

УДК 612.062

ВЛИЯНИЕ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ НОРМОБАРИЧЕСКОЙ ГИПОКСИИ НА ПОКАЗАТЕЛИ ЭРИТРОЦИТАРНОГО ЗВЕНА ЦИРКУЛИРУЮЩЕЙ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА

¹А. О. Иванов, ²В. Ф. Беляев, ²А. В. Смуров, ²Е. С. Загаров

¹ЗАО «Ассоциация разработчиков и производителей систем мониторинга»,
Санкт-Петербург, Россия

²Научно-исследовательский институт кораблестроения и вооружения Военно-морского флота военного учебно-научного центра Военно-морского флота «Военно-морская академия», Санкт-Петербург, Россия

THE EFFECT OF PERIODIC NORMOBARIC HYPOXIA ON HUMAN CIRCULATORY RED BLOOD CELLS

¹A. O. Ivanov, ²V. F. Beliayev, ²A. V. Smurov, ²Ye. S. Zagarov

¹ZAO Association of Designers and Manufacturers of Monitoring Systems, St. Petersburg,
Russia

²Research Institute of Ship Building and Armament, N. G. Kuznetsov Navy Academy,
St. Petersburg, Russia

© Коллектив авторов, 2015 г.

Цель исследования: оценка влияния периодического пребывания человека в помещении с нормобарической гипоксической газовой средой (НГГС) на показатели «красной» крови. Обследованы 6 мужчин в возрасте 20–24 лет, периодически (непрерывно 4 часа в сутки, ежедневно в течение 2 мес) пребывавших в условиях НГГС с содержанием кислорода 17–16%. Гематологические исследования проводились в исходном состоянии, на следующий день после окончания цикла воздействий, затем через 3 и 6 мес. Исследования показали, что у всех испытуемых в результате периодического пребывания в условиях НГГС отмечены гематологические изменения, заключающиеся в умеренном снижении числа и среднего объема эритроцитов, показателя гематокрита, при повышении среднего содержания и концентрации гемоглобина в эритроците. На отдаленных этапах наблюдения выявленные тенденции сохранялись. Вывод: периодическое пребывание человека в условиях НГГС сопровождается повышением кислородной емкости крови (за счет синтеза функционально более полноценных эритроцитов) при параллельном «стремлении» к недопущению ухудшения ее реологических свойств.

Ключевые слова: периодическая нормобарическая гипоксия, циркулирующие эритроциты, эритропоэз.

Study objective was to assess the effects of periodic dwelling of humans in a room with normobaric hypoxic gas mixture (NHGM) on their red blood cells. Study subjects were six men aged 20 to 24 years who were placed under NHGM at 16–15% of oxygen for 4 h daily over 2 months. Hematological parameters were determined at baseline, on the next day after the experimental series, and 3 and 6 months later. All subjects showed moderate decreases in RBC count and mean volume and hematocrit and increases in the mean levels of hemoglobin in RBC. These trends persisted at delayed times. It is concluded that periodic dwelling under NHGM conditions is associated with increases in blood oxygen capacity due to generation of more functionally competent RBC upon a tendency not to compromise the rheological properties of blood.

Key words: periodic normobaric hypoxia, circulating erythrocytes, erythropoiesis.

Введение. К одному из значимых факторов труда военнослужащих, спасателей, пожарных и других категорий специалистов «опасных» профессий относится частая необходимость выпол-

нения задач в условиях пониженного парциального давления кислорода. Это может быть связано с работой подобных категорий лиц в условиях средне- и высокогорья, высотной гипоксией

полета, тушением пожаров, пребыванием в герметичных объектах, в том числе с искусственно созданными в целях пожаробезопасности гипоксическими газовыми средами. Именно поэтому высокая устойчивость организма таких специалистов к транзитной гипоксии может рассматриваться как необходимое условие надежности их профессиональной деятельности и требует особого внимания при проведении мероприятий ее медицинского и физиологического обеспечения [1].

Из фундаментальных исследований в области гипоксической медицины известно [2–4 и др.], что одним из компонентов специфической адаптации организма к условиям пониженного парциального давления кислорода (pO_2) в воздухе являются долгосрочные изменения механизмов переноса газов в организме, в частности, сдвиги кислородтранспортной функции крови. Однако в большинстве случаев подобные гематологические исследования проводились с участием лиц, достаточно длительное время непрерывно находившихся в горных условиях, при этом особенности изменений данной функции при периодической нормобарической гипоксии, несомненно, нуждаются в дополнительном целенаправленном изучении.

Таким образом, **целью** данного исследования явилась оценка влияния периодического пребывания человека в помещении с нормобарической гипоксической газовой средой (НГГС) на показатели «красной» крови.

Материалы и методы исследования. В исследованиях приняли участие 6 испытуемых — мужчины в возрасте 20–24 лет, не имевшие выраженных отклонений в состоянии соматического здоровья, которые периодически (4 часа в сутки ежедневно, в течение 2 мес) пребывали в помещении с НГГС с содержанием кислорода 17–16%. Условия НГГС формировали на испытательном стенде ЗАО «АСМ» (Санкт-Петербург). Дизайн комплекса позволял автоматически поддерживать заданные параметры НГГС, давал возможность находиться испытуемым в обычном режиме двигательной активности, не создавая неизбежных при использовании масочных гипоксикаторов неудобств при дыхании и перемещениях.

Для решения задач исследования в динамике наблюдения у испытуемых 4-кратно проводился отбор венозной крови: перед началом испытаний, через несколько дней после их окончания, затем через 6, 9 и 12 мес. Гематологиче-

ские исследования проводились с использованием автоматического счетчика клеток крови «АВХ MICROS 60 OT 18» (Франция). Определяли традиционные показатели, количественно и качественно характеризующие состояние эритроцитарного звена циркулирующей крови: общее содержание эритроцитов (RBC), концентрацию гемоглобина (HGB), гематокрит (HCT), средний объем эритроцитов (MCV), среднее содержание гемоглобина в эритроците (MCH), среднюю концентрацию гемоглобина в эритроците (MCHC).

Статистическую обработку данных проводили согласно общепринятым требованиям [5] с использованием программы STATISTICA v. 10.0. Учитывая малую численность выборки, оценку статистической значимости различий проводили при помощи непараметрического критерия Вилкоксона, данные в таблице приведены в виде медиан (Me), верхнего и нижнего квартилей (Q25; Q75).

Результаты и их обсуждение. У всех 6 испытуемых в исходном состоянии было определено нормальное содержание эритроцитов, гемоглобина и других количественных и качественных параметров «красной» крови (таблица). Контрольное гематологическое обследование, проведенное непосредственно после окончания этапа периодического пребывания в условиях НГГС, существенных изменений показателей «красной» крови ни у одного из добровольцев не выявило. В связи с этим нами было сформулировано предварительное заключение об отсутствии непосредственного влияния цикла гипоксических воздействий в использованном режиме на состояние эритроцитарного звена циркулирующей крови. На наш взгляд, это можно объяснить тремя основными причинами.

Во-первых, как показали исследования других газотранспортных систем, наиболее выраженные адаптационные сдвиги показателей гемодинамики и внешнего дыхания, обусловленные циклическими гипоксическими воздействиями, имели место у испытуемых с исходно пониженным уровнем функциональных резервов данных систем. Учитывая, что основные показатели «красной» крови (эритроциты, гемоглобин, гематокрит) у всех добровольцев находились на относительно высоком уровне, ожидаемого их увеличения в результате периодического пребывания в гипоксических условиях не произошло. Во-вторых, заданные параметры НГГС с умеренно выраженным снижением со-

Таблица

Показатели эритроцитарного звена циркулирующей крови испытуемых (нормальные условия, состояние «оперативного покоя, n=6») в динамике наблюдения [Me (Q25; Q75)]

Показатель, ед. изм.	Этап обследования				
	Период испытаний		Период после окончания испытаний		
	исходное состояние	окончание испытаний	6 мес	9 мес	12 мес
RBC, $\times 10^{12}/л$	5,12 (4,80; 5,26)	5,12 (5,09; 5,22)	4,80 (4,60; 4,92)	4,92 (4,70; 5,08)	4,81 (4,62; 4,92) p=0,041
HGB, г/л	149,5 (147,5; 158,0)	152,0 (145,0; 156,0)	152,5 (150,0; 156,0)	153,0 (149,0; 157,0)	155,5 (152,0; 157,0)
HCT, отн. ед.	0,44 (0,44; 0,46)	0,44 (0,43; 0,47)	0,42 (0,41; 0,43) p=0,07	0,43 (0,41; 0,44) p=0,1	0,42 (0,41; 0,43) p=0,042
MCV, мкм ³	87,5 (84,9; 89,9)	89,1 (85,3; 92,1)	86,1 (81,3; 88,9) p=0,036	86,9 (84,8; 89,6) p=0,06	86,3 (81,3; 89,6) p=0,048
MCH, пкг	30,2 (29,3; 31,0)	29,8 (29,2; 30,6)	31,5 (30,9; 31,2)	30,9 (29,7; 31,0) p=0,040	31,0 (30,3; 31,0) p=0,042
MCHC, г/л	341 (338; 350)	339 (338; 344)	361 (352; 370) p=0,049	361 (360; 363) p=0,041	365 (360; 370) p=0,039

Примечание: p — уровень значимости различий по сравнению с исходным состоянием.

держания кислорода, по всей видимости, не выступили в роли «адаптогенного фактора» для кроветворной системы организма испытуемых. В-третьих, из газотранспортных систем (кровообращения, внешнего дыхания, крови) именно для системы крови характерна наибольшая инертность развития адаптационных сдвигов, особенно в случае невысокой интенсивности возмущающих факторов.

Однако через полгода после окончания испытаний признаки направленных сдвигов со стороны эритроцитарного звена циркулирующей крови уже имели место. К ним можно отнести тенденции к снижению числа циркулирующих эритроцитов, показателя гематокрита, среднего объема эритроцитов, при параллельном повышении цветового показателя (среднего содержания гемоглобина в эритроците) и средней концентрации гемоглобина в эритроците. К последующим этапам наблюдения (через 9 и 12 мес после окончания испытаний) выявленные тенденции, в целом, сохранялись и даже углублялись, что привело к появлению достоверных различий или повышению уровня их значимости.

Важно отметить, что перечисленные выше однонаправленные изменения показателей «красной» крови различной степени выраженности на отдаленных этапах наблюдения были отмечены у всех 6 испытуемых, что и обусло-

вило достоверность различий по указанным выше параметрам. В связи с этим мы рассматривали полученные данные как одно из возможных проявлений отсроченных изменений в организме испытуемых, связанных с циклическими воздействиями гипоксического фактора.

Можно предварительно предположить, что физиологическим механизмом, лежащим в основе зарегистрированных гемических сдвигов, является стимулирующее действие длительного пониженного содержания кислорода в воздухе на систему кроветворения, известное из классических трудов по физиологии гипоксической гипоксии [2–4 и др.].

Однако, в отличие от результатов указанных выше авторов, исследовавших длительное влияние на организм горной гипоксии, в нашей работе не выявлено прироста числа эритроцитов в результате циклических гипоксических воздействий. Более того, к концу годового периода наблюдения у всех испытуемых отмечены тенденции к снижению концентрации эритроцитов в циркулирующей крови. По нашему мнению, указанные несоответствия в эффектах хронической горной (гипобарической) гипоксии и периодической нормобарической гипоксии можно объяснить различиями в характере, интенсивности и длительности воздействия на организм. В нашем случае 4-часовые циклы пребывания

испытуемых в помещении с НГТС (содержание кислорода 16–17%) чередовались с последующим 20-часовым нахождением в условиях нормоксии, что, по всей видимости, и объясняет отсутствие выраженного стимулирующего эффекта такой периодической гипоксии на количественные показатели эритропоэтической функции.

При этом, как указывалось выше, у всех испытуемых имели место однонаправленные сдвиги качественных характеристик циркулирующих эритроцитов, что все-таки позволяет предположить наличие влияния примененных в нашем исследовании периодических гипоксических воздействий на эритропоэз.

Физиологическая целесообразность таких выявленных сдвигов, как повышение цветового показателя и концентрации гемоглобина в эритроците, может быть объяснена стимулированным гипоксией выходом в кровь «молодых» эритроцитов, функционально более полноценных, чем ранее циркулировавшие. Эритроциты с повышенным содержанием гемоглобина при прочих равных условиях имеют большую «кислородную емкость», естественно, увеличивая кислород-транспортные возможности цельной крови, что является крайне важным для компенсации организмом гипоксических состояний. Появление на отдаленных этапах наблюдения в циркуляции «новых» эритроцитов косвенно подтверждается достоверным изменением их морфометрических характеристик (уменьшение среднего объема) по сравнению с исходным состоянием.

Что касается отмеченных нами у всех испытуемых тенденций к снижению концентрации эритроцитов и показателя гематокрита, то подобная реакция организма также не лишена физиологической целесообразности, поскольку указанные сдвиги обязательно сопровождаются оптимизацией реологических свойств крови. Улучшение текучести крови, как известно, является фактором, существенно расширяющим функциональные возможности газотранспортных систем при повышенных метаболических потребностях организма [4].

Заключение. Таким образом, адаптивный характер выявленных гемических сдвигов, возможно, заключается в развитии реакций, направленных на сохранение кислородной емкости циркулирующей крови (за счет синтеза функционально более полноценных эритроцитов) при параллельном «стремлении» к недопущению ухудшения ее реологических свойств. Данное предположение нуждается в дальнейшей экспериментальной проверке. Мы, тем не менее, можем однозначно заключить, что явно негативного влияния проведенных испытаний (в том числе в отдаленном периоде) на состояние эритроцитарного звена циркулирующей крови не выявлено ни у одного из обследованных. При этом у всех из них имели место однонаправленные сдвиги ряда количественных и качественных гемических показателей, которые, в целом, можно рассматривать как благоприятные для организма.

Литература

1. Ушаков И. Б., Хоменко М. Н. Основные профилактические проблемы медицины труда // Медико-экологические проблемы лиц экстремальных профессий.— М., 2012.— С. 19–20.
2. Барбашова З. И. Динамика повышения резистентности организма и адаптивных реакций на клеточном уровне в процессе адаптации к гипоксии // Успехи физиол. наук.— 1970.— Т. 8, № 3.— С. 70–81.
3. Бободжанов Ю. Р. К вопросу об адаптации кроветворного аппарата к условиям высокогорья Памира // Здравоохранение Таджикистана.— 1980.— С. 83–88.
4. Юсупова Н. Я. Об особенностях изменения количества эритроцитов, гемоглобина и гемопозитинов крови при легочной и сердечной недостаточности в условиях высокогорья // Труды Киргизского мед. института.— Фрунзе, 1971.— Т. 69.— С. 150–155.
5. Гржибовский А. М. Типы данных, проверка распределения и описательная статистика // Экология человека.— 2008.— № 1.— С. 52–58.
6. Мчедlishvili Г. И. Микроциркуляция крови.— СПб., 2003.— 296 с.

Поступила в редакцию 22.09.2015 г.

Контакт: Загаров Евгений Сергеевич, zagarov@rambler.ru

Сведения об авторах:

Иванов Андрей Олегович — доктор медицинских наук, профессор, ведущий научный сотрудник ЗАО «Ассоциация разработчиков и производителей систем мониторинга» (АСМ), Санкт-Петербург. Тел.: 8 (911) 733-73-69;
Беляев Виктор Федорович — кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник Научно-исследовательского института кораблестроения и вооружения Военно-морского флота военного учебно-научного центра

Военно-морского флота «Военно-морская академия», Санкт-Петербург, Рузовская ул., д. 10. Тел.: 8 (921) 314-59-53;

Смуrow Андрей Владимирович — полковник медицинской службы, кандидат медицинских наук, доцент, начальник научно-исследовательского отдела обитаемости кораблей и медицинского обеспечения личного состава Военно-морского флота Научно-исследовательского института кораблестроения и вооружения Военно-морского флота военного учебно-научного центра Военно-морского флота «Военно-морская академия», Санкт-Петербург, Рузовская ул., д. 10. Тел.: (812) 316-64-11;

Загаров Евгений Сергеевич — капитан медицинской службы, кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник Научно-исследовательского института кораблестроения и вооружения Военно-морского флота военного учебно-научного центра Военно-морского флота «Военно-морская академия», Санкт-Петербург, Рузовская ул., д. 10. E-mail: zagarov@rambler.ru.