УДК

В.О. Самойлов[1], А.Л. Максимов[2], Е.Б. Филиппова[1],
Ю.Н. Королев[2], В.Н. Голубев[2], А.С. Головина[1],
О.В. Савокина[1], Е.М. Лесова[1]

Характеристика индивидуальных различий функционального состояния человека в условиях гипоксической гипоксии

[1]Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург
[2]Научно-исследовательский центр «Арктика», Магадан

Резюме. *Регистрировалось насыщение (сатурация) кислородом гемоглобина артериальной крови, электрокардиограмма, реоргамма, спектрограмма, скаттерграмма и показатели внешнего дыхания при гипоксической нагрузке – дыхании газовой смесью с 10% содержанием кислорода в азоте в течение 15 мин. Исследовалась физическая работоспособность в аэробном и анаэробном режимах. Выявлены индивидуальные различия насыщения кислородом гемоглобина артериальной крови при гипоксической нагрузке. Насыщение кислородом крови у испытуемых, устойчивых к гипоксии (35% всех обследованных), составляло в среднем 93%, а у неустойчивых (65% всех обследованных) – 82%. У испытуемых, устойчивых к гипоксии, наблюдалось более глубокое и редкое дыхание, большая вариабельность сердечного ритма как в исходном состоянии, так и при воздействии гипоксии, большая суммарная спектральная мощность и спектральные мощности высокочастотных и низкочастотных колебаний; более быстрая стабилизация частоты сердечных сокращений при физической нагрузке. При гипоксии уменьшалось время диастолы и период напряжения, увеличивался период изгнания, изменялась нагнетательная способность миокарда.*

У испытуемых, устойчивых к гипоксии, выявлено большее число значимых корреляционных связей между показателями функционального состояния при гипоксии и работоспособностью. Только у этих испытуемых установлена отрицательная корреляция между частотой сердечных сокращений и физической работоспособностью, отрицательная корреляция между насыщением кислородом гемоглобина артериальной крови и анаэробной работоспособностью и положительная – между насыщением кислородом гемоглобина и аэробной работоспособностью Установлена положительная корреляция между вариабельностью сердечного ритма при гипоксической нагрузке и аэробной работоспособностью; отрицательная корреляция между скоростью диссоциации оксигемоглобина и анаэробной работоспособностью.

Ключевые слова: *гипоксия, индивидуальные различия, насыщение кислородом гемоглобина артериальной крови, частота сердечных сокращений, фазы сердечного цикла, вариабельность сердечного ритма, спектральная мощность, физическая работоспособность, корреляция.*

Введение. В настоящее время накоплен экспериментальный и клинический материал об изменениях функционального состояния при гипоксии, которые возникают в условиях среднегорья, высокогорья, разрежения атмосферы при пребывании в барокамерах, дыхании газовыми смесями, обедненными кислородом [1, 3, 4, 8–11 и др.]. Адекватное потребностям организма pO_2 обеспечивается согласованной работой кардиореспираторной системы, а также эритроном, регулируемым факторами эритропоэза. Наиболее ранними и эффективными механизмами аварийной компенсации гипоксического состояния являются увеличение минутного объема дыхания (МОД) и возрастание минутного объема крови (МОК). В подавляющем большинстве исследований эффекты гипоксического воздействия охарактеризованы по усредненным данным для всей обследованной выборки и только в отдельных работах установлены индивидуальные различия устойчивости к гипоксии [6, 7, 9–11, 15]. Между тем, разная индивидуальная чувствительность к гипоксии является весьма существенным фактором при выполнении работ в условиях пониженного парциального давления кислорода; физиологические механизмы индивидуальных различий имеют важное теоретическое и прикладное значение. Еще одним аспектом проблемы является исследование взаимосвязи устойчивости организма к гипоксии и физической работоспособности, поскольку адаптация к гипоксической гипоксии и к гипоксии нагрузки, активируют, по-видимому, сходные физиологические механизмы.

Цель исследования. Исследовать функциональное состояние человека в условиях гипоксической гипоксии, индивидуальные различия устойчивости к гипоксии и корреляции функциональных показателей при гипоксической нагрузке и физической работоспособности.

Материалы и методы. Обследовано 125 мужчин в возрасте 18–20 лет, ведущих однотипный образ жизни. При фоновых исследованиях, гипоксической нагрузке и восстановлении после нагрузки у испытуемых регистрировали тетраполярную трансторакальную реокардио-

грамму. Метод трансторакальной реоплетизмографии использовался для определения сердечного выброса и других показателей центральной гемодинамики.

Регистрировали электрокардиограмму (ЭКГ), показатели внешнего дыхания – МОД и частоту дыхания (ЧД), частоту сердечных сокращений (ЧСС), ударный объем крови (УОК), МОК. Регистрацию показателей производили в исходном состоянии, с 5-й по 10-ю и с 12-й по 15-ю мин гипоксической нагрузки, а также в течение 3-х мин периода восстановления. Аналоговый сигнал оцифровывался с частотой 200 Гц и вводился в персональный компьютер. Показатели центральной гемодинамики анализировались с помощью компьютерной программы «Рео-Спектр» версия 2.0.13.0.

Динамика насыщения (сатурации) кислородом гемоглобина артериальной крови (SpO2) регистрировалась каждую минуту на протяжении всего исследования пульсоксиметром (модель «ЭЛОКС-01С3М»). Выполнялись модифицированные пробы Штанге – задержка дыхания на вдохе после 10 приседаний и Генча – задержка дыхания на выдохе после 10 приседаний.

Спектральные характеристики вариабельности сердечного ритма анализировались с помощью компьютерной программы «Поли-Спектр» версия 4.7.16.0. Спектрограмма регистрировалась у всех испытуемых до нагрузки, в течение 15 мин дыхания гипоксической смесью и в период восстановления. Записывалось 300 кардиоциклов. Анализировались: суммарная спектральная мощность (TP; 0,003–0,4 Гц), абсолютные спектральные мощности высокочастотных (HF; 0,15–0,4 Гц) и низкочастотных (LF; 0,04–0,15 Гц) колебаний в принятых стандартных частотных диапазонах.

Продолжительность фаз сердечного цикла анализировалась в отдельном исследовании методом поликардиограммы у всех испытуемых до гипоксической нагрузки и на 15-й мин нагрузки. Регистрировалась скаттерграмма – графическое изображение пар R–R интервалов (предыдущего и последующего) в двумерной координатной плоскости. Вычислялась площадь «облака» скаттерграммы по формуле площади эллипса (S) [5, 7, 13].

Использовалась вариационная пульсометрия по Р.М. Баевскому [2, 5]. Вычислялись: вариационный размах (ВР) – как разница между максимальным и минимальным значениями R–R; амплитуда моды (АМо) – число кардиоинтервалов (в %), соответствующих диапазону моды, отражающее меру мобилизирующего влияния симпатического отдела; индекс напряжения (ИН) регуляторных систем по формуле: ИН=АМо/(2ВР×Мо).

Сократимость миокарда оценивалась косвенно по соотношению продолжительности кардиоцикла (Т) и УОК. Исследовалось соотношение длительности R–R интервала и УОК следующего за этим интервалом кардиоцикла. В силу вариабельности сердечного ритма величины исследованных параметров в течение указанных периодов регистрации значительно различались. Были выбраны 10 наиболее длинных и 10 наиболее коротких интервалов R–R; средние величины этих интервалов сопоставлялись со средними величинами УОК следующего кардиоцикла.

Физическая работоспособность оценивалась по пробе PWC170. Методика заключалась в выполнении двух нагрузок умеренной мощности по 5 мин и расчета величины PWC170, исходя из значений пульса после каждой нагрузки. Первая нагрузка устанавливалась из расчёта 1 Вт (6 кгм/мин) на 1 кг массы тела. За 30 с до окончания нагрузки регистрировалась ЧСС. Через 3 мин отдыха вторая нагрузка устанавливалась из расчета 2 Вт (12 кгм/мин) на 1 кг массы тела.

Анаэробные возможности определялись с помощью методики максимальной анаэробной мощности (МАМ). Определялась мощность бега вверх по лестнице с максимальной скоростью [18].

Максимальная физическая работоспособность (ЕА) определялась на велоэргометре «ПТ-400» по методике ступенчато-возрастающей нагрузки до отказа. Нагрузка определялась из расчета 1 Вт на 1 кг массы тела (первая ступень); 1,5 Вт (вторая ступень); 2 Вт (третья ступень) и 2,5 Вт (четвертая ступень); выполнялась в течение пяти минут на каждой ступени. Между ступенями нагрузки – 1 минута отдыха [8, 18].

Математический анализ результатов проводился в Origin Pro 7.5 (Origin Lab Corporation). Достоверными считались отличия при $p<0,05$. Коэффициенты парных корреляций рассчитывались по методике Спирмена.

Результаты и их обсуждение. Установлено, что при гипоксической пробе через 5 мин SpO2 снижалось в среднем до 90%, а к концу экспозиции – до 85%. Достоверные ($p<0,05$) отличия от фона наблюдались уже через 3 мин. Через 3 мин дыхания атмосферным воздухом SpO_2 практически не отличался от исходного. Наряду с общей тенденцией динамики SpO_2 наблюдались индивидуальные различия, позволившие разделить всех испытуемых по этому показателю на две группы – А и Б. У испытуемых группы А, составлявшей 35% выборки, в первые 5 мин нагрузки происходило снижение SpO_2. В дальнейшем, уровень SpO2 стабилизировался и в конце экспозиции составлял в среднем 93,2% (рис. 1). У испытуемых группы Б (65% всей выборки) уровень SpO_2 продолжал снижаться в течение всего периода наблюдения и к концу экспозиции составлял в среднем 82%. Различия были достоверны на 12–15 мин, а также при восстановлении ($p<0,05$). Ранее индивидуальные различия устойчивости к гипоксии были отмечены в работах [6, 7, 10, 14].

Наибольшие изменения МОД при предъявлении гипоксической нагрузки происходили уже на первой минуте дыхания гипоксической смесью, МОД увеличивался в среднем на 58% ($p<0,05$). К концу нагрузки МОД еще увеличивался ($p<0,05$). Восстановление МОД происходило в течение 2–3 мин дыхания атмосферным воздухом.

У испытуемых группы А до нагрузки ЧД, в среднем, была несколько ниже, чем в группе Б (10 и 13,3 /мин соответственно). Дыхательный объем (ДО) в группе А был выше, чем в группе Б и составлял 0,63±0,4 и 0,46±0,7 л соответственно. В результате МОД до нагрузки существенно не различалась: в группе А составлял 7,5±0,8 л/мин, в группе Б – 8,1±0,2 л/мин.

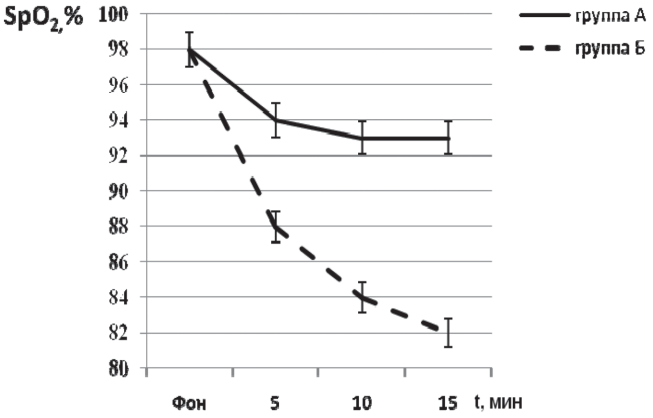

Рис. 1. Влияние гипоксии на SpO_2 испытуемых

В силу значительных индивидуальных различий параметров дыхания у испытуемых величины МОД были выражены также в % по отношению к величинам МОД до нагрузки. Выявлено, что в группе А в последние минуты гипоксической нагрузки ЧД в среднем составляла 82% от величин в состоянии покоя. При этом ДО существенно увеличивался и в конце экспозиции составлял в среднем 149% по сравнению с покоем. В результате МОД не увеличился.

В группе Б ЧД и ДО в процессе нарастающей гипоксии практически не изменились, (рис. 2). Средняя величина МОД изменилась не значительно и составляла 126,6% по сравнению с исходным состоянием.

С.В. Нестеров [14, 15] отмечает большую вариабельность изменений ЧД и ДО при адаптации к гипоксии в экспериментальных условиях (дыхании газовой смесью с 8% кислорода в течение 15 мин), однако приходит к выводу, что отчетливое увеличение ЧД свидетельствует о низкой гипоксической устойчивости. В отдельном исследовании [16, 17] установлена положительная корреляция между МОД и SpO_2 при гипоксической нагрузке.

Как известно, показателем чувствительности дыхательной системы к гипоксии является также время задержки дыхания на вдохе (проба Штанге) и на выдохе (проба Генча). Среднее время пробы Штанге в группе А составляло 29,2±2,5 с, в группе Б – 32,4±4,1 с, пробы Генча, – 20,1±1,5 и 25,2±4,2 с соответственно. То есть, чувствительность к гиперкапнии у испытуемых группы А была несколько больше.

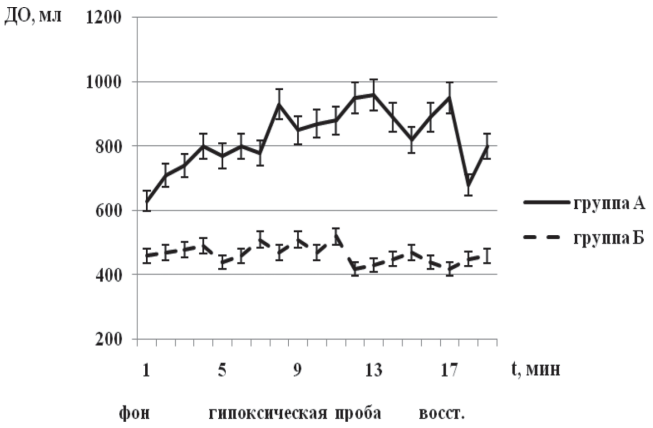

Рис. 2. Влияние гипоксии на ДО испытуемых

Усредненные данные об изменениях ЧСС при дыхании гипоксической смесью представлены на рисунке 3. ЧСС до нагрузки составляла в среднем 78,9±1,6 уд/мин. В период с 5-й по 10-ю мин нагрузки ЧСС увеличилась и составила 86,2±1,7 уд/мин, в конце экспозиции – 85,7±1,8 уд/мин, ($p<0,001$).

Динамика ЧСС и ВР у испытуемых обеих групп была сходной. Однако, при гипоксической нагрузке АМо, следовательно и ИН увеличивались в большей степени у испытуемых группы Б, ($p<0,05$), рисунок 4.

В условиях высокогорья при снижении pO_2 МОК увеличивается только за счет ЧСС, при этом УОК не увеличивается [9]. При дыхании газовой смесью с 10% содержанием кислорода в течение 10 мин [10] значительное увеличение МОК – до 142% от исходной величины определялось преимущественно увеличением УОК. Значительное повышение ЧСС авторы считают показателем низкой гипоксической устойчивости. Испытуемые, наиболее устойчивые к гипоксии, характеризовались исходно высокой ЧСС (78 уд/мин

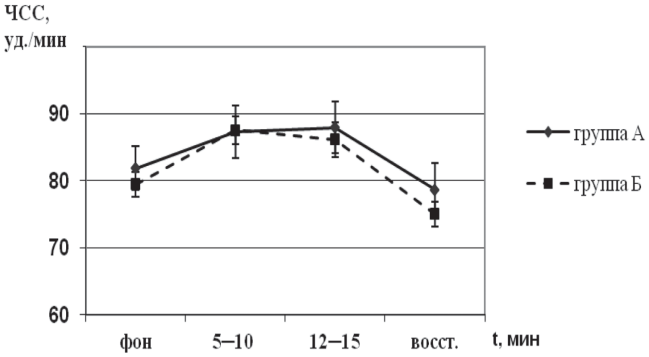

Рис. 3. Влияние гипоксии на ЧСС испытуемых

и выше); в ходе адаптации к гипоксической нагрузке она понижалась. Брадикардия при гипоксии считается проявлением слабости синоатриального узла [1].

В других исследованиях [14, 15] методом интегральной реографии было показано уменьшение УОК при гипоксии (дыхании газовой смесью с 8% кислорода в течение 15 мин) до 80% от исходной величины, при этом МОК значимо не изменялся. У лиц, выдержавших экспозицию, отмечалась стабилизация ЧСС; у лиц, не справившихся с нагрузкой, отмечалось увеличение и УО, и МОК.

Данные площади «облака» скаттерграммы в исходном состоянии и при воздействии гипоксии представлены на рисунке 5. Показано, что до нагрузки площадь «облака» была больше у испытуемых группы А ($p<0,05$), что отражает большую вариабельность R–R интервалов испытуемых этой группы. Гипоксия вызывала уменьшение площади «облака» у испытуемых обеих групп, однако межгрупповые различия сохранялись.

Только у испытуемых группы Б при гипоксическом воздействии наблюдалось отчётливое уменьшение

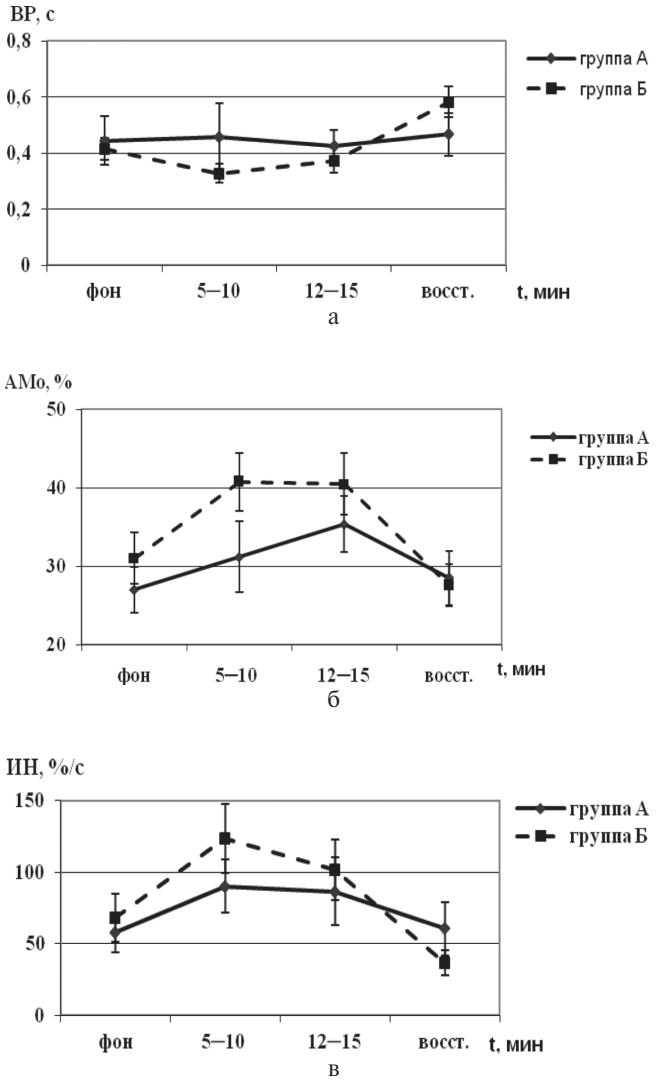

Рис. 4. Влияние гипоксии на показатели вариабельности сердечного ритма: а – ВР; б – АМо; в – ИН испытуемых

(p<0,05) площади «облака» скаттерграммы и повышение этого показателя в восстановительном периоде.

Выявлено, что ТР до нагрузки составляла в среднем 10000 у.е., то есть превышала средние значения этого показателя [13], что отражает, по-видимому, хорошее функциональное состояние испытуемых. В процессе гипоксической нагрузки величина ТР достоверно (p<0,05) снижалась, что свидетельствует о снижении регулирующих влияний вегетативной нервной системы на сердце и увеличении вклада интракардиальной регуляции.

Установлено, что фоновая величины ТР в исходном состоянии и при гипоксической пробе были больше в группе А, чем в группе Б (p<0,01). Величина HF была значимо выше в группе А, чем у испытуемых группы Б, как до, так и во время гипоксической нагрузки (p<0,01). Величины LF до нагрузки также были больше в группе А, чем в группе Б (p<0,01), рисунок 6.

Показано, что гипоксическая нагрузка вызывала небольшое увеличение МОК и УОК только у испытуемых группы А. У испытуемых группы Б УОК уменьшался.

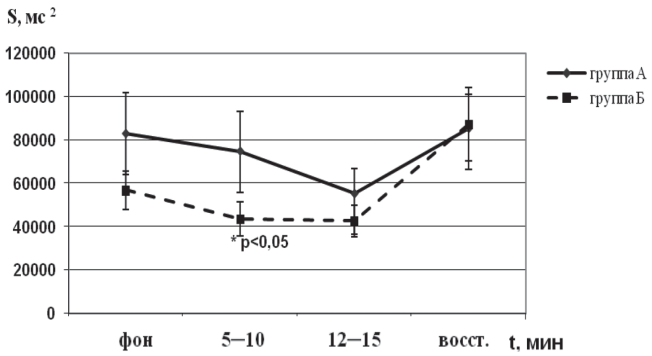

Рис. 5. Влияние гипоксии на площадь «облака» скаттерграммы испытуемых

Межгрупповые различия были не значимы. Такая разнонаправленная динамика наблюдалась при большем увеличении ЧСС при гипоксии у испытуемых группы Б.

Продолжительность сердечного цикла, R–R интервал, до нагрузки и на 12-й мин нагрузки составляла 0,96±0,08 и 0,78±0,05 с соответственно (p<0,05). Продолжительность систолы – 0,37±0,01 и 0,36±0,01 с. Продолжительность диастолы составляла 0,59±0,02 и 0,42±0,04 с (p<0,05) соответственно. То есть, уменьшение R–R интервала при увеличении ЧСС при гипоксии было обусловлено уменьшением продолжительности диастолы.

Период напряжения до нагрузки составил 0,12±0,01 и 0,11±0,01 с после нагрузки (p<0,05). Фаза изометрического сокращения составила 0,09±0,005 и 0,07±0,004 с соответственно, (p<0,05). Фаза асинхронного сокращения 0,043±0,002 и 0,035±0,005 с (p<0,05). Период изгнания составил 0,24±0,04 и 0,25±0,03 с соответственно. До гипоксической нагрузки продолжительность систолы составляла 38,6% R–R интервала, а в результате нагрузки – 46,4%. Продолжительность диастолы – 61,5 и 53,8% соответственно, а период изгнания 25, и 32,5%.

Таким образом, гипоксическая нагрузка приводила к уменьшению длительности сердечного цикла и длительности диастолы. Увеличение доли систолы, выраженное в процентах, происходило, преимущественно, за счет увеличения доли периода изгнания. Считается, что наименее благоприятные условия кровообращения создаются при удлинении периода напряжения и укорочения периода изгнания [1]. Следовательно, полученные нами данные свидетельствуют об устойчивой работе сердца.

Результаты воздействия гипоксии на сократимость миокарда представлены на рисунке 7. Видно, что при дыхании атмосферным воздухом величина УОК изменялась пропорционально длительности интервала R–R. Средняя длительность наиболее коротких R–R интервалов составляла 0,71±0,04 с, наиболее длинных – 0,81±0,06 с; величины УОК, соответственно, 73,6±2,6 и 81,4±7,1 мл. В первый период нагрузки, с 5-й по 10-ю мин такое соотношение сохранялось: длительность R–R интервалов варьировала от 0,64±0,05 до 0,73±0,04 с, УОК от 65,4±2,3 до 74,0±3,3 мл. С 12-й по 15-ю мин соотношение нарушалось. В этот период величина УОК увеличивалась в меньшей степени, чем длитель-

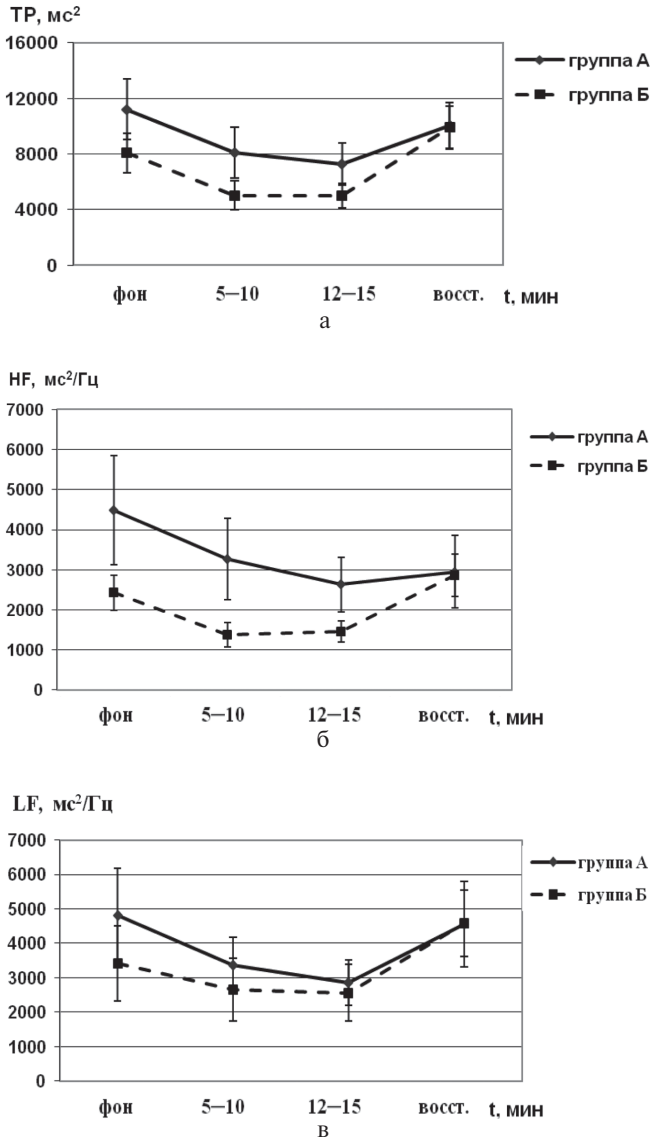

Рис. 6. Влияние гипоксии на параметры спектрограммы сердечного ритма: а –TP; б – HF; в – LF испытуемых

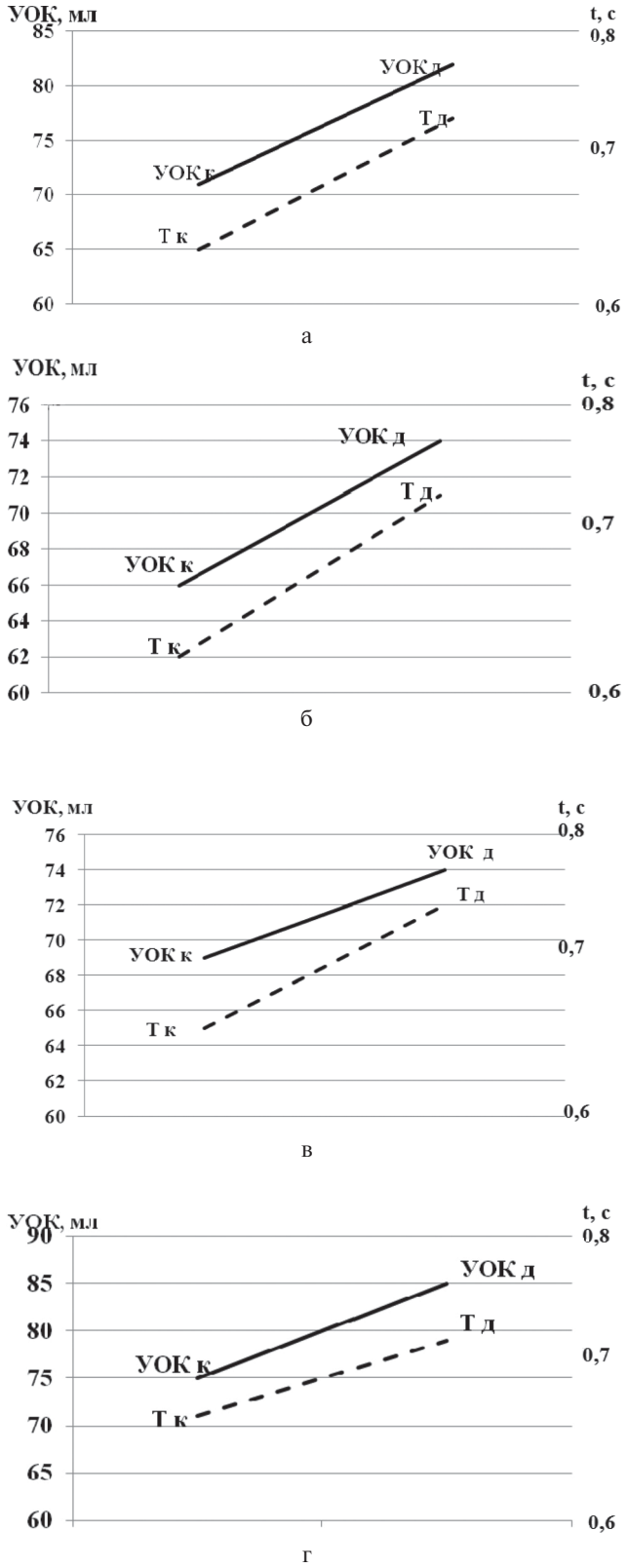

Рис. 7. Влияние гипоксии на характеристики сократимости миокарда при дыхании атмосферным воздухом (а), в период с 5-й по 10-ю мин (б), с 12-й по 15-ю мин гипоксической нагрузки (в) и в период восстановления (г)

ность R–R интервала; средние величины составили 0,66±0,05 и 0,95±0,05 с; 64,0±0,07 и 74,2±0,04 мл соответственно. Как сказано выше, при увеличении ЧСС в процессе гипоксии длительность систолы оставалась относительно стабильной и уменьшение интервала R–R происходило, в основном, за счет диастолы. Следовательно, пропорциональное изменение интервала R–R и величины УОК свидетельствует, в соответствии с законом Франка-Старлинга, о зависимости насосной функции сердца от величины кровенаполнения в диастолу. В заключительный период гипоксической нагрузки такая зависимость нарушалась, а в период восстановления вновь восстанавливалась. Таким образом, при дыхании гипоксической смесью в течение 15 мин нагнетательная способность миокарда изменялась.

Средние значения аэробной производительности всей группы составили 829,9±26,0 кгм и имели боль-

шую величину дисперсии – 166,9 кгм. Эти значения характеризуют нижнюю границу среднего уровня оценки по данным PWC170, что вполне закономерно для лиц, не занимающихся специально развитием общей выносливости [18]. В группах А и Б эти значения составляли, соответственно, 774,9±43 и 858±40 кгм и между собой не различались.

Средние значения МАМ для всей группы составили 93,5±2,9 кгм с диапазоном от 54,0 до 137,0 кгм , при дисперсии в 18,6 кгм. Различия между группами А и Б не выявлены. Данные значения показателя МАМ соответствуют среднему уровню состояния анаэробной устойчивости. Средние значения ЕА всей группы составили 2236,42×54,73 Вт, что соответствует удовлетворительной величине этого показателя для здоровых молодых мужчин. В группе А – 3247,37×77,17 Вт и в группе Б – 2226,87×80,11 Вт.

Показатели SpO2 с 1 по 4 ступени велоэргометрической нагрузки свидетельствуют о выраженном снижении SpO2 при выполнении велоэргометрической нагрузки по сравнению с исходным 99% уровнем. Так, эти значения для всех обследуемых 1–4 ступени составляли 94,5±0,4%; 95,1±0,3%; 94,5±0,25%; 92,7±0,4% соответственно. Степень снижения была сходной в группах А и Б. Статистически значимое ($p<0,05$) снижение SpO_2 по сравнению с исходным состоянием у всех обследуемых наблюдалось на 4-й ступени нагрузки.

В группе А наблюдалась отрицательная корреляция между SpO_2 при выполнении гипоксического теста и аэробной производительностью PWC170 (r= –0,75), а также между SpO_2 и ЕА, (r= –0,63). То есть, чем меньше степень снижения SpO_2 при гипоксической пробе, тем больше значения аэробной работоспособности.

Установлено, что у испытуемых группы А время стабилизации ЧСС уменьшалось с 174,0±16,6 с на 1-й ступени до 144,0±16 с на 4-й ступени нагрузки, а у испытуемых группы Б, напротив, увеличивалось с 142,6±12,2 с до 177,3±10,7 с. Таким образом, только у испытуемых группы А увеличение физической нагрузки сопровождалось увеличением лабильности в регуляции работы сердца.

Показано, что только у испытуемых группы А наблюдалась значимая корреляция аэробной работоспособности: положительная корреляция между подвижностью ЧСС и ЕА, (r=0,67) и отрицательная корреляция между PWC170 и ЧСС, (r= –0,60). Таким образом, в только в группе А аэробная работоспособность была связана с уровнем лабильности и экономичности сердечно-сосудистой системы.

У испытуемых группы А дыхательный объём был больше, чем в группе Б на 2-й ступени нагрузки ($p<0,05$) и коррелировал с PWC170, (r=0,65). Вероятно, при выполнении физических нагрузок умеренной и большой интенсивности у испытуемых группы А формировался эффективный паттерн дыхания. Кроме того, у испытуемых группы А наблюдалась значимая отрицательная корреляция между SpO_2 и МАМ, (r= –0,7) и положительная корреляция (r=0,83) между SpO_2 и PWC170. Таким образом, увеличение анаэробной производительности было связано со способностью к быстрой диссоциации оксигемоглобина и отдачей кислорода тканям; высокая степень оксигенации крови способствовала аэробной производительности

Кроме того, у всех установлена значимая корреляция между PWC170 и LF во время гипоксической нагрузки (r=0,73) и только в группе А корреляция между PWC170 и HF во время гипоксической нагрузки на 12–15 мин (r=0,7) и в восстановительном периоде ((r=0,73). Таким образом, более высокому показателю аэробной производительности соответствуют более высокие значения высокочастотной и низкочастотной составляющей спектра сердечного ритма при гипоксии.

Отрицательная корреляция установлена между амплитудой моды и показателями МАМ (r= –0,55); между амплитудой моды и PWC170 (r= –0,7). То есть, жесткий сердечный ритм с малой вариабельностью не способствовал аэробной и анаэробной производительности. Средняя степень корреляционных связей установлена между S скаттерграммы и PWC170 (r=0,55); то есть, чем больше вариабельность сердечного ритма при гипоксической нагрузке, тем выше показатель аэробной производительности.

В целом, количество значимых корреляций было больше у испытуемых группы А. Количество парных корреляций с коэффициентами в диапазоне от 0,6 до 0,9 между SpO_2, показателями работоспособности и физиологическими показателями, зарегистрированными при гипоксической нагрузке и показателями при выполнении велоэргометрической нагрузки приводится в таблице.

Подавляющее число значимых корреляций показателей функционального состояния и работоспособности было установлено только в группе А. Следовательно, устойчивость организма к гипоксии связана с формированием функциональной системы, основанной на вовлечении нескольких физиологических систем и их согласованной работе; полезным приспособительным результатом такой функциональной системы является успешная адаптация к гипоксии. Эта же функциональная система обуславливает, по-видимому, и физическую работоспособность организма как в аэробных, так и в анаэробных условиях. Отсутствие такого согласования в рамках физиологической системы обуславливает низкую гипоксическую устойчивость.

Выводы

1. У испытуемых выявлены индивидуальные различия насыщения крови кислородом при гипоксической нагрузке.

2. Функциональное состояние испытуемых, устойчивых к гипоксии при гипоксической нагрузке характеризуется более глубоким дыханием, большей вариабельностью сердечного ритма как в исходном состоянии, так и при воздействии гипоксии и большей лабильностью сердечного ритма при физической нагрузке.

3. Относительно низкие значения ЧСС, обусловленные преобладанием парасимпатических влияний на сердце, способствуют увеличению физической работоспособности.

Таблица

Количество парных корреляций физиологических показателей испытуемых

Показатель	Группа	
	А	Б
ЕА	10	–
МАМ	7	1
PWC170	25	2
SPO_2	10	5

4. Увеличение вариабельности сердечного ритма при гипоксической нагрузке способствует физической работоспособности.

5. Увеличение скорости диссоциации оксигемоглобина способствует физической работоспособности в анаэробных условиях.

Литература

1. Агаджанян, Н.А. Функции организма в условиях гипоксии и гиперкапнии / Н.А. Агаджанян, А.И. Елфимов. – М.: Медицина, 1986. – 270 с.
2. Баевский, Р.М. Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных кардиологических систем (методические рекомендации) / Р.М. Баевский [и др.] // Вестн. аритмологии. – 2001. – № 24. – С. 65–72.
3. Березовский, В.А. Кислородное голодание и способы коррекции гипоксии / В.А. Березовский, – Киев, 1992. – 211 с.
4. Бреслав, И.С. Восприятие газовой среды и газопреферендум у животных и человека / И.С. Бреслав. – Л.: Наука, 1970. – 115 с.
5. Вариабельность сердечного ритма. Стандарты измерения, физиологической интерпретации и клинического использования: Для кардиологов, врачей функциональной диагностики, электрофизиологов, преподавателей и студентов медицинских вузов. Рабочая группа европейского кардиологического общества и североамериканского общества стимуляции и электрофизиологии. – СПб: Издательство АОЗТ «Инкарт», 2000. – 65 с.
6. Головина, А.С. Харктеристика индивидуальных различий дыхания и сердечного ритма при гипоксии / А.С. Головина, Е.Б. Филиппова, Д.Н. Косенков // Вопр. экспер. и клин. физиол. дыхания. – Тверь, 2007, С. 80–89.
7. Головина, А.С. О физиологических механизмах гипоксической устойчивости / А.С. Головина [и др.] // Мат. VII Всеарм. науч.-практ. конф. «Баротерапия в комплексном лечении и реабилитации раненных, больных и пораженных». – СПб, 2009, С. 106–107.
8. Гора, Е.П. Влияние дыхания на функциональное состояние систем организма (сердечно-сосудистую систему и ЦНС) / Е.П. Гора – М.: Прометей, 1987. – 77 с.
9. Колчинская, А.З. Кислород, физическое состояние, работоспособность / Киев: Наукова думка, 1991. – 206 с.
10. Кулешов, В.И. Выбор метода баротерапии – периодической гипобарической или гипербарической оксигенации / В.И. Кулешов, И.В. Левшин. – СПб.: ВМА, 2001. – 202 с.
11. Королев, Ю.Н. Реакции дыхательной системы человека на нормобарическую гипоксическую гипоксию / Ю.Н. Королев [и др.] // Вестн. Росс. воен.-мед. акад. – 2010, № 1 (29). С. 117–123.
12. Миррахимов, М.М. Высокогорная кардиология / М.М. Миррахимов, Т.Е. Мейманалиев. – Фрунзе: Кыргызстан, 1984. – 316 с.
13. Михайлов, В.М. Вариабельность сердечного ритма: Опыт практического применения метода / В.М. Михайлов. – Иваново: Иван. гос. мед. академия, 2002. – 290 с.
14. Нестеров, С.В. Влияние острой экспериментальной гипоксии на мозговое кровообращение и вегетативную регуляцию сердечного ритма у человека: автореф. канд. дисс. / С.В. Нестеров. – СПб., 2004. – 20 с.
15. Нестеров, С. В. Особенности вегетативной регуляции сердечного ритма в условиях воздействия острой экспериментальной гипоксии // С.В. Нестеров // Физиол. человека. – 2005. – Т. 31. № 1. – С. 82.
16. Сороко, С.И. Комплексное многопараметрическое исследование системных реакций организма человека при дозированном гипоксическом воздействии / С.И. Сороко [и др.] // Физиол. человека. – 2005. – Т. 31, № 5. – С. 88–96.
17. Сороко, С.И. Внутрисистемные и межсистемные перестройки физиологических параметров при острой экспериментальной гипоксии // С.И. Сороко, Э.А. Бурых // Физиол. человека. – 2004. – Т. 30, № 2. – С. 58–66.
18. Шеррер, Ж. Физиология труда (эргономика) / Ж. Шеррер. – М.: Медицина, 1973. – 236 с.

V.O. Samoylov, A.L. Maksimov, E.B. Filippova, Y.N. Korolyev, V.N. Golubev, A.S.Golovina, O.V. Savokina, E.M. Lesova

Characteristics of the individual differences of the functional status in conditions of hypoxia

***Abstract**. There is recorded the oxygen saturation of the hemoglobin of the arterial blood, electrocardiogram, rheography indicators, parameters of heart rate variability (spectrogram etc.) and indicators of external respiration with hypoxic stress – breathing gas mixture with 10% oxygen in nitrogen within 15 minutes. Also we investigated the physical performance in aerobic and anaerobic conditions. This work identified individual differences oxygen saturation of hemoglobin arterial blood during hypoxic stress. Oxygen saturation of hemoglobin arterial blood in individuals that are resistant to hypoxia (35% of all surveyed), was on average 93% and in individuals unstable (65% of all surveyed) – 82%. In subjects that are resistant to hypoxia, there is a deeper and more rare breath, high variability heart rate as in the original condition, and when exposed to hypoxia, a large total spectral power and spectral power high-frequency and low-frequency oscillations, faster stabilization of the heart rate during exercise. During hypoxia is decreased diastole time and period of tension, increased the period of exile, changed the discharge capacity of the myocardium. The individuals that are resistant to hypoxia reveal a greater number of significant correlations between indicators of functional status in hypoxia and the physical work capacity. Only these individuals show negative correlation between heart rate and physical work capacity, a negative correlation between hemoglobin oxygenation of arterial blood and anaerobic work capacity, and positive – between the oxygen saturation of the hemoglobin and aerobic work capacity. There is a positive correlation between the variability of the cardiac rhythm during hypoxic stress and aerobic work capacity; a negative correlation between the rate of oxyhemoglobin dissociation and anaerobic work capacity.*

***Key words**: the oxygen saturation of the hemoglobin of the arterial blood, hypoxia, individual differences, heart rate variability, physical work capacity, the correlation, the spectral power, frequency of cardiac contractions, phase of the cardiac cycle.*

Контактный телефон: 8 (812) 232-33-52; e-mail: cell@infran.ru