

9. Мусеева О. И. Физиологические механизмы регуляции эритропоэза.— Л.: Наука, 1985.— 183 с.
10. Bray R. C., Cockle S. A., Fielden E. M. et al. Reduction and inactivation of superoxide dismutase by hydrogen peroxide // Biochem. J.— 1974.— 139, N 1.— P. 43—50.
11. Crapo J. P., McCord J. M. Oxygen-induced changes in pulmonary superoxide dismutase assayed by antibody titration // Amer. J. Physiol.— 1976.— 231, N 4.— P. 1196—1203.
12. Ficini M., Oppo G. M., Martelloni M. et al. Interferenze e correlazioni tra la medicina subacquea e i radicali liberi dell'ossigeno // Annali di medicina navale.— 1987.— An. 92, N 2.— P. 221—250.
13. Fridovich I. Superoxide dismutases // Ann. Rev. Biochem.— 1975.— 44, N 1.— P. 147—155.
14. Lohr G. W., Waller H. D. Glucose-6-phosphate dehydrogenase // Methods of Enzymatic Analysis / Ed. by H. U. Bergmeyer.— New York: Acad. press, 1974.— P. 636—638.
15. Persijn J. P., Van Der Slik W., Riethorst A. Determination of serum iron and latent iron-binding capacity (LIBC) // Clin. Chim. Acta.— 1971.— 35, N 1.— P. 91—96.
16. Rose Z. B., Liebowitz J. Direct determination of 2,3-diphosphoglycerate // An. Biochem.— 1970.— 35, N 1.— P. 177—183.

Испытат. Центр подвод. исследований
Поисково-спасат. службы ВМФ
М-ва обороны СССР, Ленинград

Материал поступил
в редакцию 29.12.90

УДК 612.1:612.274

И. А. Сапов, С. Г. Кузьмин, Л. П. Палачева, Н. С. Сухановская

Азотистый обмен у человека при длительном пребывании в условиях гипербарии

Изучение азотистого обмена (АО) у человека (18 мужчин в возрасте 23—36 лет) при длительном (10—25 сут) пребывании в условиях гипербарии (4,1; 4,6 и 5,1 МПа, что соответствует 400, 450 и 500 м) проводили в гидробарокомплексе. При гипербарии для дыхания использовали азотно-гелио-кислородную смесь. Питание обследуемых было регламентировано и включало свежую и консервированную пищу (за основу брался рацион подводников). Для оценки состояния АО в крови определяли концентрацию креатина, мочевины, мочевой кислоты, в суточной моче — общий азот, креатин, аминокислоты, мочевину, аммиак. Результаты показали, что у человека в условиях повышенного давления газовой и водной сред усиливается катаболизм белков за счет преимущественно интенсивной мышечной работы. Опытный рацион, корректировавшийся от испытания к испытанию по результатам исследования, практически полностью удовлетворяет возрастающие потребности организма в белках, о чем свидетельствует стабильное содержание общего белка и его фракций в крови.

Введение

Исследования последних лет, посвященные проблеме длительного пребывания (ДП) человека под повышенным давлением, основное внимание уделяли созданию и апробации режимов компрессии и декомпрессии, изучению некоторых аспектов адаптации человека к условиям гипербарии, определению его работоспособности и разработке других вопросов [1—15, 20, 23, 24]. Изменение азотистого обмена у человека при ДП в условиях гипербарии практически не исследовалось. Цель работы — исследование азотистого обмена у человека в условиях пребывания в гидробарокомплексе (ГБК) под абсолютным давлением 4,1; 4,6; 5,1 МПа, соответствующим глубинам 400, 450 и 500 м.

© И. А. САПОВ, С. Г. КУЗЬМИН, Л. П. ПАЛАЧЕВА, Н. С. СУХАНОВСКАЯ, 1991

Методика

В трех и
В первые
ходились
максима
для дыха
Температ
32,0 °C ± 0
прессии и
ки, осущ
полос и
(табл. 1)
сервирова
По итога
телей в п
биологиче
нием жив
увеличени
ски ценне
сервирова

Таблица

Давление
в ГБК

4,1 МПа
4,6 МПа
5,1 МПа

Таблица
на конце
(±m; n=

Азотис

Креатин
Мочевин
Мочевая
ммоль/л

* P < 0,05

На м
рез кажды
щью комп
Для с
центрации
диацетилм
дом; в су
нин по По
реакции с

Результаты

Концентра
сыворотке
ствовала

Методика

В трех исследованиях участвовали 18 мужчин в возрасте 23—36 лет. В первые (фон) и последние (последствие) сутки обследуемые находились в ГБК под нормальным давлением воздуха. Изопрессия под максимальным давлением продолжалась 10—25 сут. При гипербарии для дыхания испытателей применяли азотно-гелио-кислородную смесь. Температура воздуха в отсеках ГБК в период изопрессии составляла $32,0^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$, а относительная влажность — 40—60 %. Во время изопрессии испытатели работали под водой в гидротанке по 4—6 ч в сутки, осуществляя монтаж конструкций, перепиливание металлических полос и другие работы. Питание обследуемых было регламентировано (табл. 1) и осуществлялось по недельной раскладке меню свежей и консервированной пищи. За основу брался рацион питания подводников. По итогам каждого предыдущего испытания рацион питания испытателей в последующих исследованиях совершенствовался повышением его биологической ценности, использованием продуктов с высоким содержанием животных белков и сбалансированным аминокислотным составом, увеличением доли растительных жиров, витаминов и других биологически ценных веществ, свежих овощей, фруктов, фруктовых соков и консервированных фруктовых компотов.

Таблица 1. Основные элементы рациона питания

Давление в ГБК	Белки, г			Жиры, г			Углеводы, г	Калорийность рациона, ккал
	все	животные	растительные	все	животные	растительные		
4,1 МПа	149	84	65	165	144	21	617	4926
4,6 МПа	178	92	86	177	146	31	711	5327
5,1 МПа	175	117	58	176	140	36	684	5193

Таблица 2. Влияние длительного пребывания (ДП) под давлением 4,1 МПа на концентрацию азотистых компонентов в сыворотке крови обследуемых ($\pm m$; $n=6$)

Азотистый компонент	До ДП под давлением 4,1 МПа (фон)	После ДП под давлением 4,1 МПа	
		2-е сутки	10-е сутки
Креатинин, мкмоль/л	97 $\pm$ 3	111 $\pm$ 4*	103 $\pm$ 3
Мочевина, ммоль/л	4,7 $\pm$ 0,3	4,9 $\pm$ 0,3	6,4 $\pm$ 0,4
Мочевая кислота, ммоль/л	0,44 $\pm$ 0,01	0,34 $\pm$ 0,02*	0,41 $\pm$ 0,02

* $P < 0,05$ по сравнению с фоном

На медицинское обследование отводилось по 0,5 ч ежедневно. Через каждые 7—10 сут проводили обстоятельные обследования с помощью комплекса биохимических и физиологических методик.

Для оценки состояния азотистого обмена в крови определяли концентрацию креатинина по Попперу, мочевины по цветной реакции с диацетилмонооксидом и мочевой кислоты автоматизированным методом; в суточной моче определяли общий азот по Кьельдалю, креатинин по Попперу, аминокислоты по Поппу и Стивенсу, мочевину по цветной реакции с диацетилмонооксидом, аммиак по Малфати.

Результаты и их обсуждение

Концентрация низкомолекулярных азотсодержащих компонентов в сыворотке крови после ДП под давлением 4,1 МПа (табл. 2) соответствовала нормальной физиологической. Вместе с тем в сравнении с

фоном выявлены увеличение концентрации креатинина и уменьшение содержания мочевой кислоты в сыворотке крови. При изопрессии же на 16-е и 22-е сутки концентрация креатинина в сыворотке крови увеличилась в значительно большей мере — на 31 и 57 % соответственно.

Экскреция азотсодержащих компонентов с суточной мочой (табл. 3) характеризовалась статистически достоверным повышением концентрации общего азота (на 16 %) и креатинина (на 48 %), что при одновременном увеличении количества креатинина в сыворотке крови может отражать усиление обмена белков. В период декомпрессии статистически достоверно уменьшалось количество мочевины на фоне неизменного содержания общего азота в моче, что может свидетельствовать о более глубоких изменениях белкового обмена, о преобладании катаболизма над анаболизмом и выведении с мочой продуктов неполного обмена белков. При этом мы ни разу не выявили даже следов белка в моче, что является признаком отсутствия глубокой патологии.

Таким образом, в отличие от результатов исследования, выполненного ранее при ДП под давлением 3,6 МПа, в котором установлено усиление белкового обмена в первые сутки изопрессии, в описываемом

Таблица 3. Влияние испытания под давлением 4,1 МПа на экскрецию азотистых компонентов с суточной мочой обследуемых ($\bar{X} \pm m$; $n=6$)

Азотистый компонент	До пребывания под давлением 4,1 МПа (фон)	Во время пребывания под давлением 4,1 МПа (22-е сутки)	После пребывания под давлением 4,1 МПа (2-е сутки)
Общий азот, ммоль/сут	980 $\pm$ 115	1139 $\pm$ 52*	1012 $\pm$ 160
Мочевина, ммоль/сут	413 $\pm$ 47	487 $\pm$ 21	235 $\pm$ 27*
Креатинин, ммоль/сут	12,6 $\pm$ 1,7	18,6 $\pm$ 1,8*	12,2 $\pm$ 1,2
Аммиак, ммоль/сут	44 $\pm$ 4,8	58 $\pm$ 5	56 $\pm$ 4,2

* $P < 0,05$ по сравнению с фоном

Таблица 4. Влияние испытания под давлением 4,6 и 5,1 МПа на экскрецию (ммоль/сут) азотистых компонентов с суточной мочой испытуемых ($\bar{X} \pm m$; $n=6$ в каждом испытании)

Азотистый компонент	До пребывания под давлением (фон)		Во время пребывания под давлением (12-е сутки)	
	4,6 МПа	5,1 МПа	4,6 МПа	5,1 МПа
Общий азот	893 $\pm$ 128,4	947,7 $\pm$ 99,4	1203 $\pm$ 14,3*	1246,5 $\pm$ 115,8*
Креатинин	14,3 $\pm$ 1,2	15,9 $\pm$ 1,09	13,9 $\pm$ 1,7	18,7 $\pm$ 1,5
Аминоазот	17,9 $\pm$ 1,2	34,2 $\pm$ 7,4	43,0 $\pm$ 4,3*	61,0 $\pm$ 8,4*
Мочевина	344,7 $\pm$ 32,4	387 $\pm$ 41,5	383,3 $\pm$ 10,1	440,0 $\pm$ 24,8
Аммиак	13,4 $\pm$ 3,3	30,0 $\pm$ 2,3	36,5 $\pm$ 6,2	38,4 $\pm$ 1,2
Азотистый компонент	После пребывания под давлением			
	2-е сутки		10-е сутки	
	4,6 МПа	5,1 МПа	4,6 МПа	5,1 МПа
Общий азот	677,2 $\pm$ 69,1	650,8 $\pm$ 84,6	810,5 $\pm$ 105,2	620,1 $\pm$ 101,4
Креатинин	10,6 $\pm$ 2,5	15,1 $\pm$ 1,02	13,4 $\pm$ 1,6	17,1 $\pm$ 1,5
Аминоазот	29,0 $\pm$ 4,5	26,8 $\pm$ 3,5	27,3 $\pm$ 2,5	33,3 $\pm$ 4,7
Мочевина	299,8 $\pm$ 42	312 $\pm$ 10,7	278 $\pm$ 27,2	307 $\pm$ 21,4
Аммиак	28,1 $\pm$ 5,5*	27,8 $\pm$ 1,3	40,8 $\pm$ 2,7	21,0 $\pm$ 3,7

* $P < 0,05$ по сравнению с фоном

нами ис-
обмена с

В
показан
нием ст
крови к
4,6 МПа
ния на «
последей
мочевин
сии под
сыворот
в два ра

Рез
мальных
что при
но увел
блюдал
ски дос
в перио
под на
периода

Тар
воляют
газовой
но за с
тания,
исслед
потреби
держан

I. A. Sap

NITROG
TO THE

Results
perbaric
shown t
aquatic
experime
practical
is eviden

S. M. K

СПИСО

1. Бря
тосг
дици
2. Гри
тел
след
3. Гул
вод
4. Зал
гин.
5. Ир
ств
С. 3
6. Ко
198
7. Ко
щи:

ISSN (

нами исследовании (4,1 МПа) зарегистрировано две волны усиления обмена белков: в середине и конце всего испытания.

В ходе дальнейших исследований под давлением 4,6 и 5,1 МПа показано, что у испытуемых при изопрессии под максимальным давлением статистически достоверно возрастала концентрация в сыворотке крови креатинина и мочевины, причем под максимальным давлением 4,6 МПа концентрация креатинина в течение всего времени пребывания на «грунте» превышала фоновую на 48—73 % ($P < 0,01$). В период последствия также отмечено существенное увеличение концентрации мочевины и креатинина в крови по сравнению с фоном. При изопрессии под максимальным давлением 5,1 МПа концентрация мочевины в сыворотке крови увеличивалась по сравнению с фоновой более чем в два раза.

Результаты исследования суточной мочи в испытаниях под максимальным давлением 4,6 и 5,1 МПа (табл. 4) свидетельствовали о том, что при пребывании испытуемых на «грунте» статистически достоверно увеличивалась экскреция общего азота и аминокислот, а также наблюдалась тенденция к повышению экскреции креатинина. Статистически достоверное повышение экскреции аминокислот с мочой происходило в период выполнения водолазных работ в гидротанке при изопрессии под наибольшим давлением и в первые сутки восстановительного периода.

Таким образом, результаты исследования азотистого обмена позволяют заключить, что у человека в условиях повышенного давления газовой и водной сред усиливается катаболизм белков преимущественно за счет интенсивной мышечной работы. Однако опытный рацион питания, корректировавшийся от испытания к испытанию по результатам исследования, практически полностью удовлетворяет возрастающие потребности организма в белках, о чем свидетельствует стабильное содержание общего белка и его фракций в крови.

I. A. Sapov, S. G. Kuzmin, L. P. Palacheva, N. S. Sukhanovskaya

NITROGENEOUS EXCHANGE IN A MAN DURING LONG EXPOSURE TO THE HYPERBARIC CONDITIONS

Results from studies of nitrogenous exchange in a man during long exposure to the hyperbaric conditions (4.1, 4.6, 5.1 MPa, that corresponds to 400, 450 and 500 m) have shown that catabolism of proteins in man under conditions of high pressure of gas and aquatic environments is intensified due to the primarily intensive muscular work. The experimental ration which has been corrected from test to test by the results of studies practically completely satisfies the increasing demands of the organism in proteins, that is evidenced for by the stable content of total protein and its fractions in blood.

S. M. Kirov Military-Medical Academy, Leningrad

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бранцева Л. А., Михненко А. Е. Некоторые аспекты определения физической работоспособности человека в условиях гипербарии // Косм. биология и авиакосм. медицина.— 1985.— № 4.— С. 124—132.
2. Гриневич В. А. К вопросу использования азота на средних глубинах в режиме длительного пребывания человека под водой // Подводные медико-физиологические исследования.— 1975.— С. 168—171.
3. Гуляр С. А. Функциональные сдвиги в организме человека при пребывании в подводных лабораториях на малых глубинах.— Донецк, 1971.—
4. Зальцман Г. Л., Кучук Г. А., Гургенидзе А. Г. Основы гипербарической физиологии.— Л., 1979.
5. Иряжак Л. И. Эритроциты как объект воздействия измененной газовой среды // Действие измененной газовой среды на живой организм.— Пермь, 1981.— С. 3—10.
6. Кошечев В. С. Экстремальная физиология и индивидуальная защита человека.— М., 1982.
7. Кошечев В. С. Экстремальная физиология, гигиена и средства индивидуальной защиты человека.— М., 1990.

8. Колчинская А. З. Подводные медико-физиологические исследования.— Киев., 1975.
9. Лисовский В. А., Семко В. В., Положенцев С. Д. и др. Некоторые материалы по изучению адаптации человека в условиях гипербарии // Человек и животные в гипербарических условиях.— Л., 1980.— С. 67—74.
10. Сапов И. А. Роль нервной системы в механизме токсического действия кислорода: Автореф. дис. канд.— Л., 1952.
11. Сапов И. А. О механизме токсического действия кислорода на легочную ткань // Бюл. эксперим. биологии и медицины.— 1953 а.— 35, № 3.— С. 40—45.
12. Сапов И. А. К механизму кислородных судорог // Бюл. эксперим. биологии и медицины.— 1953 б.— 35, № 5.— С. 18—23.
13. Сапов И. А., Карев И. С. К механизму биологического действия индифферентных газов при повышенном давлении // Воен.-мед. журн.— 1971.— № 5.— С. 77—81.
14. Сапов И. А., Юнкин И. П., Волков Л. К. Исследование возможности ультразвуковой локализации газовых пузырьков для контроля за декомпрессией водолазов. // Воен.-мед. журн.— 1976.— № 6.— С. 65—68.
15. Физиология подводного плавания и аварийно-спасательного дела.— 2-е изд. / Под ред. И. А. Сапова.— Л., 1986.
16. Кенни Дж. Техника освоения морских глубин / Пер. с англ.— Л., 1977.
17. Bennett P. B. Rapid compression to 2132 ft without incapacitating HPNS // Toun. Soc. Underwater Technol.— 1981.— 7.— P. 19—53.
18. Bennett P. B., Coggin R., McLeod M. Effect of compression rate on use of trimix to ameliorate HPNS in man // Undersea Biomed. Res. 1982.— 9.— P. 335—351.
19. Bennett P. B., McLeon M. Probing the limits of human deep diving // Phil. Trans. Roy. Soc.— 1984.— 304.— P. 105—118.
20. Bert P. La pression barometrique.— Paris, 1878.
21. Chouteau J., Cousteau J., Alinat J. Physiologie. Sur l'adaptation de l'homme à la vie sous-marine en atmosphère comprimée naturelle et synthétique // C. r. Sci.— 1962.— 262.— P. 1962—1965.
22. Hamilton R. W. Psychomotor performance of men in neon and helium at 37 atmospheres // In Proc. of 5-th Symp. on Underwater Physiol. Bethesda.— 1976.—
23. Haldane J. S. Diving Commission Report Admiralty Oxford. 1906.
24. Lambertsen C. J. Effects of oxygen at high partial pressure / W. O. Fenn and H. Rahn Handbook of Physiology.— Washington, 1965.— Sect. 3, Vol. 2: Respiration.— P. 1027—1046.
25. Muleanhy M. Record 686 meters reached in Duck Experimental dive // Sea Technol.— 1981.— 22, N 4.— P. 47.
26. Munsch G. // Operation «Boucablo» Plongees.— 1969.— N 52.— P. 18—22.

ВМА им. С. М. Кирова, Ленинград

Материал поступил
в редакцию 29.12.90

УДК 612.1:612.274(045)

Т. И. Рыжова, С. И. Ганенко, А. А. Поваженко, Н. С. Сухановская

Влияние факторов гипербарии на биохимические и гематологические показатели у крыс (in vivo) и человека (in vitro)

Исследованы показатели перекисного окисления липидов (ПОЛ) и эритропоза у беспородных крыс при длительном пребывании в кислородно-гелиевой среде под давлением 6,1 МПа и парциальном давлении кислорода (pO_2) 40 и 60 кПа. Установлено, что пребывание в гипербарической среде при pO_2 60 кПа способствует увеличению активности ферментов ПОЛ, но адекватного увеличения активности антиоксидантных ферментов не вызывает. Показано, что декомпрессия образцов крови при исходном давлении 5,1 МПа в течение 50 мин существенно не влияет на исследуемые биохимические и гематологические показатели.

Введение

Длительное пребывание (ДП) водолазов в условиях гипербарии сопряжено с реальной возможностью токсического влияния кислорода, индуцирующего развитие патологических изменений в различных ор-

© Т. И. РЫЖОВА, С. И. ГАНЕНКО, А. А. ПОВАЖЕНКО, Н. С. СУХАНОВСКАЯ, 1991

ганах и тка
ского гене
ном уровня
нием липид
зи с этим,
ских состоя
ПОЛ мемб
казателей
роцитов.

По впе
барической
эксперимен
ряда факто
низма in vi
нение пред
ных газов
токсическо
наиболее а
лабораторн
у этого ви
близки к р

Прове
имитацион
лением сви
с последст
Декомпрес
териала п
интенсивн
раженност
и гематол
процесса
сомнение
ма требу

Методика

Исследов
ментальн
зованы б
ная груп
вотных.

Уточн
лородно-
влияния
эксперим
под макс
стью пре
осуществ
среде ба
во второ
коза жи
разцы кр
чало в с
активнос
дегидрог
2,3-бифо
и средне

Для
матологи
возрасте
кровь в