

## ЦИФРОВИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ОПЕРАТИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ РЕЗЕРВОВ И ОЦЕНКИ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ СПОРТСМЕНОВ

*В.В. Эрлих, Д.З. Шибкова, П.А. Байгужин*

*Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия*

**Цель:** анализ подходов к цифровизации технологий оперативной диагностики функциональных резервов и оценки готовности организма спортсменов к соревновательной деятельности, обоснование модели многомерного анализа динамической структуры мобилизуемых резервов организма. **Методология исследования.** Использован теоретический анализ научных публикаций отечественных и зарубежных авторов за последние десять лет по разработке и внедрению цифровых технологий в области спортивной физиологии и медицины. **Результаты.** Аналитический обзор литературы свидетельствует, что в настоящее время разработаны и внедрены сотни технологий оценки функционального состояния и резервов, реализованных во множестве программно-аппаратных диагностических комплексов и дистанционных регистраторов, большая часть которых решает частные задачи и не отражает полипараметрическую интеграцию подготовленности спортсмена к соревновательной деятельности; представлена авторская концептуальная модель многомерного анализа динамической структуры мобилизуемых резервов организма с последующим формированием состояния готовности спортсмена к соревновательной деятельности. **Заключение.** Концептуальная модель может служить основанием для создания единой цифровой платформы на основе полипараметрической интеграции, которая объединит инновационные достижения в области оперативной оценки функционального состояния, мобилизации резервов и готовности организма спортсменов к эффективной соревновательной деятельности.

*Ключевые слова:* цифровизация, датчики, оперативная оценка, диагностика, функциональное состояние, функциональные резервы, функциональная готовность, спортсмены, спортивная медицина, спортивная физиология.

**Введение.** Цифровизация технологий оперативной диагностики функционального резерва организма и подготовленности (готовности) спортсмена к соревновательной деятельности относится к прикладной области спортивной физиологии и медицины. Однако без фундаментальной разработки [6] очевидна неизбежность кризиса в решении поставленной задачи. Отечественные ученые проблему оценки резервов организма спортсмена рассматривали и рассматривают как фундаментальную, с позиций теории адаптации и в приложении к тренировке [11, 13, 17, 33].

Выявляемая частота нарушений показателей «срочной» адаптации и симптомов дизадаптации организма спортсменов в соревновательный период их подготовки указывает на необходимость совершенствования средств *оперативной диагностики* функциональных резервов [25]. Одной из причин, приводящих к раннему истощению резервов организма у молодых спортсменов, замедлению роста спортивных результатов, является использо-

вание одинаковых по структуре программ тренировки взрослых спортсменов и юниоров высокой квалификации [42], в связи с чем повышается значимость качества контроля реакций систем организма на предлагаемые тренировочные нагрузки и масштаб соревновательной практики [41]. Отсутствие такого оперативного контроля приводит к неадекватному распределению экстремальных нагрузок, преждевременному истощению резервов организма, снижению уровня «профессиональной готовности», нестабильной результативности, сокращению профессионального долголетия.

Из вышесказанного следует, что условием достижения высокого уровня профессиональной готовности является оперативная диагностика и динамическая оценка состояния организма спортсменов на основе современных неинвазивных методов и цифровых технологий, а также адекватная коррекция выявленных нарушений по принципу «здесь и сейчас».

**Цель обзора:** анализ подходов к цифровизации технологий оперативной диагностики функциональных резервов и оценки готовности организма спортсменов к соревновательной деятельности, обоснование модели многомерного анализа динамической структуры мобилизуемых резервов организма.

**Методология исследования.** В работе использован теоретический анализ научных исследований, посвященных разработке и внедрению цифровых технологий оперативной диагностики функциональных резервов и оценке готовности организма спортсменов. Анализировались опубликованные за последние десять лет результаты исследований отечественных и зарубежных авторов в области спортивной физиологии и медицины.

**Результаты.** Подходы к оперативной диагностике функциональных резервов спортсменов. Анализ публикаций, в которых представлены «цифровые» технологии оценки функционального состояния или функционального резерва спортсменов, показал, что смысловое понимание терминов «информационные технологии», «цифровые технологии», «визуализация процессов», «функциональное состояние», «функциональная готовность», «функциональный резерв» и др. до настоящего времени в спортивной науке трактуются многообразно. Целевой «семантический паспорт» ключевых слов настоящей статьи основан на отборе формулировок, используемых современными авторами в рамках системно-информационного подхода и теории адаптации [3, 19, 36, 39].

Авторами настоящей статьи понятие «функциональные резервы организма спортсмена» трактуется следующим образом: это количественно-качественные различия между параметрами физиологических процессов и уровня регуляторных механизмов, выявляемых в системах жизнеобеспечения в условиях «относительного покоя», и теми же параметрами, фиксируемыми в условиях экстремальной деятельности до отказа. Интенсивность и направленность активации исполнительных систем обеспечения экстремальной деятельности выражается количественно-качественным соотношением перестройки внутри- и межсистемных взаимосвязей между «исходным» и «экстремальным» функциональными состояниями. Индивидуальные различия в перестройках связей определяются правилом «исходного состояния».

Сформулированная гипотеза о неспецифическом информационном синдроме дезинтеграции различных функциональных систем при экстремальных воздействиях на человека [39] обосновывает причинно-следственные связи в нарушениях кросс-корреляционных отношений гомеостатических систем организма. Неспецифический синдром *дезинтеграции связей функциональных систем рассматривается как первая информационная стадия нарушения физиологических функций*, которая в условиях продолжения экстремального воздействия может переходить в патологическую метаболическую стадию.

В 2000-х годах активно разрабатывались информационные технологии оценки функционального состояния и функциональных резервов организма. В данных технологиях важным аспектом явилось *определение соотношений параметров* как максимально информативный диагностический признак [8].

На современном этапе развития спортивной науки дано физиологическое обоснование формирования и развития следующих функциональных состояний у спортсменов: оперативный покой, работоспособность, нервно-психическое напряжение, тренированность, монотония, утомление, хроническое утомление и переутомление, перетренированность и перенапряжение [14].

Информация, получаемая в ходе современных методов диагностики функционального состояния, резервов и готовности спортсменов к соревновательной деятельности, в результате цифровой ее обработки максимально визуализируется. Визуализация как отражение конкретного качественного состояния субъекта эффективна в формате, доступном для восприятия не только специалистами группы сопровождения, но и самими спортсменами [7].

Большинство предлагаемых технологий оценки функционального состояния и резервов, реализованных во множестве программно-аппаратных диагностических комплексов [25, 35, 37, 46], не отражают полипараметрическую информационную интеграцию именно функциональной готовности спортсмена.

С целью оценки современного состояния диагностического инструментария функциональных резервов организма нами проведен анализ содержания более 90 изобретений, полезных моделей и программ ЭВМ, представленных на официальном сайте федерального

института промышленной собственности за период 2005–2019 гг. Все инновационные (оригинальные) подходы к оценке функциональных резервов организма можно условно разделить на четыре группы.

*Первая группа* способов и технологий реализована на прямом измерении показателей функциональных систем организма **в состоянии относительного покоя**. В основе таких изобретений представлен результат многофакторного или регрессионного анализа с вычислением показателя (индекса), характеризующего функциональные резервы организма [12, 48].

Во *второй группе* способов и технологий для определения резервных возможностей обследуемому предъявляется **функциональная нагрузка (проба)**. Целевая область подобных инноваций – спортивная медицина, в которой объединяются технологии, отражающие динамические характеристики исследуемых показателей с последующей оценкой реакции на специфическую нагрузку, реализованную, как правило, при использовании технических устройств или методических приемов [20, 21].

*Третья группа* способов отражает оценку **резервов отдельных органов** функциональных систем и находит свое применение в области функциональной диагностики определенной отрасли медицинской науки. Целевой аудиторией обследованных являются индивидуумы с нарушениями функций вследствие развития у них патологического процесса. Интерпретация результатов иммуноферментного, биохимического анализов позволяет оценить, например, функциональный резерв миокардиального кровотока [40].

*Четвертая группа* технологий диагностики функциональных резервов организма отражает различного рода **аналитические системы конфигурации комплекса показателей** кардиореспираторной системы, физической работоспособности с последующим их шкалированием, интеграцией и сопоставлением с половозрастной нормой. В данной группе технологий особенную часть представляют способы определения параметров функционального состояния ЦНС. В качестве критерияльных показателей используются оценка возбудимости, уравновешенности, силы и лабильность нервных процессов, а также степень проявления психомоторных способностей [30, 34]. Такие способы позволяют повы-

сить точность оценки соответствия индивидуально-типологических особенностей индивидуума психофизиологическим требованиям спортивной деятельности. Среди способов оценивания функциональных резервов организма выделяют группу исследований, результаты которых позволяют выявлять предрасположенность к эффективной спортивной деятельности на основе молекулярно-генетического тестирования [1, 26].

Варианты скрининг-оценки уровня психофизиологического и соматического здоровья для определения функциональных и адаптивных резервов организма характеризуются применением полифункциональных датчиков [51, 58], объединенных в аппаратно-программные комплексы [52]. Такого рода комплексы предназначены для диагностики функционального состояния спортсмена при проведении этапного, текущего и оперативного контроля (во время тренировки). Программы оценивают состояние сердечно-сосудистой системы, центральной нервной системы, психоэмоциональный статус и уровень функциональной подготовленности спортсмена. Вычисленные оценки используют для коррекции тренировочных нагрузок и прогноза здоровья спортсмена. Вычисляют также интегральную оценку функциональных резервов организма по специальному нелинейному алгоритму с выявлением «слабого звена» [2].

Применительно к спортивной деятельности современные программные продукты (например, Диамед-Спорт) позволяют дать объективную оценку соматического, психоэмоционального, психосоматического состояния, а также функциональным и адаптационным резервам спортсменов [29].

Последние отечественные технические разработки позволяют проводить регистрацию показателей функциональной готовности (не резервов) в режиме «здесь и сейчас». Так, например, для определения времени инерционности зрительной системы человека применяется аппаратно-программный комплекс (шлем, очки или линзы), формирующий *дополненную реальность*. Современные аппаратно-программные комплексы реализуют видеоконтроль действий человека и визуализируют контент на поле его действий в реальном времени [18, 44].

Виртуальная реальность (VR) в определенных условиях может быть использована в качестве замещающей технологии, позволяю-

щей оперативно оценить физиологическое и психологическое состояния человека, пребывающего в условиях иммерсивной среды, воссоздающей реалистичные ситуации [49, 61]. Разрабатываются аппаратно-программные комплексы, объединяющие в единой среде технологии биоуправления и виртуальной реальности для решения задачи оптимизации психофизиологических состояний спортсменов [37].

Широкое применение *мобильных приложений* для смартфонов позволяет управлять основными режимными моментами подготовки спортсмена – осуществлять цифровой мониторинг [60]. *Носимые датчики* дают возможность неинвазивного и непрерывного мониторинга биомаркеров из слюны или потовой жидкости [57, 62], дистанционного мониторинга сердечно-сосудистой пульсовой волны [47] и системы внешнего дыхания спортсменов [56].

Сотрудниками Института спорта, туризма и сервиса (ИСТИС) – образовательно-научного структурного подразделения Южно-Уральского государственного университета (Национального исследовательского университета) – предложена модель цифрового сопровождения спортивной деятельности, в основе которой – интеграция инновационных цифровых технологий в единую систему «Цифровой ИСТИС».

Так, например, в рамках *инструментальной цифровой платформы* разработан и реализован способ комплексной оценки функционального состояния и уровня функциональной подготовленности хоккеистов. Ресурсы *инфраструктурной цифровой платформы* (аналитические системы обработки big data) позволяют данные обследования трансформировать в результаты исследования, на основании которых возможно принятие управленческих решений как на уровне тренерского состава, спортивного врача и психолога, так и на уровне менеджера команды. В рамках *прикладной цифровой платформы* модель медико-биологического сопровождения юных хоккеистов может быть экстраполирована на систему подготовки спортсменов – учащихся детско-юношеских спортивных школ Олимпийского резерва различных спортивных специализаций. В основе деятельности цифровых платформ лежит единый подход к оценке интегральной реактивности организма спортсменов с использованием

инновационных разработок научно-исследовательского центра спортивной науки ИСТИС.

С помощью технологии анализа big data и машинного обучения выявлены скрытые закономерности влияния постурального баланса на изменение электрокардиографических показателей единокорцев. В результате создана математическая модель Random Forest для прогнозирования возможных изменений электрической активности сердца.

Результаты биомеханического тестирования нейромышечной регуляции на BIODEx SYSTEM 4PRO юношей-тяжелоатлетов высокой спортивной квалификации позволили совершенствовать технику выполнения соревновательных упражнений за счет оперативной коррекции статокинетической устойчивости, направленности рекрутирования мышц, оптимизации режимов расслабления и напряжения.

Интеграция целого ряда инновационных цифровых технологий в общую цифровую систему «интернет вещей» (IoT) обеспечила возможность сотрудникам НИЦ спортивной науки ИСТИС<sup>1</sup> создать действующий концепт – «цифровой двойник спортсмена».

В основе интегральной оперативной оценки резервов организма лежит online-мониторинг состояния функциональных систем тренирующегося спортсмена. Данные, поступающие от датчиков бесконтактной регистрации ЭКГ, от системы нательных датчиков Xsens с инерционной системой захвата движений, а также тепловизора VALTECH TR-01200, на основе многоуровневой нейронной сети формируют цифровую кинематическую 3D-модель техники движения.

Представленные результаты дают основание сделать предварительное заключение о том, что цифровой контроль комплекса параметров – техники движений, восстановительных мероприятий, режимных моментов (питание, сон) – позволяет индивидуализировать программу тренировочного процесса спортсменов, а также решить ряд задач профилактической и спортивной медицины.

За последние пять лет в литературе акцентируется внимание на обязательном включении данных о психофизиологическом состоянии и психодиагностики в общую про-

<sup>1</sup> В сотрудничестве с коллегами из Университета Париж-Юг XI (Франция), Национального государственного университета физкультуры, спорта и здоровья им. П.Ф. Лесгафта (Санкт-Петербург) и Сарapulьского радиозавода.

грамму мониторинга динамики физической работоспособности и физиологических реакций спортсменов [50, 55]. Тесная взаимосвязь между физиологическим и психологическим состояниями элитных пловцов в предсоревновательный период была выявлена [53] с помощью опросника RESTQ-36-R-Sport.

Однако современный инструментарий психологической диагностики функциональных резервов спортсменов отличается консервативностью подходов к оценке реактивности личности и часто сводится к интерпретации субъективных параметров – самооценок состояний [31, 45]. Следовательно, включение объективных инструментальных методов оценки психофизиологического состояния спортсмена на всех этапах его подготовки к соревновательной деятельности будет обеспечивать профилактику профессионального выгорания и включение своевременных коррекционных мероприятий по снятию эмоциональной неустойчивости. Это одна из актуальных задач спортивной физиологии и психологии.

*Критерии оперативной диагностики функциональных резервов и оценки готовности спортсменов.* В современной спортивной физиологии и медицине оперативной диагностики функциональных резервов и оценки готовности спортсменов разрабатываются как универсальные критерии оценивания, так и специальные, характерные для конкретных видов спорта.

Согласно классификации [24], резервные возможности организма спортсменов могут проявляться в изменениях интенсивности и скорости: энергетических и пластических процессов обмена на клеточном и тканевом уровнях; физиологических процессов на уровне органов, систем и организма в целом; в увеличении физических и повышении психических качеств; в способности к выработке новых и совершенствованию приобретенных навыков. На основе такой характеристики *функциональные резервы* могут быть подразделены:

– на биохимические, связанные с экономичностью и интенсивностью энергетического и пластического обменов и их регуляций;

– физиологические, связанные с интенсивностью, экономичностью и длительностью работы органов и систем органов и их нейрогуморальной регуляцией, что находит свое выражение в работоспособности организма;

– спортивно-технические, связанные со способностью к совершенствованию имеющихся и выработанных навыков двигательных и тактических навыков;

– психологические, связанные с готовностью к соревнованию, со способностью превозмоочь утомление и неприятные, даже болевые ощущения, с готовностью пойти на риск ради достижения осознанной цели.

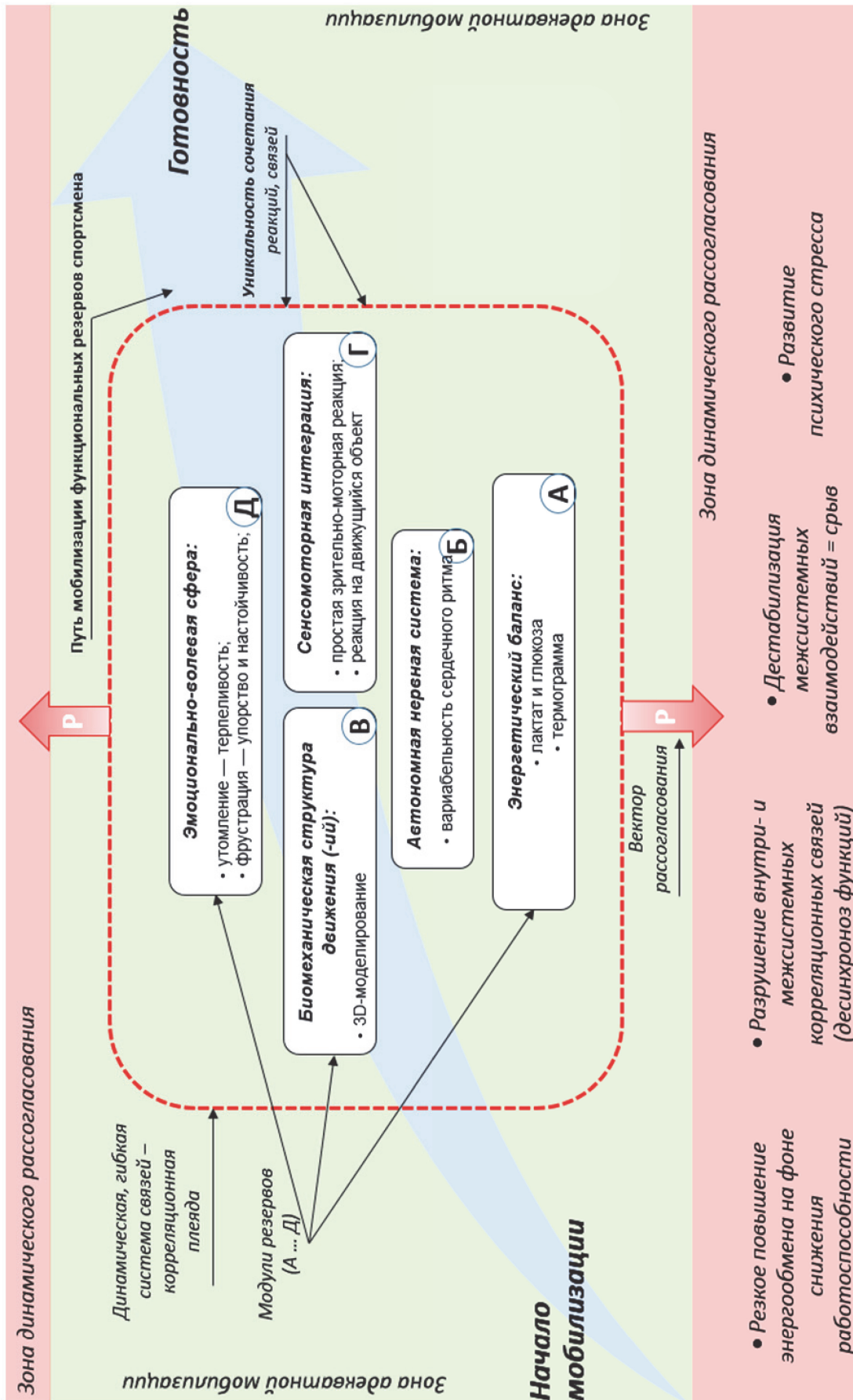
В литературе предлагаются разнообразные маркеры оценки биохимических резервов [4, 5, 9, 38]; физиологических резервов [15, 32, 54]; психологических и психофизиологических резервов [16].

Исследуются изменения внутри- и межсистемных связей между функциональными, психофизиологическими и биохимическими процессами в организме спортсменов в ходе спортивной деятельности [17] или после стимуляции различной модуляции [10]. Предлагаются новые подходы и критерии оценки функционального резерва и готовности спортсменов к соревновательной нагрузке [21, 22, 28].

Практическую значимость приобретают результаты исследований, характеризующих проявление идентичных особенностей функциональных состояний у представителей различных профессий, например, у военнослужащих, квалифицированных нейрохирургов и элитных спортсменов. Общими навыками являются: сосредоточенное внимание, контроль над своими эмоциями и реакцией на стресс, особенности визуально-пространственной обработки информации и проявления антиципации. Профессиональная деятельность указанных специалистов осуществляется с обязательным использованием функциональных резервов организма [14, 59].

На основе анализа представленной совокупности критериев оперативной диагностики функциональных резервов организма спортсменов и результатов исследований, проведенных на базе НИЦ ИСТиС ЮУрГУ, авторами предлагается концептуальная модель многомерного анализа динамической структуры мобилизуемых резервов организма, отражающая формирование функциональной готовности спортсмена (см. рисунок).

Предлагаемая модель-схема принципиальная и рассчитана на условия применения цифровых дистанционных технологий оперативной оценки функциональных резервов



Модель многомерного анализа динамической структуры мобилизуемых резервов организма  
Model of multidimensional analysis of the dynamic structure of mobilized reserves of the body

и готовности спортсмена к эффективной соревновательной деятельности. Схема отражает динамическое развертывание мобилизации функциональных резервов с последующим формированием состояния готовности спортсмена к соревновательной деятельности. Процесс мобилизации рассматривается нами как временной континуум. Мобилизация системы функциональных резервов позволяет определить направленность срочных адаптивно-компенсаторных сдвигов: конструктивных с точки зрения полезного результата (достижение состояния готовности) или деструктивных, направленных в зону «динамического рассогласования».

Применение современных цифровых технологий обеспечивает оперативность оценки текущего функционального состояния спортсмена в условиях выполнения соревновательной нагрузки. Оперативная оценка функциональных резервов и готовности нацелена на выявление интенсивности и направленности активации исполнительных систем обеспечения экстремальной деятельности, что выражается в характере перестройки внутри- и межсистемных связей между «исходным» и «экстремальным» состояниями.

Качество мобилизации определяется многомерностью изменения корреляционных связей между показателями мобилизуемых функциональных резервов (модулей). Показатели модулей резервов обладают следующими **качествами**: информативность, неспецифичность, чувствительность и прогностичность.

При этом **качество** всего мобилизационного процесса определяется рядом факторов: полом, возрастом, спортивными специализацией и квалификацией, исходными вегетотипом и психотипом спортсмена.

Подход к анализу и интерпретации данных с позиций нелинейности процессов регуляции [23], теории хаоса и синергетики [27, 43], а также применение алгоритмов на основе цифровой технологии big data позволят выявить скрытые закономерности развития деструктивных изменений в организме спортсмена и своевременно принимать целевые корректирующие меры.

**Заключение.** Развитие спорта с его экстремальными нагрузками функционального и психофизиологического характера обуславливает востребованность новых подходов к диагностике резервов и оценке подготовлен-

ности спортсменов к соревновательной деятельности на основе цифровых технологий.

Аналитический обзор тематической литературы позволяет констатировать, что в настоящее время разработаны и внедрены сотни технологий оценки функционального состояния и резервов, реализованных во множестве программно-аппаратных диагностических комплексов, большая часть которых решает частные задачи и не отражает полипараметрическую интеграцию подготовленности спортсмена к соревновательной деятельности.

Обеспечение функциональной готовности спортсмена к соревновательной деятельности выходит за рамки компетентности одной науки и требует мультидисциплинарного подхода. Последний определяет перспективность направлений исследования в области оперативной оценки функционального состояния, мобилизации резервов и готовности организма спортсменов к эффективной соревновательной деятельности.

Совокупность технологий оперативной диагностики функциональных резервов организма спортсменов и их цифровизация (НИЦ ИСТИС ЮУрГУ) легли в основу концептуальной модели многомерного анализа динамической структуры мобилизуемых резервов организма, определяющих готовность спортсмена к соревновательной деятельности.

### Литература

1. Ассоциация ряда полиморфизмов генов нейромедиаторных систем с психофизиологическими характеристиками спортсменов / К.В. Жур, И.Б. Моссэ, А.В. Кильчевский и др. // Молекулярная и прикладная генетика. – 2019. – Т. 26. – С. 136–144.
2. Ачкасов, Е.Е. Обоснование индивидуализации двигательного режима студентов на основании исследования их функционального состояния и адаптационных резервов / Е.Е. Ачкасов, Е.А. Таламбум, О.А. Султанова и др. // Лечебная физкультура и спортивная медицина. – 2012. – № 3 (99). – С. 20–26.
3. Баевский, Р.М. Оценка адаптационного риска в системе индивидуального донологического контроля / Р.М. Баевский, А.Г. Черникова // Рос. физиол. журнал им. И.М. Сеченова. – 2014. – Т. 100, № 10. – С. 1180–1194.
4. Байкеев, Р.Ф. Идентификация спортсменов различной квалификации биохимическим методом / Р.Ф. Байкеев, А.В. Мартынов, Г.Г. Янышева, Ю.Е. Сахабутдинов // Спор-

тивная медицина: наука и практика. – 2012. – № 4. – С. 25–32.

5. Будко, А.Н. Взаимосвязь клинико-лабораторных показателей с результативностью соревновательной деятельности у спортивного резерва в конькобежном спорте / А.Н. Будко, Е.А. Мороз, А.И. Нехвядович // Прикладная спортивная наука. – 2017. – № 2 (6). – С. 99–105.

6. Давиденко, Д.Н. Проблема резервов адаптации организма к экстремальной деятельности: состояние и перспективы развития / Д.Н. Давиденко // Вестник Балтийской пед. академии. – 2005. – № 61. – С. 117–120.

7. Диагностика физиологических процессов в живых тканях методом оптической визуализации пульсаций крови / А.В. Белавенцева, Ю.Н. Кульчин, Р.В. Ромашко и др. // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2019. – Т. 62, № 3. – С. 266–271. DOI: 10.17586/0021-3454-2019-62-3-266-271

8. Дмитриева, Н.В. Полипараметрическая диагностика в медико-биологических исследованиях / Н.В. Дмитриева // Программные продукты и системы. – 2002. – № 3. – С. 9.

9. Значимость биохимических и гематологических показателей лыжников-гонщиков в процессе адаптации к тренировочным нагрузкам / А.С. Бахарева, В.И. Заляпин, Е.В. Харитоновна, Г.В. Буданов // Человек. Спорт. Медицина. – 2018. – Т. 18, № 3. – С. 30–36. DOI: 10.14529/hsm180303

10. Интеграция функциональных, психофизиологических и биохимических процессов в организме спортсменов после аудиовизуальной стимуляции / М.С. Головин, Н.В. Балиоз, С.Г. Кривошёрков, Р.И. Айзман // Физиология человека. – 2018. – Т. 44, № 1. – С. 64–71. DOI: 10.7868/S0131164618010083

11. Иорданская, Ф.А. Мониторинг функциональной подготовленности юных спортсменов – резерва спорта высших достижений (этапы углубленной подготовки и спортивного совершенствования) / Ф.А. Иорданская. – М.: Совет. спорт, 2014. – 140 с.

12. Иржак, Л.И. Определение величины обмена энергии у человека / Л.И. Иржак // Современ. наукоемкие технологии. – 2007. – № 1. – С. 11–12.

13. Исаев, А.П. Критерии энергетических резервов, обусловленные морфофункциональными индикаторами спортивных ориентировщиков 13–16 лет / А.П. Исаев, Ю.Б. Кораблева, Р.Я. Абзалилов // Педагогико-психо-

логические и медико-биологические проблемы физической культуры и спорта. – 2016. – Т. 11, № 3. – С. 150–159. DOI: 10.14526/01\_1111\_137

14. Классификация функциональных состояний спортсменов и военнослужащих / А.С. Солодков, С.М. Аишкинази, В.П. Андрианов и др. // Экстремальная деятельность человека. – 2017. – № 4 (45). – С. 3–10.

15. Кодкин, В.Л. Метод анализа функциональных возможностей спортсменов по непрерывно регистрируемой ЭКГ при вариациях нагрузки / В.Л. Кодкин, А.С. Хафизова, А.Э. Батуева // Человек. Спорт. Медицина. – 2018. – Т. 18, № 4. – С. 52–57. DOI: 10.14529/hsm180408

16. Колесник, И.С. Рационализация двигательных действий боксера на основе закономерностей высшей нервной деятельности / И.С. Колесник, Ф.А. Гатин // Педагогико-психологические и медико-биологические проблемы физической культуры и спорта. – 2018. – Т. 13, № 2. – С. 46–53. DOI: 10.14526/02\_2018\_307

17. Колмогоров, С.В. Технология контроля за подготовленностью элитных пловцов на основании анализа динамики функциональной зависимости между мощностью активного метаболизма и скоростью плавания / С.В. Колмогоров, А.Р. Воронцов, О.А. Румянцева // Теория и практика физ. культуры. – 2019. – № 4. – С. 74–77.

18. Коновалов, И.Е. Обучение юных футболистов технике ведения мяча и обводки с применением интерактивного тренажерного комплекса / И.Е. Коновалов, В.Е. Афоньшин, Г.Л. Драндров // Наука и спорт: современные тенденции. – 2018. – Т. 18, № 1 (18). – С. 26–31.

19. Курзанов, А.Н. Функциональные резервы организма / А.Н. Курзанов, Н.В. Заболотских, Д.В. Ковалев. – Пенза: Издат. дом «Академия Естествознания», 2016. – 96 с.

20. Метод автоматизированного комплексного анализа состояния здоровья и медицинского обеспечения в экстремальных условиях производственной деятельности / О.И. Орлов, О.В. Переведенцев, Е.Ю. Мамонина, В.М. Леванов // Авиакосмич. и экологич. медицина. – 2017. – Т. 51, № 4. – С. 39–44. DOI: 10.21687/0233-528X-2017-51-4-39-44

21. Метод определения анаэробного порога по динамике ЧСС в процессе работы и восстановления при выполнении теста нарастающей мощности до отказа / А.В. Козлов, А.В. Якушкин, Р.С. Андреев и др. // Фи-



зиология человека. – 2019. – Т.45, № 2. – С. 78–86. DOI: 10.1134/S0131164619020036

22. Минина, Е.Н. Новый подход в изучении взаимосвязи функциональной подготовленности и электрогенеза у спортсменов с использованием эталонного кардиоцикла / Е.Н. Минина // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. – 2014. – № 1. – С. 8.

23. Модель сердечно-сосудистой системы человека с автономным контуром регуляции среднего артериального давления / А.С. Караваяев, Ю.М. Ишбулатов, А.Р. Киселев и др. // Физиология человека. – 2017. – Т. 43, № 1. – С. 70–80. DOI: 10.7868/S0131164616060096

24. Мозжухин, А.С. Физиологические резервы спортсмена: лекция / А.С. Мозжухин. – Л., 1979.

25. Мониторинг функциональной подготовленности высококвалифицированных спортсменов и совершенствование программного обеспечения в процессе тренировочных мероприятий / Ф.А. Иорданская, Т.Ф. Абрамова, Н.К. Цепкова и др. // Вестник спортивной науки. – 2018. – № 5. – С. 37–44.

26. Моссэ, И. Молекулярно-генетические технологии в спорте высших достижений / И. Моссэ // Наука в олимпийском спорте. – 2015. – № 1. – С. 43–51.

27. Мыльченко, И.В. Современные методы оценки вегетативной регуляции функционального состояния спортсменов экстремальных видов спорта / И.В. Мыльченко, А.Ю. Дронь, А.Э. Щербакова // Вестник Сургут. гос. пед. ун-та. – 2015. – № 1 (34). – С. 191–204.

28. Нгуен, М.Т. Комплекс показателей и методы оценки физиологических резервов спортсмена / М.Т. Нгуен, А.А. Томчук // Наука настоящего и будущего. – 2019. – Т. 2. – С. 54–57.

29. Обоснование показателей функциональной готовности в спорте высших достижений / С.М. Разинкин, В.В. Петрова, П.А. Шулепов, М.А. Брагин // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечеб. физ. культуры. – 2019. – Т. 96, № 2-2. – С. 141–142.

30. Овчинников, Н.Д. Прогностическая оценка ожидаемой эффективности действий спортсменов высшей квалификации / Н.Д. Овчинников, М.М. Расулов, Д.Н. Овчинников // Теория и практика физ. культуры. – 2009. – № 6. – С. 32–36.

31. Особенности психофункциональной

подготовленности футболистов юношеского возраста / А.В. Чайка, А.А. Салашинский, Е.И. Нагаева и др. // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. – 2019. – Т. 5 (71), № 3. – С. 167–186.

32. Особенности факторной структуры показателей кардиореспираторной системы спортсменов циклических и сложнокоординационных видов спорта / Н.В. Иванова, Л.Н. Цехмистро, Н.И. Кананович и др. // Прикладная спортивная наука. – 2018. – № 2 (8). – С. 72–78.

33. Платонов, В.Н. Перетренированность в спорте / В.Н. Платонов // Наука в олимп. спорте. – 2015. – № 1. – С. 19–34.

34. Поликарпочкин, А.Н. Гипербарическая оксигенация как способ улучшения адаптации спортсменов к физическим нагрузкам / А.Н. Поликарпочкин // Вестник Рос. воен.-мед. академии. – 2010. – № 1 (29). – С. 151–155.

35. Применение современных систем экспресс-диагностики для выявления факторов, лимитирующих функциональное состояние высококвалифицированных спортсменов / Ю.В. Корягина, С.В. Нопин, Г.Н. Тер-Акопов и др. // Современные вопросы биомедицины. – 2019. – Т. 3, № 2 (7). – С. 53–57.

36. Разинкин, С.М. Адаптационный и функциональный резервы психофизиологического состояния организма / С.М. Разинкин // Вестник неврологии, психиатрии и нейрохирургии. – 2009. – № 11. – С. 10–15.

37. Разработка технологии виртуальной реальности для оптимизации психофизиологических состояний спортсменов / А.Е. Иголкина, И.Н. Митин, К.С. Назаров и др. // Вестник спортивной науки. – 2019. – № 2. – С. 75–80.

38. Соронович, И.М. Особенности функционального обеспечения соревновательной деятельности спортсменов высокой квалификации, специализирующихся в спортивных танцах / И.М. Соронович, Т. Рожкова, О. Бойко // Наука в олимп. спорте. – 2018. – № 1. – С. 28–32.

39. Судаков, К.В. Информационные грани жизнедеятельности / К.В. Судаков, Ю.А. Романов, Г.Н. Крыжановский // Вестник Российской академии медицинских наук. – 2002. – № 6. – С. 8–17.

40. Сцинтиграфическая оценка резерва миокардиального кровотока у больных ишемической болезнью сердца с различной вы-

- раженностью атеросклеротического поражения коронарных артерий / А.В. Мочула, К.В. Завадовский, С.Л. Андреев и др. // Медицинская визуализация. – 2017. – Т. 21, № 4. – С. 72–81. DOI: 10.24835/1607-0763-2017-4-72-81
41. Тимакова, Т.С. Проблемы спортивной подготовки в свете современных тенденций фенотипических сдвигов (на примере спортивного плавания) / Т.С. Тимакова // Вестник спортивной науки. – 2019. – № 2. – С. 29–34.
42. Тоноян, Х.А. Методологические аспекты разработки примерных программ спортивной подготовки по видам спорта на основании анализа существующих программ / Х.А. Тоноян, А.Н. Корженевский, В.А. Клендар // Ученые записки ун-та им. П.Ф. Лесгафта. – 2018. – № 10 (164). – С. 319–324.
43. Формализация эффекта «Повторение без повторения» Н.А. Бернштейна / В.М. Еськов, В.В. Еськов, Т.В. Гавриленко, Ю.В. Вохмина // Биофизика. – 2017. – Т. 62, № 1. – С. 168–176.
44. Храмов, В.В. Способы представления информации о технике двигательных действий средствами когнитивной визуализации / В.В. Храмов, Е.О. Ширинова, Е.Л. Матова // Человек. Спорт. Медицина. – 2019. – Т. 19, № 51. – С. 99–105. DOI: 10.14529/hsm19s113
45. Чумаченко, Л.А. Оценка предстартового психологического состояния спортсменов. Психологическая подготовка спортсменов в соревновательный период / Л.А. Чумаченко, Е.А. Ибрагимова // Здоровоохранение Югры: опыт и инновации. – 2019. – № 1 (18). – С. 49–51.
46. Шулепов, П.А. Подходы оценки функционального состояния лиц экстремальных профессий (обзор литературы) / П.А. Шулепов, М.А. Брагин // Медицинская наука и образование Урала. – 2019. – Т. 20, № 3 (99). – С. 185–190.
47. Abdullah, S.K. Remote heart rate monitor system using NodeMcu microcontroller and easy pulse sensor v1.1 // 2nd international conference on sustainable engineering techniques (ICSET 2019). IOP. Conference Series-Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 518. – Is. 5, № art. UNSP 052016.
48. Baevskii, R.M. Assessment of adaptation risk in an individual prenosological monitoring system / R.M. Baevskii, A.G. Chernikova // Neuroscience and Behavioral Physiology. – 2016. – Vol. 46, № 4. – P. 437. DOI: 10.1007/s11055-016-0255-4
49. Exploring psychophysiological restoration and individual preference in the different environments based on virtual reality / T. Gao, T. Zhang, L. Zhu et al. // International journal of environmental research and public health. – 2019. – Vol. 16, iss. 17. – № art. 3102. DOI: 10.3390/ijerph16173102
50. How much is too much? (Part 1) International Olympic Committee consensus statement on load in sport and risk of injury / T. Soligard, M. Schwelunus, J.M. Alonso [et al.] // British Journal of Sports Medicine. – 2016. – Vol. 50, iss. 17. – P. 1030–1041. DOI: 10.1136/bjsports-2016-096581
51. Kumari, P. Increasing trend of wearables and multimodal interface for human activity monitoring: A review / P. Kumari, L. Mathew, P. Syal // Biosensors and Bioelectronics. – 2017. – Vol. 90. – P. 298–307. DOI: 10.1016/j.bios.2016.12.001
52. Lebedev, G. Software system for dynamic athlete health monitoring / G. Lebedev, A. Gureeva, Y. Tikhonova // Procedia Computer Science. – 2017. – Vol. 112. – P. 1664–1669. DOI: 10.1016/j.procs.2017.08.194
53. Monitoring stress and recovery states: Structural and external stages of the short version of the RESTQ sport in elite swimmers before championships / M. Nicolas, P. Vacher, G. Martinet, L. Mourot // Journal of Sport and Health Science. – 2019. – Vol. 8, iss. 1. – P. 77–88. DOI: 10.1016/j.jshs.2016.03.007
54. Monitoring training load and fatigue in soccer players with physiological markers / L. Djaoui, M. Haddad, K. Chamari, A. Dellal // Physiology & Behavior. – 2017. – Vol. 181. – P. 86–94. DOI: 10.1016/j.physbeh.2017.09.004
55. Psychological tools used for monitoring training responses of athletes / A. Nässi, A. Ferrauti, T. Meyer et al. // Performance Enhancement & Health. – 2017. – Vol. 5, iss. 4. – P. 125–133. DOI: 10.1016/j.peh.2017.05.001
56. Qualitative and quantitative evaluation of a new wearable device for ECG and respiratory Holter monitoring / A. Sarmento, C. Vignati, S. Paolillo et al. // International journal of cardiology. – 2018. – Vol. 272. – P. 231–237. DOI: 10.1016/j.ijcard.2018.06.044
57. Skin-conformal, soft material-enabled bioelectronic system with minimized motion artifacts for reliable health and performance monitoring of athletes / S. Kwon, Y.T. Kwon, Y.S. Kim et al. // Biosensors and Bioelectronics. – 2020. – Vol. 151, № art. 111981. DOI: 10.1016/j.bios.2019.111981

58. *Soft, skin-interfaced wearable systems for sports science and analytics* / T. Ray, J. Choi, J. Reeder et al. // *Current Opinion in Biomedical Engineering*. – 2019. – Vol. 9. – P. 47–56.

59. *The Neurosurgeon as a high-performance athlete: parallels and lessons learned from sports psychology* / A.M. Spiotta, A.L. Buchholz, A.K. Pierce et al. // *World Neurosurgery*. – 2018. – Vol. 120. – P. e188–e193. DOI: 10.1016/j.wneu.2018.08.013

60. *Verhagen, E. Protecting the health of the @hlete: how online technology may aid our common goal to prevent injury and illness in*

*sport* / E. Verhagen, C. Bolling // *British journal of sports medicine*. – 2015. – Vol. 49, iss. 18. – P. 1174–1178. DOI: 10.1136/bjsports-2014-094322

61. *Virtual reality as a new approach for risk taking assessment* / de J. Ripoll C., J. Soler-Dominguez, J. Guixeres et al. // *Frontiers in psychology*. – 2018. – Vol. 9. – № art. 2532. DOI: 10.3389/fpsyg.2018.02532

62. *Wearable sensors for monitoring the physiological and biochemical profile of the athlete* / D.R. Seshadri, R.T. Li, J.E. Voos et al. // *NPJ Digital Medicine*. – 2019. – Vol. 2. – № art. 72. DOI: 10.1038/s41746-019-0150-9

**Эрлих Вадим Викторович**, доктор биологических наук, профессор, директор Института спорта, туризма и сервиса, Южно-Уральский государственный университет. 454080, г. Челябинск, проспект Ленина, 76. E-mail: erlih-vadim@mail.ru, ORCID: 0000-0003-4416-1925.

**Шибкова Дарья Захаровна**, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник научно-исследовательского центра спортивной науки, Южно-Уральский государственный университет. 454080, г. Челябинск, проспект Ленина, 76. E-mail: shibkova2006@mail.ru, ORCID: 0000-0002-8583-6821.

**Байгузин Павел Азифович**, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник научно-исследовательского центра спортивной науки, Южно-Уральский государственный университет. 454080, г. Челябинск, проспект Ленина, 76. E-mail: baiguzhinpa@cusu.ru, ORCID: 0000-0002-5092-0943.

*Поступила в редакцию 10 января 2020 г.*

DOI: 10.14529/hsm200107

## DIGITALIZATION OF OPERATIONAL DIAGNOSTICS OF FUNCTIONAL RESERVES AND ASSESSMENT OF ATHLETIC FITNESS

V.V. Erlikh, erlih-vadim@mail.ru, ORCID: 0000-0003-4416-1925,  
D.Z. Shibkova, shibkova2006@mail.ru, ORCID: 0000-0002-8583-6821,  
P.A. Baiguzhin, baiguzhinpa@susu.ru, ORCID: 0000-0002-5092-0943  
South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

**Aim.** The article aims at analyzing the approaches to digitalization of operational diagnostics of functional reserves, assessing the athletic fitness for competitive activity, substantiating a model of multivariate analysis of the dynamic structure of mobilized reserves. **Materials and methods.** A theoretical analysis of the scientific publications on the development and implementation of digital technologies in sports physiology and medicine written by domestic and foreign authors over the past ten years has been conducted. **Results.** An analytical review of the literature indicates that hundreds of technologies for assessing the functional status and reserves introduced in a variety of software and hardware diagnostic systems and remote recorders have been developed and implemented, most of which solve particular problems and do not reflect the multiparameter integration of athletic fitness for competitive activity; the author presents a conceptual model of multidimensional analysis of the dynamic structure of mobilized reserves with the subsequent formation of athletic fitness for competitive activity. **Conclusion.** The conceptual model

can serve as the basis for creating a unified digital platform based on multiparameter integration, which will combine innovative achievements in operational assessment of the functional status, mobilization of reserves and athletic fitness for competitive activity.

**Keywords:** digitalization, sensors, operational assessment, diagnostics, functional status, functional reserves, functional fitness, athletes, sports medicine, sports physiology.

### References

1. Zhur K.V., Mosse I.B., Kil'chevskiy A.V. et al. [Associations of Polymorphic Variants of a Number of Neurotransmitter System Genes with Athlete Psychophysiological Characteristics]. *Molekulyarnaya i prikladnaya genetika* [Molecular and Applied Genetics], 2019, vol. 26, pp. 136–144. (in Russ.)
2. Achkasov E.E., Talambum E.A., Sultanova O.A. et al. [Verification of Individualization of Students' Motional Regimen by Investigation of Their Functional State and Adaptivity Reserves]. *Lechebnaya fizkul'tura i sportivnaya meditsina* [Exercise Therapy and Sports Medicine], 2012, no. 3 (99), pp. 20–26. (in Russ.)
3. Baevskiy R.M., Chernikova A.G. [Assessment of Adaptation Risk in the Individual Prenosological Control]. *Rossiyskiy fiziologicheskiy zhurnal im. I.M. Sechenova* [Russian Journal of Physiology], 2014, vol. 100, no. 10, pp. 1180–1194. (in Russ.)
4. Baykeev R.F., Martynov A.V., Yanyшева G.G., Sakhabutdinov Yu.E. [Identification of Athletes of Various Qualifications by Biochemical Method]. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika* [Sports Medicine. Research and Practice], 2012, no. 4, pp. 25–32. (in Russ.)
5. Budko A.N., Moroz E.A., Nekhvyadovich A.I. [Correlation Between Clinico-Laboratorial Indices and Performance of Competitive Activity of the Sport Reserve in the Ice Skating]. *Prikladnaya sportivnaya nauka* [Applied Sports Science], 2017, no. 2 (6), pp. 99–105. (in Russ.)
6. Davidenko D.N. [Problem of Reserves of Adaptation of Organism to Extreme Activity. State and Prospects of Development]. *Vestnik Baltiyskoy pedagogicheskoy akademii* [Bulletin of the Baltic Pedagogical Academy], 2005, no. 61, pp. 117–120. (in Russ.)
7. Belaventseva A.V., Kulchin Yu.N., Romashko R.V. et al. [Diagnostics of Physiological Processes in Living Tissues by the Method of Optical Visualization of Blood Pulsation]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Priborostroenie* [Journal of Instrument Engineering], 2019, vol. 62, no. 3, pp. 266–271. (in Russ.) DOI: 10.17586/0021-3454-2019-62-3-266-271
8. Dmitrieva N.V. [Polyparametric Diagnostics in Medical and Biological Research]. *Programmnye produkty i sistemy* [Software & Systems], 2002, no. 3, p. 9. (in Russ.)
9. Bakhareva A.S., Zalyapin V.I., Kharitonova E.V., Budanov G.V. Significance of Biochemical and Hematological Indicators of Racing Skiers during Adaptation to Training Loads. *Human. Sport. Medicine*, 2018, vol. 18, no. 3, pp. 30–36. (in Russ.) DOI: 10.14529/hsm180303
10. Golovin M.S., Balioz N.V., Krivoshchekov S.G., Ayzman R.I. [Integration of Functional, Psychophysiological, and Biochemical Processes in Athletes After Audiovisual Stimulation]. *Fiziologiya cheloveka* [Human Physiology], 2018, vol. 44, no. 1, pp. 64–71. (in Russ.) DOI: 10.7868/S0131164618010083
11. Iordanskaya F.A. *Monitoring funktsional'noy podgotovlennosti yunykh sportsmenov – rezerva sporta vysshikh dostizheniy (etapy uglublennoy podgotovki i sportivnogo sovershenstvovaniya)* [Monitoring of Functional Fitness of Young Athletes – Reserve of Sports of the Highest Achievements (Stages of Advanced Preparation and Sports Improvement)]. Moscow, Soviet Sports Publ., 2014. 140 p.
12. Irzhak L.I. [Researches of Energy Exchange in Man]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii* [Modern High Technologies], 2007, no. 1, pp. 11–12. (in Russ.)
13. Isaev A.P., Korableva Yu.B., Abzalilov R.Ya. [The Criteria of Energy Reserves Conditioned by Morphofunctional Indicators of 13–16 Year-Old Sports Orienteers]. *Pedagogiko-psikhologicheskie i mediko-biologicheskie problemy fizicheskoy kul'tury i sporta* [Pedagogics, Psychology and Medical-Biological Problems of Physical Training and Sports], 2016, vol. 11, no. 3, pp. 150–159. (in Russ.) DOI: 10.14526/01\_1111\_137
14. Solodkov A.S., Ashkinazi S.M., Andrianov V.P. et al. [Classification of Athletes' and Military Men's Functional States]. *Ekstremal'naya deyatelnost' cheloveka* [Extreme Human Activity], 2017, no. 4 (45), pp. 3–10. (in Russ.)

15. Kodkin V.L., Khafizova A.S., Batueva A.E. Analysis of Functional Abilities in Athletes Using Continious ECG Registration Under Various Loads. *Human. Sport. Medicine*, 2018, vol. 18, no. 4, pp. 52–57. (in Russ.) DOI: 10.14529/hsm180408
16. Kolesnik I.S., Gatin F.A. [A Boxer's Motor Actions Rationalization on the Basis of Higher Nervous Activity Regularities]. *Pedagogiko-psikhologicheskie i mediko-biologicheskie problemy fizicheskoy kul'tury i sporta* [Pedagogics, Psychology and Medical-Biological Problems of Physical Training and Sports], 2018, vol. 13, no. 2, pp. 46–53. (in Russ.) DOI: 10.14526/02\_2018\_307
17. Kolmogorov S.V., Vorontsov A.R., Rumyantseva O.A. [Elite Swimmers' Fitness Test Technology Driven by Active Metabolism Rate Variation Analysis Versus Swimming Speed Test Rates]. *Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury* [Theory and Practice of Physical Culture], 2019, no. 4, pp. 74–77. (in Russ.)
18. Konovalov I.E., Afon'shin V.E., Drandrov G.L. [Coaching of Young Football Players on Ball Control and Dribbling Techniques with the Use of Interactive Training Complex]. *Nauka i sport: sovremennye tendentsii* [Science and Sport. Current Trends], 2018, vol. 18, no. 1 (18), pp. 26–31. (in Russ.)
19. Kurzanov A.N., Kolovotsky N.V., Kovalev D.V. *Funktsional'nye rezervy organizma* [Functional Reserves of the Body]. Penza, Academy of Natural Science Publ., 2016. 96 p.
20. Orlov O.I., Perevedencev O.V., Mamonova E.Ju., Levanov V.M. [Method of Automated Complex Analysis of Health and Medical Provision in Extreme Occupational Environments]. *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya medicina* [Aerospace and Environmental Medicine], 2017, vol. 51, no. 4, pp. 39–44. (in Russ.) DOI: 10.21687/0233-528X-2017-51-4-39-44
21. Kozlov A.V., Yakushkin A.V., Andreev R.S. et al. [A Method for the Evaluation of Anaerobic Threshold Based on Heart Rate Dynamics During Incremental Exercise to Exhaustion and Recovery]. *Fiziologiya cheloveka* [Human Physiology], 2019, vol. 45, no. 2, pp. 78–86. (in Russ.) DOI: 10.1134/S0131164619020036
22. Minina E.N. [A New Approach to Examine the Relationship Between Functional Preparedness and Electrogenesis in the Athletes Using the Etalon Cardiocycle]. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. Elektronnoe izdanie* [Journal of New Medical Technologies, eEdition], 2014, no. 1, p. 8. DOI: 10.12737/5950
23. Karavaev A.S., Ishbulatov Yu.M., Kiselev A.R. et al. [A Model of Human Cardiovascular System Containing a Loop for the Autonomic Control of Mean Blood Pressure]. *Fiziologiya cheloveka* [Human Physiology], 2017, vol. 43, no. 1, pp. 70–80. (in Russ.) DOI: 10.7868/S0131164616060096
24. Moszhukhin A.S. *Fiziologicheskie rezervy sportsmena: leksiya* [Physiological Reserves of the Athlete. Lecture]. Leningrad, 1979.
25. Iordanskaya F.A., Abramova T.F., Tsepikova N.K. et al. [Monitoring of Functional Fitness of Elite Athletes and Improvement of the Programs in the Process of Training Activity]. *Vestnik sportivnoy nauki* [Sports Science Bulletin], 2018, no. 5, pp. 37–44. (in Russ.)
26. Mosse I. [Molecular-Genetic Technologies in Elite Sport]. *Nauka v olimpiyskom sporte* [Science in Olympic Sport], 2015, no. 1, pp. 43–51. (in Russ.)
27. Myl'chenko I.V., Dron' A.Yu., Shcherbakova A.E. [Modern Assessment Methods of Extreme Sports Athletes Functional Condition Vegetative Regulation]. *Vestnik Surgutskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta* [The Surgut State Pedagogical University Bulletin], 2015, no. 1 (34), pp. 191–204. (in Russ.)
28. Nguen M.T., Tomchuk A.A. [Set of Indicators and Methods of Evaluation of Physiological Reserves of the Athlete]. *Nauka nastoyashchego i budushchego* [Science. Present and Future], 2019, vol. 2, pp. 54–57. (in Russ.)
29. Razinkin S.M., Petrova V.V., Shulepov P.A., Bragin M.A. [Justification of Indicators of Functional Readiness in Sports of the Highest Achievements]. *Voprosy kurortologii, fizioterapii i lechebnoj fizicheskoy kul'tury* [Problems of Balneology, Physiotherapy, and Exercise Therapy], 2019, vol. 96, no. 2–2, pp. 141–142. (in Russ.)
30. Ovchinnikov N.D., Rasulov M.M., Ovchinnikov D.N. [Prognostic Assessment of Expected Effectiveness of Actions of Elite Athletes]. *Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury* [Theory and Practice of Physical Culture], 2009, no. 6, pp. 32–36. (in Russ.)
31. Chayka A.V., Salashinskiy A.A., Nagaeva E.I. et al. [Psycho-Functional Status of Youth Soccer Players]. *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Biologiya. Khimiya* [Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry], 2019, vol. 5 (71), no. 3, pp. 167–186. (in Russ.)

32. Ivanova N.V., Tsekhmistro L.N., Kananovich N.I. et al. [Features of Cardiorespiratory System's Indicators' Factor Structure of Sportsmen of Cyclic and Complex Coordination Sports]. *Prikladnaya sportivnaya nauka* [Applied Sports Science], 2017, no. 2 (6), pp. 99–105. (in Russ.)
33. Platonov V.N. [Overtraining in Sport]. *Nauka v olimpiyskom sporte* [Science in Olympic Sport], 2015, no. 1, pp. 43–51. (in Russ.)
34. Polikarpochkin A.N. [Hyperbaric Oxygenation as a way of Improvement of Adaptation of Sportsmen to Physical Activities]. *Vestnik Rossijskoj voenno-meditsinskoj akademii* [Bulletin of the Russian Military Medical Academy], 2010, no. 1 (29), pp. 151–155. (in Russ.)
35. Koryagina Yu.V., Nopin S.V., Ter-Akopov G.N. et al. [Application of Modern Express Diagnostic Systems for the Detection of Factors Limiting the Functional State of Elite Athletes]. *Sovremennye voprosy biomeditsiny* [Modern Issues of Biomedicine], 2019, vol. 3, no. 2 (7), pp. 53–57. (in Russ.)
36. Razinkin S.M. [Adaption and Functional Reserves of the Psychophysiological Status of Organism]. *Vestnik nevrologii, psikiatrii i neirohirurgii* [Journal of Neurology, Psychiatry and Neurosurgery], 2009, no. 11, pp. 10–15. (in Russ.)
37. Igolkina A.E., Mitin I.N., Nazarov K.S. et al. [Virtual Reality System Development Designed for Optimization of Athletes' Psychophysiological States]. *Vestnik sportivnoy nauki* [Sports Science Bulletin], 2019, no. 2, pp. 75–80. (in Russ.)
38. Soronovich I.M., Rozhkova T., Bojko O. [Features of the Functional Bases of Competitive Activity of Elite Athletes Specializing in Dancesport]. *Nauka v olimpiyskom sporte* [Science in Olympic Sport], 2018, no. 1, pp. 28–32. (in Russ.)
39. Sudakov K.V., Romanov Yu.A., Kryzhanovskiy G.N. [Information Facets of Life]. *Vestnik Rossijskoj akademii meditsinskikh nauk* [Journal of the Russian Academy of Medical Sciences], 2002, no. 6, pp. 8–17. (in Russ.)
40. Mochula A.V., Zavadovsky K.V., Andreev S.L. et al. [Coronary Flow Reserve Assessment in Patients with Cad by Dynamic Single-Photon Emission Computed Tomography]. *Meditsinskaya vizualizatsiya* [Medical Visualization], 2017, no. (4), pp. 72–81. (in Russ.) DOI: 10.24835/1607-0763-2017-4-72-81
41. Timakova T.S. [Problems of Sports Training in the Light of Modern Tendencies of Phenotypic Shifts (on the Example of Sports Swimming)]. *Vestnik sportivnoy nauki* [Sports Science Bulletin], 2019, no. 2, pp. 29–34. (in Russ.)
42. Tonoyan H.A., Korzhenevskiy A.N., Klendar V.A. [Methodological Aspects of Development of Exemplary Sports Training Programs by Sports Based on the Analysis of Existing Programs]. *Uchenye zapiski universiteta im. P.F. Lesgafta* [Scientific Notes P.F. Lesgaft University], 2018, no. 10 (164), pp. 319–324. (in Russ.)
43. Es'kov V.M., Es'kov V.V., Gavrilenko T.V., Vokhmina Yu.V. [Formalization of the Effect of Repetition Without Repetition Discovered by N.A. Bernshtein]. *Biofizika* [Biophysics], 2017, vol. 62, no. 1, pp. 168–176. (in Russ.) DOI: 10.1134/S0006350917010067
44. Khranov V.V., Shirshova E.V., Matova E.L. Providing Information about Movement Technique Using Cognitive Visualization. *Human. Sport. Medicine*, 2019, vol. 19, no. S1, pp. 99–105. (in Russ.) DOI: 10.14529/hsm19s113
45. Chumachenko L.A., Ibragimova E.A. [Evaluation of Pre-Launch Psychological Condition of Athletes. Psychological Training of Athletes in Competitive Period]. *Zdravookhranenie Yugry: opyt i innovatsii* [Ugra Healthcare. Experience and Innovation], 2019, no. 1 (18), pp. 49–51. (in Russ.)
46. Shulepov P.A., Bragin M.A. [Review of Functional Status Evaluation Among Risky Job Professionals]. *Meditsinskaya nauka i obrazovanie Urala* [Medical Science and Education of the Ural], 2019, vol. 20, no. 3 (99), pp. 185–190. (in Russ.)
47. Abdullah S.K. Remote Heart Rate Monitor System Using NodeMcu Microcontroller and Easy Pulse Sensor v1.1. *2nd International Conference on Sustainable Engineering Techniques (ICSET 2019). IOP. Conference Series-Materials Science and Engineering*, 2019, vol. 518, iss. 5, no. art. UNSP 052016. DOI: 10.1088/1757-899X/518/5/052016
48. Baevsii R.M., Chernikova A.G. Assessment of Adaptation Risk in an Individual Prenosological Monitoring System. *Neuroscience and Behavioral Physiology*, 2016, vol. 46, no. 4, pp. 437. DOI: 10.1007/s11055-016-0255-4.
49. Gao T., Zhang T., Zhu L. et al. Exploring Psychophysiological Restoration and Individual Preference in the Different Environments Based on Virtual Reality. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2019, vol. 16, iss. 17, no. art. 3102. DOI: 10.3390/ijerph16173102.

50. Soligard T., Schweltnus M., Alonso J.M. et al. How Much is Too much? (Part 1) International Olympic Committee Consensus Statement on Load in Sport and Risk of Injury. *British Journal of Sports Medicine*, 2016, vol. 50, is. 17, pp. 1030–1041. DOI: 10.1136/bjsports-2016-096581
51. Kumari P., Mathew L., Syal P. Increasing Trend of Wearables and Multimodal Interface for Human Activity Monitoring: A Review. *Biosensors and Bioelectronics*, 2017, vol. 90, pp. 298–307. DOI: 10.1016/j.bios.2016.12.001
52. Lebedev G., Gureeva A., Tikhonova Y. Software System for Dynamic Athlete Health Monitoring. *Procedia Computer Science*, 2017, vol. 112, pp. 1664–1669. DOI: 10.1016/j.procs.2017.08.194
53. Nicolas M., Vacher P., Martinent G., Mourrot L. Monitoring Stress and Recovery States: Structural and External Stages of the Short Version of the RESTQ Sport in Elite Swimmers before Championships. *Journal of Sport and Health Science*, 2019, vol. 8, iss. 1, pp. 77–88. DOI: 10.1016/j.jshs.2016.03.007
54. Djaoui L., Haddad M., Chamari K., Dellal A. Monitoring Training Load and Fatigue in Soccer Players with Physiological Markers. *Physiology & Behavior*, 2017, vol. 181, pp. 86–94. DOI: 10.1016/j.physbeh.2017.09.004
55. Nässi A., Ferrauti A., Meyer T. et al. Psychological Tools Used for Monitoring Training Responses of Athletes. *Performance Enhancement & Health*, 2017, vol. 5, iss. 4, pp. 125–133. DOI: 10.1016/j.peh.2017.05.001
56. Sarmiento A., Vignati C., Paolillo S. et al. Qualitative and Quantitative Evaluation of a New Wearable Device for ECG and Respiratory Holter Monitoring. *International Journal of Cardiology*, 2018, vol. 272, pp. 231–237. DOI: 10.1016/j.ijcard.2018.06.044
57. Kwon S., Kwon Y.T., Kim Y.S. et al. Skin-Conformal, Soft Material-Enabled Bioelectronic System with Minimized Motion Artifacts for Reliable Health and Performance Monitoring of Athletes. *Biosensors and Bioelectronics*, 2020, vol. 151, no. art. 111981. DOI: 10.1016/j.bios.2019.111981
58. Ray T., Choi J., Reeder J. et al. Soft, Skin-Interfaced Wearable Systems for Sports Science and Analytics. *Current Opinion in Biomedical Engineering*, 2019, vol. 9, pp. 47–56. DOI: 10.1016/j.cobme.2019.01.003
59. Spiotta A.M., Buchholz A.L., Pierce A.K. et al. The Neurosurgeon as a High-Performance Athlete: Parallels and Lessons Learned from Sports Psychology. *World neurosurgery*, 2018, vol. 120, pp. e188–e193. DOI: 10.1016/j.wneu.2018.08.013
60. Verhagen E., Bolling C. Protecting the Health of the @hlete: how Online Technology may Aid our Common Goal to Prevent Injury and Illness in Sport. *Ritish Journal of Sports Medicine*, 2015, vol. 49, is. 18, pp. 1174–1178. DOI: 10.1136/bjsports-2014-094322
61. de Juan Ripoll C., Soler-Dominguez J., Guixeres J. et al. Virtual Reality as a New Approach for Risk Taking Assessment. *Frontiers in psychology*, 2018, vol. 9, no. art. 2532. DOI: 10.3389/fpsyg.2018.02532
62. Seshadri D.R., Li R.T., Voos J.E. et al. Wearable Sensors for Monitoring the Physiological and Biochemical Profile of the Athlete. *NPJ Digital Medicine*, 2019, vol. 2, no. art. 72. DOI: 10.1038/s41746-019-0150-9

*Received 10 January 2020*

---

### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Эрлих, В.В. Цифровизация технологий оперативной диагностики функциональных резервов и оценки подготовленности спортсменов / В.В. Эрлих, Д.З. Шибкова, П.А. Байгузин // Человек. Спорт. Медицина. – 2020. – Т. 20, № 1. – С. 52–66. DOI: 10.14529/hsm200107

### FOR CITATION

Erlikh V.V., Shibkova D.Z., Baiguzhin P.A. Digitalization of Operational Diagnostics of Functional Reserves and Assessment of Athletic Fitness. *Human. Sport. Medicine*, 2020, vol. 20, no. 1, pp. 52–66. (in Russ.) DOI: 10.14529/hsm200107