

О.В. Ветряков, Ю.Ш. Халимов,  
В.Н. Быков, А.Я. Фисун

## Влияние различных степеней нормобарической гипоксии на физическую работоспособность человека

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

**Резюме.** Выполнение человеком различных задач в условиях горной местности зачастую сопряжено с высокоинтенсивной физической нагрузкой. Изучено влияние обеднённой по содержанию кислорода искусственной газовой среды (соответствующей высоте 2500 м над уровнем моря) на физическую работоспособность человека в условиях нормального атмосферного давления. Установлено, что выполнение велоэргометрической нагрузки ступенчато-возрастающей мощности (пробы  $PWC_{170}$ ) в этих условиях приводит к развитию гипоксической гипоксии легкой степени, проявляющейся в снижении сатурации крови кислородом и повышении частоты сердечных сокращений при неизменных показателях артериального давления и физической работоспособности. Нахождение человека в условиях искусственной газовой среды, соответствующей по содержанию кислорода высоте 4500 м над уровнем моря, при нормальном барометрическом давлении сопровождается развитием умеренной степени гипоксической гипоксии с более выраженным снижением насыщения крови кислородом и повышением частоты сердечных сокращений. В ходе выполнения велоэргометрической пробы в этих условиях индекс пробы  $PWC_{170}$  снижается в 1,4 раза по сравнению с фоновыми показателями. Полученные результаты свидетельствуют о том, что развитие острой нормобарической гипоксии легкой степени не оказывает существенного влияния на физическую работоспособность человека, а умеренная гипоксия – снижает её. Предложенная методика может быть использована для оценки влияния различных степеней гипоксии на переносимость физической нагрузки человеком и служить одним из критериев для профессионального отбора специалистов целевого предназначения (военнослужащих, альпинистов, геологов и др.), а также для определения степени готовности человека к выполнению задач, сопряженных с выполнением физической нагрузки в условиях горной местности.

**Ключевые слова:** гипоксия, адаптация, акклиматизация, устойчивость, работоспособность, физическая нагрузка, функциональное состояние, велоэргометрия.

**Введение.** Нахождение человека в условиях высокогорья связано с воздействием комплекса экстремальных условий внешней среды, оказывающих существенное влияние на функциональное состояние организма. В то же время профессиональная деятельность человека зачастую связана с выполнением физических нагрузок различной интенсивности. Один из наиболее частых сценариев связан с недостатком кислорода в окружающей среде и/или развитием состояний, способствующих появлению гипоксии (нахождение в замкнутых пространствах, выполнение задач в условиях средне- и высокогорья, интенсивные физические нагрузки и др.). В последнее время все большее число военнослужащих проходят обучение по программам горной подготовки и активно привлекаются к выполнению специальных задач в условиях горной местности.

С учётом накопленного экспериментального и клинического материала об изменениях функционального состояния организма при различных типах гипоксии в Министерстве обороны Российской Федерации предусмотрено проведение периодической плановой оценки переносимости умеренных степеней гипоксии у летного состава и водолазов. У летчиков проводятся периодические плановые барокамерные подъемы на высоты 5000–6000 м для определения переносимости кратковременной гипоксии и перепадов барометрического давления, а также для выявления скрытых форм заболеваний и нарушений функционального состояния организма, снижающих устойчивость к недостатку

кислорода [3, 9]. У водолазов, выполняющих работы под повышенным давлением газовой и водной среды, проводится гипоксическая проба, которая позволяет определить устойчивость и физиологические резервы организма при гипоксической гипоксии, моделируемой вдыханием в течение пяти минут 10%-ной кислородно-азотной смеси в условиях нормального атмосферного давления [4]. Определение устойчивости к гипоксии с использованием данных методик, в соответствии с руководящими документами, проводится у испытуемых, находящихся в условиях относительного покоя (в положении сидя или лёжа), когда у здорового человека существенных изменений в организме не наблюдается. В то же время при нахождении в условиях средне- и высокогорья (высоты более 2500 м) в покое и особенно при физической нагрузке у здорового человека регистрируется комплекс функциональных изменений, соответствующих выраженной кислородной недостаточности, а выполнение тяжелой физической работы сопровождается развитием выраженного кислородного голодания, в том числе и за счет дополнительного вклада «гипоксии нагрузки», формирующейся в результате интенсивной мышечной деятельности, что приводит к усилению кислородопотребления [7, 8].

Известно, что при адаптации организма человека к воздействию гипоксии одну из ведущих ролей играет функциональное состояние газотранспортной системы: функции внешнего дыхания и системы органов кровообращения [1, 5]. При этом механизмы

срочной адаптации кардиореспираторной системы к предъявляемым условиям обусловлены двумя основными факторами: гипоксией и физической нагрузкой. Реакции систем дыхания и кровообращения, такие как гипервентиляция, увеличение минутного объема дыхания, возрастание минутного объема кровообращения, повышение ЧСС и АД, при воздействии гипоксии и физической нагрузки относятся к числу адаптационных реакций на изменение поступления или расхождения кислорода тканями, следовательно, в условиях гипоксии изменяются показатели, характеризующие уровень работоспособности.

Таким образом, изучение влияния различных степеней гипоксии на переносимость военнослужащими физической нагрузки является актуальным.

**Цель исследования.** Оценить влияние различных степеней нормобарической гипоксической гипоксии на показатели физической работоспособности у здоровых добровольцев.

**Материалы и методы.** В исследовании приняли участие 16 добровольцев-мужчин в возрасте 20–25 лет, у которых отсутствовали медицинские противопоказания к гипоксическому воздействию. Гипоксическое воздействие моделировалось в условиях нормобарического гипоксического комплекса, позволяющего автоматически поддерживать заданные параметры нормобарической гипоксической газовой среды без колебаний барометрического давления, параллельно создавая требуемые параметры микроклимата, в том числе при длительном одновременном пребывании в камере нескольких человек. Исследование проводилось в три этапа. На первом этапе добровольцы выполняли велоэргометрическую нагрузку ступенчато-возрастающей мощности (проба PWC<sub>170</sub>) по общепринятой методике [5]. Второй этап исследования начинали через трое суток после исходного обследования, а третий – для исключения эффекта тренированности – спустя месяц. Во время второго и третьего этапов те же добровольцы выполняли пробу PWC<sub>170</sub> в условиях нормобарической гипоксии. Перед гипоксическим воздействием, а также в ходе выполнения велоэргометрической нагрузки регистрировали частоту сердечных сокращений (ЧСС), артериальное давление (АД), уровень насыщения гемоглобина кислородом (SpO<sub>2</sub>). Снижение уровня SpO<sub>2</sub> нередко рассматривают в качестве одного из основных критериев устойчивости к гипоксии (косвенного показателя работоспособности) [2, 8]. Для предварительной десатурации контроль физиологических показателей и пробу PWC<sub>170</sub> в условиях гипоксии начинали проводить через 10 мин нахождения в гипоксической среде.

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). Результаты считали статистически значимыми при  $p < 0,05$ .

**Результаты и их обсуждение.** Показано, что десятиминутное нахождение добровольцев в атмосфере искусственной газовой среды, соответствующей по концентрации кислорода высоте 2500 м над уровнем моря, сопровождалось снижением SpO<sub>2</sub> до  $94,8 \pm 0,5\%$  и повышением ЧСС до  $72,9 \pm 2,5$  уд/мин ( $p < 0,05$ ) при неизменных показателях АД (рис.). Эти результаты были сопоставимы с данными В.О. Самойлова и др. [6]. При этом значимого снижения физической работоспособности у испытуемых не отмечалось. Это указывает на высокую степень компенсаторных возможностей организма, в первую очередь – за счет значительной лабильности систем дыхания и кровообращения в ответ на предъявляемое гипоксическое воздействие.

Десятиминутное нахождение испытуемых в условиях искусственной газовой среды с пониженным содержанием кислорода, соответствующим высоте 4500 м над уровнем моря, сопровождалось снижением SpO<sub>2</sub> до  $80,5 \pm 1,3\%$ , что было значимо ниже фоновых данных и значения SpO<sub>2</sub>, полученного при моделировании условий, соответствующих высоте 2500 м над уровнем моря ( $p < 0,05$ ). На фоне снижения SpO<sub>2</sub> в условиях покоя компенсаторно повышалась ЧСС до  $87,9 \pm 2,2$  уд/мин, что выше значений, полученных при фоновом исследовании и при моделировании гипоксических условий, соответствующих высоте 2500 м над уровнем моря ( $p < 0,05$ ). Значимых изменений показателей АД в ответ на предъявляемое гипоксическое воздействие не отмечалось. При выполнении велоэргометрической нагрузки достоверно снижалась физическая работоспособность как по сравнению с фоновыми значениями, так и по сравнению с результатами, полученными при моделировании высоты 2500 м ( $p < 0,05$ ).

Выявлено, что умеренно выраженная нормобарическая гипоксическая гипоксия способствует снижению физической работоспособности, а формирующаяся в результате активной физической деятельности «гипоксия нагрузки» резко ограничивает адаптационные возможности организма человека, что может сопровождаться преждевременным переутомлением и приводить к срыву выполнения поставленной задачи.

Полученные результаты необходимо учитывать при оценке возможности выполнения военнослужащими задач по предназначению в условиях гипоксии, а также при разработке способов повышения устойчивости человека к гипоксии.

**Заключение.** Нахождение человека в условиях нормобарической гипоксической гипоксии умеренной степени (неполной компенсации) приводит к снижению физической работоспособности. Предложенная методика может быть использована для оценки влияния различных степеней гипоксии на переносимость физической нагрузки человеком и служить одним из критериев для профессионального отбора специалистов целевого предназначения (военнослужащих, альпинистов, геоло-

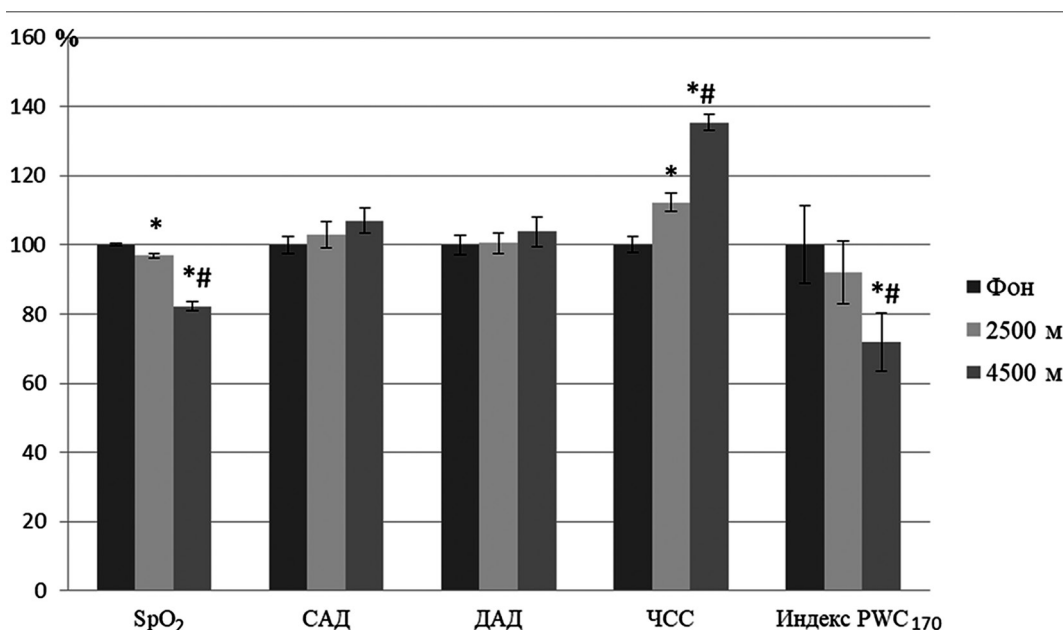


Рис. Влияние нормобарической гипоксии на некоторые физиологические показатели и физическую работоспособность здоровых добровольцев: \* – различия по сравнению с фоном; # – с высотой 2500 м,  $p < 0,05$

гов и др.), а также для определения степени готовности человека к выполнению задач, сопряженных с выполнением физической нагрузки в условиях горной местности.

#### Литература

1. Голубев, В.Н. Состояние физической работоспособности после курса интервальных гипоксических тренировок / В.Н. Голубев [и др.] // Актуальные проблемы физической и спец. подготовки силовых структур. – 2015. – № 3. – С. 35–41.
2. Лагунов, А.Т. Метод предварительной подготовки личного состава к работе в гермообъектах с гипоксической пожаробезопасной средой / А.Т. Лагунов [и др.] // Морская медицина. – 2016. – Т. 2, № 4. – С. 41–51.
3. Методики исследований в целях врачебно-лётной экспертизы. – М.: Военное издательство, 1995. – 455 с.
4. Правила водолазной службы ВМФ. – М.: Воен. изд-во, 2003. – 286 с.
5. Пухов, В.А. Оценка функционального состояния организма военных специалистов: научно-практическое руководство / В.А. Пухов, И.В. Иванов, С.В. Чепур. – СПб.: СпецЛит, 2016. – 312 с.
6. Самойлов, В.О. Характеристика индивидуальных различий функционального состояния человека в условиях гипоксической гипоксии / В.О. Самойлов [и др.] // Вестн. Росс. воен.-мед. акад. – 2013. – № 3 (43). – С. 1–7.
7. Солодков, А.С. Фармакологические препараты, способствующие ускорению адаптации спортсменов, в условиях горной местности / А.С. Солодков [и др.] // Ученые записки. – 2014. – № 11 (117). – С. 142–148.
8. Тимофеев, Н.Н. Вопросы адаптации военнослужащих к условиям высокогорья / Н.Н. Тимофеев [и др.] // Актуальные проблемы физической и специальной подготовки силовых структур. – 2012. – № 2. – С. 57–61.
9. Шишов, А.А. Барокамерные подъемы как метод специального обследования летного состава государственной авиации / А.А. Шишов [и др.] // Воен.-мед. журн. – 2014. – № 4. – С. 54–58.

O.V. Vetryakov, Yu.Sh. Khalimov, V.N. Bykov, A.Ya. Fisun

#### Influence of various degrees of normobaric hypoxia on the physical working capacity of a person

**Abstract.** Man's performance of various tasks in mountainous terrain often involves a high-intensity physical load. The influence of an artificial gas medium depleted in oxygen content (corresponding to an altitude of 2500 m above sea level) on the physical working capacity of a person under normal atmospheric pressure was studied. It has been established that the exercise of the veloergometric load of the stepwise increasing power (PWC<sub>170</sub> sample) under these conditions leads to the development of mild hypoxic hypoxia, manifested in a decrease in oxygen saturation and an increase in the heart rate with unchanged blood pressure and working efficiency. Finding a person in conditions of an artificial gas medium corresponding to an oxygen content of 4500 m above sea level at a normal barometric pressure is accompanied by the development of a moderate degree of hypoxic hypoxia with a more pronounced decrease in oxygen saturation and an increase in the heart rate. During the performance of the veloergometric test under these conditions, the PWC<sub>170</sub> sample index decreases 1,4 times compared to the background indicators. The received results testify that the development of acute normobaric hypoxia of mild degree does not render essential influence on physical working capacity of the person, and moderate hypoxia – reduces it. The proposed method can be used to assess the influence of various degrees of hypoxia on the tolerance of physical activity by a person and serve as one of the criteria for the professional selection of specialists for special purposes (military personnel, climbers, geologists, etc.), and to determine the degree of man's readiness to perform tasks associated with exercise in the mountainous terrain.

**Key words:** hypoxia, adaptation, acclimatization, tolerance, working efficiency, physical activity, functional state, veloergometry.

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