

В.Н. Быков¹, О.В. Ветряков², В.Н. Цыган²,
Ю.Ш. Халимов², А.Г. Анохин¹, И.В. Фатеев¹,
М.В. Калтыгин¹, О.А. Толстой²

Оценка устойчивости военнослужащих к гипоксии на фоне гипобарии и высокой физической активности

¹Государственный научно-исследовательский испытательный институт военной медицины, Санкт-Петербург

²Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург

Резюме. Оценивалась устойчивость военнослужащих моторно-волевого класса деятельности к высотной гипоксии. Анализовались результаты влияния физической нагрузки на ряд физиологических и психофизиологических показателей у 40 добровольцев во время проведения барокамерного обследования, моделирующего подъем на высоту 5000 м. Установлено, что в качестве ведущего критерия, позволяющего разделить добровольцев по устойчивости к искусственно созданной гипобарии и гипоксии, следует рассматривать изменение уровня сатурации гемоглобина крови. Значимое снижение содержания оксигемоглобина в крови регистрировали начиная с первой минуты достижения высоты 5000 м. Выделены четыре типа реакции организм на физическую нагрузку в условиях искусственной гипобарической гипоксии. При высокой степени устойчивости к высотной гипоксии сатурация крови в большинстве исследуемых временных промежутков барокамерного подъема сохраняется на уровне выше 75%, при средней устойчивости – концентрация оксигемоглобина находится в диапазоне от 65 до 75%, а низкая устойчивость характеризуется снижением данного показателя до уровня менее чем 65%. Также целесообразно выделить четвертый тип реакции – неустойчивый, характеризующийся быстрым снижением насыщения артериальной крови кислородом в течение первых 10 мин подъема ниже 60% и развитием клинических признаков, характерных для выраженного острого кислородного голодания. Использование предложенного способа оценки устойчивости человека к гипобарической гипоксии в условиях барокамеры на фоне физических нагрузок позволяет сделать прогноз в отношении развития сходных реакций у военнослужащих при выполнении ими физической нагрузки в аналогичных условиях кислородной недостаточности, в том числе в условиях горной местности.

Ключевые слова: гипоксия, гипобария, барокамера, высокогорье, профессиональное здоровье, медицинское обеспечение, функциональное состояние, устойчивость.

Введение. В настоящее время в Министерстве обороны Российской Федерации периодическая плановая оценка переносимости умеренных степеней гипоксии проводится только у летного состава и водолазов. Для определения переносимости кратковременной гипоксии и перепадов барометрического давления у летчиков, а также для выявления скрытых форм заболеваний и нарушений функционального состояния организма, снижающих устойчивость к недостатку кислорода, проводятся периодические плановые барокамерные подъемы на высоты 5000–6000 м [1]. У водолазов, выполняющих работы под повышенным давлением газовой и водной среды, проводится гипоксическая проба, позволяющая определить величину физиологических резервов организма при гипоксической гипоксии, моделируемой вдыханием в течение 5 минут 10% кислородно-азотной смеси в условиях нормального атмосферного давления [2]. Определение устойчивости к гипоксии с использованием данных методик проводится у испытуемых, находящихся в условиях относительного покоя (в положении сидя или лёжа). Однако для военнослужащих моторно-волевого профиля деятельности,

выполняющих задачи в условиях горной местности, не менее актуальна оценка устойчивости к гипоксии при выполнении физической нагрузки. Методики, используемые в настоящее время, не позволяют достоверно спрогнозировать реакцию организма на физическую нагрузку в условиях гипоксии и гипобарии. Это определило необходимость разработки методики отбора военнослужащих для выполнения специальных задач в условиях высокогорья. При разработке методики были выделены факторы, вносящие наибольший вклад в развитие утомления и снижение профессиональной работоспособности в горах, а именно:

- пониженное барометрическое давление;
- пониженное парциальное давление кислорода;
- высокие физические нагрузки.

С учетом этих особенностей применение барокамерных подъемов в ходе оценки устойчивости к гипоксии будет более предпочтительно по сравнению с использованием нормобарических методик. Известно, что при адаптации организма человека к воздействию гипоксии одну из ведущих ролей играет функциональное состояние газотранспортной системы: функции внешнего дыхания и системы

кровообращения [5]. При этом механизмы срочной адаптации кардиореспираторной системы к предъявляемым условиям выполнения гипоксической пробы обусловлены двумя основными факторами: гипоксией и физической нагрузкой. Реакции кардиореспираторной системы, такие как гипервентиляция, увеличение минутного объема дыхания, возрастание минутного объема кровообращения, повышение частоты сердечных сокращений (ЧСС) и артериального давления (АД) при воздействии гипоксии и физической нагрузки являются адаптационными реакциями на изменение поступления или расходования кислорода тканями. Как в первом, так и во втором случаях физиологический ответ кардиореспираторной системы развивается вследствие изменения сатурации гемоглобина крови (SpO_2). В качестве одного из основных критериев устойчивости к гипоксии рассматривают изменение сатурации кислорода под воздействием гипоксического фактора [3, 4, 6]. Принимая во внимание критерии устойчивости к гипоксии, разработанные ранее для экспертизы летного состава и водолазов, а также данные литературы, в качестве ведущего фактора, позволяющего разделить добровольцев по устойчивости к гипоксии, мы взяли показатель сатурации крови кислородом [6].

Цель исследования. Определение устойчивости организма человека к гипоксии в условиях гипобарии при выполнении физической нагрузки.

Материалы и методы. Обследованы 40 добровольцев мужчин в возрасте 23 ± 3 года, у которых отсутствовали медицинские противопоказания к гипобарическому воздействию. Меры безопасности, алгоритм медицинского наблюдения до, во время и после барокамерных испытаний проводили в соответствии с руководящими документами [1]. Барокамерные подъемы осуществляли в аттестованной барокамере СБК-48. За основу была выбрана методика барокамерного подъема, широко используемая при проведении врачебно-летной экспертизы (подъем на 5000 м с пребыванием на высоте в течение 20 минут) [1]. Подъем выполнялся однократно до высоты 5000 м со скоростью 7–10 м/с без дополнительного кислородного обеспечения. Продолжительность пребывания на высоте составляла 30 мин, спуск осуществляли со скоростью 5–7 м/с. Физическую нагрузку моделировали путем выполнения добровольцами тридцати приседаний за 1 мин на пятой и двадцатой минутах исследования. Непосредственно перед подъемом, а также в ходе испытания регистрировали ЧСС, систолическое (САД) и диастолическое (ДАД) АД, частоту дыхательных движений (ЧДД), уровень SpO_2 . Через 15 мин после начала подъема проводили оценку самочувствия (баллы); через 5 и 20 мин – пробу Руфье с последующим расчетом индекса Руфье (ИР), методику «счёт-письмо», а также оценивали скорость сложной сенсомоторной реакции (ССМР).

Учитывая профессионально важные качества и специфику деятельности военнослужащих, выполняющих различные задачи в условиях средне- и высокогорья, при разработке критериев оценки устойчивости в первую очередь обращали внимание на реакцию организма во время выполнения физической нагрузки в условиях гипоксии и гипобарии. При этом учитывали характер изменения параметров умственной работоспособности.

Обоснование критериев устойчивости человека к гипоксии осуществляли в несколько этапов. На первом этапе был проведен кластерный анализ методом К-средних по показателям сатурации крови, полученным в ходе барокамерного подъема. На втором этапе по данным кластерного анализа строилась дискриминантная модель и рассчитывались диапазоны значений сатурации для каждой группы.

Статистическую обработку результатов проводили с использованием программы Statistica 10.0. Нормальность распределения данных проверяли с помощью критерия Шапиро – Уилка, гомогенность дисперсий с помощью критерия Барлетта. В случае соответствия распределения данных нормальному закону и гомогенности дисперсий статистическую значимость различий определяли с помощью критерия Стьюдента (при сравнении двух выборок) или однофакторного дисперсионного анализа с дальнейшей обработкой методом множественных сравнений по критерию Стьюдента – Ньюмена – Кейлса (в случае 3 и более выборок). Результаты считали статистически значимыми при $p \leq 0,05$. Данные представляли в виде средних значений и стандартных отклонений.

Результаты и их обсуждение. В ходе исследования у 3 (2,5%) обследуемых были отмечены нежелательные побочные реакции (боль в ушах и головокружение), возникшие во время спуска и носившие транзиторный характер, что позволило классифицировать их как нарушения легкой степени. По данным литературы, боль в ушах, развившаяся во время спуска, является признаком непереносимости быстрого перепада барометрического давления и не является показателем непереносимости гипоксии [1]. У одного из обследуемых развилось головокружение и предобморочное состояние, а также повышение ЧСС более чем на 40 уд/мин, что расценили как абсолютную непереносимость умеренной степени гипоксии, в результате чего он был исключен из дальнейшего исследования [7].

По результатам кластерного анализа были сформированы три кластера – три группы обследуемых (рис. 1).

Обследуемые, вошедшие в 1-й кластер, отнесены к лицам с высокой устойчивостью к гипоксии. Испытуемые с низкой устойчивостью были отнесены ко 2-му кластеру, а в 3-ий кластер вошли лица со средней устойчивостью к гипоксии. Учитывая данные кластерного анализа, выполнен дискриминантный анализ

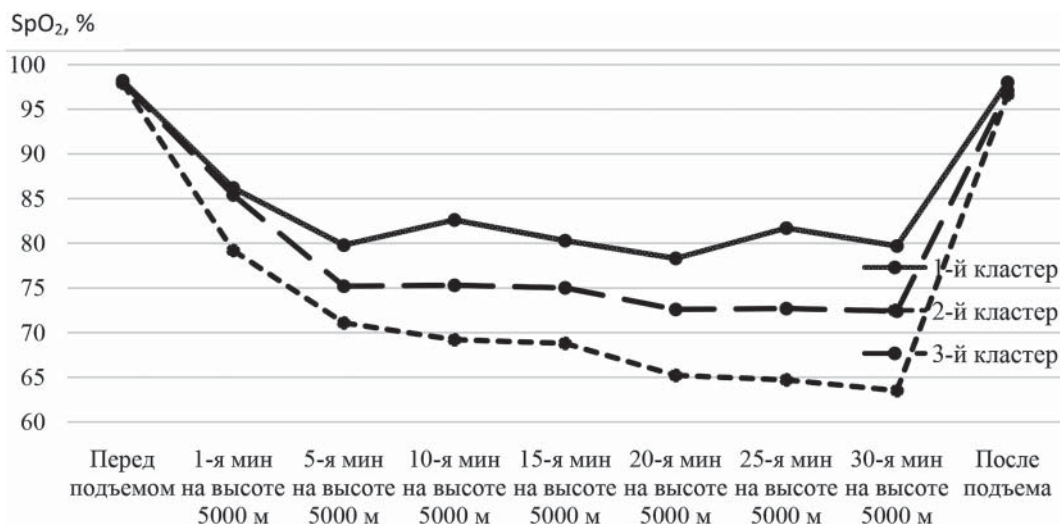


Рис. 1. Изменение сатурации крови у обследованных добровольцев при выполнении барокамерного подъема на 5000 м

по показателю сатурации крови. Построена модель дискриминантного анализа. Значения регрессионных коэффициентов предикторных переменных, вошедших в модель, представлены в таблице 1.

Подставив регрессионные коэффициенты в уравнение дискриминантного анализа, были рассчитаны диапазоны значений сатурации в зависимости от группы, сформированной по результатам кластеризации. Это позволило сформировать следующие критерии разделения добровольцев по группам устойчивости к умеренной степени гипоксии:

- высокоустойчивые – сатурация крови выше 75% (с 5-й по 25-ю мин нахождения на высоте 5000 м);
- среднеустойчивые – сатурация крови от 65 до 75% (с 5-й по 25-ю мин нахождения на высоте 5000 м);
- низкоустойчивые – сатурация крови ниже 65% (с 5-й по 25-ю мин нахождения на высоте 5000 м).

Кроме этого, целесообразно отдельно выделять 4-ю группу лиц, не способных полностью выполнить

методику отбора, – неустойчивые к умеренным степеням гипоксии.

Анализ субъективных и объективных данных, полученных во время барокамерного подъема, позволил определить степень переносимости пробы с воздействием умеренной степени гипобарической гипоксии на фоне физической нагрузки при подъеме в барокамере на высоту 5000 м.

При анализе содержания оксигемоглобина в крови (SpO₂) выявлены 7 (17,5%) добровольцев с высокой переносимостью умеренных степеней гипоксии, 20 (50,0%) человек вошли в группу со средней переносимостью гипоксии и 12 (30,0%) человек были отнесены к группе с пониженной устойчивостью к умеренной степени гипоксии (табл. 2). Данные по обследуемому, отнесённому к группе неустойчивых, не подвергали статистическому анализу. Значимое снижение показателя SpO₂, свидетельствующее о различиях между группами, развивалось начиная с 5-й мин нахождения на высоте 5000 м.

Начиная с первой минуты подъема у всех обследуемых отмечали увеличение ЧСС. Максимальные значения данного показателя регистрировали на 25-й мин нахождения на высоте 5000 м. В среднем, возрастание ЧСС к этому времени составило 20,1±3,5 уд/мин. При этом в течение всего исследования уровень ЧСС был сопоставим между группами, что может свидетельствовать о хорошей адаптационной реакции системы кровообращения обследуемых в ответ на гипоксическое воздействие и не позволило использовать данный показатель при оценке устойчивости к гипоксии.

Сходные данные были получены при изучении динамики изменения АД и ЧДД. В течение всего времени наблюдения уровень АД оставался в пределах физиологической нормы, при этом различий между группами добровольцев выявлено не было.

Таблица 1

Значения регрессионных коэффициентов предикторных переменных модели дискриминантного анализа

Предикторы уравнения	Регрессионные коэффициенты			р
	1-я группа	2-я группа	3-я группа	
Свободный член	-1163,81	-801,846	-961,312	-
Подъем 1-я мин SpO ₂	5,59	4,852	5,271	0,124
Подъем 5-я мин SpO ₂	5,08	4,274	4,62	0,16470
Подъем 10-я мин SpO ₂	7,05	6,064	6,692	0,09468
Подъем 15-я мин SpO ₂	5,14	4,305	4,71	0,30803
Подъем 25-я мин SpO ₂	5,37	3,879	4,331	0,00893

Содержание оксигемоглобина в крови добровольцев до, во время и после выполнения барокамерного подъема на 5000 м, %, $M \pm s$

Степень переносимости гипоксии	Сроки исследования								
	Перед подъемом	1-я мин	5-я мин	10-я мин	15-я мин	20-я мин	25-я мин	30-я мин	После подъема
Высокоустойчивые, n=7	98,2±0,7	86,2±3,0*	79,8±3,6*#	82,6±2,0*#	80,3±3,3*#	78,3±3,3*#	81,7±1,9*#	79,7±2,3*#	98,0±0,9
Среднеустойчивые, n=20	98,0±0,7	85,4±5,1*	75,2±4,7*	75,3±3,5*	75±5,4*	72,6±5,1*	72,7±4,9*	72,4±3,8*	97,1±1,2
Низкоустойчивые, n=12	97,9±0,9	79,2±5,1	71,1±4,6	69,2±4,8	68,8±3,3	65,2±4,1	64,7±3,1	63,5±1,9	96,6±1,6

Примечание: * – различия с группой низкоустойчивых; # – с группой среднеустойчивых, $p < 0,05$.

Реакцию системы кровообращения на физическую нагрузку в нормальных условиях и в условиях гипобарической гипоксии оценивали по величине ИР от 0 до 15. Перед подъемом во всех группах данный показатель соответствовал среднему уровню физической подготовленности, то есть находился в диапазоне 7–9 баллов. Во время барокамерного подъема регистрировали повышение данного индекса до уровня 12–14 баллов уже с 5-й мин подъема, что свидетельствовало об ухудшении переносимости физической нагрузки. Однако выявленное ухудшение не было критичным и соответствовало удовлетворительному уровню физической подготовленности. Данные изменения не имели достоверных различий между группами.

Самооценка самочувствия, количество примеров и ошибок по данным методики «счет-письмо», а также результаты, полученные при изучении скорости сложной сенсомоторной реакции, не отличались в группах и оставались на высоком уровне в течение всего времени подъема. Это может свидетельствовать о сохранении возможности критической оценки своего состояния в окружающей обстановке в условиях барокамеры и позволяет сделать прогноз в отношении развития сходных реакций в аналогичных условиях кислородной недостаточности.

Заключение. В условиях искусственно созданной гипобарии и гипоксии можно выделить следующие типы реакции организма на физическую нагрузку.

Первый тип (высокоустойчивые). Сатурация крови выше 75% через 5, 10, 15 и 25 мин нахождения на высоте 5000 м в течение 30 мин. Жалоб на изменение самочувствия нет. Постепенное снижение насыщения артериальной крови кислородом до 75–80% на фоне физической нагрузки к пятой минуте нахождения на высоте 5000 м с дальнейшим сохранением данного уровня сатурации на протяжении всего времени исследования.

Второй тип (среднеустойчивые). Сатурация крови от 65 до 75% через 5, 10, 15 и 25 мин нахождения на высоте 5000 м в течение 30 мин. Возможны жалобы на легкое головокружение, ощущение сердцебиения при

выполнении нагрузки. Объективно можно определить развитие гиперемии лица и признаков эйфории. Характеризуется снижением насыщения артериальной крови кислородом до 70–75% в течение первых 5 мин нахождения на высоте 5000 м, в дальнейшем показатель сатурации не снижается ниже 65% в течение всего времени наблюдения.

Третий тип (низкоустойчивые). Сатурация крови ниже 65% через 5, 10, 15 и 25 мин нахождения на высоте 5000 м в течение 30 мин. В процессе подъема могут предъявляться жалобы на легкое головокружение, ощущение сердцебиения в покое и при выполнении нагрузки, повышенную потливость, ощущение нехватки воздуха, ухудшение зрения, затруднение при счете. Отмечается гиперемия лица, размашистые движения, изменение почерка. Первая минута подъема характеризуется быстрым снижением насыщения артериальной крови кислородом ниже 80% и дальнейшим медленно прогрессирующим снижением сатурации в течение всего подъема, значения которой к 25-й мин регистрируются на уровне 65% и ниже.

Четвертый тип (неустойчивые). Снижение насыщения артериальной крови кислородом в течение первых 10 мин подъема ниже 60%. Данные лица неспособны полностью выполнить пробу по методике отбора. При выполнении пробы они предъявляют жалобы на резкое ухудшение самочувствия, выраженную слабость, головную боль, одышку, чувство жара, потемнение в глазах. У них может появиться возбуждение или угнетение сознания, они не могут выполнить пробу полностью, у них затруднена речь, появляется размашистый почерк с пропуском слов и букв, во внешнем виде обращают на себя внимание бледность кожи, цианоз губ, нарушение координации движения.

Литература

1. Методики исследований в целях врачебно-лётной экспертизы. – М.: Военное издательство, 1995. – 455 с.
2. Правила водолазной службы ВМФ. – М.: Военное издательство, 2003. – 286 с.
3. Головина, А.С. О влиянии интервальных гипоксических тренировок на параметры сердечного выброса / А.С. Головина [и др.] // Здоровье и образование в XXI веке. – 2008. – Т. 10, № 7 – С. 336–337.

4. Голубев, В.Н. Состояние физической работоспособности после курса интервальных гипоксических тренировок / В.Н. Голубев [и др.] // Акт. пробл. физ. и спец. подготовки силовых структур. – 2015. – № 3. – С. 35–41.
5. Никоноров, А.А. Применение адаптации к периодическому действию гипобарической гипоксии для повышения устойчивости организма спортсменов к соревновательным нагрузкам: автореф. дисс. ... д-ра. мед. наук / А.А. Никоноров – Томск, 2002. – 39 с.
6. Тимофеев, Н.Н. Вопросы адаптации военнослужащих к условиям высокогорья / Н.Н. Тимофеев [и др.] // Акт. пробл. физ. и спец. подготовки силовых структур. – 2012. – № 2. – С. 57–61.
7. Шишов, А.А. Барокамерные подъемы как метод специального обследования летного состава государственной авиации / Шишов А.А. [и др.] // Воен.-мед. журн., 2014. – № 4. – С. 54–58.

V.N. Bykov, O.V. Vetryakov, V.N. Tsygan, Yu.Sh. Khalimov, A.G. Anokhin, I.V. Fateev, M.V. Kaltygin, O.A. Tolstoy

Assessment of military personnel tolerance to hypoxia on the background of hypobaria and high physical activity

***Abstract.** The tolerance of military personnel of motor-volitional type of activity to altitude hypoxia was assessed. With this aim, the research results concerning influence of physical activity on a range of physiological and psychophysiological factors of 40 volunteers in the course of pressure chamber research, modelling 5000 m ascent, were analyzed. It was determined that the change in levels of hemoglobin saturation in blood should be taken as the main criterion for division of the volunteers according to the tolerance to artificial hypobaria and hypoxia. Significant decrease of oxyhemoglobin in blood was registered from the first minute of being at the altitude of 5000 m. On the basis of developed technology four types of organism reactions on physical activity under the influence of artificial hypobaric hypoxia were defined. At high level of resistance to altitude hypoxia blood saturation in the majority of time periods under analysis is preserved at the level higher than 75%, mean stability is achieved when oxyhemoglobin concentration is in the range of 65–75%, while low stability is characterized by decrease of this factor up to 65%. Also, according to our opinion, the fourth type of reaction should be defined – unstable one that is characterized by rapid decrease of arterial blood ventilation during the first 10 min of ascent lower than 60% and development of clinical signs which are typical for an acute oxygen deficit. The application of suggested method of assessment of human tolerance to hypobaric hypoxia in pressure chamber conditions on the background of physical activity allows to prognosticate the development of similar reactions in military personnel when they perform physical activities in analogous hypoxia conditions, including highlands.*

Key words: hypoxia, hypobaria, pressure chamber, highland, professional health, medical provision, functional state, tolerance.

Контактный телефон +7-911-014-47-74; e-mail: o.v.vetryakov@mail.ru