

А. А. Танова¹, А. В. Строй², Д. В. Сафонов³, К. С. Караханян⁴, В. А. Степанов⁴

¹Общество с ограниченной ответственностью
«Научно-исследовательский институт Геропротекторных технологий»,

²Служба поисковых и аварийно-спасательных работ Главного штаба
Военно-Морского Флота, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

³Муниципальное бюджетное учреждение здравоохранения
«Городская больница скорой медицинской помощи»,
г. Таганрог, Российская Федерация

⁴Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный медицинский университет»
Министерства здравоохранения Российской Федерации,
г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

ВЛИЯНИЕ ГЕЛИОКИСЛОРОДНЫХ ДЫХАТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ НА ВЯЗКОСТЬ ЦИРКУЛИРУЮЩЕЙ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА

Введение

Одним из перспективных направлений в развитии баротерапевтических технологий, применяемых в медико-физиологическом сопровождении военнослужащих и других категорий специалистов опасных профессий, является обоснование применения искусственных дыхательных смесей (ИДС) с повышенным содержанием благородных газов (БГ). В состав таких ИДС обязательно входит кислород в различных концентрациях, а БГ (гелий, аргон, ксенон, криптон или их комбинации) частично или полностью заменяют азот. В итоге получают ИДС, обладающие разнонаправленными эффектами на организм, зависящими как от концентрации кислорода (нормо-, гипо-, гипероксические), так и от вида и концентрации инертных газов [1–3]. Кроме этого, эффекты таких ИДС можно повышать путем изменений барометрического давления (гипо-, нормо-, гипербария), в условиях которого проводятся процедуры дыхания газовой смесью.

К таким технологиям относится, в частности, использование подогретых (более 40 °С) гелиокислородных ИДС с различным соотношением гелия и кислорода. В настоящее время реализация данной технологии обеспечивается наличием отечественных дыхательных аппаратов «Ингалит», «Аппарат спасательный водолазно-медицинский» («АСВМ») [3, 4], оснащенных баллонами с сертифицированной гелиокислородной смесью («ГелиОкс») различного состава, например, с содержанием кислорода 25% об., гелия 75% об. («ГелиОкс 25/75»). В связи с высокой теплопроводностью гелия для недопущения переохлаждения организма при дыхании гелиокислородными ИДС дыхательные аппараты осуществляют их предварительный подогрев. В ряде исследований показана эффективность использования подобных смесей для восстановления профессиональной работоспособности военнослужащих, в коррекции пограничных и патологических состояний [4, 5].

При этом в настоящее время доказательных клинико-физиологических исследований, направленных на выявление интимных механизмов позитивного влияния дыхания гелиокислородными ИДС на организм явно недостаточно. В частности, исходя из физических особенностей гелия, можно предположить наличие его оптимизирующего влияния на реологические свойства циркулирующей крови и, как следствие, – улучшение кислородного бюджета организма, ускорение выведения продуктов метаболизма, сни-

жение постнагрузки на миокард и ряд других. Проверка данной гипотезы явилась целью данного исследования.

Материалы и методы

Обследовано 22 добровольцев-мужчин в возрасте 20–30 лет (средний возраст $24,5 \pm 1,2$ года), не имевших медицинских противопоказаний к участию в исследованиях и подписавших добровольное информированное согласие. Исследование состояло из 3 этапов, проводимых через день. На I этапе добровольцы в течение 40 мин дышали подогретым до 45°C воздухом, на II этапе также в течение 40 мин – подогретой до 45° ИДС состава: кислород 25% об., азот 75% об. На III этапе эти же лица осуществляли 40 минутное дыхание ИДС «ГелиОкс 25/75», также подогретых до температуры 45°C .

На всех этапах исследований в период дыхания указанными выше ИДС у испытуемых проводили отбор венозной крови. Отбор проводился в положении добровольца лежа, при температуре воздуха в помещении $22\text{--}23^\circ\text{C}$, в конце каждого из выделенных этапов. Вязкозиметрические исследования проводили непосредственно после отбора крови. Вязкость цельной крови и плазмы определяли по времени их протекания по капилляру вязкозиметра ВК-4 в зависимости от изменения угла наклона капилляра к горизонту [6]. Расчеты значений вязкости цельной крови у обследованных производились при скоростях сдвига (h) 1 c^{-1} , 9 c^{-1} , 25 c^{-1} , 100 c^{-1} , 250 c^{-1} . Вязкость плазмы определяли при скорости сдвига 9 c^{-1} .

Известно, что важнейшим фактором, определяющим неньютоновский характер вязкостных свойств крови является наличие в ней клеточных элементов, прежде всего эритроцитов. Наиболее важной их характеристикой является деформируемость – способность проникать через микрососуды с диаметром меньше их собственного. Деформируемость эритроцитов (ДЭ) связана прежде всего с податливостью их наружной мембраны, а также с высокой текучестью их содержимого. Показатель ДЭ определяли по фильтрационному методу [7].

Статистическую обработку данных выполняли с использованием программ Excel и Statistica. Данные в таблице представляли в виде среднegrupпового значения показателя (М) и его стандартного отклонения (σ). Различия показателей между этапами измерений оценивали по непараметрическому критерию Вилкоксона для парных связанных выборок.

Исследования проведены в соответствии с этическими требованиями, изложенными в Хельсинской декларации 1964 г. и ее пересмотрах 1983 и 2013 гг. Легитимность исследований подтверждена заключением независимого этического комитета.

Результаты и их обсуждение

Гемореологические параметры, зарегистрированные у добровольцев на этапах наблюдения, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Динамика гемореологических показателей добровольцев ($n=22$) при дыхании различными ИДС, М (σ)

Показатель, ед. изм.		Этапы исследования		
		Этап I	Этап II	Этап III
Вязкость цельной крови, МПа $\times$ с	Скорость сдвига 1 c^{-1}	55,2 (2,8), $p=0,024$	56,2 (2,5), $p=0,019$	50,1 (2,8)
	Скорость сдвига 9 c^{-1}	15,4 (1,7), $p=0,049$	16,2 (1,9), $p=0,035$	14,7 (1,0)
	Скорость сдвига 25 c^{-1}	10,8 (0,6), $p=0,054$	10,5 (0,8), $p=0,06$	9,7 (0,7)
	Скорость сдвига 100 c^{-1}	8,2 (0,4), $p=0,038$	8,0 (0,3), $p=0,035$	7,7 (0,5)
	Скорость сдвига 256 c^{-1}	7,5 (0,4), $p=0,035$	7,3 (0,5), $p=0,038$	7,0 (0,1)
Вязкость плазмы, МПа $\times$ с		13,5 (0,7), $p<0,001$	13,7 (0,8), $p<0,001$	12,0 (0,5)
Индекс деформируемости эритроцитов, усл.ед		1,42 (0,04), $p=0,055$	1,40 (0,03), $p=0,049$	1,45 (0,02)

Примечание. Уровень значимости различий по сравнению с III этапом – р.

Как следует из анализа данных, значимых различий оцениваемых параметров между I и II этапами обследования при дыхании подогретым воздухом и подогретой гипероксической азотнокислородной ИДС не определено, что свидетельствовало о незначительном влиянии умеренно повышенного содержания кислорода во вдыхаемой смеси на гемореологию.

При этом в период дыхания ИДС «ГелиОкс 25/75» отмечено статистически значимое (или близкое к таковому) снижение показателей вязкости цельной крови практически на всех скоростях сдвига по сравнению как с дыханием воздухом, так и с дыханием гипероксической азотсодержащей смесью. В среднем в результате перехода на дыхание гелийсодержащей ИДС вязкость цельной крови снижалась примерно на 6–7% по сравнению с дыханием другими использованными смесями.

В еще большей степени дыхание «ГелиОкс 25/75» отразилось на вязкости плазмы добровольцев: снижение показателя по сравнению с I и II этапами исследования составило в среднем около 13–14% (при $p < 0,01$).

Имело место также умеренно выраженное позитивное влияние гелия и на показатель деформируемости эритроцитов, который повысился на 2–3% по сравнению с дыханием безгелиевыми ИДС.

Выводы

Таким образом, одним из биологических эффектов гелийсодержащих ИДС является их специфическое влияние на вязкость и текучесть циркулирующей крови. Выявленные эффекты могут быть использованы в медико-физиологическом сопровождении специалистов опасных профессий, в частности при экстренной коррекции функциональных состояний, проявляющихся в перенапряжении физиологических и физиологических регуляторных механизмов, хроническом стрессе, физическом и умственном переутомлении. Кроме этого, модулирующее влияние гелийсодержащих ИДС на вязкость крови перспективно для применения во вспомогательной терапии заболеваний, в патогенезе которых одним из ключевых звеньев патогенеза является ухудшение реологических свойств крови, в частности, ишемической болезни сердца, гипертонической болезни, сахарном диабете, метаболическом синдроме и других.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оценка эффективности различных вариантов нормобарических гипоксических тренировок для восстановления функциональных возможностей человека / А. Ю. Ерошенко [и др.] // Военно-медицинский журнал. – 2019. – Т. 340, № 2. – С. 58–65.
2. Сравнительная оценка эффективности аргоногипоксических и азотногипоксических тренировок в повышении резистентности человека к транзиторной аноксии / В. Н. Складов [и др.] // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2018. – Т. 52, № 7. – С. 219–223.
3. Исследование физиологических эффектов дыхания подогретыми кислородно-гелиевыми смесями / Б. Н. Павлов [и др.] // Физиология человека. – 2003. – Т. 29, № 5. – С. 69–73.
4. Основы барофизиологии, водолазной медицины, баротерапии и лечения инертными газами / Б. Н. Павлов [и др.]: под. ред. акад. А. И. Григорьева. – М.: Грант Полиграф, 2008. – 496 с.
5. Кислородногелиевая терапия как способ ускорения восстановительных процессов в организме человека после тяжелой физической работы / А. О. Иванов [и др.] // Материалы VI Всероссийской науч.-практ. Конф. «Физическая реабилитация в спорте, медицине и адаптивной физической культуре». – СПб., 2021. – С. 162–167.
6. Тулупов, А. Н. Патогенез и коррекция гемореологических нарушений у больных сепсисом / А. Н. Тулупов: дисс. ... д-ра. мед. наук. – Л., 1991 – 438 с.
7. Федорова, З. Д. Методы исследования агрегации, вязкости и деформируемости эритроцитов: методические рекомендации / З. Д. Федорова. – Л.: ЛИПК, 1989. – 27 с.