

УДК 612.821:612.766.1

Н.А. Фудин,
д-р биол. наук, профессор, чл.-корр. РАН,
заместитель директора НИИ нормальной физиологии
имени П.К. Анохина

Ю.Е. Вагин,
д-р мед. наук, профессор кафедры нормальной
физиологии ФГБОУ ВО Первый МГМУ
имени И.М. Сеченова Минздрава России

N.A. Fudin,
Doctor of Medical Sciences, Professor, Corresponding
Member of the Russian Academy of Sciences, Deputy
Director of P.K. Anokhin Institute of Normal Physiology

Yu.E. Vagin,
Doctor of Medical Sciences, Professor, Department
of Normal Physiology, I.M. Sechenov First Moscow State
Medical University

АНАЛИЗ СПОРТИВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ С ПОЗИЦИИ ТЕОРИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ SPORTS ACTIVITY IN FUNCTIONAL SYSTEMS THEORY

КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ:

Вагин Юрий Евгеньевич, д-р мед. наук, профессор
кафедры нормальной физиологии ФГБОУ ВО
Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава
России

Адрес: 103904, г. Москва, ул. Маховая, д. 11, стр. 4
Тел.: +7 (916) 839-24-53

e-mail: yuvaguine@yandex.ru

Статья поступила в редакцию: 18.04.2016

Статья принята в печать: 01.09.2016

CONTACT INFORMATION:

Yury Vagin, Doctor of Medical Sciences, Professor,
Department of Normal Physiology, I.M. Sechenov
First Moscow State Medical University

Address: 11-4, Mokhovaya str., Moscow, Russia, 103904

Tel.: +7 (916) 839-24-53

e-mail: uuvaguine@yandex.ru

The article received: April 18, 2016

The article approved for publication: September 1, 2016

Аннотация. Закономерности организации функциональной деятельности спортсменов проанализированы с позиции теории функциональных систем. Психофизиологические процессы спортсменов, определяющие их спортивную деятельность, направлены на достижение спортивных результатов. Показана системная роль мотивации, спортивных навыков, внешней информации, эмоций и установки тренера в формировании физиологических возможностей достижения спортивных результатов. Последовательность достижения спортсменами промежуточных и конечных спортивных результатов описана с позиции концепции системного квантования поведения. Процесс улучшения спортивных результатов объединяется в континуум тренировочной и соревновательной деятельности спортсменов. Процессы утомления в органах и функциональных системах спортсменов рассмотрены в их динамической взаимосвязи. Показана эффективность системного подхода к анализу увеличения резервных возможностей спортсменов при утомлении и снижению работоспособности при переутомлении.

Abstract. The article discusses organizational patterns of athletes' functional activity from the functional systems theory prospective. The psychological and physiological processes in athletes determine their activities and are aimed at sports results achievement. Athletes' physiological capacity is in turn determined by the motivation, sports skills, external information, emotions and coach's instructions. The sequence in the intermediate and final sports results achievement by athletes is described from the prospective of behavioral systemic quantization concept. The process of improving athletic performance is combined in a continuum of athletes' training and competitive activities. The fatigue processes in athletes' viscera and functional systems are analyzed in their dynamic interrelation. The article demonstrates the efficiency of the systemic approach to analyze athletes' reserve capacity increase resulting from fatigue and physical performance decrease resulting from overfatigue.

Ключевые слова. Функциональная система, системное квантование поведения, результаты спортивной деятельности, мотивация, память, эмоции, установка тренера, утомление.

Keywords. Functional system, behavioral systemic quantization, sports activity results, motivation, memory, emotion, coach's instruction, fatigue.

Талантливый физиолог Константин Викторович Судаков (1932–2013) внес значительный вклад в развитие теории функциональных систем П.К. Анохина [1–5]. Новые положения и концепции теории были разработаны на основе экспериментов и исследований сотрудников Научно-исследовательского института нормальной физиологии имени П.К. Анохина, который он создал и возглавлял на протяжении 40 лет. Весомый вклад в развитие теории функциональных систем были внесены профессорами и преподавателями кафедры нормальной физиологии Первого Московского государственного медицинского университета имени И.М. Сеченова, заведующим которой К.В. Судаков был в эти же годы. Развитие общих системных закономерностей способствовало изучению всех направлений физиологии. Особое внимание К.В. Судаков придавал концепции системного квантования поведения, которая была разработанной им в рамках теории функциональных систем [1–3, 6, 7]. Последнее десятилетие жизни К.В. Судаков уделил особое внимание исследованиям лаборатории системных механизмов спортивной деятельности. Он полагал, что применение теории функциональных систем может способствовать эффективному построению тренировочного процесса и достижению высоких спортивных результатов спортсменов на чемпионатах Мира, Европы и Олимпийских играх.

Целью нашей работы было обобщить результаты комплексных исследований спортивной деятельности с позиции теории функциональных систем и концепции системного квантования поведения.

Задачами исследования было описание общих закономерностей организации деятельности спортсменов, изучение континуума системоквантов спортивной деятельности и системный анализ процессов утомления спортсменов.

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СИСТЕМА ДОСТИЖЕНИЯ СПОРТИВНОГО РЕЗУЛЬТАТА

Известно, что в современных условиях спорт стал частью социально-общественной жизни и оказывает большое влияние на разнообразные проявления жизнедеятельности людей [8–10]. В связи с этим возникла настоятельная необходимость исследования уровня здоровья спортсменов и увеличения их резервных возможностей для достижения высоких спортивных результатов. Анализируя с этих позиций систему воспитания спортсменов высшей квалификации, необходимо особо отметить, что это сложный многофакторный процесс, опирающийся на самые современные достижения медико-биологической науки, а также на методологию физического воспитания и практику тренировочной деятельности.

Полученные новые результаты медико-биологических исследований важны для понимания особенностей функционирования организма спортсменов в определенном виде спорта на фоне выполнения физических нагрузок большого объема и интенсивности. Они должны быть согласованы с имеющимися знаниями и встроены в существующие физиологические теории регуляции функций организма. В настоящее время ведущими физиологическими теориями регуляции функций организма стали рефлекторная теория и теория функциональных систем [11].

Рефлекторная теория постулирует сигнальный принцип поведения человека и животных. Раздражение является сигналом последующего действия [12]. Рефлекс – это ответная реакция организма на раздражение рецепторов с помощью нервной системы. Рефлекторная теория описывает предопределенность поведенческих ответов организма на раздражения. Настоящее определяется прошлым. И.М. Сеченов (1829–1905) в книге «Рефлексы головного мозга» (1863) говорил, что «...все сознательные и бессознательные действия человека – суть рефлексы» [13, с. 395]. С точки зрения рефлекторной теории внешние раздражения, например, сигнальный выстрел на старте, определяет моторную активность спортсмена на соревновании.

В отличие от рефлекторных представлений о поведении с помощью условных и безусловных рефлексов теория функциональных систем рассматривает поведение как совокупность действий организма, определяемых будущим результатом поведения, а не как следствие предыдущих внешних и внутренних раздражений. Внутримозговая организация процессов поведения обеспечивает опережающее отражение действительности [1, 11]. Взаимодействие внутримозговых процессов, обеспечивающих целенаправленное поведение, раскрыто П.К. Анохиным [14, 15] и детализировано в последующих работах К.В. Судакова [1–5].

Теория функциональных систем базируется на научно обоснованных постулатах.

1. Результат деятельности организма является фактором, образующим функциональную систему.
2. Функциональные системы организованы по принципу саморегуляции гомеостатических результатов организма.
3. Функциональные системы различного уровня организации обладают сходством строения или изоморфизмом.
4. Достижение конечного результата деятельности организма происходит за счет направленного на результат взаимодействия элементов функциональной системы.
5. Функциональные системы разной сложности организации взаимодействуют между собой для достижения полезного приспособительного резуль-

тата по закону иерархии. Более сложные функциональные системы используют результаты более простых систем.

6. Изменение параметров результата одной гомеостатической функциональной системы приводит к отклонению результатов других функциональных систем с достижением нового уровня гомеостаза, что называют мультипараметрическим регулированием функций организма [3].

Спортивная деятельность является совокупностью двигательных актов спортсмена, направленных на реализацию его спортивных навыков в определенном виде спорта и достижением определенного спортивного результата. Спортивные результаты и рекорды являются высшим проявлением целенаправленной деятельности спортсмена. Именно ради спортивных результатов осуществляется тренировочный процесс и вся спортивная деятельность спортсмена. С точки зрения теории функциональных систем они представляют собой конечные результаты спортивной деятельности, к которым стремится каждый спортсмен. Интеграция внутренних процессов организма и факторов внешней среды в функциональные системы целенаправленного поведения спортсмена происходит за счет спортивных результатов, которые и образуют эти системы. Системообразующие факторы избирательно мобилизуют функциональные процессы организма, обеспечивающие резервные возможности спортсмена [16–18].

Спортивный результат предопределяет взаимодействие психических и физиологических процессов в организме спортсмена, определяющих

физиологические возможности его спортивной деятельности (рис. 1).

Исходное состояние спортсменов формируется на основе нескольких психофизиологических процессов.

1. Внутренняя потребность в достижении спортивного результата является побудительной причиной целенаправленного поведения спортсмена. Она относится к социальным потребностям человека, которые зарождаются в процессе мышления в ассоциативной коре больших полушарий головного мозга и сначала не осознаются.

2. Внутренняя потребность переводится в нейронах подкорковых центров головного мозга в мотивационное возбуждение, и мотивация к достижению спортивного результата осознается спортсменом. Возникновение мотивации происходит не постепенно, а мгновенно при достижении внутренней потребности критического уровня, что происходит в ходе тренировочного процесса или в предстартовом состоянии спортсмена на соревнованиях. Мотивация спортсмена всегда ориентирована на достижение максимально возможного спортивного результата и победу спортсмена на соревновании. Показано, что мотивационное возбуждение при биологических потребностях распространяется из гипоталамуса к коре больших полушарий мозга, захватывая лимбическую систему и ретикулярную формацию [19]. Можно считать, что нейрофизиологические механизмы мотивации достижения спортивного результата не отличаются от механизмов иных мотиваций.

При одновременном возникновении других — социальных и биологических мотиваций — спортивная

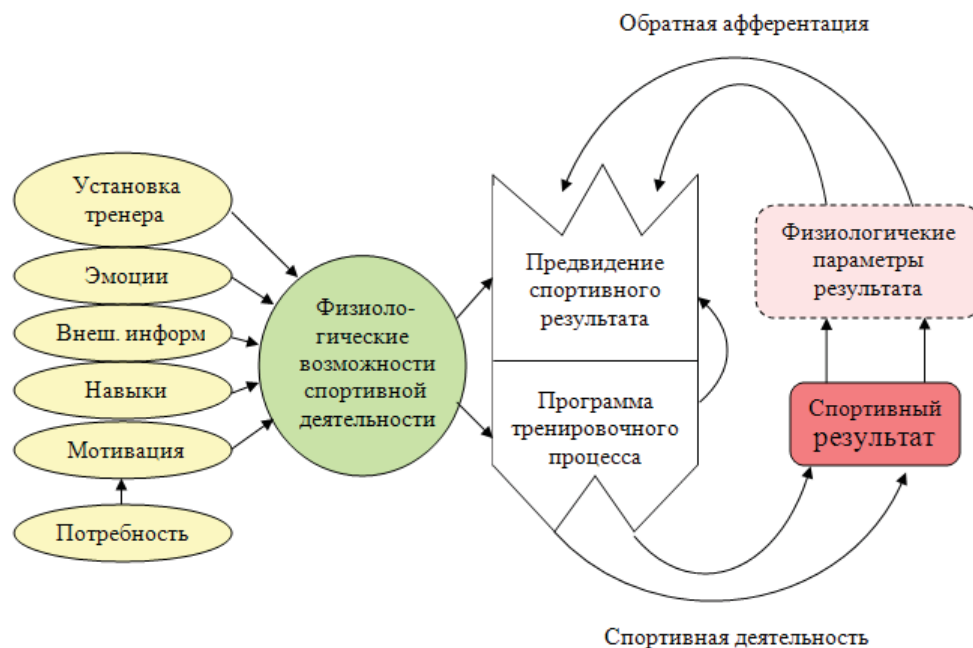


Рис. 1. Центральная архитектура доминирующей функциональной системы достижения спортивного результата спортсменом

мотивация взаимодействует с ними по доминантному принципу [19]. Мотивация к достижению спортивного результата удовлетворяется в первую очередь, когда ее сила превалирует над величинами других мотиваций. В спорте высших достижений спортивная мотивация всегда бывает доминирующей.

3. Ведущее значение для организации адекватной спортивной деятельности имеют отработанные в ходе тренировок локомоторные навыки выполнения спортивных движений. Мотивация к достижению спортивного результата и накопленные навыки взаимодействуют в корково-подкорковых центрах головного мозга. Мотивационное возбуждение нервных центров активно извлекает накопленный спортивный опыт из памяти, и каждое удачное удовлетворение спортивной мотивации обогащает индивидуальный опыт спортсмена. В соответствии с законом оптимума мотивации [19] наилучшее извлечение накопленного спортивного опыта из памяти и достижение высокого спортивного результата происходит при оптимальной величине мотивации. Оптимум мотивации зависит от подготовленности спортсмена к соревнованию в процессе тренировок. При недостаточной подготовке спортсмена требуется более сильная мотивация для достижения спортивного результата, а при достаточной подготовке спортсмена его мотивация к победе не должна быть чрезмерной, поскольку сопровождающие ее эмоции могут дезорганизовать его спортивную деятельность и снизить результативность этой деятельности.

4. Внешняя информация, постоянно поступающая через сенсорные системы в мозг спортсмена в процессе тренировочной и соревновательной деятельности, изменяет поведение спортсмена в соответствии с возникающей обстановкой. Внимание спортсмена направлено на отбор внешней информации, способствующей достижению спортивного результата [20, 21].

5. Субъективная оценка спортсменом его внутреннего состояния формируется в эмоциогенных центрах лимбической системы мозга. Эмоциональная оценка дается как мотивации и уровню спортивного мастерства, так и внешней информации [22]. Выраженность эмоционального напряжения оценивают с помощью субъективной оценки спортсменом своих эмоций при ответе на психологические вопросники [23, 24], параметров variability сердечного ритма [25] и неравномерности ритма дыхания [26]. Доминирующее эмоциональное напряжение может способствовать или препятствовать достижению спортивного результата [17, 18, 22]. Случаи спортивных неудач на соревнованиях возможны как при пониженном, так и чрезмерно повышенном эмоциональном напряжении спортсмена [17, 18].

6. Взаимодействие мотивации, накопленного опыта, внешней информации и эмоционального фона создает у спортсмена определенную установку сознания [27] на достижение планируемого спортивного результата. При этом сознание спортсмена концентрируется на внутренних и внешних процессах, способствующих достижению высокого спортивного результата. Сознание спортсмена сосредотачивается на спортивной деятельности, и другие внешние события и изменения функций организма при физическом напряжении становятся для него второстепенными. Побочные внешние раздражители и внутренние психофизиологические процессы временно вытесняются из мыслительно-эмоциональных процессов мозга спортсмена.

Словесная инструкция тренера, его советы и пожелания окончательно корректируют установку сознания спортсмена на спортивный результат. Указания опытного тренера помогают спортсмену правильно выполнить определенную последовательность необходимых действий в процессе тренировочной и соревновательной деятельности. Советы и напутствия тренера являются дополнительными компонентами формирования установки сознания спортсмена на достижение высокого спортивного результата. Состояние спортсмена перед стартом количественно определяют по его интегральным психофизиологическим параметрам [28].

Взаимодействие внутренней и внешней информации происходит в мозге на стадии афферентного синтеза, который заканчивается принятием решения о способах достижения спортивного результата и формированием программы моторной активности спортсмена. Одновременно в нервных центрах возникает акцептор ожидаемого спортсменом результата его деятельности.

Согласно представлениям о внутримозговой организации целенаправленного поведения взаимодействие внутренней и внешней информации происходит в мозге на стадии афферентного синтеза. Афферентный синтез психофизиологических процессов заканчивается принятием решения о способах достижения потребного результата поведения [1, 3, 14, 15]. Афферентный синтез внутренней и внешней информации протекает у спортсменов длительно. Принятие решения о способах достижения спортивного результата является мгновенным процессом и знаменует окончание афферентного синтеза. Сразу после окончания афферентного синтеза в ассоциативных центрах мозга возникает устойчивая программа спортивной деятельности, направленной на достижение спортивного результата. В подкорковых центрах (мозжечке, стриопаллидарной системе и таламусе) план будущей спортивной деятельности уточняется, и возбуждение, достигнув моторной коры, передается от нее к мотонейронам спинного мозга по пирамидной системе.

Одновременно в ассоциативных отделах коры больших полушарий головного мозга и лимбической системе формируется акцептор ожидаемого спортсменом результата его деятельности. Это аппарат предвидения параметров будущего спортивного результата. В нем хранится информация о предстоящих спортивных действиях спортсмена и параметрах планируемого будущего спортивного результата [3, 15, 22].

После окончания соревновательного процесса информация о параметрах спортивного результата возвращается в центральную нервную систему спортсмена с помощью обратной афферентации и оценивается в акцепторе результата действия. Происходит как логическая, так и эмоциональная оценка результата спортивной деятельности. В случае совпадения параметров планируемого результата с параметрами достигнутого результата в эмоциональных центрах мозга формируются положительные эмоции, которые запоминаются и создают положительный фон для последующего успешного выступления спортсмена на соревнованиях. При несовпадении этих параметров возникают отрицательные эмоции, которые заставляют переосмыслить подготовку спортсмена к высоким спортивным результатам на будущих соревнованиях [22].

Следовательно, теория функциональных систем П.К. Анохина стала тем направлением в психофизиологической науке, которое позволило оценить тренировочный процесс и соревновательную деятельность спортсменов с принципиально новых научно-обоснованных позиций, выявляя наиболее значимые процессы регуляции физиологических функций спортсменов.

СИСТЕМНОЕ КВАНТОВАНИЕ СПОРТИВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Разнообразие строения и функций живой материи следует философскому закону о единстве прерывности и непрерывности всего мироздания [6]. Концепция системного квантования процессов жизнедеятельности описывает прерывно-непрерывные закономерности организации функций организма [6]. Разработанная К.В. Судаковым концепция, как составная часть теории функциональных систем, оказалась применимой для исследования функциональных процессов в спортивной деятельности [7].

Процессы жизнедеятельности складываются из дискретных этапов, направленных на удовлетворение ведущих потребностей организма. По аналогии с квантами в физике, под которыми понимают неделимую порцию какого-либо физического процесса, в теории функциональных систем они названы системными квантами. Каждый системный квант является единицей определенного функционального процесса организма, этапом жизнедеятельности

индивидуума от возникновения потребности в сохранении постоянства внутренней среды организма до ее удовлетворения [26]. Конечные результаты поведения достигаются через получение промежуточных результатов поведения [6, 7]. Каждый этап поведения включает центральные механизмы построения поведения, описанные в теории функциональных систем организма [3, 14, 15].

Концепция системного квантования процессов жизнедеятельности выделяет общие свойства системных квантов.

1. Они обладают одновременно свойствами частицы и волны. Каждый системный квант обладает свойствами, отличающими его от предыдущего и последующего кванта, и одновременно они частично имеют свойства колебательного процесса между потребностью и величиной результата, которого планируется достичь.

2. Системные кванты начинаются при достижении внутренней потребности критической величины, что было названо триггерным механизмом.

3. Каждый системный квант поведения состоит из промежуточных этапов, в ходе которых происходит системная внутримозговая организация поведения.

4. Взаимодействие потребности и достижения конечного результата через ряд промежуточных результатов происходит с помощью различных нейрогуморальных процессов регуляции без потери информационного смысла.

5. Функциональные процессы организма, отражающие его потребность, и процессы удовлетворения потребности взаимодействуют в нервных центрах по голографическому принципу, аналогичному принципу взаимодействия опорных и предметных волн при интерференции света.

6. Системные кванты взаимодействуют между собой в виде последовательных, иерархических и конкурентных влияний.

7. Системные кванты объединяются в квантовый континуум за счет влияния предыдущих квантов на последующие [3, 6, 7].

С.К. Судаков предвидел перспективность исследования спортивной деятельности с позиции системного квантования поведения. Каждый системный квант спортивной деятельности возникает за счет ведущей в данный момент спортивной потребности организма. Он заключается в целенаправленном поведении спортсмена от возникновения внутренней спортивной потребности до достижения запланированного спортивного результата, удовлетворяющего эту потребность. Системные кванты спортивной деятельности представляют собой дискретные отрезки тренировочного и соревновательного поведения спортсмена от начала действий спортсмена по удовлетворению его спортивной потребности до достижения спортивного результата [17, 18].

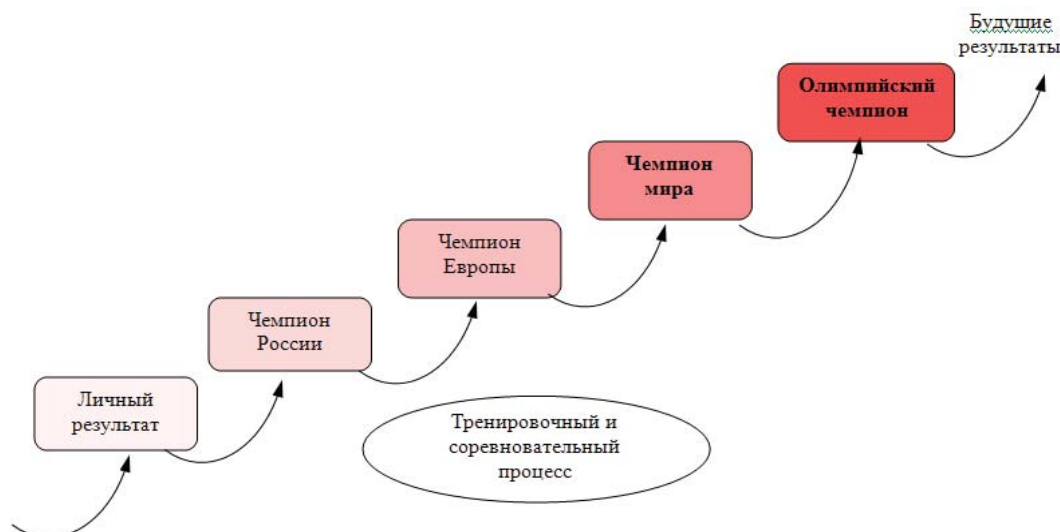


Рис. 2. Континуум результатов системных квантов спортивной деятельности спортсмена

Тренировочная и соревновательная деятельность спортсмена включает последовательность скоординированных двигательных актов с достижением ряда промежуточных результатов спортивной деятельности. Информация об этапных результатах деятельности спортсмена поступает в его мозг для оценки. При достижении каждого промежуточного результата потребность в достижении спортивного результата частично удовлетворяется. При отсутствии достижения одного или нескольких этапных результатов потребность спортсмена не удовлетворяется, что вынуждает его внести коррекцию в свою последующую спортивную деятельность. Внешние события могут вносить изменения в организацию процессов системных квантов спортивной деятельности, помогая или мешая достижению желаемого спортивного результата.

Закономерности организации системных квантов спортивной деятельности включают описанные П.К. Анохиным внутримозговые процессы организации целенаправленного поведения [14, 15]. Каждый системный квант спортивной деятельности, направленной на результат, начинается с формирования исходного психофизиологического состояния спортсмена, возникающего в мозге при взаимодействии мотивации, памяти, эмоциональных переживаний и обстановочной информации.

Итоговая оценка спортивной деятельности складывается из оценки сначала промежуточных результатов и затем конечного результата. Системный квант спортивной деятельности, направленной на результат, завершается полным удовлетворением внутренней потребности спортсмена к достижению высокого спортивного результата. Одновременно происходит позитивная логическая и эмоциональная оценка достигнутого спортивно-

го результата. После окончания системного кванта спортивной деятельности немедленно начинается очередной системный квант поведения спортсмена, направленный на восстановление функций организма и подготовку к последующей спортивной деятельности.

Одновременно с дискретными свойствами системные кванты спортивной деятельности обладают волновыми свойствами [3, 6, 7]. Организующие системные кванты волны обусловлены колебаниями между психофизиологическими процессами, определяющими спортивную деятельность, и величиной недостигнутого конечного спортивного результата на промежуточных этапах деятельности спортсмена [28].

Спортивная деятельность каждого спортсмена складывается из последовательных системных квантов, направленных на достижение спортивных результатов. Каждый системный квант спортивной деятельности заканчивается достижением спортивного результата и его оценкой в акцепторе результата действия спортсмена. Вслед за этим возникает системный квант спортивной деятельности, направленный на достижение последующего спортивного результата, удовлетворяющего очередную спортивную потребность. Каждый последующий системный квант спортивной деятельности формируется с использованием предыдущих навыков достижения спортивного результата, а также освоением новых навыков [18]. Этапное удовлетворение потребности спортсмена в достижении высокого спортивного результата в ходе каждого системного кванта спортивной деятельности сливается в континуум системных квантов спортсмена в процессе его тренировочной и соревновательной деятельности (рис. 2).

Для практического применения концепции системного квантования были разработаны общие принципы исследования системных квантов поведения.

1. Изучаемое поведение должно состоять из нескольких последовательных однотипных, иерархических или конкурентных этапов.

2. Поведение должно строиться на основе инструкции, заданной исследователем.

3. Должны быть зарегистрированы количественные параметры этапных и конечных результатов поведения.

4. Необходимо измерение исходной потребности и, при необходимости, уровня мастерства, эмоционального настроя и обстановочной информации перед началом исследования.

5. Должен быть налажен канал обратной связи, информирующий испытуемого о результате каждого этапа поведения.

6. Поведение должно усложняться на каждом последующем этапе для выявления предельных возможностей испытуемого.

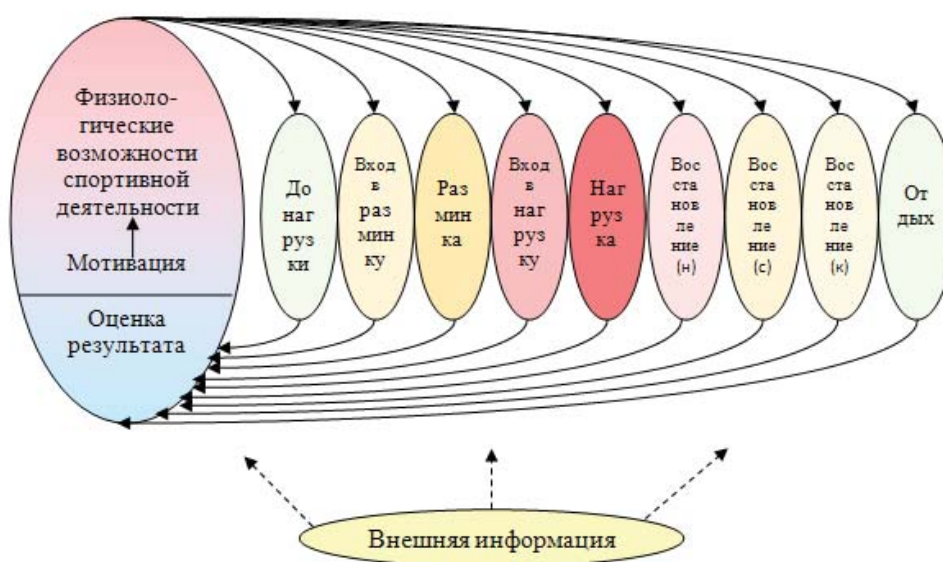
7. Исследование поведения должно быть проведено несколько раз при изменении уровня мотивации, обеспечивающей достижение этапных и конечного результатов, и уровень мотивации должен задаваться соответствующей инструкцией исследователя [29].

Концепция системного квантования процессов жизнедеятельности стала основой для нашего исследования тренировочного процесса спортсменов на велоэргометре. Каждый системный квант тренировочного процесса спортсменов включал 9 этапов (рис. 3).

Каждый этап системного кванта тренировочного процесса спортсменов заканчивался определенным поведенческим этапным результатом и субъективно оценивался спортсменами. Окончательным результатом тренировочного процесса для каждого спортсмена было успешное выполнение всех последовательных этапов системного кванта спортивной деятельности. Исследование тренировочного процесса спортсменов с использованием принципов системного квантования поведения давало возможность сопоставлять изменяющиеся в динамике физиологические параметры с этапными результатами тренировки каждого спортсмена [16].

На каждом этапе вращения педалей велоэргометра у спортсменов измеряли сердечно-сосудистые, дыхательные и электромиографические параметры. Параметры variability сердечного ритма сопоставляли с тонусом симпатической (СНС) и парасимпатической нервной системы (ПНС), что имело значение для анализа системных механизмов регуляции функций спортсменов на последовательных этапах исследуемого системного кванта спортивной деятельности. У разных спортсменов были индивидуальные величины физиологических параметров, но у всех была одинаковая динамика изменений этих параметров при физической нагрузке.

В предстартовом состоянии спортсменов частота сердечных сокращений (ЧСС) была ниже средней ЧСС людей в покое, что было за счет увеличения тонуса ПНС и свидетельствовало о хорошей подготовке обследуемых спортсменов. При разминке ЧСС постепенно увеличивалась, и разброс длительности сердечных циклов уменьшался. Это было связано с увеличением тонуса СНС. При физической



(н), (с), (к) – начало, середина и конец восстановления физиологических функций

Рис. 3. Системный квант тренировочного процесса спортсмена

нагрузке спортсменов максимально увеличивал скорость вращения педалей велоэргометра. ЧСС еще больше увеличивалась и вариабельность сердечного ритма становилась минимальной, что происходило за счет максимального усиления тонуса СНС. Окончание работы на велоэргометре происходило по команде исследователя, когда ЧСС достигала критической величины, вслед за которой могли происходить неоправданные перегрузки спортсменов. Критическое значение ЧСС предварительно вычисляли индивидуально для каждого спортсмена [23, 24, 30]. При выходе спортсменов из нагрузки ЧСС постепенно уменьшалась и значительно увеличивалась вариабельность сердечного ритма. Это было обусловлено увеличением тонуса ПНС. После окончания выхода спортсменов из нагрузки и начала отдыха ЧСС оставалась выше предстартового уровня. Разброс ЧСС был меньше, чем в предстартовом состоянии. Это было связано с частично оставшимся повышенным тонусом СНС.

Проведенные нами серии таких исследований физиологических процессов при напряжении и сопоставление функциональных перестроек в гомеостатических функциональных системах организма с этапными результатами и конечным спортивным результатом позволило определить количественные параметры «физиологической цены» достижения этих результатов.

Следовательно, количественный анализ системных квантов спортивной деятельности, связанный с «физиологической ценой» выполняемой работы, открывает новые перспективы в управлении тренировочным процессом и соревновательной деятельностью спортсмена.

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ УТОМЛЕНИЯ СПОРТСМЕНОВ

Экстремальные нагрузки в спорте высших достижений предъявляют высокие требования к физиологическим процессам организма спортсмена. Однако работоспособность спортсмена всегда уменьшается в ходе спортивной деятельности. Физическое напряжение приводит к нарушению координации функций спортсмена. Особенно это проявляется при работе спортсмена на пределе его функциональных возможностей. Снижение эффективности достижения спортивного результата обусловлено процессами утомления в функциональных системах организма. При этом происходят изменения физиологических процессов во всех функциональных системах организма [8, 9, 31]. Утомление субъективно оценивается спортсменом как чувство усталости, ощущение невозможности продолжать спортивную деятельность [32].

В начале физического напряжения процессы утомления могут иметь положительное значение,

предотвращая истощения функционального потенциала организма, что считается биологически целесообразной охранительной реакцией организма [33]. Утомление стимулирует резервные возможности организма, совершенствует спортивную деятельность, направленную на достижение высоких спортивных результатов. При длительном физическом напряжении происходит истощение функциональных резервов организма. Утомление переходит в переутомление, и временное снижение работоспособности становится устойчивым.

Работоспособность спортсмена, формируемая регулярными тренировками, и запланированный спортивный результат исходно определяют функциональные возможности спортивной деятельности. Нервная и гормональная регуляция приспособляют интенсивность двигательных и вегетативных функций спортсмена к оптимальному способу достижения спортивного результата.

Психофизиологические процессы мозга спортсмена ухудшаются при угасании мотивации, утраты части спортивных навыков, эмоциональном перенапряжении, завышенным требованиям к достижению спортивного результата, памяти о предыдущих неудачах в спортивных соревнованиях [34]. Нарушение внутренних механизмов регуляции функций спортсмена может дополняться стрессовой обстановкой на соревнованиях [35].

Основным фактором утомления является нарушение согласованной работы нервно-мышечной системы в ходе спортивной деятельности. Главным механизмом снижения спортивной деятельности является утомление процессов возбуждения в центральной нервной системе. В основе центрального утомления лежит низкая лабильность нервных центров и истощение медиаторов в синапсах, обеспечивающих проведение возбуждения между корково-подкорковыми центрами головного мозга. Центральное утомление опережает периферическое утомление нервно-мышечной системы [36–38].

Дополнительным фактором снижения работоспособности является утомление в периферических нервно-мышечных синапсах, что связано с уменьшением чувствительности постсинаптических рецепторов к медиатору ацетилхолину при его ритмическом воздействии на постсинаптическую мембрану. Одновременно уменьшаются запасы ацетилхолина в везикулах пресинаптических нервных окончаний при их длительном возбуждении, распространяющемся из спинного мозга к работающим мышцам. Скелетная мускулатура спортсмена утомляется в последнюю очередь. Уменьшение силы и скорости сокращения мышц обусловило снижение в них запасов макроэргических фосфатов и кальция, который обеспечивает взаимодействие сократительных белков актина и миозина в мышцах. Накопление углекислого газа и молочной кис-

лоты сдвигает рН в кислую сторону, что замедляет скорость биохимических реакций в мышцах [39].

Существенная роль в процессах утомления в спортивной деятельности принадлежит уменьшению эффективности обеспечения нервно-мышечной системы вегетативными процессами организма. При субмаксимальных и максимальных спортивных нагрузках происходит утомление миокарда, и работоспособность сердца уменьшается. При длительном напряжении спортсмена ухудшаются функции внешнего, внутреннего и тканевого дыхания. Частота и глубина дыхания не удовлетворяет кислородный запрос скелетной мускулатуры. Нарастает кислородный долг перед работающими мышцами и внутренними органами. Кислородная емкость крови уменьшается в связи с участием гемоглобиновой буферной системы крови в поддержании кислотно-щелочного равновесия в крови и тканях. При длительной физической работе развивается компенсированный газометаболический ацидоз, который обусловлен накоплением в крови и тканях двуокиси углерода, лактата и аммиака. Буферная емкость крови уменьшается, создавая угрозу нарушения функциональных процессов организма. Происходит изменение водно-солевого баланса организма. Обильное потоотделение и испарение воды при форсированном дыхании спортсмена увеличивает осмотическое давление и вязкость крови. Потеря внутриклеточной жидкости приводит к нарушению функций клеток. Потеря организмом ионов натрия, калия, кальция и хлора изменяет процессы возбуждения в нервной системе и работающих мышцах [39–41].

Комбинация нарушений психофизиологических, нервно-мышечных и вегетативных процессов орга-

низма приводит к уменьшению работоспособности нервно-мышечной системы спортсмена. Утомление спортсмена приводит к снижению его результативной деятельности (рис. 4).

Механизмы развития утомления обусловлены мощностью и длительностью физической нагрузки, характером и сложностью спортивной деятельности в различных видах спорта, а также адаптивными реакциями организма при выполнении физической работы большого объема и интенсивности [33, 42]. Так, например, последовательность возникновения процессов утомления имеет особенности в различных видах беговой работы и индивидуальна для каждого спортсмена. В спринте преобладают анаэробные алактатные процессы утомления в работающей скелетной мускулатуре за счет стремительного истощения запасов АТФ и креатинфосфата в течение 15–30 с. Одновременно развиваются центральные механизмы утомления. Центральное утомление опережает периферическое утомление в нервно-мышечной системе [42]. При работе спортсменов с субмаксимальной интенсивностью на средних дистанциях происходят как лактатные анаэробные, так и аэробные процессы окисления. Начинают появляться эффекты гипоксии, гипокании и накопления продуктов окисления в работающих мышцах. Нарастают нарушения в дыхательной и сердечно-сосудистой системе [43]. На стайерских дистанциях возникают глубокие метаболические аэробные изменения, накапливаются токсические продукты обмена, нарушается водно-солевой баланс, изменяются клеточные и молекулярные процессы возбуждения в центральной и периферической нервной системе [39–41].

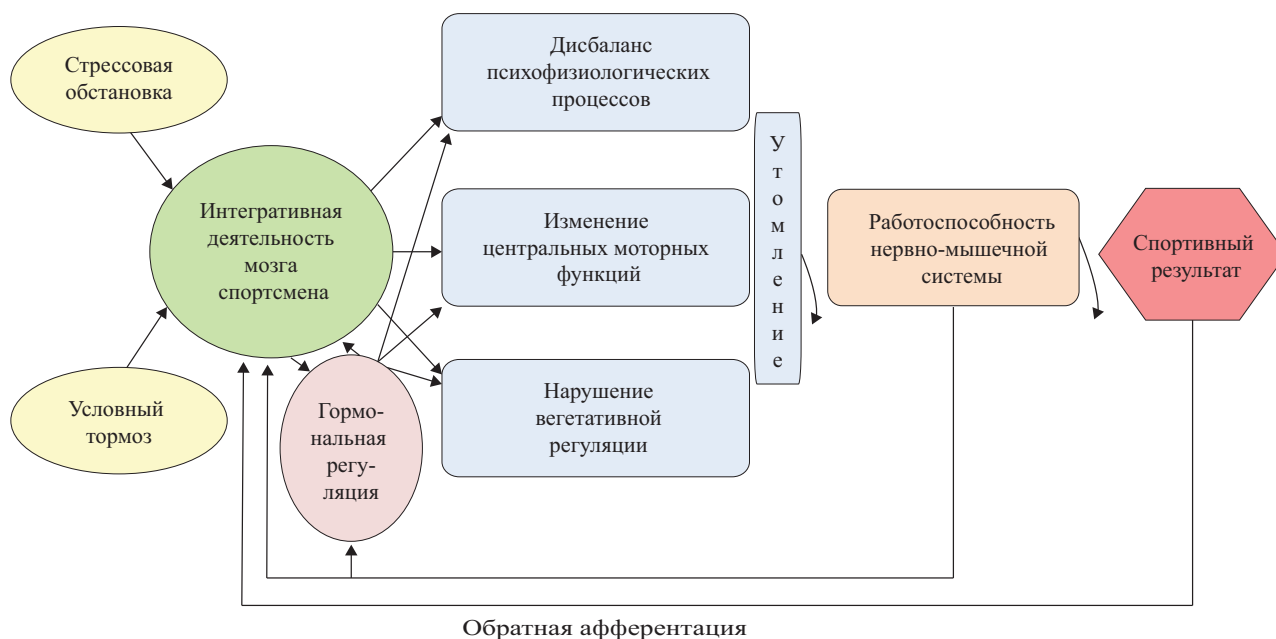


Рис. 4. Взаимодействие системных процессов утомления, снижающих эффективность спортивной деятельности

Процессы утомления при различных режимах циклической работы спортсменов не являются независимыми друг от друга. Взаимодействуя между собой, они образуют элементы системной организации поведенческих и гомеостатических процессов, обеспечивающих результат спортсмена. Комбинация различных нарушений функций организма приводит к уменьшению работоспособности нервно-мышечной системы спортсмена. Интегральная оценка этих изменений в организме характеризует утомление спортсмена, выражающееся в ограничении выполнения циклической работы [31].

Несмотря на различные механизмы формирования утомления, анализ спортивной деятельности с позиции теории функциональных систем дает возможность тренеру не только оценивать состояние спортсмена, но и качественно управлять тренировочным процессом, ориентированным на достижение спортивного результата.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Спортивные результаты в спорте высших достижений обеспечиваются адаптационными изменениями всех функциональных систем организма через компенсаторные механизмы саморегуляции физиологических функций спортсменов. В организме спортсменов формируются новые метаболические взаимоотношения, которые создают основу для тренировочной и соревновательной деятельности спортсменов. Дополнительные и уникальные возможности в данном вопросе открывает теория функциональных систем, разработанная П.К. Анохиным и К.В. Судаковым, которая с принципиально новых позиций системного квантования процессов жизнедеятельности позволяет понять физиологические закономерности при выполнении тренировочной и соревновательной работы большого объема и интенсивности. Несмотря на различие физиологических процессов при выполнении анаэробной и аэробной работы, а также особенности механизмов формирования утомления анализ спортивной деятельности с позиции теории функциональных систем позволяет не только оценивать функциональное состояние спортсменов, но и качественно управлять тренировочным процессом, ориентированным на достижение высоких спортивных результатов.

Список литературы

1. Судаков К.В. Избранные труды. М.: ГУ НИИ нормальной физиологии им. П.К. Анохина РАМН; 2007; 1: 343. [Sudakov K.V. Selected works. Moscow: Anokhin Research Institute of Normal Physiology. Russian Academy of Medical Sciences. 2007; 1: 343 (in Russian).]
2. Судаков К.В., Кузичев И.А., Николаев А.Б., Шелканов В.И. Эволюция терминологии и схем функциональных систем в научной школе П.К. Анохина. М.: Европейские полиграфические системы; 2010: 238. [Sudakov K.V., Kuzichev I.A., Nikolaev A.B., Shchelkanov V.I. Evolution of terminology and schemes of functional systems in the scientific school of P.K. Anokhin. Moscow: European printing system; 2010: 238 (in Russian).]
3. Судаков К.В. Функциональные системы. М.: РАМН; 2011: 320. [Sudakov K.V. Functional systems. Moscow: RAMS; 2011: 320 (in Russian).]
4. Судаков К.В., Андрианов В.В., Вагин Ю.Е. и др. Нормальная физиология. М.: ГЕОТАР-Медиа; 2012: 880. [Sudakov K.V., Andrianov V.V., Vagin Yu.Y. et al. Normal physiology. Moscow: GEOTAR-Media; 2012: 880 (in Russian).]
5. Судаков К.В. (ред.), Андрианов В.В., Вагин Ю.Е., Киселев И.И. Физиология человека: Атлас динамических схем. М.: ГЕОТАР-Медиа; 2015: 416. [Sudakov K.V. (ed.), Andrianov V.V., Vagin Yu.Y., Kiselev I. Human Physiology: Atlas of dynamic circuits. Moscow: GEOTAR-Media; 2015: 416 (in Russian).]
6. Судаков К.В. (ред.), Вагин Ю.Е., Андрианов В.В. и др. Кванты жизнедеятельности. М.: Московская медицинская академия им. И.М. Сеченова; 1993: 260. [Sudakov K.V. (ed.), Vagin Yu.Y., Andrianov V.V. et al. Quanta of life. Moscow: I.M. Sechenov Moscow Medical Academy; 1993: 260 (in Russian).]
7. Судаков К.В. (ред.), Агаянц Г.Ц., Вагин Ю.Е. и др. Системокванты физиологических процессов. М.: Международный гуманитарный фонд арменоведения; 1997: 152. [Sudakov K.V. (ed.), Agayants G.T., Vagin Yu.Y. et al. Sistem quanta of physiological processes. Moscow: International Humanitarian Fund for Armenian Studies; 1997: 152 (in Russian).]
8. Фудин Н.А. Газовый гомеостазис (произвольное формирование нового стереотипа дыхания). Тула: Тульский полиграфист; 2004: 216. [Fudin N.A. Gas homeostasis (Spontaneous formation of a new stereotype of breathing). Tula: Tula polygraphist; 2004: 216 (in Russian).]
9. Фудин Н.А., Хадарцев А.А., Орлов В.А. Медико-биологические технологии в спорте. М.: Известия; 2011: 460. [Fudin N.A., Khadartsev A.A., Orlov V.A. Biomedical technologies in sports. Moscow: Izvestia, 2011: 460 (in Russian).]
10. Ильина И.В. Культура здоровья как основа формирования качества жизни. Вестник восстановительной медицины. 2011; 6: 52–54. [Ilyin I.V. Health culture as a basis of the quality of life. Journal of restorative medicine and rehabilitation. 2011; 6: 52–54 (in Russian).]
11. Вагин Ю.Е. Физиология — теоретическая основа медицины. Сеченовский вестник. 2013; 14(4): 18–24.

- [Vagin Yu. Physiology - the theoretical basis of medicine. *Sechenovsky Vestnik*. 2013; 14(4): 18–24 (in Russian).]
12. Судаков К.В. И.М. Сеченов не был «отъявленным материалистом». *Сеченовский вестник*. 2013; 14(4): 5–8. [Sudakov K.V. I.M. Sechenov was not “an inveterate materialist”. *Sechenovskiy Vestnik*. 2013; 14(4): 5–8 (in Russian).]
 13. Сеченов И.М. Биография. Главные труды. СПб.: ДЕАН; 2004: 816. [Sechenov I.M. Biography. Major works. St. Petersburg: Dean; 2004: 816 (in Russian).]
 14. Анохин П.К. Биология и нейрофизиология условного рефлекса. М.: Медицина; 1968: 546. [Anokhin P.K. Biology and neurophysiology of the conditional reflex. Moscow: Medicine; 1968: 546 (in Russian).]
 15. Анохин П.К. Очерки по физиологии функциональных систем. М.: Медицина; 1975: 446. [Anokhin P.K. Essays on the physiology of functional systems. Moscow: Medicine; 1975: 446 (in Russian).]
 16. Фудин Н.А., Вагин Ю.Е., Классина С.Я. Методология теории функциональных систем как новый подход к управлению тренировочным процессом. *Вестник новых медицинских технологий*. 2012; 19(4): 118–122. [Fudin N.A., Vagin Yu.Y., Klassina S.Y. Methodology of the functional systems theory. *Bulletin of new medical technologies*. 2012; 19(4): 118–122 (in Russian).]
 17. Фудин Н.А., Вагин Ю.Е. Системная организация спортивной деятельности// Вестник новых медицинских технологий (электронный журнал). 2013; 1(2–82): 1–5. Режим доступа: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2013-1/00.htm> (дата обращения: 12.04.2016). [Fudin N.A., Vagin Yu.Y. System organization of sporting activities. *Bulletin of new medical technologies (e-magazine)*. 2013; 1(2–82): 1–5. Available at: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2013-1/00.htm> (accessed April 12, 2016) (in Russian).]
 18. Фудин Н.А., Вагин Ю.Е., Вагина М.Ю. Теория функциональных систем и результативная деятельность спортсменов. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2013; 2: 17–22. [Fudin N.A., Vagin Yu.Y., Vagina M.Y. The theory of functional systems and the effectiveness of the athletes. *Sports Medicine: Science and Practice*. 2013; 2: 17–22 (in Russian).]
 19. Судаков К.В. Избранные труды. М.: НИИ нормальной физиологии им. П.К. Анохина РАМН; 2008; 2: 484. [Sudakov K.V. Selected works. Anokhin Institute of Normal Physiology. Moscow: Russian Academy of Medical Sciences. 2008; 2: 484 (in Russian).]
 20. Ильин Е.П. Психология спорта. СПб.: Питер; 2008: 352. [Ilyin E.P. Sports Psychology. St. Petersburg: Peter; 2008: 352 (in Russian).]
 21. Родионова А.В. (ред.). Психология физической культуры и спорта. М.: Академия; 2010: 368. [Rodionova A.V. (ed.). Psychology of Physical Culture and Sports. Moscow: Academia; 2010: 368 (in Russian).]
 22. Судаков К.В. Избранные труды. М.: НИИ нормальной физиологии им. П.К. Анохина РАМН; 2012; 3: 534. [Sudakov K.V. Selected works. Moscow: Anokhin Institute of Normal Physiology. Russian Academy of Medical Sciences; 2008; 2: 484 (in Russian).]
 23. Фудин Н.А., Классина С.Я., Вагин Ю.Е. Восстановительные эффекты тепловых воздействий после интенсивной физической нагрузки. *Вестник новых медицинских технологий*. 2013; 20(4): 74–78. [Fudin N.A., Klassina S.Y., Vagin Yu.Y. Regenerative effects of thermal effects after intense physical activity. *Bulletin of new medical technologies*. 2013; 20(4): 74–78 (in Russian).]
 24. Фудин Н.А., Классина С.Я., Вагин Ю.Е. Ритмические тепловые воздействия как нелекарственное средство реабилитации функционального состояния спортсменов после интенсивной физической нагрузки. *Теория и практика физической культуры*. 2014; 9: 94–97. [Fudin N.A., Klassina S.Y., Vagin Yu.Y. Rhythmic thermal effects as a non-drug means of rehabilitation of the functional state of athletes after intense physical activity. *Theory and Practice of Physical Culture*. 2014; 9: 94–97 (in Russian).]
 25. Вагин Ю.Е., Зеленкова И.Е., Фудин Н.А. Системные механизмы целенаправленного увеличения задержки дыхания при спортивной деятельности. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2015; 2: 24–32. [Vagin Yu.Y., Zelenkova I.E., Fudin N.A. System mechanisms targeted to increase breath-holding during sporting activities. *Sports Medicine: Science and Practice*. 2015; 2: 24–32 (in Russian).]
 26. Вагин Ю.Е. Неравномерность ритма дыхания как показатель эмоционального напряжения. *Сеченовский вестник*. 2015; 20(2): 13–23. [Vagin Yu.Y. The unevenness of the rhythm of respiration as an indicator of emotional stress. *Sechenovskiy Vestnik*. 2015; 20(2): 13–23 (in Russian).]
 27. Лукацкий М.А., Остренкова М.Е. Психология. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2008: 584. [Lukatsky M.A., Ostrenkova M.E. Psychology. Moscow: GEOTAR-Media; 2008: 584 (in Russian).]
 28. Вагин Ю.Е., Вагина М.Ю. Волновые процессы системоквантов спортивной деятельности. *Вестник новых медицинских технологий*. 2012; 19(4): 21–23. [Vagin Yu.Y., Vagina M.Y. Wave processes in system quanta of sports activity. *Bulletin of new medical technologies*. 2012; 19(4): 21–23 (in Russian).]
 29. Вагин Ю.Е., Фудин Н.А., Классина С.Я. и др. Системные процессы спортивной деятельности. В: Материалы IV Международной междисциплинарной конференции «Современные проблемы системной регуляции физиологических функций». М.: РАН; 2015: 114–116. [Vagin Yu.Y., Fudin N.A., Klassina S.Y. et al. System processes in sporting activities. In: Proceedings of the IV International Interdisciplinary Conference “Modern problems of the system of regulation of physiological functions”. Moscow: RAS; 2015: 114–116 (in Russian).]

30. Фудин Н.А., Судаков К.В., Хадарцев А.А. и др. Системный подход к изучению ступенчато-дозированных физических нагрузок у спортсменов различного возраста на беговой дорожке. *Вестник новых медицинских технологий*. 2010; 17(2): 95–100.
[Fudin N.A., Sudakov K.V., Khadartsev A.A. et al. A systematic approach to the study of stepwise dose of physical activity in athletes of different ages on the treadmill. *Bulletin of new medical technologies*. 2010; 17(2): 95–100 (in Russian).]
31. Фудин Н.А., Вагин Ю.Е., Пугарева С.Н. Системные механизмы утомления при физических нагрузках циклической направленности. *Вестник новых медицинских технологий*. 2014; 21(3): 118–121.
[Fudin N.A., Vagin Yu.Y., Pigareva S.N. System mechanisms of fatigue during exercise cyclical orientation. *Bulletin of new medical technologies*. 2014; 21(3): 118–121 (in Russian).]
32. Солодков А.С., Сологуб Е.Б. Физиология человека. Общая. Спортивная. Возрастная: учебник. М.: Террапорт, Олимпия-есс; 2001: 520.
[Solodkov A.S., Sologub E.B. Human Physiology. General. Sport. Age: textbook. Moscow: Terra port, Olympia-ess; 2001: 520 (in Russian).]
33. Коц Я.М. Организация произвольного движения. Нейрофизиологические механизмы. М.: Наука; 1975: 227–247.
[Kots Y.M. Organization of voluntary movement. Neurophysiological mechanisms. Moscow: Nauka; 1975: 227–247 (in Russian).]
34. Kahol K., Leyba M.J., Deka M. et al. Effect of fatigue on psychomotor and cognitive skills. *Amer. J. Surgery*. 2008; 195(2): 195–204.
35. Ильин Е.И. Психология спорта. СПб.: Питер; 2012: 352.
[Ilyin E.I. Sports Psychology. St. Petersburg: Peter; 2012: 352 (in Russian).]
36. Nybo L., Rasmussen P. Inadequate cerebral oxygen delivery and cerebral fatigue during strenuous exercise. *Exercise and Sport Sciences Reviews*. 2007; 35(3): 110–118.
37. Yang Q., Fang Y., Sun C.-K. et al. Weakening of functional corticomuscular coupling during muscle fatigue. *Brain Research*. 2009; 1250(23): 101–112.
38. Hilty L., Langer N., Pascual-Marqui R. et al. Fatigue-induced increase in intracortical communication between mid/anterior insular and motorcortex during cycling exercise. *Euro. J. Neurosci*. 2011; 34(12): 2035–2042.
39. Allen D.G., Lamb G.D., Westerblad H. Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. *Amer. Phys. Society*. 2008; 88(1): 287–332.
40. Brooks G.A., Fahey T.D., Baldwin K.M. Exercise physiology: human bioenergetics and its applications. NY: McGraw-Hill; 2005: 511.
41. Горчакова Н.А., Гудивок Я.С., Гунина Л.М. и др. Фармакология спорта. Киев: Олимпийская литература; 2010: 640.
[Gorchakova N.A., Gudivok Y.S., Gunina L.M. et al. Pharmacology of sports. Kiev: Olympic literature; 2010: 640 (in Russian).]
42. Волков Н.И., Несен Э.Н., Осипенко А.А. Биохимия мышечной деятельности. Киев: Олимпийская литература; 2000: 503.
[Volkov N.I., Nesen E.N., Osipenko A.A. Biochemistry of muscle activity. Kiev: Olympic literature; 2000: 503 (in Russian).]
43. Григорьев А.И., Хадарцев А.А., Фудин Н.А., Виноградова О.Л. Электролазерная миостимуляция и лазерофорез биологически активных веществ в спорте. Методическое пособие. Тула: ИНФРА; 2005: 16.
[Grigoriev A.I., Khadartsev A.A., Fudin N.A., Vinogradov O.L. Electric and laser miostimulation and laser phoresis of biologically active substances in sport: a textbook. Tula: INFRA; 2005: 16 (in Russian).]