

2. Горбенко Ю. А., Крышев И. И. Статистический анализ динамики морской экосистемы микроорганизмов.— Киев: Наук. думка, 1985.— 144 с.
3. Иммунологические методы / Под ред. Х. Фримеля: Пер. с нем.— М.: Мир, 1979.— 516 с.
4. Лабораторные методы исследования в клинике / Под ред. В. В. Меншикова.— М.: Медицина, 1987.— 368 с.
5. Маркиз Р., Мацумура П. Жизнь микроорганизмов в условиях повышенного давления // Жизнь микробов в экстремальных условиях / Под ред. Д. Кашнера: Пер. с англ.— М.: Мир, 1981.— С. 124—185.
6. Alcock S. R. Acute otitis externa in divers working in the North Sea: a microbiological survey of seven saturation dives // J. Hyg. (Cambridge).— 1977.— 78, № 6.— P. 395—408.
7. Feigin R. D., Shackelford P. G., Choi S. C. et al. Nitroblue tetrazolium dye test as an aid in the differential diagnosis of febrile disorders // J. Pediatr.— 1971.— 78, № 2.— P. 230—236.
8. Godecken J., Gohr L., Schmidt K. Safety aspects in design and operation practice of GKSS Underwater Simulation Plant GUSI // Espace et mer: Colloq. Marseille, 24—27 nov. 1987.— Paris, 1988.— P. 155—159.
9. Nichols G., Goad R. F., Page B. Skin antiseptic during steady state hyperbaric exposure and subsequent decompression // Undersea Biomed. Res.— 1983.— 10, № 2.— P. 115—122.
10. Paciorek J. A. Immunoglobulin production and maintenance during a 350 MSW working saturation chamber dive // Ibid.— 1984.— 11, № 1.— Suppl. 57.— P. 37.

Испыт. центр подвод. исследований
Понсково-спасат. службы ВМФ, Ленинград

Материал поступил
в редакцию 29.12.90

УДК 612.014.41:616.1/8

С. И. Титков, В. Л. Уставщиков, А. Е. Кругляк, В. Ф. Ковалев

Состояние основных функциональных систем человека после длительного пребывания в гипербарической среде

После длительного пребывания (ДП) в гипербарической среде под давлением 4,6 МПа у акванавтов основные сдвиги отмечаются в нервной (астеноневротические расстройства с вегетативно-сосудистым компонентом), сердечно-сосудистой (гиперкинемия миокарда, реполяризационные нарушения) и дыхательной (снижение жизненной емкости легких — ЖЕЛ, объема форсированного выдоха — ОФВ₁) системах. Динамика восстановления носит двухфазный характер: симптомы астенизации исчезают к 10-м суткам, параллельно увеличивается дисбаланс вегетативного гомеостаза. Восстановление происходит к 30-м суткам периода последствия. При многолетней профессиональной деятельности у акванавтов в дыхательной и сердечно-сосудистой системах появляются приспособительные нарушения (увеличение ЖЕЛ, максимальной скорости выдоха) и дизадаптационные нарушения (снижение бронхиальной проходимости, развитие системной артериальной гипертензии).

Введение

Разработка и внедрение в практику глубоководных погружений метода ДП привели к существенному изменению комплекса факторов гипербарической среды обитания, появлению экстремальных воздействий, не имеющих аналогов при кратковременных спусках, а следовательно, к качественно новым ответным реакциям организма. До настоящего времени при изучении закономерностей реагирования организма человека и животных на ДП в гипербарических условиях основное внима-

© С. И. ТИТКОВ, В. Л. УСТАВЩИКОВ, А. Е. КРУГЛЯК, В. Ф. КОВАЛЕВ, 1991

ISSN 0201-8489. Физиол. журн. 1991. Т. 37, № 4

7—1-331

97

ние уделялось сдвигам, наблюдавшимся непосредственно во время пребывания в условиях повышенного давления [2—4, 6, 7, 9, 11]. В то же время проблеме последствий и отдаленных последствий многолетней профессиональной деятельности акванавтов в литературе не уделено должного внимания [1, 5, 8], что послужило основанием для проведения данного исследования.

Цель работы — изучение характера сдвигов и нарушений в основных функциональных системах организма (нервной, дыхательной, сердечно-сосудистой) в ближайшие сроки после ДП акванавтов в гипербарической среде на глубинах 460 м и отдаленных последствий.

Методика

Исследование проводили в двух направлениях. По первому направлению изучали функциональное состояние организма 18 акванавтов до и в различные сроки после ДП в гипербарической среде (1—5-е, 10—15-е и 30-е сутки). Условия гипербарии создавали в барокамере при имитации погружений на глубины до 460 м. Исходным материалом по второму направлению было углубленное клиническое обследование в стационарных условиях 86 акванавтов, которых в зависимости от профессионального стажа разделили на три подгруппы: А — стаж до 1000 спусковых часов, В — от 1000 до 3000 спусковых часов и С — более 3000 спусковых часов. Возрастной состав профессиональных групп А, В, С был однороден. Комплексное клинко-физиологическое исследование включало обследование акванавтов следующими врачами-специалистами: терапевтом, невропатологом, отоларингологом, офтальмологом, хирургом, дерматологом, стоматологом, а также анализ их крови и мочи. Исследование функционального состояния нервной системы включало: оценку самочувствия, по данным специально разработанной анкеты, психофизиологические и психологические методики, определение электропроводности биологически активных точек (БАТ). Для изучения состояния вегетативного гомеостаза применяли метод математического анализа ритма сердца по Баевскому. Исследование функционального состояния сердечно-сосудистой системы проводили по следующим методикам: электрокардиографии, механокардиографии по Савицкому, спирометрии, ортостатической пробе, импедансной плетизмографии голени при постуральных реакциях. Функциональное состояние системы внешнего дыхания изучали с помощью спирографии и пневмотахометрии. Методику спирографии, анализ и оценку показателей проводили в соответствии с рекомендациями ВНИИ пульмонологии МЗ СССР.

Результаты и их обсуждение

При фоновом обследовании акванавтов перед «погружением» не выявлено каких-либо существенных отклонений от физиологической нормы. В первые сутки после «погружения» у всех акванавтов были зарегистрированы жалобы на общую слабость, повышенную утомляемость при незначительных физических нагрузках, повышенную потливость в области подмышечных впадин, ладоней и стоп, боли в икроножных мышцах, усиливающиеся при ходьбе. В субъективной симптоматологии доминировали диссомнические и пресомнические расстройства. Сон был поверхностным с затрудненной фазой засыпания, после пробуждения сохранялось чувство усталости с умеренно выраженной общей слабостью. При неврологическом обследовании у всех акванавтов наблюдались неустойчивость в позе Ромберга, тремор пальцев вытянутых рук и век, гипергидроз. По результатам психологического исследования (тест «уровень невротизации и психопатизации») наблюдалось повышение индекса невротизации, а индекс психопатизации не отличался от фонового.

При функциональном исследовании сердечно-сосудистой системы (1—2-е сутки) были зарегистрированы нарушения биоэлектрической

активности
тропной
(снижении
тахеоосцил
ского ар

Пока
циях по
щей и до
вегетатив
рии хара
ческой не
ционной
сового уз
гуляции
пробе и
ных точк

Таки
судистой
ротическ
фоне выр
системы
снижения
максимал
выдоха
рушении

При
живался
указанны
ления ас
купиров
сутки от
ных сдви
лерантно
артериал
ми иссле
ствия) б
нормализ
системы
у некотор
чений по
К 30-м с
тели иссл
установл
последст
сосудист
всего орг
в услови

Фун
зультата
кими зна
при нор
ОФВ₁), с
декса Т
симально
5,96 л/с
ского по

Выя
хания от
одионапр
телей, ха
Тиффно,

ISSN 0201-

активности миокарда, которые проявлялись в виде увеличения хронотропной активности синусового узла, реполяризационных изменений (снижение зубца Т, обычно диффузного характера). По результатам тахоосциллографии, отмечалось умеренное повышение среднединамического артериального давления.

Показатели импедансной плетизмографии при постуральных реакциях по сравнению с фоновыми свидетельствовали об увеличении общей и дополнительной вместимости венозного русла голени. Состояние вегетативного гомеостаза в первые сутки после длительной гипербарии характеризовалось умеренным преобладанием влияния симпатической нервной системы. Об этом свидетельствовали результаты вариационной пульсометрии — возрастание хронотропной активности синусового узла, повышение активности симпатического отдела системы регуляции ритма сердца, а также учащение пульса при ортостатической пробе и возрастание общей электропроводности биологически активных точек.

Таким образом, результаты исследований нервной и сердечно-сосудистой систем свидетельствовали о развитии у акванавтов астеноневротического синдрома с вегетативно-сосудистыми расстройствами на фоне выраженного утомления. Изменения в функциональном состоянии системы внешнего дыхания проявлялись в виде уменьшения $ОФВ_1$, снижения индекса Тиффно. Одновременно с этим отмечалось снижение максимальной вентиляции легких (МВЛ) и максимальной скорости выдоха ($M_{вд}$). Характер выявленных сдвигов свидетельствовал о нарушении бронхиальной проходимости по обструктивному типу.

При повторном обследовании акванавтов (10—15-е сутки) прослеживался двухфазный характер восстановления нарушенных функций указанных систем организма. Так, субъективные и объективные проявления астеноневротического синдрома к 3—5-м суткам либо полностью купировались, либо заметно ослабевали. Вместе с тем, на 10—15-е сутки отмечалось заметное усиление симпатикотонических вегетативных сдвигов, что выражалось появлением тахикардии, снижением толерантности к физической нагрузке, увеличением среднединамического артериального давления. В эти сроки по сравнению с предшествующими исследованиями (фоновые данные, 1—2-е сутки периода последствия) были зарегистрированы возрастание индекса психопатизации и нормализация индекса невротизации. Выявленные сдвиги в состоянии системы внешнего дыхания отличались стабильностью. К 15-м суткам у некоторых акванавтов даже отмечалась тенденция к уменьшению значений показателей вентиляции — $ОФВ_1$, индекса Тиффно, МВЛ, $M_{вд}$. К 30-м суткам восстановительного периода состояние здоровья, показатели исследованных функциональных систем не отличались от таковых, установленных в период до «погружения». При изучении отдаленных последствий основное внимание было уделено дыхательной и сердечно-сосудистой системам, играющим ведущую роль в жизнеспособности всего организма и определяющим работоспособность при нахождении в условиях гипербарии.

Функциональное состояние внешнего дыхания акванавтов, по результатам спирографии и пневмотахометрии, характеризовалось высокими значениями показателей ЖЕЛ ($104,1\% \pm 1,05\%$ должной ЖЕЛ) при нормальных средних значениях $ОФВ_1$ ($99,6\% \pm 7,45\%$ должной $ОФВ_1$), с чем было связано относительно низкое среднее значение индекса Тиффно ($ОФВ_1/ЖЕЛ — 76,9\% \pm 0,88\%$). Превалирование максимальной скорости вдоха ($M_{вд} — 6,85\text{ л/с} \pm 0,116\text{ л/с}$) над $M_{вд} — 5,96\text{ л/с} \pm 0,078\text{ л/с}$ — обусловило низкое значение пневмотахометрического показателя (ПТМ — $0,86 \pm 0,019$).

Выявлена зависимость функционального состояния внешнего дыхания от профессионального стажа. Так, с ростом стажа отмечалось однонаправленное увеличение ЖЕЛ, в то время как динамика показателей, характеризующих бронхиальную проходимость ($ОФВ_1$, индекс Тиффно, $M_{вд}$), носила двухфазный характер. Вначале происходило

параллельное увеличение ЖЕЛ и бронхиальной проходимости, однако в группе стажированных акванавтов (стаж более 3000 спусковых часов) наблюдалось уменьшение значений показателей бронхиальной проходимости ($P < 0,05$), причем у части обследованных — до значений, близких к патологическим.

Основные показатели центральной гемодинамики акванавтов имели следующие особенности. У акванавтов преобладал гипокинетический тип циркуляции крови, обусловленный низкими значениями ее ударного объема и брадикардией. Сопротивление сосудов прекапиллярного русла достаточно адекватно соответствовало фактическому минутному объему кровообращения (отношение удельного периферического сопротивления к рабочему периферическому сопротивлению составляло $101,1 \% \pm 1,07 \%$), поэтому среднединамическое давление не выходило за пределы нормальных значений ($82,9 \text{ мм рт. ст.} \pm 1,06 \text{ мм рт. ст.}$). Тем не менее, около 25 % обследуемых акванавтов имели среднединамическое и боковое давление выше возрастного предела, 8,3 % — повышенное конечно-систолическое давление. С ростом профессионального стажа происходило увеличение удельного периферического сопротивления, среднединамического, бокового и конечно-систолического давления при сохранении гиподинамической направленности гемодинамики. При этом в группе С (стаж более 3000 спусковых часов), зарегистрировано не только увеличение абсолютных значений указанных показателей, но и относительного числа (%) людей с превышением условной нормы ($P < 0,05$).

Биелектрическая активность миокарда акванавтов, по результатам электрокардиографического обследования, имела следующие особенности. У 33,3 % людей отмечались электрокардиографические изменения в виде синдромов гипертрофии левого желудочка (14,3 %), неполной блокады правой ножки пучка Гиса (13,1 %) и диффузных мышечных изменений (5,9 %). Синдром гипертрофии левого желудочка отмечался только у акванавтов с повышенным артериальным давлением, а синдром диффузных мышечных изменений — у людей с тонзиллогеной кардиомиодистрофией. Таким образом, характер электрокардиографических изменений в основном отражал ведущую патологию обследуемых. Выявлена зависимость амплитудных характеристик электрокардиограммы от профессионального стажа: с ростом профессионального стажа отмечалось уменьшение суммарной амплитуды зубцов Р и Т в стандартных отведениях ($P < 0,05$).

На основании изложенных результатов представляется возможным предложить следующую гипотетическую модель развития отдаленных последствий. Гипербарическая среда обитания — многофакторна и вызывает разнообразные специфические и неспецифические ответные реакции. К одним из важнейших факторов, обуславливающих специфическое действие гипербарии, следует отнести повышенную плотность газовой среды. Под влиянием плотности увеличивается сопротивление воздухопроводящих путей, их динамическая обструкция, что в конечном итоге приводит к повышению внутриальвеолярного давления и растяжению эластической ткани легких. После длительного пребывания в среде с повышенной плотностью возможно развитие обратимой, а при многолетнем воздействии — стойкой деформации эластических структур легких. Последняя снижает эластическую отдачу, а следовательно, и скорость выдоха в компоненте, не зависящем от мышечного усилия. Действием этого патофизиологического механизма можно объяснить снижение скоростных показателей выдоха у акванавтов с большим профессиональным стажем.

Помимо специфического действия факторов гипербарической среды обитания, следует выделить неспецифический компонент ответной реакции организма, обусловленной перенапряжением нейрорегуляторных механизмов. Систематическое многолетнее воздействие экстремальными факторами гипербарической среды обитания может приводить не только к перенапряжению, но и к срыву регуляции сосудисто-

го тонуса с развитием нейроциркуляторной дистонии по гипертоническому типу или гипертонической болезни.

Таким образом, систематическое многолетнее комплексное воздействие факторами, характерными для профессиональной деятельности акванавтов, приводит к появлению в дыхательной и сердечно-сосудистой системах приспособительных (увеличение ЖЕЛ, максимальной скорости вдоха) и патологических (снижение бронхиальной проходимости, развитие системной артериальной гипертензии) изменений. Это определяет необходимость дальнейших исследований по совершенствованию методов медицинской реабилитации, направленной не только на восстановление нарушенных функций, но и на поддержание на высоком уровне профессиональной деятельности акванавтов.

S. I. Titkov, V. L. Ustavshchikov,
A. E. Kruglyak, V. F. Kovalev.

THE STATE OF MAIN FUNCTIONAL SYSTEMS OF MEN AFTER LONG EXPOSURE TO HYPERBARIC CONDITIONS

The exposure of divers to hyperbaric conditions under pressure of 4.6 MPa induced development of astheno-neurotic disorders with cardiovascular component against a background of pronounced fatigue. A decrease of the pulmonary ventilation function in the form of bronchial obstruction syndrome was observed as well. On the 10-15th day of the postdiving period asthenia phenomena extinguished and the pulmonary function tended to restoration. On the 30th day of postdiving period all the functional systems were normalized. The professional activity of divers for many years gives rise to the formation of adaptive reaction (increase of vital capacity of lungs and maximal ventilation of lungs), on the one hand, and to pathological disorders, such as arterial hypertension and bronchial obstruction syndrome, on the other hand.

Research Institute of Sea Transport Hygiene
Ministry of Public Health of the USSR, Leningrad

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданов В. Р. Результаты исследования центральной нервной системы при погружениях на глубины 250 и 300 м // Косм. биология и авиакосм. медицина: Тез. докл. IX Всесоюз. конф. — М.; Калуга, 1990. — С. 22—23.
2. Гуляр С. А., Ильин В. Н. Действие факторов гипербарической среды на центральную нервную систему // Физиол. журн. — 1987. — 33, № 6. — С. 86—98.
3. Гуляр С. А. Транспорт респираторных газов при адаптации человека в гипербарии. — Киев: Наук. думка, 1988. — 260 с.
4. Зальцман Г. Л., Кучук Г. А., Гургенидзе А. Г. Основы гипербарической физиологии. — Л.: Наука, 1979. — 221 с.
5. Карева Т. А., Фотина Л. А., Буйлов С. Л. и др. Функциональное состояние организма человека в реадаптационный период после воздействия гипербарии // Косм. биология и авиакосм. медицина: Тез. докл. IX Всесоюз. конф. — М.; Калуга, 1990. — С. 81—82.
6. Организм человека и подводная среда / С. А. Гуляр, Б. А. Шапаренко, Ю. Н. Киклевич и др. — Киев: Наук. думка, 1977. — 182 с.
7. Селивра А. И. Гипербария // Физиология кровообращения: Регуляция кровообращения (Руководство по физиологии). — Л., 1986. — С. 480—493.
8. Титков С. И., Уставщиков В. Л., Кругляк А. Е., Рождественская Е. Н. Влияние длительного пребывания в гипербарических условиях на состояние основных функциональных систем человека // Косм. биология и авиакосм. медицина: Тез. докл. IX Всесоюз. конф. — М.; Калуга, 1990. — С. 190—191.
9. Медицинские проблемы подводных погружений: Пер. с англ. / Под ред. П. Б. Беннетта, Л. Г. Эллиотта. — М., 1988. — 284 с.
10. Coteg G. E., Davey J. S., Reed G. W., Looks M. Respiratory effects of a single Saturation dive to 300 m // Brit. G. Industr. Med. — 1987. — 44, N 2. — P. 76—82.
11. Eckewhoff R. G., Knight D. R. Cardiac arrhythmias and heart rate changes in prolonged hyperbaric air exposures // Undersea Biomed. Res. — 1984. — 11, N 4. — P. 355—367.

Науч.-исслед. ин-т гигиены морского транспорта
М-ва здравоохранения СССР, Ленинград

Материал поступил
в редакцию 29.12.90