<https://doi.org/10.47529/2223-2524.2021.3.8>

УДК 542.8, 543.9

Тип статьи: Обзор литературы / Review

Перспективные направления лабораторной диагностики в спорте и фитнесе

Г.М. Загородный*, Н.В. Шераш, А.Н. Будко, Н.В. Шведова

ГУ «Республиканский научно-практический центр спорта», Минск, Республика Беларусь

РЕЗЮМЕ

В статье изложены основные биомаркеры определения адаптации человека к физическим нагрузкам. Проанализированы современные научные публикации по критериям индивидуальной переносимости пищевых продуктов, изучены перспективные направления персонализированной коррекции диеты. Авторами сформирована группа валидных (спорт-специфических) лабораторных показателей, предложено обращать пристальное внимание на референсные значения лабораторного оборудования, имеющего «свои» нормы. Перспективным направлением лабораторно-диагностической работы является формирование достоверных и доступных взаимодополняющих критериев, находящихся на стыке функциональных и инструментальных методов диагностики. Метабомика рассматривается как молодая, но весьма эффективная для обнаружения метаболических высокоспецифичных характеристик состояния здоровья человека наука. Авторами предложены основные направления научных исследований в лабораторной диагностике в спорте.

Ключевые слова: лабораторная диагностика, спорт, метаболомика, питание, адаптация, диета, фитнес

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Загородный Г.М., Шераш Н.В., Будко А.Н., Шведова Н.В. Перспективные направления лабораторной диагностики в спорте и фитнесе. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2021;11(3):18–27. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2021.3.8>

Поступила в редакцию: 24.08.2021

Принята к публикации: 29.09.2021

Online first: 29.09.2021

Опубликована: 30.09.2021

* Автор, ответственный за переписку

Promising directions of laboratory diagnostics in spores and fitness

Hennady M. Zaharodny*, Natalya V. Sherash, Anastasia N. Budko, Natalya V. Shvedova

State University "Republican Scientific and Practical Center of Sports", Minsk, Republic of Belarus

ABSTRACT

The article describes the main biomarkers for determining human adaptation to physical activity. Analyzed modern scientific publications on the criteria of individual tolerance of food products, studied promising directions of personalized correction of the diet. The authors have formed a group of valid (sports-specific) laboratory indicators, it is proposed to pay close attention to the reference values of laboratory equipment that have "their own" norms. A promising direction of laboratory diagnostic work is the formation of reliable and accessible complementary criteria that are at the "junction" of functional and instrumental diagnostic methods. Metabolomics is viewed as a young but highly effective science for detecting highly specific metabolic characteristics of human health. The authors proposed the main directions of scientific research in laboratory diagnostics in sports.

Keywords: laboratory diagnostics, sports, metabolomics, nutrition, adaptation, diet, fitness

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

For citation: Zaharodny H.M., Sherash N.V., Budko A.N., Shvedova N.V. Promising directions of laboratory diagnostics in spores and fitness. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2021;11(3):18–27 (In Russ.). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2021.3.8>

Received: 24 August 2021

Accepted: 29 September 2021

Online first: 29 September 2021

Published: 30 September 2021

* Corresponding author

Одной из важнейших задач врачебно-педагогических наблюдений в спорте является оценка функционального состояния спортсмена. С этой целью используется ряд хорошо зарекомендовавших себя методов контроля: лабораторный, функциональный, морфометрический, которые совместно с педагогическими методами оценки работоспособности дают достоверную информацию для последующего анализа работоспособности и адаптации спортсмена [1–4].

Дальнейший поиск критериев объективной оценки адаптации, в том числе способствующих выявлению предпатологических изменений, является на сегодня особенно актуальной проблемой. На основании анализа величины метаболических сдвигов и продолжительности их удержания проводится оценка и коррекция срочного, отставленного и кумулятивного тренировочных эффектов нагрузок различной направленности, что позволяет повысить эффективность тренировок [5].

В спортивной практике используется большое число лабораторных показателей с последующей их интерпретацией в рамках достоверной оценки функционального состояния атлета. Стабильность показателей гематологического статуса и быстрое возвращение к нормальным значениям после их увеличения, коррелируемого с величиной физической нагрузки, — ключевые факторы оценки приспособительных реакций [6–8]. В предыдущие десятилетия накопился большой объем научной информации по лабораторной диагностике в спорте, которая позволяет динамически отслеживать и корректировать функциональное состояние атлета. Ряд лабораторных показателей (КФК-МБ, миоглобин, тропонин, АсАТ, мочевины, тестостерон, кортизол, их соотношения и др.) обладают высокой информативностью о текущем состоянии спортсменов [9–11].

Вместе с тем динамических достоверных наблюдений за изменениями показателей в течение как нагрузочного тестирования, так и в естественных условиях тренировочной деятельности в корреляции с видами нагрузок в течение всего этапа подготовки, особенно современных биомаркеров тренированности, пока недостаточно.

Так, Т. Reichel и соавт. (2020) у 62 человек после 60-минутной тренировки на выносливость с 4-недельным перерывом восстановления с помощью многомерного опросника настроения (MDMQ), параметров максимального произвольного сокращения (MVC) и биомаркеров крови обнаружили сильную корреляцию для соединений, реагирующих с тиобарбитуровой кислотой, и гематологических маркеров. Между этими показателями и уровнями интерлейкинов RA, IL-6, IL-8, IL-15, ЛДГ, КФК была обнаружена умеренная связь [13].

Е. Varamenti (2020) выявил значительное увеличение цитокинов и показателей окислительного стресса после высокоинтенсивных упражнений в отличие от упражнений на выносливость [12].

К. Płoszczysa и соавт. (2020) изучали корреляции между максимально стабильным уровнем лактата (MLSS),

анаэробным порогом, максимальным отклонением лактата (Dmax), модифицированном максимальном отклонении (ModD max), исходной концентрации лактата, индивидуальным анаэробным порогом (IAT), началом накопления лактата в крови (OBLA 4 ммоль/л) методом V-slope при максимальном тесте (GXT3) с 3-минутными этапами (+40 Вт/этап) у 12 элитных велосипедистов-мужчин с последующими 30-минутными тестами с постоянной нагрузкой. Анализ выявил очень высокую ($r > 0,90$) корреляцию между MLSS и Dmax и IAT, при этом корреляция MLSS и OBLA 4 составила 0,67. Авторы утверждают, что индивидуальный MLSS не может быть правильно оценен методами V-slope, ModD max и OBLA 4 [14].

S. Çetin и соавт. (2020) обнаружили достоверные различия в значениях общего кортизола, липопротеинового профиля в плазме у борцов и футболистов [15], а A. Walker и соавт. (2020) выявили у 22 футболисток значительные колебания свободного и общего кортизола, трийодтиронина, КФК, железа в течение сезона [16].

A. Nowakowska и соавт. (2019), Ł. Radziwiński и соавт. (2020) обнаружили, что уровни АСТ, АЛТ и креатинина были выше в группе полузащитников/защитников, но только АСТ и креатинин значительно варьировались с течением времени. У полузащитников активность АСТ и уровень железа весной были значительно ниже, чем в осенью, а АЛТ, КФК, мочевины и магний были значительно выше весной; кроме того, отмечались максимальные значения АСТ, ЛДГ, КФК, ЦРБ именно на 6-й день микроцикла [17].

M. Sellami (2021) утверждает, что фактор некроза опухоли-альфа (TNF-α) был единственным цитокином, показывающим более высокую концентрацию у спортсменов старшего возраста независимо от интенсивности занятий спортом. Уровень интерлейкина IL-10 значительно увеличивался у спортсменов на выносливость независимо от возрастной группы, тогда как концентрация IL-6 была выше у старших «выносливых» спортсменов. IL-8 показал сильную взаимосвязь со спортивной интенсивностью в разных возрастных группах. В целом были выявлены значимые положительные корреляции между уровнями IL-6, IL-10, IL-8 и TNF-α. Активность антиоксидантной каталазы положительно коррелировала с уровнями TNF-α. Длина теломера значительно увеличивалась с интенсивностью занятий спортом, особенно в младшей группе [18].

M. Sohail (2020) обнаружил увеличение IL-10 при нагрузках умеренной мощности. Уровни супероксиддисмутазы (SOD) и малонового диальдегида (MDA) были выше в группах с более высокой мощностью. В группах на выносливость IL-10 и воспалительный белок макрофагов (MIP) -1β были выше при низких/средних нагрузках на выносливость по сравнению с группой высокой выносливости. Специфические маркеры воспаления и окислительного стресса связаны с различными спортивными дисциплинами и могут быть использованы

в качестве потенциальных биомаркеров здоровья спортсменов, их работоспособности и восстановления после травм [19].

Одним из перспективных критериев оценки переносимости нагрузок может быть сердечный миозин-связывающий протеин С (сMyC), который быстрее высвобождается после острого инфаркта миокарда, чем сердечные тропонины (сTn), и может быть благоприятным для пациентов, поступающих в ранний срок после появления симптомов [20].

Среди биомаркеров сердечно-сосудистых заболеваний перспективным критерием диагностики является число копий митохондриальной ДНК (мтДНКс), а также триметиламин-N-оксид (ТМАО), который является окислительным производным кишечного метаболита триметиламина (ТМА). Значения мтДНКс ниже у пациентов с ИБС и коррелируют с СКФ и ТМА [21].

Достаточно активно изучаются маркеры мышечного пластического и энергетического обменов, но пока мало уделяется внимания маркерам состояния соединительной ткани, которая играет значительную роль в формировании мышечного каркаса, устойчивости к травматизму, развитию физических качеств. В частности, это активные олигопептиды коллагена (АСОР) — биоактивные пептиды на основе коллагена, обнаруживаемые с помощью связанного с ферментом иммуносorbентного анализа (enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA)). Исследователи наблюдали, что антитела показали сильную перекрестную реактивность с Pro-Нур и Gly-Pro-Нур и слабую — с коллагеном. Прием коллагена увеличивал уровень АСОР в моче и сильно коррелировал с уровнями пептидных форм Нур и Pro-Нур. Физическая активность значительно снижает уровень АСОР в моче, что может быть рассмотрено как новый биомаркер метаболизма коллагена [22].

Таким образом, формируется новая весьма специфичная группа валидных лабораторных показателей (спорт-специфические), которые рассматриваются как перспективные для научных и прикладных исследований в спорте.

Особое внимание также следует уделять и самому лабораторному оборудованию, имеющему «свои» пределы референсов. Так, V. Biljak и соавт. (2020) утверждают, что самый высокий процент спортсменов с повышенным RI тестостерона был отмечен у Beckman Coulter (30 %) относительно Abbott Architect и Roche Elecsys. Авторы продемонстрировали, что указанный верхний референтный предел был слишком низким для спортсменов. Клиническим лабораториям следует учитывать внедрение новых предлагаемых референсов в зависимости от применяемого оборудования [23].

S. La'ulu и соавт. (2018) указывают, что чувствительность оборудования при 20 % коэффициенте вариации (CV) для анализов на Architect, Centaur, DxI, E170 и Immulite составляла 0,14, 1,23, 0,36, 0,77, 3,49 нмоль/л соответственно. Общие CV для 5-дневного исследования

неточности были $\leq 9,0$ % для всех методов. J. Barth и соавт. (2018) выявили 95-й центиль для тиреотропного гормона (мМЕ/л) в Abbott Architect (0,51–3,67); Beckman Unicel DxI (0,57–3,60); Roche Cobas (0,60–4,31) и Siemens Advia Centaur XP (0,63–4,29). Значения 95-го центиля для тироксина (пмоль/л) в Abbott Architect (10,6–15,5); Beckman Unicel DxI (7,9–13,0); Roche Cobas (12,5–19,6) и Siemens Advia Centaur XP (11,8–19,0); при этом значения референтных интервалов по производителям различались по тироксину, но существенно не различались для тиреотропного гормона. Исследование показывает, что существуют различия в референтных интервалах для гормонов щитовидной железы между аналитическими платформами [24].

Полагаем, перспективным направлением диагностической работы является формирование валидных критериев взаимодополняющих характеристик, находящихся на стыке функциональных и инструментальных методов междисциплинарного полиформатного взаимодействия. Одним из вариантов определения таких критериев является изучение корреляционных связей между классическими показателями не столько в рамках одного метода исследования, сколько с привлечением сопутствующих методов; в частности, лабораторный контроль и функциональное нагрузочное тестирование, субъективный самоконтроль по общепринятым протоколам и переносимость нагрузок с обратной связью и т.д.

Современная материально-техническая база позволяет использовать большое количество мобильных и стационарных диагностических аппаратов. Рациональное использование медицинского диагностического оборудования, методов врачебно-педагогических наблюдений позволит повысить экономическую эффективность, практическую значимость и научную достоверность полученных результатов с учетом этапа подготовки и условий его использования [25].

Важнейшим естественным «корректором» функционального состояния наряду с полноценным сном, активным отдыхом и рациональным медицинским обеспечением является персонифицированное питание атлетов, которое в значительной степени зависит от направленности тренировочного процесса, этапа подготовки, возраста, особенностей работы ЖКТ и пищевых привычек.

Частые и длительные перемещения современного человека, активный межрасовый обмен генетической информацией, потребление разнообразных и новых продуктов питания (как правило, менее экологичных, чем поколения назад), биологических добавок, использование новых средств в сельском хозяйстве и в бытовой химии, высокая стрессорность жизнедеятельности человека безусловно негативно влияют как на переносимость пищевых продуктов, так и на приспособительные реакции человека в целом.

Особый интерес в последние годы набирает оценка качества питания посредством динамического

наблюдения за биомаркерами нутритивного статуса. Интегративные биомаркеры питания могут быть использованы для количественной оценки эффективного потребления, обоснования физиологического пищевого поведения, отслеживания реакции на терапевтические вмешательства. Безусловно, межиндивидуальные различия имеют генетическую основу, например связанную с наличием конкретных полиморфизмов, и также эпигенетическую основу, связанную с взаимодействием конкретного генотипа с характеристиками окружающей среды и возрастом.

Пищевое потребление должно оцениваться не только с точки зрения съеденного, но и с точки зрения ответной биологической реакции. Например, профили циркулирующих липидов отражают их потребление и также зависят от пищи, генотипа и состояния здоровья [26].

Разработка интегративных биомаркеров питания должна учитывать тесную связь между питанием и метаболизмом. Такие показатели могут быть количественными как индикаторы поступления, указывать на содержание конкретного вещества, и качественными, т.е. интегрировать общее влияние приема на организм (эффект применения). Интегративные динамические биохарактеристики питания могут помочь сформулировать индивидуальные диетические рекомендации для достижения оптимального здоровья для определенных фенотипов и генотипов, что в настоящее время называется «точное питание» [27, 28].

Биомаркеры должны определяться надежными, чувствительными, воспроизводимыми методами, которые обязаны быть и экономически целесообразными, а их концентрации в биопробах должны отражать динамические изменения как в отношении рассматриваемого состояния здоровья, так и в отношении диетического вмешательства [29].

В частности, в таблице 1 представлены основные из них [30].

Изучение генетических маркеров значительно продвинулось в последние годы благодаря разработке массивов высокой плотности, которые позволяют одновременно определять тысячи генетических полиморфизмов. Эти разработки облегчили исследования геномных широких ассоциаций (GWAS), которые позволили открыть новые гены и полиморфные варианты, связанные с потреблением кофе, минералов [31, 32].

Несмотря на быстрый прогресс, эпигенетика питания все еще находится на начальном этапе развития; необходимо провести еще много исследований, чтобы установить эпигенетические критерии в качестве новых биомаркеров здоровья. Транскрипт не является одинаковым для всех клеток организма и варьируется в зависимости от ткани и времени жизни. Получение образцов из печени, мышц или жировой ткани является серьезным ограничением метода. В этом отношении фракция мононуклеаров периферической крови представляет собой альтернативу, т.к. эти клетки способны

воспринимать внутренние и внешние сигналы, реагировать на них. Именно поэтому они были предложены в качестве источника транскриптомных биомаркеров здоровья, поскольку их профиль экспрессии генов частично отражает профиль экспрессии других тканей, особенно печени и мышц. Следовательно, изменения, происходящие в экспрессии генов в таких клетках, могут указывать на патологическое состояние, иметь прогностический компонент. Изменения транскриптома мононуклеаров наблюдались после употребления диет, богатых омега-3 полиненасыщенными жирными кислотами, других модификаций диеты. Более того, у детей описаны различия в экспрессии конкретных генов, связанные с частотой употребления сладкой пищи (TAS1R3) или с высоким содержанием жиров (UCN2) [33, 34]. Уровни экспрессии этих генов были предложены в качестве потенциальных биомаркеров употребления определенных продуктов питания. Учитывая влияние определенных вариантов генов и эпигенетических модификаций на уровень экспрессии генов, актуально интегрировать исследования транскриптомов с геномикой и особенно эпигеномикой, поскольку эпигеномный аппарат очень чувствителен к метаболическим сигналам.

Использование протеомики в исследованиях в области питания, к сожалению, не оправдало возложенных на нее ожиданий. Потенциально, сбор информации о пептидах, их расположении и функциях, паттернах их экспрессии в различных клетках обеспечивает большой материал для определения потенциальных биомаркеров [35–37].

Метабомика как относительно новая наука весьма эффективна для обнаружения метаболических высокоспецифичных для заболеваний признаков. В последние годы метаболомика используется в крупных когортных исследованиях питания с многообещающими результатами, чему способствуют совершенствование высокочувствительных технологий, а также растущая доступность баз данных (включая компоненты пищевых продуктов и их метаболические производные) [38–41].

Сегодня выявлено 39 метаболитов в сыворотке, которые коррелируют в общей сложности с 13 диетическими группами, включая цитрусовые, зеленые овощи, красное мясо, моллюски, рыбу, арахис, рис, масло, кофе, пиво, этанолсодержащие напитки и поливитамины [42].

В качестве примера описаны сильные связи между потреблением цитрусовых и стахидрина, кофе и тригонеллина (N-метилникотината), хинина или алкоголя и этилглюкуронида. Метаболомные исследования мочи выявили маркеры потребления мяса, овощей, цитрусовых, жирной рыбы, кофе, томатного сока. Кроме того, генетические биомаркеры имеют решающее значение для определения взаимосвязи между промежуточными продуктами метаболизма и заболеваниями. В настоящее время существуют уже сотни SNP, последовательно ассоциированных с различными фенотипами болезней, связанных с питанием [43, 44].

Таблица 1

Основные биомаркеры потребления пищевых продуктов (по типам биообразцов)

Table 1

Main biomarkers of food consumption (by types of biosamples)

Биомаркер Biomarker	Тип образца Biosample	Продукт Food
Алкилрезорцин	Плазма	Цельнозерновые продукты
Аллилметилсульфоксид (AMSO) или аллилметилсульфон (AMSO ₂)	Моча	Чеснок
Аллилметилсульфид (AMS)	Моча/дыхание	Чеснок
Арбутин	Плазма	Груша
Каротиноиды с витамином С	Плазма/сыворотка	Потребление фруктов и овощей (рекомендуется как лучший биомаркер, чем отдельно каротиноиды или витамин С)
Креатин	Сыворотка	Мясо, рыба
Креатинин	Моча	Мясо, рыба
Даидзеин	Моча/плазма	Соя
Производные дигидрокафеиновой кислоты	Моча	Кофе
Эритроновая кислота, отдельно или с фруктозой и/или сахарозой	Моча	Сахара
Геништейн	Моча/плазма	Соя
Гомоцистеин	Плазма	Фолиевая кислота
Гидроксированные и сульфированные метаболиты эскулеогенина В	Моча	Томатный сок
1-метилгистидин	Моча	Мясо, жирная рыба
n-3 жирные кислоты: докозагексаеновая кислота (DHA)	Кровь: эритроциты или тромбоциты	Омега-3 ПНЖК
n-3 жирные кислоты (в виде фосфолипида)	Плазма	Омега-3 ПНЭК
n-3 жирные кислоты: эйкозапентаеновая кислота (EPA фосфолипид)	Плазма	Эйкозапентаеновая кислота
N-ацетил-S-(2-карбоксипропил) цистеин (CPMA)	Моча	Лук, чеснок
Азот*	Моча (24 часа)	Белок
O-ацетилкарнитин	Моча	Потребление красного мяса
Пентадекановая кислота	Плазма/сыворотка	Молочный жир
Фенилацетилглутамин	Моча	Овощи
Флоретин глюкуронид	Моча	Яблоко
Пролин бетаин	Моча	Цитрусовые
S-аллилцистеин (SAC)	Плазма	Чеснок
S-аллилмеркаптуровая кислота (ALMA)	Моча	Чеснок
Уролитин В	Моча	Потребление эллагитанинов (клубника, малина и грецкие орехи, красное вино)

Прицельной ГХ-МС идентифицировано 25 уникальных жирных кислот плазмы у детей с легкой астмой. Линейная регрессия выявила значительную связь между линолевой, олеиновой, эруковой, цис-11-эйкозеновой, арахидоновой кислотами и показателями

дыхания в группе с избыточным весом / ожирением с поправкой на возраст и пол; при этом для арахидоновой, α-линоленовой и других кислот корреляции были минимальными. Оценка статуса жирных кислот может помочь клиницистам в принятии решения о модификации

диеты, которая может быть использована для индивидуальной диетотерапии для достижения лучшего контроля астмы, оптимальной функции легких и терапевтического ответа у детей [45].

С развитием и применением сложных масс-спектрометров, достижениями в области высокоэффективного хроматографического разделения и биоинформатики, а также с появлением анализа отдельных клеток и МС-визуализации будущие аналитические методы альдегид-экзомного анализа будут иметь более высокую чувствительность и производительность [46].

Исходя из вышеизложенного полагаем целесообразным в ближайшей перспективе развития лабораторной диагностики в спортивной медицине решать следующие задачи.

1. Определить референсные значения лабораторных показателей крови с учетом вида спорта, этапа подготовки, квалификации, возраста, пола, морфологических данных с помощью современных методов обработки данных (нейросети) с достаточной выборкой по ряду критериев [47–51].

2. Определить общие закономерности изменения лабораторных, функциональных, морфологических,

педагогических показателей у спортсменов в зависимости от вида спорта, пола, возраста, морфологических показателей, квалификации и этапа подготовки именно в восстановительный (межтренировочный) период как наиболее достоверный и информативный у высококвалифицированных спортсменов с последующим определением наиболее значимых критериев динамической оценки [52–55].

Организовать практикоориентированные исследования оценки статуса питания, его коррекции доступными методами и средствами, формирование научных основ индивидуализации питания.

Таким образом, формирование научно обоснованного «мостика» между различными методами исследований и, соответственно, показателями, реализуемыми в условиях естественного проведения учебно-тренировочного процесса и в лабораторных условиях, является актуальнейшей задачей современной спортивной лабораторной диагностики. Специализация школ по научным направлениям, последующая аналитическая работа по обобщению полученных результатов на стыке наук позволит достичь серьезных прикладных знаний [56, 57].

Вклад авторов:

Загородный Геннадий Михайлович — концепция и дизайн обзора; сбор и обработка материала; редактирование.

Шераш Наталья Владимировна — сбор и обработка материала; редактирование.

Будко Анастасия Николаевна — сбор и обработка материала.

Шведова Наталья Викторовна — сбор и обработка материала.

Authors' contributions:

Hennady M. Zaharodny — concept and design of the review; collection and processing of material; editing.

Natalya V. Sherash — collection and processing of material; editing.

Anastasia N. Budko — collection and processing of material.

Natalya V. Shvedova — collection and processing of material.

Список литературы

1. Занковец В.Э., Загородный Г.М. Анализ и оценка эффективности тренировочного процесса команды высоко-го спортивного мастерства. Прикладная спортивная наука. 2020;(1(11)):12–24.
2. Ландырь А.П., Ачкасов Е.Е., Медведев И.Б. Тесты с дозированной физической нагрузкой в спортивной медицине. Москва: ООО Издательство «Спорт»; 2019. 256 с.
3. Гаврилова Е.А. Клинические и экспертные вопросы электрокардиографии в спортивной медицине. Санкт-Петербург: Спорт; 2019. 273 с.
4. Платонов В.Н. Структура и содержание непосредственной подготовки спортсменов высокой квалификации к главным соревнованиям. Наука в олимпийском спорте. 2018;(2):17–41.
5. Курашвили В.А., Парастаев С.А., Поляев Б.А. Синдром переутомления: предикторы и биомаркеры (обзор зарубежных публикаций). В: XV международная научная конференция по вопросам состояния и перспективам развития медицины в спорте высших достижений «Спортмед-2020»: сборник материалов тезисов «СпортМед-2020» (ФМБА России); Москва, 10–11 декабря 2020 г.; Москва: РАСМиРБИ; 2020, с. 28–29.
6. Будко А.Н., Шераш Н.В., Гаврилова С.О. Сравнительный анализ изменений индивидуальных биохимических показателей у мужчин в шорт-треке в годичном цикле подготовки. Прикладная спортивная наука. 2020;(2(12)):33–43.

References

1. Zankovets, V.E., Zaharodny G.M. Analysis and assessment of the effectiveness of the training process of a team of high sports-manship. Prikladnaya sportivnaya nauka [Applied sports science]. 2020;(1(11)):12–24 (In Russ.).
2. Landyr A.P., Achkasov E.E., Medvedev I.B. Tests with dosed physical activity in sports medicine. Moscow: Sport Publ.; 2019. 256 p. (In Russ.).
3. Gavrilova E.A. Clinical and expert issues of electrocardiography in sports medicine. St. Petersburg: Sport Publ.; 2019. 273 p. (In Russ.).
4. Platonov V.N. The structure and content of direct training of highly qualified athletes for the main competitions. Nauka v olimpiiskom sporte = Science in Olympic sports. 2018;(2):17–41 (In Russ.).
5. Kurashvili V.A., Parastaev S.A., Polyayev B.A. Overfatigue syndrome: predictors and biomarkers (a review of foreign publications). In: XV international scientific conference on the state and prospects for the development of medicine in elite sports “Sport-med-2020”: Collection of abstracts “SportMed-2020” (FMBA of Russia); Moscow, 10–11.12.2020; Moscow: RASMiRBI; 2020. P. 28–29 (In Russ.).
6. Budko A.N., Sherash N.V., Gavrilova S.O. Comparative analysis of changes in individual biochemical parameters in men in short track speed skating in the annual training cycle. Prikladnaya sportivnaya nauka [Applied sports science]. –2020;(2(12)):33–43 (In Russ.).

7. Ширковец Е.А., Рыбина И.Л. Комплексный анализ метаболитов энергообеспечения и эргометрических данных при стандартном тестировании пловцов высокой квалификации. Вестник спортивной науки. 2019;(1):61–66.
8. Astolfi T., von Roten F.C., Kayser B., Saugy M., Faiss R. The Influence of Training Load on Hematological Athlete Biological Passport Variables in Elite Cyclists. *Front. Sports Act. Living.* 2021;3:618285. <https://doi.org/10.3389/fspor.2021.618285>
9. Simmons R., Doma K., Sinclair W., Connor J., Leicht A. Acute Effects of Training Loads on Muscle Damage Markers and Performance in Semi-elite and Elite Athletes: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Med.* 2021;51(10):2181–2207. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01486-x>
10. Hendrix J., Nijs J, Ickmans K., Godderis L., Ghosh M., Polli A. The Interplay between Oxidative Stress, Exercise, and Pain in Health and Disease: Potential Role of Autonomic Regulation and Epigenetic Mechanisms. *Antioxidants (Basel).* 2020;9(11):1166. <https://doi.org/10.3390/antiox9111166>
11. Biljak V.R., Vidranski V., Ružić L. Women in sports: the applicability of common national reference intervals for inflammatory and coagulation biomarkers. *Biochem. Med (Zagreb).* 2021;31(1):010702. <https://doi.org/10.11613/BM.2021.010702>
12. Reichel T., Boßlau T.K., Palmowski J., Eder K., Ringseis R., Mooren F.C., et al. Reliability and suitability of physiological exercise response and recovery markers. *Sci Rep.* 2020;10(1):11924. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-69280-9>
13. Varamenti E., Tod D., Pullinger S.A. Redox Homeostasis and Inflammation Responses to Training in Adolescent Athletes: a Systematic Review. *Sports Med. Open.* 2020;6(1):34. <https://doi.org/10.1186/s40798-020-00262-x>
14. Płoszczyca K., Jazic D., Piotrowicz Z., Chalimoniuk M. Comparison of maximal lactate steady state with anaerobic threshold determined by various methods based on graded exercise test with 3-minute stages in elite cyclists. *BMC Sports Sci. Med. Rehabil.* 2020;12(1):70. <https://doi.org/10.1186/s13102-020-00219-3>
15. Çetin S., Ece C., Paksoy M., Çetin H.N. Comparison of Lipid and Lipoprotein Values of Wrestlers and Soccer Players. *Turk. J. Pharm. Sci.* 2020;17(2):172–176. <https://doi.org/10.4274/tjps.galenos.2018.66934>
16. Walker A.J., McFadden B.A., Sanders D.J., Bozzini B.N. Early Season Hormonal and Biochemical Changes in Division I Field Hockey Players: Is Fitness Protective? *J. Strength Cond. Res.* 2020;34(4):975–981. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003492>
17. Nowakowska A., Kostrzewa-Nowak D., Buryta R., Nowak R. Blood Biomarkers of Recovery Efficiency in Soccer Players. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2019;16(18):3279. <https://doi.org/10.3390/ijerph16183279>
18. Sellami M., Al-Muraikhy S., Al-Jaber H., Al-Amri H. Al-Mansoori L., A Mazloun N., et al. Age and Sport Intensity-Dependent Changes in Cytokines and Telomere Length in Elite Athletes. *Antioxidants (Basel).* 2021;10(7):1035. <https://doi.org/10.3390/antiox10071035>
19. Sohail M.U., Al-Mansoori L., Al-Jaber H., Georgakopoulos C., Donati F., Botrè F., et al. Assessment of Serum Cytokines and Oxidative Stress Markers in Elite Athletes Reveals Unique Profiles Associated With Different Sport Disciplines. *Front. Physiol.* 2020;11:600888. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.600888>
20. Kaier T.E., Twerenbold R., Puelacher C., Marjot J., Imambaccus N., Boeddinghaus J., et al. Direct Comparison of Cardiac Myosin-Binding Protein C With Cardiac Troponins for the Early Diagnosis of Acute Myocardial Infarction. *Circulation.* 2021;143(12):1155–1165. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.120.052888>
7. Shirkovets E.A., Rybina I.L. Complex analysis of metabolites of energy supply and ergometric data during standard testing of highly qualified swimmers. *Vestnik sportivnoi nauki = Sports Science Bulletin.* 2019;(1):61–66 (In Russ.).
8. Astolfi T., von Roten F.C., Kayser B., Saugy M., Faiss R. The Influence of Training Load on Hematological Athlete Biological Passport Variables in Elite Cyclists. *Front. Sports Act. Living.* 2021;3:618285. <https://doi.org/10.3389/fspor.2021.618285>
9. Simmons R., Doma K., Sinclair W., Connor J., Leicht A. Acute Effects of Training Loads on Muscle Damage Markers and Performance in Semi-elite and Elite Athletes: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Med.* 2021;51(10):2181–2207. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01486-x>
10. Hendrix J., Nijs J, Ickmans K., Godderis L., Ghosh M., Polli A. The Interplay between Oxidative Stress, Exercise, and Pain in Health and Disease: Potential Role of Autonomic Regulation and Epigenetic Mechanisms. *Antioxidants (Basel).* 2020;9(11):1166. <https://doi.org/10.3390/antiox9111166>
11. Biljak V.R., Vidranski V., Ružić L. Women in sports: the applicability of common national reference intervals for inflammatory and coagulation biomarkers. *Biochem. Med (Zagreb).* 2021;31(1):010702. <https://doi.org/10.11613/BM.2021.010702>
12. Reichel T., Boßlau T.K., Palmowski J., Eder K., Ringseis R., Mooren F.C., et al. Reliability and suitability of physiological exercise response and recovery markers. *Sci Rep.* 2020;10(1):11924. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-69280-9>
13. Varamenti E., Tod D., Pullinger S.A. Redox Homeostasis and Inflammation Responses to Training in Adolescent Athletes: a Systematic Review. *Sports Med. Open.* 2020;6(1):34. <https://doi.org/10.1186/s40798-020-00262-x>
14. Płoszczyca K., Jazic D., Piotrowicz Z., Chalimoniuk M. Comparison of maximal lactate steady state with anaerobic threshold determined by various methods based on graded exercise test with 3-minute stages in elite cyclists. *BMC Sports Sci. Med. Rehabil.* 2020;12(1):70. <https://doi.org/10.1186/s13102-020-00219-3>
15. Çetin S., Ece C., Paksoy M., Çetin H.N. Comparison of Lipid and Lipoprotein Values of Wrestlers and Soccer Players. *Turk. J. Pharm. Sci.* 2020;17(2):172–176. <https://doi.org/10.4274/tjps.galenos.2018.66934>
16. Walker A.J., McFadden B.A., Sanders D.J., Bozzini B.N. Early Season Hormonal and Biochemical Changes in Division I Field Hockey Players: Is Fitness Protective? *J. Strength Cond. Res.* 2020;34(4):975–981. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003492>
17. Nowakowska A., Kostrzewa-Nowak D., Buryta R., Nowak R. Blood Biomarkers of Recovery Efficiency in Soccer Players. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2019;16(18):3279. <https://doi.org/10.3390/ijerph16183279>
18. Sellami M., Al-Muraikhy S., Al-Jaber H., Al-Amri H. Al-Mansoori L., A Mazloun N., et al. Age and Sport Intensity-Dependent Changes in Cytokines and Telomere Length in Elite Athletes. *Antioxidants (Basel).* 2021;10(7):1035. <https://doi.org/10.3390/antiox10071035>
19. Sohail M.U., Al-Mansoori L., Al-Jaber H., Georgakopoulos C., Donati F., Botrè F., et al. Assessment of Serum Cytokines and Oxidative Stress Markers in Elite Athletes Reveals Unique Profiles Associated With Different Sport Disciplines. *Front. Physiol.* 2020;11:600888. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.600888>
20. Kaier T.E., Twerenbold R., Puelacher C., Marjot J., Imambaccus N., Boeddinghaus J., et al. Direct Comparison of Cardiac Myosin-Binding Protein C With Cardiac Troponins for the Early Diagnosis of Acute Myocardial Infarction. *Circulation.* 2021;143(12):1155–1165. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.120.052888>

Circulation. 2017;136(16):1495–1508. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.117.028084>

21. **Bordoni L., Petracci I., Pelikant-Malecka I., Radulska A., Piangerelli M., Samulak J.J., et al.** Mitochondrial DNA copy number and trimethylamine levels in the blood: New insights on cardiovascular disease biomarkers. *FASEB J.* 2021;35(7):e21694. <https://doi.org/10.1096/fj.202100056R>

22. **Osawa Y., Nomura K., Kimira Y., Kushibe S., Takeyama K-I., Nagao M., et al.** Monitoring urinary collagen metabolite changes following collagen peptide ingestion and physical activity using ELISA with anti active collagen oligopeptide antibody. *Sci. Rep.* 2021;11(1):13527. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92934-1>.

23. **Radišić Biljak V., Đuras A., Čičak H., Vidranski V., Vidranski T., Peersman N., et al.** Women in sports: The applicability of reference intervals for 6 commercially available testosterone immunoassays. *Clin. Biochem.* 2020;84:55–62. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiochem.2020.06.006>

24. **La'ulu S.L., Kalp K.J., Straseski J.A.** How low can you go? Analytical performance of five automated testosterone immunoassays. *Clin. Biochem.* 2018;58:64–71. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiochem.2018.05.008>

25. **Самушия К.А., Загородный Г.М.** Проблемы и особенности медицинского обеспечения в общей системе подготовки спортсменов. *Прикладная спортивная наука.* 2019;(1(9)):87–94.

26. **Arab L.** Biomarkers of fat and fatty acid intake. *J. Nutr.* 2003;133(Suppl. 3):925S–932S. <https://doi.org/10.1093/jn/133.3.925S>

27. **Ramos-Lopez O., Milagro F.I., Allayee H., Chmurzynska A., Choi M.S., Curiet R., et al.** Guide for Current Nutrigenetic, Nutrigenomic and Nutriepigenetic Approaches for Precision Nutrition Involving the Prevention and Management of Chronic Diseases Associated with Obesity. *J. Nutrigenet. Nutrigenomics* 2017;10(1-2):43–62. <https://doi.org/10.1159/000477729>

28. **Felisbino K., Granzotti J.G., Bello-Santos L., Guiloski I.C.** Nutrigenomics in Regulating the Expression of Genes Related to Type 2 Diabetes Mellitus. *Front. Physiol.* 2021;12:699220. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.699220>

29. **De Vries J., Antoine J.M., Burzykowski T., Chiodini, A.** Markers for nutrition studies: Review of criteria for the evaluation of markers. *Eur. J. Nutr.* 2013;52(7):1685–1699. <https://doi.org/10.1007/s00394-013-0553-3>

30. **Picó C., Serra F., Rodríguez A.M., Keijer J., Palou A.** Biomarkers of Nutrition and Health: New Tools for New Approaches. *Nutrients.* 2019 May 16;11(5):1092. <https://doi.org/10.3390/nu11051092>

31. **Khaled K., Hundley V., Tsofliou F.** Poor Dietary Quality and Patterns Are Associated with Higher Perceived Stress among Women of Reproductive Age in the UK. *Nutrients.* 2021;13(8):2588. <https://doi.org/10.3390/nu13082588>

32. **Cornelis M.C., Byrne E.M., Esko T., Nalls M.A., Gan-na A., Paynter N., et al.** Genome-wide meta-analysis identifies six novel loci associated with habitual consumption. *Mol. Psychiatry.* 2015;20(5):647–656. <https://doi.org/10.1038/mp.2014.107>

33. **Afman L., Milenkovic D., Roche H.M.** Nutritional aspects of metabolic inflammation in relation to health—insights from transcriptomic biomarkers in PBMC of fatty acids and polyphenols. *Mol. Nutr. Food Res.* 2014;58(8):1708–1720. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201300559>

34. **Priego T., Sanchez J., Pico C., Ahrens W., De Henauf S., Kourides Y., et al.** TAS1R3 and UCN2 Transcript Levels in Blood Cells Are Associated with Sugary and Fatty Food Consumption

2017;136(16):1495–1508. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.117.028084>

21. **Bordoni L., Petracci I., Pelikant-Malecka I., Radulska A., Piangerelli M., Samulak J.J., et al.** Mitochondrial DNA copy number and trimethylamine levels in the blood: New insights on cardiovascular disease biomarkers. *FASEB J.* 2021;35(7):e21694. <https://doi.org/10.1096/fj.202100056R>

22. **Osawa Y., Nomura K., Kimira Y., Kushibe S., Takeyama K-I., Nagao M., et al.** Monitoring urinary collagen metabolite changes following collagen peptide ingestion and physical activity using ELISA with anti active collagen oligopeptide antibody. *Sci. Rep.* 2021;11(1):13527. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92934-1>.

23. **Radišić Biljak V., Đuras A., Čičak H., Vidranski V., Vidranski T., Peersman N., et al.** Women in sports: The applicability of reference intervals for 6 commercially available testosterone immunoassays. *Clin. Biochem.* 2020;84:55–62. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiochem.2020.06.006>

24. **La'ulu S.L., Kalp K.J., Straseski J.A.** How low can you go? Analytical performance of five automated testosterone immunoassays. *Clin. Biochem.* 2018;58:64–71. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiochem.2018.05.008>

25. **Samushia K.A., Zagharodny G.M.** Problems and features of medical support in the general system of training athletes. *Prikladnaya sportivnaya nauka [Applied sports science].* 2019;(1(9)):87–94 (In Russ.).

26. **Arab L.** Biomarkers of fat and fatty acid intake. *J. Nutr.* 2003;133(Suppl. 3):925S–932S. <https://doi.org/10.1093/jn/133.3.925S>

27. **Ramos-Lopez O., Milagro F.I., Allayee H., Chmurzynska A., Choi M.S., Curiet R., et al.** Guide for Current Nutrigenetic, Nutrigenomic and Nutriepigenetic Approaches for Precision Nutrition Involving the Prevention and Management of Chronic Diseases Associated with Obesity. *J. Nutrigenet. Nutrigenomics* 2017;10(1-2):43–62. <https://doi.org/10.1159/000477729>

28. **Felisbino K., Granzotti J.G., Bello-Santos L., Guiloski I.C.** Nutrigenomics in Regulating the Expression of Genes Related to Type 2 Diabetes Mellitus. *Front. Physiol.* 2021;12:699220. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.699220>

29. **De Vries J., Antoine J.M., Burzykowski T., Chiodini, A.** Markers for nutrition studies: Review of criteria for the evaluation of markers. *Eur. J. Nutr.* 2013;52(7):1685–1699. <https://doi.org/10.1007/s00394-013-0553-3>

30. **Picó C., Serra F., Rodríguez A.M., Keijer J., Palou A.** Biomarkers of Nutrition and Health: New Tools for New Approaches. *Nutrients.* 2019 May 16;11(5):1092. <https://doi.org/10.3390/nu11051092>

31. **Khaled K., Hundley V., Tsofliou F.** Poor Dietary Quality and Patterns Are Associated with Higher Perceived Stress among Women of Reproductive Age in the UK. *Nutrients.* 2021;13(8):2588. <https://doi.org/10.3390/nu13082588>

32. **Cornelis M.C., Byrne E.M., Esko T., Nalls M.A., Gan-na A., Paynter N., et al.** Genome-wide meta-analysis identifies six novel loci associated with habitual consumption. *Mol. Psychiatry.* 2015;20(5):647–656. <https://doi.org/10.1038/mp.2014.107>

33. **Afman L., Milenkovic D., Roche H.M.** Nutritional aspects of metabolic inflammation in relation to health—insights from transcriptomic biomarkers in PBMC of fatty acids and polyphenols. *Mol. Nutr. Food Res.* 2014;58(8):1708–1720. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201300559>

34. **Priego T., Sanchez J., Pico C., Ahrens W., De Henauf S., Kourides Y., et al.** TAS1R3 and UCN2 Transcript Levels in Blood Cells Are Associated with Sugary and Fatty Food Consumption

in Children. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 2015;100(9):3556–3564. <https://doi.org/10.1210/JC.2015-1976>

35. Ayoub H.M., McDonal M.R., Sullivan J.A., Tsao R., Meckling K.A. Proteomic Profiles of Adipose and Liver Tissues from an Animal Model of Metabolic Syndrome Fed Purple Vegetables. *Nutrients*. 2018;10(4):456. <https://doi.org/10.3390/nu10040456>

36. Senechal S., Kussmann M. Nutriproteomics: Technologies and applications for identification and quantification of biomarkers and ingredients. *Proc. Nutr. Soc.* 2011;70(3):351–364. <https://doi.org/10.1017/S0029665111000528>

37. Marshall J., Bowden P., Schmi J.C. Creation of a federated database of blood proteins: A powerful new tool for finding and characterizing biomarkers in serum. *Clin. Proteomics*. 2014;11(1):3. <https://doi.org/10.1186/1559-0275-11-3>

38. Mathers J.C. Nutrigenomics in the modern era. *Proc. Nutr. Soc.* 2017;76(3):265–275. <https://doi.org/10.1017/S002966511600080X>

39. Keijer J., van Helden Y.G., Bunschoten A., van Schothorst E.M. Transcriptome analysis in benefit-risk assessment of micronutrients and bioactive food components. *Mol. Nutr. Food Res.* 2010;54(2):240–248. <https://doi.org/10.1002/mnfr.200900304>

40. O’Gorman A., Brennan L. The role of metabolomics in determination of new dietary biomarkers. *Proc. Nutr. Soc.* 2017;76(3):295–302. <https://doi.org/10.1017/S0029665116002974>

41. Van Duynhoven J.M., Jacobs D.M. Assessment of dietary exposure in humans: The role of NMR. *Prog. Nucl. Magn. Reson. Spectrosc.* 2016;96:58–72. <https://doi.org/10.1016/j.pnmrs.2016.03.001>

42. Guertin K.A., Moore S.C., Sampson J.N., Huang W.Y., Xiao Q., Stolzenberg-Solomon R.Z., et al. Metabolomics in nutritional epidemiology: Identifying metabolites associated with diet and quantifying their potential to uncover diet-disease relations in populations. *Am. J. Clin. Nutr.* 2014;100(1):208–217. <https://doi.org/10.3945/ajcn.113.078758>

43. Pena-Romero A.C., Navas-Carrillo D., Marin F., Orenes-Pinero E. The future of nutrition: Nutrigenomics and nutrigenetics in obesity and cardiovascular diseases. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2018;58(17):3030–3041. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1349731>

44. Day K.J., Adamski M.M., Dordevic A.L., Murgia C. Genetic Variations as Modifying Factors to Dietary Zinc Requirements-A Systematic Review. *Nutrients*. 2017;9(2):148. <https://doi.org/10.3390/nu9020148>

45. Papamichael M.M., Katsardis C., Tsoukalas D., Itsiopoulos C., Erbas B. Plasma lipid biomarkers in relation to BMI, lung function, and airway inflammation in pediatric asthma. *Metabolomics*. 2021;17(7):63. <https://doi.org/10.1007/s11306-021-01811-5>

46. Zhu S., Zhao X.E., Liu H. Recent advances in chemical derivatization-based chromatography-mass spectrometry methods for analysis of aldehyde biomarkers. *Se Pu*. 2021;39(8):845–854. <https://doi.org/10.3724/SPJ.1123.2021.02023>

47. Obstfeld A.E., Patel K., Boyd J.C., Drees J., Holmes D.T., et al. Data Mining Approaches to Reference Interval Studies. *Clin. Chem.* 2021;67(9):1175–1181. <https://doi.org/10.1093/clinchem/hvab137>

48. Coisnon C., Mitchell M.A., Rannou B., Le Boedec K. Subjective assessment of frequency distribution histograms and consequences on reference interval accuracy for small sample sizes: A computer-simulated study. *Vet Clin Pathol.* 2021;50(3):427–441. <https://doi.org/10.1111/vcp.13000>

49. Harb S.C., Bhat P., Cremer P.C., Wu Y., Cremer L.J., Berger S., et al. Prognostic Value of Functional Capacity in Different Exercise Protocols. *J. Am. Heart Assoc.* 2020;9(13):e015986. <https://doi.org/10.1161/JAHA.119.015986>

in Children. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 2015;100(9):3556–3564. <https://doi.org/10.1210/JC.2015-1976>

35. Ayoub H.M., McDonal M.R., Sullivan J.A., Tsao R., Meckling K.A. Proteomic Profiles of Adipose and Liver Tissues from an Animal Model of Metabolic Syndrome Fed Purple Vegetables. *Nutrients*. 2018;10(4):456. <https://doi.org/10.3390/nu10040456>

36. Senechal S., Kussmann M. Nutriproteomics: Technologies and applications for identification and quantification of biomarkers and ingredients. *Proc. Nutr. Soc.* 2011;70(3):351–364. <https://doi.org/10.1017/S0029665111000528>

37. Marshall J., Bowden P., Schmi J.C. Creation of a federated database of blood proteins: A powerful new tool for finding and characterizing biomarkers in serum. *Clin. Proteomics*. 2014;11(1):3. <https://doi.org/10.1186/1559-0275-11-3>

38. Mathers J.C. Nutrigenomics in the modern era. *Proc. Nutr. Soc.* 2017;76(3):265–275. <https://doi.org/10.1017/S002966511600080X>

39. Keijer J., van Helden Y.G., Bunschoten A., van Schothorst E.M. Transcriptome analysis in benefit-risk assessment of micronutrients and bioactive food components. *Mol. Nutr. Food Res.* 2010;54(2):240–248. <https://doi.org/10.1002/mnfr.200900304>

40. O’Gorman A., Brennan L. The role of metabolomics in determination of new dietary biomarkers. *Proc. Nutr. Soc.* 2017;76(3):295–302. <https://doi.org/10.1017/S0029665116002974>

41. Van Duynhoven J.M., Jacobs D.M. Assessment of dietary exposure in humans: The role of NMR. *Prog. Nucl. Magn. Reson. Spectrosc.* 2016;96:58–72. <https://doi.org/10.1016/j.pnmrs.2016.03.001>

42. Guertin K.A., Moore S.C., Sampson J.N., Huang W.Y., Xiao Q., Stolzenberg-Solomon R.Z., et al. Metabolomics in nutritional epidemiology: Identifying metabolites associated with diet and quantifying their potential to uncover diet-disease relations in populations. *Am. J. Clin. Nutr.* 2014;100(1):208–217. <https://doi.org/10.3945/ajcn.113.078758>

43. Pena-Romero A.C., Navas-Carrillo D., Marin F., Orenes-Pinero E. The future of nutrition: Nutrigenomics and nutrigenetics in obesity and cardiovascular diseases. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2018;58(17):3030–3041. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1349731>

44. Day K.J., Adamski M.M., Dordevic A.L., Murgia C. Genetic Variations as Modifying Factors to Dietary Zinc Requirements-A Systematic Review. *Nutrients*. 2017;9(2):148. <https://doi.org/10.3390/nu9020148>

45. Papamichael M.M., Katsardis C., Tsoukalas D., Itsiopoulos C., Erbas B. Plasma lipid biomarkers in relation to BMI, lung function, and airway inflammation in pediatric asthma. *Metabolomics*. 2021;17(7):63. <https://doi.org/10.1007/s11306-021-01811-5>

46. Zhu S., Zhao X.E., Liu H. Recent advances in chemical derivatization-based chromatography-mass spectrometry methods for analysis of aldehyde biomarkers. *Se Pu*. 2021;39(8):845–854. <https://doi.org/10.3724/SPJ.1123.2021.02023>

47. Obstfeld A.E., Patel K., Boyd J.C., Drees J., Holmes D.T., et al. Data Mining Approaches to Reference Interval Studies. *Clin. Chem.* 2021;67(9):1175–1181. <https://doi.org/10.1093/clinchem/hvab137>

48. Coisnon C., Mitchell M.A., Rannou B., Le Boedec K. Subjective assessment of frequency distribution histograms and consequences on reference interval accuracy for small sample sizes: A computer-simulated study. *Vet Clin Pathol.* 2021;50(3):427–441. <https://doi.org/10.1111/vcp.13000>

49. Harb S.C., Bhat P., Cremer P.C., Wu Y., Cremer L.J., Berger S., et al. Prognostic Value of Functional Capacity in Different Exercise Protocols. *J. Am. Heart Assoc.* 2020;9(13):e015986. <https://doi.org/10.1161/JAHA.119.015986>

50. Ruzhanskaya A., Ichihara K., Evgina S., Skibo I., Vybornova N., Vasiliev A., et al. Sources of variation and establishment of Russian reference intervals for major hormones and tumor markers. PLOS ONE. 2021;16(1):e0234284. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0234284>

51. Al-Mallah M.H., Juraschek S.P., Whelton S., Dardari Z.A., Ehrman J.K., Michos E.D., et al. Sex Differences in Cardiorespiratory Fitness and All-Cause Mortality: The Henry Ford Exercise Testing (FIT) Project. Mayo Clin. Proc. 2016;91(6):755–762. <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2016.04.002>

52. da Silva B.V.C., Simim M.A.M., da Silva R.B., Mendes E.L., Ide B.N., Marocolo M., et al. Time Course of Recovery for Performance Attributes and Circulating Markers of Muscle Damage Following a Rugby Union Match in Amateur Athletes. Sports (Basel). 2020;8(5):64. <https://doi.org/10.3390/sports8050064>

53. Daly L.S., Catháin C.Ó., Kelly D.T. Gaelic Football Match-Play: Performance Attenuation and Timeline of Recovery. Sports (Basel). 2020;8(12):166. <https://doi.org/10.3390/sports8120166>

54. de Carvalho G., Girasol C.E., Gonçalves L.G.C., Guirro E.C., de Jesus Guirro R.R. Correlation between skin temperature in the lower limbs and biochemical marker, performance data, and clinical recovery scales. PLoS One. 2021;16(3):e0248653. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0248653>

55. Huggins R.A., Fortunati A.R., Curtis R.M., Looney D.P., West C.A., Lee E.C., et al. Monitoring Blood Biomarkers and Training Load Throughout a Collegiate Soccer Season. J. Strength Cond. Res. 2019;33(11):3065–3077. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002622>

56. Загородный Г.М. О совершенствовании научно-методического и медицинского обеспечения подготовки спортсменов национальных и сборных команд Республики Беларусь. Прикладная спортивная наука. 2018;(1(7)):92–98.

57. Ачкасов Е.Е., Машковский Е.В., Безуглов Э.Н., Юрку К.В. Медико-биологические аспекты восстановления в профессиональном и любительском спорте. Медицинский вестник Северного Кавказа. 2018;13(1–1):126–132.

50. Ruzhanskaya A., Ichihara K., Evgina S., Skibo I., Vybornova N., Vasiliev A., et al. Sources of variation and establishment of Russian reference intervals for major hormones and tumor markers. PLOS ONE. 2021;16(1):e0234284. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0234284>

51. Al-Mallah M.H., Juraschek S.P., Whelton S., Dardari Z.A., Ehrman J.K., Michos E.D., et al. Sex Differences in Cardiorespiratory Fitness and All-Cause Mortality: The Henry Ford Exercise Testing (FIT) Project. Mayo Clin. Proc. 2016;91(6):755–762. <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2016.04.002>

52. da Silva B.V.C., Simim M.A.M., da Silva R.B., Mendes E.L., Ide B.N., Marocolo M., et al. Time Course of Recovery for Performance Attributes and Circulating Markers of Muscle Damage Following a Rugby Union Match in Amateur Athletes. Sports (Basel). 2020;8(5):64. <https://doi.org/10.3390/sports8050064>

53. Daly L.S., Catháin C.Ó., Kelly D.T. Gaelic Football Match-Play: Performance Attenuation and Timeline of Recovery. Sports (Basel). 2020;8(12):166. <https://doi.org/10.3390/sports8120166>

54. de Carvalho G., Girasol C.E., Gonçalves L.G.C., Guirro E.C., de Jesus Guirro R.R. Correlation between skin temperature in the lower limbs and biochemical marker, performance data, and clinical recovery scales. PLoS One. 2021;16(3):e0248653. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0248653>

55. Huggins R.A., Fortunati A.R., Curtis R.M., Looney D.P., West C.A., Lee E.C., et al. Monitoring Blood Biomarkers and Training Load Throughout a Collegiate Soccer Season. J. Strength Cond. Res. 2019;33(11):3065–3077. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002622>

56. Zaharodny G.M. About improving the scientific, methodological and medical support of training athletes of national and national teams of the Republic of Belarus. Prikladnaya sportivnaya nauka [Applied sports science]. 2018;(1(7)):92–98 (In Russ.).

57. Achkasov E.E., Mashkovsky E.V., Bezuglov E.N., Yurku K.V. Medical and biological aspects of recovery in professional and amateur sports. Meditsinskii vestnik Severnogo Kavkaza = Medical News of the North Caucasus. 2018;13(1–1):126–132 (In Russ.).

Информация об авторах:

Загородный Геннадий Михайлович*, к.м.н., доцент, врач высшей категории по спортивной медицине, ведущий научный сотрудник ГУ «Республиканский научно-практический центр спорта», 220020, Республика Беларусь, Минск, Нарочанская ул., 8. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7904-9565> (+3 (752) 96911061; 6911061@tut.by)

Шераш Наталья Владимировна, заведующая лабораторией биохимии спорта ГУ «Республиканский научно-практический центр спорта», 220020, Республика Беларусь, Минск, Нарочанская ул., 8 (+375291900110)

Будко Анастасия Николаевна, старший научный сотрудник лаборатории биохимии спорта ГУ «Республиканский научно-практический центр спорта», 220020, Республика Беларусь, Минск, Нарочанская ул., 8 (+375291092565)

Шведова Наталья Викторовна, научный сотрудник лаборатории биохимии спорта ГУ «Республиканский научно-практический центр спорта», 220020, Минск, Республика Беларусь, Нарочанская ул., 8 (+375296628880)

Information about the authors:

Hennady M. Zaharodny*, M.D., Ph.D. (Medicine), Associate Professor, Doctor of the Highest Category in Sports Medicine, Leading Researcher of the State University “Republican Scientific and Practical Center of Sports”, 8, Narochanskaya str., Minsk, 220020, Republic of Belarus. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7904-9565> (+3 (752) 96911061; 6911061@tut.by)

Natalya V. Sherash, Head of the Laboratory of Sports Biochemistry of the State University “Republican Scientific and Practical Center of Sports”, 8, Narochanskaya str., Minsk, 220020, Republic of Belarus (+375291900110)

Anastasia N. Budko, Senior Researcher of the Laboratory of Sports Biochemistry of the State University “Republican Scientific and Practical Center of Sports”, 8, Narochanskaya str., Minsk, 220020, Republic of Belarus (+375291092565)

Natalya V. Shvedova, Researcher of the Laboratory of Sports Biochemistry of the State University “Republican Scientific and Practical Center of Sports”, 8, Narochanskaya str., Minsk, 220020, Republic of Belarus (+375296628880)

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author