khayrov RSh. Evaluation of functional reliability of sportsmen according to indices of metabolic processes in human organism. Sport science bulletin. 2018;1:44-8. Russian.
6. Mashkovskiy EV, Achkasov EE, Bogova OT, Vinnichuk DO. Vliyanie regulyarnykh fizicheskikh nagruzok na morfofunktsionalnoe sostoyanie serdechno-sosudistoy sistemy u deystvuyushchikh sportmenov i veteranov sporta. Sportivnaya meditsina: nauka i praktika. (Sports medicine: research and practice). 2014;(1):22-31. Russian.

7. **Carfagno DG, Hendrix JC.** Overtraining syndrome in Athlete: Current Clinical Practice // Current Sports Medicine Reports. 2014. Vol.13, №1. P. 45-51.

8. **Stefan L, Sporis G, Samija K.** Organism adaptations on resistance training – systematic review // Sport Science. 2015. Vol. 8, Suppl 1. P. 15-9.

9. **Kreher J.** Diagnosis and prevention of overtraining syndrome: an opinion on education strategies // Open Access J Sports Medicine. 2016. Vol.7. P. 115-22.

10. **Макарова Г.А., Холявко Ю.А., Верлина Г.В.** Клинико-лабораторное обследование спортсменов высшей квалификации: основные направления совершенствования // Лечебная физкультура и спортивная медицина. 2013. №7. С. 4-13.

11. **Ачкасов Е. Е.Благова Н.Н., Гансбургский А.Н., Гансбургский М.А., Коромыслов А.В., Лебедев А.В., Маргазин В.А., Никитина И.Е., Носков С.М., Павлов А.В., Поляев Б.А.** Клинические аспекты спортивной медицины. Руководство. СПб.: Спецлит, 2014, 880 с.

12. **Платонов В.** Перетренированность в спорте // Наука в олимпийском спорте. 2015. №1. С. 19-34.

13. **Луцкан И.П., Саввина Н.В., Степанова Л.А.** Проблемы медицинского обеспечения детей, занимающихся спортом в России // Российский педиатрический журнал. 2012. №5. С. 39-42.

14. **Гулямов Н.Г., Худойкулов Ш.Х.** О донозологической иммунологической диагностике предпатологических процессов у юных спортсменов. // Сборник материалов II Международной научно-практической конференции, посвященной 40-летию Поволжской государственной академии физической культуры, спорта и туризма. Казань, 27-28 ноября 2014 года. Поволжская ГАФКСИТ, 2014. С. 129-31.

15. **Meeusen R, Duclos M, Foster C, Fry A, Gleeson M, Nieman D, Raglin J, Rietjens G, Steinacker J, Urhausen A.** Prevention, Diagnosis, and Treatment of the Overtraining Syndrome: Joint Consensus Statement of the European College of Sport Science and the American College of Sports Medicine // Medicine & Science in Sports & Exercised. 2012. Vol.45, №1. P. 186-205. DOI: 10.1249/MSS.0b013e318279a10a.

16. **Макарова Г.А., Поляев Б.А.** Медико-биологическое обеспечение спорта за рубежом. М.: Советский спорт, 2012. 310 с.

17. **Zajac A, Chalimoniuk M, Maszczyk A, Gołasz A, Lngfort J.** Central and Peripheral Fatigue During Resistance Exercise. A Critical Review // J Hum Kinet. 2015. Vol. 49. P. 159-69. DOI: 10.1515/hukin-2015-0118.

18. **Никулин Б.А., Родионова И.И.** Биохимический контроль в спорте. М.: Советский спорт, 2011. 232 с.

19. **Connell CJ, Thompson B, Turuwhenua J, Szlich A, Gant N.** Fatigue-related impairments in oculomotor control are prevented by norepinephrine-dopamine reuptake inhibition // Sci Rep. 2017. Vol.7. e42726. DOI: 10.1038/srep42726.

20. **Cordeiro LMS, Rabelo PCR, Moraes MM, Teixeira-Coelho F, Coimbra CC, Wanner SP, Soares DD.** Physical exercise-induced fatigue: the role of serotonergic and dopaminergic systems // Braz J Med Biol Res. 2017. Vol.50, №12. e6432. DOI: 10.1590/1414-431X20176432.

21. **Coqueiro AY, Rogero MM, Tirapegui J.** Glutamine as an Anti-Fatigue Amino Acid in Sports Nutrition // Nutrients. 2019. Vol.11, №4. DOI: 10.3390/nu11040863.

22. **Schmikli SL, de Vries WR, Brink M, Backx FJG.** Monitoring performance, pituitary-adrenal hormones and mood profiles: how to diagnose non-functional over-reaching in male elite junior soccer players // Br J Sports Med. 2012. Vol.46. P. 1019-23. DOI: 10.1136/bjsports-2011-090492.

7. **Carfagno DG, Hendrix JC.** Overtraining syndrome in Athlete: Current Clinical Practice. Current Sports Medicine Reports. 2014;13(1):45-51.

8. **Stefan L, Sporis G, Samija K.** Organism adaptations on resistance training – systematic review. Sport Science. 2015;8(Suppl 1):15-9.

9. **Kreher J.** Diagnosis and prevention of overtraining syndrome: an opinion on education strategies. Open Access J Sports Medicine. 2016;7:115-22. DOI: 10.2147/OAJSM.S91657.

10. **Makarova GA, Holyavko YUA, Verlina GV.** Clinical laboratory examination of top class athletes: basic lines of improvement. Lechebnaya fizkultura i sportivnaya meditsina (Exercise therapy and sports medicine). 2013;(115):4-13. Russian.

11. **Achkasov EE, Blagova NN, Gansburgskiy AN, Gansburgskiy MA, Koromyslov AV, Lebedev AV, Margazin VA, Nikitina IE, Noskov SM, Pavlov AV, Polyayev BA.** Klinicheskie aspekty sportivnoy meditsiny. Saint Petersburg, Speclit, 2014. 880 p. Russian.

12. **Platonov V.** Overtraining in sport. Science in Olympic Sport. 2015;(1):19-34. Russian.

13. **Luckan IP, Savvina NV, Stepanova LA.** Problems of medical support for children engaged in sport activity in Russia. Russian Pediatric Journal. 2012;(5):39-42. Russian.

14. **Guljamov NG, Hudojkulov ShH.** About prenosological immunological diagnosis of pre-pathological processes in young athletes (Materials of II International conference «Physiological and biochemical bases and pedagogical technologies adapting to different physical loads»), Kazan, 2014. P. 129-31.

15. **Meeusen R, Duclos M, Foster C, Fry A, Gleeson M, Nieman D, Raglin J, Rietjens G, Steinacker J, Urhausen A.** Prevention, Diagnosis, and Treatment of the Overtraining Syndrome: Joint Consensus Statement of the European College of Sport Science and the American College of Sports Medicine. Medicine & Science in Sports & Exercised. 2012;45(1):186-205. DOI: 10.1249/MSS.0b013e318279a10a.

16. **Makarova GA, Polyayev BA.** Biomedical support of sports abroad. Moscow, Soviet sport, 2012. 310 p. Russian.

17. **Zajac A, Chalimoniuk M, Maszczyk A, Gołasz A, Lngfort J.** Central and Peripheral Fatigue During Resistance Exercise. A Critical Review. J Hum Kinet. 2015;49:159-69. DOI: 10.1515/hukin-2015-0118.

18. **Nikulin BA, Rodionova II.** Biochemical control in sport: scientific method. Manual. Moscow, Soviet sport, 2011. 232 p. Russian.

19. **Connell CJ, Thompson B, Turuwhenua J, Szlich A, Gant N.** Fatigue-related impairments in oculomotor control are prevented by norepinephrine-dopamine reuptake inhibition. Sci Rep. 2017;7:e42726. DOI: 10.1038/srep42726.

20. **Cordeiro LMS, Rabelo PCR, Moraes MM, Teixeira-Coelho F, Coimbra CC, Wanner SP, Soares DD.** Physical exercise-induced fatigue: the role of serotonergic and dopaminergic systems. Braz J Med Biol Res. 2017;50(12):e6432. DOI: 10.1590/1414-431X20176432.

21. **Coqueiro AY, Rogero MM, Tirapegui J.** Glutamine as an Anti-Fatigue Amino Acid in Sports Nutrition. Nutrients. 2019;11(4). DOI: 10.3390/nu11040863.

22. **Schmikli SL, de Vries WR, Brink M, Backx FJG.** Monitoring performance, pituitary-adrenal hormones and mood profiles: how to diagnose non-functional over-reaching in male elite junior soccer players. Br J Sports Med. 2012;46:1019-23. DOI: 10.1136/bjsports-2011-090492.

23. Arakawa K, Hosono A, Shibata K, Ghadimi R, Fuku M, Goto C, Imaeda N, Tokudome Y, Hoshino H, Marumoto M, Kobayashi M, Suzuki S, Tokudome S. Changes in blood biochemical markers before, during, and after a 2-day ultramarathon // J Sports Med. 2016. Vol.7. P. 43-50. DOI: 10.2147/OAJSM.S97468.

24. Афанасьева И.А., Таймазов В.А. Синдром перетренированности у спортсменов: эндогенная интоксикация и факторы врожденного иммунитета // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. 2011. №12. С. 24-30.

25. Robson PJ. Elucidating the unexplained underperformance syndrome in endurance athletes: the interleukin-6 hypothesis // Sports Med. 2003. Vol.33. P. 771-81. DOI: 10.2165/00007256-200333100-00004.

26. Margonis K, Fatouros IG, Jamurtas AZ, Nikolaidis MG, Douroudos I, Chatzinikolaou A, Mitrakou A, Mastorakos G, Papassotiropoulos I, Taxildaris K, Kouretas D. Oxidative stress biomarkers responses to physical overtraining: implications for diagnosis // Free Radic Biol Med. 2007. Vol.43, №6. P. 901-10. DOI: 10.1016/j.freeradbiomed.2007.05.022.

27. Smith LL. Cytokine hypothesis of over training: a physiological adaptation to excessive stress? Med Sci Sports Exerc. 2000. Vol.32. P. 317-31. DOI: 10.1097/00005768-200002000-00011.

28. Tanskanen M, Atalay M, Uusitalo A. Altered oxidative stress in overtrained athletes // J Sports Sci. 2010. Vol.28, №3. P. 309-17. DOI: 10.1080/02640410903473844.

29. Приказ №134н от 1 марта 2016 г. «О порядке организации оказания медицинской помощи лицам, занимающимся физической культурой и спортом (в том числе при подготовке и проведении физкультурных мероприятий 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».

30. Корженевский А.Н., Кургузов Г.В., Клендар В.А. Комплексная диагностика специальной работоспособности высококвалифицированных боксеров // Вестник спортивной науки. 2018. №5. С. 45-8.

31. 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. Vol.10. P. 2920-37.

32. Ильин В.Н., Алвани А, Филиппов М.М., Коваль С.Б. Феномен хронического утомления // Ульяновский медико-биологический журнал. 2015. №3. С. 108-17.

33. Purvis D, Gonsalves S, Deuster PA. Physiological and Psychological Fatigue in Extreme Conditions: Overtraining and Elite Athletes // Physical Medicine and Rehabilitation. 2010. Vol.2. P. 442-50. DOI: 10.1016/j.pmrj.2010.03.025.

34. Рыбина И.Л., Нехвядович А.И., Ширковец Е.А. Неспецифические адаптационные реакции в системе оценки биоэнергетических возможностей организма пловцов высокой квалификации // Вестник спортивной науки. 2015. №1. С. 33-7.

35. Интерфейс мозг-компьютер, нейрореабилитация // Официальный сайт компании «Нейроботикс» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://neurobotics.ru/neurophysiology/nejroreabilitacziya/>

36. Рыбина И.Л., Ширковец Е.А., Нехвядович А.И. Лабораторные маркеры адаптации организма биатлонистов высокой квалификации к тренировочным нагрузкам // Наука в олимпийском спорте. 2017. №2. С. 28-33.

37. Gleeson M. Biochemical and immunological markers of overtraining // J Sports Science and Medicine. 2002. Vol.1. P. 31-41.

23. Arakawa K, Hosono A, Shibata K, Ghadimi R, Fuku M, Goto C, Imaeda N, Tokudome Y, Hoshino H, Marumoto M, Kobayashi M, Suzuki S, Tokudome S. Changes in blood biochemical markers before, during, and after a 2-day ultramarathon. J Sports Med. 2016;7:43-50. DOI: 10.2147/OAJSM.S97468.

24. Afanasyeva IA, Taymazov VA. Overtraining syndrome among the athletes: endogenous intoxication and factors of innate immunity. Uchenye zapiski universiteta imeni P.F. Lesgafta 2011;12(82):24-30. Russian.

25. Robson PJ. Elucidating the unexplained underperformance syndrome in endurance athletes: the interleukin-6 hypothesis. Sports Med. 2003;33:771-81. DOI: 10.2165/00007256-200333100-00004.

26. Margonis K, Fatouros IG, Jamurtas AZ, Nikolaidis MG, Douroudos I, Chatzinikolaou A, Mitrakou A, Mastorakos G, Papassotiropoulos I, Taxildaris K, Kouretas D. Oxidative stress biomarkers responses to physical overtraining: implications for diagnosis. Free Radic Biol Med. 2007;43(6):901-10. DOI: 10.1016/j.freeradbiomed.2007.05.022.

27. Smith LL. Cytokine hypothesis of over training: a physiological adaptation to excessive stress? Med Sci Sports Exerc. 2000;32:317-31. DOI: 10.1097/00005768-200002000-00011.

28. Tanskanen M, Atalay M, Uusitalo A. Altered oxidative stress in overtrained athletes. J Sports Sci. 2010;28(3):309-17. DOI: 10.1080/02640410903473844.

29. Order From March 1, 2016 №134 «On the procedure for organizing the provision of medical assistance to persons involved in physical education and sports (including the preparation and conduct of physical education events and sporting events), including the procedure for medical examination of persons wishing to undergo sports training, physical culture and sports in organizations and (or) fulfill the standards of tests (tests) of the All-Russian physical culture and sports complex «Ready for labour and defense». Russian.

30. Korzhenevsky AN, Kurguzov GV, Klendar VA. Complex diagnostics of the special working capacity in elite boxers. Sport science bulletin. 2018;5:45-8. Russian.

31. 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;10:2920-37.

32. Ilyin VN, Alvani A, Filippov MM, Koval SB. Phenomenon of chronic fatigue in athletes. Ulyanovskiy mediko-biologicheskij zhurnal. 2015;3:108-17. Russian.

33. Purvis D, Gonsalves S, Deuster PA. Physiological and Psychological Fatigue in Extreme Conditions: Overtraining and Elite Athletes. Physical Medicine and Rehabilitation. 2010;2:442-50. DOI: 10.1016/j.pmrj.2010.03.025.

34. Rybina IL, Nehvjadovich AI, Shirkovets EA. Non-specific adaptive reactions in system for estimation of bioenergetics organism abilities in elite swimmers. Sport science bulletin. 2015;1:33-7. Russian.

35. Brain-computer interface, neurorehabilitation (2019). Available at: <https://neurobotics.ru/neurophysiology/nejroreabilitacziya/> (accessed 28 October 2019).

36. Rybina IL, Shirkovets EA, Nehvjadovich AI. Laboratory marker adaptacii organizma biatlonistov vysokoy kvalifikacii k trenirovochnym nagruzkam. Science in Olympic Sport. 2017;2:28-33. Russian.

37. Gleeson M. Biochemical and immunological markers of overtraining. J Sports Science and Medicine. 2002;1:31-41.

38. **Ланская О.В., Ланская Е.В.** Электромиографическое исследование активности мышц у студентов физкультурного вуза, специализирующихся в различных видах спорта // Альманах «Новые исследования». 2017. №1. С. 50-64.

39. **Рыбина И.Л., Кузнецова З.М.** Использование активности креатинфосфокиназы в оценке срочной и долговременной адаптации организма спортсменов к тренировочным нагрузкам // Педагогико-психологические и медико-биологические проблемы физической культуры и спорта. 2015. Т.3, №1. С. 150-8.

40. **Мосин И.В., Есаулов М.Н., Мосина И.Н.** Оптимизация тренировочной нагрузки бегунов на средние дистанции в условиях среднегорья // Теория и практика физической культуры. 2018. №10. С. 85-7.

41. **Николаев А.А., Медведева Л.Е.** Измерение и анализ лактат-проб как один из методов оценки тренировочного процесса у высококвалифицированных спортсменов-гиревиков // Наука и спорт: современные тенденции. 2017. Т.17, №4. С. 56-60.

42. **Петрушова О.П., Микуляк Н.И.** Кислотно-основное равновесие крови спортсменов при физической нагрузке // Биомедицинская химия. 2014. Т.60, №5. С. 591-5.

43. **Гаркави Л.Х., Квакина Е.Б., Кузьменко Т.С.** Антистрессорные реакции и активационная терапия. Реакция активации как путь к здоровью через процессы самоорганизации. М.: Имедис, 1998. 656 с.

44. **Линде Е.В., Дегтярева Е.А., Линяева В.В.** Прогнозирование развития стресс-индуцированных повреждений миокарда у юных спортсменов // Лечебная физкультура и спортивная медицина. 2016. Т.6, №2. С. 16-22.

45. **Аниховская И.А., Двоеносов В.Г., Жданов Р.И., Кубагиев А.А., Майский И.А., Маркелова М.М., Мешков М.В., Опарина О.Н., Салахов И.М., Яковлев М.Ю.** Психоэмоциональный стресс как клиническая модель начальной фазы общего адаптационного синдрома // Патологическая физиология и экспериментальная терапия. 2015. Т.59, №4. С. 87-93.

46. **Опарина О.Н., Аниховская И.А., Девятаев А.М., Яковлева М.М.** Показатели активности антиэндоксинного иммунитета и концентрации липополисахарида клеточной микрофлоры в крови человека при физических нагрузках // Физиология человека. 2004. Т.30, №1. С. 135-8.

47. **Назар П., Шевченко Е., Осадчая О., Левон М.** Иммунный статус спортсменов при физической нагрузке // Наука в Олимпийском спорте. 2014. №1. С. 37-43.

48. **Емельянов Б.А., Калинин Л.А., Морозов В.Н., Бобков Г.А., Козловский А.П., Морозова О.В., Метляев Г.Н.** Оценка иммунореактивности организма спортсменов // Вестник спортивной науки. 2015. №1. С. 20-6.

49. **Ключников С.О., Козлов И. Г., Самойлов А. С., Бехтина Е. В., Балькова Л. А., Ивянский С.А., Ключников М.С., Давыдова Н.В.** Метаболическая коррекция иммунологического дисбаланса у юниоров // Медицинский совет. 2014. №14. С. 30-8. DOI: 10.21518/2079-701X-2014-14-30-38.

50. **Мягкова М.А., Петроченко С.Н., Морозова В.С.** Определение антител к эндогенным биорегуляторам для диагностики функционального состояния организма // Известия АН. Серия химическая. 2018. №4. С. 762-7.

51. **Спасский А.А., Мягкова М.А., Петроченко С.Н., Ильина А.К.** Определение иммунологических показателей для оценки функционального состояния спортсменов хоккеистов // Лечебная физкультура и спортивная медицина. 2017. №6. С. 36-42.

38. **Lanskaya OV, Lanskaya EV.** Electromyographic study of muscle activity in athletic students specializing in various sports. Journal «New research». 2017;1(50):50-64. Russian.

39. **Rybina IL, Kuznetsova ZM.** The use of creatine phosphokinase level in assessment of athletes' urgent and long-term adaptation to training loads. Pedagogiko-psihologicheskie i mediko-biologicheskie problem fizicheskoy kultury i sporta. 2015;3:150-8. Russian.

40. **Mosin IV, Esaulov MN, Mosina IN.** Middle-distance runners' middle-altitude training process management mode. Theory and Practice of Physical Culture. 2018;10:85-7. Russian.

41. **Nikolaev AA, Medvedeva LE.** Measurement and analysis of lactate samples, as a method of evaluation of training process of highly skilled sportsmen of kettlebell lifting. Science and sport: current trends. 2017;17(4):56-60. Russian.

42. **Petrushova OP, Mikulyak NI.** Blood acid-base balance of sportsmen during physical activity. Biomedical Chemistry. 2014;60(5):591-5. Russian.

43. **Garkavi LH, Kvakina EB, Kuzmenko TS.** Antistress reactions and activation therapy. Activation reaction as a way to health through self-organization processes. Moscow, Imedis, 1998. 656 p. Russian.

44. **Linde E, Degtyaryova E, Linyaeva V.** Prediction the development of stress-induced myocardial damage in young athletes. Lechebnaya fizkultura i sportivnaya meditsina (Exercise therapy and sports medicine). 2016;6(2):16-22. Russian.

45. **Anihovskaya IA, Dvoenosov VG, Zhdanov RI, Kubatiev AA, Mayskiy IA, Markelova MM, Meshkov MV, Oparina ON, Salahov IM, Yakovlev MYu.** Emotional stress as a clinical model to study the pathogenesis of the initial phase of the general adaptation syndrome. Pathological physiology and experimental therapy. 2015;59(4):87-93. Russian.

46. **Oparina ON, Anihovskaya IA, Devyataev AM, Yakovleva MM.** Antiendotoxin immunity indices and concentration of the intestinal flora lipopolysaccharide in human blood under the conditions of physical exercise. Human Physiology. 2004;30(1):120-2. DOI: 10.1023/B:HUMP.0000013774.40170.6d. Russian.

47. **Nazar P, Shevchenko Y, Osadchaia O, Levon M.** Athlete's immune status during physical exercise. Science in Olympic Sport. 2014;1:37-43. Russian.

48. **Emelyanov BA, Kalinkin LA, Morozov VN, Bobkov GA, Kozlovsky AP, Morozova OV, Metlyaev GN.** Estimation of the immune reactivity of the organism of athletes. Sport science bulletin. 2015;1:20-6. Russian.

49. **Klyuchnikov SO, Kozlov IG, Samoilov AS, Behtina EV, Balykova LA, Ivyanskia SA, Klyuchnikov MS, Davydova NV.** Metabolic treatment of immunological disorders in juniors. Medical Council. 2014;(14):30-8. DOI: 10.21518/2079-701X-2014-14-30-38. Russian.

50. **Myagkova MA, Petrochenko SN, Morozova VS.** Detection of natural antibodies to endogenous bioregulators for the diagnostics of the functional state of the body. Russian Chemical Bulletin. 2018;67(4):762-7. DOI.org/10.1007/s11172-018-2134-3. Russian.

51. **Spassky AA, Myagkova MA, Petrochenko SN, Ilyina AK.** Determination of immunological indicators for the assessment of the functional state of hockey players. Lechebnaya fizkultura i sportivnaya meditsina (Exercise therapy and sports medicine). 2017;6(144):36-42. Russian.

Информация об авторах:

Спаский Андрей Александрович, научный руководитель АНО «Клиника спортивной медицины «Лужники», проф., д.м.н.

Мягкова Марина Александровна, заведующая лабораторией иммунохимии физиологически активных веществ ФГБУ Институт физиологически активных веществ РАН, д.б.н., проф.

Левашова Анна Игоревна, старший научный сотрудник лаборатории иммунохимии физиологически активных веществ ФГБУ Институт физиологически активных веществ РАН, к.н.х. (+7 (916) 181-29-10, annalevashova3@gmail.com)

Кукушкин Сергей Кузьмич, доцент кафедры болезней старения факультета дополнительного профессионального образования ФГБОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, к.м.н.

Куршев Владислав Викторович, главный врач АНО «Клиника спортивной медицины «Лужники», ассистент кафедры спортивной медицины и медицинской реабилитации ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет) Минздрава России, к.м.н.

Янова Юлия Владимировна, спортивный врач АНО «Клиника спортивной медицины «Лужники»

Веселова Людмила Валерьевна, доцент кафедры спортивной медицины и медицинской реабилитации ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет) Минздрава России, к.м.н.

Information about the authors:

Andrey A. Spassky, M.D., D.Sc. (Medicine), Prof., Scientific Director of the «Luzhniki» Sports Medicine Clinic Autonomous Nonprofit Organization

Marina A. Myagkova, M.D., D.Sc. (Medicine), Prof., Head of the Laboratory of Immunochemistry of Physiologically Active Substances of the Institute of Physiologically Active Substances of the Russian Academy of Sciences

Anna I. Levashova, Ph.D. (Chemistry), Senior Researcher of the Laboratory of Immunochemistry of Physiologically Active Substances of the Institute of Physiologically Active Substances of the Russian Academy of Sciences (+7 (916) 181-29-10, annalevashova3@gmail.com)

Sergey K. Kukushkin, M.D., Ph.D. (Medicine), Associate Professor of the Department of Diseases of Aging of the Faculty of Additional Professional Education of the Pirogov Medical University

Vladislav V. Kurshev, M.D., Ph.D. (Medicine), Head Physician of the «Luzhniki» Sports Medicine Clinic Autonomous Nonprofit Organization, Assistant of the Department of Sports Medicine and Medical Rehabilitation of the Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University)

Julia V. Yanova, M.D., Sports Medicine Physician of the «Luzhniki» Sports Medicine Clinic Autonomous Nonprofit Organization

Lyudmila V. Veselova, M.D., Ph.D. (Medicine), Associate Professor of the Department of Sports Medicine and Medical Rehabilitation of the Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University)

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest

Поступила в редакцию: 25.06.2019

Принята к публикации: 29.07.2019

Received: 25 June 2019

Accepted: 29 July 2019