

## МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

DOI 10.26163/RAEN.2020.66.55.015  
УДК 612.13:612.12:796.9

*N.G. Varlamova, I.O. Garnov, T.P. Loginova, E.R. Boiko*

### RESTORATION OF CARDIORESPIRATORY FUNCTION IN SKI RACERS OF DIFFERENT QUALIFICATIONS AFTER CYCLE ERGOMETER TEST TILL ATHLETE'S FAILURE

**Nina Varlamova** – senior researcher, the Department of Environmental and Medical Physiology, Institute of Physiology, Komi Science Centre, the Urals Branch, Russian Academy of Sciences, PhD in Biology, associate professor, Syktyvkar; **e-mail: nivarlam@physiol.komisc.ru.**

**Igor Garnov** – researcher, the Department of Environmental and Medical Physiology, Institute of Physiology, Komi Science Centre, the Urals Branch, Russian Academy of Sciences, PhD in Biology, Syktyvkar, **e-mail: 566552@inbox.ru.**

**Tatyana Loginova** – researcher, the Department of Environmental and Medical Physiology, Institute of Physiology, Komi Science Centre, the Urals Branch, Russian Academy of Sciences, PhD in Biology, Syktyvkar, **e-mail: log73tag@yandex.ru.**

**Evgeniy Boyko** – Director of the Institute of Physiology, Komi Science Centre, the Urals Branch, Russian Academy of Sciences, Doctor of Medicine, professor, Syktyvkar; **e-mail: boiko60@inbox.ru.**

*We examined 208 ski racers (boys and men), 50 having the first sports category, 80 candidates for the Master of Sports and 78 Masters of Sports aged 14-32 years during rest and recovery after performing the maximum bicycle ergometer test; we used the system "OxyconPro" (Erich Jaeger) and measured the heart rate and oxygen consumption.*

*We present the detailed information concerning the activity of the cardiorespiratory system during the recovery after performing the test till athletes refused to continue it. We believe this data will contribute to better focused control and correction of the functional state and training process in athletes of different qualifications specializing in cross-country skiing.*

**Keywords:** *cardiorespiratory function; recovery; cycle ergometer test till athlete's failure; ski racers.*

*Н.Г. Варламова, И.О. Гарнов, Т.П. Логинова, Е.Р. Бойко*

### ВОССТАНОВЛЕНИЕ КАРДИОРЕСПИРАТОРНОЙ ФУНКЦИИ У ЛЫЖНИКОВ – ГОНЩИКОВ РАЗНОЙ КВАЛИФИКАЦИИ ПОСЛЕ ВЕЛОЭРГОМЕТРИЧЕСКОГО ТЕСТА «ДО ОТКАЗА»

**Нина Геннадьевна Варламова** – старший научный сотрудник Отдела экологической и медицинской физиологии ФГБУН Института физиологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, кандидат биологических наук, доцент, г. Сыктывкар; **e-mail: nivarlam@physiol.komisc.ru.**

**Игорь Олегович Гарнов** – научный сотрудник Отдела экологической и медицинской физиологии ФГБУН Института физиологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, кандидат биологических наук, г. Сыктывкар, **e-mail: 566552@inbox.ru**

**Татьяна Петровна Логинова** – научный сотрудник Отдела экологической и медицинской физиологии ФГБУН Института физиологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, кандидат биологических наук, г. Сыктывкар, **e-mail: log73tag@yandex.ru**

**Евгений Рафаилович Бойко** – директор ФГБУН Института физиологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, доктор медицинских наук, профессор, г. Сыктывкар; **e-mail: boiko60@inbox.ru.**

*Авторами проведено обследование 208 лыжников – гонщиков (юношей и мужчин), 50 - первого спортивного разряда, 80 - кандидатов в мастера спорта и 78 мастеров спорта в возрасте 14–32 лет в покое и в период восстановления после выполнения максимального велоэргометрического теста «до отказа» с использованием эргоспирометрической системы «ОхусонPro» (Erich Jaeger) и определением частоты сердечных сокращений и потребления кислорода.*

*Предложенные нами подробные сведения о деятельности кардиореспираторной системы при восстановлении после выполнения теста «до отказа», позволят более целенаправленно контролировать и корректировать функциональное состояние и тренировочный процесс у спортсменов разной квалификации, специализирующихся в лыжных гонках.*

**Ключевые слова:** кардиореспираторная функция; восстановление; тест «до отказа» на велоэргометре; лыжники-гонщики.

Физические нагрузки вызывают ряд морфологических, биохимических и функциональных изменений, которые носят приспособительный характер и затрагивают деятельность практически всех органов и систем организма человека [3]. Основными задачами тестирования являются: изучение адаптации организма к тем или иным воздействиям; изучение восстановительных процессов после прекращения воздействия [13]. Восстановление сердечно-сосудистой системы после тренировки – это динамичный период, в котором происходят многие физиологические изменения. Хотя упражнения являются критическим стрессом, который стимулирует благоприятную сердечно-сосудистую адаптацию, эта адаптация происходит именно в период восстановления. Некоторые из этих изменений, наблюдаемых при восстановлении, могут быть необходимы для долговременной адаптации к тренировкам, но некоторые могут привести к нестабильности сердечно-сосудистой системы. Таким образом, можно утверждать, что период восстановления так же важен, как и физическая нагрузка [15].

Знание особенностей восстановительного периода после максимальных физических нагрузок позволит не только оценить реакцию функциональных систем организма спортсменов разной квалификации на конкретный физический стимул, но и при необходимости предложить ряд мероприятий по коррекции тренировочного процесса и улучшению состояния здоровья. Ввиду этого целью нашей работы был анализ частоты сердечных сокращений и потребления кислорода при восстановлении после максимального велоэргометрического теста «до отказа» у лыжников-гонщиков различной спортивной квалификации.

#### **Объекты и методы исследования**

Обследовано 208 лыжников-гонщиков (юношей и мужчин) – действующих членов сборных команд Республики Коми и России, проживающих на Европейском Севере России (62° с.ш., 51° в.д.) в подготовительный период тренировочного процесса:

- 50 чел. – первого спортивного разряда (возраст 16,4±1,3 года, рост 175,4±4,4 см, масса тела 68,0±4,7, МПК – 4,166±0,285 л/мин.) (группа 1);

- 80 чел. – кандидатов в мастера спорта (КМС) (возраст 18,9±2,1 года, рост 175,3±4,9 см, масса тела 70,5±4,7, МПК – 4,444±0,474 л/мин.) (группа 2);

- 78 мастеров спорта (МС) (возраст 23,4±3,8 года, рост 176,8±4,7 см, масса тела 70,8±3,9, МПК – 4,487±0,488 л/мин.) (группа 3).

Все спортсмены подписали добровольное согласие на обследование, методы которого одобрены комитетом по биоэтике ИФ Коми НЦ УрО РАН. Рост и массу тела измеряли медицинским весоростомером. Лыжники выполняли велоэргометрический тест «до отказа» с использованием эргоспирометрической системы «ОхусонPro» (ErichJaeger) в режиме «breath by breath» со ступенчатым возрастанием нагрузки (interval protocol). Протокол тестирования включал в себя покой сидя, максимально выполненную нагрузку и пятиминутное восстановление с анализом частоты сердечных сокращений (ЧСС) и потребления кислорода (ПК).

Результаты проверены на нормальность распределения с помощью показателей скоса и эксцесса. Дальнейшие расчеты выполнены с применением методов параметрической статистики: однофакторного дисперсионного анализа с определением F-критерия Фишера, множественных сравнений – с помощью t-критерия Стьюдента с поправкой Тьюки и парных сравнений с помощью t-критерия Стьюдента [7]. Расчеты и рисунки выполнены в программе Excel 2007.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Возраст и масса тела увеличились ( $p < 0,001$ ) с ростом спортивного мастерства, однако КМС и МС по массе тела практически не различались. По данным литературы [1], рост, масса тела и возраст обследованных нами спортсменов первого разряда вполне соответствовали таковому ( $175,7 \pm 5,64$  см,  $66,3 \pm 7,6$  кг) для лыжников-гонщиков 15–16 лет. Кандидаты в мастера спорта были ниже ростом, но имели практически одинаковую массу тела с лыжниками-гонщиками 17–18 лет ( $176,2 \pm 5,86$  см и  $70,5 \pm 7,40$  кг) [1]. Мастера спорта имели более низкий рост и меньшую массу тела, чем лыжники-гонщики 23 лет [6] ( $179,3 \pm 5,46$  см и  $74,4 \pm 7,94$  кг).

*Частота сердечных сокращений.* Сердечно-сосудистая система после тренировки находится в физиологическом состоянии, которое отличается как от отдыха, так и от физических упражнений. У него есть собственная физиология [15]. Одним из важнейших параметров, характеризующих функциональное состояние сердца, является ЧСС, которая меняется в зависимости от силы влияния эндогенных и экзогенных факторов, сопряженных с деятельностью симпатического и парасимпатического отделов сердца [2]. Измерение пульса, пожалуй, самый простой и наиболее широко используемый инструмент для оценки восстановления после тренировки [15].

В разные фазы теста «до отказа» у спортсменов ЧСС представлена в табл. 1 и на рис. 1.

Как видно из табл. 1, у представителей разной спортивной квалификации ЧСС имеет различия ( $P < 0,01-0,001$ ; F-критерий), кроме ЧСС при завершении нагрузки «до отказа» и первой минуты восстановления. Отсутствие статистически значимых различий в значениях ЧСС на пике нагрузки и первой минуте восстановления, по-видимому, свидетельствует о том, что [11] при экстремальном воздействии деятельность организма протекает на пределе его физиологических возможностей и при почти полной мобилизации функциональных резервов.

По данным литературы [6], у лыжников-гонщиков разной спортивной квалификации ЧСС в покое была меньше, чем у нетренированных юношей и мужчин аналогичного возраста на 7,7, 10,6 и 15,2 уд./мин., что свидетельствует о формировании брадикардии как результата спортивных тренировок, более выраженной с ростом спортивного мастерства, и согласуется с полученными нами данными.

Таблица 1

#### Частота сердечных сокращений у лыжников-гонщиков ( $X \pm SD, n$ )

Фазы выполнения теста	Первый разряд (группа 1)	Кандидат в мастера спорта (группа 2)	Мастер спорта (группа 3)
Покой сидя ###	$70,1 \pm 11,8$ 29 *3	$69,8 \pm 10,7$ 66 *3	$62,6 \pm 12,4$ 71 *1,2
Максимальная мощность нагрузки	$181,8 \pm 15,0$ 21 *2,3 (320 Вт)	$181,5 \pm 9,1$ 22 &3 (360 Вт)	$174,5 \pm 13,5$ 30 &2 (360 Вт)
Восстановление			
Первая минута	$149,1 \pm 17,0$ 23	$148,2 \pm 17,4$ 48	$142,1 \pm 19,7$ 36
Третья минута ###	$119,0 \pm 15,5$ 41 *2,3	$108,7 \pm 14,4$ 52 *1	$105,8 \pm 18,7$ 61 *1
Пятая минута ##	$104,4 \pm 16,9$ 17 *3	$103,2 \pm 11,4$ 31 *3	$91,9 \pm 15,9$ 27 *1,2

Примечание: различия показателей у спортсменов разных групп: ### –  $p < 0,001$ , ## –  $p < 0,01$ , (F-критерий); \* –  $p < 0,05$  (t-критерий с поправкой Тьюки); & –  $p < 0,05$  (t-критерий).

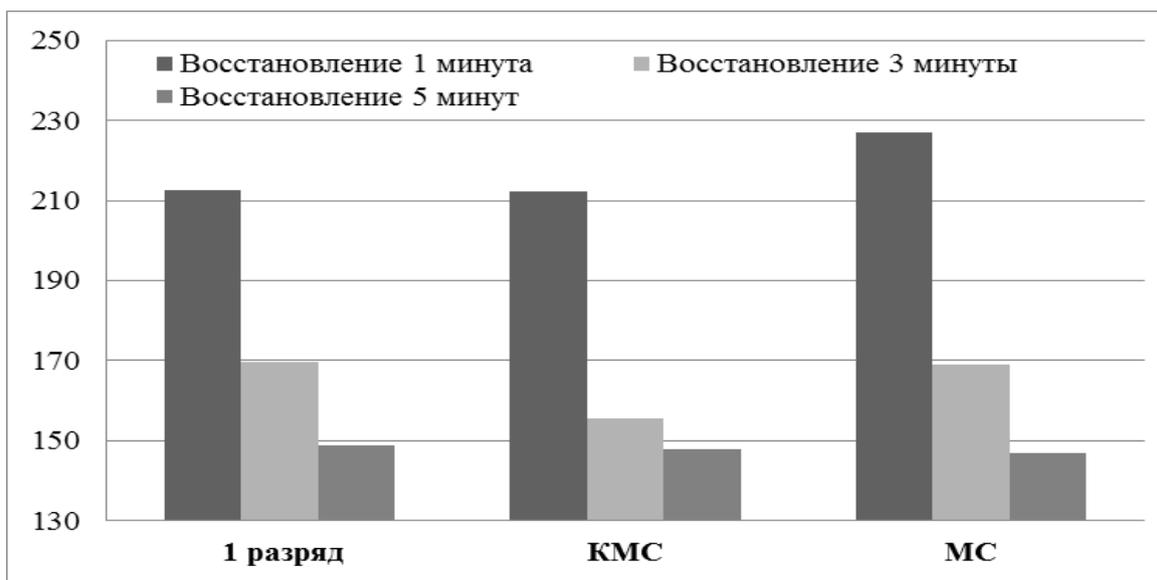


Рис. 1. Динамика частоты сердечных сокращений в процессе восстановления после выполнения теста «до отказа» у лыжников-гонщиков по сравнению с уровнем покоя сидя. ЧСС в покое сидя принята за 100%

Статистически значимые различия в ЧСС появились на 3 и 5 минутах восстановления. К третьей минуте наиболее медленно восстанавливалась группа 1, группы 2 и 3 не имели достоверной разницы в ЧСС. На пятой минуте восстановления появились различия между группами 1 и 3, 2 и 3: ЧСС у лыжников первого разряда была выше, чем у МС на 13,6%, у КМС выше, чем у МС – на 12,3% ( $p < 0,05$ ). На пятой минуте не различались достоверно по ЧСС уже группы 1 и 2.

Скорость восстановления ЧСС на 1 минуте была больше у МС: на 51,8% идет уменьшение ЧСС, по сравнению с пиком нагрузки, у КМС – на 47,7% и у лыжников 1 разряда – на 46,6%. На 5 минуте восстановления (табл. 1, рис. 1) ЧСС у спортсменов 1 разряда больше, чем исходная в покое сидя на 48,9%, у КМС – на 47,9% и МС – на 46,8%. Больше всего (примерно, в 2–7 раз) ЧСС после нагрузки уменьшается между 1 и 3 минутами восстановления, по сравнению с 3–5 минутами. Наиболее быстро и полно восстанавливаются МС, а наиболее медленно и не столь эффективно – лыжники 1 разряда. Существует дозозависимый эффект интенсивности и продолжительности сердечно-сосудистых изменений после упражнений [15]. Восстановление вегетативной функции сердца происходит быстрее у людей с более высокой аэробной подготовкой.

Хотя немедленное восстановление частоты сердечных сокращений (быстрая фаза) после аэробных упражнений происходит исключительно за счет парасимпатической реактивации, считается, что медленная фаза восстановления связана с прекращением симпатического оттока, продолжающимся более 90 минут после тренировки [15].

С ростом спортивного мастерства более низкие значения ЧСС могут свидетельствовать [9] о более высоких функциональных резервах. По данным Быкова Е.В. с соавторами [4] в регуляции ритма сердца наблюдаются различия у лиц с разной спортивной квалификацией. У МС отмечено преобладание метаболической регуляции, у КМС – гуморальной, у представителей I–II разрядов отмечено повышенное влияние симпатического отдела вегетативной нервной системы и гуморальной регуляции. При комплексном анализе показателей гемодинамики показано [5], что повышение ЧСС является определяющим фактором увеличения минутного объема кровообращения у представителей циклических видов спорта. Гемодинамические изменения, которые происходят во время восстановления после аэробных упражнений, регулируются высоко скоординированными и контролируемые механизмами [15]. Однако иногда в период восстановления наблюдается сердечнососудистая нестабильность [15].

Вдали от границ контролируемой лабораторной среды и строгих экспериментальных указаний следует соблюдать осторожность при использовании частоты сердечных сокращений или ее вариабельности для оценки сердечного вегетативного контроля или восстановления после физических упражнений или спорта. Скорее, следует использовать комплексный подход после периода непосредственного восстановления и включать другие маркеры перенапряжения или перетренированности, такие как общая усталость, работоспособность, которая достигла плато или снижается, бессонница, раздражительность, неспособность достичь более высокого пульса во время тренировки и т.д. [15].

В будущем, вероятно, будут применяться методы тренировок, которые будут использовать преимущества процессов, происходящих в сердечно-сосудистой системе при восстановлении [15]. Полученные результаты подтверждают идею о том, что данные о парасимпатической активности сердца полезны для индивидуализации программ тренировок [16].

**Потребление кислорода.** При физической нагрузке в организме человека наблюдаются сложные процессы поэтапного включения компенсаторных реакций со стороны органов и систем, участвующих в доставке и утилизации кислорода [8].

Функциональные возможности газотранспортной системы организма спортсмена определяют физическую работоспособность и, следовательно, результативность в спортивной деятельности. Существенными факторами, влияющими на показатели этой системы, является характер мышечной деятельности, спортивная специализация, зоны мощности и сопряженные с ними системы энергообеспечения [5].

Потребление кислорода у лыжников-гонщиков представлено в табл. 2 и на рис. 2.

Таблица 2

**Потребление кислорода (л/мин) при выполнении велоэргометрического теста «до отказа» у лыжников-гонщиков ( $X \pm SD$ , n)**

Фазы выполнения теста	Первый разряд (1)	Кандидат в мастера спорта (2)	Мастер спорта (3)
Покой сидя ###	0,312±0,063 50*2,3	0,307±0,097 80*1,3	0,298±0,087 77*1,2
Максимальная мощность нагрузки ###	4,200±0,232 30*2,3 (320 Вт)	4,532±0,472 35*1,3 (360 Вт)	4,536±0,386 46*1,2 (360 Вт)
Восстановление			
Восстановление первая минута ###	1,438±0,197 50*2,3	1,534±0,253 80*1,3	1,545±0,284 76*1,2
Восстановление третья минута ###	0,868±0,105 50*2,3	0,955±0,168 80*1,3	0,892±0,195 77*1,2
Восстановление пятая минута ###	0,721±0,107 49*2,3	0,775±0,152 80*1,3	0,739±0,141 77*1,2

Примечание: различия между спортсменами разных групп по фазам теста: ### -  $p < 0,001$  (F-критерий); \* -  $p < 0,05$  (t-критерий с поправкой Тьюки).

Если принять уровень ПК лыжников-гонщиков за 100%, то в покое (данные для сравнения есть только для покоя лежа) у спортсменов ПК было меньше в группах 1–3, соответственно, на 28,2, 46,1 и 49,5%, чем у лиц мужского пола, не занимающихся спортом [6], что может быть связано как с разными методами определения ПК, так и с экономизацией функций в результате тренировочного процесса.

Скорость восстановления ПК на 1 минуте была больше у МС: на 1003,6% идет уменьшение ПК, по сравнению с пиком нагрузки, у КМС – на 976,5% и у лыжников 1 разряда – на 885,3%. На 5 минуте восстановления (табл. 2, рис. 2) ПК у лыжников – гонщиков 1 разряда больше, чем исходная в покое сидя на 31,1%, у КМС – на 52,4% и МС – на 48,0%. Больше всего (примерно, в 3–4 раза) ПК после нагрузки уменьшается

между 1 и 3 минутами восстановления, по сравнению с 3–5 минутами. Наиболее быстро и полно восстанавливаются МС.

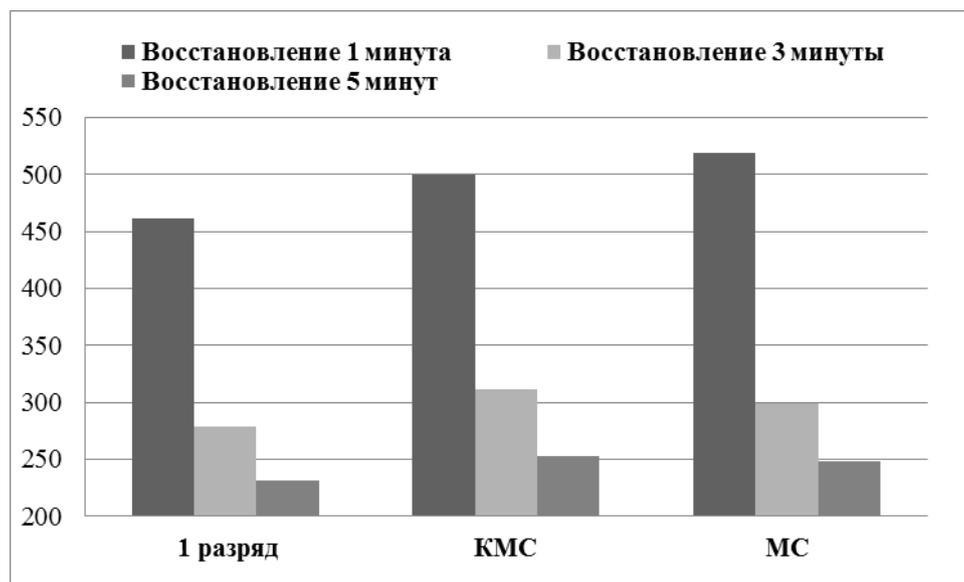


Рис. 2. Динамика потребления кислорода в процессе восстановления после выполнения теста «до отказа» у лыжников-гонщиков по сравнению с уровнем покоя сидя. В покое сидя ПК принято за 100%.

Основой коррекции работоспособности организма и ее восстановления после истощающих нагрузок является профилактика переутомления, повышение переносимости неблагоприятных климато-географических факторов, оптимизация процессов реабилитации [12]. Как подчеркнули Luttrell и Halliwill [14], восстановление после упражнений можно рассматривать как уязвимый период, когда люди подвергаются повышенному риску неблагоприятных событий, или как окно возможностей, в котором положительные адаптации к тренировкам можно потенциально усилить. Кроме того, это может дать представление о том, когда сердечно-сосудистая система восстановилась после предыдущей тренировки и физиологически готова к дополнительному тренировочному стрессу.

Таким образом, нами определена динамика восстановления частоты сердечных сокращений и потребления кислорода у лыжников-гонщиков первого разряда, кандидатов и мастеров спорта. После выполнения пиковой нагрузки на первой минуте восстановления между группами лыжников-гонщиков отсутствует статистически достоверная разница для частоты пульса, но имеется ( $p < 0,001$ ) для потребления кислорода. Скорость восстановления показателей максимальна в первые три минуты после завершения нагрузки, затем она замедляется в 2–7 раз для частоты пульса и в 3–4 раза для потребления кислорода. Показаны различия функционального состояния спортсменов разной квалификации: наиболее быстро и полно восстанавливаются МС, а наиболее медленно и не столь эффективно – лыжники первого разряда.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Абрамова Т.Ф. [и др.]*. Динамика особенностей телосложения, показателей работоспособности и энергообеспечения у лыжников на этапах «спортивного» онтогенеза с учетом биологической зрелости // Вестник Московского университета. Антропология. 2012. Серия XXIII. № 3. С. 38.

2. *Аверьянова И.В., Вдовенко С.И., Максимов А.Л.* Особенности регуляции показателей гемодинамики и сердечного ритма у юношей г. Магадана при

субмаксимальной физической нагрузке // Гигиена и санитария. 2018. Т. 97. № 3. С. 239–244.

3. Бутакова М.В., Грязных А.В. Динамика изменений интегрального показателя «Индекс бикарбонаты/соляная кислота» у высококвалифицированных единоборцев в условиях восстановления после действия мышечной нагрузки // Вестник ЮУрГУ. Серия «Образование, здравоохранение, физическая культура». 2015. Т. 15. № 2. С. 20–26.

4. Быков Е.В., Балберова О.В., Сибирянова Е.С., Чипышев А.В. Особенности миокардиально-гемодинамического и вегетативного гомеостаза у спортсменов циклических видов спорта с разной квалификацией // Человек. Спорт. Медицина. 2019. Т. 19. № 3. С. 36–45.

5. Виноградов С.Н., Платонов А. Особенности динамики показателей звеньев системы транспорта кислорода при физической нагрузке у спортсменов различной спортивной специализации // Вестник новых медицинских технологий. 2014. Т. 21. № 3. С. 35.

6. Власов Ю.А., Окунева Г.Н. Кровообращение и газообмен человека. Новосибирск: Наука, 1983. 208 с.

7. Гланц С. Медико-биологическая статистика. М.: Практика, 1999. 459 с.

8. Леявина Т.А. [и др.]. Физиологические этапы и компенсаторные механизмы регуляции гомеостаза при возрастающей физической нагрузке у спортсменов // Вестник Российской академии естественных наук. 2012. Т. 16. № 2. С. 181–187.

9. Максимов А.Л., Аверьянова И.В. Информативные маркеры состояния кардиогемодинамики у юношей с различными типами вегетативной регуляции в процессе велоэргометрической нагрузки субмаксимальной мощности // Физиология человека. 2019. Т. 45. № 3. С. 61–69.

10. Мустафина М.Х., Черняк А.В. Кардиореспираторный нагрузочный тест // Атмосфера. Пульмонология в кардиологии. 2013. № 3. С. 56–62.

11. Новиков В.С. Фундаментальные основы адаптации и дезадаптации человека при действии экстремальных факторов // Вестник образования и развития науки Российской академии естественных наук. 2018. № 2. С. 5–13.

12. Новиков В.С., Фатеев И.В., Шустов Е.Б. Перспективы и физиологическое обоснование выбора средств коррекции работоспособности человека в экстремальных условиях деятельности // Вестник образования и развития науки Российской академии естественных наук. 2020. № 1. С. 89–94.

13. Сидоров Д.Г., Большев А.С. Влияние показателей восстановления пульса после нагрузки на показатели испытаний комплекса ГТО // Педагогика и современное образование: традиции, опыт: сб. статей III Международной научно-практической конференции. Пенза, 2018. С. 109–111.

14. Luttrell M.J., Halliwill J.R. Recovery from exercise: vulnerable state, window of opportunity, or crystal ball? // Front Physiol. 2015. V. 6. № 204. P. 1–6.

15. Romero S.R., Minson C.T., Halliwill J.R. The cardiovascular system after exercise // J Appl Physiol. 2017. № 122. P. 925–932.

16. Stanley J., Peake J.M., Buchheit M. Cardiac parasympathetic reactivation following exercise: implications for training prescription // Sports Med. 2013. V. 43. № 12. P. 1259–1277.