

УДК 612.06

КИСЛОРОДНЫЕ РЕЖИМЫ ОРГАНИЗМА В УСЛОВИЯХ МАКСИМАЛЬНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ У ЛИЦ С РАЗЛИЧНЫМИ УРОВНЯМИ АЭРОБНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ

Виноградов С.Н.

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

Проведено исследование показателей газообмена, гемодинамики и кислородных режимов организма в состоянии относительного покоя и при максимальной нагрузке у лиц с различным уровнем аэробных возможностей организма. Выявлена зависимость эффективности и экономичности кислородных режимов от уровня максимального потребления кислорода, от особенностей реакций отдельных звеньев газотранспортной системы организма на максимальную нагрузку и их соотношений. Эффективность и экономичность кислородных режимов в условиях максимальной нагрузки возрастает с ростом максимального потребления кислорода и преимущественно определяется сократительными возможностями сердца, транспортными возможностями крови и степенью утилизации кислорода тканями. Установлено, что наиболее эффективные и экономичные режимы характерны для лиц с хорошим и высоким уровнем максимального потребления кислорода за счёт наиболее оптимального соотношения степени мобилизации звеньев газотранспортной системы по сравнению с лицами с более низкими уровнями максимального потребления кислорода.

Ключевые слова: кислородный режим организма, газотранспортная система, гемодинамика, газообмен, максимальное потребление кислорода, эффективность, экономичность.

THE OXYGEN REGIME OF THE ORGANISM IN THE MAXIMAL EXERCISE HAVE PEOPLE WITH DIFFERENT LEVELS OF AEROBIC CAPACITY

Vinogradov S.N.

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

The study of the gas exchange parameters, hemodynamics and oxygen regimes of the body in a state of relative peace and maximum load in individuals with different levels of aerobic capacity of the organism. The dependence of the efficiency and economy of oxygen regimes of the level of maximal oxygen consumption, the characteristics of the reactions of individual units of the gas transportation system of the body at maximum load and their relations. The effectiveness and efficiency of oxygen regimes, in conditions of maximum load increases with increasing maximal oxygen consumption, and mainly determined by the contractile opportunities heart, transport blood and the degree of utilization of oxygen. It is established that the most efficient and cost-effective modes typical for people with good and high , maximal oxygen consumption due to the optimal ratio of the degree of mobilization of the links of the gas transportation system compared with those with lower levels of maximum oxygen consumption

Key words: the oxygen regime of the body, the gas transport system, hemodynamics, gas exchange, maximal oxygen consumption, efficiency, economy.

Введение

Кислородный режим организма (КРО), представляющий собой непрерывный процесс массопереноса и утилизации кислорода в организме при строго управляемых сочетаниях его параметров - скорости продвижения и парциальных давлений в каждом звене газотранспортной системы, является одним из объективных показателей уровня функционирования организма [5] Для оценки функционального состояния организма по КРО необходимо учитывать, за счёт чего достигаются необходимые скорости поэтапной доставки и потребления кислорода.

Согласно данным ряда исследований [1-4; 7; 8], величина потребления кислорода организмом, особенно в условиях максимальных физических нагрузок, определяется особенностями реакции каждого из звеньев газотранспортной системы, что определяет ту или иную степень экономичности и эффективности КРО.

Цель: исследование особенностей кислородных режимов в покое и при максимальной нагрузке у лиц с различным уровнем аэробных возможностей по уровню максимального потребления кислорода (МПК).

Материалы и методы

В исследовании приняли участие мужчины в возрасте 18–24 лет, из которых было сформировано 5 групп по уровням МПК согласно классификации Астранда [6].

Низкое потребление кислорода ≤ 38 мл/мин/кг.

Умеренное потребление кислорода 39-43 мл/мин/кг.

Среднее потребление кислорода 44-51 мл/мин/кг.

Хорошее потребление кислорода 52-56 мл/мин/кг.

Высокое потребление кислорода ≥ 57 мл/мин/кг.

У исследуемых определяли показатели газообмена - потребление кислорода (VO_2), скорость поступления кислорода в лёгкие (qIO_2), минутный объём дыхания (МОД), частоту дыхания (ЧД), артерио-венозную разницу по кислороду ($Ca-vO$); показатели гемодинамики - минутный объём крови (МОК), ударный объём (УО), частоту сердечных сокращений (ЧСС), скорость транспорта кислорода артериальной и смешанной венозной кровью (qaO_2 , qvO_2) в состоянии относительного мышечного покоя и при выполнении ступенчато-повышающейся велоэргометрической нагрузки до уровня МПК с последующим расчётом параметров КРО.

Скорость транспорта поступления кислорода в лёгкие (мл/мин) рассчитывали по формуле:

$$qIO_2 = VT \times FIO_2,$$

где FIO_2 – содержание кислорода во вдыхаемом воздухе (%).

Скорость транспорта кислорода артериальной кровью (об.%/ мин) рассчитывали по формуле:

$$qaO_2 = МОК \times CaO_2,$$

где CaO_2 – содержание кислорода в артериальной крови (об.%).

Скорость транспорта кислорода смешанной венозной кровью (об.%/мин) рассчитывали по формуле:

$$qvO_2 = МОК \times Cv O_2,$$

где CvO_2 - содержание кислорода в смешанной венозной крови (об.%).

Артерио-венозная разница по кислороду (об.%) рассчитывалась по формуле Фика:

$$Ca-vO_2 = VO_2/MOK.$$

Экономичность КРО оценивалась по вентиляционному эквиваленту (VE), коэффициенту использования кислорода в лёгких (КИО₂), кислородному эффекту дыхательного цикла (Q_{гс}, мл), гемодинамическому эквиваленту (HE), кислородному эффекту сердечного цикла (Q_{2сс}, мл)

$$VE = МОД/ VO_2$$

$$КИО_2 = VO_2/МОД$$

$$Q_{гс(мл)} = VO_2/ЧД$$

$$HE = MOK/ VO_2$$

$$Q_{2сс(мл)} = VO_2/ЧСС$$

Эффективность кислородных режимов определялась по отношениям скорости поступления кислорода в лёгкие, скоростей транспорта кислорода артериальной и смешанной венозной кровью к потреблению кислорода - qIO_2/VO_2 , qaO_2/VO_2 (коэффициент доставки кислорода), qvO_2/VO_2 .

Результаты

Результаты исследования показали, что в состоянии относительного покоя показатели газообмена - VO_2 , qIO_2 , МОД, ЧД, $Ca-vO_2$ (таблица 1, рис. 1-5) между группами существенно не различаются и соответствуют физиологическим нормам.

При максимальной нагрузке потребление кислорода по сравнению с состоянием относительного мышечного покоя достоверно увеличилось во всех группах. Наименьший прирост наблюдался в группе с низким уровнем МПК (в 10 раз), наибольший - в группе с высоким уровнем МПК (в 14,9 раза). Прирост потребления кислорода увеличивался с повышением уровня аэробных возможностей по МПК.

. Соотношение приростов показателей qIO_2 , МОД и ЧД позволяет говорить о наиболее выраженной реакции звена внешнего дыхания в группе со средним уровнем МПК.

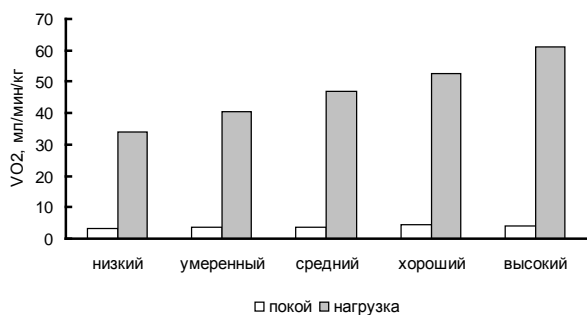


Рис. 1. VO_2 при различных уровнях МПК.

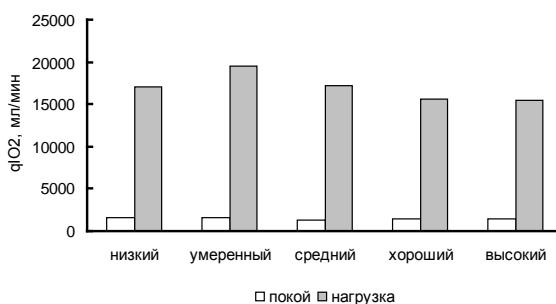


Рис. 2. qIO_2 при различных уровнях МПК.

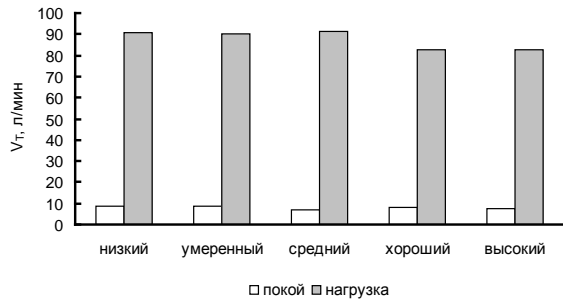


Рис. 3. МОД при различных уровнях МПК.

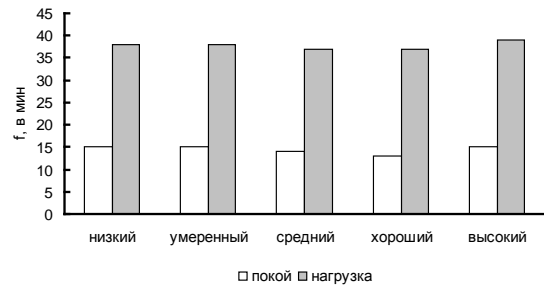


Рис. 4. ЧД при различных уровнях МПК.

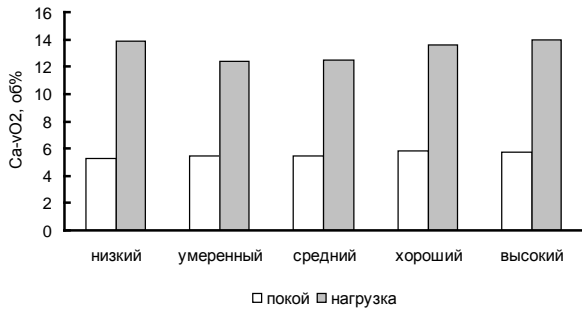


Рис. 5. Sa-vO2 при различных уровнях МПК.

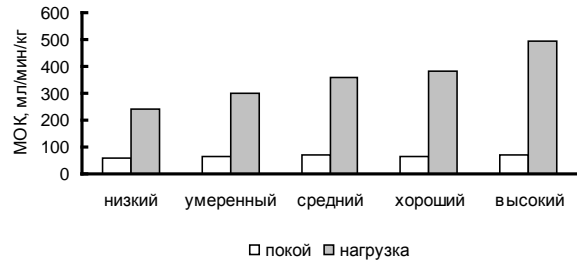


Рис. 6. МОК при различных уровнях МПК.

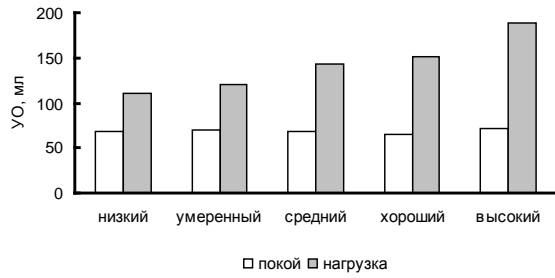


Рис. 7. УО при различных уровнях МПК.

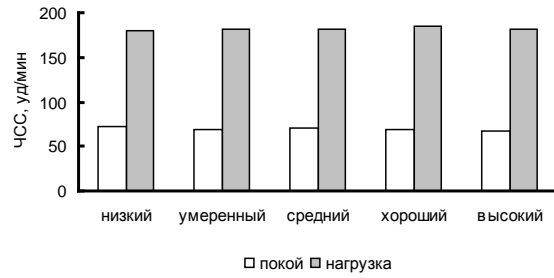


Рис. 8. ЧСС при различных уровнях МПК.

Параметры газообмена в покое и при максимальной нагрузке у лиц с различными уровнями МПК

Таблица 1

Параметр	Низкий уровень		Умеренный уровень		Средний уровень		Хороший уровень		Высокий уровень	
	покой	нагрузка	покой	нагрузка	покой	нагрузка	покой	нагрузка	покой	нагрузка
VO ₂ , мл/мин/кг	3,4±0,3	34,0±0,7*	3,5±0,2	40,3±0,4*	3,8±0,2	47,0±0,4*	4,3±0,5	52,4±0,5*	4,1±0,4	60,9±1,2*
qIO ₂ , мл/мин	1624±150	17093,±1239*	1629±147	19551±1992*	1363±74	17197±1082*	1510±126	15563±1475*	1439±129	15499±1161*
МОД, л/мин	8,6±0,8	90,9±6,6*	8,8±0,8	89,9±8,9*	7,2±0,4	91,4±5,8*	8,0±0,7	82,7±7,8*	7,7±0,7	82,4±6,2*
ЧД в мин	15±1	38±1*	15±1	38±1*	14±1	37±1*	13±1	37±2*	15±1	39±3*
Ca-vO ₂ , об %	5,3±0,4	13,9±0,6*	5,5±0,4	12,4±0,7*	5,5±0,3	12,5±0,5*	5,8±0,5	13,6±1*	5,7±0,5	14±0,9*

* - различия достоверны по сравнению с состоянием покоя, p<0,05.

Параметры гемодинамики в покое и при максимальной нагрузке у лиц с различными уровнями МПК

Таблица 2

Параметр	Низкий уровень		Умеренный уровень		Средний уровень		Хороший уровень		Высокий уровень	
	покой	нагрузка	покой	нагрузка	покой	нагрузка	покой	нагрузка	покой	нагрузка
МОК, мл/мин/кг	61,5±2,7	243,4±14,7*	64,7±3,3	297,2±17,3*	71,4±2,8	360,2±26,3*	66,3±3,2	380,8±38,9*	71,9±4,4	493,5±44,9*
УО, мл	67,6±0,8	111,2±6,1*	69,2±1,2	120,7±4,9*	67,8±0,9	143,3±8,5*	65,0±1,6	152,0±17,7*	72,1±4,0	189,2±15,2*
ЧСС, уд/мин	72±2	179±1*	69±3	181±2*	70±2	182±3*	69±3	185±5*	68±4	181±3*
qaO ₂ , об %/мин	9,2±0,5	33,8±2*	8,6±0,3	45,1±2,8*	9,3±0,4	45,7±3,4*	9±0,4	34,3±3,9*	9,3±0,6	67,8±5*
qvO ₂ , об %/мин	6,5±0,3	9,5±1,9	6,1±0,3	14,9±0,6*	6,8±0,4	13,6±2*	6,4±0,4	16,6±4,4*	6,6±0,5	26,1±5,3*

* - различия достоверны по сравнению с состоянием покоя, p<0,05.

Параметры КРО в покое и при максимальной нагрузке у лиц с различными уровнями МПК

Таблица 3

Параметр	Низкий уровень		Умеренный уровень		Средний уровень		Хороший уровень		Высокий уровень	
	покой	нагрузка	покой	нагрузка	покой	нагрузка	покой	нагрузка	покой	нагрузка
VE	32,3±1,8	33,0±2,3	33,0±2,4	33,1±2,9	28,2±0,9	27,9±1,7	27,4±1,0	22,7±2,4	28,8±1,9	20,4±1,6*
КИО ₂	33,1±2,4	32,3±2,9	32,8±2,0	36,2±4,7	37,1±1,9	39,9±2,7	37,1±1,6	50,7±5,8*	35,8±2,3	50,8±3,5*
Q _{2гс} , мл	20,0±1,8	73,1±2,4*	19,0±1,5	82,0±3,8*	18,9±1,1	98,8±3,9*	25,5±3,4	100,7±4,8*	19,1±1,4	113,7±10,9*
HE	19,0±1,4	7,2±0,4*	19,4±1,3	7,4±0,4*	20,4±1,2	7,8±0,6*	17,1±1,8	7,2±0,7*	18,8±2,1	8,1±0,6*
Q _{2сс} , мл	3,6±0,3	15,4±0,4*	4,0±0,3	17,8±0,5*	3,8±0,2	18,3±0,6*	4,5±0,5	19,6±0,7*	4,1±0,4	23,5±0,8*
qIO ₂ /VO ₂	6,1±0,3	6,5±0,5*	6,2±0,5	6,2±0,6*	5,3±0,2	5,2±0,3	5,2±0,2	4,3±0,5	5,4±0,4	3,8±0,3*
qaO ₂ /VO ₂	3,5±0,3	1,4±0,08*	3,7±0,3	1,5±0,1*	4±0,3	1,5±0,1*	3,1±0,4	1±0,1*	3,7±0,4	1,6±0,1*
qvO ₂ /VO ₂	2,5±0,4	0,4±0,08*	2,6±0,3	0,6±0,1*	3±0,3	0,4±0,06*	2,2±0,3	0,5±0,1*	2,6±0,3	0,6±0,1*

* - различия достоверны по сравнению с состоянием покоя, p<0,05.

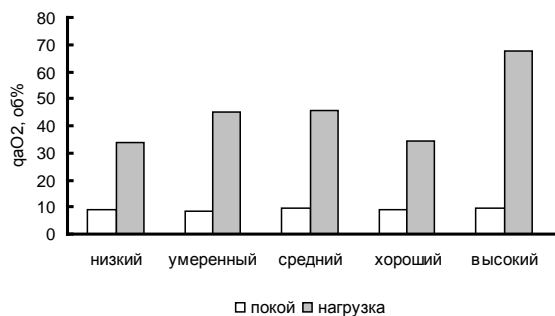


Рис. 9. $\dot{q}aO_2$ при различных уровнях МПК.

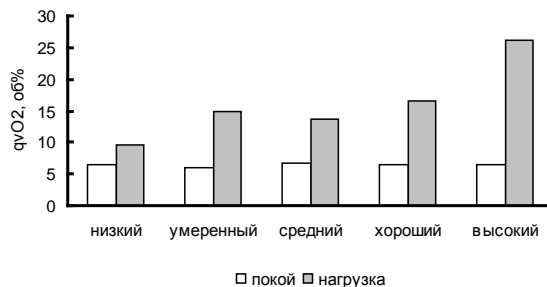


Рис. 10. $\dot{q}vO_2$ при различных уровнях МПК.

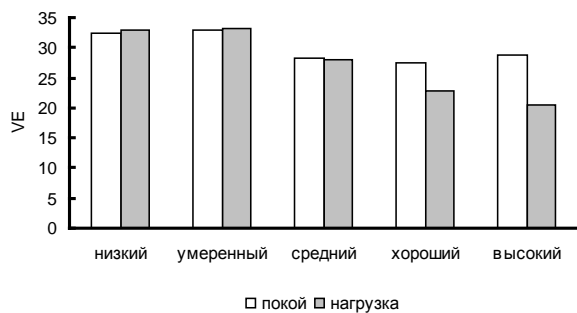


Рис. 11. VE при различных уровнях МПК.

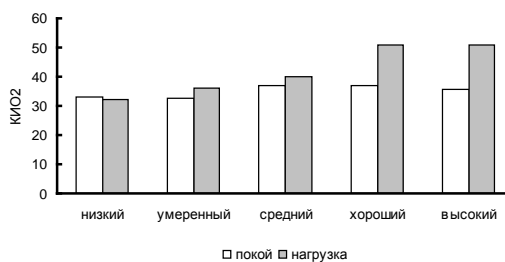


Рис. 12. KИО2 при различных уровнях МПК.

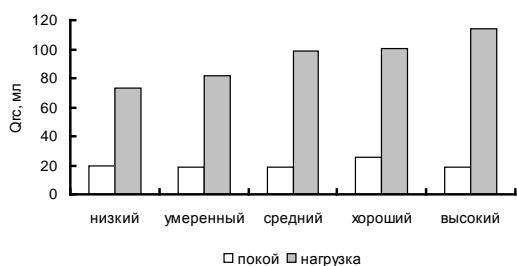


Рис. 13. $\dot{Q}_{2гс}$ при различных уровнях МПК.

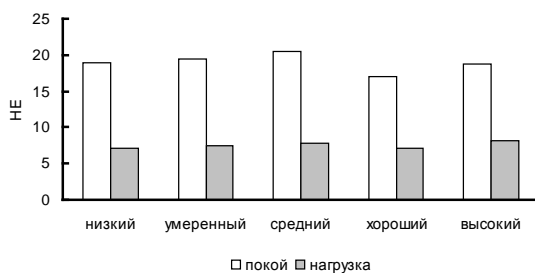


Рис. 14. HE при различных уровнях МПК.

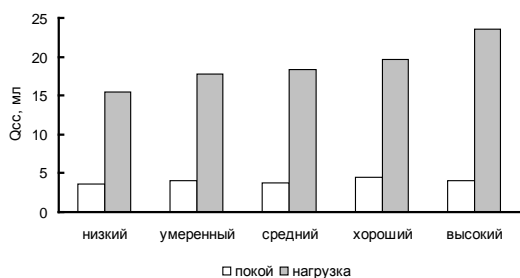


Рис. 15. $\dot{Q}_{2сс}$ при различных уровнях МПК.

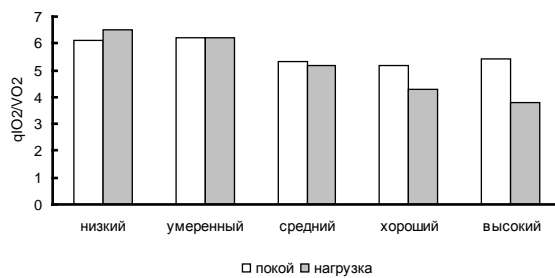


Рис. 16. $\dot{q}IO_2/VO_2$ при различных уровнях МПК.

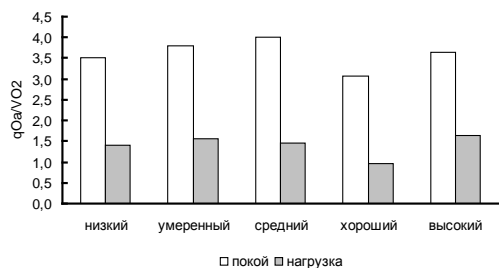


Рис. 17. $\dot{q}aO_2/VO_2$ при различных уровнях МПК.

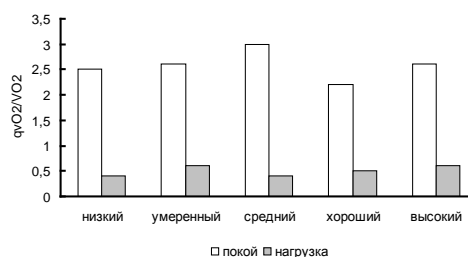


Рис. 18. $\dot{q}vO_2/VO_2$ при различных уровнях МПК.

По величине прироста $Ca-vO_2$ при максимальной нагрузке между группами с низким умеренным и со средним уровнями МПК различий не выявлено (увеличение в 2,3 раза), в

группе с хорошим уровнем МПК Ca-vO_2 увеличилось в 2,4 раза, а наибольший прирост наблюдался в группе с высоким уровнем МПК – в 2,5 раза.

Показатели гемодинамики в состоянии относительного покоя и при нагрузке на уровне МПК представлены в таблице 2 и диаграммах (рис. 5-10). В состоянии относительного мышечного покоя значения параметров гемодинамики между группами также не имели существенных различий.

При максимальной нагрузке наименьшее увеличение МОК по сравнению с состоянием относительного покоя отмечено в группе с низким уровнем МПК (увеличение в 4 раза), а наибольшее в группе с высоким уровнем МПК – в 6,9 раза. При этом степень прироста МОК возрастала в зависимости от уровня потребления кислорода при максимальной нагрузке. В отношении УО наблюдалась подобная тенденция – увеличение в 1,6 раза в группе с низким МПК, в 2,6 раза - в группе с высоким уровнем МПК. Прирост ЧСС во всех группах не имел существенных различий. Соотношение этих показателей указывает на то, что с увеличением уровня МПК прирост МОК обеспечивается преимущественно за счёт УО, то есть за счёт сократительных возможностей сердца

В свою очередь соотношение приростов МОК, Ca-vO_2 , qaO_2 при максимальной нагрузке при различных уровнях МПК позволяет говорить о наиболее оптимальном функционировании звеньев транспорта кислорода при высоком уровне МПК.

Это подтверждается анализом параметров КРО, представленных в таблице 3 и диаграммах (рис. 11–18). VE при максимальной нагрузке в группах с умеренным и средним уровнями МПК практически не изменился, а наиболее выраженное достоверное изменение отмечено в группе с высоким уровнем МПК (снижение на 29%). В отношении КИО₂ достоверное увеличение при максимальной нагрузке наблюдалось в группах с хорошим уровнем (37%) и с высоким уровнем МПК (42%). Минимальный прирост Q_{2гс} был характерен для группы с низким уровнем МПК (увеличение в 3,7 раза), максимальный – для группы с высоким уровнем МПК (увеличение в 6 раз). Также наблюдалась зависимость степени прироста данного параметра от уровня аэробных возможностей организма. Во всех группах отмечалось достоверное снижение HE при максимальной нагрузке по сравнению с состоянием относительного покоя. В отношении динамики прироста Q_{2сс} выявлена аналогичная зависимость от уровня МПК, что и для Q_{2гс}. Снижение вентиляционного эквивалента и увеличение кислородного эффекта дыхательного и сердечного циклов указывает на повышение экономичности КРО организма с ростом уровня МПК.

Выводы

Анализ полученных результатов показал, что эффективность и экономичность КРО в условиях максимальной физической нагрузки зависит от уровня аэробных возможностей

организма., зависящих от особенностей соотношения степени мобилизации отдельных звеньев газотранспортной системы при максимальной нагрузке.

Эффективность и экономичность КРО повышается с ростом уровня МПК, наиболее оптимальное соотношение показателей газообмена, гемодинамики и КРО наблюдалось у лиц с хорошим и высоким уровнями МПК.

Список литературы

1. Ванюшин Ю.С. Компенсаторно-адаптационные реакции кардиореспираторной системы : автореф. дис. ... докт. биол. наук : 03.03.01. - Казань, 2001. – 46 с.
2. Ванюшин Ю.С. Компенсаторно-адаптационные реакции кардиореспираторной системы при различных видах мышечной деятельности / Ю.С. Ванюшин, Ф.Г. Ситдигов. – Казань : Таглитмат, 2003. – 128 с.
3. Ванюшин Ю.С. Типы реакции кардиореспираторной системы на физическую нагрузку / Ю.С. Ванюшин, Г.А. Павлова // Мат. XIX съезда Физиологического общества им. И.П. Павлова. - Екатеринбург, 2004. - С. 169-170.
4. 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.
5. Колчинская А.З. Кислородный режим организма ребенка и подростка. - Киев : Наукова думка, 1973. - 326 с.
6. Физиология мышечной деятельности / [под. ред. Коца Я.М]. - М. : ФиС, 1982. – 347 с.
7. Хайруллин Р.Р., Ванюшин Ю.С. Адаптация спортсменов к нагрузке повышающейся мощности / Р.Р. Хайруллин, Ю.С. Ванюшин // Материалы Международной научно-практической конференции «Физиологические и биохимические основы и педагогические технологии адаптации к разным по величине физическим нагрузкам». – Казань : Поволжская ГАФКСиЮ, 2012. – Т. 1. – С. 225-228.
8. Юлдашев Р.Р. Типы реагирования кислородтранспортных систем организма на максимальную физическую нагрузку / Юлдашев Р.Р., Войтенко Ю.Л., Балыкин М.В // Физиология мышечной деятельности : Тез. докл. Междунар. конф. - М., 2000. - С. 170-172.

Рецензенты:

Слесарёв С.М., д.б.н., профессор, зав. кафедрой биологии, экологии и природопользования Ульяновского государственного университета, г. Ульяновск;

Саенко Ю.В., д.б.н., доцент, начальник лаборатории молекулярной и клеточной биологии НИТИ им. С.П. Капицы Ульяновского государственного университета, г. Ульяновск.