Министерство спорта и туризма Республики Беларусь

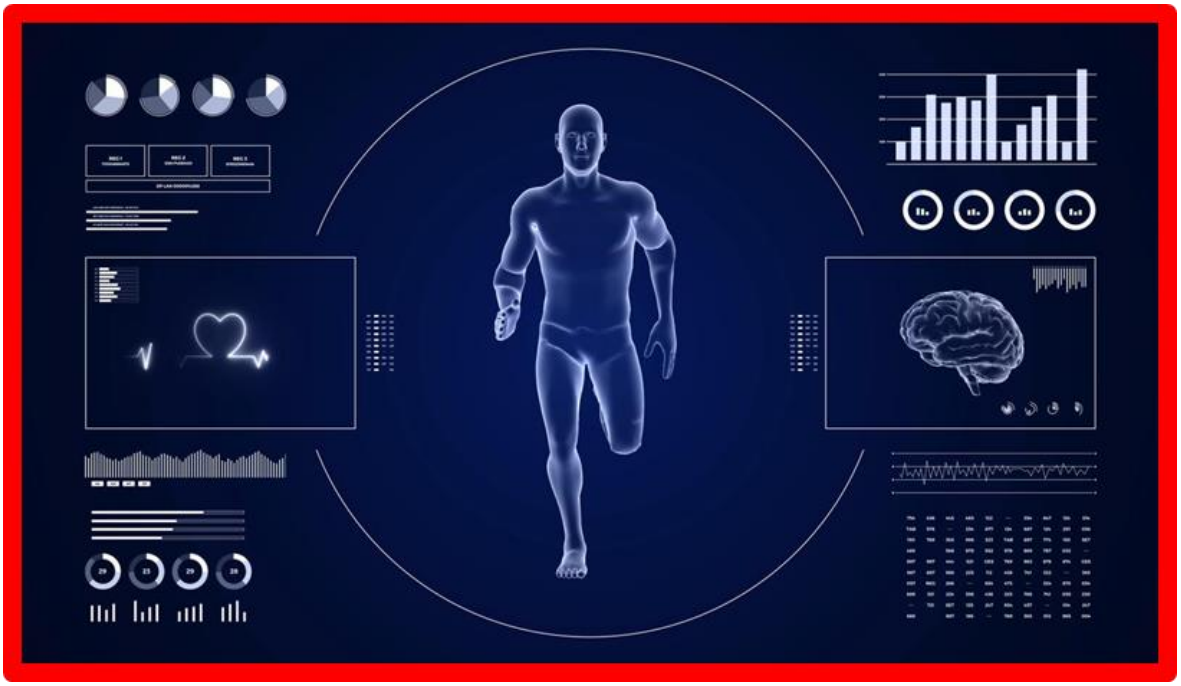
Белорусский государственный университет физической культуры
Центр координации научно-методической и инновационной деятельности
Информационно-аналитический отдел

III Международная научно-практическая конференция
«ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
СПОРТИВНОЙ МЕДИЦИНЫ И РЕАБИЛИТОЛОГИИ»

Цикл научно-практических мероприятий
«СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В ПОДГОТОВКЕ СПОРТИВНОГО РЕЗЕРВА
И СПОРТСМЕНОВ ВЫСОКОГО КЛАССА»

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ И КОРРЕКЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СПОРТСМЕНОВ

Форсайт-дискуссия
Информационно-аналитические материалы
27.10.2023



ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Современные подходы к оценке и коррекции состояния здоровья, функциональной готовности и восстановления спортсменов на основе биомаркеров *4*

Разуванов Владимир Михайлович,
ведущий специалист информационно-аналитического отдела центра координации научно-методической и инновационной деятельности

Использование инновационного оборудования для оценки функционального состояния спортсменов в большом теннисе *29*

Дарануца Кристина Сергеевна,
начальник информационно-аналитического отдела центра координации научно-методической и инновационной деятельности

Тандем спортивной медицины и научно-технологического прогресса: новаторские разработки для оптимизации функционального состояния спортсменов *32*

Храмцова-Босая Янина Александровна,
специалист информационно-аналитического отдела центра координации научно-методической и инновационной деятельности

Коррекция функционального состояния внешнего дыхания спортсменов-пловцов *38*

Шешко Валентина Владимировна,
ведущий специалист информационно-аналитического отдела
центра координации научно-методической и инновационной деятельности

Анализ зарубежной публикации
Спортивная диагностика – максимизация результатов или профилактика травм *42*

Mackala, K. Sports Diagnostics – Maximizing the Results or Preventing Injuries / K. Mackala, K. Michalik, H. Makaruk // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2023. – № 20 (3). – P. 1–5.

Перевод: Л.И. Кипчакбаева, ведущий специалист информационно-аналитического отдела.
Научная редакция: М.Е. Агафонова, доцент кафедры спортивной медицины БГУФК, кандидат биологических наук, доцент.

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ И КОРРЕКЦИИ СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ, ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ГОТОВНОСТИ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ СПОРТСМЕНОВ НА ОСНОВЕ БИОМАРКЕРОВ

Разуванов Владимир Михайлович, ведущий специалист информационно-аналитического отдела центра координации научно-методической и инновационной деятельности

Белки, метаболиты, электролиты и иные компоненты физиологических сред организма могут использоваться в качестве биомаркеров для оценки функционального состояния спортсменов и лиц, занимающихся физической культурой и спортом в рекреационных и оздоровительных целях. Прогресс в методах анализа больших данных позволяет предположить, что применение современных технологий с использованием биохимических и гематологических параметров может быть эффективным инструментом для управления тренировочными нагрузками, процессом восстановления, соревновательной готовностью. Существует множество различных биомаркеров, характеризующих различные аспекты здоровья, спортивной производительности и восстановления. Однако при использовании этих биомаркеров для мониторинга функционального состояния спортсменов важно помнить, что даже информативные и надежные биомаркеры имеют свои ограничения.

Анализ биомаркеров связан со множеством проблем и сложностей:

- отдельные биомаркеры не могут дать точную и исчерпывающую оценку при диагностике сложных и обширных физиологических процессов, например, таких как восстановление;
- чувствительность отдельных биомаркеров для выявления риска перетренированности или травмы весьма ограничена;
- референтные диапазоны приемлемых значений для спортсменов и отдельных подгрупп спортсменов четко не определены;
- велики индивидуальные различия в абсолютных и относительных значениях биомаркеров;
- тестирование и анализ биомаркеров имеет выраженный контекстуализированный ситуативный характер.

Однократное измерение биомаркера не позволяет точно определить состояние здоровья человека. Например, хотя иммунная сигнальная молекула интерлейкин-6 (IL-6) является цитокином, который может указывать лишь на воспаление, она дает немного информации о хроническом воспалении при диагностике перетренированности у спортсмена, поскольку IL-6 играет как противовоспалительную, так и противовоспалительную роль и реагирует на многие стимулы, как острые, так и хронические. Хотя имеются веские доказательства эффективности IL-6 как потенциального биомаркера перетренированности, исследователи солидарны в том, что при попытке обнаружить хроническое воспаление у спортсменов следует измерять несколько

цитокинов совместно, а также учитывать иные переменные, связанные с физиологическими функциями и предшествующими стимулами хронического воспаления [60].

Данные о множественных воспалительных цитокинах, эндокринных маркерах долгосрочной дисрегуляции и перетренированности, таких как тестостерон и кортизол, а также маркерах повреждения мышц, таких как креатинкиназа (СК), должны быть интегрированы с тем, чтобы предоставить точную и достоверную информацию о здоровье спортсмена, в частности, состоянии перетренированности. Полагаться на один маркер для точного и надежного определения перетренированности, учитывая плейотропную (способность одного гена влиять на несколько фенотипических признаков) природу большинства биологических маркеров представляется недопустимым упрощением. Еще более усложняет анализ тот факт, что для большинства биомаркеров, в силу значительных межиндивидуальных различий, также существует множество индивидуальных референтных диапазонов, кроме того, измерение биомаркеров может сильно варьироваться в зависимости от контекста. Продолжая пример биомаркеров перетренированности, даже обычные люди демонстрируют высокую вариабельность уровня и реактивности цитокинов в сыворотке и плазме, а спортсмены могут проявлять еще более высокую степень вариабельности данных значений [40]. Биомаркеры, такие как воспалительные цитокины, повышаются после тренировки у здоровых людей и возвращаются к исходным значениям в течение от нескольких минут до нескольких часов после нагрузки, при этом абсолютные значения цитокинов при однократном заборе крови могут быть как повышенными, так и пониженными. В силу этих причин, более информативным может быть изменение уровней циркулирующих цитокинов после тяжелой тренировки, соревновательного боя, матча, а также после тренировочного микроцикла. Также следует принимать во внимание то, что абсолютные уровни биомаркеров в состоянии покоя могут быть нормальными, в то время как аномальной может быть реакция на стресс.

Таким образом, время измерения и средний уровень активности человека в течение нескольких дней имеют существенное значение для интерпретации данных и важны для выявления обычных колебаний значений биомаркеров для данного человека в ответ на физические упражнения, а также в процессе восстановления в течение нескольких часов, дней или недель.

На вопрос «Когда и как часто следует измерять уровень конкретных биомаркеров?» единого, универсального для всех спортсменов и условий ответа не существует, однако можно рекомендовать принимать во внимание четыре основных фактора для определения частоты и времени тестирования биомаркеров.

Первая рекомендация – тестировать в начале и в конце ключевых переходов между тренировочными этапами, например, до и в конце предсезонной подготовки.

Во-вторых, рекомендуется проводить тестирование биомаркеров после относительно схожих серий нагрузок. Тестирование можно проводить до

и после тренировки, во время особенно сложного тренировочного микроцикла, нагрузочного теста, восстановления после травмы, а также после внесения изменений в тренировочный процесс. Данный тип тестирования позволит выявить любые аномальные реакции биомаркеров на острый стресс, что особенно информативно, когда значения биомаркеров в состоянии покоя не указывают на наличие каких-либо отклонений от нормы.

Третья рекомендация – проводить тестирование до и несколько раз после важных соревнований, а также в процессе восстановления после травм, поскольку только многократное тестирование биомаркеров позволяет определить, произошло ли восстановление на биохимически измеримом уровне. Это подчеркивает потенциал биомаркерного тестирования для точного выявления потенциальных проблем со здоровьем или восстановлением, в особенности, когда спортсмен «чувствует» себя полностью восстановленным и готовым к новым стартам, в то время как на тканевом и клеточном уровне восстановления не произошло.

Наконец, четвертая рекомендация – установить стандарты и базовые значения для каждого человека и учитывать вариабельность большинства биомаркеров, что реализуется посредством тестирования в межсезонье, когда занимающийся в хорошей форме здоров и полностью восстановлен.

Графики тестирования биомаркеров должны быть гибкими с тем, чтобы учитывать субъективные факторы (ощущения усталости, снижение работоспособности, травмы). Точная и надежная оценка функционального состояния спортсменов требует комплексного, интегративного и динамического подхода к анализу биомаркеров. Упрощенный подход к использованию молекулярной биологии и биохимии не допустим, если речь идет о максимизации эффекта от тестирования биомаркеров для диагностики и принятия качественных решений.

В данном обзоре сделана попытка представить системный и целостный подход к спортивному мониторингу на основе использования биомаркеров, которые позволяют оценить качество питания, метаболическое здоровье, уровень гидратации, состояние мышечного аппарата, выносливость, состояние травм и патологий и риск их получения, наличие и уровень воспаления и иные важные параметры.

Биомаркеры питания и метаболического здоровья

Процесс восстановления после нагрузок существенно интенсифицируется за счет оптимизации питания, и напротив, при некачественном нутритивном статусе, функциональная работоспособность снижается, что на фоне высокой распространенности расстройств пищевого поведения у спортсменов не может не вызывать беспокойство.

У спортсменов часто встречается специфический дефицит питательных веществ, особенно витамина D и железа, уровень дефицита которых, по данным исследований, составляет 73 % у мужчин и 22–31 % у спортсменов-женщин [14, 16]. Несколько менее распространен дефицит таких питательных

веществ, как фолиевая кислота, витамин B_{12} и магний, также приводящих к снижению двигательных возможностей.

Индивидуальные потребности в питании во многом зависят от биоэнергетических потребностей, специфичных для вида спорта и характера тренировочных нагрузок, а также от метаболической толерантности, потребностей и предпочтений самого спортсмена. Регулярный мониторинг потребления макро- и микроэлементов может помочь выявить индивидуальные дефициты и отслеживать изменения необходимых параметров, особенно по мере роста объема тренировок и потребностей в питании. Оценка нутритивного статуса с помощью объективного тестирования биомаркеров устраняет предвзятость, связанную с более традиционными и субъективными оценками (например, воспоминаниями, опросниками и др.).

Метаболизм макронутриентов

В организме человека в качестве основного источника энергии выступает глюкоза. В отличие от белков и жиров (например, кетонов), которые организм использует в качестве источников энергии в специфичных условиях, глюкоза является единственным энергетическим субстратом, который функционирует исключительно для обеспечения клеток энергией. Уровень циркулирующей глюкозы во время тренировки зависит от энергетического статуса, приема пищи, интенсивности нагрузки и уровня запасов гликогена. Снижение доступности гликогена обычно связано с утомлением. Было показано, что в условиях, приводящих к истощению глюкозы, потребление углеводов до или во время длительных нагрузок способствует восполнению запасов гликогена, поддержанию необходимого уровня сахара в крови и повышению работоспособности, особенно при интенсивной работе [70]. Отслеживание и мониторинг уровня глюкозы в крови натощак и в процессе продолжительной работы с помощью биомаркеров может помочь спортсменам контролировать адекватность своего рациона питания. Хотя уровень глюкозы в крови натощак напрямую не связан со спортивной производительностью, у спортсменов, как правило, наблюдается более низкий уровень глюкозы в крови натощак, причем уровень падения коррелирован с интенсивностью режима тренировок [34]. Кроме того, физические упражнения могут снизить уязвимость спортсменов к гипогликемии из-за изменения метаболизма субстратов. Однако перетренированность может обратить вспять эту адаптацию, делая их более уязвимыми к гипогликемии в состоянии перетренированности. Питание, адекватное для данного объема тренировок, может снизить риск гипогликемии, вызванной физической нагрузкой.

Жиры используются в качестве основного источника энергии в соревнованиях на выносливость, а также в иных условиях, когда доступность углеводов снижается. При этом жирные кислоты со средней длиной цепи предпочтительны для окисления, поскольку они быстрее попадают в кровоток и в первую очередь усваиваются печенью. Утилизация жиров во время физических упражнений влияет на липидный профиль за счет снижения уровня общего холестерина и триглицеридов в состоянии покоя [26], тем самым улучшая профиль

состояния сердечно-сосудистой системы. Помимо обеспечения энергией, некоторые виды жиров играют важную роль в восстановлении. Омега-3 жирные кислоты – эйкозапентаеновая и докозагексаеновая кислота уменьшают воспаление, болезненность мышц и восприятие боли от физических упражнений. Более того, Омега-3 могут влиять на работоспособность посредством воздействия на нервно-мышечную функцию, скорость нервной проводимости и нервно-мышечную чувствительность рецепторов ацетилхолина [64]. В целом Омега-3 жирные кислоты способствуют повышению объема тренировок и адаптации к физическим упражнениям [30]. Уровни омега-жирных кислот, измеренные в крови, отражают их клиническую роль в значительно большей степени, чем их потребление с пищей. Тем не менее, рекомендуемая суточная доза Омега-3 жирных кислот составляет не менее 3 грамм/сутки для людей с умеренной физической активностью, однако для спортсменов рекомендуемая суточная норма может достигать 6–8 граммов, при соотношении эйкозапентаеновой и докозагексаеновой кислот 2 к 1. Более высокие нагрузки могут дополнительно повысить потребность в Омега-3.

Белки служат строительными блоками гормонов и ферментов, используемых во всех клетках и тканях организма, включая мышцы. Как правило, спортсменам рекомендуется потребление белка в объеме 1,3–2,0 грамма на кг массы тела в день для поддержки синтеза мышечного белка, облегчения адаптации к тренировкам и предотвращения потери мышечной массы. Дисбаланс между потреблением белка с пищей и потребностями в белке может привести к чистой потере белка. При дефиците протеина распад тканевых белков становится источником незаменимых аминокислот, необходимых для поддержания важнейших функций организма. Хотя общепризнано, что спортсменам требуется более высокое потребление белка, чем рекомендованная суточная норма, определение индивидуальных потребностей является сложной задачей. Комбинация биомаркеров, включая общий белок, альбумин, глобулин, азот мочевины (в крови и в моче), баланс азота и аминокислотный анализ, может помочь спортсменам оценить уровень их активности, протеиновый статус и внести изменения в рацион для повышения эффективности тренировочного процесса. Дефицит белка снижает его уровень в крови, особенно альбумина, а низкое потребление белка, по-видимому, снижает скорость синтеза альбумина [28]. Альбумин может также служить маркером иных аспектов здоровья и работоспособности спортсменов, однако этот маркер требует контекстуализации. Необходимость контекстуализации является общей чертой многих биомаркеров при комплексном панельном подходе к их мониторингу. Контекстуализация уровня альбумина, традиционно определяемого для малоподвижных групп населения или людей, не занимающихся спортом, для спортсменов важна в целях интерпретации последствий его снижения или повышения в плазме крови. Кроме того, необходимо принимать во внимание то, что такие показатели, как альбумин, могут быть связаны со спортивной производительностью и восстановлением через нетрадиционные функции, включая передачу биологических сигналов. Например, известно, что альбумин

тесно связан с концентрацией гормона роста в крови [51], и, хотя механизм связи этих двух маркеров неизвестен, результаты такого рода позволяют предположить, что альбумин может потребовать дополнительной интерпретации при мониторинге. Аналогичным образом, хотя азот мочевины (в крови или в моче) является непосредственным продуктом деградации белка и сигнализирует о его распаде, повышение азота может быть связано с различными факторами, такими как потребление белка, эндогенный катаболизм белка, лихорадка, инфекция, глюкокортикоиды, состояние гидратации, синтез мочевины в печени и экскреция мочевины почками. Понижение азота мочевины может быть связано с низким потреблением белка, недостаточным питанием, а также нарушением метаболической активности в печени. Повышенное содержание азота мочевины может быть связано с изнурительными физическими упражнениями, катаболизмом [26], а также высоким потреблением белка с пищей [77]. Поскольку поддержание положительного белкового баланса необходимо для обеспечения оптимального восстановления и адаптации к нагрузкам, статус белка следует оптимизировать, чтобы избегать недостаточности питания и чрезмерного катаболизма белковых соединений. При отсутствии патологий низкий уровень белка в крови, низкий уровень альбумина и повышенный азот мочевины могут указывать на недостаточное потребление белка у спортсменов. В обстоятельствах, когда потребление белка представляется достаточным для предполагаемых потребностей спортсмена, альбумин и азот мочевины могут указывать на иные проблемы.

Многие спортсмены придерживаются нетрадиционных диет, таких как низкоуглеводные или кетогенные. Показано, что спортсмены способны поддерживать работоспособность на диетах, содержащих всего лишь 7 % углеводов, без выраженных эффектов глюконеогенеза [76], но с резким воздействием на окисление жиров, поддерживая использование и восполнение запасов мышечного гликогена аналогично тому, как это происходит у спортсменов на традиционных диетах с высоким содержанием углеводов [72]. Как и в случае с иными биомаркерами, рекомендуется динамически контекстуализировать пищевые биомаркеры с привычным рационом питания каждого человека. Другими словами, абсолютные значения определенных биомаркеров могут не влиять на конкретного спортсмена, но изменения во время тренировок, которые совпадают со снижением способности к восстановлению и снижением производительности, следует отслеживать на индивидуальной основе. Такой подход к мониторингу биомаркеров позволит тренерам более эффективно контролировать группы спортсменов, у которых сильно различаются диеты и иные модели поведения, влияющие на работоспособность.

Метаболизм микроэлементов

Разнообразные витамины и минералы поддерживают физиологические процессы, лежащие в основе спортивной работоспособности. Например, витамин D, помимо участия в поддержании метаболизма костей, играет важную роль в работе мышц и синтезе белка. Многие спортсмены контролируют

уровень витамина D с целью достижения уровня более 50 нг/мл по причине его многочисленных потенциальных эргогенных эффектов [15, 29].

Витамины группы В (тиамин, рибофлавин, ниацин, пиридоксин, фолат, биотин, пантотеновая кислота и холин) также играют важную роль в работоспособности, регулируя энергетический обмен путем модуляции синтеза и распада углеводов, жиров, белков и биологически активных соединений. Другие витамины также играют важную вспомогательную роль в процессах восстановления, например, витамин Е действует как антиоксидант в клеточных мембранах и субклеточных структурах. Дефицит витамина Е может быть связан с неврологическими повреждениями и гемолизом эритроцитов, а также с деградацией мышц [36]. Аналогичным образом, как антиоксидант действует и бета-каротин – предшественник витамина А, снижая степень повреждения мышц и ускоряя их восстановление после нагрузки [31]. Низкий уровень кальция, железа, витаминов группы В и витамина D связан с повышенным риском травм, особенно стрессовых переломов нижних конечностей [37].

Минералы, такие как магний и железо, существенно влияют на физическую работоспособность, в частности, магний важен для энергетического обмена, а также для нормального функционирования нервно-мышечной системы [36]. Дефицит магния приводит к мышечной слабости, спазмам и изменению реакции КФК и лактата на физическую нагрузку [24]. Железо, фолиевая кислота и витамин B_{12} (цианокобаламин) необходимы для синтеза гемоглобина и обеспечения кислородтранспортной функции. Дефицит цианокобаламина может привести к усталости, анемии, когнитивным нарушениям и иммунодефициту [36, 37]. Дефицит железа широко распространен у спортсменов – представителей различных видов спорта, причем в некоторых видах его распространенность достигает 31 % [53]. Помимо снижения концентрации железа, при оценке дефицита железа полезны и другие биомаркеры, включая ферритин (концентрация менее 12 мг/л) и трансферрин (насыщение менее 16 %). Более того, показатели эритроцитов могут служить ранними признаками дефицита питательных веществ, например, показатели гематокрита, гемоглобина и эритроцитов могут указывать на дефицит железа, витамина B_{12} или фолиевой кислоты [36]. Другие микроэлементы, включая цинк и хром, также играют важную роль в обеспечении спортивной работоспособности.

Цинк необходим для различных биологических процессов, включая синтез белка, клеточную функцию, усвоение глюкозы, метаболизм гормонов, иммунитет и заживление ран. У спортсменов, занимающихся видами спорта с преимущественным проявлением выносливости, часто наблюдается пониженный уровень цинка (22–25 %) [69].

Хром является незаменимым минералом, который широко участвует в регуляции метаболизма глюкозы, липидов и белков, усиливая действие инсулина на клеточном уровне. Спортсмены выделяют большее количество хрома [2], что может привести к необходимости повышения его потребления с пищей.

Таким образом, мониторинг уровня микроэлементов может помочь спортсменам своевременно выявить их дефицит и при необходимости

повысить потребление тех или иных минералов и витаминов на раннем этапе, не допуская потенциального негативного влияния дефицита на спортивную производительность.

Пищевая аллергия

Важным аспектом нутритивного и метаболического статуса является индивидуальная реакция спортсмена на определенные продукты питания. Биомаркеры сенсибилизации к пищевым аллергенам на основе крови сегодня хорошо изучены и доступны для тестирования. Патологические реакции, такие как пищевая аллергия или непереносимость, могут быть результатом механизмов, опосредованных иммуноглобулином Е (IgE), при которых он вырабатывается в ответ на прием определенных пищевых компонентов у людей с наличием соответствующей пищевой аллергии [17]. Иммуноглобулин Е запускает иммунные реакции в течение нескольких минут или часов после употребления пищи путем дегрануляции тучных клеток, что приводит к высвобождению вазоактивных и провоспалительных медиаторов.

У взрослых наиболее распространена аллергия на следующие продукты: арахис, древесные орехи (грецкие, фундук, кешью, фисташки, бразильский орех, кедровый орех, миндаль), рыба, моллюски (креветки, крабы, омары, устрицы, морские гребешки), фрукты, овощи, семена (хлопок, кунжут, псиллиум, горчица), а также молоко, яйца и специи [17]. Реакции варьируются от ухудшения состояния кожи, слизистой носа, глаз, легких и желудочно-кишечного тракта до тяжелых сердечно-сосудистых состояний. Симптомы могут проявляться как отек и зуд губ, языка или неба, боль и спазмы в животе, тошнота, рвота, диарея, проблемы с дыханием и астма.

Несмотря на то, что существует множество методов оценки пищевой аллергии, контроль на основе IgE рассматривается как достаточно информативный. Анализы крови на основе иммуноглобулина Е измеряют IgE, направленный против конкретных антигенов, уровень которого может предсказать реакцию на определенные продукты с достоверностью более 95 %. Уровни специфических IgE выше 0,35 kU/l означают наличие сенсибилизации [57]. Точная идентификация продуктов-возбудителей важна для разработки эффективных планов лечения спортсменов, особенно когда фармацевтические вмешательства подпадают под действие правил ВАДА. Тестирование на пищевые аллергены желательно проводить в состоянии полного восстановления в рамках предсезонных медосмотров. Выявление потенциальных пищевых аллергенов особенно важно у спортсменов из-за риска возникновения анафилактического шока, вызванного значительной физической нагрузкой в сочетании с приемом пищевого агента-аллергена [39]. Возможной причиной подобного острого состояния является изменение характера всасывания пищи из желудочно-кишечного тракта, а также изменения уровня IgE, возникающего в результате физических упражнений, или гиперосмолярных состояний [45]. Хотя прямое воздействие IgE-опосредованных ответов на толерантность к физической нагрузке и работоспособность еще предстоит изучить, такие симптомы, как анафилаксия, эозинофильное воспаление, гиперреактивность бронхов,

крапивница-ангиодистрофия, дерматит, ринит или астма, а также желудочно-кишечные расстройства (синдром оральной аллергии, колики, тошнота, рвота, диарея, боль в животе) существенно снижают переносимость физической нагрузки, а зачастую, вовсе исключают последнюю.

Биомаркеры водно-солевого баланса

Вода, подвергающаяся непрерывной рециркуляции, действующая как растворитель, регулирующая объем клеток, играющая решающую роль в терморегуляции и иных функциях, является наиболее важным компонентом живых организмов. Водный баланс, в основном, регулируется за счет поведенческих реакций (жажда), а также антидиуретического гормона, известного также как вазопрессин, за счет его действия на почки. Резкое снижение массы тела использовалось в качестве «золотого стандарта» для оценки степени обезвоживания, поскольку оно главным образом отражает снижение общего количества воды в организме, а не энергетических субстратов (например, жиров и белков). В этом случае предполагается, что как кожные (потение), так и почечные (мочеиспускание) потери воды имеют удельный вес равный единице, что приводит к изменению массы тела на 1 грамм на каждый миллилитр выделяемого пота и мочи. Этот метод является точным при отсутствии дефекации или потребления пищи, а также при условии, что вес тела измеряется перед тренировкой в эугидратированном состоянии. Гипогидратированное состояние, превышающее 2 % массы тела, связано со снижением двигательных и когнитивных функций, настроения, а также с ростом риска тепловых патологий, вызванных физической нагрузкой, или теплового удара при физической нагрузке у лиц, занимающихся в жарких и влажных условиях внешней среды [55]. Во время тренировок, особенно в жарких условиях, большинство людей склонны потреблять меньшее количество жидкости по сравнению с потерями последней с потом, что приводит к дефициту воды в организме, вызывая феномен «непроизвольного обезвоживания». Поскольку пот гипотоничен, обезвоживание, вызванное физической нагрузкой, главным образом, приводит к уменьшению объема межклеточной жидкости. Это состояние описывается как гипертоническая гиповолемия вследствие потери воды из плазмы. Таким образом, биомаркеры гемоконцентрации крови широко используются в качестве показателей обезвоживания.

Маркеры крови

Для оценки гидратации используется как осмоляльность крови, так и уровень натрия, поскольку оба значения линейно возрастают с уровнем обезвоживания. Многие считают осмоляльность крови «золотым стандартом» оценки состояния гидратации, особенно при острых и динамических изменениях состояния гидратации [4]. Даже небольшая степень обезвоживания (например, 1 % массы тела) может существенно повысить осмоляльность плазмы. Большинство исследований показывают, что порог обезвоживания для осмоляльности плазмы крови составляет 295 ммоль/кг [55, 4]. Кроме того, поскольку обезвоживание оказывает негативное влияние на функцию почек,

то в качестве надежного индикатора состояния гидратации используют соотношение азота мочевины и креатинина с рекомендуемым порогом обезвоживания, равным 20 [22]. Временные параметры контроля биомаркеров гидратации крови зависят от цели. Состояние гидратации перед тренировкой или соревнованием следует контролировать для диагностики возможной гипогидратации, в этом случае результат будет определять рекомендации по потреблению жидкости для оптимизации спортивной производительности. Состояние гидратации после тренировки важно для выработки рекомендаций по потреблению жидкости в целях содействия оптимальному восстановлению. Отслеживание состояния гидратации в течение нескольких дней позволяет выяснить, обеспечивает ли потребление жидкости и пищи достаточную гидратацию для поддержания гидратированного состояния в критические моменты тренировок, а также до и после соревнований.

Маркеры мочи

Вызванное гемоконцентрацией повышение осмоляльности плазмы и уменьшение объема плазмы стимулируют секрецию аргинин-вазопрессина (AVP) путем стимуляции осмотических рецепторов и разгрузки барорецепторов. Несмотря на то, что AVP можно использовать в качестве маркера обезвоживания, его анализ является достаточно трудоемким и дорогим. Хотя эта молекула, состоящая из 8 аминокислот, весьма чувствительна, она имеет тенденцию быстро разлагаться, что затрудняет ее измерение. AVP оказывает сильное влияние на почечную систему, повышая реабсорбцию воды в канальцах нефронов. В результате объем мочи становится меньше, но при этом более концентрированным. По этой причине маркеры мочи также широко используются в качестве показателя гидратации. Удельный вес мочи (USG) и осмоляльность мочи (UOsm) чувствительны к изменениям состояния гидратации. Рекомендованные пороговые значения обезвоживания – 1,02 для USG и 700 ммоль/кг для UOsm соответственно [55, 13]. Основываясь на связи между обезвоживанием и концентрацией мочи, было показано, что действенным практическим маркером оценки гидратации является цвет мочи [3]. На основе 8-балльной шкалы цвета мочи порогом обезвоживания является цвет 4, где 1 – самый светлый цвет, а 8 – самый темный. Цвет мочи 5 или выше надежно связан с обезвоживанием [38].

Жажда

Жажду также рассматривают в качестве перцептивного маркера обезвоживания. Жажда и AVP аналогичным образом стимулируются уменьшением объема плазмы и увеличением ее осмоляльности. Однако оба параметра более чувствительны к небольшой осмотической стимуляции, чем к активации барорецепторов. Интересно то, что осмотический порог активации жажды значительно выше, чем порог секреции AVP [50]. Небольшой рост осмоляльности плазмы, вызванный обезвоживанием, быстро приводит к росту AVP и повышает маркеры обезвоживания в моче, даже при отсутствии субъективного ощущения жажды. Поскольку жажда стимулируется значительным обезвоживанием,

занимающийся может быть уже обезвожен к тому моменту, когда он почувствует жажду. Данный феномен объясняет, почему как спортсмены-любители, так и профессионалы зачастую начинают тренировку или соревнования с неоптимальным уровнем гидратации, на что указывают повышенные показатели гидратации мочи [50]. На основе изложенных данных можно рекомендовать незамедлительно реагировать на ощущение жажды, однако в качестве приоритетных и точных использовать биомаркеры крови и мочи.

Иные показатели гидратации

Исследователями в качестве возможных биологических образцов для измерения состояния гидратации рассматриваются не только кровь и моча, но и иные биомаркеры, включая слюну, пот и даже слезы. Осмоляльность слюны и скорость слюноотделения оказались многообещающими в качестве маркеров гидратации [73], однако другие исследования вызывают сомнения в полезности осмоляльности слюны в качестве биомаркера, за исключением строго контролируемых условий во время физической активности или в особых клинических группах [22, 26]. Аналогичным образом осмоляльность пота, уровень электролитов и другие переменные, а также осмоляльность слез перспективны в качестве потенциальных биомаркеров, но исследования по данным аспектам в настоящий момент ограничены. Несмотря на то, что данные биомаркеры в настоящее время не могут служить надежными параметрами состояния гидратации, тем не менее они могут быть включены в комплексную панель измерений в качестве потенциально перспективных данных.

Биомаркеры состояния мышц

Качество скелетных мышц, их объем, структура, состав, метаболическая емкость и сократительные показатели являются важными факторами здоровья и достижения высоких спортивных результатов. Сила, мощность, утомляемость и выносливость у спортсменов напрямую зависят от состояния мышц, процессов их утомления и восстановления. Недовосстановление мышц после повреждения, вызванного нагрузкой, снижает работоспособность из-за общего чувства тяжести, снижения толерантности к физическим нагрузкам, снижения максимальной силы и скоростно-силовых показателей. Оценка состояния мышц по биомаркерам крови может основываться на следующих факторах: эндокринная регуляция восстановления и адаптации мышц, метаболический гомеостаз (анаболически-катаболический баланс, дефицит белков и аминокислот, доступность субстратов), повреждение мышц и изменение мышечной возбудимости.

Существуют хорошо проверенные маркеры, связанные с утомляемостью, восстановлением, синтезом белка, а также стратегиями восполнения энергии, которые являются наиболее актуальными для спортсменов. Поскольку концентрация гормонов и аминокислот имеют существенные межиндивидуальные различия, данные типы биомаркеров целесообразнее всего оценивать путем анализа их прогрессивного повышения и снижения от исходного уровня для каждого индивида. Такого рода мера требует мониторинга биомаркеров

в различные моменты времени на протяжении тренировочных, межсезонных и соревновательных циклов. Чтобы отслеживать хронические изменения показателей в течение сезона, спортсмены могут проходить тестирование каждые 4–6 недель в аналогичных условиях (т. е. натощак, утром, перед тренировкой, на следующий день после дня отдыха или аналогичного тренировочного дня).

Эндокринная реакция

Корректная гормональная передача сигналов необходима для физиологической адаптации к нагрузкам. В зависимости от величины и характера тренировочного стимула, определяемого такими переменными, как интенсивность нагрузки, ее объем, продолжительность, направленность, интервалы отдыха и их характер, гормоны вызывают определенные тренировочные адаптации.

Тестостерон, кортизол, дегидроэпиандростерон (DHEA), гормон роста (GH), инсулиноподобный фактор роста 1 (IGF-1), глобулин, связывающий половые гормоны (SHBG), а также лютеинизирующий гормон (LH) входят в число ключевых, имеющих доказанное существенное значение для спортсменов. Тестостерон необходим для стимулирования синтеза белка, производства эритроцитов и пополнения гликогена, а также для снижения катаболических эффектов и распада белка. Снижение уровня тестостерона, сопровождающееся снижением общей работоспособности, силы и скоростно-силовых качеств, наблюдаемое во время тренировочного сезона, может указывать на то, что объем тренировок превышает допустимые нормы. В этом случае спортсмену можно рекомендовать временно снизить объем и интенсивность тренировочных нагрузок. Кортизол действует антагонистически по отношению к тестостерону, ингибируя синтез белка, препятствуя связыванию тестостерона с его андрогенным рецептором и блокируя анаболическую передачу сигналов посредством тестостерон-независимых механизмов. При хроническом повышении кортизол оказывает катаболическое и иммунодепрессивное действие, что приводит к состоянию, которое затрудняет поддержание и рост мышечной массы, а также препятствует полноценному восстановлению после тренировочных нагрузок.

Помимо раздельного мониторинга тестостерона и кортизола, мониторинг их относительных уровней (соотношения Т/К) во время тренировочного сезона может дать ценную информацию об анаболически-катаболическом балансе, особенно у спортсменов мужского пола [68]. Соотношение Т/К считается более чувствительным к тренировочному стрессу, чем любой из показателей данных гормонов в отдельности. Длительное снижение соотношения Т/К связано с ухудшением работоспособности из-за усиления протеолиза – распада мышечного белка и снижения его синтеза. Снижение Т/К на 30 % считается показателем недостаточного восстановления, тогда как значение $0{,}35\times10^{-3}$ рассматривается в качестве порога перетренированности [71]. Поскольку другие гормоны (SHBG или DHEA-C) смягчают физиологическую адаптацию к тренировкам, особенно у спортсменок, их мониторинг,

в отношении кортизола может дать дополнительную информацию об анаболическом и катаболическом балансе как у спортсменов мужского, так и женского пола.

Дегидроэпиандростерон является гормоном-предшественником эстрогена и тестостерона. Сообщается, что помимо влияния на состав тела у спортсменов, изменения уровня DHEA по отношению к кортизолу являются полезным маркером предрасположенности к перетренированности у спортсменов женского пола [21]. SHBG также является полезным индикатором состояния тренированности и спортивной производительности в отношении силы и скоростно-силовых качеств [19]. SHBG переносит в организм такие гормоны, как тестостерон, и его уровень растет в ответ на физические нагрузки как у спортсменов мужского, так и женского пола. Считается, что повышенный уровень SHBG защищает половые гормоны от разрушения, сохраняя биологически активные свободные половые гормоны, находящиеся в системе кровообращения. Повышение SHBG и снижение уровня тестостерона могут указывать на недостаточное восстановление, при этом локальный низкий уровень SHBG может просто отражать особенности диеты с высоким содержанием жиров и белков, которые, как правило, связаны с низким уровнем SHBG и высоким уровнем половых гормонов [1] и могут рассматриваться как признаки неоптимальной адаптации к нагрузкам.

Другие ключевые гормоны дают ценную информацию об адаптации к тренировочным воздействиям. К ним относятся GH, IGF-1 и LH. Гормон роста стимулирует анаболизм, способствуя синтезу мышечного белка и подавляя его распад, при этом концентрация гормона роста коррелирует с объемом и интенсивностью упражнений. Гормон роста приводит к повышению уровня циркулирующего IGF-I, при этом оба гормона участвуют в регуляции мышечной массы, что делает совместное рассмотрение IGF-1 и GH потенциально полезным биомаркером. Лютеинизирующий гормон, связанный с репродуктивной функцией у мужчин и женщин, также является качественным предиктором переутомления и дефицита энергии.

Аминокислоты

Спортсменам для максимизации синтеза мышечного белка требуется большее ежедневное потребление белка (в диапазоне 1,3–1,8 г/кг/сутки) по сравнению с населением в целом. Как уже указывалось выше, маркеры азотистого баланса (например, азот мочевины) важны для оценки нутритивного статуса спортсмена, но ряд специфических аминокислот может дать информацию о синтезе белка, качестве питания и утомляемости. Например, аминокислоты с разветвленной цепью, включая лейцин, изолейцин и валин (BCAA) повышают скорость синтеза и деградации белка в покоящихся мышцах человека после нагрузки [8]. Уровни аминокислот с разветвленной цепью дают ценную информацию о том, оказывает ли добавка BCAA непосредственное влияние на передачу сигналов синтеза белка скелетных мышц. С учетом некоторых особенностей измерения, BCAA также может указать, влияют ли диета, стресс или болезненные состояния на состояние скелетных мышц.

Дополнительно можно выделить еще несколько аминокислот, которые могут указывать на состояние мышц, основываясь на их уникальной биологической роли. Аминокислота таурин не включена в собственно мышечный белок, но присутствует в мышечной ткани в большом количестве и необходима для дифференцировки и роста скелетных мышц, поэтому дефицит таурина может ухудшить развитие, структуризацию и работу мышц [62], при этом повышенный уровень таурина интерпретируют как маркер повреждения или нарушения функции мышц, по причине его высвобождения из мышечных волокон [75]. Аминокислота, глицин, участвует в биосинтезе гема, креатина, нуклеиновых кислот и мочевой кислоты, дефицит которых может влиять на различные факторы метаболизма [74]. Другие аминокислотные паттерны (например, повышенный уровень триптофана, пониженный уровень глютамина) связаны с утомляемостью и неоптимальной реакцией на тренировочные воздействия [59]. При том, что отдельные аминокислоты изменяются в ответ на интенсивную физическую нагрузку [52], мониторинг аминокислот в состоянии покоя в течение сезона в рамках комплексной панели в стандартных условиях (т. е. натощак, утром, перед тренировкой, на следующий день после дня отдыха или в аналогичных условиях) может дать представление о динамике тренированности и утомляемости спортсмена [18].

Маркеры восстановления (азот мочевины и креатинкиназа)

После упражнений, повреждающих мышцы, фермент креатинкиназа попадает из мышц в кровоток. Для спортсменов типично повышение уровня креатинкиназы во время и после нагрузки, при этом референтные диапазоны 82–1083 Ед/л у мужчин и 47–513 Ед/л у женщин считаются спортивной нормой [39]. Мониторинг уровня креатинкиназы во время тренировки по сравнению с исходным может помочь спортсменам контролировать состояние мышц, не допуская их избыточного повреждения. Уровни креатинкиназы достигают максимума примерно через 24 часа после травмирующих упражнений, таких как тяжелая силовая тренировка, но могут оставаться на повышенном уровне в течение 7 дней и более после тяжелых нагрузок. Хронически повышенный уровень креатинкиназы может указывать на недостаточное восстановление. Поскольку иные компоненты мышц, такие как миоглобин, могут попадать в кровоток во время повреждения мышц (пик через 1–3 часа после тренировки), а азот мочевины может указывать на общий синтез белка по сравнению с его распадом, использование всех трех маркеров для определения состояния мышц спортсмена во время тренировок и восстановления представляется наиболее информативным.

Биомаркеры общей выносливости

Железо является наиболее важным минералом, обеспечивающим кислородтранспортную функцию и окислительное фосфорилирование, которые являются фундаментальными физиологическими процессами, необходимыми для аэробного метаболизма и выносливости.

Спортсмены, занимающиеся видами спорта с преимущественным проявлением выносливости, в особенности женщины [58], подвержены дефициту железа из-за одного или комбинации следующих факторов: менструальное кровотечение, неправильное питание, желудочно-кишечное кровотечение, связанное с физической нагрузкой, гематурия, потливость, плохое всасывание железа в кишечнике из-за субклинического воспаления, вызванного физической нагрузкой, разрушение эритроцитов в результате повторных ударов ногами, что приводит к лизису клеток крови в ногах и легкой макроцитарной анемии и внутрисосудистому гемолизу, повышенное внутримышечное давление у пловцов и велосипедистов, а также повышенная механическая нагрузка и высвобождение гепсидина в ответ на субклиническое воспаление, связанное с физической нагрузкой [48, 49, 54].

Другие факторы, влияющие на биомаркеры статуса железа у спортсменов, включают регулярное использование нестероидных противовоспалительных препаратов (НПВП), сдачу крови и хроническое употребление алкоголя. Спортсмены с нарушенным статусом железа могут испытывать снижение производительности из-за неспособности оптимально метаболизировать субстраты в энергию. Дефицит железа также препятствует адаптации к тренировкам на выносливость и высотным тренировкам. Кроме того, дефицит железа с анемией может играть роль в более высокой распространенности инфекций верхних дыхательных путей [7, 41, 27].

Учитывая физиологическую роль железа и его связь с аэробными показателями, здоровьем и адаптацией, спортсменам и тренерам следует рассмотреть возможность отслеживания уровня железа, железосвязывающей способности, насыщения трансферрина и уровня ферритина.

Подходы к определению времени и частоты тестирования уровня железа для отдельных спортсменов могут быть адаптированы на основе влияния изменений в тренировочных программах/циклах или общего состояния здоровья на аэробную выносливость (например, во время инфекции или стрессов, испытываемых во время интенсивной нагрузки). Оценка статуса железа непосредственно перед соревнованием также может быть контекстуально полезна. Частоту тестирования биомаркеров также могут определять практические соображения относительно «стоимости» анализа.

В дополнение к широко используемым биомаркерам можно отслеживать общую железосвязывающую способность (TIBC), насыщение трансферрина и ферритин, а более современные биомаркеры, такие как растворимый рецептор трансферрина и анализ пептида гепсидина, дополнительно повысят качество диагностики. Маркеры статуса железа следует интерпретировать в контексте недавних событий (например, сезона соревнований, интенсивности, частоты и продолжительности последних тренировок, наличия воспаления, изменений в диете). Динамика маркеров статуса железа указывает на ряд его потенциальных воздействий на работоспособность.

Концентрация железа отражает общее содержание железа с референтным диапазоном 0,5–1,75 мг/л, при этом колебания концентрации железа в

различные дни и даже в течение дня могут быть достаточно высоки (10–26 %), поэтому концентрацию железа следует интерпретировать с осторожностью и ее нельзя использовать в качестве единственного показателя [9]. Ферритин сыворотки может быть «ложно» повышен при воспалительном состоянии (например, после тренировки, инфекции), однако маркеры воспаления, такие как С-реактивный белок или альфа-1-кислый гликопротеин, могут помочь в верной интерпретации ферритина при оценке статуса железа [5]. Более стабильным показателем статуса железа является общая железосвязывающая способность сыворотки (TIBC) (референтный диапазон – 2,5–4,25 мг/л), который отражает общее количество сайтов связывания в пептиде трансферрине, транспортирующем железо в крови. Суточная вариация TIBC относительно невелика (8–12 %) и не меняется до истощения запасов железа [5], что снижает вероятность ложного обнаружения состояний истощения по железу. Общая железосвязывающая способность будет повышаться при дефиците железа, поскольку будет доступно больше свободных мест связывания трансферрина. Кроме того, трансферрин не является реагентом острой фазы и не подвержен влиянию заболеваний, а, следовательно, является ценным дополнением к панели биомаркеров для определения статуса железа. Трансферрин – железосодержащий мономерный гликопротеин крови, который транспортирует железо к тканям. Насыщение трансферрина (референтный диапазон – 15–50 %) представляет собой процентное соотношение железа к TIBC, при этом значения ниже 15 % говорят о дефиците железа. Поскольку TIBC достаточно стабилен, изменения концентрации железа также влияют и на насыщение трансферрина. Растворимый рецептор трансферрина отражает дефицит железа на тканевом уровне и считается более чувствительным показателем функционального дефицита железа, оцениваемого по ферритину [79]. В двух исследованиях с добавками железа, посвященных изучению адаптации к аэробным нагрузкам у женщин, улучшения были отмечены только тогда, когда уровень растворимого рецептора трансферрина был повышен перед тренировкой (>0,8 мг/л) по сравнению с теми, у кого был адекватный статус железа (<8 мг/л) [11, 12]. На этот биомаркер, по-видимому, не влияет воспаление, и он имеет низкую индивидуальную вариабельность у спортсменов.

Таким образом, для точного определения наличия и тяжести дефицита железа необходима комбинация, по крайней мере, трансферрина, насыщения трансферрина, TIBC, сывороточного ферритина и гемоглобина. Включение дополнительных клинических параметров, таких как растворимый рецептор трансферрина, среди прочих, может повысить достоверность диагностики статуса железа. Показатели выносливости ухудшаются, когда уровень железа недостаточен для гемоглобина (Hb) и не обеспечивает эффективную транспортировку кислорода к работающим мышцам (сывороточный ферритин <12 мкг/л). Тем не менее, запасы сывороточного ферритина могут быть истощены до того, как гемоглобин снизится до уровня, необходимого для диагностики анемии (32). Функциональный дефицит железа определяется как насыщение ферритина <35 мкг/л, гемоглобина <115 г/л и трансферрина

(молекулы-транспортера железа) <16 % [47]; также могут использоваться более точные данные на основе сывороточного ферритина – 12–20 мкг/л. Дефицит железа у спортсменов, занимающихся развитием аэробной выносливости, без анемии встречается чаще, чем дефицит железа с анемией, тем не менее, крайне важно учитывать многочисленные аспекты метаболизма железа, которые могут повлиять на состояние здоровья спортсмена. Известно, что добавки железа корректируют низкие уровни ферритина, трансферрина и гемоглобина, но в некоторых случаях могут не влиять на показатели выносливости, однако в большинстве исследований подтверждается высокая эффективность отслеживания этих переменных и введения схем приема добавок в контексте повышения выносливости у спортсменов с низким ферритином, как с анемией, так и без нее [47].

Биомаркеры травмы и риска травмы

Несмотря на то, что биомаркеры широко изучались в контексте различных аспектов работоспособности, их использование для определения статуса травмы (риска травмы, тяжести травмы и восстановления после травмы) было весьма ограниченным.

Одной из наиболее серьезных и опасных травм в спорте является сотрясение мозга. Наиболее важной проблемой при сотрясении является обеспечение четкого понимания того, когда травмированные спортсмены восстановились и могут быть допущены к полноценному тренировочному процессу и соревнованиям. Работы в этой области были сосредоточены на изучении биомаркеров спинномозговой жидкости с особым упором на маркеры повреждения аксонов (общее тау, тонкий полипептидный нейрофиламент), уровень которых, как было показано, повышается у боксеров после неоднократных ударов по голове даже без нокаута [22, 78]. Однако из-за инвазивности, сложности и дороговизны люмбальной пункции исследователи начали изучать возможность оценки биомаркеров черепно-мозговой травмы на основе крови.

Двумя биомаркерами крови, представляющими интерес, являются нейронспецифическая енолаза (NSE) и специфический белок астроцитарной глии, способный связывать кальций (S-100), причем большинство исследований сосредоточено на изменениях уровней S-100 с мономером β [63, 43, 46]. Сообщалось, что уровни обоих маркеров в сыворотке повышаются после боксерских поединков, в которых спортсмен получал прямые или повторяющиеся удары по голове [46], при исследовании этих же маркеров у хоккеистов с сотрясением мозга было обнаружено лишь повышение уровня S-100(β) в сыворотке [56]. На основе этих данных можно сделать вывод, что уже выявлены потенциально диагностичные маркеры сотрясения мозга, а также маркеры восстановления, однако до сих пор не выявлено биомаркеров для клинической диагностики или отслеживания сотрясений мозга у спортсменов.

Другая область спортивного здоровья, которой уделяется значительное внимание – стрессовые переломы опорно-двигательного аппарата, особенно у женщин. В исследовании, проведенном среди военных новобранцев,

женщины имели в 10 раз более высокий риск получения стрессового перелома по сравнению с мужчинами, а у спортсменок этот риск был выше на 50 % [6, 20]. Известно, что стрессовые переломы приводят к значительным медицинским расходам, составляют весомую часть времени нетрудоспособности и зачастую приводят к преждевременному завершению спортивной карьеры. Печально знаменитая «триада спортсменок» – заболевание, которое поражает физически активных женщин и характеризуется 3 компонентами: низкая доступность энергии с нарушением питания или без него, аменорея или менструальная дисфункция и низкая минеральная плотность костей [44], при этом последнее особенно тесно связано с риском развития стрессовых переломов. Хотя конкретные биомаркеры не были связаны напрямую с триадой спортсменок, отдельные показатели разрушения костей были связаны с низким качеством костной ткани или ее низкой плотностью. Сообщается, что инсулиноподобный фактор роста (IGF-I) – один из биомаркеров, связанных с качеством костей, значительно ниже у женщин с остеопорозом и плохим качеством костей и положительно связан с низкой минеральной плотностью [42]. Кроме того, снижение концентрации IGF-I было связано с риском переломов у женщин [66]. Лишь в нескольких исследованиях изучалось использование биомаркеров для оценки риска стрессовых переломов, но ни в одном из них не был выявлен единый набор биомаркеров костной ткани, которые можно было бы использовать для прогнозирования стрессовых переломов [65]. Однако в одной работе [65] сообщили, что сывороточный IGF-I был снижен у субъектов, перенесших стрессовый перелом, по сравнению с их непострадавшими коллегами. Результаты этих немногих исследований, а также лучшее понимание триады спортсменок позволят продолжить изучение биомаркеров, которые потенциально могут идентифицировать лиц с высоким риском развития стрессовых переломов.

Одной из наиболее распространенных и опасных спортивных травм является повреждения передней крестообразной связки (ПКС), которые, по данным исследований, приводят к развитию остеоартрита у 50 % пациентов [35]. Хотя исследования как воспалительных биомаркеров, так и маркеров разрушения хряща являются обширными при изучении остеоартритов, лишь немногие работы изучали эти маркеры у пациентов с ПКС после травмы и хирургического вмешательства. В отдельных исследованиях заявляется о высокой связанности данной травмы с женскими половыми гормонами. В 1996 году в клетках крестообразной связки человека были обнаружены рецепторы эстрогена и прогестерона, что позволяет предположить, что женские половые гормоны могут играть определенную роль в развитии данной травмы. Кроме того, несколько исследователей определили, что женские половые гормоны могут влиять на состав и механические свойства передней крестообразной связки [25]. Например, как пролиферация фибробластов, так и скорость синтеза коллагена снижаются при повышении уровня эстрадиола, а введение эстрогена снижает растягивающие свойства крестообразных связок. В некоторых работах отмечается высокий риск данной травмы в 8–14-й день ОМЦ у женщин (поздняя

фолликулярная фаза до овуляции), что можно связать с высокой концентрацией фолликулостимулирующего гормона, однако данные довольно противоречивы [25].

Насколько известно, ни в одном исследовании, к сожалению, не были определены биомаркеры, которые можно было бы напрямую использовать для прогнозирования повреждений передней крестообразной связки. Биомаркерами, представляющими интерес в контексте послеоперационного периода, восстановления являются концентрация в сыворотке продуктов расщепления коллагена типа I и типа II, воспалительные реакции, изменения в IL-6, IL-8, маркерах повреждения тканей (CRP), факторе роста эндотелия сосудов (VEGF), а также и трансформирующем факторе роста b (TGFb). Хотя исследования выявили биомаркеры, которые изменяются при травме и после хирургического вмешательства, на сегодняшний день ни в одной работе не изучалась возможность использования биомаркеров для выявления лиц с повышенным риском травм ПКС. Таким образом, необходимы дальнейшие исследования, прежде чем биомаркеры можно будет использовать в качестве стандартного подхода к оценке травм. Важно отметить, что в контексте данных иных биомаркеров, например, состояния мышц, потенциальные маркеры травмы, такие как цитокины или CRP, могут указывать на простое повреждение мышц, вызванное физической нагрузкой, или, что более существенно, на перетренированность. Перекрытие биомаркеров во многих областях диагностики является одной из причин, по которой рекомендуется использовать не отдельные маркеры, а целостные панели, которые помогут определить истинную причину изменений, пересекающихся биомаркеров.

Биомаркеры воспаления

Повреждение мышц является ожидаемой и необходимой частью тренировочного процесса, равно как физиологические и иммунные реакции, которые возникают во время и после повреждения мышечной ткани. Хроническое воспаление, являющееся реакцией на травму, стресс в результате перетренированности можно отследить, оценивая белки и другие молекулы, сигнализирующие о воспалении. Хроническое воспаление также может быть результатом инфекции, аутоиммунного заболевания, сердечно-сосудистых патологий или других серьезных проблем со здоровьем. Во всех случаях хроническое воспаление представляет собой явление положительной обратной связи, которое может повлиять на здоровье и работоспособность человека. Креатинкиназа, например, высвобождается в ответ на повреждение скелетных мышц или повреждение сердечной мышцы во время инфаркта миокарда. Уровень креатинкиназы остается ценным биомаркером повреждения мышц, несмотря на ряд ограничений, включая индивидуальную вариабельность реакции СК на повреждающую физическую нагрузку, потребность в информации об изоформах СК, чтобы определить, вызван ли повышенный уровень СК повреждением сердечной или скелетной мускулатуры и др. Помимо СК, более срочным маркером повреждения является высвобождение миоглобина [61].

Более специфические маркеры, включая тропонин I скелетных мышц, специфические мышечные ферменты и маркеры, указывающие на окислительный стресс-антиоксидантный ответ во время повреждения мышц, также были тщательно изучены и использованы для отслеживания повреждения мышц во время физических упражнений [10]. Одновременное измерение маркеров повреждения мышц при оценке биомаркеров воспаления у спортсмена имеет решающее значение для контекстуализации потенциального источника воспаления и определения последующих действий, необходимых для обеспечения здоровья и достижения оптимальных результатов. Когда маркеры мышечного повреждения высвобождаются в кровообращение, на тканевом уровне резидентные или локально наблюдающиеся наивные Т-лимфоциты мигрируют к месту повреждения ткани и дифференцируются в зрелые провоспалительные макрофаги, которые функционируют для фагоцитоза, очистки дебриса и дегенерации поврежденной ткани. Зрелые активированные макрофаги также выделяют ряд факторов роста, цитокинов и других сигнальных молекул, способствующих воспалительному процессу путем привлечения других клеток, необходимых для регенерации скелетных мышц, дифференцировки и функционирования при восстановлении. По мере прогрессирования воспаления макрофаги преобразуются в противовоспалительные профили и выделяют различные факторы роста, цитокины и оказывают различные эффекты, стимулируя прогрессирование стадий восстановления. Изменения в циркулирующих иммунных клетках по мере перемещения популяций клеток в ткани и из них по сравнению с системным кровообращением можно измерить с помощью общего анализа крови с дифференциальным анализом (CBC/diff). Хотя анализ CBC/diff не может использоваться отдельно для оценки уровня воспаления у спортсмена, это еще один метод, который предоставляет ценную информацию об изменениях в популяциях иммунных клеток, которые могут произойти во время воспаления, вызванного повреждением мышц. Еще одним преимуществом оценки профилей CBC/diff у спортсменов является то, что их можно использовать для диагностики потенциальной инфекции или заболевания, которые также могут вызывать воспаление и рост показателей биомаркеров, которые являются общими, наряду с воспалительными биомаркерами, вызванными повреждением мышц. Дополнительное привлечение моноцитов и других иммунных клеток во время воспаления можно отслеживать с помощью измерения содержания в крови химических веществ, которые привлекают иммунные клетки к определенной области (например, моноцитарного хемоаттрактанта белка-1 или растворимой молекулы внутриклеточной адгезии-1), в то время как активацию других типов иммунных клеток можно отслеживать с помощью клеточных компонентов, таких как лиганд CD40 (CD40L, CD154), которые экспрессируются или высвобождаются в виде растворимых факторов лишь активированными иммунными клетками.

Биомаркеры крови, указывающие на провоспалительную активность макрофагов, включают факторы роста и цитокины, выделяемые макрофагами.

Наиболее стандартными из них являются обобщенные сигнальные молекулы – «цитокины». Цитокины многочисленны и разнообразны по функциям, что затрудняет их использование в качестве прямого показателя воспаления у спортсмена. Тем не менее, оценить воспаление можно по повышению в сравнении с нормальным исходным уровнем цитокинов, классически считающихся провоспалительными, таких как IL-1b, TNF-a, IL-6, IL-10, IL-8 и IL-12p40. К сожалению, не существует рекомендаций относительно порогового значения, выше которого рост маркеров воспаления повсеместно интерпретируется как «повышенное». Поэтому рекомендуется использовать повторное тестирование в спокойном, здоровом исходном состоянии, чтобы установить индивидуальные референтные диапазоны нормальных значений, а также тестировать ключевые моменты изменений в тренировках, состоянии здоровья, работоспособности во время соревнований и периодах тяжелых тренировок, чтобы отделить нормальные колебания в маркерах воспаления от патологических [33]. Этот динамический подход к тестированию биомаркеров требует, чтобы тренеры и спортсмены использовали тестирование биомаркеров для наблюдения за изменениями биомаркеров в здоровом состоянии и документирования резких изменений биомаркеров, которые связаны с тренировочными эффектами. По существу, это означает наличие периода корректировки, в течение которого тестирование биомаркеров калибруется для каждого человека, но этот подход, хотя и является затратным, обеспечивает максимальную надежность и точность измерений, независимую от биологического разнообразия и межиндивидуальных различий которые, как известно, достаточно велики.

Признаками длительного и тяжелого воспаления являются маркеры повреждения тканей, связанные с хроническим воспалением. Один из аспектов длительного или тяжелого воспаления включает передачу сигналов в печени с помощью циркулирующих цитокинов. Во время воспаления ткань печени может стимулироваться, вызывая реакцию острой фазы. Реакция острой фазы и белки-реагенты острой фазы, продуцируемые печенью, запускают системную воспалительную реакцию, которая включает активацию сосудистой ткани, системный иммунный ответ, эндокринную функцию и участие других органов в положительной обратной связи воспаления.

Классические измеряемые белки-реагенты острой фазы включают С-реактивный белок (CRP), сывороточный амилоид А, Е-селектин, фактор фон Виллебранда (эндотелиальная дисфункция), ингибитор активатора плазминогена-1, фибриноген, Р-селектин и воспалительные цитокины [33]. Поскольку повреждение мышц, воспаление и острая фазовая реакция обычно могут возникать во время физических упражнений, очень важно одновременно согласовывать оценку биомаркеров воспаления с иными данными. Например, оценка CBC/diff может указывать на наличие инфекции, которая носит временный характер и не требует внесения долгосрочных изменений в программу тренировок. Продолжительное воспаление следует оценивать с помощью таких маркеров, которые могут указывать на хронические

патологии, которые влекут за собой долгосрочные и существенные изменения в тренировочном процессе. Спортсмена, у которого хронически наблюдаются высокие уровни воспалительных маркеров, следует, в числе прочего, обследовать на наличие хронического стресса, который можно проверить путем физической оценки утомляемости или снижения работоспособности, шкал субъективного восприятия или анализов, измеряющих уровни гормонов стресса, таких как как кортизол [23, 32, 67].

Таким образом, чтобы в поной мере оценить сложные динамические и интегративные факторы влияния диеты, гидратации, тренировочной и соревновательной нагрузки на организм спортсмена, оценка биомаркеров должна включать в себя информативные, разнообразные и хорошо проверенные биомаркеры работоспособности (состояние мышц, транспорт кислорода), здоровья (питательные вещества, состояние гидратации, аллергия), восстановления (воспаление, риск травм, повреждение мышц).

Поскольку многие референтные диапазоны биомаркеров подходят лишь для широких групп населения, а не для спортсменов, лишь повторные индивидуализированные измерения позволят тренеру и врачу установить персонализированные референтные диапазоны. На основе этих индивидуальных «нормализированных» значений, которые могут колебаться изо дня в день, от недели к неделе, спортивный профессионал может отслеживать хронические изменения, которые связаны с риском травмы, перетренированности или снижения работоспособности.

В данном обзоре представлен обзор качественных биомаркеров, которые тренер и спортсмен, определив свои приоритеты и, при консультации со спортивным врачом, адаптировав собственные панели биомаркеров, могут использовать для отслеживания динамики тренировочных и соревновательных воздействий, профилактики травм и обеспечения максимальной результативности, при сохранении здоровья спортсмена. По мере того, как новые биомаркеры тестируются и валидизируются, исследователи будут определять более универсальные и согласованные биомаркеры и методологии их применения, характеризующие различные аспекты здоровья и спортивной производительности.

Источники:

1. Adlercreutz, H. Western diet and Western diseases: Some hormonal and biochemical mechanisms and associations / H. Adlercreutz // Scand J Clin Lab Invest Suppl. – 1990. – Vol. 201. – P. 3–23.

2. Exercise effects on chromium excretion of trained and untrained men consuming a constant diet / R. A. Anderson [et al.] // J Appl Physiol. – 1988. – Vol. 64. – P. 249–252.

3. Urinary indices of hydration status / L. E. Armstrong [et al.] // Int J Sport Nutr. – 1994. – Vol. 4. – P. 265–279.

4. Limitations to the use of plasma osmolality as a hydration biomarker / L. E. Armstrong [et al.] // Am J Clin Nutr. – 2013. – Vol. 98. – P. 503–504.

5. Interpretation of serum ferritin concentrations as indicators of total-body iron stores in survey populations: The role of biomarkers for the acute phase response / J. L. Beard [et al.] // Am J Clin Nutr. – 2006. – Vol. 84. – P. 1498–1505.

6. Stress fracture in military recruits: Gender differences in muscle and bone susceptibility factors / T. J. Beck [et al.] // Bone. – 2000. – Vol. 27. – P. 437–444.

7. Berglund, B. High-altitude training. Aspects of haematological adaptation / B. Berglund // Sports Med. – 1992. – Vol. 14. – P. 289–303.

8. Branchedchain amino acids activate key enzymes in protein synthesis after physical exercise / E. Blomstrand [et al.] // J Nutr. – 2006. – Vol. 136 (1 Suppl). – P. 269–273.

9. Day-to-day variation in iron-status indices in healthy men and women / M. J. Borel [et al.] // Am J Clin Nutr. – 1991. – Vol. 54. – P. 729–735.

10. Biochemical markers of muscular damage / P. Brancaccio [et al.] // Clin Chem Lab Med. – 2010. – Vol. 48. – P. 757–767.

11. Tissue iron deficiency without anemia impairs adaptation in endurance capacity after aerobic training in previously untrained women / T. Brownlie IV [et al.] // Am J Clin Nutr. – 2004. – Vol. 79. – P. 437–443.

12. Marginal iron deficiency without anemia impairs aerobic adaptation among previously untrained women / T. Brownlie IV [et al.] // Am J Clin Nutr. – 2002. – Vol. 75. – P. 734–742.

13. National athletic trainers' association position statement: Fluid replacement for athletes / D. J. Casa [et al.] // J Athl Train. – 2000. – Vol. 35. – P. 212–224.

14. High prevalence of vitamin D insufficiency in athletes and dancers / N. W. Constantini [et al.] // Clin J Sport Med. – 2010. – Vol. 20. – P. 368–371.

15. Plausible ergogenic effects of vitamin D on athletic performance and recovery / D. T. Dahlquist [et al.] // J Int Soc Sports Nutr. – 2015. – Vol. 12. – P. 33.

16. Dubnov, G Prevalence of iron depletion and anemia in top-level basketball players / G. Dubnov, N. W. Constantini // Int J Sport Nutr Exerc Metab. – 2004. – Vol. 14. – P. 30–37.

17. Ebo, D. G. IgE-mediated food allergy – extensive review of the literature / D. G. Ebo, W. J. Stevens // Acta Clin Belg. – 2001. – Vol. 56. – P. 234–247.

18. Einspahr, K. J. Influence of endurance training on plasma amino acid concentrations in humans at rest and after intense exercise / K. J. Einspahr, G. Tharp // Int J Sports Med. – 1989. – Vol. 10. – P. 233–236.

19. Fahrner, C. L. Effects of endurance exercise on free testosterone concentration and the binding affinity of sex hormone binding globulin (SHBG) / C. L. Fahrner, A. C. Hackney // Int J Sports Med. – 1998. – Vol. 19. – P. 12–15.

20. Feingold, D. Female athlete triad and stress fractures / D. Feingold, S. L. Hame // Orthop Clin North Am. – 2006. – Vol. 37. – P. 575–583.

21. Effects of amount of training on the saliva concentrations of cortisol, dehydroepiandrosterone and on the dehydroepiandrosterone: Cortisol concentration ratio in women over 16 weeks of training / E. Filaire [et al.] // Eur J Appl Physiol Occup Physiol. – 1998. – Vol. 78. – P. 466–471.

22. Is this elderly patient dehydrated? Diagnostic accuracy of hydration assessment using physical signs, urine, and saliva markers / M. B. Fortes [et al.] // J Am Med Dir Assoc. – 2015. – Vol. 16. – P. 221–228.

23. Gleeson, M. Biochemical and immunological markers of over-training / M. Gleeson // J Sports Sci Med. – 2002. – Vol. 1. – P. 31–41.

24. On the significance of magnesium in extreme physical stress / S. W. Golf [et al.] // Cardiovasc Drugs Ther. – 1998. – Vol. 12 (Suppl 2). – P. 197–202.

25. Noncontact anterior cruciate ligament injuries: risk factors and prevention strategies / L. Y. Griffin [et al.] // JAAOS-Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons. – 2000. – Vol. 8.3. – P. 141–150.

26. Hong, C. Z. Metabolic effects of exhaustive training of athletes / C. Z. Hong, I. N. Lien // Arch Phys Med Rehabil. – 1984. – Vol. 65. – P. 362–365.

27. Mitochondrial adaptations to chronic muscle use: Effect of iron deficiency / D. A. Hood [et al.] // Comp Biochem Physiol Comp Physiol. – 1992. – Vol. 101. – P. 597–605.

28. James, W. P. Albumin metabolism: Effect of the nutritional state and the dietary protein intake / W. P. James, A. M. Hay // J Clin Invest. – 1968. – Vol. 47. – P. 1958–1972.

29. Jastrezebski, Z. Effect of vitamin D supplementation on the level of physical fitness and blood parameters of rowers during the 8-week high intensity training / Z. Jastrezebski // Facicula Educ Fiz Si Sport. – 2014. – Vol. 2. – P. 57–67.

30. The effect of Omega-3 fatty acid supplementation on the inflammatory response to eccentric strength exercise / K. B. Jouris [et al.] // J Sports Sci Med. – 2011. – Vol. 10. – P. 432–438.

31. Kanter, M. M. Free radicals, exercise, and antioxidant supplementation / M. M. Kanter // Int J Sport Nutr. – 1004. – Vol. 4. – P. 205–220.

32. Kraemer, W. J. Hormonal responses and adaptations to resistance exercise and training / W. J. Kraemer, N. A. Ratamess // Sports Med. – 2005. – Vol. 35. – P. 339–361.

33. Biomarkers in sports and exercise: tracking health, performance, and recovery in athletes / E. C. Lee [et al.] // Journal of strength and conditioning research. – 2017. – Vol. 31.10. – P. 2920.

34. Glycaemic control in athletes / G. Lippi [et al.] // Int J Sports Med. – 2008. – Vol. 29. – P. 7–10.

35. The longterm consequence of anterior cruciate ligament and meniscus injuries: Osteoarthritis / L. S. Lohmander [et al.] // Am J Sports Med. – 2007. – Vol. 35. – P. 1756–1769.

36. Lukaski, H. C. Vitamin and mineral status: Effects on physical performance / H. C. Lukaski // Nutrition. – 2004. – Vol. 20. – P. 632–644.

37. Female athletes: A population at risk of vitamin and mineral deficiencies affecting health and performance / J. P. McClung [et al.] // J Trace Elem Med Biol. – 2014. – Vol. 28. – P. 388–392.

38. Accuracy of urine color to detect equal to or greater than 2 % body mass loss in men / A. L. McKenzie [et al.] // J Athl Train. – 2015. –Vol. 50. – P. 1306–1309.

39. Morita, E. Food-dependent exercise-induced anaphylaxis / E. Morita // J Dermatol Sci. – 2007. – Vol. 47. – P. 109–117.

40. Mougios, V. Reference intervals for serum creatine kinase in athletes / V. Mougios // Br J Sports Med. – 2007. – Vol. 41. – P. 674–678.

41. Iron, copper and immunocompetence / C. Mun˜oz [et al.] // Br J Nutr. – 2007. – Vol. 98 (Suppl. 1). – P. 24–28.

42. The contribution of IGF-I to skeletal integrity in postmenopausal women / M. Munoz-Torres [et al.] // Clin Endocrinol. – 2001. – Vol. (Oxf) 55. – P. 759–766.

43. Serum S-100B protein levels in young amateur soccer players after controlled heading and normal exercise / T. Mussack [et al.] // Eur J Med Res. – 2003. – Vol. 8. – P. 457–464.

44. American College of Sports Medicine. American College of Sports Medicine position stand. The female athlete triad / A. Nattiv [et al.] // Med Sci Sports Exerc. – 2007. – Vol. 39. – P. 1867–1882.

45. CSF-biomarkers in Olympic boxing: Diagnosis and effects of repetitive head trauma / S. Neselius [et al.] // PLoS One. – 2012. – Vol. 7. – P. e33606.

46. Boxing and running lead to a rise in serum levels of S-100B protein / M. Otto [et al.] // Int J Sports Med. – 2000. – Vol. 21. – P. 551–555.

47. Effect of iron injections on aerobic-exercise performance of iron-depleted female athletes / P. Peeling [et al.] // Int J Sport Nutr Exerc Metab. – 2007. – Vol. 17. – P. 221–231.

48. Athletic induced iron deficiency: New insights into the role of inflammation, cytokines and hormones / P. Peeling [et al.] // Eur J Appl Physiol. – 2008. – Vol. 103. – P. 381–391.

49. Training surface and intensity: Inflammation, hemolysis, and hepcidin expression / P. Peeling [et al.] // Med Sci Sports Exerc. – 2009. – Vol. 41. – P. 1138–1145.

50. Osmotic thirst and vasopressin release in humans: A double-blind crossover study / P. A. Phillips [et al.] // Am J Physiol. – 1985. – Vol. 248. – P. 645–650.

51. Studies on growth hormone secretion in protein-calorie malnutrition / B. L. Pimstone [et al.] // Am J Clin Nutr. – 1968. – Vol. 21. – P. 482–487.

52. Changes in plasma amino acid distribution and urine amino acids excretion during prolonged heavy exercise / H. E. Refsum [et al.] // Scand J Clin Lab Invest. – 1979. – Vol. 39. – P. 407–413.

53. Iron deficiency in female athletes: Its prevalence and impact on performance / W. L. Risser [et al.] // Med Sci Sports Exerc. – 1988. – Vol. 20. – P. 116–121.

54. Iron-regulatory protein hepcidin is increased in female athletes after a marathon / L. Roecker [et al.] // Eur J Appl Physiol. – 2005. – Vol. 95. – P. 569–571.

55. Hypohydration and human performance: Impact of environment and physiological mechanisms / M. N. Sawka [et al.] // Sports Med. – 2015. – Vol. 45 (Suppl 1). – P. 51–60.

56. Blood biomarkers for brain injury in concussed professional ice hockey players / P. Shahim [et al.] // JAMA Neurol. – 2014. – Vol. 71. – P. 684–692.

57. Allergy blood testing: A practical guide for clinicians / R. I. Siles [et al.] // Cleve Clin J Med. – 2011. – Vol. 78. – P. 585–592.

58. Sinclair, L. M. Prevalence of iron deficiency with and without anemia in recreationally active men and women / L. M. Sinclair, P. S. Hinton // J Am Diet Assoc. – 2005. – Vol. 105. – P. 975–978.

59. Smith, D. J. Changes in glutamine and glutamate concentrations for tracking training tolerance / D. J. Smith, S. R. Norris // Med Sci Sports Exerc. – 2000. – Vol. 32. – P. 684–689.

60. Smith, L. L. Cytokine hypothesis of overtraining: A physiological adaptation to excessive stress? / L. L. Smith // Med Sci Sports Exerc. – 2000. – Vol. 32. – P. 317–331.

61. Skeletal muscle injury induced by eccentric muscle action: Muscle proteins as markers of muscle fiber injury / S. Sorichter [et al.] // Exerc Immunol Rev. – 1999. – Vol. 5. – P. 5–21.

62. Spriet, L. L. Taurine and skeletal muscle function / L. L. Spriet, J. Whitfield // Curr Opin Clin Nutr Metab Care. – 2015. – Vol. 18. – P. 96–101.

63. Playing soccer increases serum concentrations of the biochemical markers of brain damage S-100B and neuron-specific enolase in elite players: A pilot study / B. M. Stalnacke [et al.] // Brain Inj. – 2004. – Vol. 18. – P. 899–909.

64. Stiefel, P. Sodium transport kinetics, cell membrane lipid composition, neural conduction and metabolic control in type 1 diabetic patients. Changes after a low-dose n-3 fatty acid dietary intervention / P. Stiefel // Ann Nutr Metab. – 1999. – Vol. 43. – P. 113–120.

65. Female recruits sustaining stress fractures during military basic training demonstrate differential concentrations of circulating IGF-I system components: A preliminary study / C. A. Strohbach [et al.] // Growth Horm IGF. – 2012. – Res. 22. – P. 151–157.

66. Serum levels of insulin-like growth factor (IGF) I, IGF-binding protein (IGFBP)-2, and IGFBP-3 in osteoporotic patients with and without spinal fractures / T. Sugimoto [et al.] // J Bone Miner. – 1997. – Res. 12. – P. 1272–1279.

67. Urhausen, A. Diagnosis of overtraining: What tools do we have? / A. Urhausen, W. Kindermann // Sports Med. – 2002. – Vol. 32. – P. 95–102.

68. Urhausen, A. Blood hormones as markers of training stress and overtraining / A. Urhausen [et al.] // Sports Med. – 1995. – Vol. 20. – P. 251–276.

69. Vallee, B. L. The biochemical basis of zinc physiology / B. L. Vallee, K. H. Falchuk // Physiol Rev. – 1993. – Vol. 73. – P. 79–118.

70. Vandenbogaerde, T. J. Effects of acute carbohydrate supplementation on endurance performance: A meta-analysis / T. J. Vandenbogaerde, W. G. Hopkins // Sports Med. – Vol. 41. – P. 773–792.

71. The behaviour of the plasma free testosterone/cortisol ratio during a season of elite rowing training / C. Vervoorn [et al.] // Int J Sports Med. – 1991. – Vol. 12. – P. 257–263.

72. Metabolic characteristics of keto-adapted ultra-endurance runners / J. S. Volek [et al.] // Metabolism. – 2016. – Vol. 65. – P. 100–110.

73. Saliva parameters as potential indices of hydration status during acute dehydration / N. P. Walsh [et al.] // Med Sci Sports Exerc. – 2004. – Vol. 36. – P. 1535–1542.

74. Glycine metabolism in animals and humans: Implications for nutrition and health / W. Wang [et al.] // Amino Acids. – 2013. – Vol. 45. – P. 463–477.

75. Changes in plasma taurine levels after different endurance events / R. J. Ward [et al.] // Amino Acids. – 1999. – Vol. 16. – P. 71–77.

76. Gluconeogenesis during endurance exercise in cyclists habituated to a long-term low carbohydrate high fat diet / C. C. Webster [et al.] // J Physiol. – 2016. – Vol. 594. – P. 4389–4405.

77. Rates of urea production and hydrolysis and leucine oxidation change linearly over widely varying protein intakes in healthy adults / V. R. Young [et al.] // J Nutr. – 2000. – Vol. 130. – P. 761–766.

78. Neurochemical aftermath of amateur boxing / H. Zetterberg [et al.] // Arch Neurol. – 2006. – Vol. 63. – P. 1277–1280.

79. Zoller, H. Iron supplementation in athletes – first do no harm / H. Zoller, W. Vogel // Nutrition. – 2004. – Vol. 20. – P. 615–619.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИННОВАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СПОРТСМЕНОВ В БОЛЬШОМ ТЕННИСЕ

Дарануца Кристина Сергеевна, начальник информационно-аналитического отдела центра координации научно-методической и инновационной деятельности

Современный большой теннис – один из самых популярных видов спорта в мире, предъявляющий высокие требования к уровню физического развития спортсмена. От спортсмена требуются не только хорошие скоростные способности, зрительно-моторная координация, ловкость, но и умение концентрировать внимание и соблюдать психологическое равновесие на протяжении всей игры. Спортсмен воспитывает силу воли, дух соперничества, а также развивает лидерские качества [1–3].

В настоящее время основным аспектом результативности в спорте высших достижений является своевременная оценка и коррекция функционального состояния спортсменов. Оценка функционального состояния спортсменов в большом теннисе является важной частью тренировочного процесса и позволяет тренерам получить информацию о текущем состоянии игрока, его физической подготовленности и реакции организма на нагрузки.

Функциональное состояние спортсменов в теннисе зависит от физической подготовки, тактического мастерства, техники игры и психологического состояния. Во время матчей теннисисты испытывают большие нагрузки, что может привести к травмам и развитию перенапряжения. Поэтому оценка функционального состояния особенно актуальна для предотвращения и обнаружения возможных проблем.

Основные методики оценки состояния спортсменов:

1. Физиологическое тестирование – измерение различных физиологических параметров (пульс, артериальное давление, уровень кислорода, скорость восстановления после нагрузки, силовые показатели, выносливость, гибкость, координация движений), которые позволяют тренерам оценить физическую подготовленность и функциональное состояние спортсмена.

2. Специализированные тесты – оценка техники и тактики игры (для выявления слабых мест в игре и разработки индивидуальной программы тренировок).

3. Психологическое тестирование – оценка уровня мотивации, концентрации, уровня тревожности [2].

Результаты тестирования могут быть использованы для разработки индивидуальной тренировочной программы, корректировки режима нагрузок и определения приоритетов в тренировочном процессе. Функциональное тестирование также проводится для оценки общего здоровья спортсменов, выявления скрытых травм и других физических проблем, которые могут повлиять на спортивные результаты.

Для более точной оценки функционального состояния теннисистов в спортивной индустрии используется различное инновационное оборудование:

1. ***Бесконтактные системы анализа движения.*** Это инновационное оборудование, которое использует камеры и датчики для отслеживания движений спортсмена и анализа их техники игры в большом теннисе. При помощи таких систем могут быть получены детальные данные о технике удара, скорости мяча, угла отскока и других параметрах игры.

2. ***Эргоспирометрические системы.*** Это оборудование, используемое для измерения потребления кислорода и выдачи углекислого газа во время физической активности спортсменов в большом теннисе. Эти системы позволяют определить интенсивность тренировки, эффективность дыхательной и сердечно-сосудистой системы, а также оценить общую физическую подготовку спортсмена.

3. ***Сенсорные устройства и мониторинг.*** Важной инновацией являются устройства и технологии мониторинга, которые позволяют спортсменам отслеживать свою физическую активность, пульс, сон, уровень стресса и другие параметры, влияющие на их функциональное состояние в большом теннисе. Эти данные могут быть использованы для оптимизации тренировочных программ и предупреждения возможных травм.

4. ***Виртуальная и дополненная реальность.*** Эти инновационные технологии позволяют спортсменам воссоздавать условия игры в большом теннисе в виртуальной среде или применять дополненную реальность для развития своих навыков и стратегий игры. При помощи данного оборудования спортсмены могут улучшить свою технику, принять правильное решение во время игры и повысить свою эффективность.

5. ***Тестирование мышц.*** Инновационное оборудование для тестирования мышц позволяет оценить силу и гибкость спортсмена в большом теннисе. Неравномерность развития скелетной мускулатуры позволяет выявить сильные и слабые стороны подготовки спортсменов, что важно для разработки индивидуальных тренировочных программ и профилактики травм [4–5].

Зачастую инновационное оборудование обладает несколькими вышесказанными направлениями. Одним из ярких представителей диагностического оборудования является *аппарат для комплексной оценки функциональных показателей организма SCANME*, разработанный Инновационным центром Олимпийского комитета России, МГМУ им. Сеченова, «НПО СпортМедПрибор», компаниями Master Media Soft LLC (USA) и «Смирнов Дизайн» (рисунок) [6].

Аппарат предназначен для автоматизированного определения индивидуальных параметров функционального состояния при помощи спортивных измерительных приборов с программным обеспечением, позволяющим составить оптимальный набор рекомендаций для тренера.

Основное преимущество аппаратного комплекса состоит в том, что он сочетает в себе следующее оборудование: биоимпедансный анализатор; пульсоксиметр; гипоксический генератор; велоэргометр; спирометр; стабилоплатформа; видеоанализ состояния опорно-двигательного аппарата; тонометр; динамометр; модули для оценки психологического статуса и скорости

коррекции [7]. По завершении тестирования в автоматическом режиме формирует отчет по 93 показателям: состояние сердечно-сосудистой, нервной и дыхательной систем, опорно-двигательного аппарата и др. в виде графиков и таблиц [6].

Рисунок – Аппарат для комплексной оценки
функциональных показателей организма SCANME

Применение аппарат SCANME в фитнес-центрах, госучреждений и центрах олимпийской подготовки позволит в полной мере оценить функциональное состояние спортсменов любой квалификации.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что оценка функционального состояния спортсменов в большом теннисе является важным инструментом для тренеров, так как позволяет более точно определить индивидуальные потребности спортсменов в тренировочном процессе, разработать эффективные программы тренировок и предотвратить возможные травмы и перегрузки. Правильная оценка функционального состояния может помочь спортсмену достичь высоких результатов и предотвратить возможные проблемы.

Источники:

1. Bollettieri, N. The 5 keys to tennis / N. Bollettieri, B. Hobden, P. Gonzales. – New York, 1991. – 168 p.

2. Диц, С. Г. Содержание подготовки спортсменов в теннисе / С. Г. Диц, И. К. Рихтер, А. Р. Бикмуллина. – Казань: Казан. ун-т, 2020. – 70 с.

3. Крюков, Р. В. Анализ исследования по проблеме обучения детей технике двигательных действий в большом теннисе: сб. ст. / Р. В. Крюков. – М.: Московский пед. ун-т, 2020. – С. 494–499.

4. Новые технологии и инновации в спорте: что ждет нас в ближайшие годы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://genapilot.ru/novye-tehnologii-i-innovacii-v-sporte-chto-zhdet-nas-v-blizhajshie-gody?ysclid=lnk3dy1f zq321228327. – Дата доступа: 30.04.2023.

5. Топ-15 технологий в спортивной индустрии годы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://issek.hse.ru/news/484743102.html?ysclid=lnk 3byfesb279664685. – Дата доступа: 08.07.2023.

6. Спортивно-диагностический комплекс SCANME [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://smirnovdesign.com/portfolio-item/scanme/?ysclid=lnk3bb5yq7195880668. – Дата доступа: 19.08.2023.

7. Аппаратно-программный комплекс SCANME [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://longway-med.ru/katalog_tovarov1/diagnostics/skrining/apparatnoprogrammnyj_kompleks_scanme/. – Дата доступа: 19.08.2023.

ТАНДЕМ СПОРТИВНОЙ МЕДИЦИНЫ И НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА: НОВАТОРСКИЕ РАЗРАБОТКИ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СПОРТСМЕНОВ

Храмцова-Босая Янина Александровна, специалист информационно-аналитического отдела центра координации научно-методической и инновационной деятельности

Результативность в карьере спортсмена зависит не только от его упорных тренировок, но и нередко от наличия профессиональных заболеваний и травм. Спортивные федерации и организаторы масштабных соревнований или чемпионатов терпят значительные убытки, сталкиваясь с проблемами со здоровьем спортсменов. Как результат, происходит непрерывное развитие спортивной медицины, появляются новаторские технологии и оборудование для профилактики и лечения спортивных травм, а также последующей реабилитации атлетов.

Как показывают многочисленные исследования, одними из наиболее частых травм у спортсменов являются повреждения коленных и других суставов, мышц, связок. Поэтому развитие технологий для лечения повреждений опорно-двигательного аппарата актуально, особенно в сфере большого спорта. При лечении переломов используются специальные фиксаторы, которые соединяют раздробленные участки.

Так, например, ***компрессионные скобы "Orbitum"*** (рисунок 1) используются для сжатия поврежденной кости и удерживания в правильном положении до полного ее сращивания [2].

Рисунок 1 – Компрессионные скобы "Orbitum"

Использование такого оборудования особенно актуально при сложных переломах подвижных частей стопы. Скобы "Orbitum" выполнены из полипропилена и титана, что обеспечивает подвижность и гибкость даже при сложных открытых переломах. При этом составные части скобы удерживают сустав на месте, стабилизируя его с учетом всех анатомических особенностей спортсмена, а четырехглавая мышца сгибается под углом 139° – очень высокий показатель для подобных протезов. Поэтому при использовании скоб

“Orbitum” существует вполне реальная возможность возврата к полноценной жизни и занятиям спортом.

Следует также отметить, что при использовании ***шовного фиксатора “HEALICOIL KNOTLESS Suture Anchor” и органических нитей “REGENESORB”*** также ускоряется процесс лечения переломов костей [3]. Специальное оборудование позволяет врачу вживить винты-фиксаторы в поврежденный участок костей, а затем сшить их при помощи нитей (рисунок 2).

Рисунок 2 – Поэтапная методика работы при использовании шовного фиксатора “HEALICOIL KNOTLESS Suture Anchor” и органических нитей “REGENESORB”

Наличие сквозных отверстий у винтов позволяет стволовым клеткам костного мозга поступать внутрь раны и ускорять нарастание костной ткани. По данным производящей компании, такой метод на 94 % эффективнее, чем обычные биокомпозитные фиксаторы.

Для снижения риска повторной грыжи поясничного отдела позвоночника используются ***инновационные импланты из титана и полимеров*** [5]. Для исключения рецидивов межпозвоночных грыж поясничного отдела позвоночника спортсменам вживляют импланты – специальные кольца, не позволяющие дискам тереться друг о друга и сильно скручиваться (рисунок 3).

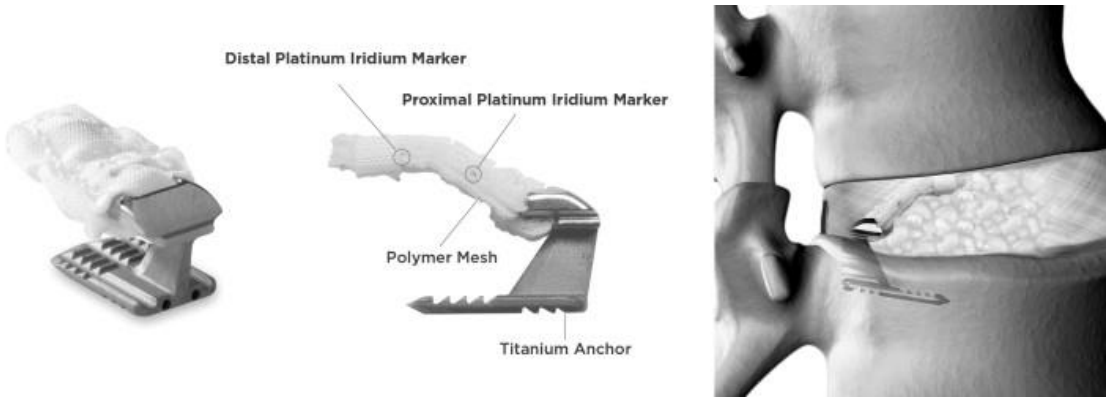


Рисунок 3 – Кольцевое устройство, предотвращающее повторное возникновение грыж поясничного отдела позвоночника

Известно, что межпозвоночная грыжа оставляет кольцевой дефект, который обычно не заживает, в результате чего у некоторых спортсменов с большими дефектами возникает более высокий риск повторной грыжи. Поэтому во время микродискэктомии (нейрохирургической операции по устранению давления грыжи на спинномозговую жидкость и нервные корешки позвоночного канала) хирурги прикрепляют титановый компонент имплантата к здоровому позвонку и устанавливают полимерный лоскут, закрывающий отверстие в кольцевом пространстве диска.

В экстремальных видах спорта актуально применение ***носимых экзоскелетов*** [6]. Роботизированные экзоскелеты получают распространение среди спортсменов, специализирующихся на горных лыжах и слаломе, выступая в качестве механической защиты для спины, ног и рук. Они крепятся на колени и квадрицепсы и приводятся в движение сжатым воздухом, аккумулятор размещается в рюкзаке (рисунок 4).

Рисунок 4 – Использование роботизированного экзоскелета в горнолыжном спорте

Амортизация производится за счет реакции на результаты отслеживания специальными датчиками положения тела спортсмена. Мобильное приложение позволяет выбрать оптимальный вариант экипировки.

Использование экзоскелетов снижает нагрузку на голени и защищает от травм, позволяет активно тренироваться при подготовке к соревнованиям, минимизируя негативные последствия.

В настоящее время проблему повреждения черепа и головного мозга в спорте можно решить, используя ***шлем "HIT Impact"*** [4]. Спортсмены, специализирующиеся на американском футболе, регби, единоборствах, имеют высокий риск получения травм головы. Для незамедлительного принятия мер во избежание ухудшения их состояния был разработан универсальный шлем с датчиками.

Технология работы устройства: через датчики, размещенные на шлеме, отслеживается сила удара при падении или атаке со стороны соперника, затем через мобильное приложение приходит оповещение, каков уровень риска сотрясения мозга. Сигнал между шлемом и приложением поддерживается смартфоном через Bluetooth с расстояния до 150 метров (рисунок 5). Мониторинг состояния спортсмена проводится на протяжении всей игры в режиме реального времени.

Использование шлема "HIT Impact" помогает вовремя заметить критическое состояние спортсмена и прекратить его участие в матче или на соревновании. Информация собирается анонимно, автоматически создается банк данных о полученных травмах головы, что способствует дальнейшим исследованиям и пониманию черепно-мозговых травм.

Рисунок 5 – Мобильное приложение "HIT Impact"

Собранная аналитика помогает врачам и исследователям разрабатывать более точные рекомендации по минимизации рисков при участии в особо травматичных видах спорта и совершенствовать защитную экипировку.

Для более оперативного восстановления после травм и растяжений, снижения усталости после интенсивных тренировок спортсмены могут использовать ***инновационные тренировочные костюмы "Bodytech"*** [1]. Под воздействием электротока стимулируются мышцы и нервные окончания, вызывая их сокращение и приток крови, ускорение лимфооттока.

Тренировочный костюм состоит из центрального блока (планшета), лечебного жилета, в котором размещаются электроды, и легкого энергетического блока (рисунок 6). Связь между составляющими комплекса беспроводная, кабели отсутствуют. 20 электродов равномерно распределены по лечебному жилету (рисунок 7).

Рисунок 6 – Составляющие комплекса тренировочного костюма

Рисунок 7 – Расположение подушечек с электродами на лечебном жилете

Преимущества тренировочного костюма:

- обширная область воздействия на различные группы мышц;
- специальные углеродно-кремниевые волокна, составляющие костюм, обеспечивают плотный контакт с телом и передачу электрического импульса, прочные и легко моются, антибактериальные, обладают хорошим водопоглощением и гидроизоляцией;
- подходит для носки на суше и воде;

• универсальный регулируемый размер позволяет носить костюм спортсменам различного телосложения.

Таким образом, развитие спортивной медицины и научно-технологические достижения значительно повышают качество жизни спортсменов. Использование новаторских приспособлений предотвращает необратимые негативные последствия от получения травм и минимизирует ущерб для продолжения спортивной карьеры.

Источники:

1. EMS Training Suit. – Режим доступа: https://www.bodytech-emsfitness.com/ems-fitness/ems-fitness-machine/ems-training-suit.html?gclid=Cj0KCQjw6s2IBhCnARIsAP8RfAiMzFZuu7RQ7GhPZQt0AS_8-jr2iJporcK8536gdObZxQ92IXHZUFkaArIIEALw_wcB. – Дата доступа: 13.10.2023.
2. Fuse Orbitum compression staples [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://fusemedical.com/compression-staples. – Дата доступа: 13.10.2023.
3. HEALICOIL KNOTLESS Suture Anchor [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://smith-nephew.com/en-us/health-care-professionals/products/sports-medicine/healicoil-knotless-suture-anchor#overview. – Дата доступа: 13.10.2023.
4. New wearable aims to tackle head injuries in sport. – Режим доступа: https://www.med-tech-news.com/news/Digital-in-Healthcare-News/new-wearable-aims-to-tackle-head-injuries-in-sport. – Дата доступа: 13.10.2023.
5. Reduced Risk of Lumbar Disc Reherniation with Annular Closure Device. – Режим доступа: https://stanfordhealthcare.org/stanford-health-care-now/2021/reduced-risk-lumbar-disc-reherniation-with-annular-closure-device.html. – Дата доступа: 13.10.2023.
6. Wearable Robotic Exoskeletons. – Режим доступа: https://www.intelligentliving.co/wearable-robotic-exoskeletons. – Дата доступа: 13.10.2023.

КОРРЕКЦИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ СПОРТСМЕНОВ-ПЛОВЦОВ

Шешко Валентина Владимировна, ведущий специалист информационно-аналитического отдела центра координации научно-методической и инновационной деятельности

Высокий уровень конкуренции и рост результатов в современном спорте обусловливают необходимость непрерывного поиска путей совершенствования физической и психологической подготовленности атлетов. В циклических видах спорта уровень физической работоспособности, наряду с уровнем развития физических качеств и специальной работоспособности спортсмена, адаптации организма к нагрузкам и другими составляющими, вносит значительный вклад в конечный спортивный результат.

Блайт Люсеро говорил: «Чтобы стать хорошим пловцом, необходимо одновременно “чувствовать” и “понимать” происходящее, в процессе занятий необходимо активно задействовать как тело, так и мозг» [1]. И здесь речь идет не только о правильной технике движений нижнего и верхнего поясов, но и о контроле и грамотной работе функции дыхания.

Восполнение запасов кислорода – неотъемлемая часть любого вида спорта. Но в плавании с этим возникают определенные трудности, поэтому процесс дыхания является наиболее важным аспектом техники в этом виде спорта. Чтобы максимально увеличить поступление кислорода в организм, пловцы должны научиться дышать ритмично. Кроме того, им нужно научиться вдыхать и выдыхать во время одного гребка – чтобы не прерывать движение вперед. В целом, рассчитывая время вдоха в фазе восстановления и выдоха в фазе силы, можно добиться идеального процесса дыхания для максимально быстрого движения вперед, избегая трудностей, связанных с торможением в воде. Кроме того, этот расчет делает выдох частью гребка, который требует максимального напряжения. Таким образом, как и в других видах спорта и в жизни в целом, пловец может накапливать больше энергии, выталкивая воздух во время приложения физических усилий.

Дыхательные упражнения являются фундаментальной частью тренировок на всех уровнях подготовки в плавании. Практикуя специальные упражнения для многократного повторения, а также получая прямые комментарии к результатам работы, пловец учится достигать максимальной эффективности плавания с минимальными усилиями.

Поскольку специальные дыхательные упражнения являются одними из лучших инструментов для овладения техникой эффективного плавания, их следует включать в каждое занятие. Они могут стать его разминочной частью – с целью подготовить базу для дальнейших тренировок.

Формирование правильного дыхания – основа освоения всех элементов плавания (задержка дыхания, погружение, всплывание, лежание, скольжение на груди, скольжение на спине).

У людей, систематически занимающихся плаванием, развиты дыхательная мускулатура и органы дыхания, наблюдается хорошая согласованность дыхания с движением. При плавании человек дышит чистым, лишенным пыли и достаточно увлажненным воздухом. При выдохе во время плавания дыхательные мышцы несут дополнительную нагрузку в связи с необходимостью преодолевать сопротивление воды, необходимое усилие совершается и при выдохе в воду. Вследствие усиленной деятельности дыхательные мышцы укрепляются и развиваются, улучшается подвижность грудной клетки, увеличивается жизненная емкость легких [2].

Вследствие выполнения большого объема нагрузок и детерминации дыхания техникой плавания у высококвалифицированных пловцов формируется мощная и обладающая высокой выносливостью дыхательная система, которая позволяет при выполнении значительных физических нагрузок форсировать дыхание, повышая его продуктивность. В связи с этим снижение функции внешнего дыхания может являться одним из факторов, лимитирующих работоспособность спортсменов. Таким образом, динамика показателей функции внешнего дыхания позволяет оценивать адаптацию организма к различным тренировочным воздействиям и степень активизации восстановительных процессов [3].

На основе вышесказанного можно сделать вывод о том, что благодаря занятиям плаванием можно развить дыхательную мускулатуру и органы дыхания, но справедливо и обратное, а именно то, что для того, чтобы добиться результатов в плавании на профессиональном уровне и составить достойную конкуренцию противникам, необходимо усиленно работать над функцией дыхания дополнительно. Уникальным помощником в такой работе может стать устройство Powerbreathe [4] (рисунок).

Рисунок – Тренажер для укрепления дыхательных мышц Powerbreathe

Профессор Элисон Макконнелл из Университета Брунел, Бирмингем, много лет посвятила разработке устройства для подготовки элитных спортсменов, желающих повысить способности системы дыхания и улучшить личные достижения. Эллисон Макконел считала: «С дыханием связана вся жизнь человека: первый вдох означает начало жизни, последний – ее конец. Это самый фундаментальный из всех физиологических процессов» [5]. В результате появился Powerbreathe – простой портативный дыхательный тренажер с механизмом регуляции сопротивления потоку вдыхаемого воздуха, позволяющим получить положительный эффект, не прибегая к каким-либо лекарственным препаратам.

Powerbreathe – это устройство, предназначенное для улучшения дыхания и повышения выносливости легких. Принцип Powerbreathe основан на том факте, что, как и любую другую мышцу, дыхательные мышцы можно тренировать, укреплять и совершенствовать.

Тренажер работает за счет создания сопротивления при вдохе, что заставляет дыхательные мышцы работать интенсивнее, чем обычно. Это увеличивает силу и выносливость дыхательных мышц, тем самым улучшая общую дыхательную функцию, а также снижая утомляемость во время повседневной деятельности и физических нагрузок.

Powerbreathe можно использовать как отдельную тренировку, либо включить его использование в общее упражнение или разминку. Продолжительность тренировки не должна превышать 10–15 минут в день, чтобы не перенапрягать легкие.

Пользоваться тренажером довольно просто – пользователь вставляет его в рот и вдыхает через него, преодолевая сопротивление, вызванное дополнительными механизмами в устройстве. Регулярные тренировки с Powerbreathe могут оказать заметное положительное влияние на дыхательную функцию и общее состояние здоровья [6].

Научно доказано, что неэффективная работа инспираторных мышц сопровождается добавочным их кровоснабжением, что понижает кровоток в мышцах работающих конечностей. Это, в свою очередь, приводит к повышению чувства тяжести нагрузки и лимитирует физическую работоспособность. Специальная тренировка инспираторных мышц с помощью Powerbreathe способна повысить их эффективность и увеличить предельное время работы со стандартной мощностью более, чем на 30 % [5].

Таким образом, несмотря на то, что высокий спортивный результат порой зависит даже от второстепенных аспектов подготовки, еще далеко не все спортсмены, в том числе и самые квалифицированные пловцы, уделяют должное внимание такому фундаментальному фактору, лимитирующему спортивную работоспособность в плавании, как дыхание, в то время как результаты применения подобных средств говорят сами за себя, как в случае с британским триатлонистом Скоттом Нейдли, который начал заниматься триатлоном на любительском уровне с целью приобретения хорошей физической формы и снижения веса, уже через год пришел третьим в самый

продолжительный день соревнований Ironman после всего 3,5 месяцев тренировок. Далее Скотт начал основательно тренироваться, желая посмотреть, каких успехов он сможет достичь в профессиональном спорте. Среди его достижений присутствуют такие титулы, как [7]:

- чемпион в соревнованиях по триатлону Ironman в Великобритании; первый британец, выигравший соревнования и поставивший временной рекорд в общем зачете;
- лучший триатлонист среди мужчин в индивидуальном зачете по версии британского журнала “220 Triathlon”;
- лучший британец на мировом чемпионате Ironman в 2007 году.

Источники:

1. Люсеро, Б. Плавание: 100 лучших упражнений / Б. Люсеро; пер. с англ. Т. Платоновой. – М.: Эксмо, 2011. – 280 с.
2. Дыхательные упражнения в процессе обучения плаванию и оздоровительной тренировки у студентов: метод. пособие. – Казань: КФУ, 2015. – 32 с.
3. Говорухина, А. А. Особенности функционального состояния респираторной системы пловцов на разных этапах спортивной подготовки / А. А. Говорухина, Н. С. Веткалова. – Сургут: СГПУ, 2017. – 5 с.
4. POWERbreathe Better Breathing Devices [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.powerbreathe.com. – Дата доступа: 12.10.2023.
5. К вопросу о забытых мышцах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.eaglesports.ru/blogs/novosti/k-voprosu-o-zabytyh-myshtsah. – Дата доступа: 12.10.2023.
6. Powerbreathe тренажер для дыхания [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://pryshoff.ru/powerbreathe-trenazher-dlya-dykhaniya/. – Дата доступа: 13.10.2023.
7. Силовая тренировка дыхательных мышц с высоким сопротивлением [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://darwinaward.ru/articles/silovaya-trenirovka-dyhatelnyh-myshts-s-vysokim-soprotivleniem.html. – Дата доступа: 13.10.2023.

СПОРТИВНАЯ ДИАГНОСТИКА – МАКСИМИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЛИ ПРОФИЛАКТИКА ТРАВМ

Кшиштоф Макала[1], Камиль Михалик[2] и Хуберт Макарук[3]

[1] Факультет легкой атлетики, Вроцлавский университет здоровья и спортивных наук, 51-612 Вроцлав, Польша

[2] Факультет моторики человека, Вроцлавский университет здоровья и спортивных наук, 51-612 Вроцлав, Польша

[3] Факультет физического воспитания и здоровья, Университет физического воспитания имени Юзефа Пилсудского в Варшаве, 00-809 Бяла-Подляска, Польша

SPORTS DIAGNOSTICS – MAXIMIZING THE RESULTS OR PREVENTING INJURIES

Krzysztof Mackala[1], Kamil Michalik[2] and Hubert Makaruk[3]

[1] Department of Track and Field, Wroclaw University of Health and Sport Sciences, 51-612 Wrocław, Poland

[2] Department of Human Motor Skills, Wroclaw University of Health and Sport Sciences, 51-612 Wrocław, Poland

[3] Faculty of Physical Education and Health, The Jozef Pilsudski University of Physical Education in Warsaw, 00-809 Biala Podlaska, Poland

1. Введение

Спортивная диагностика представляет собой комплексную научную концепцию, которая охватывает проблемы мониторинга тренировочного процесса и/или спортивной медицины. Во многих случаях ее сложно реализовать в реальном мире спорта, особенно в профессиональной сфере [1, 2]. Спортивная диагностика состоит, среди прочего, из медицинского контроля как больных, так и здоровых действующих спортсменов [3]; прежде всего, такой уровень контроля позволяет предупредить развитие состояния перенапряжения и снизить риск травмирования во время интенсивных тренировок [4].

Одна из главных целей спортивной диагностики – контроль состояния здоровья, ведь именно на этой основе возможен регулярный тренировочный процесс. Здоровье – это не просто способность заниматься спортом в целом, а быть здоровым и свободным от травм после окончания тренировки, что является одним из многочисленных условий тренировочного процесса [5]. Поддержание здоровья позволяет преодолевать ограничения организма человека, выполнять более сложные действия и прилагать более длительные усилия [6]. Правильный баланс между тренировочными стимулами и отдыхом позволяет адаптироваться к новым физическим нагрузкам [7]. За счет этого можно отслеживать процесс повышения работоспособности спортсмена. Это касается совершенствования двигательной, технической и даже ментальной

подготовки в соответствии с приложенными усилиями. Такие понятия, как здоровье и спортивное совершенствование, неразрывно связаны и являются следствием друг друга. Они показывают, что мы понимаем под термином «спортивная диагностика».

Суть спортивной диагностики заключается в использовании специальных процедур и инструментов, необходимых для грамотного управления тренировочным процессом спортсмена [9, 10]. Это касается оценки реакции организма спортсмена – системы – на тренировочные стимулы, используемые в этом процессе, т. е. так называемые тренировочные методы. Это относится как к реакциям/стимулам, используемым в одном тренировочном блоке (комплекс упражнений), то есть на текущее воздействие (острая ответная реакция), так и к большому объему тренировок, например, проводимых в микроцикле – и это будет длительным воздействием (хронической ответной реакцией). Наконец, оценивается долгосрочное тренировочное воздействие, например, в продолжительных мезоциклах или макроциклах [11]. Здесь мы имеем дело с так называемым кумулятивным эффектом, который отражает фактический уровень подготовки спортсмена в данный тренировочный период, годовой цикл, то есть видимый прогресс спортсмена.

2. Факторы, доказывающие важность спортивной диагностики

Из широкого спектра знаний о спортивной диагностике стоит сосредоточиться на нескольких конкретных аспектах в рамках данной темы [12]. Их общим условием являются:

Справочная информация о применении методов измерения или исследования, которые определяют процесс получения данных, способ их интерпретации и возможность их будущего моделирования [6].

Практическое применение: во время тренировок и в условиях соревнований, при оценке двигательной и технической подготовки спортсмена по различным спортивным дисциплинам, а также при определении риска травмирования или, в ряде случаев, перетренированности [8–13].

Проанализированные данные касаются конкретных тренировочных нагрузок, преимущественно тренировочных и соревновательных, полученных неинвазивными методами на основе точных, надежных и, прежде всего, комплексных измерений [10].

Комплексные измерения требуют сочетания методов, позволяющих оценить уровень индивидуальных двигательных навыков. Измерения должны выполняться без нарушения двигательных структур, что полностью обеспечивает фактическое выполнение технических задач, а в случае, например, спортивных игр – технических и тактических задач [13]. Такой комплексный подход позволяет точно оценить фактические условия применения тренировочных стимулов и их влияние на организм спортсмена посредством взаимодействия техники и физиологических реакций, и достижения оптимальной готовности, т. е. достижения состояния высшей подготовки [14, 15]. Подводя итог, комплексные измерения могут надежно диагностировать:

- метаболический потенциал организма;
- моторный потенциал;
- технический потенциал.

3. Области спортивной диагностики

Спортивная диагностика тесно связана с мониторингом тренировок (внешние и внутренние нагрузки). Таким образом, это может быть интересным дополнением и способствовать получению дополнительной информации о спортсменах и их тренировочных адаптациях. Ученые должны отвечать на самые сложные вопросы тренеров. С другой стороны, тренеры должны опираться на свой опыт и новейшие знания. Ниже представлены некоторые подходы, которые могут применяться в тренировочном процессе.

3.1. Симметрия или функциональная асимметрия

Это связано с термином латерализация, или другими словами, «латеральность», т. е. функциональная асимметрия правой и левой сторон тела человека, которая возникает в результате различий в структуре и функциях обоих полушарий головного мозга. Имеет ли одна сторона функциональное преимущество перед другой? Если да, то является ли это преимущество значительным в достижении спортивных результатов, может ли оно ограничить спортсменов и может ли оно привести к функциональным нарушениям и травмам [16, 17]?

3.2. Динамический модуль двигательных навыков

Это не только оценка методики выполнения заданной структуры движения, но и оценка моторного потенциала, преимущественно уровень потенциальных показателей силы и скорости, а также результат их взаимодействия – так называемый динамический модуль. Кроме того, пиковая мощность необходима для завершения этой структуры [18, 19].

3.3. Измерение мышечной силы

Мышечная сила – это преодоление или противодействие внешнему сопротивлению в результате спортивной деятельности. Она играет доминирующую роль в двигательной подготовке спортсмена [20]. Измерение основано на оценке моментов мышечной силы отдельных групп мышц (сгибателей и разгибателей), ответственных за функцию отдельных суставов [21]. Целью данного теста является определение максимального значения мышечной силы во время движения в данном суставе для обеих конечностей – двусторонняя оценка, или для одной конечности – односторонняя оценка [22]. Различные угловые скорости позволяют производить измерение в реализуемой структуре движения, в данной спортивной дисциплине и в определенном расположении субъекта [23].

3.4. Измерение пиковой мощности

Зачем проводить такие измерения? Корректно ли сравнивать показатель силы, измеренной в различных условиях, особенно в статических условиях

(изометрия) по сравнению с динамическими условиями, но в ограниченном пространстве (изокинетическое измерение и измерение максимальной силы, например, приседания) с реальными динамическими условиями, реализуемыми при выполнении вертикальных прыжков [24] или горизонтальных прыжков в длину с места [25] или переменных множественных прыжков, анализируемых на основании одного прыжка на обеих ногах [26]? Это сравнение должно выполняться при измерении прыжков как на двух ногах, так и на одной ноге. Опять же, это проблема, связанная с латерализацией или парциализацией (дифференциацией) (partialization). Данный показатель мощности определяет не только качество исполнения структуры одного движения, но прежде всего является показателем оценки сохранения пиковой мощности в условиях многократных повторений этой двигательной структуры [27].

3.5. Пиковая мощность и концентрация лактата

Ограниченное число исследований описывают взаимосвязь между пиковой мощностью и уровнем лактата крови, особенно в анаэробных условиях [28]. Молочная кислота вырабатывается в тканях во время интенсивных физических упражнений, когда повышаются метаболические потребности мышц и недостаточен запас кислорода. Это, в свою очередь, приводит к увеличению скорости гликолиза. Поэтому скорость выработки молочной кислоты зависит от возрастающей интенсивности физических упражнений, что приводит к увеличению потребности рабочих мышечных клеток в АТФ [29]. Теоретически соответствующее измерение концентрации лактата должно показывать уровень физических возможностей данного спортсмена, воздействие конкретного тренировочного блока на организм, а также давать направление дальнейшему эффективному тренировочному процессу [30].

3.6. Кинематика бега

Чтобы лучше понять возможности использования кинематических измерений в спортивной диагностике, следует сосредоточиться на фундаментальной структуре движения, которая представляет собой движение с изменением положения тела, то есть бег с разной интенсивностью и различных видов. Анализ техники бега основан на анализе выполнения одного бегового шага, что обеспечивает его максимальную эффективность [31].

3.7. Измерение жесткости и гибкости мышц и сухожилий

Еще одним методом является оценка скорости и взрывной мощности путем измерения жесткости и гибкости мышц с помощью устройства Myoton Pro. Измерения показывают:

Динамическую жесткость – биомеханическое свойство мышцы, характеризующееся сопротивлением сокращению или противодействию внешней силе, деформирующей ее исходную форму. В случае аномально высокой жесткости требуется более значительное усилие мышцы агониста для растяжения жесткого антагониста, что приводит к неэффективной экономии движения [32]. Кроме того, повышенная жесткость мышц также создает неблагоприятные условия для кровообращения и микроциркуляции, значительно снижая их способность к выполнению физических нагрузок.

Гибкость – биомеханическое свойство мышцы, характеризующее ее способность восстанавливать первоначальную форму после сокращения или устранения внешней силы деформации [33].

4. Заключение

Подводя итог, представляется разумным задать другой вопрос: каково происхождение спортивной диагностики и, прежде всего, в каком направлении она должна развиваться? Для ответа на этот вопрос мы можем привести цитату бывшего генерального директора Lufthansa доктора Ханса-Вилхема Мюллера-Волфархта (Dr. Hans-Wilhem Muller-Wohlfarht). В своей работе он руководствовался следующим принципом: «Теория – это когда все знают зачем и как это делать, но ничего не работает, практика – это когда все работает, но никто не знает почему». Объединив эти две области в одну, а не взаимоисключающую связь, мы сможем точно определить важность диагностики в спорте и ее место в тренировочном процессе. Поэтому для дальнейших теоретических исследований необходима обратная связь с тренерами и спортсменами, чьи потребности являются результатом тренировочного процесса. Такую обратную связь можно реализовать путем моделирования существующей или поиска совершенно новой информации. Наука может ответить на вопросы, которые задает практика. Практика может использовать достижения исследований. В этом контексте максимизация результатов и профилактика травм являются одними из наиболее критических и взаимосвязанных факторов в спорте высших достижений.

Статья содержит 33 источника литературы, с которыми можно ознакомиться по адресу: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9916279/.

Перевод с английского ***Л.И. Кипчакбаевой***
Рецензент ***М.Е. Агафонова***