

УДК 612.275.1

Максимов Аркадий Леонидович,*д.м.н., чл.-корр. РАН***Maksimov Arkadyi Leonovich,***doctor of medical sciences, corresponding member of the russian academy of sciences, leading researcher institute of physiology, Komi Scientific Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar***Борисенко Николай Сергеевич, н.с.****Borisenko Nikolai Sergeevich,***researcher institute of physiology, komi scientific center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar**Институт физиологии ФИЦ Коми УрО РАН*

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГАЗООБМЕНА У ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ СПОРТСМЕНОВ – ЛЫЖНИКОВ В ПЕРВЫЕ ДНИ АДАПТАЦИИ В СРЕДНЕГОРЬЕ

Аннотация. Проведено исследование 36 спортсменов лыжных циклических видов имеющих высокие спортивные разряды. Возраст составлял $18,6 \pm 0,5$ лет; масса $70 \pm 1,2$ кг., ИМТ $22,4 \pm 0,7$ ед. В условиях равнины на основании пробы с респирацией были выделены группы высоко и низко устойчивых к гипоксии. В типизированных группах в состоянии покоя и на фоне велоэргометрической нагрузки субмаксимальной мощности были изучены на равнине и в среднегорье показатели дыхательного метаболизма. Установлено, что даже среди высокотренированных на выносливость спортсменов имеются лица с низкой гипоксической устойчивостью, что влияет на их способность выполнять физические нагрузки в первые дни после подъема в горы. При этом наибольшей информативностью для оценки функционального резерва организма обладают показатели частоты пульса, минутного объема дыхания, потребления кислорода, кислородный пульс и оксигенация крови. На основании корреляционных связей этих показателей возможна оценка эффективности адаптационного процесса спортсменов в горах и его готовности к соревновательным нагрузкам.

Ключевые слова: спортсмены, функциональные показатели, гипоксическая устойчивость, типизация, среднегорье.

ОРТО ТООЛОРДО КӨНУГУҮНҮН БИРИНЧИ КҮНДӨРҮНДӨ ЖОГОРКУ КФАЛИФИКАЦИЯДАГЫ СПОРТЧУЛАРДА – ЛЫЖАЧЫЛАРДА ГАЗ АЛМАШУУ КӨРСӨТКҮЧТӨРҮНҮН ӨЗГӨЧӨЛҮКТӨРҮ

Аннотация. Лыжа циклинин түрлөрүндөгү жогорку спорттук разряддарга ээ болгон 36 спортчуларга изилдөө жүргүзүлдү. $18,6 \pm 0,5$ жаш курактагы; салмагы $70 \pm 1,2$ кг., ДСИ $22,4 \pm 0,7$ бирдик. Түздүк шартта дем алуу тестинин негизинде гипоксияга жогорку жана аз чыдамдуу топтор аныкталган. Типтештирилген топтордо тынч абалда жана велосипеддин эргометриялык жүктөмүнүн фонунда субмаксималдуу кубаттуулукта, түздүктө жана ортоңку тоолордо дем алуудагы зат алмашуунун көрсөткүчтөрү изилденген.

Ал тургай, жогорку даярдыктан өткөн чыдамкай спортчулардын арасында гипоксиялык туруктуулугу төмөн адамдар бар экендиги аныкталган, бул алардын тоого чыккандан кийинки алгачкы күндөрү физикалык иш-аракетти аткаруусуна таасирин тийгизет.

Ошол эле учурда, дененин функционалдык резервин баалоо үчүн жүрөктүн кагышын көрсөткүчтөрү, дем алуунун мүнөттүк көлөмү, кычкылтек керектөө, кычкылтектин пульсу жана кандын кычкылтектешүүсүнүн көрсөткүчтөрү эң чоң маалыматтык мазмунга ээ. Бул көрсөткүчтөрдүн корреляциясынын негизинде тоодогу спортчулардын адаптация процессинин натыйжалуулугун жана анын атаандаштык жүктөргө даярдыгын баалоого болот.

Негизги сөздөр: спортчулар, функционалдык көрсөткүчтөр, гипоксиялык каршылык, тип-тештирүү, орто тоо.

FEATURES OF THE STRUCTURE OF RESPIRATORY METABOLISM INDICATORS IN HIGHLY SKILLED ATHLETES-SKIERS DURING THE FIRST DAYS OF ADAPTATION IN THE MIDDLE-ALTITUDE REGION

Abstract. A study of 36 athletes of ski cyclic types with high sports categories was carried out. Age was 18.6 ± 0.5 years; weight 70 ± 1.2 kg; BMI 22.4 ± 0.7 units. Under the conditions of the plain, on the basis of a rerespiration test, groups with high and low resistance to hypoxia were identified. In the typified groups during the rest and bicycle ergometric load of submaximal power, indicators of respiratory metabolism were studied on the plain and in the middle-altitude region. It has been established that even among highly trained athletes with a large amount of stamina there are individuals with low hypoxic resistance, which has an influence on their ability to perform physical activity in the first days after the arrival at the mountains. At the same time, the indicators of pulse rate, minute volume of respiration, oxygen consumption, oxygen pulse and blood oxygenation have the greatest information content for assessing the functional backup of the body. Based on the correlations of these indicators, it is possible to assess the effectiveness of the adaptation process of athletes in the mountains and their readiness for competitive loads.

Key words: athletes, functional indicators, hypoxic resistance, typification, middle-altitude region.

Введение. Хорошо известно, что подъем человека с равнины на высоты более 2000 м. в первые 3-4 дня может снижать его физическую работоспособность, негативно влиять на самочувствие. Однако дальнейшее пребывание на высотах до 3000 м может способствовать повышению функциональных возможностей спортсменов и формировать положительные эффекты для здоровья человека [3].

При этом степень выраженности неблагоприятных проявлений первых дней пребывания в горах во многом зависит от функциональных резервов, уровня физического развития и индивидуальной гипоксической устойчивости человека. Значимость всех этих факторов многократно возрастает для спортсменов, в случае проведения соревнований в условиях среднегорья, как это было на зимней олимпиаде в Пекине, когда времени на адаптацию не достаточно. Однако установлено, что даже у спортсменов высоких разрядов, тренирующихся на выносливость в циклических видах спорта, имеющих высокие функциональные возможности, в первые дни подъема в горы спортивные результаты снижаются [2]. Учитывая, активное развитие в горах Кавказа различных спортивных кластеров, где соревнованиям по лыжным видам спорта отводится значительное место, нами на спортивной базе Терскол в период 3–4 дня после подъема на высоту было проведено исследование ряда показателей газового метаболизма организма спортсменов-лыжников.

Цель исследования. Определить состояние адаптации и особенности перестроек и

информативность эргоспирометрических показателей у спортсменов в первые дни после подъема в горы в зависимости от их исходного уровня гипоксически-гиперкапнической устойчивости.

Объект и методы исследования. В исследованиях приняли участие спортсмены 1 разряда и КМС, специализирующиеся в лыжных циклических видах спорта, путем проведения поперечных исследований на протяжении 5 лет. Из общей выборки около 100 человек, индивидуальную типизацию по переносимости ререспирации прошли 36 спортсменов, принявших участие во всех сериях исследований. При этом их возраст составлял $18,6 \pm 0,5$ лет; масса $70 \pm 1,2$ кг.; ИМТ $22,4 \pm 0,7$ ед. Типизация по устойчивости к гипоксии проводилась только в условиях равнины на основании разработанной пробы с возвратным дыханием (ререспирация) [1]. Эргоспирометрические показатели изучались на равнине и в среднегорье (2150 м), как в покое, так и при велоэргометрической нагрузке мощностью 150 Вт, темпом 60 об/мин, продолжительностью 6 мин с использованием системы «OxycanPro», а в отдельных случаях с нагрузкой до отказа.

Результаты исследования и их обсуждение. При выполнении пробы с ререспирацией для оценки индивидуальной устойчивости к нарастающей гипоксии и гиперкапнии установлено, что среди обследуемых выделились 2-е полярные группы: 1 (высокоустойчивые 13 чел.) у которых уровень оксигенации крови (HbO_2) на пике ререспирации не опускался

ниже 96 % и обследуемые, демонстрировавшие эти показатели ниже 90 %, отнесенные к группе 3 (низкоустойчивые 7 чел.). Лица, имеющие промежуточные значения (группа 2), в дальнейших исследованиях в горах не участвовали. Наибольший интерес для исследования представляли спортсмены, 1, 3 группы, имеющих

наиболее высокие различия в показателях оксигенации и частоты сердечных сокращений на пике пробы, а также уровни снижения кислорода (O_2) и накопления углекислого газа (CO_2) в ререспираторной емкости (мешок типа Дугласа), представлены на рис. 1.

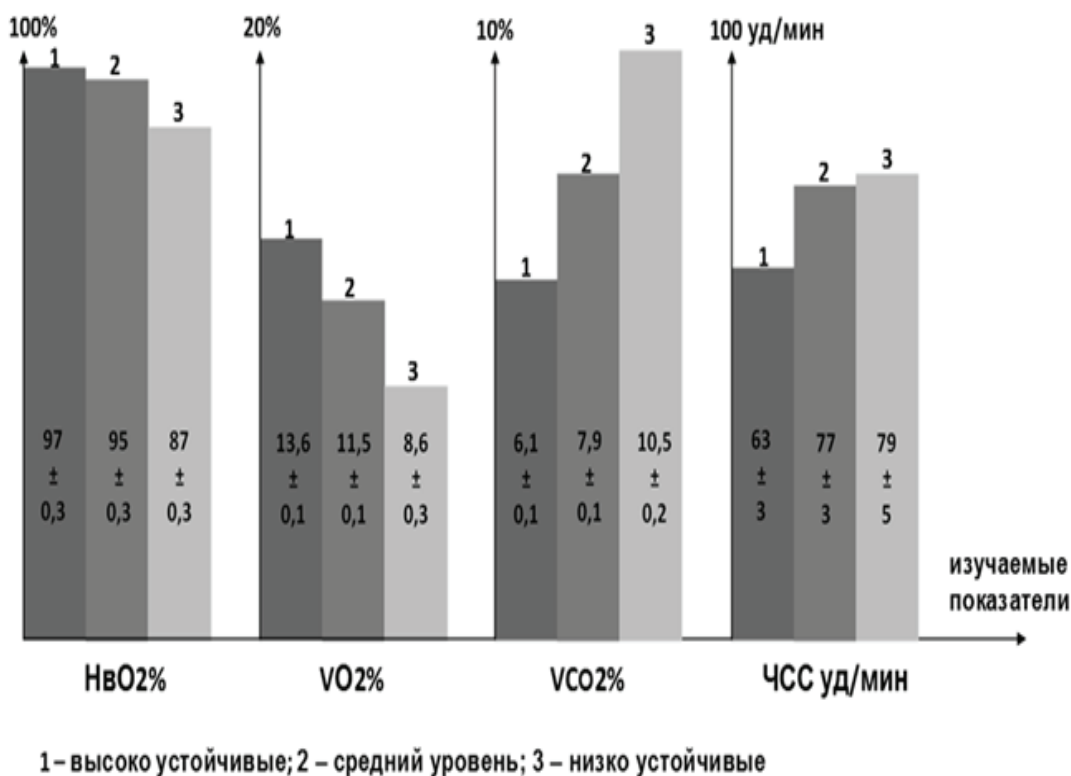


Рис. 1.

Значения функциональных показателей при выполнении ререспирации у спортсменов с различным уровнем гипоксической устойчивости.

После проведенной типизации, высоко и низкоустойчивые обследуемые выполняли в условиях равнины и на 3–4 дни после подъема на высоту стандартную велоэргометрическую нагрузку субмаксимальной мощности, эргоспирометрические показатели представлены в таблице. Обращает на себя внимание, что на равнине в состоянии покоя по целому ряду

показателей: частоте дыхания, дыхательному эквиваленту, потреблению кислорода и сатурации гемоглобина между сравниваемыми группами спортсменов статистической значимости не наблюдалось. Однако, на пике нагрузки по всем показателям, кроме уровня сатурации, различия достоверны в диапазоне значимости $p < 0,05 - 0,001$.

Таблица. Показатели эргоспирометрии у спортсменов с различной гипоксической устойчивостью на равнине и среднегорье в покое и на пике нагрузки, (M±m).

| Наименование функциональных показателей | Равнина | | | | Среднегорье, 2150 м | | | |
|--|----------------------------------|-----------|-------------------------------------|-----------|----------------------------------|-----------|-------------------------------------|-----------|
| | Гр. I гипоксически устойчивые | | Гр. II гипоксически неустойчивые | | Гр. I гипоксически устойчивые | | Гр. II гипоксически неустойчивые | |
| | Фон | Нагрузка | Фон | Нагрузка | Фон | Нагрузка | Фон | Нагрузка |
| HR, частота пульса, уд/мин | 63,5±2,3 | 131,8±2,7 | 78,6±1,0 | 162,7±2,5 | 69,5±3,0 | 145,3±3,4 | 81,2±3,6 | 169,3±2,8 |
| VE, объем вентиляции, л/мин | 11,5±0,4 | 51,2±2,5 | 9,5±0,3 | 59,4±1,0 | 12,6±0,6 | 58,3±1,8 | 10,5±0,6 | 63,4±1,5 |
| BF, частота дыхания, дых/мин | 16,5±1,8 | 24,2±2,1 | 17,4±2,3 | 29,5±1,4 | 18,5±2,4 | 30,1±2,6 | 18,5±2,5 | 38,2±2,8 |
| EqO ₂ , дыхательный эквивалент, л | 20,3±1,0 | 19,2±1,3 | 21,1±1,5 | 24,6±1,6 | 22,5±1,6 | 24,3±1,7 | 22,2±1,8 | 29,6±1,9 |
| VO ₂ , потребление кислорода, мл/мин/кг | 6,6±0,4 | 49,7±1,4 | 6,1±0,2 | 44,4±1,5 | 6,2±0,7 | 45,8±1,9 | 6,0±0,5 | 40,2±1,8 |
| OP, кислородный пульс, мл | 7,8±0,7 | 33,5±1,0 | 5,5±0,3 | 27,6±0,4 | 7,2±0,8 | 29,2±1,4 | 5,0±0,6 | 22,2±1,5 |
| НО ₂ сатурация крови | 99,3±0,3 | 98,3±0,4 | 98,5±0,4 | 97,7±0,5 | 98,5±0,3 | 97,6±0,4 | 97,8±0,5 | 95,6±0,6 |

Подчеркнем, что в состоянии покоя после подъема на высоту не отмечалось достоверных различий по тем же показателям, что и на равнине, а на пике нагрузки значимость различий была по всем показателям. Более того, отклонения между абсолютными значениями, полученными на пике нагрузки в условиях равнины и в горах, выраженные в % были сопоставимы для изучаемых групп. При этом среднее отклонение между значениями на пике нагрузки в среднегорье и на равнине в обеих группах составляло 12%, что указывало на однотипность общесистемной перестройки организма, направленной для обеспечения физической работы в горах. Для понимания значимости вклада каждого показателя в выполнение нагрузки и сохранение уровня функциональных резервов, нами бы проведен дисперсионный многофакторный анализ, рис.2.

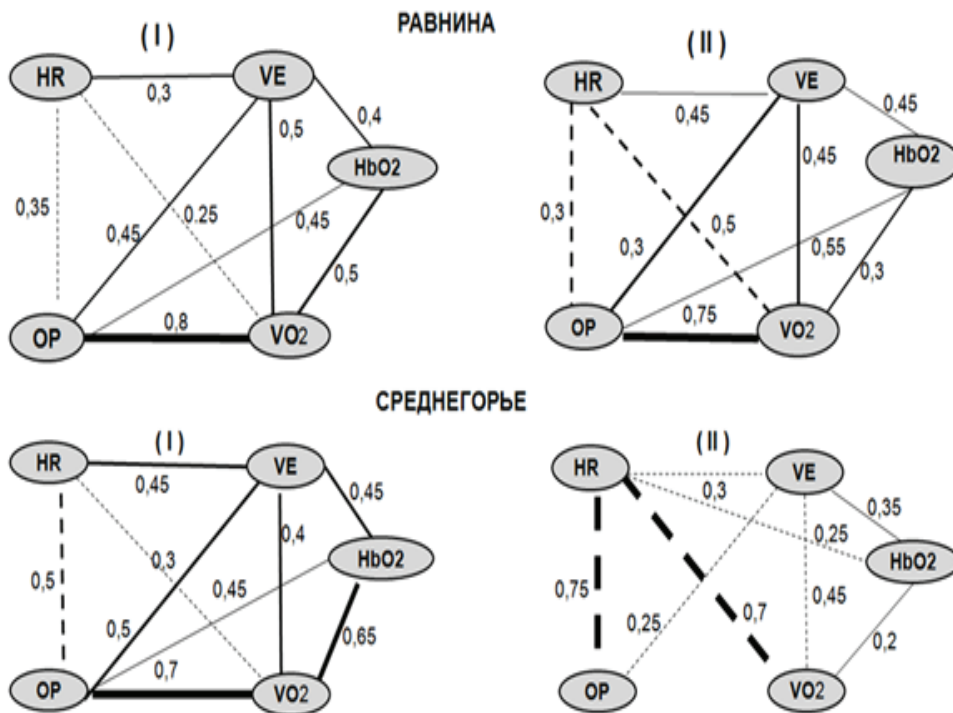
| Функциональные показатели группы гипоксически устойчивых | | Функциональные показатели группы гипоксически неустойчивых | |
|--|--|--|--|
| Ранг фактора и его удельное значение, % | Наименование показателя и его удельное значение в структуре фактора, % | Ранг фактора и его удельное значение, % | Наименование показателя и его удельное значение в структуре фактора, % |
| I 52% | HR, уд/мин 16,6 | I 53,2% | HR, уд/мин 20,8 |
| | VO ₂ , мл/мин/кг 15,5 | | VE, л/мин 14,3 |
| | OP, мл/сист. 13,7 | | BF, дых/ми 4,8 |
| | НЬО ₂ , % 15,4 | | НЬО ₂ , % 13,3 |
| II 28,7% | VE, л/мин 28,9 | II 37,0% | VO ₂ , мл/мин/кг 17,9 |
| III 19,3% | EqO ₂ , ус. ед. 5,0 | | OP, мл/сист. 14,7 |
| | BF, дых/мин 4,9 | III 9,8% | EqO ₂ , л 4,4 |
| | | | RER, ед. 4,8 |
| | | | PET O ₂ , мм.рт.ст. 5,0 |

Рис. 2. Значения показателей многофакторного дисперсионного анализа на пике велоэргометрической нагрузки у спортсменов в условиях среднегорья.

Оказалось, что в той и другой группах все изучаемые параметры объединились в 3 фактора, однако структура и удельный вес отдельных показателей отличается. Так, если для лиц устойчивых к гипоксии и физической нагрузке в горах в первый по рангу фактор входят показатели потребления кислорода и кислородный пульс и они в сумме составляют 29,2 %, то у гипоксически неустойчивых эти показатели вообще не относятся к фактору 1. На их месте оказываются показатели частоты дыхания и объема вентиляции. Подчеркнем, что объем вентиляции в 1-й группе представляет собой самостоятельный второй по рангу фактор с удельным весом 28,9 %, тогда как у неустойчивых второй фактор объединяет 3 показателя: кислородный пульс, потребление кислорода и дыхательный эквивалент. Однако их суммарный удельный вес всего на 3,6% оказывается выше величины второго по рангу фактора в группе гипоксически устойчивых. Необходимо отметить, что если показатель частоты дыхания в группе гипоксически устойчивых находится в 3-м факторе, то у гипоксически неустойчивых он входит в первый. Это подчер-

кивает высокую зависимость организма низкоустойчивых лиц от возможностей их аппарата внешнего дыхания к выполнению нагрузок в условиях первых дней пребывания на высоте. В отличие от них у высокоустойчивых на первое место выходят процессы эффективной утилизации кислорода.

С целью детализации особенностей влияния изучаемых показателей на выполнение спортсменами нагрузки в горах, нами было проведено построение корреляционных плеяд наиболее информативных показателей с учетом их значимости по результатам многофакторного анализа (рис. 3). Оказалось, что в условиях равнины структура плеяд практически не отличалась, а сумма всех значений коэффициентов корреляций составляла 4 и поделенная на количество взаимосвязей соответствовала коэффициенту 0,44, что характеризует среднюю силу связей. Отметим, что имеющиеся некоторые отличия в абсолютных значениях коэффициентов корреляций между показателями, не определяют принципиальных особенностей внутри и межсистемных взаимосвязей в группе высоко и низкоустойчивых обследуемых .



Примечание: толщина линий отражает силу связи, обозначения показателей те же что и в таблице.

Рис. 3. Структуры корреляционных плеяд на пике нагрузки у лиц с высокой (I) и низкой (II) гипоксической устойчивостью на равнине и среднегорье.

Подчеркнем, что если после подъема в условиях среднегорья в группе высокоустойчивых структура плеяды не изменилась при незначимом увеличении в ней средней величины коэффициента корреляции до 0,48, то в группе низкоустойчивых произошли существенные изменения. Так, если в условиях равнины рост минутного объема вентиляции был связан положительной связью с частотой пульса, кислородным пульсом и потреблением кислорода, то в среднегорье эти связи стали отрицательными. Это указывает на то, что в условиях высоты 2150 м. в острой фазе адаптации на пике нагрузки эффективность вентиляции для обеспечения организма кислородом падает. По всей видимости, это связано с тем, что при более высокой частоте дыхания, работа мышц, обеспечивающих дыхательный цикл, может забирать до 10 – 15 % поступающего в организм кислорода [4]. При этом, если в условиях предгорья отсутствовал значимый коэффициент корреляции между оксигенацией и частотой пульса, то в среднегорье, между этими показателями формируется слабая ($r=0,25$) отрицательная, но статистически значимая связь. Это указывает, что увеличение частоты пульса в группе гипоксически неустойчивых, уже не способствует повышению кислородного обеспечения организма и, наряду с падением эффективности вентиляции, выступает одним из важных факторов лимитирующих работоспособность спортсменов этой группы в первые дни адаптации на высоте. Отметим, что в группе гипоксически неустойчивых лиц влияние потребления

кислорода на рост оксигенации крови (судя по значению коэффициента) оказалось ниже более чем в 3 раза, чем в группе высокоустойчивых. При этом, если в группе гипоксически устойчивых, в условиях среднегорья рост потребления кислорода определяет увеличение кислородного пульса, то в группе неустойчивых, эта статистически значимая связь отсутствует, что также выступает негативным фактором, влияющим на функциональные резервы организма этой группы спортсменов при выполнении физических нагрузок в отрой фазе адаптации.

Выводы. Установлено, что проба с ререспирацией позволяет даже среди высококвалифицированных спортсменов проводить их индивидуальную типизацию по устойчивости к гипоксически-гиперкапническому воздействию. При подъеме в горы наибольшую информативность для оценки адаптированности имеют не абсолютные значения пиковых показателей при стандартных нагрузках, а их отклонения от величин, полученных в условиях равнины при том же объеме и интенсивности выполняемой работы. Выявлено, что даже у спортсменов с высоким исходным уровнем гипоксической устойчивости на 3-4 дни пребывания на высоте, функциональные резервы остаются сниженными. Перестройки структуры корреляционных плеяд функциональных показателей, позволяют оценивать физиологические механизмы и эффективность адаптационного процесса, а также степень готовности организма к выполнению физических нагрузок в первые дни при подъеме в горы.

Список литературы:

1. Максимов А.Л., Аверьянова И.В. Информативность пробы с ререспирацией для оценки устойчивости организма юношей к сочетанному действию гипоксии и гиперкапнии // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. – 2017.Т.103. № 9. – С. 1057–1069
2. Сулов Ф.П., Гиппенрейтер Е.Б., Хохлов Ж.К. – Спортивная тренировка в условиях среднегорья – М.: 1999. – 202 с.
3. Щербакова Е.А., Аксенова Н.В. Тренировки в среднегорье, как средство повышения спортивного мастерства. – Саратов: СГУ им. Н.Г. Чернышевского. 2014. – 38 с.
4. Rome L. M., McConnell A. K., Jones D. A. Effects of inspiratory muscle training on time-trial performance in trained cyclists // Journal of Sports Sciences. – 2002. V. 20 (7) – P. 547–562.