

УДК [612.14:612.235]:616-001.11

СОСТОЯНИЕ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЯХ ВНУТРИСОСУДИСТОГО ДЕКОМПРЕССИОННОГО ГАЗООБРАЗОВАНИЯ ПОСЛЕ ПОВТОРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ПОВЫШЕННОГО ДАВЛЕНИЯ ВОЗДУХА

© 2008 г. А. А. Мясников, Д. П. Зверев, А. Ю. Шитов, В. И. Чернов,
А. Н. Андрусенко

Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова, г. Санкт-Петербург

В последние годы в России изменилась структура погружений под воду. Все больше как водолазов-профессионалов, так и аквалангистов-любителей осуществляют повторные спуски в течение суток. Это связано с изменением характера труда водолазов (небольшие объемы работ на относительно малых глубинах) и с особенностями любительского подводного плавания (дайвинга) [5, 13]. Для дайверов характерны длительные перерывы в погружениях (3–5 месяцев), которые сменяются многократными спусками в течение 7–14 суток подряд. Кроме того, в процессе перехода на рыночные отношения нарушилась организация медицинского обеспечения спусков под воду: в большой доле случаев медицинского работника (врача, фельдшера) нет на месте проведения работ и заболевший водолаз (дайвер) осматривается спецфизиологом (водолажным врачом) только через несколько суток после начала заболевания.

Все это ставит перед гипербарической медициной новые задачи, одной из которых является выявление динамики функционального состояния различных систем организма после повторных погружений [14].

Целью исследования была оценка состояния функций сердечно-сосудистой системы (ССС) человека и уровня внутрисосудистого декомпрессионного газообразования (УВГ) при повторном воздействии повышенного атмосферного давления.

Методика исследования

В исследовании приняли участие 30 человек, мужчины в возрасте от 20 до 40 лет, годные по состоянию здоровья к спускам под воду, имеющие водолазную квалификацию — лёгководлаз. Общее время пребывания под повышенным давлением до настоящего исследования каждого испытуемого не превышало 10 часов. Испытуемые не имели в анамнезе специфической водолазной патологии.

После оценки исходного состояния ССС испытуемые были разделены на две равнозначные группы. Испытуемых, отнесенных к первой группе, подвергали многократному воздействию повышенного давления воздуха, которое осуществлялось в поточно-декомпрессионной камере (ПДК-2) следующим образом: повышение давления сжатым воздухом до 0,2 МПа (10 м вод. ст.), за 2–3 минуты до «грунта»; экспозиция 60 минут. Декомпрессия продолжительностью 5 минут проводилась по следующему режиму: переход до первой остановки на 4 м в течение 1 минуты, выдержки на остановках: 4 м (2 минуты), 2 м (2 минуты). Повторный спуск: компрессия сжатым воздухом до 0,2 МПа (10 м вод. ст.), 2–3 минуты до «грунта»; экспозиция 20 минут. Декомпрессия продолжительностью 4 минуты проводилась по следующему режиму: переход до первой остановки на 2 м в течение 1 минуты, выдержка на остановке 2 м (3 минуты). Интервал между погружениями составлял 100 минут.

Целью исследования была оценка состояния функций сердечно-сосудистой системы человека и уровня внутрисосудистого декомпрессионного газообразования при повторных воздействиях повышенного давления воздуха. У 30 испытуемых регистрировали показатели состояния функций сердечно-сосудистой системы и уровень внутрисосудистого декомпрессионного газообразования до и после однократного и повторного «спуска» в барокамере на глубину 10 и 30 метров. Определяли частоту сердечных сокращений, систолическое, диастолическое артериальное давление, проводили электрокардиографическое и ритмокардиографическое исследования. Выявлено, что под влиянием однократного воздействия повышенного давления воздуха происходит смещение вегетативного баланса в сторону парасимпатического отдела, проявляющееся брадикардией, снижением ударного объема сердца, минутного объема кровообращения и увеличением мощности спектра variability сердечного ритма. Повторное воздействие повышенного давления приводит к снижению вагусного влияния на сердечно-сосудистую систему и увеличивает риск возникновения декомпрессионной болезни.

Ключевые слова: повышенное давление, сердечно-сосудистая система, декомпрессионная болезнь.

Испытуемых второй группы подвергали воздействию повышенного давления воздушной среды следующим образом: повышение давления сжатым воздухом до 0,4 МПа (30 м вод. ст.), за 1–2 минуты до 0,2 МПа и за 2–3 минуты до «грунта»; экспозиция 60 минут. Декомпрессия продолжительностью 61 минута проводилась по следующему режиму: переход до первой остановки на 18 м в течение 1 минуты, выдержки на остановках: 18 м (2 минуты), 16 м (4 минуты), 14 м (5 минут), 12 м (5 минут), 10 м (6 минут), 8 м (6 минут), 6 м (8 минут), 4 м (10 минут), 2 м (14 минут). Повторный спуск: компрессия сжатым воздухом до 0,4 МПа (30 м вод. ст.), за 1–2 минуты до 0,2 МПа и за 2–3 минуты до «грунта»; экспозиция 20 минут. Декомпрессия продолжительностью 105 минут проводилась по следующему режиму: переход до первой остановки на 12 м в течение 2 минут, выдержки на остановках: 12 м (2 минуты), 10 м (13 минут), 8 м (15 минут), 6 м (18 минут), 4 м (23 минуты), 2 м (32 минуты). Интервал между погружениями составлял 100 минут. Декомпрессия при всех спусках проводилась по удлинённому режиму для данной глубины и экспозиции в связи с малой тренированностью испытуемых согласно требованиям ПВС ВМФ-2002.

После каждого спуска у испытуемых повторно оценивали состояние ССС, результаты сравнивались с исходными данными; также оценивался УВГ по шкале Спенсера в модификации Л. К. Волкова с вычислением единой оценки в баллах [1].

Для оценки состояния сердечно-сосудистой системы испытуемых определяли частоту сердечных сокращений (ЧСС), систолическое (САД), диастолическое (ДАД) артериальное давление, проводили электрокардиографическое (ЭКГ) и ритмокардиографическое, с частотным анализом variability сердечного ритма (ВСР), исследования. Рассчитывали пульсовое давление (ПД), ударный объем сердца (УОС) по Старру; минутный объем кровообращения (МОК); периферическое сопротивление сосудов (ПСС); индекс кровообращения (ИК), характеризующий степень обеспечения организма кровью; вегетативный индекс (ВИ) Кердо [4].

Электрокардиографическое исследование проводили на аппаратно-программном комплексе «Валента» (Россия) в 12 отведениях: стандартных, усиленных (по Гольдбергу), грудных однополюсных (по Вильсону) — в положении лежа, на спине, в покое (после 10-минутного отдыха) и на вдохе. Записывали по 5–6 сердечных циклов при скорости движения бумаги 25 мм в секунду. Анализ электрокардиограмм производили согласно общепринятой схеме [8].

Ритмокардиография (5-минутная запись электрокардиограммы) с частотным анализом variability сердечного ритма выполнялась на аппаратно-программном комплексе «Валента». Запись ЭКГ осуществляли в I или II стандартных отведениях. Учитывали общую мощность спектра ВСР (TP — total power), уровень волн высокой частоты (HF —

high frequency waves, 0,15–0,40 Гц), волн низкой частоты (LF — low frequency waves, 0,04–0,15 Гц), их нормированную мощность, индекс вагосимпатического взаимодействия (LF/HF), а также отношение числа RR-интервалов, отличающихся от соседних более чем на 50 мс, к общему числу RR-интервалов, выраженному в процентах (pRR50). При оценке результатов использовали нормативы, рекомендованные группой Европейского общества кардиологии и Североамериканского общества кардиостимуляции и электрофизиологии [16].

Для локации газовых пузырьков в кровотоке использовалась ультразвуковая установка БАЗ.836.003 (СКТБ «Биофизприбор»), работающая на основе принципа Доплера с накожным совмещенным датчиком, рабочей частотой ультразвука 5 МГц и слуховой индикацией сигнала кровотока. Локация газовых пузырьков осуществлялась у испытуемых в положении лежа на спине во II–IV межреберьях слева от грудины (в проекции осевого кровотока легочной артерии).

При анализе полученных данных решались такие задачи, как описание исследуемых параметров в группах и оценка значимости различия количественных показателей при воздействии повышенного давления воздушной среды. В ходе исследования применялись следующие процедуры и методы статистического анализа: определение числовых характеристик переменных (описательная статистика); оценка соответствия эмпирического закона распределения количественных переменных теоретическому закону нормального распределения по критерию Колмогорова — Смирнова; оценка значимости различий количественных показателей в независимых выборках по критерию Стьюдента и U критерию Манна—Уитни (Mann-Whitney U Test); оценка значимости различий количественных показателей в связанных выборках по критерию Вилкоксона (Wilcoxon Matched Pairs Test). При этом использовались стандартные методики, широко освещенные в литературе [7, 11, 15].

Для проведения статистического анализа и моделирования использовался IBM-совместимый компьютер класса Pentium-IV с объемом ОЗУ 256 Мб и тактовой частотой 2 400 МГц в стандартной конфигурации. В исследовании использовались пакеты прикладных программ: Statistica for Windows 5.5 (6.0) — для статистического анализа, MS Office 2000 и Excel — для организации и формирования матрицы данных, подготовки таблиц.

При проведении исследования исходили из требований руководящих документов по организации работ с сосудами, находящимися под повышенным давлением [9, 10], и руководствовались основными положениями Женевской конвенции, а также основными положениями «Биоэтических правил проведения исследований на человеке и животных в авиационной, космической и морской медицине» [2].

Результаты и обсуждение

Однократное воздействие повышенного давления воздуха, равного 0,2 МПа и 0,4 МПа, вызывало значительное снижение ЧСС, МОК, ИК, а также увеличение ПСС у всех испытуемых. После однократного воздействия повышенного давления несколько снизилось САД, а также возникло значительное увеличение уровня ДАД (особенно у испытуемых первой группы). При этом достоверных различий между полученными показателями при однократном воздействии повышенного давления воздуха в 0,2 и 0,4 МПа выявлено не было. Обращает на себя внимание сдвиг после однократного воздействия повышенного давления баланса вегетативной нервной системы в сторону парасимпатического отдела (табл. 1).

При анализе электрокардиограмм выявлено резкое увеличение после однократного воздействия повышенного давления воздуха количества испытуемых с синдромом синусовой брадикардии и тенденция к увеличению количества испытуемых с синдромом ранней реполяризации желудочков как в первой, так и во второй группах (табл. 2).

Частотный анализ ВСР показал увеличение ТР, абсолютной и нормированной мощности HF-волн, pRR50, значительное снижение индекса LF/HF, что также свидетельствует об активации парасимпатического отдела вегетативной нервной системы (табл. 3). У испытуемых обеих групп после однократного спуска УВГ был равен 0 баллов (отмечался нормальный неискаженный фоновый сигнал кровотока, сигналы от газовых пузырьков не регистрировались).

При повторном воздействии повышенного давления воздушной среды указанные показатели как в первой, так и во второй группах возвращались к исходным данным (ЧСС, УОС, МОК, ПСС, ВИ Кердо, ТР, HF, pRR50) или имели тенденцию к возвращению (нормированная мощность HF и LF волн, LF/HF), что свидетельствует о снижении парасимпатического влияния на ССС по сравнению с таковым после однократного воздействия.

При повторном воздействии повышенного давления, равного 0,4 МПа (30 м вод. ст.), у одного испытуемого наблюдалось нарушение ритма сердца по типу миграции суправентрикулярного водителя ритма. Значимых различий в показателях функции ССС у испытуемых первой и второй групп после повторного воздействия повышенного давления не выявлено.

У испытуемых первой группы декомпрессионное внутрисосудистое газообразование после повторного водолазного спуска составляло 0 баллов, у двух испытуемых второй группы УВГ был равен 0,33 балла (регистрировался шумный сигнал кровотока после физической нагрузки, сигналы от газовых пузырьков не регистрировались), у остальных испытуемых второй группы УВГ равен 0 баллов. Помимо этого испытуемый Ж., 38 лет, через 8 часов после выхода из-под повышенного давления почувствовал ноющие боли слабой интенсивности в правом плечевом суставе, за медицинской помощью обратился через 7 часов от момента начала заболевания. На момент осмотра: жалобы на дискомфорт в правом плечевом суставе, со стороны органов и систем без видимой патологии. Выставлен диагноз: «Декомпрессионная болезнь, легкой степени тяжести. Суставная форма». Проведена лечебная рекомпрессия по кислородному режиму [9], тепловые процедуры на область пораженного сустава. По окончании рекомпрессии состояние испытуемого удовлетворительное, жалоб нет.

По нашему мнению, снижение парасимпатического влияния на деятельность ССС человека при повторном воздействии повышенного давления воздуха (сопровождающимся высоким УВГ) может свидетельствовать об уменьшении резервных возможностей организма. Результаты наших исследований соответствуют имеющимся экспериментальным данным, указывающим на особенности регуляции сердечной деятельности у лиц, подвергавшихся воздействию повышенного давления воздуха. Так, по имеющимся данным, у наиболее толерантных к декомпрессионному газообразанию лиц определяемая динамика вегетативного тонуса

Таблица 1

Состояние функций сердечно-сосудистой системы при повторных «погружениях» на различные глубины (М ± m)

Показатель	Первая группа			Вторая группа		
	Исходные данные	После 1-го спуска	После 2-го спуска	Исходные данные	После 1-го спуска	После 2-го спуска
ЧСС, уд./мин	69,3±4,87	59,3±4,60 ³	63,9±5,01 ^{1, 4}	66,3±6,14	55,8±3,98 ²	60,7±4,71 ⁴
САД, мм рт. ст	122,8±7,03	118,3±9,99	123,6±7,79 ⁴	119,7±7,27	115,4±4,89	116,6±8,70
ДАД, мм рт. ст	70,5±4,74	75,1±6,24 ¹	69,5±4,10 ⁴	69,6±6,74	72,3±5,92	67,7±6,65 ⁴
УОС, мл	70,6±3,84	63,4±6,24 ²	72,1±3,71 ⁵	67,1±6,31	61,9±7,05 ¹	67,6±7,10 ⁴
МОК, мл	4894,1±426,56	3752,6±405,84 ³	4616,9±467,90 ⁵	4380,5±352,99	3434,3±410,21 ²	4089,6±537,93 ⁵
ПСС, дин × см ⁻⁵ × с ⁻¹	1549,2±168,01	2076,0±268,40 ³	1648,0±178,88 ⁵	1687,1±192,98	2186,3±274,34 ²	1799,3±248,03 ⁶
ИК	64,5±7,16	51,3±9,75 ²	62,4±8,84 ⁵	59,0±5,83	46,1±5,75 ²	54,9±7,40 ⁶
ВИ Кердо, %	-2,9±8,58	-27,5±8,85 ³	-10,8±10,44 ⁶	-5,8±8,28	-30,4±10,17 ²	-12,6±10,09 ⁶

Примечание. Различия достоверны по сравнению: ¹ – с исходными данными, p < 0,05; ² – исходными данными, p < 0,01; ³ – исходными данными, p < 0,001; ⁴ – данными после первого спуска, p < 0,05; ⁵ – данными после первого спуска, p < 0,01; ⁶ – данными после первого спуска, p < 0,001.

Таблица 2

Численность электрокардиографических синдромов, выявленных у испытуемых при повторных «погружениях» на различные глубины ($M \pm m$)

Синдром	Первая группа			Вторая группа		
	Исходные данные	После 1-го спуска	После 2-го спуска	Исходные данные	После 1-го спуска	После 2-го спуска
Миграция суправентрикулярного водителя ритма	0	0	0	0	0	1
Синусовая брадикардия	3	9	5	3	8	5
Синусовая тахикардия	1	0	0	0	0	0
Синусовая (дыхательная) аритмия	1	2	3	1	2	1
Синдром ранней реполяризации желудочков	1	3	3	0	4	3
Неполная блокада правой ножки пучка Гисса	0	0	0	2	3	2
Полная блокада правой ножки пучка Гисса	1	1	1	1	1	1

Таблица 3

Динамика показателей вариабельности сердечного ритма испытуемых в покое при повторных «погружениях» на различные глубины ($M \pm m$)

Показатель	Первая группа			Вторая группа		
	Исходные данные	После 1-го спуска	После 2-го спуска	Исходные данные	После 1-го спуска	После 2-го спуска
TP, мс ²	0,90±0,07	1,03±0,09 ³	0,96±0,08 ^{1, 4}	0,93±0,10	1,09±0,09 ³	1,01±0,10 ⁴
HF, мс ²	812,7±276,62	1473,3±435,21 ²	1040,9±325,59 ⁵	978,0±623,33	1920,2±1055,18 ¹	1556,3±720,74 ⁴
Нормированная мощность HF, %	65,9±5,72	72,6±3,89 ¹	67,3±4,96 ⁴	57,8±8,02	65,4±10,401	71,3±5,05 ¹
LF, мс ²	427,9±196,6	528,3±139,2	507,4±174,3	637,8±371,9	844,0±402,2	594,6±255,6
Нормированная мощность LF, %	33,9±5,80	27,4±3,89 ¹	32,7±4,96 ⁴	42,2±8,02	32,1±8,13 ¹	28,7±5,05 ²
LF/HF	0,6±0,14	0,4±0,08 ¹	0,5±0,11 ⁴	0,8±0,31	0,6±0,33 ¹	0,4±0,10 ¹
pRR50, %	20,5±9,39	41,7±10,52 ³	33,3±9,56 ^{2,4}	24,6±16,83	43,7±17,41 ¹	41,0±13,48

Примечание. Различия достоверны по сравнению: ¹ – с исходными данными, $p < 0,05$; ² – исходными данными, $p < 0,01$; ³ – исходными данными, $p < 0,001$; ⁴ – данными после первого спуска, $p < 0,05$; ⁵ – данными после первого спуска, $p < 0,01$.

в гипербарических условиях направлена в сторону снижения симпатических, у менее толерантных – в сторону снижения парасимпатических влияний [12]. Это соответствует и данным других авторов о том, что такая регуляция деятельности ССС у толерантных к декомпрессионной болезни лиц свидетельствует о более эффективных энергетических процессах, высокой адаптационной способности ССС к нагрузкам [3, 6].

Таким образом, после повторного воздействия повышенного давления воздуха за счет неблагоприятного изменения вегетативной регуляции ССС водолазов повышается вероятность возникновения декомпрессионной болезни.

Выводы

1. Изменения, возникшие в сердечно-сосудистой системе под воздействием повторного водолазного спуска, находятся в пределах физиологических норм.

2. Не выявлено значимых различий в показателях сердечно-сосудистой системы между группами испытуемых, подвергавшихся воздействию повышенного

давления воздушной среды в 0,2 МПа и 0,4 МПа.

3. Сдвиги, возникшие под влиянием однократного воздействия повышенного давления воздуха, равного 0,2 МПа и 0,4 МПа, свидетельствуют о смещении вегетативного баланса в сторону парасимпатического отдела. Повторное воздействие повышенного давления приводит к снижению вагусного влияния на сердечно-сосудистую систему.

4. Повторные водолазные спуски на средние глубины увеличивают риск возникновения декомпрессионного газообразования, как бессимптомного, так и приводящего к развитию клинических форм декомпрессионной болезни.

Список литературы

1. Волков Л. К. Физиологическое обоснование профилактики декомпрессионных расстройств : дис. ... д-ра мед. наук / Волков Л. К. – СПб., 1994. – 348 с.
2. Генин А. М. Биоэтические правила проведения исследований на человеке и животных в авиационной, космической и морской медицине / А. М. Генин, А. Е. Ильин,

А. С. Капланский и др. // Авиакосмическая и экологическая медицина. — 2001. — Т. 35, № 4. — С. 14–20.

3. Демченко И. Т. Однонаправленные изменения ЭЭГ и сердечного ритма при занятиях физкультурой и в ответ на физиологическое действие кислорода под повышенным давлением / И. Т. Демченко, А. Н. Москвин, А. И. Селивра, А. Г. Шуров // Спироэргометрия (спорт, здоровье, медицина). — Астрахань, 1992. — С. 25–27.

4. Загрядский В. П. Методы исследования в физиологии труда. Методическое пособие / В. П. Загрядский, З. К. Сулимо-Самуйлло. — Л. : ВМедА, 1991. — 112 с.

5. Кулешов В. И. Актуальные вопросы профилактики и лечения острой декомпрессионной болезни легкой степени тяжести / В. И. Кулешов, А. А. Мясников, В. Я. Назаркин, А. П. Синьков, В. И. Чернов, В. Г. Сырьев // Военно-медицинский журнал. — 2002. — № 4. — С. 50–53.

6. Майлс С. Подводная медицина / С. Майлс — М. : Мир, 1971. — 161 с.

7. Макарова Н. В. Статистика в Excel : учебное пособие / Н. В. Макарова, В. Я. Трофимец. — М. : Финансы и статистика, 2002. — 368 с.

8. Мурашко В. В. Электрокардиография / В. В. Мурашко, А. В. Струтынский. — М. : Медицина, 1987. — 255 с.

9. Правила водолазной службы Военно-морского флота ПВС ВМФ-2002. — М. : Воениздат, 2004. — Ч. 2. Медицинское обеспечение водолазов Военно-морского флота. — 176 с.

10. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением. ПБ 03-576-03. — СПб. : ДЕАН, 2004. — 208 с.

11. Сергиенко В. И. Математическая статистика в клинических исследованиях / В. И. Сергиенко, И. Б. Бондарева. — М. : ГЭОТАР-МЕД, 2001. — 256 с.

12. Сонин Л. Н. Физиологическое обоснование лечения декомпрессионных нарушений : автореф. дис. ... канд. мед. наук / Л. Н. Сонин. — СПб. : ВМедА, 1998. — 22 с.

13. Мясников А. А. Медицинские аспекты современного любительского плавания в России / А. А. Мясников, С. С. Ушаков, В. И. Чернов, А. Ю. Шитов // Развитие подводной деятельности в СССР и России : материалы междунар. науч.-практ. конф. — М., 2004. — С. 28–29.

14. Ушаков С. С. Состояние нервной системы при воздействии повышенного давления водной и газовой среды : автореф. дис. ... канд. мед. наук / Ушаков С. С. — СПб., 2005. — 22 с.

15. Юнкеров В. И. Математико-статистическая обработка данных медицинских исследований / В. И. Юнкеров, С. Г. Григорьев. — 2-е изд., доп. — СПб. : ВМедА, 2005. — 292 с.

16. *Task Force* of the European Society of cardiology and the North American Society of pacing and electrophysiology: heart rate variability — standards of measurements, physiological interpretation, and clinical use // *Circulation*. — 1996. — Vol. 93. — P. 1043–1065.

CONDITION OF THE CARDIO-VASCULAR SYSTEM OF A HUMAN BEING UNDER DIFFERENT LEVELS OF THE DECOMPRESSED GAS FORMATION AFTER REPEATED INFLUENCE OF THE INCREASED AIR PRESSURE

A. A. Myasnikov, D. P. Zverev, A. Yu. Shitov, V. I. Chernov, A. N. Andrusenko

Military Medical Academy in honour of S. M. Kirov, St. Petersburg

The goal of the research was evaluation of the condition of the functionality of the cardio-vascular system of a human being and the level of intravascular decompressed gas formation within repeated influence of increased air pressure. In the research took part 30 male test persons, whose condition indicators of the cardio-vascular system functioning and the level of the intravascular decompressed air formation were registered before and after first and repeated “descent” in the pressure chamber to the depth of 10 and 30 meters. The test persons were measured heart beat rate, systolic, diastolic, arterial blood pressure and were taken electrocardiographical and rythmographical measurements with a frequentional analysis of the variable heart beat rate. Results showed that after single influence of increased air pressure happens displacement of the vegetative balance towards parasympathetic section which caused bradycardia, drop in the heart beat rate, drop in the one minute volume of the blood circulation and increasing capacity of the spectrum of the variable heart beat rate. Repeated influence of the increased pressure is causing descent of vagal influence on the cardio-vascular system and increasing the risk of developing of the decompression disease.

Key words: increased pressure, cardio-vascular system, decompression disease.

Контактная информация:

Зверев Дмитрий Павлович — адъюнкт при кафедре физиологии подводного плавания Военно-медицинской академии им. С. М. Кирова, г. Санкт-Петербург
Тел. 8-(812) 495-72-43
E-mail: z.d.p@mail.ru

Статья поступила 01.04.2008 г.