

# Ключевые направления оценки реализации функциональных возможностей спортсменов в процессе спортивной подготовки

Елена Лысенко

## АННОТАЦИЯ

**Цель.** На основе изучения специальной научной литературы рассмотреть вопросы, касающиеся реализации функциональных возможностей спортсменов в процессе спортивной подготовки. **Методы.** Теоретический анализ и обобщение, систематизация, анализ научной литературы.

**Результаты.** Оценка реализации функциональных возможностей по четырем направлениям. Они характеризуются специфичностью для вида соревновательной нагрузки кинетикой ведущих систем организма и характером оптимизации индивидуальной физиологической реактивности. **Заключение.** Обобщение знаний и их рассмотрение применительно к практике спортивной тренировки имеет большое значение для определения резервных возможностей человека при напряженных мышечных нагрузках.

**Ключевые слова:** кардиореспираторная система, спортивная подготовка, спортсмены.

## ABSTRACT

**Objective.** To consider the issues dealing with realization of athletes' functional capacities in the process of sports training.

**Methods.** Theoretical analysis and generalization, systematization, scientific literature analysis.

**Results.** Estimation of functional capacity realization in four directions. They are characterized by specific for competitive load type kinetics of the body main systems and optimization character of individual physiological reactivity.

**Conclusion.** Generalization of knowledge and their consideration relative to sports training practice is of great importance for determining human reserve capacities during strenuous muscular loads.

**Key words:** cardiorespiratory system, sports preparation, athletes.

**Постановка проблемы.** В настоящее время технология подготовки спортсменов достигла такого совершенства, что без опоры на фундаментальные области знаний о функционировании человека в условиях напряженных мышечных нагрузок невозможно построить эффективную подготовку спортсменов [8, 16]. Важно также то, что большая часть результатов исследований спортивной тренировки имеет перенос на оздоровительные эффекты тренировки в «спорте для всех». В связи с этим все большее внимание уделяется изучению фундаментальных биологических закономерностей приспособления организма человека к мышечным нагрузкам и процессу повышения верхних пределов его физической работоспособности и функциональных возможностей.

Обобщение этих знаний и их рассмотрение применительно к практике спортивной тренировки имеет большое значение для определения резервных возможностей человека при напряженных мышечных нагрузках. На сегодня углубленно рассмотрены лишь отдельные вопросы физиологии и биохимии высокой спортивной работоспособности, которые часто находятся в отрыве от ключевых проблем спортивной физиологии. Следует отметить, что подавляющее большинство результатов научных исследований и сделанные на их основании выводы получены только в одном конкретном виде спорта. Этого недостаточно для создания обобщающей концепции адаптации к спортивным нагрузкам и приводит к появлению спорных вопросов при формировании положений теории адаптации к напряженной мышечной деятельности. Относительно спортивной тренировки адаптацию следует рассматривать и как процесс направленного развития функциональных возможностей организма. При решении этих вопросов в спортивной физиологии на первый план выходит установление физиологических факторов, которые обеспечивают эффективность спортивной деятельности. При этом главное — определить те факторы, которые являются основой стойкого функционального состояния организма спортсмена и определяют его

формирование и поддержку на протяжении продолжительных периодов времени — циклов спортивной подготовки.

В спортивной педагогике и, в частности, в теории спортивной тренировки процесс адаптации рассматривается на основе учета динамики прироста работоспособности спортсмена как интегрального показателя функциональных приспособлений организма [13, 14]. В основу изучения адаптации положены закономерности динамики развития утомления и фазовости восстановления после напряженных спортивных нагрузок, тренировочных занятий и их серий, а также учитывается преобладающая направленность нагрузок [13, 14].

В основе дифференциации функциональных возможностей спортсменов, которые специализируются в циклических видах спорта, лежит оценка разных сторон энергообеспечения тренировочных и соревновательных нагрузок. Обычно выходят из общей оценки возможностей энергетических систем — креатинфосфатной, гликолитической и аэробной. При этом проводится оценка мощности, емкости и эффективности каждой из них. Сегодня предложена целая система тестов для оценки мощности, емкости и эффективности этих биоэнергетических процессов [13, 16, 31].

Анализ гомеостатических механизмов адаптации в процессе достижения высокой специальной работоспособности спортсменов может основываться на представлениях о том, что процесс долговременной адаптации заключается в таком приспособлении структуры и динамических характеристик реакций функциональных систем (их скорости развертывания, пиковых уровней и стойкости), которые являются наиболее эффективными для реализации энергетических возможностей организма в конкретных условиях спортивной деятельности.

Мы предположили, что анализ научной и научно-методической литературы позволит выделить основные направления исследования проблемы долговременной адаптации спортсменов к напряженным тренировочным и соревновательным нагрузкам, а также

определить основные направления поиска новых путей управления процессом адаптации организма к напряженным физическим нагрузкам, усовершенствования подготовки квалифицированных спортсменов на разных этапах многолетней тренировки с учетом их индивидуальных особенностей.

Исследования проводили согласно государственному научно-исследовательскому тематическому плану в рамках программы «Прикладні дослідження і розробки за напрямками науково-технічної діяльності вищих навчальних закладів та наукових установ» Министерства образования и науки Украины.

**Цель исследования** – определение ключевых направлений оценки реализации функциональных возможностей организма спортсменов на разных этапах спортивной подготовки на основе оценки и учета срочных адаптационных реакций ведущих функциональных систем в зависимости от индивидуальных особенностей организма.

**Методы исследования:** теоретический анализ и обобщение, систематизация, анализ научной и научно-методической литературы.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Анализ научной и научно-методической литературы позволяет традиционно применяемые как отечественными, так и зарубежными исследователями подходы к изучению процесса адаптации разделить на две группы. Первая группа направлена на поиск механизмов обеспечения специальной спортивной деятельности. Подходы второй группы основываются на использовании принципа «черного ящика», когда исследуются лишь те факторы, которые влияют на «входе» системы и результат (реакции) на «выходе» без конкретного представления о физиологической структуре и механизмах регуляции системы. На рисунке 1 приведены обобщенная схема оценки адаптации, а также основные факторы, которые необходимо учитывать для правильного понимания процесса формирования адаптационных реакций организма в условиях спортивной деятельности и как результат – формирования определенного уровня тренированности спортсмена, его спортивного результата, который и составляет необходимую предпосылку активного управления процессом адаптации в спорте [14].

Подавляющее большинство исследований относится именно ко второму типу, т. е. анализируются характер влияющих разра-

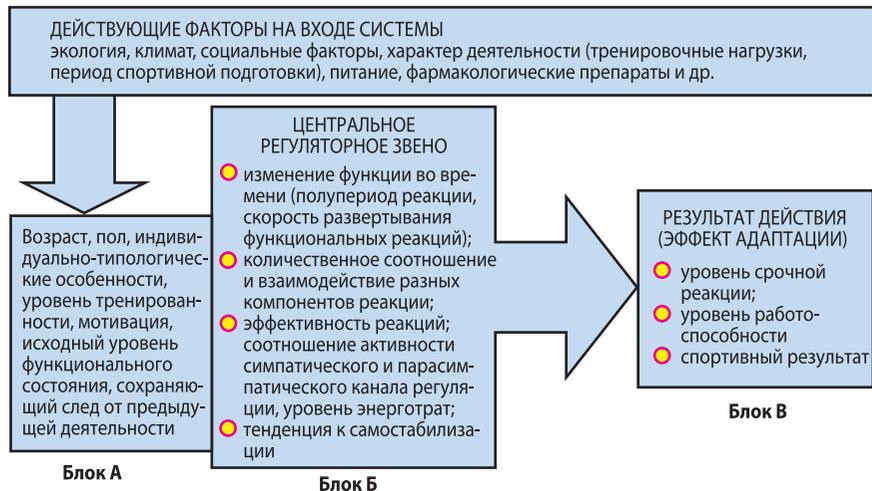


РИСУНОК 1 – Общая схема факторов, влияющих на формирование результата адаптации организма спортсмена в процессе спортивной подготовки

жителей на организм спортсмена и результат сложившейся адаптации (см. рис. 1, Блоки А и В). Полученные данные свидетельствуют, что характер адаптации организма квалифицированных спортсменов к напряженной мышечной деятельности в значительной мере сводится к изучению проявлений физической работоспособности как интегрального показателя функциональных приспособлений организма. Дальнейшее углубление такого анализа основывается на оценке степени мобилизации аэробных и анаэробных сторон энергообеспечения [13]. Дополнительно оцениваются и границы уровней функционирования (предельные возможности) систем, которые лимитируют определенный вид спортивной деятельности [13, 31, 36, 45]. Таким типом анализа процесса адаптации отличается большинство исследований в современной литературе по этой проблеме.

В последнее время все более четко начинает определяться другое важное направление исследований адаптации, которое основывается на анализе регуляторных механизмов адаптации ведущих для вида деятельности функциональных систем организма (см. рис.1, Блок Б) и является наиболее перспективным исследовательским подходом для понимания сущности физиологических приспособлений, лежащих в основе оптимизации процесса долговременной адаптации при многолетних занятиях спортом [4, 22]. Было показано, что физиологическая сущность долговременной адаптации функциональных систем организма спортсменов заключается в оптимизации

совокупности реактивных свойств систем, направленной на целевую реализацию функциональных возможностей организма [11, 13, 23, 32, 38, 41, 45]. Соответственно таким представлениям, процесс адаптации организма квалифицированных спортсменов к физическим нагрузкам заключается в усовершенствовании и перестройке имеющихся физиологических механизмов регуляции для повышения способности мобилизации использования функциональных резервов. При адаптации спортсменов происходит усиление деятельности ряда функциональных систем за счет мобилизации и использования их резервов. Системообразующим фактором при этом является приспособительный полезный результат – высокоэффективное устойчивое экономное энергообеспечение работы, что в наибольшей степени влияет на конечный спортивный результат [15, 16, 20, 28].

При таком анализе регуляторных механизмов адаптации ведущих для вида деятельности функциональных систем организма внимание акцентируется на учете чувствительности и устойчивости реакций на сдвиги внутренней среды (гомеостатическая регуляция) и на роли внешних возмущающих факторов. Адаптацию к физическим нагрузкам следует рассматривать как динамический процесс, направленный на достижение высокого уровня тренированности (спортивной формы), в основе которого лежит формирование новой программы реагирования прежде всего ведущих для вида деятельности систем организма [15, 16, 20]. С таких позиций физиологическая сущность адаптации понимается как достижение та-

кого уровня функционального состояния организма, который характеризуется усовершенствованием механизмов регуляции, увеличением физиологических резервов и готовности к их мобилизации [11, 20].

Для анализа, особенно в спорте, важно то, что выраженность реакций организма в ответ на физическую нагрузку зависит как от уровня тренированности, так и от индивидуальных особенностей человека [2, 16]. Можно лишь предположить, что в основе возникающих индивидуальных различий в адаптации лежат наследственные особенности реактивности на гуморальные стимулы [13] и особенности в характере метаболизма, которые находятся под генетическим контролем [13] и взаимосвязанные с развитием и спецификой нервно-мышечного аппарата, с особенностями вегетативного баланса, с индивидуально-типологическими характеристиками высшей нервной деятельности [2].

Сегодня накопилось значительное количество сведений о том, что любая форма адаптационного реагирования организма к физическим нагрузкам обеспечивается комплексом различных по интенсивности и продолжительности физиологических реакций, которые могут комбинироваться в разнообразных сочетаниях и иметь индивидуальные особенности [2, 4, 10, 16, 20, 46]. Такого типа характеристики могут быть представлены с использованием терминов, характеризующих физиологическую реактивность организма, как свойство живой системы реагировать на воздействие внешней среды [2, 13, 14, 15, 20].

Как считает М.М. Сиротинин [20], понятие адаптации и реактивности тесно связаны, поскольку последняя включает не только способность воспринимать изменения окружающей среды, но и определенным образом модифицировать состояние реагирующих структур, степень реакции в целях сохранения относительного постоянства внутренней среды. Основной принцип реактивности заключается в том, что характер соответствующей реакции живого организма на действие раздражителей определяется как качественно-количественной характеристикой фактора среды, так и функциональным состоянием реагирующего субстрата. Реактивность является свойством адаптивности живых систем, мерой их приспособительных возможностей. Основные характеристики реактивности и их модификация (а, в конце концов, опти-

мизация применительно к требованиям вида деятельности) лежат в основе процесса адаптации. Таким образом, свойства реактивности определяют эффективность гомеостатической регуляции и лежат в основе системных функциональных механизмов развития адаптации. При этом *адаптацию следует рассматривать как процесс, а реактивность – как свойство организма, его способность к реагированию, мера его приспособительных возможностей.*

Несмотря на очевидность того, что в основе долговременной адаптации функциональных систем организма лежит целесообразное для развития их функциональных возможностей изменение реактивности, целенаправленное изучение особенностей регуляции функций и механизмов оптимизации реактивности систем в процессе долговременной адаптации к напряженной мышечной тренировке не проводили. Не определен и теоретический подход к выработке таких оценок. Вследствие этого отмечаются неоднозначность и многочисленность существующих методов оценки степени адаптации функциональных систем, отсутствуют критерии ее оптимальности на разных этапах многолетней подготовки. В связи с изложенным, наиболее актуальной в спортивной физиологии является разработка критериев оптимизации процесса спортивной подготовки на основе учета индивидуальных особенностей адаптационных реакций, а также уровня реализации функциональных и энергетических возможностей организма спортсменов.

В спорте высших достижений в условиях максимальной реализации функциональных возможностей систем организма индивидуальные особенности его реактивности проявляются не только в степени реакций на физические нагрузки, но и в разной скорости их изменения под влиянием повторяющихся физических нагрузок в процессе тренировки [14]. Характер этих изменений и их скорости, вероятно, зависят от неравномерности физических нагрузок и особенностей спортивной тренировки в целом. Есть все основания считать, что изменения физиологической реактивности при ее комплексной характеристике с учетом как вегетативных реакций, так и свойств нейродинамических функций могут отражать функциональный потенциал и индивидуальный характер реализации энергетических возможностей организма в условиях напряженных физических нагрузок

и взаимообусловлены характером спортивной тренировки [11, 42, 45].

Эти изменения в силу присущего организму приспособительного реагирования (реактивности) являются причиной адаптационных изменений, отображаемых на напряженности процесса сохранения гомеостаза при нарастающем действии раздражителя – физической нагрузки [2, 8, 14, 32]. Существуют косвенные и прямые свидетельства того, что снижение реактивности системы дыхания, вызванное, например, денервацией синокаротидных зон или удалением каротидных телец (и резким снижением в связи с этим функции периферических хеморецепторов) системы дыхания, приводит к снижению возможности тренировки организма к различным воздействиям [11, 32, 33, 37]. Поэтому при физиологическом анализе процесса как срочной, так и долговременной адаптации к напряженной мышечной деятельности на первый план выходит понимание сущности изменений реактивности ведущих для вида деятельности систем, их чувствительности к сдвигам внутренней среды.

Общей физиологической основой степени реализации энергетического потенциала является его зависимость от специфической интеграции двигательных и вегетативных функций, повышение активизирующей функции коры головного мозга, а также от усовершенствования нейрогуморальной регуляции на основе принципов оптимизации физиологической реактивности ведущих для вида спортивной деятельности исполнительных систем организма. В последнее десятилетие получен качественно новый экспериментальный материал о механизмах адаптации к напряженной мышечной деятельности и обеспечения высокой спортивной производительности, выявлены новые аспекты понимания сущности специфических сторон функциональных возможностей спортсменов (их функциональной подготовленности) [13–15, 23].

Во время адаптации организма к изменяющимся факторам внешней среды и, в частности, к напряженным физическим нагрузкам возникают глубокие сдвиги внутренней среды организма (гипоксические, гиперкапнические, гипокапнические, ацидемические), напряженность физиологических процессов, которые обеспечивают соответствие газообмена функциям кардиореспираторной системы (КРС), обеспечение субстратами энергетических процессов и выведение метаболитов [13]. Повторяемый комплекс

подобных явлений вместе с нейрогенными влияниями, в сущности, определяет характер формирования реакций функциональных систем на внешние раздражители, а также лежит в основе регуляторных механизмов долговременной адаптации к напряженной мышечной деятельности разного характера [3, 8].

Адаптивное уравнивание организма со средой и при физических нагрузках происходит за счет роста напряжения процессов регуляции. В данном случае речь идет о гомеостатической регуляции и об уравнивании параметров дыхательного гомеостаза [2, 11, 35]. Отсюда следует важный вывод: эффективность управляющих механизмов системы дыхания при адаптации к определенному фактору, в том числе и к мышечной деятельности, можно оценить по степени напряжения регуляторных механизмов [6, 28]. Более того, *степень их напряжения может быть характеристикой «стоимости» адаптации, тогда как новый уровень функционирования системы – это уже ее результат.*

Естественным является предположение, что спортивная тренировка способствует совершенствованию центральных механизмов регуляции функций, оптимизации межсистемных и внутрисистемных связей, высокому развитию саморегуляции в деятельности функциональных систем. При характеристике адаптации к напряженным мышечным нагрузкам на первый план анализа выходит система обеспечения организма кислородом или система дыхания. В осуществлении энергетических процессов при адаптации исключительно важная роль принадлежит кислороду, его доставке и обеспечения его адекватного потребления. Любые односторонние изменения кислородного режима организма в процессе адаптации будут приводить к единому конечному результату, который заключается в повышении эффективности кислородного режима организма [19, 24, 28]. Поэтому рассмотрение особенностей регуляции дыхания позволяет определить подходы к изучению реактивных свойств этой системы при физических нагрузках.

Гиперкапническая и гипоксическая стимуляция дыхательного центра, опосредованная хеморецепторами, является основным механизмом, который устанавливает соответствие уровня легочной вентиляции интенсивности метаболических процессов [1, 35]. Установлено, что при нормоксии в регуляции дыхания преимущество имеет гиперкапнический стимул над гипоксическим. Влияние многих фак-

торов, которые стимулируют или подавляют вентиляционные или циркуляторные реакции у человека, может быть описано изменениями реакции на  $\text{CO}_2\text{-H}^+$ -комплекс [1, 2, 10, 33]. Регуляция процесса удовлетворения кислородного запроса через тесно связанный с ним процесс контроля выведения  $\text{CO}_2$  и уровня pH является высоконадежным и совершенным. Хеморецепторы, которые локализованы в каротидном и аортальном телах, вызывают рефлекторные реакции сердечно-сосудистой системы [9, 33, 35]. Так как вентиляционные и циркуляторные реакции обеспечивают одни и те же процессы массопереноса газов и газообмена в легких, естественно, что характер их приспособления должен иметь общие черты.

Так, в последние годы для интегративной оценки регуляторно-адаптивных возможностей организма широко используется метод сердечно-дыхательного синхронизма (СДС). В основе метода лежит последовательная цепь процессов: от восприятия раздражителя, задающего ритм дыхания, к воссозданию сердцем ритма, синхронного дыхательному. Показано, что СДС возникает в результате отображения сердцем ритма сигналов, поступающих к нему по блуждающим нервам. Он характеризуется диапазоном синхронизации [5, 17]. Параметры СДС зависят от типа нервной системы, тонууса вегетативной нервной системы, функционального состояния организма [5, 17]. Например, наибольшая ширина диапазона синхронизации дыхательного и сердечного ритмов отмечается у флегматиков, наименьшая – у холериков. Синхронизация развивается более медленно у холериков, а быстрее – у сангвиников. Зависимость параметров объединенного ритмогенеза сердца и дыхания от типов темперамента определяется свойствами нервной системы этих типов – силой, уравновешенностью, подвижностью [18, 19].

Одним из хорошо известных критериев усовершенствованной регуляции у тренированных спортсменов является более эффективное обеспечение их спортивной деятельности [3, 7, 25, 28, 43, 45]. Последняя обуславливается «тонкой согласованностью в деятельности двигательного аппарата и внутренних органов». Конкретные механизмы указанных и других особенностей состояния тренированности недостаточно ясны и имеют место некоторые противоречия. Так, отмечается, что в состоянии высшей тренированности спортсмена (пик «спортивной формы») может отсутствовать экономизация функций, что объясняется повышенной «ре-

активностью организма» в таком состоянии. Об этом косвенно свидетельствует наличие у некоторых хорошо тренированных молодых спортсменов гиперкинетического характера реакций центральной циркуляции и внешнего дыхания на нагрузку. При этом реакция характеризуется относительно увеличенным уровнем центрального кровотока и легочной вентиляции с газообменом как при субмаксимальной мощности нагрузки, так и при мощности достижения уровня  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  [6, 42, 44].

Отметим, что критерием усовершенствованной регуляции может быть и повышение реактивности, гиперкинетический характер реагирования. Это само по себе отрицает экономизацию как единственный критерий усовершенствованной регуляции. Такие и подобные факты подтверждают точку зрения, что только определенный характер оптимизации реакций может быть свидетельством усовершенствованной регуляции. При этом, одним из наиболее важных вопросов – выяснение изменений реакции дыхательной системы на адекватные раздражители – гуморальные (гипоксический,  $\text{CO}_2\text{-H}^+$ ) и «рабочие» (нейрогенные), а также соотношение реакций легочной вентиляции, центральной циркуляции с газообменом, метаболизмом и сдвигами внутренней среды организма в условиях мышечных нагрузок разного характера.

Существуют косвенные свидетельства снижения чувствительности, повышение устойчивости к гипоксической и гиперкапнической стимуляции в состоянии относительного покоя под влиянием длительной тренировки у спортсменов. Это проявляется в увеличении времени дыхания в замкнутой системе, задержки дыхания и способности переносить гипоксемические сдвиги. В этих случаях уровень чувствительности к  $\text{CO}_2$  и гипоксии оказался связан с проявлениями физической работоспособности спортсменов и максимальным уровнем функциональных возможностей системы дыхания при физической нагрузке [11, 26, 40]. Так, выраженность реакций КРС в условиях выполнения физической работы на уровне «критической» мощности, максимальный уровень потребления  $\text{O}_2$  и анаэробный компонент энергообеспечения нагрузки, а также показатели функциональной устойчивости и восстановления после работы в значительной степени определяются чувствительностью кардиореспираторной системы к гиперкапническому стимулу [1, 4, 11, 13–15, 27, 45].

Обобщение результатов измерений максимальных уровней реакции КРС при выпол-

нении разного типа тестирующих нагрузок позволило выявить различия мобилизации аэробных энергетических возможностей при выполнении максимальных физических нагрузок разного характера, которые связаны с различиями ее чувствительности на  $\text{CO}_2\text{-H}^+$ -стимул [14]. В спорте в условиях конкретной соревновательной деятельности физиологические процессы, лимитирующие проявление высокого уровня физической работоспособности, существенно различаются в зависимости от мощности и предельного времени преодоления соревновательной дистанции [13]. Однако в сформированной системе оценки максимального уровня потребления  $\text{O}_2$  не учитываются особенности соотношения и одновременной мобилизации аэробных и анаэробных механизмов энергообеспечения при преодолении спортсменами относительно коротких или средних по времени работы максимальной интенсивности, основных соревновательных дистанций [13, 14, 28, 34, 36].

Широко используемые тестирующие нагрузки ступенчато возрастающей мощности являются адекватными для максимальной мобилизации аэробных возможностей организма лишь для спортсменов, специализирующихся на длинных соревновательных дистанциях, которые требуют проявления выносливости при продолжительной работе [13, 15, 29]. Для максимальной реализации аэробных возможностей организма имеют значение как уровень активации анаэробных гликолитических процессов, так и скорость их увеличения. Постепенное повышение активности анаэробных процессов в энергообеспечении в условиях продолжительной нагрузки постепенно возрастающей мощности и быстрый их рост при 60-секундной нагрузке максимальной интенсивности служит причиной разного влияния на скорость развертывания функциональных реакций и на реализацию аэробных возможностей организма квалифицированных спортсменов с разным уровнем чувствительности КРС на  $\text{CO}_2\text{-H}^+$ -стимул.

При развитии мощности кардиореспираторной системы необходимо соблюдать условия оптимального стимулирующего влияния ацидемических сдвигов в организме (связанных с уровнем активности гликолитических процессов) для мобилизации аэробных возможностей. Излишне высокий ацидемический и гиперкапнический сдвиг не стимулируют, а угнетают реакцию КРС

[13–15]. Целесообразность применения продолжительных тестов с постепенно возрастающей мощностью нагрузки для определения максимального уровня потребления  $\text{O}_2$  у спортсменов, адаптированных на протяжении ряда лет к работе короткой и средней продолжительности, вызывает сомнения, так как их специализированная подготовка предполагает высокую подвижность и сниженную устойчивость реакций КРС в условиях выполнения максимальных физических нагрузок [13, 30, 36, 39].

Так, спортсмены с относительно высоким уровнем физиологической реактивности КРС на сдвиги дыхательного гомеостаза, специализирующиеся в беге на короткие и средние соревновательные дистанции, характеризовались более интенсивной мобилизацией аэробных и анаэробных процессов в энергообеспечении. Именно в таких условиях у них был достигнут индивидуальный максимальный уровень потребления  $\text{O}_2$ . Поэтому для определения максимального уровня аэробных возможностей организма спортсменов–бегунов на короткие дистанции рекомендуется использовать 30-секундную серию ускорений максимальной интенсивности (четыре по 30 с). Для спортсменов–бегунов на средние дистанции целесообразно использовать два–три повторения 2-минутных ускорений максимальной интенсивности, а для спортсменов–бегунов

на длинные дистанции – классический тест с продолжительной нагрузкой ступенчато возрастающей мощности, выполняемой «до отказа».

Можно думать, что в реальных условиях напряженной физической нагрузки, как это имеет место в спорте, формируются такие особенности регуляции дыхания, которые обусловлены спецификой физической работы. Это бывает оправдано целевой установкой на выполнение физической работы. Такие стороны оптимизации реакции системы дыхания изучены недостаточно. Имеющиеся данные пока не дают ясной картины того, за счет каких механизмов происходит совершенствование регуляции дыхательной системы при адаптации к напряженным мышечным нагрузкам в спорте. В фундаментальных исследованиях по изучению системной регуляции вегетативных функций при мышечной работе эти вопросы мало увязываются с физиологическим анализом проявлений максимальных возможностей системы дыхания в условиях напряженной мышечной деятельности, с механизмами ее адаптации.

Анализ научных исследований последних лет свидетельствует о том, что общее направление развития адаптации организма высококвалифицированных спортсменов к тренировочным и соревновательным нагрузкам разного характера прежде всего зависит от следующих свойств физиологиче-



РИСУНОК 2 – Пути формирования специальной работоспособности спортсменов на основе специализированной модификации реактивных свойств ведущих для обеспечения работоспособности систем организма

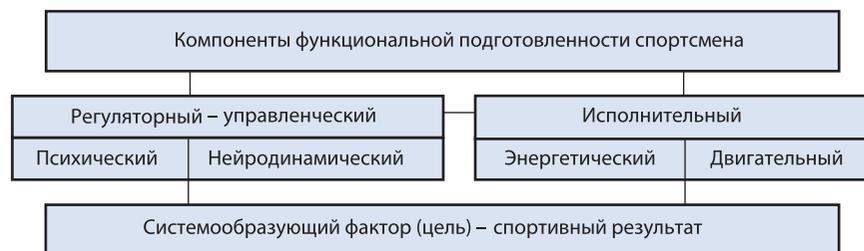


РИСУНОК 3 – Основные компоненты функциональной подготовленности спортсменов на основе представлений о спортивном результате как системообразующем факторе [14]

ской реактивности: скорости (интенсивности) развертывания функциональных реакций (кардиореспираторных и метаболизма), устойчивости, экономичности, мощности и способности к реализации, которые интегрируют в своих изменениях в процессе спортивной тренировки все ключевые морфофункциональные и метаболические сдвиги в организме спортсмена и составляют основу факторов функциональной подготовленности организма спортсменов [11, 13]. Следует отметить, что высокая степень тренированности характеризуется не только, а иногда и не столько верхними границами потребления кислорода, легочной и альвеолярной вентиляции, систолического объема крови и транспорта газов артериальной кровью как специфическими для данного вида физической нагрузки изменениями и особенностями реактивности КРС, которые и предопределяют разный вклад свойств физиологической реактивности в формирование структуры функциональной подготовленности спортсменов разной специализации [13, 16]. На рисунке 2 приведены пути формирования специальной работоспособности спортсменов на основе специализированной модификации реактивных свойств ведущих для обеспечения работоспособности систем организма [11, 13].

При этом функции управления рассматриваются как фактор мобилизации возможностей исполнительных органов и систем, а функциональная подготовленность спортсмена является результатом эффективного взаимодействия четырех ее основных компонентов: психического, нейродинамического, энергетического и двигательного [11, 14]. В процессе спортивной тренировки формируется слаженное взаимодействие психического, нейродинамического, энергетического и двигательного компонентов спортивной деятельности (рис. 3), которая организуется корой головного мозга и направлена на достижение заданного спортивного результата.

При этом подходе на первый план выступают не столько изменения отдельных компонентов и показателей, сколько характер и эффективность взаимодействия компонентов подготовленности.

**Заключение.** Оценка реализации функциональных возможностей спортсменов осуществляется, главным образом, по четырем направлениям.

- Путем измерения комплекса разных проявлений уровней силы, мощности мышц, пределов энергетических возможностей и возможностей транспортных систем организма – доставки кислорода, субстратов энергетических процессов, удаления метаболитов, пределов уровней кислородного режима организма, лежащих в основе работоспособности в данном виде спорта. Результаты измерений оцениваются относительно нормативов для квалифицированных спортсменов.

- На основе оценки выраженности отдельных факторов лимитирования специальной работоспособности, слабых и сильных звеньев систем организма ведущих для данной спортивной специализации, на основе физиологического анализа эффективности деятельности этих систем и межсистемного взаимодействия. При этом подходе определяется комплекс характеристик, механизмов, обеспечивающих пределы метаболической и функциональной производительности.

- С использованием определения специализированных функциональных возможностей относительно требований во время соревновательной деятельности на основе анализа уровня развития физиологических свойств деятельности ведущих систем – мощности реакции (функциональной и метаболической), ее подвижности, устойчивости и экономичности.

- На основе оценки оптимальности физиологической реактивности высокоспециализированных динамических характе-

ристик кинетики функций метаболизма как ведущего фактора и основного инструмента более полной реализации имеющегося у спортсменов высокой квалификации потенциала, который обычно полно реализуется лишь в наиболее благоприятных для его проявления условиях нагрузки или тестов.

Анализ показывает, что существует противоречие между большинством сложившихся подходов к выделению специфических ключевых факторов функциональной подготовленности высококвалифицированных спортсменов и возможностями их учета при практической необходимости повышения степени реализации имеющегося энергетического потенциала в конкретных условиях соревновательной нагрузки. Существующие критерии такого типа недостаточно специфичны, так как не учитывают высокоспециализированных требований к кинетике функций, оптимизации их реактивности, в условиях резко выраженной напряженности физиологических переходных процессов, которая характерна для большей части видов соревновательных нагрузок, требующих проявления выносливости.

Приведенный анализ позволяет определить направления и конкретные способы повышения эффективности реализации функционального потенциала высококвалифицированных спортсменов на основе оценки и направленного совершенствования высокоспециализированных компонентов функциональной подготовленности. Они определяются специфичной для вида соревновательной нагрузки кинетикой ведущих систем организма и характером оптимизации индивидуальной физиологической реактивности.

Можно предполагать, что важным практическим результатом исследований в данном направлении будет разработка критериев оценки и целенаправленной коррекции физиологической реактивности как тренировочными средствами (учет и прогнозирование изменений физиологической реактивности под влиянием утомления), так и внутренировочными средствами (специализированная разминка, специальные упражнения, мобилизационный массаж и другие эргогенные средства). Это создает предпосылки для формирования нового класса средств тренировки направленного реализационного характера. Они должны быть ориентированы на управление кинетикой функций, их лабильностью и, в

конечном итоге, – на совершенствование свойств их согласованной деятельности для максимальной реализации имеющегося энергетического и двигательного потенциала в конкретных условиях соревновательной нагрузки.

Через эту призму может быть пересмотрено и углублено понимание специфичности таких основных явлений, определяющих эффективность спортивной тренировки, как утомление, восстановление и функциональная подготовленность.

В связи с изложенным, для характеристики функциональной подготовленности спортсменов и ее целенаправленного совершенствования и для оценки особенностей адаптации организма к напряженным физическим нагрузкам в процессе спортивной подготовки спортсменов наиболее важно определить: 1) проявление физической работоспособности спортсменов в условиях выполнения тестирующих нагрузок разного характера энергообеспечения; 2) особенности реакции кардиореспираторной системы на гиперкапнические и гипоксические сдвиги дыхательного гомеостаза как в состоянии относительного покоя, так и в условиях выполнения физических нагрузок разного характера энергообеспечения; 3) особенности вегетативной регуляции физиологических функций организма, соотношение тонуса симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы в регуляторных механизмах адаптации; 4) особенности свойств нейродинамических функций

у спортсменов в условиях сенсомоторной деятельности разной степени сложности, а также свойств личности спортсменов и уровня их эмоциональной напряженности.

Планирование тренировочной и соревновательной деятельности в зависимости от индивидуальных функциональных возможностей определяется такими факторами: 1) возрастные особенности развития двигательных навыков и качеств (наличие «сенситивных периодов»); 2) половые особенности, для женщин – особенности, связанные с биоритмами женского организма; 3) особенности тренируемости, проявляющиеся в индивидуальной величине и скорости тренировочного эффекта; 4) исходный уровень тренированности; 5) конкретное функциональное состояние спортсмена (состояние здоровья, степень восстановления после предшествовавших физических и психических напряжений); 6) индивидуальные особенности проявления физиологических состояний организма, обусловленные выполнением тренировочных и соревновательных нагрузок; 7) индивидуальная чувствительность к неспецифическим средствам повышения специальной работоспособности спортсмена.

#### Выводы

1. На современном этапе исследования сущности физиологических приспособлений, лежащих в основе оптимизации процесса долговременной адаптации при многолетних занятиях спортом, выделяют два исследовательских направления. Первое,

наиболее перспективное, основывается на анализе регуляторных механизмов адаптации ведущих для вида деятельности функциональных систем организма, второе основывается на анализе характера влияющих раздражителей на организм спортсмена и результата сложившейся адаптации.

2. Изменения физиологической реактивности при ее комплексной характеристике взаимообусловлены характером спортивной тренировки и отражают функциональный потенциал и индивидуальный характер реализации энергетических возможностей организма в условиях напряженных физических нагрузок.

3. Оценка функциональных возможностей организма спортсменов осуществляется, главным образом, по следующим направлениям: 1) проявление физической работоспособности спортсменов; 2) реакции кардиореспираторной системы в условиях тестирующих нагрузок разного характера; 3) особенности вегетативной регуляции физиологических функций организма; 4) особенности свойств нейродинамических функций у спортсменов, а также уровня их эмоциональной напряженности.

4. Оценивается выраженность отдельных факторов лимитирования специальной работоспособности, слабых и сильных звеньев систем организма ведущих для данной спортивной специализации, на основе физиологического анализа эффективности деятельности этих систем и их межсистемного взаимодействия.

#### Литература

- Агаджанян Н.А. Особенности адаптивных реакций кардиореспираторной системы у лиц с различным уровнем легочной вентиляции при сочетанном воздействии гипоксии и гиперкапнии / Н.А.Агаджанян, В.Г.Двоеносов. // Вестн. Урал. мед. академ. науки. – 2010. – Т. 32, № 4. – С. 17–21.
- Березовский В.А. Рост резервного потенциала у человека при экспозиции прерывистой нормобарической гипоксией / В.А.Березовский, М.И.Левашов // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2000. – Т. 34, № 2. – С. 39–46.
- Бурова Д.И. Влияние состояния тренированности на биохимическую адаптацию к мышечной деятельности / Д.И.Бурова, М.А.Гулина, Н.А.Востриков // Вятский мед. вестн. – 2009. – № 1. – С. 110, 111.
- Бурых Э.А. Изменения внешнего дыхания, мозгового кровотока и ЭЭГ при гипоксии у испытуемых с разной гипоксической резистентностью / Э.А.Бурых. // Рос. физиол. журн. им. И. М. Сеченова. – 2011. – Т. 97, № 5. – С. 459–471.
- Горст В.Р. Рассогласование ритмов сердечно-сосудистой и дыхательной систем при максимальных физических нагрузках / [В.Р.Горст, Н.А.Горст, М.В.Полукова и др.]. // Астрахан. мед. журн. – 2011. – Т. 6, №2. – С. 242–244.
- Двоеносов В.Г. Особенности адаптивных реакций кардиореспираторной системы, газообмена и регуляции сердечного ритма у спортсменов-скалолазов в условиях соревнований / В.Г.Двоеносов // Теория и практика физ. культуры. – 2009. – № 7. – С. 87–91.
- Земцова И.И. Метаболические и функциональные реакции организма высококвали-

#### References

- Agadzhanian N.A. Features of cardiorespiratory system adaptation responses in persons with different level of lung ventilation during combined hypoxia and hypercapnia effect / N.A.Agazhanyan, V.G.Dvoynosov. // Vestnik Uralskoy meditsinskoy akademiyi nauki. – 2010. – V. 32, № 4. – P. 17–21.
- Berezovsky V.A. Human reserve potential growth during exposure to intermittent normobaric hypoxia / V.A.Berezovsky, M.I.Levashov // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. – 2000. – V. 34, № 2. – P.39–46.
- Burova D.I. Impact of fitness state on biochemical adaptation to muscle activity / D.I.Burova, M.A.Gulina, N.A.Vostrikov // Vyatsky meditsinsky vestnik. – 2009. – № 1. – P. 110, 111.
- Byrykh E.A. Changes of external breathing, cerebral circulation and EEG during hypoxia in patients with different hypoxic resistance / E.A.Byrykh. // Rossiysky fiziologicheskiy zhurnal imeni I.M.Sechenova. – 2011. – V. 97, № 5. – P. 459–471.
- Gorst V.R. Disconcordance of cardiovascular and respiratory system rhythms under maximal physical loads / [V.R.Gorst, N.A.Gorst, M.V.Polukova et al.]. // Astrakh. med. zhurn. – 2011. – V. 6, №2. – P. 242–244.
- Dvoynosov V.G. Peculiarities of adaptation responses of cardiorespiratory system, gas exchange and cardiac rhythm regulation in climbers during competition / V.G.Dvoynosov // Teoriya i praktika fizkultury. – 2009. – № 7. – P. 87–91.
- Zemtsova I.I. Metabolic and functional responses of elite skiers to the complex of testing

- лифцированных лыжников на воздействие комплекса тестирующих нагрузок / И.И. Земцова, Л.Г. Станкевич, Е.Н. Лысенко // Спорт. медицина. — 2011. — № 1–2. — С. 55–62.
8. Исаев А.П. Стратегии формирования адаптационных реакций у спортсменов. Основы теории адаптации и закономерности ее формирования в спорте высоких и высших достижений / А.П. Исаев, В.В. Рыбаков, В.В. Эрлих и др. // Вестн. Южно-Урал. гос. ун-та. Серия: Образование, здравоохранение, физическая культура. — 2012. — № 21 (280). — С. 46–56.
  9. Исаев Г.Г. Регуляция дыхания при мышечной работе / Г.Г. Исаев. — Л.: Наука, 1990. — 120 с.
  10. Кривошеков С.Г. Индивидуальные особенности внешнего дыхания при прерывистой нормобарической гипоксии / С.Г. Кривошеков, Г.М. Диверт, В.Э. Диверт. // Физиология человека — 2006. — Т. 32, № 3. — С. 62–71.
  11. Лисенко О.М. Оптимізація фізіологічної реактивності системи дихання в процесі адаптації до напруженої м'язової діяльності: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора біол. наук: спец. 03.00.13 «Фізіологія людини і тварин» / О.М.Лисенко. — К., 2013. — 43 с.
  12. Макаренко М.В. Онтогенез психофізіологічних функцій людини / М.В.Макаренко, В.С.Лизогуб. — Черкаси: Вертикаль, видавець ПП Кандиц С.Г., 2011. — 256 с.
  13. Мищенко В.С. Функциональные возможности спортсменов / В.С.Мищенко. — К.: Здоров'я, 1990. — 200 с.
  14. Мищенко В.С. Реактивные свойства кардиореспираторной системы как отражение адаптации к напряженной физической тренировке в спорте / В.С. Мищенко, Е.Н. Лисенко, В.Е. Виноградов. — К.: Наук. світ, 2007. — 351 с.
  15. Мищенко В.С. Функциональная подготовленность, как интегральная характеристика предпосылок высокой работоспособности спортсменов: метод. пособие / В.С.Мищенко, А.И. Павлик, В.Ф. Дяченко. — К.:ГНИИФКиС, 1999. — 129 с.
  16. Платонов В.Н. Система подготовки спортсменов в Олимпийском спорте. Общая теория и ее практические приложения / В.Н.Платонов. — К.:Олимп. лит., 2004. — 808 с.
  17. Покровский В.М. Формирование ритма сердца в организме человека и животных / В.М.Покровский. — Краснодар: Кубань Книга, 2007. — 144 с.
  18. Полищук Л.В. Зависимость параметров сердечно-дыхательного синхронизма от длительности латентного периода простой сенсомоторной реакции / Л.В.Полищук. // Кубан. науч. мед. вест. — 2010. — № 8. — С. 159–162.
  19. Потягайло Е.Г. Особенности феномена синхронизации дыхательного и сердечного ритмов у детей с различными типами нервной системы / Е.Г.Потягайло, В.М.Покровский // Журн. высшей нервной деятельности им. И.П.Павлова. — 2003. — Т. 53, №1. — С. 41–45.
  20. Сиротинин Н.Н. Эволюция резистентности и реактивности организма / Н.Н.Сиротинин. — М.: Медицина. — 1981. — 235 с.
  21. Сороко С.И. Индивидуальные стратегии адаптации человека в экстремальных условиях / С.И.Сороко, А.А.Алдашева // Физиология человека. — 2012. — Т. 38, № 6. — С. 78–86.
  22. Ушаков И.Б. Физиологическая диагностика экстремальных воздействий: преемственность традиций отечественной науки / И.Б.Ушаков. // Рос. физиол. журн. им. И.М. Сеченова. — 2011. — Т.97, №10. — С.1134–1146.
  23. Ширковец Е.А. Различия факторных структур подготовленности спортсменов в зависимости от специфики мышечной деятельности и этапа подготовки / Е.А.Ширковец, Н.В.Иванова // Вест. спорт. науки. — 2011. — № 1. — С. 41–44.
  24. Adami A. Oxygen uptake, cardiac output and muscle deoxygenation at the onset of moderate and supramaximal exercise in humans / A.Adami, S.Pogliaghi, G.De Roia, C.Capelli. // European Journal of Applied Physiology. — 2011. — Vol. 111, №7. — P. 1517–1527.
  25. Buitrago S. Effects of load and training modes on physiological and metabolic responses in resistance exercise / [S. Buitrago, N.Wirtz, Z.Yue et al.]. // European Journal of Applied Physiology. — 2012. — Vol. 112, № 7. — P. 2739–2748.
  26. David P. Postural control and ventilatory drive during voluntary hyperventilation and carbon dioxide rebreathing / P.David, D.Laval, J.Terrien, M.Petitjean // European Journal of Applied Physiology. — 2012. — Vol. 112, Issue 1. — P. 145–154.
  27. Dekerle J. Influence of moderate hypoxia on tolerance to high-intensity exercise // J.Dekerle, P.Mucci, H.Carter // European Journal of Applied Physiology. — 2012. — Vol. 112, Issue 1. — P. 327–335.
  28. Duncan M.J. The effect of hiking poles on oxygen uptake, perceived exertion and mood state during a one hour uphill walk / M.J.Duncan, M.Lyons // Journal of Exercise Physiology online. — 2008. — Vol. 11 (3). — P. 20–25.
  29. Edgett B.A. The effects of recreational sport on  $\dot{V}O_{2peak}$ ,  $\dot{V}O_{2}$  kinetics and submaximal loads / I.I.Zemtsova, L.G.Stankevich, E.N.Lysenko // Sport. meditsina. — 2011. — № 1–2. — P.55–62.
  8. Isayev A.P. Strategies of adaptation response formation in athletes / A.P. Isayev, V.V. Rybakov, V.V. Erlich et al. // Vestnik Yuzno-Uralskogo gosydarstvennogo universiteta. — 2012. — № 21 (280). — P. 46–56.
  9. Isayev G.G. Breathing regulation during muscle work / G.G. Isayev — Leningrad.:Nauka, 1990.—120 p.
  10. Krivoshchekov S.G. Individual features of external breathing during intermittent normobaric hypoxia / S.G. Krivoshchekov, G.M. Divert, V.E. Divert / Fiziologiya cheloveka, 2006. — V. 32, № 3. — P. 62–71.
  11. Lysenko O.M. Optimization of physiological reactivity of respiration during adaptation to strenuous muscle work: author's abstract for Doctoral degree in Biology 03.00.13 «Human and animal physiology» / O.M.Lysenko. — Kyiv, 2013. — 43 p.
  12. Makarenko M.V. Ontogenesis of human psychophysiological functions/ M.V.Makarenko, V.S.Lizogub. — Cherkasy: Vertykal, 2011. — 256 p.
  13. Mishchenko V.S. Functional capacities of athletes / V.S.Mishchenko. — Kyiv: Zdorovia, 1990. — 200 p.
  14. Mishchenko V.S. Reactive features of cardiorespiratory system as the reflection of adaptation to strenuous physical training in sport / V.S. Mishchenko, E.N. Lysenko, V.E. Vynogradov. — Kyiv: Naukovyi svit, 2007. — 351 p.
  15. Mishchenko V.S. Functional fitness as an integral characteristics of prerequisites of athletes' high work capacity: methodical guide / V.S.Mishchenko, A.I. Pavlik, V.F. Dyachenko. — Kiev:SSRIPCS, 1999. — 129 p.
  16. Platonov V.N. System of athletes' preparation in the Olympic sport. General theory and its practical applications / V.N.Platonov. — Kiev:Olimpiyskaya literatura, 2004.—808 p.
  17. Pokrovsky V.M. Formation of cardiac rhythm in human and animal body / V.M.Pokrovsky — Krasnodar: Kuban Kniga, 2007. — 144 p.
  18. Polishchuk L.V. Dependence of cardiorespiratory synchronism on duration of latent period of simple sensorimotor response / L.V.Polishchuk. // Kubansky nauchno meditsinskiy vestnik. — 2010. — № 8. — P. 159–162.
  19. Potyagaylo E.G. Peculiarities of phenomenon of synchronization of respiratory and cardiac rhythm in children with different types of nervous system / E.G.Potyagaylo, V.M.Pokrovsky // Zhurn. vysshey nervnoy deyatelnosti imeni I.P.Pavlova. — 2003. — V. 53, №1. — P. 41–45.
  20. Sirotnin N.N. Evolution of body resistance and reactivity / N.N.Sirotnin. — Moscow: Meditsina. — 1981. — 235 p.
  21. Soroko S.I. Individual strategies of human adaptation under extreme conditions / S.I.Soroko, A.A.Aldasheva // Fiziologiya cheloveka. — 2012. — V. 38, № 6. — P. 78–86.
  22. Ushakov I.B. Physiological diagnostics of extreme impacts: continuity of national science traditions / I.B.Ushakov // Rosiyskiy fiziologicheskiy zhurnal imeni I.M.Sechenova. — 2011. — V.97, № 10. — P. 1134–1146.
  23. Shirkovets E.A. Difference of factor structures of athletes' fitness depending on specifics of muscular activity and preparation stage / E.A.Shirkovets, N.V.Ivanova // Vestnik sportivnoy nauki. — 2011. — № 1. — P. 41–44.
  24. Adami A. Oxygen uptake, cardiac output and muscle deoxygenation at the onset of moderate and supramaximal exercise in humans / A.Adami, S.Pogliaghi, G.De Roia, C.Capelli. // European Journal of Applied Physiology. — 2011. — Vol. 111, №7. — P. 1517–1527.
  25. Buitrago S. Effects of load and training modes on physiological and metabolic responses in resistance exercise / [S. Buitrago, N.Wirtz, Z.Yue et al.]. // European Journal of Applied Physiology. — 2012. — Vol. 112, № 7. — P. 2739–2748.
  26. David P. Postural control and ventilatory drive during voluntary hyperventilation and carbon dioxide rebreathing / P.David, D.Laval, J.Terrien, M.Petitjean // European Journal of Applied Physiology. — 2012. — Vol. 112, Issue 1. — P. 145–154.
  27. Dekerle J. Influence of moderate hypoxia on tolerance to high-intensity exercise // J.Dekerle, P.Mucci, H.Carter // European Journal of Applied Physiology. — 2012. — Vol. 112, Issue 1. — P. 327–335.
  28. Duncan M.J. The effect of hiking poles on oxygen uptake, perceived exertion and mood state during a one hour uphill walk / M.J.Duncan, M.Lyons // Journal of Exercise Physiology online. — 2008. — Vol. 11 (3). — P. 20–25.
  29. Edgett B.A. The effects of recreational sport on  $\dot{V}O_{2peak}$ ,  $\dot{V}O_{2}$  kinetics and submaximal exercise performance in males and females / B.A.Edgett, J.E.D.Ross, A.E.Green et al. // European Journal of Applied Physiology. — 2013. — Vol. 113, № 1. — P. 259–266.
  30. Fontana P. Cardiac output but not stroke volume is similar in a Wingate and  $\dot{V}O_{2peak}$  test

- exercise performance in males and females / B.A.Edgett, J.E.D.Ross, A.E.Green et al. // *European Journal of Applied Physiology*. – 2013. – Vol. 113, № 1. – P. 259–266.
30. Fontana P. Cardiac output but not stroke volume is similar in a Wingate and VO<sub>2</sub>peak test in young men / P.Fontana, K.Betschon, U.Boutellier, M.Toigo // *European Journal of Applied Physiology*. – 2011. – Vol.111, № 1.–P.155–158.
  31. Haff G. *Laboratory Manual for Exercise Physiology* / G.Haff, C.Dumke. – Human Kinetics, 2011. – 449 p.
  32. Harms C.A. Low chemoresponsiveness and inadequate hyperventilation contribute to exercise-induced hypoxemia / C.A.Harms, J.M.Stager // *Journal of Applied Physiology*. – 1995. – Vol.79. – P.575–580.
  33. Irsigler G. Chemical problems of ventilatory control / G.Irsigler, J.Severinghaus // *Ann. Rev. Med.* – 1980. – Vol. 31. – P. 109–126.
  34. Mauger A.R. VO<sub>2</sub>max is altered by self-pacing during incremental exercise / Alexis R. Mauger // *European Journal of Applied Physiology*. – 2013. – Vol. 113, № 2. – P. 541, 542.
  35. Miyamoto T. Adaptation of the respiratory controller contributes to the attenuation of exercise hyperpnea in endurance-trained athletes // [T. Miyamoto, M. Inagaki, H. Takaki et al.]. // *European Journal of Applied Physiology*. – 2012. – Vol. 112, Issue 1. – P. 237–251.
  36. Newsholme E.A. Application of principles of metabolic control to the problem of metabolic limitations in sprinting, middle-distance and marathon running / E.A.Newsholme. // *J. Sport. Med.* – 1986. – Vol.7 (suppl.). – P. 36–47.
  37. O'Halloran J. Locomotor-respiratory coupling patterns and oxygen consumption during walking above and below preferred stride frequency // J. O'Halloran, J. Hamill, W.J. McDermott et al. // *European Journal of Applied Physiology*. – 2012 – Vol. 112, № 3. – P. 929–940.
  38. Ohyanu Y. Ventilatory and heart rate chemosensitivity in track-and-field athletes / [Y.Ohyabu, A.Usami, I.Ohyabu et al.]. // *European Journal of Applied Physiology*. – 1990. – Vol. 59. – P. 460–464.
  39. Reis J.F. Effects of aerobic fitness on oxygen uptake kinetics in heavy intensity swimming / J.F.Reis, F.B.Alves, P.M.Bruno, V.Vleck et al. // *European Journal of Applied Physiology*. – 2012.–Vol.112, № 5. – P. 1689–1697.
  40. Scott C.B. Oxygen Costs Peak after Resistance Training Sets: A Rationale for the Importance of Recovery over Exercise / C.B.Scott // *Journal of Exercise Physiology online*. – 2012. – Vol.15 (2). – P.1–8.
  41. Skime A. Cardiovascular Responses During Groucho Running / A.Skime, T.Boone. // *Journal of Exercise Physiology online*. – 2011. – Vol.14 (2).–P.88–92.
  42. Steele J. Resistance Training to Momentary Muscular Failure Improves Cardiovascular Fitness in Humans: A Review of Acute Physiological Responses and Chronic Physiological Adaptations / J.Steele, J.Fisher, D.McGuff et al. // *Journal of Exercise Physiology online*. – 2012. – Vol.5 (3). – P. 53–80.
  43. Sun X.-G. Oxygen uptake efficiency plateau: physiology and reference values / X.-G.Sun, J.E.Hansen, W.W.Stringer // *European Journal of Applied Physiology*. – 2012. – Vol. 112, № 3. – P. 919–928.
  44. Thomas C. Metabolic and respiratory adaptations during intense exercise following long-sprint training of short duration / C.Thomas, O.Bernard, C.Enea et al. // *European Journal of Applied Physiology*. – 2012. – Vol. 112, № 2. – P. 667–675.
  45. Vella, C.A. Fitness, body size, ventilation and the oxygen cost of breathing in adults / C.A.Vella, R.A.Robergs, P.M.Yamada // *Journal of Exercise Physiology online*. – 2008. – Vol.11 (6). – P. 67-76.
  46. Zasada M. Cardiorespiratory responsiveness throughout continuous strenuous physical exercise and its individualities in endurance athletes / M.Zasada, W.Mishchenko, S.Sawczyn et al. // *Medical and Biological Sciences*. – 2011. – Vol. 25, № 4. – P. 55–64.
  - in young men / P.Fontana, K.Betschon, U.Boutellier, M.Toigo // *European Journal of Applied Physiology*. – 2011. – Vol.111, № 1.–P.155–158.
  31. Haff G. *Laboratory Manual for Exercise Physiology* / G.Haff, C.Dumke. – Human Kinetics, 2011. – 449 p.
  32. Harms C.A. Low chemoresponsiveness and inadequate hyperventilation contribute to exercise-induced hypoxemia / C.A.Harms, J.M.Stager // *Journal of Applied Physiology*. – 1995. – Vol.79. – P.575–580.
  33. Irsigler G. Chemical problems of ventilatory control / G.Irsigler, J.Severinghaus // *Ann. Rev. Med.* – 1980. – Vol. 31. – P. 109–126.
  34. Mauger A.R. VO<sub>2</sub>max is altered by self-pacing during incremental exercise / Alexis R. Mauger // *European Journal of Applied Physiology*. – 2013. – Vol. 113, № 2. – P. 541, 542.
  35. Miyamoto T. Adaptation of the respiratory controller contributes to the attenuation of exercise hyperpnea in endurance-trained athletes // [T. Miyamoto, M. Inagaki, H. Takaki et al.]. // *European Journal of Applied Physiology*. – 2012. – Vol. 112, Issue 1. – P. 237–251.
  36. Newsholme E.A. Application of principles of metabolic control to the problem of metabolic limitations in sprinting, middle-distance and marathon running / E.A.Newsholme. // *J. Sport. Med.* – 1986. – Vol.7 (suppl.). – P. 36–47.
  37. O'Halloran J. Locomotor-respiratory coupling patterns and oxygen consumption during walking above and below preferred stride frequency // J. O'Halloran, J. Hamill, W.J. McDermott et al. // *European Journal of Applied Physiology*. – 2012 – Vol. 112, № 3. – P. 929–940.
  38. Ohyanu Y. Ventilatory and heart rate chemosensitivity in track-and-field athletes / [Y.Ohyabu, A.Usami, I.Ohyabu et al.]. // *European Journal of Applied Physiology*. – 1990. – Vol. 59. – P. 460–464.
  39. Reis J.F. Effects of aerobic fitness on oxygen uptake kinetics in heavy intensity swimming / J.F.Reis, F.B.Alves, P.M.Bruno, V.Vleck et al. // *European Journal of Applied Physiology*. – 2012.–Vol.112, № 5. – P. 1689–1697.
  40. Scott C.B. Oxygen Costs Peak after Resistance Training Sets: A Rationale for the Importance of Recovery over Exercise / C.B.Scott // *Journal of Exercise Physiology online*. – 2012. – Vol.15 (2). – P.1–8.
  41. Skime A. Cardiovascular Responses During Groucho Running / A.Skime, T.Boone. // *Journal of Exercise Physiology online*. – 2011. – Vol.14 (2).–P.88–92.
  42. Steele J. Resistance Training to Momentary Muscular Failure Improves Cardiovascular Fitness in Humans: A Review of Acute Physiological Responses and Chronic Physiological Adaptations / J.Steele, J.Fisher, D.McGuff et al. // *Journal of Exercise Physiology online*. – 2012. – Vol.5 (3). – P. 53–80.
  43. Sun X.-G. Oxygen uptake efficiency plateau: physiology and reference values / X.-G.Sun, J.E.Hansen, W.W.Stringer // *European Journal of Applied Physiology*. – 2012. – Vol. 112, № 3. – P. 919–928.
  44. Thomas C. Metabolic and respiratory adaptations during intense exercise following long-sprint training of short duration / C.Thomas, O.Bernard, C.Enea et al. // *European Journal of Applied Physiology*. – 2012. – Vol. 112, № 2. – P. 667–675.
  45. Vella, C.A. Fitness, body size, ventilation and the oxygen cost of breathing in adults / C.A.Vella, R.A.Robergs, P.M.Yamada // *Journal of Exercise Physiology online*. – 2008. – Vol.11 (6). – P. 67-76.
  46. Zasada M. Cardiorespiratory responsiveness throughout continuous strenuous physical exercise and its individualities in endurance athletes / M.Zasada, W.Mishchenko, S.Sawczyn et al. // *Medical and Biological Sciences*. – 2011. – Vol. 25, № 4. – P. 55–64.