УДК 796.92

# ВЛИЯНИЕ УМЕРЕННОЙ ГИПОКСИИ НА СТЕПЕНЬ АРТЕРИАЛЬНОЙ ГИПОКСЕМИИ И ВЕЛИЧИНУ ОКСИГЕНАЦИИ ГЕМОГЛОБИНА В СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦАХ ПРИ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКЕ РАЗЛИЧНОЙ МОЩНОСТИ



# ГРУШИН Александр Алексеевич

Российский государственный университет физической культуры, спорта, молодежи и туризма (ГЦОЛИФК), г. Москва Профессор кафедры теории и методики лыжного и конькобежного спорта, фигурного катания на коньках, кандидат педагогических наук, заслуженный тренер СССР, заслуженный тренер России

## **GRUSHIN Aleksandr**

Russian State University of Physical Education, Sport, Youth and Tourism (SCOLIPE), Moscow

Professor at the department of theory and methodology of skiing and skating sports, figure skating on ice, candidate of pedagogic sciences, honorable coach of the USSR, honorable coach of Russia

# **АНТОНОВ** Артём Александрович

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России Курсант, участник спецпроекта Олимпийского комитета России «Гипоксия»

## **ANTONOV Artyom**

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education 'Ivanovo Fire Academy of State Fire Service of Emercom of Russia'. Student, participant in «Hypoxia» special project of the Russian Olympic committee

## **НАГЕЙКИНА**

#### Светлана Вячеславовна

ФГБОУ ВО «Государственный университет по землеустройству», г. Москва, Кафедра физического воспитания, доцент, заслуженный мастер спорта СССР, заслуженный мастер спорта России, олимпийская чемпионка.

## **NAGEIKINA Svetlana**

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «State University of Land Use Planning», Moscow. Physical Education department, assistant professor, honorable master of sports of the USSR, honorable master of sports of Russia, Olympic champion.

## соколов

## Евгений Евгениевич

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Доцент кафедры пожарно-строевой и физической подготовки, кандидат педагогических наук

## **SOKOLOV** Evgenii

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education 'Ivanovo Fire Academy of State Fire Service of Emercom of Russia', assistant professor at the fire-drill and physical training department, candidate of pedagogic sciences.

**Ключевые слова:** нормоксия, умеренная гипоксия, артериальная гипоксемия, гемоглобин, сатурация крови, оксигенация мышц, легочная вентиляция, максимальное потребление кислорода, порог анаэробного обеспечения, лактат крови, физическая нагрузка.

**Аннотация.** Статья посвящена исследованию вопроса влияния гипоксических условий, возникающих при выполнении физических упражнений в воздушной среде с различным парциальным давлением кислорода, на степень насыщения гемоглобина крови кислородом (SpO2) и оксигенацию скелетных мышц (StO2). В основу исследований положены результаты стандартных тестов со ступенчато-возрастающей нагрузкой, выполняемых спортсменами «до отказа» на тредбане в условиях нормоксии (FiO2=20,9) и умеренной гипоксии, соответствующей высоте 1500 м над уровнем моря (FiO2=17,4).

В исследовании приняли участие 10 спортсменов из числа курсантов академии МЧС, членов сборной команды Ивановской области по лыжным гонкам, адаптированных к условиям естественной и искусственной гипоксии.

Каждый из спортсменов выполнял в лабораторных условиях в тесты на тредбане со ступенчато-возрастающей нагрузкой «до отказа».

ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ №3 (40) • 2016

# EFFECTS OF MODERATE HYPOXIA ON DEGREE OF ARTERIAL HYPOXEMIA AND RATE OF HEMOGLOBIN OXYGENATION IN SKELETAL MUSCLES UNDER PHYSICAL EXERTION OF DIFFERENT LEVELS

**Keywords:** normoxia, moderate hypoxia, arterial hypoxemia, hemoglobin, blood saturation, muscle oxygenation, pulmonary ventilation, maximal oxygen consumption, anaerobic threshold, blood lactate, physical exertion.

**Abstract.** This article is dedicated to a study of influence of hypoxic conditions, originating in the course of physical activities in aerial environment with different oxygen partial pressures, on level of blood hemoglobin oxygen saturation (SpO2) and oxygenation of skeletal muscles (StO2). The research is based on results of standard tests with incrementally increasing load which were performed by athletes on a treadmill «till failure» in normoxia condition (FiO2=20,9) and in moderate hypoxia condition equal to 1500 m elevation above sea level (FiO2=17,4).

The research was conducted with participation of 10 athletes from among the Emercom academy students, members of the Ivanovo region cross-country skiing team, who were adapted to conditions of natural and artificial hypoxia.

Each athlete performed tests in a laboratory environment on a treadmill with incrementally increasing load «till failure».

Введение. С конца прошлого века отечественные и зарубежные специалисты по физиологии мышечной деятельности уделяют повышенное внимание изучению механизмов снижения уровня насыщения гемоглобина артериальной крови кислородом (SpO2), так называемой индуцированной артериальной гипоксемии (EIAH), которая оказывает негативное влияние на снабжение кислородом клеточных митохондрий в ткани скелетных мышц (StO2), что, в конечном счете, приводит к утрате физической работоспособности [1–6].

По степени снижения сатурации крови (SpO2) артериальную гипоксемию классифицируют как: легкую (95%>SpO2>93%), среднюю (93%>SpO2>88%) и тяжелую (SpO2<88%) [1].

В настоящее время в обоснование возникновения артериальной гипоксемии положен в основном альвеолярно-артериальный градиент по кислороду (A-арO2 – разность между альвеолярным парциальным давлением кислорода (рAO2) и артериальным парциальным давлением кислорода (рaO2). В норме рAO2 на 5–10 мм. рт. ст. выше, чем раO2.

Содержание кислорода во вдыхаемом воздухе, по всей видимости, также оказывает существенное влияние, как на альвеолярно-артериальный градиент по кислороду, так и на изменение сатурации артериальной крови.

Вместе с тем артериальная гипоксемия зависит не только от указанных выше основных факторов, но и от ряда «нивелирующих» показателей, таких как: особенности внешнего дыхания, степень утомления дыхательных мышц, и т.д.

В этой связи вопросы, связанные с сатурацией артериальной крови (SpO2), оксигенацией скелетных мышц (StO2) и их влиянием на физическую работоспособность, требуют определенной детализации.

Организация и методы исследования. В исследовании приняли участие 10 спортсменов из числа курсантов академии МЧС, членов сборной команды Ивановской области по лыжным гонкам, адаптированных к условиям естественной и искусственной гипоксии. Спортивная квалификация участников эксперимента – от первого спортивного разряда до мастера спорта, стаж спортивных занятий и участия в соревнованиях различного уровня – не менее 4 лет.

Каждый из спортсменов выполнял в лабораторных условиях в разные дни два теста на тредбане (h/p/cosmos, Германия) со ступенчато-возрастающей нагрузкой «до отказа»: один тест – в условиях нормоксии (0 м над уровнем моря), другой – в гипоксической кабине фирмы «Нурохісо» (Россия – США – Германия) с имитацией высоты 1500 м над уровнем моря.

**Методы исследования.** Основными методами исследования являлись:

- библиографический поиск и обобщение материалов информационных источников;
- методы анализа функционального состояния организма спортсменов: тестирование на тредбане;
- пульсометрия, с применением монитора сердечного ритма фирмы «Polar» (Финляндия);
- газоанализ, с использованием системы «Cortex metalyser 3B-R2» (Германия);

Таблица 1 – Результаты тестирования в условиях нормоксии (29 июля)

Ф.И.	1 1		Пок	Показатели ПАНО	АНО					Пок	Показатели МПК	ЛПК		
Время         Ско-         Венти-         VO2,           рабо-         рость,         ляция         мл/           ты, с         км/ч         легких         мин/кг           (VE),         л/мин	Венти- ляция легких (VE), л/мин		VO ММ	'2', I' /KF	VО2, л	ЧСС, уд/мин	La, ммоль/л	Время рабо- ты, с	Ско- рость, км/ч	Венти- ляция легких (VE), л/ мин	VO2, MII/ MUH/KF	VO2, л	ЧСС, уд/мин	La, ммоль/л
A.C. 480,0 11,0 100,0 55,	100,0 5	5	52,	5,0	3,54	168,0	3,2	798,0	17,0	167,0	70,0	4,48	191	7,0
B.A. 378,0 11,0 74,0 44	74,0 4	4	44	4,0	2,79	144,0	7,2	738,0	17,0	157,0	62,0	3,94	188	9,3
Г.П. 420,0 11,0 81,0 45,	81,0 4	4	45,	5,0	3,25	154,0	2,5	738,0	17,0	174,0	61,0	4,44	189	10,8
K.A. 420,0 11,0 91,0 46,0	91,0		46	0,0	3,22	145,0	2,2	738,0	17,0	148,0	62,0	4,36	181	5,8
K.B. 420,0 11,0 84,0 48,0	84,0		48,	0	3,03	161,0	2,4	780,0	17,0	146,0	68,0	4,28	186	8,5
Л.И. 318,0 9,0 77,0 38,0	77,0		38,	0	2,82	141,0	1,4	840,0	17,0	187,0	66,0	4,88	201	8,6
H.C. 558,0 13,0 85,0 55,0	85,0		55,	0	3,61	167,0	4,4	858,0	19,0	151,0	71,0	4,75	196	10,3
П.И. 480,0 11,0 79,0 45,0	79,0 4	4	45,	0	2,92	182,0	1,8	738,0	17,0	157,0	60,0	3,87	205	7,0
П.Б. 180,0 7,0 56,0 34,0	56,0		34,	0	2,16	137,0	1,7	678,0	15,0	151,0	63,0	3,96	195	6,0
C.C. 378,0 11,0 93,0 44,0	93,0		44,	0	2,66	167,0	7,9	738,0	17,0	120,0	65,0	4,97	209	14,6
$ar{X}$ (средняя арифметическая) 403,20 10,60 82,00 45,40	10,60 82,00		45,4	0:	3,00	156,60	3,47	764,40	17,0	155,80	64,80	4,39	194	8,91
12,08 6,50	9	9		0	0,43	14,68	2,32			18,00	3,85	0,39	8,84	2,68
ПАНО, % от МПК 70,1	70,1	70,1	70,]								100			

Таблица 2 - Результаты тестирования в условиях гипоксии (30 июля)

Таблица 3 – Динамика показателя насыщения кислородом гемоглобина артериальной крови (SpO2) в условиях нормоксии (29 июля)

ı	Интервал					Φ.	Ф.И.					I	$\overline{\delta}$ [n-1],
Показатели	работы, с	AC	BA	ГП	KA	KB	ЛИ	НС	ПИ	ПБ	CC	Х, ср. ар.	стад. откл.
Разминка 3 мин	09-0	95,80		95,2	94,6	93.8	94,1		94,8		94,71		
	60-120	96,20		94,6	8,96	96,1	95,5		94,5	90,5	95,80		
	120-180	96,00	94,00	94,8	92,6	96,5	94,4		92,1	94,6	95,20		
X		96,00	94,00	94,87	96,33	95,47	94,67	0,00	93,80	92,40	95,24	94,690	1,09
	180-240	95,40	93,90	94,20	95,10	95,60	92,60		90,60	93,70	93,10		
	240-300	96,20	93,60	92,90	93,00	95,30	93,70	93,80	90,06	93,00	91,50		
	300-360	95,20	90,40	94,30	92,80	94,60	93,20		90,50		92,10		
	360-420	93,40	89,40	91,66	93,20	93,46	89,20	93,75	83,13		93,00		
	420-480	92,50	91,40	91,53	93,53	93,80	88,26	91,20			92,60		
	480-540	91,86	90,46	87,70	93,26	91,66		91,20			92,93		
	540-600	90,13						90,68					
	099-009							85,4					
ПАНО SpO2		89,33	90,20	87,26	92,33	90,53	85,06	98,98	89,20	90,15	92,80	89,276	2,34
	660-720	86,73	88,86	84,40	91,60	89,66	86,86	86,90	92,13	90,06	92,20		
	720-780	84,20	87,53	84,20	90,53	88,86	89,06	84,60	91,50	90,93			
	780-840	87,06	99,06	84,10	90,00	86,86	88,66	86,93	89,53	98,06	91,26		
	840-900	88,53	85,80	84,66	88,46	85,26	89,13	83,23		99,06	90,66		
	096-006	86,90	84,20	84,00	86,40	82,40	89,00			90,06	89,20		
	960-1020						88,93			89,00			
	1020-1080									86,33			
MIIK SpO2		84,66	84,00	83,00	84,26	83,00	79,34	78,80	83,00	85,56	88,40	82,964	3,0715

Таблица 4 – Динамика показателя насыщения кислородом гемоглобина артериальной крови (SpO2) в условиях гипоксии (30 июля)

	Интепвал					Ф.И.	Д.					ı	$\overline{\delta}$ [n-1],
Показатели	работы, с	AC	BA	ΓП	KA	KB	ЛИ	HC	ПИ	ПБ	CC	Х, ср. ар.	стад. откл.
Разминка 3 мин	09-0	95,77		95,25	98,96	93,88	94,60		94,85	90,15	95,80		
_	60-120	96,20	94,00	94,66	92,66	96,13	95,53		94,53	95,12	95,46		
	120-180	96,00	93,66	93,73	95,13	96,53	94,26	94,00	92,20	93,71	93,20		
X		95,99	93,83	94,55	96,55	95,51	94,80	94,00	93,86	92,99	94,82	94,752	1,22
	180-240	95,40	93,66	94,20	93,00	92,66	92,93		99,06	93,13	91,53		
	240-300	96,26	90,46	92,93	92,86	95,26	93,73	93,25	90,06	60,06	92,16		
	300-360	95,20	89,40	94,33	93,20	94,95	93,26	91,20	90,46		93,00		
	360-420	93,40	91,46	91,66	93,80	93,46	89,20	91,20	82,93		92,60		
	420-480	92,53	90,46	91,53	91,66	93,80	88,33	90,06	84,93		92,93		
_	480-540	91,86	90,20	87,73		91,66	85,06	90,68	89,33		92,80		
	540-600	90,13		87,26			86,86	85,40					
	099-009												
ПАНО SpO2		89,33	88,86	84,40	90,53	90,53	88,13	86,86	91,66	90,26	92,20	89,372	2,42
	660-720	86,73	87,57	84,20	90,00	89,66	89,06	86,93	89,20	90,93	91,86		
	720-780	84,20	86,13	84,13	88,46	88,86	88,86	85,06	89,20	92,13	91,26		
_	780-840	87,06	85,80	84,66	86,40	86,86	89,13	86,93	92,13	98,06	99,06		
_	840-900	88,53	84,20	84,00	84,26	84,73	89,00	83,23	91,53	99,06	89,20		
	096-006	86,93							89,53	00,06			
_	960-1020									89,00			
_	1020-1080									86,33			
МПК SpO2		84,66	84,00	78,43	82,60	82,40	81,89	78,40	83,00	85,86	88,40	83,362	2,87

Таблица 5 – Динамика показателя насыщения кислородом гемоглобина мышечной ткани (StO2) в условиях нормоксии (29 июля)

	Плисти					Ф.И.	И.					ı	$\overline{\delta}$ [n-1],
Показатели	работы, с	AC	BA	ГП	KA	KB	ЛИ	НС	ПИ	IIB	CC	Х, ср. ар.	стад. откл.
Разминка 3 мин	09-0	92,00	82,0	81,0	94,0	92,0	83,0	92,0	87,0				
	60-120	88,00	85,0	78,0	94,0	92,0	85,0	93,0	91,0	95,0	78,00		
	120-180	83,00	77,0	82,0	93,0	89,0	86,0	93,0		95,0	77,00		
×		87,67	81,33	80,33	93,67	91,00	84,67	92,67	89,00	95,00	77,50	87,283	80,9
	180-240	88,00	79,00	77,00	93,00	86,00	90,06	93,00	88,00	93,00	78,00		
	240-300	82,00	82,00	75,00	91,00	82,00	86,00	94,00	84,00	94,00	76,00		
	300-360	86,00	76,00	77,00	86,00	83,00	88,00	00,06	88,00		80,00		
	360-420	82,00	82,00	76,00	86,00	80,00	86,00	91,00	83,00		81,00		
	420-480	81,00	78,00	77,00	82,00	81,00	81,00	89,00	85,00		74,00		
	480-540	78,00	77,00	75,00	84,00	78,00	90,06	88,00	81,00		76,00		
	540-600							84,00	84,00				
	099-009							85,00	0,67				
ПАНО SpO2		78,00	74,00	77,00	78,00	81,00	83,00	86,00	72,00	83,00	72,00	78,400	4,84
	660-720	77,00	73,00	78,00	77,00	75,00	77,00	84,00	65,00	84,00	73,00		
	720-780	67,00	68,00	74,00	76,00	73,00	79,00	80,00	64,00	81,00	71,00		
	780-840	58,00	61,00	73,00	26,00	61,00	79,00		43,00	79,00	63,00		
	840-900	46,00	51,00	66,00	71,00	58,00	75,00			79,00	67,00		
	096-006	23,00	38,00	64,00	59,00	45,00	68,00	74,00		74,00	53,00		
	960-1020						69,00	71,00		74,00			
	1020-1080						50,00			52,00			
МПК SpO2		16,00	21,00	30,87	28,00	25,00	45,00	45,00	28,87	38,00	38,00	31,574	9,78

Таблица 6 – Динамика показателя насыщения кислородом гемоглобина мышечной ткани (StO2) в условиях гипоксии (30 июля)

1,0	X, ср. ар. стад. откл.				85,867 5,47									73,100 8,20					_			
I	CC X	77,00	75,00	77,00	76,33 8	73,00	72,00	70,00	68,00	00,69	62,00			52,00 7	38,00	22,00						
								7(	39	9	79						00	00		00	00	00 00
	ПБ	90,0	91,0	87,0	89,33	86,00	85,00							81,00	84,00	80,00	78,00	75,00		71,00	71,00	71,00 63,00 48,00
	ПП	89,0	83,0	84,0	85,33	85,00	83,00	81,00	81,00	81,00	80,00			77,00	77,00	71,00	64,00	60,00		46,00	46,00	46,00
	HC	92,0	92,0	91,0	91,67	92,00	89,00	92,00	81,00	78,00	82,00	79,00	77,00	74,00	75,00	74,00	00'89	62,00				
И.	ЛИ	86,0	89,0	87,0	87,33	90,00	89,00	85,00	84,00	86,00	79,00	77,00		73,00	73,00	63,00	57,00	22,00				
Ф.И.	KB	93,0	92,0	91,0	92,00	91,00	88,00	87,00	83,00	76,00	77,00			73,00	74,00	62,00	55,00	26,00				
	KA	87,0	85,0	87,0	86,33	84,00	85,00	83,00	75,00	73,00	73,00	70,00		73,00	78,00	00,99	00,99	48,00				
	ГП	76,0	80,0	80,0	78,67	80,00	80,00	81,00	81,00	82,00	76,00	74,00		74,00	70,00	65,00	62,00	53,00				
	BA	81,0	79,0	84,0	81,33	79,00	80,00	78,00	78,00	77,00	74,00			72,00	70,00	62,00	61,00	45,00		_		
	AC	89,00	89,00	93,00	90,33	91,00	90,06	89,00	86,00	89,00	87,00			82,00	79,00	75,00		00'69		63,00	63,00	34,00
Интервал	работы, с	09-0	60-120	120-180		180-240	240-300	300-360	360-420	420-480	480-540	540-600	099-009		660-720	720-780	780-840	840-900		096-006	900-960	900-960 960-1020 1020-1080
	Показатели	Разминка 3 мин			×									ПАНО SpO2								

лактатометрия, с помощью фотометрического анализатора «BTS-350» фирмы «Bio Systems» (Испания) и портативного прибора «Lactate Scout» (Германия). Для анализа использовали капиллярную кровь;

- фотоплетизмография, (оценка насыщения кислородом гемоглобина мышечной ткани) с помощью монитора «InSpetra TMStO2» фирмы «HutchinsonTechnology» (США). Исследуемая область срединная часть двуглавой мышцы плеча;
- пульсоксиметрия (оценка насыщения кислородом гемоглобина артериальной крови), с использованием пульсоксиметра «Nonin» 8600 (США). Датчик устанавливали на указательный палец правой руки;
- математико-статистические методы обработки эмпирического материала.

**Результаты и их обсуждение.** Результаты лабораторных исследований с использованием стандартных ступенчато-возрастающих тестов с работой «до отказа» в зависимости от гипоксических условий приведены в таблицах 1, 2.

С помощью графика зависимости ЧСС – VE у каждого спортсмена в обоих тестах определялась точка перелома, которая соответствует порогу анаэробного обмена. Кроме того, величина ПАНО, определялась с помощью, встроенной в газоанализатор программы (метод V-Slope).

Изменение показателя насыщения гемоглобина артериальной крови кислородом (SpO2) при выполнении физических нагрузок различной мощности, выполняемых в условиях нормоксии и гипоксии, отражено в таблицах 3, 4.

Зависимость мощности и продолжительности физической работы, проделанной в воздушной среде с различным парциальным давлением кислорода, от насыщения кислородом гемоглобина мышечной ткани (StO2) представлена в таблицах 5, 6.

Результаты, представленные в таблицах 1, 2, свидетельствуют о достаточно высоком уровне аэробных качеств спортсменов.

Максимальная вентиляция легких, достигнутая непосредственно перед отказом от работы из-за утомления, в условиях с нормальным парциальным давлением кислорода (FiO2=20,9) составила 155,8±18,0 л/мин, а в условиях с пониженным его парциальным давлением (FiO2=17,4) – 163,9±19,2 л/мин.

По всей видимости, незначительные различия в максимальных достигнутых уровнях легочной вентиляции объясняются особенностями

регуляции внешнего дыхания спортсменов и их гипоксической устойчивостью [4].

Показатель МПК в условиях нормоксии (0 м над уровнем моря) в среднем по группе составил 64,8±3,85 мл/мин/кг, а в условиях умеренной гипоксии (1500 м над уровнем моря) – 58,5±3,60 мл/мин/кг, т.е. уменьшение содержания кислорода во вдыхаемом воздухе с 20,9% до 17,4% привело к снижению показателя МПК на 9%.

При практически одинаковой легочной вентиляции (VE) наблюдались значительные различия в МПК в условиях нормального и пониженного парциального давления кислорода. Можно предположить, что данное обстоятельство целиком определяется степенью использования кислорода и эффективностью работы кислородо-транспортной системы.

Уровень достигнутой максимальной частоты сердечных сокращений (ЧСС) составил 194,0±8,8 и 194,0±7,3 уд/мин в условиях нормоксии и гипоксии соответственно. Таким образом, можно констатировать, что одна из производных минутного объема кровообращения – ЧСС – не зависит от парциального давления кислорода во вдыхаемом воздухе, по крайней мере – в диапазоне от 20,9% до 17,4%.

Величина ПАНО, выраженная в процентах от МПК, в условиях с нормальным парциальным давлением кислорода во вдыхаемом воздухе составила 70,1%±6,2 (Таблица 1), а в гипоксических условиях – 75,9%±9,1. Отличие в средних значениях на 5,8% не дает оснований делать объективные выводы по причине достаточно высокой погрешности метода определения данного показателя (5).

Кроме того, следует отметить, что достоверных различий в значениях концентрации лактата в крови после выполнения тестов в условиях нормоксии и гипоксии (8,91±2,68 и 9,83±2,36 ммоль/л) у спортсменов, принимавших участие в исследованиях, не наблюдается. По всей видимости, возможность улучшения результата теста в гипоксических условиях обусловлена гипоксической устойчивостью этих спортсменов [1].

Изменение степени насыщения гемоглобина артериальной крови кислородом (SpO2) при выполнении физической нагрузки различной мощности вплоть до отказа от работы колеблется в диапазонах от 94,690±1,09 до 82,964±3,075 в условиях нормоксии и от 94,752±1,22 до 83,362±2,87 в условиях гипоксии. Здесь следует отметить, практически одинаковое снижение значений данного показателя вне зависимости от парциального давления кислорода во вдыхаемом воздухе (Таблицы 3, 4).

Для выявления взаимосвязи артериальной гипоксемии и кислородного статуса мышечной ткани во время выполнения работы регистрировалась степень оксигенации гемоглобина в мышцах (StO2). Показатели представлены в таблицах 5, 6. Установлено, что после начала физической активности до момента отказа от выполнения работы происходит снижение уровня насыщения кислородом гемоглобина митохондрий мышц с 87,283±6,08 до 31,574±1,78 в условиях нормального давления кислорода в воздухе и с 85,867±5,47 до 29,611±11,70 с пониженным парциальным давлением кислорода в атмосфере. Резкое снижение значений указанного показателя наблюдается после достижения порога анаэробного обеспечения.

# Выводы

- 1. Уменьшение парциального давления кислорода во воздушной среде с 20,9% до 17,4% привело к уменьшению показателя максимального потребления кислорода (МПК) в среднем с 64,80 мл/л/мин до 58,5 мл/л/мин и, следовательно, к снижению физической работоспособности примерно на 9%.
- 2. Одна из производных минутного объема кровообращения частота сердечных сокращений (ЧСС) не зависит от парциального давления кислорода во вдыхаемом воздухе, по крайней мере в диапазоне от 20,9 до 17,4 объемных процентов.
- 3. Динамика SpO2 в артериальной крови при выполнении физических упражнений разной мощности в воздушной среде с различным парциальным давлением кислорода идентична. В состоянии покоя значения SpO2 составили в средннем 94,721±1,155, а в момент отказа от работы 83,163±2,974.
- 4. Снижение содержания кислорода в гемоглобине артериальной крови приводит к уменьшению оксигенации скелетных мышц. Диапазон изменения показателя насыщения кислородом

гемоглобина мышечной ткани зарегистрирован в пределах от 86,575±5,775 до 30,593±10,440 в момент отказа от работы.

# Литература

- 1. Волков, Н. И. Биоэнергетика напряженной мышечной деятельности человека и способы повышения работоспособности спортсменов: автореф. дис... д-ра биол. наук / Н. И. Волков. М., 1990. 101 с.
- 2. Иорданская, Ф. А. Гипоксия в тренировке спортсменов и факторы, повышающие ее эффективность / Ф. А. Иорданская. М.: Советский спорт, 2015. 160 с.
- 3. Платонов, В. Н. Система подготовки спортсменов в олимпийском спорте / В. Н. Платонов. К.: Олимпийская литература, 2015. Кн. 2. 752 с.
- 4. Dempsey, J. A. Update in the understanding of respiratory limitations to exercise performance in fit, active adults / J. A. Dempsey, D. C. McKenzie, H. C. Haverkamp, M. W. Eldridge. Chest. 2008. Vol. 134. Pp. 61–72.
- 5. Vogiatzis, I. Effects of hypoxia on diaphragmatic fatigue in highly trained athletes / I. Vogiatzis, O. Goergiadou, M. Kos, et al. J. Physiol. 2007. Vol. 581. Pp. 299–308.
- 6. Faude, O. Lactate threshold concepts: how valid are they? / O. Faude, W. Kindermann, T. Meyer. Sports med. 2009. Vol. 39. Pp. 469–490.

## References

- 1. Volkov, N. I. Bioenergy tense muscle of human activities and the ways to improve the performance of athletes: Avtoref. dis... d-RA Biol. Sciences / N. I. Volkov. M., 1990. 101 p.
- 2. Jordan, F. A. hypoxia in the training of athletes and the factors that increase its effectiveness / F. A. Jordan. M. : Soviet sport, 2015. 160 p.
- 3. Platonov, V. N. The system of training athletes in Olympic sports / V. N.
- 4. Dempsey, J. A. Update in the understanding of respiratory limitations to exercise performance in fit, active adults / J. A. Dempsey, D. C. McKenzie, H. C. Haverkamp, M. W. Eldridge. Chest. 2008. Vol. 134. pp. 61–72.
- 5. Vogiatzis, I. Effects of hypoxia on diaphragmatic fatigue in highly trained athletes / I. Vogiatzis, O. Goergiadou, M. Kos, et al. J. Physiol. 2007. Vol. 581. pp. 299–308.
- 6. Faude, O. Lactate threshold concepts: how valid are they? / O. Faude, W. Kindermann, T. Meyer. Sports med. 2009. Vol. 39. pp. 469–490.

