

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ВЗАИМОСВЯЗЬ ПАРАМЕТРОВ ГАЗООБМЕНА И ГЕМОДИНАМИКИ ПРИ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКЕ У СПОРТСМЕНОВ РАЗЛИЧНОЙ СПОРТИВНОЙ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ

Виноградов С.Н.

ФГБОУ ВПО «Ульяновский государственный университет», Ульяновск, ул. Л. Толстого, 42, e-mail: serzh.vi@ya.ru

Проведено исследование взаимосвязей параметров газообмена, гемодинамики и потребления кислорода при выполнении ступенчато-повышающейся нагрузки у спортсменов различной спортивной специализации. Выявлены нелинейный характер изменений показателей, сильная положительная корреляционная связь между параметрами, выведены регрессионные уравнения в виде полиномов третьей степени, описывающие установленные закономерности с высокой степенью значимости. Величины коэффициентов регрессионных уравнений определяют особенности динамики параметров газообмена и гемодинамики при увеличении потребления кислорода при выполнении ступенчато-повышающейся нагрузки. Установлено, что у представителей циклических видов спорта, имеющих высокий уровень аэробных возможностей по потреблению кислорода, в условиях ступенчато-повышающейся нагрузки до уровня максимального потребления кислорода в равной степени оптимально функционируют звенья газотранспортной системы, обеспечивающей доставку кислорода и его утилизацию при предельной физической нагрузке на различных этапах её выполнения по сравнению с представителями ациклических видов спорта.

Ключевые слова: циклические виды спорта, ациклические виды спорта, гемодинамика, газообмен, максимальное потребление кислорода, ступенчато-повышающаяся нагрузка, регрессионное уравнение.

FUNCTIONAL INTERRELATION OF PARAMETERS OF GAS EXCHANGE AND HEMODYNAMICS DURING EXERCISE IN ATHLETES OF DIFFERENT SPORTS SPECIALIZATION

Vinogradov S.N.

Ulyanovsk state University, Ulyanovsk, street of L. Tolstoy, 42, e-mail: serzh.vi@ya.ru

Conducted a study of interrelations of parameters of gas exchange, hemodynamics and oxygen consumption in the implementation of step-increasing load of athletes of various sports specialization. Identified non-linear changes in indicators, a strong and positive correlation between the parameters, the regression equations derived in the form of polynomials of the third degree, describing the established features with a high degree of importance. The coefficients of regression equations define the peculiarities of dynamics of parameters of gas exchange and hemodynamics in the increase of oxygen consumption in the implementation of step-increasing load. Established that representatives of cyclic sports, having a high level of aerobic opportunities for oxygen consumption, in conditions of step - increasing load to the level of maximum oxygen consumption equally optimally functioning links of the gas transportation system to ensure the delivery of oxygen and its disposal at ultimate physical activity at different stages of implementation compared with the representatives of acyclic sports.

Keywords: cyclic sports, acyclic sports, hemodynamics, gas exchange, the maximum oxygen consumption, step-increasing workload, the regression equation.

Введение

Известно, что физическая работоспособность и аэробные возможности организма при физической нагрузке определяются динамикой изменения параметров газотранспортной системы организма человека, из которых наиболее информативным считается потребление кислорода, и в частности максимальное потребление кислорода (МПК) при экстремальных нагрузках [2; 3; 5-7; 9].

При этом отдельные звенья газотранспортной системы, такие как системы внешнего дыхания, гемодинамики и крови, утилизации кислорода в тканях при физических нагрузках мобилизуются в различной степени в зависимости от уровня потребления кислорода, отражая сложную систему регуляции и взаимокompенсации функций [1; 4; 7].

Цель: выявление реакций параметров газотранспортной системы на физические нагрузки их взаимосвязей у спортсменов различной спортивной специализации с использованием математических методов.

Материалы и методы исследования

В исследовании приняли участие мужчины-спортсмены в возрасте 18-21 лет, представители циклических (лёгкая атлетика, лыжный спорт) и ациклических (единоборства) видов спорта со спортивной квалификацией «1-й разряд» - «кандидаты и мастера спорта» в количестве 54 человек, из которых было сформировано 2 группы. Испытуемые выполняли велоэргометрические нагрузки повышающейся мощности на велоэргометре ВЭ-02 в диапазоне мощности от 100 до 400 Вт, продолжительностью 3 минуты на каждой ступени. Потребление кислорода (VO_2) определяли газоанализатором «Спиrolит-2», показатели гемодинамики (частота сердечных сокращений (ЧСС), ударный объём крови (УО), минутный объём крови (МОК)) - методом тетраполярной реографии по Тищенко реографом РГПА-6/12-«РЕАН-ПОЛИ», показатели внешнего дыхания (частота дыхания (ЧД), дыхательный объём (ДО), минутный объём дыхания (МОД)) – методом спирографии с использованием спирографа СМП-21/01-«Р-Д». Полученные результаты были обработаны методами корреляционно-регрессионного анализа с последующим построением графиков и выводом уравнений парной регрессии.

Результаты

Анализ результатов исследования (табл. 1, 2) позволил выявить особенности зависимостей и сильную положительную корреляцию (табл. 3, 4) между потреблением кислорода, параметрами газообмена и гемодинамики при выполнении ступенчато возрастающей нагрузки у спортсменов различных специализаций с последующим выводом уравнений регрессии в виде полиномов 3-й степени с высокой степенью значимости по индексу корреляции R^2 .

У представителей циклических видов спорта с ростом VO_2 нелинейный прирост МОК на начальном этапе выполнения ступенчато повышающейся нагрузки идёт более интенсивно, чем на последующем (рис. 1), что говорит о преобладающем влиянии МОК в обеспечении величины VO_2 на начальном этапе и возрастающей роли артерио-венозной разницы по кислороду ($Ca-vO_2$) при достижении максимальных нагрузок. У представителей ациклических видов спорта интенсивность нелинейного прироста МОК с ростом по

сравнению с представителями циклических видов спорта изменялась менее существенно, что указывает на преобладающее влияние МОК. Следует отметить, что по классификации Астранда [8] представители циклических видов спорта по показателю МПК имеют высокий уровень аэробных возможностей, представители ациклических видов спорта - хороший уровень аэробных возможностей. Данные особенности описываются и подтверждаются регрессионными уравнениями (1) и (7).

Зависимость VO_2 от УО представлена на рис. 2. Кривая графика зависимости УО и VO_2 у представителей циклических видов спорта имеет сходный характер с изменением МОК в этой же группе, то есть более интенсивный прирост на начальном этапе с последующим снижением интенсивности. Это означает, что УО в группе спортсменов, занимающихся циклическими видами спорта, имеет более существенное влияние на VO_2 на начальном этапе выполнения нагрузки. У представителей ациклических видов спорта график кривой, иллюстрирующий зависимость УО и VO_2 , имеет более сглаженный характер, на котором существенного изменения прироста УО с повышением нагрузки не наблюдается. Регрессионные уравнения (2) и (8) с высокой степенью значимости описывают эти закономерности.

Таблица 1

Динамика параметров газообмена и гемодинамики при ступенчато повышающейся нагрузке у представителей циклических видов спорта

Нагрузка, Вт	Покой	100	150	200	250	300	350	400
VO_2 , мл/мин/кг	3,2±0,05	17,3±0,7*	27,6±0,8*	38±0,9*	45,8±0,8*	52,1±0,8*	57,3±0,8*	61,7±0,7*
МОК, мл/мин/кг	62,4±1,3	124,5±2,4*	180±4,4*	204,2±4*	227,5±4,2*	244,5±4,4*	263,1±4,7*	274,6±6*
УО, мл	73,6±1,4	88,7±1,4*	103,5±1,2*	109,3±1*	112,3±0,9*	113,5±0,9*	115,1±0,8*	116±1*
ЧСС, уд/мин	65±1	107±2*	126±1*	143±2*	155±2*	165±1*	174±2*	183±2*
МОД, л/мин	7,6±0,3	30,1±1*	46,3±1,5*	75,2±1,7*	96,1±4,9*	120,5±2,2*	131,3±2,3*	145,5±2,2*
ДО, л	0,54±0,02	1,45±0,04	1,82±0,06*	2,5±0,05*	2,94±0,05*	3,42±0,05*	3,62±0,05*	3,84±0,04*
ЧД, в мин	14±2	21±2	26±2*	30±1*	33±1*	35±1*	36±1*	38±1*

Примечание. * - Различия достоверны по сравнению с состоянием покоя ($p < 0,05$)

Таблица 2

Динамика параметров газообмена и гемодинамики при ступенчато повышающейся нагрузке у представителей ациклических видов спорта

Нагрузка, Вт	Покой	100	150	200	250	300	350	400
VO_2 , мл/мин/кг	3,1±0,12	15,5±0,6*	23,5±0,4*	30,4±0,5*	37,8±0,6*	46,5±0,6*	54,6±0,5*	56,8±0,4*
МОК, мл/мин/кг	72,1±2,3	126±3*	153,3±3,9*	193,2±4,7*	225,9±5,4*	260,7±6,1*	284,1±7,1*	298,4±9,6*

УО, мл	71,6±0,94	76,2±1,1*	81,7±0,92*	85,9±0,9*	91,2±0,84*	97,8±0,86*	104,8±0,8*	105,9±0,7*
ЧСС, уд/мин	69±1	114±2*	129±2*	156±2*	172±2*	184±1*	188±2*	191±1*
МОД, л/мин	7,5±0,2	26,4±0,7*	42,3±1,3*	65,6±0,9*	84,6±1,8*	101,5±2,0*	113,3±1,5*	125,2±1,6*
ДО, л	0,5±0,02	1,24±0,04*	1,6±0,06*	2,1±0,04*	2,4±0,05*	2,7±0,07*	2,87±0,04*	3,15±0,07*
ЧД, в мин	15±2	22±2	27±2*	31±1*	35±1*	38±1*	40±1*	40±1*

Примечание. * - Различия достоверны по сравнению с состоянием покоя ($p < 0,05$)

Нелинейные зависимости ЧСС и VO_2 представлены на рис. 3. С увеличением этого параметра в группе представителей циклических видов спорта на начальном этапе выполнения нагрузки практически с той же интенсивностью, как и УО, и с ростом мощности нагрузки интенсивность прироста ЧСС существенно не меняется. У спортсменов ациклических видов спорта отмечено более заметное увеличение ЧСС при достижении уровня потребления кислорода в пределах уровня мощности, соответствующего 45-50% от МПК. Данные закономерности описываются полиномами (3) и (9). Величины и знаки соответствующих коэффициентов регрессионных уравнений указывают на существенные различия между группами спортсменов различной специализации в выявленных взаимозависимостях. Нелинейная динамика УО и ЧСС как показателей, определяющих МОК, представленная на рис. 4 и 5, подтверждает сказанное выше.

Таблица 3

Значения коэффициентов корреляции между параметрами газообмена и гемодинамики в группе представителей циклических видов спорта ($p < 0,05$)

Параметр	VO_2 , мл/мин/кг	МОК, мл/мин/кг	УО, мл	ЧСС, уд/мин	МОД, л/мин	ДО, л	ЧД, в мин
VO_2, мл/мин/кг	×						
МОК, мл/мин/кг	0,99	×					
УО, мл	0,99	0,98	×				
ЧСС, уд/мин	0,98	0,99	0,97	×			
МОД, л/мин	0,99	0,99	0,9	0,97	×		
ДО, л	0,99	0,99	0,94	0,99	0,99	×	
ЧД, в мин	0,99	0,99	0,98	0,99	0,97	0,99	×

Таблица 4

Значения коэффициентов корреляции между параметрами газообмена и гемодинамики в группе представителей ациклических видов спорта ($p < 0,05$)

Параметр	VO_2 , мл/мин/кг	МОК, мл/мин/кг	УО, мл	ЧСС, уд/мин	МОД, л/мин	ДО, л	ЧД, в мин
VO_2, мл/мин/кг	×						
МОК, мл/мин/кг	0,99	×					
УО, мл	0,97	0,99	×				

ЧСС, уд/мин	0,97	0,98	0,94	×			
МОД, л/мин	0,99	0,99	0,99	0,97	×		
ДО, л	0,99	0,99	0,97	0,99	0,99	×	
ЧД, в мин	0,99	0,99	0,97	0,99	0,98	0,99	×

Полиномиальные регрессионные уравнения, описывающие взаимосвязь потребления кислорода и параметров газообмена и гемодинамики при ступенчато возрастающей нагрузке в группе представителей циклических видов спорта:

$$\text{МОК} \quad y = 2 \times 10^{-7} x^3 + 0,0004x^2 + 0,1146x - 5,3806 \quad R^2=0,99 \quad (1)$$

$$\text{УО} \quad y = 0,0021x^3 - 0,5637x^2 + 51,298x - 154,3 \quad R^2=0,99 \quad (2)$$

$$\text{ЧСС} \quad y = -3 \times 10^{-5} x^3 + 0,0129x^2 - 1,2158x + 35,987 \quad R^2 =0,99 \quad (3)$$

$$\text{МОД} \quad y = 2 \times 10^{-5} x^3 - 0,0051x^2 + 0,8463x - 3,143 \quad R^2=0,99 \quad (4)$$

$$\text{ДО} \quad y = 0,0338x^3 - 0,3449x^2 + 18,547x - 7,0279 \quad R^2=0,99 \quad (5)$$

$$\text{ЧД} \quad y = -0,0008x^3 - 0,0306x^2 + 2,2494x - 24,498 \quad R^2=0,99 \quad (6)$$

где y – VO_2 , мл/мин/кг, x – МОК, УО, ЧСС, МОД, ДО, ЧД.

Полиномиальные регрессионные уравнения, описывающие взаимосвязь потребления кислорода и параметров газообмена и гемодинамики при ступенчато возрастающей нагрузке в группе представителей ациклических видов спорта:

$$\text{МОК} \quad y = 2 \times 10^{-6} x^3 - 0,001x^2 + 0,3885x - 20,398 \quad R^2=0,99 \quad (7)$$

$$\text{УО} \quad y = 0,007x^3 - 0,205x^2 + 20,881x - 791,35 \quad R^2=0,99 \quad (8)$$

$$\text{ЧСС} \quad y = 5 \times 10^{-5} x^3 - 0,0183x^2 - 2,3327x - 88,497 \quad R^2=0,99 \quad (9)$$

$$\text{МОД} \quad y = 2 \times 10^{-5} x^3 - 0,0044x^2 + 0,6725x - 1,3923 \quad R^2=0,99 \quad (10)$$

$$\text{ДО} \quad y = 0,4305x^3 + 0,1603x^2 + 15,36x - 4,7148 \quad R^2=0,99 \quad (11)$$

$$\text{ЧД} \quad y = 0,0041x^3 - 0,3073x^2 + 8,9675x - 76.408 \quad R^2=0,99 \quad (12)$$

где y – VO_2 , мл/мин/кг, x – МОК, УО, ЧСС, МОД, ДО, ЧД.

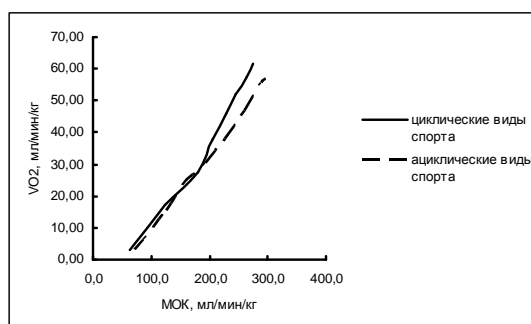


Рис. 1. Взаимосвязь VO_2 с МОК при ступенчато повышающейся нагрузке у спортсменов различной спортивной специализации

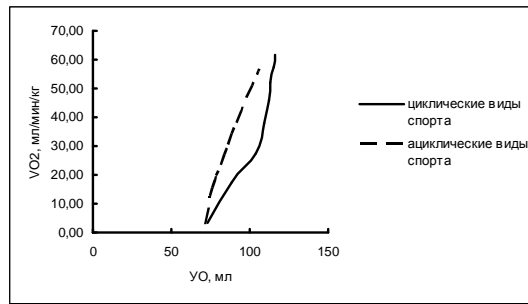


Рис. 2. Взаимосвязь VO₂ с УО при ступенчато повышающейся нагрузке у спортсменов различной спортивной специализации

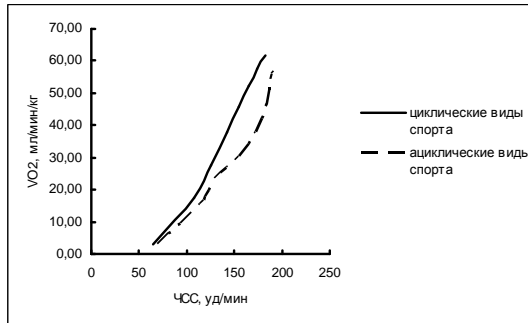


Рис. 3. Взаимосвязь VO₂ с ЧСС при ступенчато повышающейся нагрузке у спортсменов различной спортивной специализации

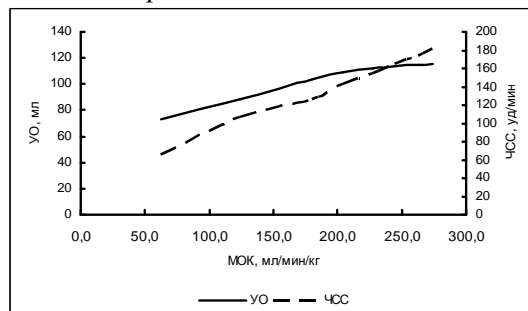


Рис. 4. Взаимосвязь параметров гемодинамики при ступенчато повышающейся нагрузке у представителей циклических видов спорта

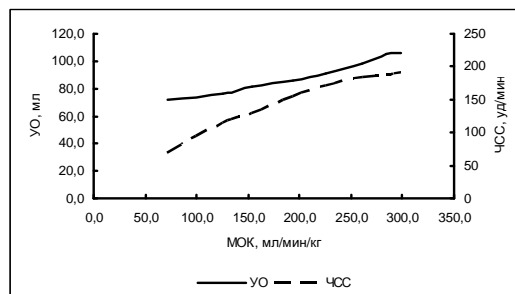


Рис. 5. Взаимосвязь параметров гемодинамики при ступенчато повышающейся нагрузке у представителей ациклических видов спорта

Нелинейное увеличение МОД на начальном этапе выполнения нагрузки в обеих группах происходило с одинаковой интенсивностью (рис. 6), затем при достижении VO₂ уровня 41-44% от МПК интенсивность прироста МОД в группе представителей ациклических видов спорта увеличилась по сравнению с представителями циклических видов. Разницу в

интенсивности прироста МОД с увеличением VO_2 можно объяснить более высокой степенью утилизации кислорода в мышечной ткани при нагрузке у представителей циклических видов спорта. Данное различие подтверждается коэффициентами регрессионных уравнений (4) и (10). Увеличение ДО в обеих группах до уровня VO_2 50-60% от МПК происходило практически с одинаковой интенсивностью (рис. 7), затем у представителей ациклических видов спорта было отмечено снижение прироста ДО. С этим согласуются данные по изменению ЧД при выполнении ступенчато повышающейся нагрузки (рис. 8). Величина ЧД в группе представителей ациклических видов спорта увеличивалась более интенсивно с увеличением VO_2 на протяжении всего времени выполнения ступенчато повышающейся нагрузки по сравнению с другой группой. Вид и величины коэффициентов регрессионных уравнений (6) и (12) подтверждают особенности динамики этого параметра в зависимости от спортивной специализации. На более экономичное функционирование звена внешнего дыхания при нагрузке у представителей циклических видов спорта указывает динамика показателей ДО и ЧД как факторов, определяющих МОД (рис. 9, 10).

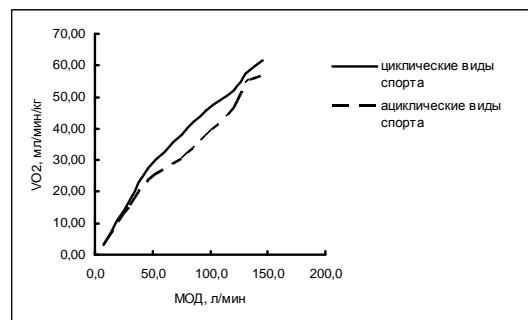


Рис. 6. Взаимосвязь VO_2 с МОД при ступенчато повышающейся нагрузке у спортсменов различной спортивной специализации

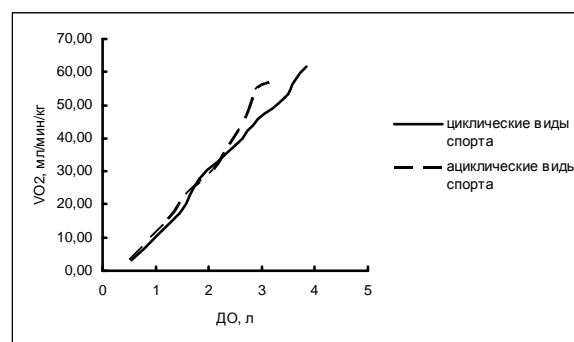


Рис. 7. Взаимосвязь VO_2 с ДО при ступенчато повышающейся нагрузке у спортсменов различной спортивной специализации

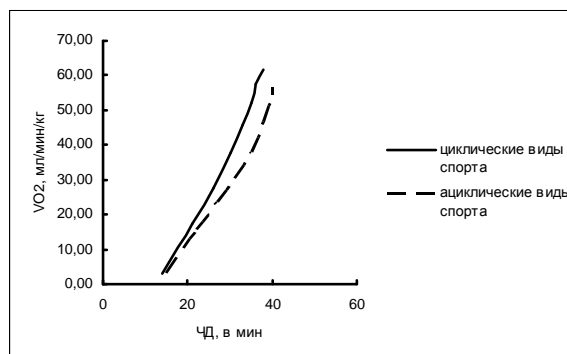


Рис. 8. Взаимосвязь VO_2 с ЧД при ступенчато повышающейся нагрузке у спортсменов различной спортивной специализации

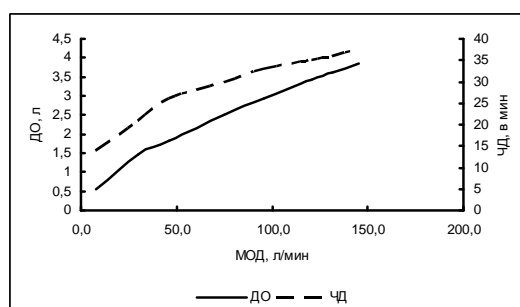


Рис. 9. Взаимосвязь параметров внешнего дыхания при ступенчато повышающейся нагрузке у представителей циклических видов спорта

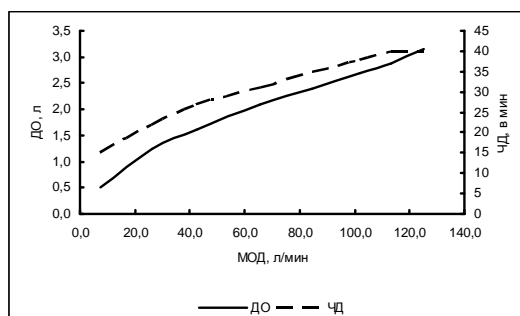


Рис. 10. Взаимосвязь параметров внешнего дыхания при ступенчато повышающейся нагрузке у представителей ациклических видов спорта

Выводы

Анализ полученных результатов показал нелинейный характер изменений параметров газообмена и гемодинамики и зависимости от потребления кислорода при выполнении ступенчато повышающейся нагрузки, которые с высокой достоверностью описываются регрессионными уравнениями в виде полиномов 3-й степени.

У представителей циклических видов спорта увеличение VO_2 происходит за счёт одновременного прироста МОК и $Ca \cdot vO_2$, что является наиболее оптимальным режимом функционирования системы транспорта кислорода, обеспечивающего более высокий уровень аэробных возможностей по сравнению с представителями ациклических видов спорта, у которых увеличение VO_2 происходит преимущественно за счёт МОК.

При оптимальном соотношении изменения МОК и Са- ν O₂ у представителей циклических видов спорта звенья внешнего дыхания по соотношению показателей МОД, ДО, ЧД и гемодинамики по показателям УО и ЧСС функционируют более экономично, чем у представителей ациклических видов спорта.

Список литературы

1. Граевская Н.Д. Влияние спорта на сердечно-сосудистую систему. – М. : Медицина, 1985. – 278 с.
2. Гусев А.В., Котов Ю.Б., Орджоникидзе З.Г., Павлов В.И., Эсселевич И.А. Исследование динамики высоких физических нагрузок с помощью методов компьютерного тестирования и методов математического моделирования // Информационные технологии и вычислительные системы. - 2007. - № 1. - С. 49-55.
3. Гусев А.В., Котов Ю.Б., Орджоникидзе З.Г., Павлов В.И., Эсселевич И.А. Об экспертном определении достижения спортсменом предельной нагрузки в ходе тестирования // Проблемы управления безопасностью сложных систем : труды VII Международной конференции. – М., 2009. – С. 438-441.
4. Медеяновский А.Н. Функциональные системы, обеспечивающие гомеостаз // Функциональные системы организма : руководство / А.Н. Медеяновский, К.В. Судаков и др. - М. : Медицина, 1987. – С. 77-97.
5. Карпман В.Л. Исследование физической работоспособности у спортсменов / В.Л. Карпман, З.Б. Белоцерковский, И.А. Гудков. - М. : ФиС, 1974. – 135 с.
6. Карпман В.Л. Производительность сердца при мышечной работе / В.Л. Карпман, Р.А. Меркулова // Клинико-физиологические характеристики сердечно-сосудистой системы у спортсменов : сб., посвящ. двадцатипятилетию каф. спорт. медицины им. проф. В.Л. Карпмана. - М. : РГАФК, 1994. - С. 47-53.
7. Карпман В.Л. Сердечно-сосудистая система и транспорт кислорода при мышечной работе // Клинико-физиологические характеристики сердечно-сосудистой системы у спортсменов : юбилейный сборник. - М. : РГАФК, 1994. – С. 12-39.
8. Розенблат В.В. Два типа адаптации кардиореспираторных показателей человека к физической нагрузке / В.В. Розенблат, С.Н. Малафеева, А.И. Поводатор // Физиология человека. - 1985. – Т. 11. - № 1. – С. 102-106.
9. Физиология мышечной деятельности / [под. ред. Коца Я.М.]. - М. : ФиС, 1982. – 347 с.

Рецензенты:

Генинг Т.П. д.б.н., профессор, зав. кафедрой физиологии и патофизиологии Ульяновского государственного университета, г. Ульяновск.

Слесарёв А.М., д.б.н., доцент, зав. кафедрой биологии и биоэкологии Ульяновского государственного университета, г. Ульяновск.