

Н. В. Кочубейник¹, Г. Ш. Гафиятуллина¹, Д. А. Чернов²,
А. Н. Обедин³, Т. Е. Онбыш⁴

**ОСОБЕННОСТИ РЕАКТИВНОСТИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
ЦЕРЕБРАЛЬНОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ
ПРИ ПРЕБЫВАНИИ ЧЕЛОВЕКА
В ГИПОКСИЧЕСКИХ СРЕДАХ С НОРМАЛЬНЫМ
И ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ АРГОНА**

ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет»
Минздрава России, г. Ростов-на-Дону, Россия¹

УО «Белорусский государственный медицинский университет»²

ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный медицинский университет»
Минздрава России, г. Ставрополь, Россия³

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный медицинский университет»
Минздрава России, г. Краснодар, Россия⁴

Цель – сравнительная оценка реактивности церебрального кровотока при пребывании человека в идентичных по кислороду гипоксических газовых средах с различным содержанием аргона для подтверждения его антигипоксического эффекта. Обследовано 24 испытуемых-мужчин в возрасте 19–25 лет, разделенных на 2 равные по численности группы. Испытуемые 1-й группы в течение 60 мин находились в газовой среде с содержанием кислорода в азоте 10 % об.; испытуемые 2-й группы – в аналогичной по кислороду среде с содержанием аргона 35 % об. (азот – остальное) также в течение 60 мин. Для исследования показателей церебрального кровообращения была использована методика реоэнцефалографии. Полученные данные показали, что добавление в гипоксическую среду аргона приводит к значительно меньшей централизации кровообращения, чем это наблюдается при пребывании в аналогичных по кислороду «безаргоновых» средах. Данный факт подтверждает антигипоксическую биологическую активность аргона.

Ключевые слова: церебральный кровоток, аргон, гипоксия.

N. V. Kochubeynik, G. Sh. Gafiyatullina, D. A. Chernov,
A. N. Obedin, T. E. Onbysh

**FEATURES OF THE REACTIVITY OF CEREBRAL CIRCULATION
INDICES DURING A PERSON'S STAY IN HYPOXIC ENVIRONMENTS
WITH NORMAL AND INCREASED ARGON CONTENT**

The aim is to conduct a comparative assessment of the reactivity of cerebral blood flow during a person's stay in hypoxic gas media identical in oxygen with different argon content to confirm its antihypoxic effect. A total of 24 male subjects aged 19–25 years were examined, divided into 2 groups of equal size. The subjects of the 1st group were spent for 60 minutes in a gaseous environment with an oxygen content in nitrogen of 10 % vol.; Subjects of the 2nd group – in an environment similar

in oxygen with an argon content of 35 % vol. (nitrogen – the rest) also for 60 minutes. The data obtained showed that the addition of argon to the hypoxic medium leads to significantly less centralization of blood circulation than is observed when staying in oxygen-similar «argon-free» environments. This fact confirms the antihypoxic biological activity of argon.

Key words: cerebral blood flow, argon, hypoxia.

Одним из перспективных способов повышения безопасности эксплуатации герметизируемых обитаемых объектов (ГОО), является создание в их помещениях гипоксических газовых сред (ГГС), существенно снижающих риск возникновения пожаров и возгораний [1, 7]. Учитывая, что такие помещения предполагают постоянное или периодическое пребывание в них персонала, выполнение достаточно интенсивных работ, проведение комплекса научных исследований, направленных на оценку влияния формируемых условий ГГС на функциональное состояние и работоспособность экипажа ГОО, необходимым является внедрение данного метода на перспективные ГОО военного и специального назначения. Результаты таких исследований должны определить пределы регулирования снижения содержания кислорода в ГГС, обеспечивающих сохранение необходимого уровня работоспособности и профессиональной надежности персонала; стать физиологической основой разработки относительно безопасных для человека искусственных газовых сред, снижающих риск возникновения пожаров в помещениях обитаемых гермообъектов.

В ряде исследований показано, что к одному из вариантов снижения неблагоприятного воздействия ГГС на организм является добавление в них аргона, то есть создание аргоносодержащих ГГС (АрГГС) [2, 4]. В указанных и других исследованиях постулируется антигипоксический эффект аргона, позволяющий лучше переносить гипоксическую гипоксию.

Известно, что одним из гомеостатических механизмов, обеспечивающих компенсацию дефицита кислорода в окружа-

ющей газовой среде, является централизация кровообращения, степень которой напрямую определяется выраженностю кислородного голодания и индивидуальной устойчивостью к нему организма [5].

Целью исследования явилась сравнительная оценка реактивности церебрального кровотока при пребывании человека в идентичных по кислороду гипоксических газовых средах с различным содержанием аргона для подтверждения его антигипоксического эффекта.

Материалы и методы

Гипоксические газовые среды с различным содержанием аргона формировали в нормобарическом гипоксическом комплексе, позволявшем создавать и постоянно поддерживать в замкнутом помещении ГГС и АрГГС заданного состава при нормальном барометрическом давлении [6]. В исследованиях приняли участие 24 испытуемых-мужчин в возрасте 19–25 лет, разделенных на 2 равные по численности группы. Испытуемые 1-й группы (12 человек) в течение 60 мин находились в ГГС с содержанием кислорода в азоте 10 % об.; испытуемые 2-й группы – в аналогичной по кислороду АрГГС с содержанием аргона 35 % об. (азот – остальное) также в течение 60 мин.

Для исследования показателей церебрального кровообращения была использована методика реоэнцефалографии, выполняемая с использованием реоэнцефалографов «Карди-2/3» (РФ). Запись реоэнцефалограмм (РЭГ) доминантного полушария головного мозга проводили в фронтомостоидальном отведении в нормоксических

условиях и на 55–60-й мин пребывания в ГГС (АрГГС). Анализировали общепринятые показатели РЭГ [3]: ПП – средний пульсовый приток (реографический индекс, Ом^{-1}); КТН – коэффициент тонического напряжения сосудов (%); ДКИ – дикротический индекс (%); ДСИ – диастолический индекс (%), МП – минутный приток крови в сосуды исследуемой области ($\text{МП} = \text{ПП} * \text{ЧСС} / 10$, усл. ед.). Во всех случаях регистрировали 10 последовательных реографических волн и рассчитывали среднюю величину каждого из этих показателей и их вариабельность (дисперсию) по этим 10 замерам.

Статистическую обработку выполняли на п.п.п. "Statistica". Результаты представлялись в виде медиан (Me) и квартилей (Q25; Q75). Оценку значимости различий проводили по критериям Вилкоксона и Манна – Уитни. Нулевая гипотеза об отсутствии различий отверглась при уровне значимости $p < 0,05$.

Исследования были организованы в соответствии с положениями и принципами

действующих международных и российских законодательных актов, в частности Хельсинской декларации в действующей редакции.

Результаты и обсуждение

Результаты, зафиксированные в исходном состоянии, показали, что у всех испытуемых оцениваемые показатели РЭГ находились в рамках референтных значений [3], межгрупповых различий ни по одному из исследуемых параметров не определялось (табл. 1).

Анализ данных, полученных при пребывании добровольцев в ГГС и АрГГС, позволил выявить ряд закономерностей в реактивности параметров, характеризующих состояние мозгового кровообращения. Одним из основных следствий воздействия на церебральный кровоток дефицита кислорода оказалось высоко статистически значимое увеличение пульсового и минутного притока крови к головному мозгу, повышение

Таблица 1. Показатели реоэнцефалографии у испытуемых при проведении проб с различным содержанием аргона в ГГС, Me (Q25; Q75)

Показатель, единицы измерения	Группа Условия измерения			
	Группа 1 ($n = 12$)		Группа 2 ($n = 12$)	
	Нормоксия	ГГС	Нормоксия	АрГГС
Пульсовый приток, Ом^{-1}	1,30 (1,18; 1,41)	1,92 (1,77; 2,05) $p < 0,001$	1,32 (1,22; 1,42)	1,65 (1,58; 1,82) $p < 0,001$ $p1 = 0,002$
Минутный приток, усл. ед.	8,0 (7,3; 8,9)	13,1 (11,0; 14,0) $p < 0,001$	8,1 (7,5; 9,0)	11,6 (9,8; 12,5) $p < 0,001$ $p1 = 0,003$
Коэффициент тонического напряжения, %	13,0 (11,5; 14,3)	17,2 (16,8; 18,8) $p < 0,001$	13,7 (12,0; 15,1)	16,2 (15,8; 16,9) $p < 0,001$ $p1 = 0,025$
Дикротический индекс, %	58,0 (56,1; 60,1)	65,8 (63,5; 67,2) $p = 0,018$	60,0 (55,1; 64,3)	63,5 (57,3; 65,8) $p = 0,002$ $p1 = 0,036$
Диастолический индекс, %	75,0 (72,4; 77,2)	79,9 (73,5; 81,3) $p = 0,012$	76,3 (73,0; 77,9)	77,8 (75,3; 78,5) $p = 0,005$ $p1 = 0,039$

П р и м е ч а н и е. Уровень значимости различий показателей: p – по сравнению с нормоксией; $p1$ – между группами.

тонуса церебральных артерий (судя по показателям КТН и ДКИ) при параллельном увеличении венозного оттока (прирост ДСИ). Данный факт явился проявлением общей централизации кровообращения и являлся, как указывалось выше, компенсаторной реакцией гемодинамики на выраженную гипоксическую гипоксию, обеспечивая первоочередное снабжение кислородом жизненно важных органов.

При этом выраженность реактивности всех оцениваемых показателей РЭГ на гипоксию оказалась значимо более выраженной в группе 1 (пребывание в «безаргоновой» ГГС). Так, прирост ПП и МП в группе 1 составил в среднем 46 % и 64 % от исходного уровня. В группе 2 изменения аналогичных показателей оказалось высоко статистически значимо меньшим (25 % и 44 %, соответственно). Показатели КТН и ДКИ в группе 1 превышали «нормоксический» уровень, в среднем, на 33 % и 14 %, в группе 2 – лишь на 25 % и 6 %, соответственно. По всем указанным параметрам РЭГ при пребывании добровольцев в гипоксических средах регистрировались значимые межгрупповые различия.

Заключение

Полученные данные показали, что добавление в ГГС аргона приводит к меньшей выраженности компенсаторных гомеостатических реакций в организме, чем это наблюдается при пребывании в аналогичных по кислороду «безаргоновых» ГГС. Данный факт, на наш взгляд, подтверждает антигипоксическую биологическую активность аргона, что может быть использовано при создании пожаробезопасных ГГС на ГОО.

Литература

1. Архипов, А. В., Карпов, А. В., Смурров, А. В., Чумаков, В. В. Обеспечение пожаробезопасности на подводных лодках // Морской сборник. – 2013. – № 3. – С. 2-7.

2. Безкишкий, Э. Н., Иванов, А. О., Ерошенко, А. Ю., Барачевский, Ю. Е., Шатов, Д. В., Танова, А. А., Линченко, С. Н., Грошлин, С. М. Физиологическое обоснование выбора состава искусственных газовых сред, потенциально применимых для повышения пожаробезопасности обитаемых гермообъектов // Экология человека. – 2020. – № 12. – С. 18-27.

3. Витрук, С. К. Пособие по функциональным методам исследования сердечно – сосудистой системы. – Киев: Здоровье, 1990. – С. 24-45.

4. Иванов, А. О., Беляев, В. Ф., Ерошенко, А. Ю., Танова, А. А., Шатов, Д. В., Скляров, В. Н., Грошлин, С. М. Характеристика физиологической адаптации человека при различных режимах пребывания в нормобарических гипоксических средах, снижающих пожаропасность объектов ВМФ // Морская медицина. – 2020. – Т. 6, № 2. – С. 49-58.

5. Ключникова, Е. А., Зайневая, Р. Ш., Антипов, И. В., Ананьев, С. С., Лоханникова, М. А., Аббазова, Л. В., Балыкин, М. В. Изменения системной гемодинамики и церебрального кровообращения у лиц пожилого возраста при действии прерывистой нормобарической гипоксии // Вестник КРСУ. – 2018. – Т. 18, № 9. – С. 47-51.

6. Петров, В. А., Майоров, И. В., Янцевич, П. В., Иванов, А. О. Стенд-модель судовых помещений для моделирования обитаемости и режимов жизнедеятельности «МОРЖ» и его инженерное обеспечение // Вопросы оборонной техники. – 2016. – Вып. 7-8 (97-98). – С. 104-110.

7. Чумаков, В. В. Альтернативные подходы к решению проблемы предотвращения пожаров в герметично замкнутых объемах // Обитаемость кораблей. Обеспечение радиационной и токсикологической безопасности: материалы Межотраслевой науч.-практ. конф. «Кораблестроение в XXI веке: проблемы и перспективы» (ВОКОР-2014), СПб., 2014. С. 115-118.

References

1. Arhipov A. V., Karpov A. V., Smurov A. V., Chumakov V. V. Obespechenie pozharobezopasnosti na podvodnyh lodkah // Morskoy sbornik. – 2013. – № 3. – S. 2-7.

2. Bezkishkij E. N., Ivanov A. O., Eroshenko A. Yu., Barachevskij Yu. E., Shatov D. V., Tanova A. A., Linchenko S. N., Groshilin S. M. Fiziologicheskoe obosnovanie vybora sostava iskusstvennyh gazovuyh sred, potencial'no primenimyh dlya povysheniya pozharobezopasnosti obitaemyh germoob'ektorov // Ekologiya cheloveka. – 2020. – № 12. – S. 18-27.

3. Vitruk S. K. Posobie po funkcional'nym metodam issledovaniya serdechno – sosudistoj sistemy. – Kiev: Zdorov'e, 1990. – S. 24-45.

4. Ivanov, A. O., Belyaev, V. F., Eroshenko, A. Yu., Tanova, A. A., Shatov, D. V., Sklyarov, V. N., Groshilin, S. M. Harakteristika fiziologicheskoy adaptacii cheloveka pri razlichnyh rezhimah prebyvaniya v normobaricheskikh gipoksicheskikh sredah, snizhayushchih pozharoopasnost' ob'ektov VMF // Morskaya medicina. – 2020. – T. 6, № 2. – S. 49–58.
5. Klyuchnikova, E. A., Zajneeva, R. Sh., Antipov, I. V., Anan'ev S. S., Lohannikova M. A., Abbazova, L. V., Balykin M. V. Izmeneniya sistemnoj gemodinamiki i cerebral'nogo krovoobrashcheniya u lic pozhilogo vozrasta pri dejstvii preryvistoj normobaricheskoy gipoksi // Vestnik KRSU. – 2018. – T. 18, № 9. – S. 47–51.
6. Petrov V. A., Majorov I. V., Yancevich P. V., Ivanov A. O. Stend-model' sudovyh pomeshchenij dlya modelirovaniya obitaemosti i rezhimov zhiznedeyatel'nosti «MORZh» i ego inzhenernoe obespechenie // Voprosy oboronnoj tekhniki. – 2016. – Vyp. 7–8 (97–98). – S. 104–110.
7. Chumakov V. V. Al'ternativnye podhody k resheniyu problemy predotvratsheniya pozharov v germetichno zamknutyh ob'emah // Obitaemost' korablej. Obespechenie radiacionnoj i toksikologicheskoy bezopasnosti: materialy Mezhotraslevoj nauch.-prakt. konf. «Korablestroenie v XXI veke: problemy i perspektivy» (VOKOR-2014), SPb., 2014. S. 115–118.

Поступила 20.05.2025 г.