

А.Ю. Юрьев¹, А.Ю. Шитов¹,
И.А. Панченкова², М.Ю. Ярославцев¹

Динамика неспецифических адаптационных реакций при действии на организм факторов повышенного давления

¹Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург

²Санкт-Петербургская государственная академия ветеринарной медицины, Санкт-Петербург

Резюме. Представлены взаимосвязи показателей, состояния функций центральной нервной и сердечно-сосудистой систем с показателями неспецифических адаптационных реакций и устойчивостью организма к факторам повышенного давления (декомпрессионное внутрисосудистое газообразование, токсическое действие кислорода и азота). В исследовании приняли участие 16 мужчин в возрасте от 23 до 35 лет, допущенных к водолазным спускам по состоянию здоровья. Показано, что при возникновении декомпрессионного внутрисосудистого газообразования и токсическом действии азота отмечалось существенное ухудшение неспецифических адаптационных реакций организма по сравнению с показателями, полученными до погружения. При этом воздействие повышенного парциального давления кислорода не приводит к значимым изменениям неспецифических адаптационных реакций. Оказалось, что разные по характеру, но примерно одинаковые по силе воздействия факторы, связанные с подводным погружением (провокация развития декомпрессионного газообразования, высокие парциальные давления азота и кислорода), вызывают изменения неспецифических адаптационных реакций, не приводящих к значительным различиям по данному показателю между собой. При этом наибольший дисбаланс в сторону неблагоприятных адаптационных реакций наблюдается при действии на организм высокого парциального давления азота. Следовательно, повышенное давление является сильным раздражителем для человека, и в ответ на него в организме запускаются механизмы адаптации.

Ключевые слова: неспецифические адаптационные реакции, водолаз, дайвинг, барокамера, адаптация, декомпрессионная болезнь, токсическое действие азота, токсическое действие кислорода.

Введение. Проверка и повышение устойчивости водолазов к факторам повышенного давления по необходимости являются важными составляющими профилактики специфичной водолазной патологии. Работы по созданию методик определения устойчивости к декомпрессионной болезни (ДБ) [3, 19, 21], высокому парциальному давлению азота [6, 7, 15] и кислорода [6, 9, 20] ведутся с 50-60 гг. прошлого века и в 1987 г. данные методики были введены приказом Министра обороны № 260 «О введении в действие Положения о медицинском освидетельствовании в Вооруженных Силах СССР» для практического использования в ВМФ.

К настоящему времени сделан большой прорыв в разработке безопасных режимов погружений, режимов труда и отдыха, определены способы повышения устойчивости водолазов к факторам повышенного давления. Кроме того, в последние 20 лет, изменилась структура специфической заболеваемости водолазов – стало больше легких форм ДБ. При этом особенностью является то, что они могут развиваться при погружениях без нарушения режимов декомпрессии у низкоустойчивых водолазов. Учитывая все вышесказанные факты, роль устойчивости организма в профилактике заболеваемости профессиональной водолазной патологией возрастает. На сегодняшний день наиболее исследована структура устойчивости

к ДБ [3, 12, 21]. Структура устойчивости к токсическому действию азота и кислорода менее исследована, а оценка переносимости действия этих факторов определяется ответной реакцией организма на раздражитель подпороговой силы. Что касается устойчивости к ДБ, то такое пристальное исследование этой проблемы обусловлено тем, что данное заболевание является наиболее распространенной и опасной водолазной патологией [3, 12, 19, 21], а также имеет не только острые, но и хронические формы.

При погружении под воду водолаз подвергается действию комплекса неблагоприятных факторов: высокое парциальное давление азота (pN_2); повышенное или пониженное парциальное давление кислорода (pO_2); механическое действие повышенного давления и др., которые взаимодействуют и часто отягощают влияние друг друга на организм [2, 3]. В связи с этим вызывает интерес разработка универсальной методики, которая позволила бы наиболее полно оценить устойчивость водолаза к действию комплексного раздражителя, которым является повышенное давление. Существующие методики определения устойчивости являются прямыми, узконаправленными, для их проведения требуются значительные технические, временные и людские ресурсы, кроме того, имеется риск, пусть и минимальный, для здоровья обследуемых водолазов.

По данным литературы [1, 9, 14, 16] устойчивость к тому или иному фактору состоит из специфического и неспецифического компонентов. Исходя из этого, нами была сформулирована гипотеза, согласно которой в структуре устойчивости водолаза к различным факторам повышенного давления имеется некий неспецифический компонент, проявляющийся при действии как высокого парциального давления N_2 и O_2 , так и декомпрессионного газообразования. Одним из возможных путей решения этой проблемы является оценка неспецифических адаптационных реакций (НАР). К НАР относятся: реакция стресса, как ответ организма на сильный раздражитель, открытая Г. Селье [18] и реакции переактивации, тренировки, спокойной и повышенной активации, открытые Л.Х. Гаркави с соавт. [4]. Согласно их исследованиям, при воздействии на организм раздражителей различной силы (слабой, средней, сильной), независимо от характера действующего фактора, он реагирует на них развитием НАР. Выделяют положительные (тренировки, спокойной активации и повышенной активации) и отрицательные (стресса и переактивации) НАР [5]. НАР определяют, прежде всего, по соотношению лимфоцитов и сегментоядерных лейкоцитов.

Цель исследования. Выявление взаимосвязи показателей, полученных при оценке состояния функций центральной нервной (ЦНС), сердечно-сосудистой (ССС) систем с динамикой развития НАР и устойчивостью к факторам повышенного давления.

Материалы и методы. Обследовано 16 мужчин в возрасте от 23 до 35 лет, допущенных к водолажным спускам по состоянию здоровья. Воздействие повышенного давления воздуха на испытуемых осуществлялось в водолазных барокамерах ПДК-2. У испытуемых оценивались показатели ССС и ЦНС, а также НАР до и после воздействия факторов повышенного давления. Содержание и объем исследований представлено в таблице 1.

Динамику НАР при провокации декомпрессионного внутрисосудистого газообразования, токсическом действии кислорода (2 серия), токсическом действии азота (3 серия) оценивали в ходе выполнения методик, изложенных в «Инструкции о порядке проведения медицинского освидетельствования водолазного состава ВМФ» [8].

При провокации декомпрессионного внутрисосудистого газообразования (1 серия), давление в барокамере с испытуемыми повышалось воздухом в течение 3 мин до 0,2 МПа, а затем за 2–3 мин – до 0,4 МПа и поддерживалось на этом уровне в течение 60 мин, считая от момента создания давления 0,2 МПа. Декомпрессия продолжалась 63 мин и проводилась по специальному режиму.

При проведении методики определения устойчивости к токсическому действию кислорода (2 серия), у испытуемых до воздействия повышенного давления кислорода определялись показатели состояния функций ССС. Далее давление в барокамере ПДК-2 с испытуемыми повышалось воздухом в течение 3 мин до 0,25 МПа, испытуемые переходили на дыхание кислородом и выдерживались на этом уровне в течение 90 мин (каждые 15 мин определялись показатели ССС).

При проведении методики определения устойчивости к токсическому действию азота (3 серия), испытуемые до «погружения» и при нахождении под повышенным давлением воздуха выполняли методики, оценивающие внимание и мышление. Давление в барокамере с испытуемыми повышалось воздухом в течение 6 мин до 0,8 МПа, затем выдерживалось на этом уровне в течение 9 мин (время необходимое для выполнения методик). Декомпрессия продолжалась 2 ч 24 мин.

НАР определяли по методике, разработанной Л.Х. Гаркави, Е.Б. Квакиной, М.А. Уколовой [4]. Исследование показателей крови проводили перед погружением в барокамеру и через 3 ч после выхода из нее. Забор крови и приготовление мазка производили по стандартной методике [10]. Основным критерий для характеристики НАР – соотношение между числом лимфоцитов и сегментоядерных нейтрофилов (ЛФ/СН) – имеет наибольшую величину при реакции перетренировки (П), далее в убывающем порядке – повышенной активации (ПА), спокойной активации (СА), реакция тренировки (Т), стресса (С).

Для оценки состояния ССС испытуемых определяли частоту сердечных сокращений (ЧСС), систолическое (САД), диастолическое (ДАД), пульсовое (ПАД) артериальное давление. Состояние функций центральной нервной системы и анализаторов оценивалось с помощью методик, широко используемых

Таблица 1

Содержание и объём исследований

Серии исследования	Условия исследования	Содержание исследования
1. Исследование динамики НАР при действии на организм декомпрессионного газообразования	Компрессия воздухом до 0,4 МПа (30 м вод. ст.) за 7 мин, изопрессия 60 мин, декомпрессия 63 мин	Исследование показателей формулы крови, ССС, ЦНС, психофизиологических показателей
2. Исследование динамики НАР при действии на организм высокого pO_2	Компрессия воздухом до 0,25 МПа (15 м вод. ст.) за 3 мин, изопрессия 90 мин при дыхании медицинским кислородом	Исследование показателей формулы крови, ССС, ЦНС, психофизиологических показателей
3. Исследование динамики НАР при действии на организм высокого pN_2	Компрессия воздухом до 0,8 МПа (70 м вод. ст.) за 7 мин, изопрессия 10 мин под максимальным давлением, декомпрессия 2 ч 24 мин	Исследование показателей формулы крови, ССС, ЦНС, психофизиологических и психологических показателей

в физиологии труда: скорости простой сенсомоторной реакции (ПСМР), критической частоты слияния световых мельканий (КЧСМ), реакции на движущийся объект (РДО). Для этих целей использовался компьютерный комплекс для психофизиологического тестирования «НС-психотест», «Нейрософт» (г. Иваново). Для оценки умственной работоспособности применяли методики исследования внимания (корректирующая проба с кольцами Ландольта, методика расстановки чисел) и мышления (арифметические тесты) [14].

Результаты и их обсуждение. В 1-й серии исследований у испытуемых оценивалась динамика НАР после декомпрессии по специальному режиму, провоцирующего возникновение декомпрессионного газообразования (табл. 2). Установлено, что НАР несколько ухудшились после воздействия на организм столь «жесткого» режима декомпрессии, однако через сутки практически у всех испытуемых, за исключением одного, НАР восстановились до предыдущего уровня или даже несколько улучшились. Из показателей, характеризующих состояние функций ЦНС и ССС, наиболее значимо изменились следующие: уменьшилась ЧСС, снизилось САД и ПАД, увеличилась частота КЧСМ. При корреляционном анализе показатели САД и ПАД до воздействия повышенного давления имели прямую по направлению, умеренную по силе корреляционную связь с НАР до воздействия, КЧСМ и НАР после воздействия повышенного давления имели обратную по направлению, умеренную по силе корреляционную связь.

Во 2-й серии исследований у испытуемых оценивалась динамика НАР при действии на организм высокого pO_2 . Показано, что НАР при этом практически

не претерпели сколь-нибудь значимых изменений и полностью восстановились до исходного уровня через сутки. Показатели функций ЦНС и ССС также изменились незначительно: уменьшилась ЧСС, снизилось ПАД, уменьшилось время ПЗМР. При корреляционном анализе САД и НАР после воздействия повышенного давления имели прямую умеренную корреляционную связь, а САД и ПАД до воздействия повышенного давления парциального давления кислорода имели прямую умеренную корреляционную связь с НАР.

В 3-й серии исследований у испытуемых оценивали динамику НАР при действии на организм высокого pN_2 , содержащегося во вдыхаемом воздухе. Выявлено, что после воздействия на организм водолазов повышенного pN_2 , НАР претерпели наибольшие изменения по сравнению с показателями, представленными в двух предыдущих сериях исследования. У половины испытуемых НАР ухудшились сразу после выхода из барокамеры, а через 24 ч вернулись к исходным значениям. При этом достоверно снизились ЧСС, САД и ПАД. При корреляционном анализе умеренные по силе прямые корреляционные связи выявлены между САД и НАР до воздействия повышенного давления воздуха.

Таким образом, у всех испытуемых во всех сериях исследований снижается ЧСС, САД и ПАД – показатели характеризующие состояние функций ССС. Это происходит, по всей видимости, за счёт действия гипербарического кислорода, входящего в состав воздуха, которым дышали испытуемые. Воздействие на водолазов «жестких» режимов декомпрессии и высокого pN_2 , приводит к существенному ухудшению НАР организма, в отличие от высокого pO_2 , при котором не отмечается значительных изменений НАР.

Таблица 2

Динамика показателей состояния функций ЦНС, ССС и НАР у водолазов при возникновении декомпрессионного внутрисосудистого газообразования, Me (LQ; UQ), n=16

Этап исследования	КЧСМ, Гц	ПСМР, мс	РДО, мс	ЧСС, уд/мин	САД, мм рт. ст.	ДАД, мм рт. ст.	ПАД, мм рт. ст.	НАР, абсолютное количество реакций
До воздействия повышенного давления воздуха	35,4 (34,5; 36,9)	225,5 (215,5; 239,5)	47,9 (38; 54,5)	61 (55,5; 70)	132 (125,5; 142,5)**	64 (61,5; 69)	70,5 (61; 79,5)**	(n=14) 4Т, 2СА, 5ПА, 1С, 2П
После воздействия повышенного давления воздуха	36,6 (34,7; 38,7)* ***	240,5 (224,5; 253,5)	35,7 (29,6; 49,4)	52 (47; 58)*	127 (124; 138)*	69,5 (62,5; 73,5)	59,5 (54; 69,5)*	(n=16) 2Т, 4СА, 6ПА, 4П
Через 24 ч после воздействия повышенного давления воздуха	36,35 (34,6; 37,8)	218 (213; 229)	35,5 (30,3; 39,9)	64 (54; 69)	134,5 (120,5; 137)	65 (63; 66,5)	68,5 (61,5; 72)	(n=15) 2Т, 1СА, 9ПА, 1С, 2П

Примечание: * – различия между показателями до и после воздействия повышенного давления воздуха, $p < 0,05$; ** – умеренная корреляция с НАР (до воздействия повышенного давления воздуха); *** – умеренная корреляция с НАР (после воздействия повышенного давления воздуха).

Таблица 3

Динамика показателей состояния функций ЦНС, ССС и НАР у водолазов при действии повышенного рО₂ (0,25 МПа), Me (LQ; UQ), n=16

Этап исследования	КЧСМ, Гц	ПСМР, мс	РДО, мс	ЧСС, уд/мин	САД, мм рт. ст.	ДАД, мм рт. ст.	ПАД, мм рт. ст.	НАР, абсолютное количество реакций
До воздействия повышенного давления воздуха	36,35 (34,6; 37,8)	218 (213; 229)	35,5 (30,3; 39,9)	64 (54; 69)	134,5 (120,5; 137)**	65 (63; 66,5)	68,5 (61,5; 72)**	(n=16) 3Т, 4СА, 6ПА, 1С, 2П
После воздействия повышенного давления воздуха	36 (35,1; 37,7)	236,5 (219,5; 251)*	34,9 (29,5; 47,2)	52,5 (47; 57)*	126,5 (116,5; 132)***	63,5 (61; 69,5)	64 (55; 67,5)*	(n=15) 3СА, 8ПА, 4П
Через 24 ч после воздействия повышенного давления воздуха	36,24 (34,8; 37,2)	235,5 (224; 240,5)	33,6 (30,7; 45,5)	64 (60; 67)	129,5 (118; 138)	63,5 (58,5; 67,5)	67,5 (60,5; 73)	(n=7) 4ПА, 1С, 2П

Примечание: * – различия между показателями до и после воздействия повышенного давления воздуха, p<0,05; ** – умеренная корреляция с НАР (до воздействия повышенного давления воздуха); *** – умеренная корреляция с НАР (после воздействия повышенного давления воздуха).

Таблица 4

Динамика показателей состояния функций ЦНС, ССС и НАР у водолазов в условиях воздействия повышенного давления воздуха (p=0,8 МПа), Me (LQ; UQ), n=16

Этап исследования	КЧСМ, Гц	ПСМР, мс	РДО, мс	ЧСС, уд/мин	САД, мм рт. ст.	ДАД, мм рт. ст.	ПАД, мм рт. ст.	НАР, абсолютное количество реакций
До воздействия повышенного давления воздуха	36,24 (34,8; 37,2)	235,5 (224; 240,5)	33,6 (30,7; 45,5)	64 (60; 67)	129,5 (118; 138)**	63,5 (58,5; 67,5)	67,5 (60,5; 73)	(n=16) 2Т, 4СА, 7ПА, 3П
После воздействия повышенного давления воздуха	36 (34,4; 38)	232 (223,5; 240)	36 (28,8; 44,9)	52 (46; 56)*	120,5 (111,5; 127)*	60 (56; 66,5)	58 (53,5; 64)*	(n=16) 2Т, 1СА, 6ПА, 1С, 6П
Через 24 ч после воздействия повышенного давления воздуха	35,6 (34,4; 37,1)	225 (215; 239)	47,8 (38,3; 55)	63 (55; 71,5)	132 (125,5; 142,5)	63 (61; 68,5)	72 (60; 80,5)	(n=12) 1Т, 7ПА, 4П

Примечание: * – различия между показателями до и после воздействия повышенного давления воздуха, p<0,05; ** – умеренная корреляция с НАР (до воздействия повышенного давления воздуха).

НАР у подавляющего большинства испытуемых до и после проведения исследований в течение недели либо не изменялись, либо незначительно улучшились, а изменения НАР после каждого отдельно взятого воздействия имели тенденцию к восстановлению исходного уровня

через сутки. Это, во-первых, подтверждает концепцию о неспецифическом компоненте адаптации, а во-вторых, указывает на то, что повышенное давление является сильным раздражителем для человека, и в ответ на него в организме запускаются механизмы адаптации.

Выводы

При возникновении декомпрессионного внутрисосудистого газообразования и токсическом действии азота отмечается существенное ухудшение неспецифических адаптационных реакций организма по сравнению с показателями, полученными до погружения. При этом наибольший дисбаланс в сторону неблагоприятных адаптационных реакций наблюдается при действии на организм высокого парциального давления азота.

Разные по характеру, но примерно одинаковые по силе (подпороговый раздражитель) воздействия (развитие декомпрессионного внутрисосудистого газообразования, высокие парциальные давления азота и кислорода) вызывают изменения неспецифических адаптационных реакций, но не приводят к значительным различиям между собой.

Литература

1. Апчел, В.Я. Стресс и стрессустойчивость человека / В.Я. Апчел, В.Н. Цыган. – СПб.: Правда, 1999. – 86 с.
2. Бер, П. О влиянии повышенного барометрического давления на животный и растительный организмы: пер. с франц. – Петроград: Изд-во водолазной школы, 1916. – 647 с.
3. Волков, Л.К. Физиологическое обоснование профилактики декомпрессионных расстройств: дис. ... д-ра мед. наук / Л.К. Волков. – СПб., 1994. – 348 с.
4. Гаркави, Л.Х. Адаптационные реакции и резистентность организма / Л.Х. Гаркави, Е.Б. Квакина, М.А. Уколова. – Ростов-на-Дону: Изд. Ростовского университета, 1990. – 224 с.
5. Дмитришен, Р.А. Клинико-патфизиологические подходы к сохранению репродуктивной функции у военнослужащих-женщин с доброкачественными новообразованиями яичников после urgentных операций: автореф. дис. ... д-ра мед. наук / Р.А. Дмитришен. – СПб.: ВМедА, 2011. – 24 с.
6. Евдокимова, Л.Н. Нормобарическая интервальная гипокситерапия при бронхолегочной патологии / Л.Н. Евдокимова, В.И. Кулешов. – СПб., 2008. – 175 с.
7. Зальцман, Г.Л. Физиологические основы пребывания человека в условиях повышенного давления газовой среды / Г.Л. Зальцман. – Л.: Медицина, 1961. – 217 с.
8. Инструкция о порядке проведения медицинского освидетельствования водолазного состава Военно-морского флота. – М., 2003. – 10 с.
9. Киселев, С.О. Клинико-биологические эффекты гипербарической оксигенации / С.О. Киселев // Руководство по гипербарической медицине. – М.: Медицина, 2008. – Ч. 2., гл. 4. – С. 69–79.
10. Кишкун, А.А. Руководство по лабораторным методам диагностики / А.А. Кишкун. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2007. – 798 с.
11. Кулешов, В.И. Физиологические основы нормирования кислорода при гипербарической оксигенации: дис. ... д-ра мед. наук / В.И. Кулешов. – СПб., 1992. – 474 с.
12. Мясников, А.А. Устойчивость организма к декомпрессионной болезни и методы ее повышения: лекция / А.А. Мясников. – СПб.: Изд-во СПбМАПО, 2009. – 46 с.
13. Мясников, А.А. Физиологическое обоснование неспецифических методов повышения устойчивости организма к декомпрессионной болезни: дис. ... д-ра мед. наук / А.А. Мясников. – СПб., 1999. – 289 с.
14. Новиков, В.С. Проблема экстремальных состояний человека / В.С. Новиков // XVII съезд физиологов России: тез. докл. науч. конф. – Ростов-на-Дону, – 1998. – С. 85.
15. Поликарпочкин, А.Н. Сравнительная характеристика испытуемых с различным уровнем устойчивости к гипербарическому азотному наркозу / А.Н. Поликарпочкин, Ю.М. Бобров // Акт. пробл. физиол. воен. тр. и водолазной медицины: тр. ВМедА. – СПб.: ВМедА, 1996. – Т. 243. – С. 118–126.
16. Сапов, И.А. Адаптация человека к условиям гипербарии / И.А. Сапов // Акт. пробл. физиол. воен. тр. и водолазной медицины: тр. ВМедА. – СПб.: ВМедА, 1996. – Т. 243. – С. 27–42.
17. Сапов, И.А. Неспецифические механизмы адаптации / И.А. Сапов, В.С. Новиков. – Л.: Наука, 1984. – 146 с.
18. Селье, Г. Очерки об адаптационном синдроме / Пер. с англ. – М.: Медицина, 1960. – 254 с.
19. Советов, В.И. Применение ультразвука для оценки безопасности режимов декомпрессии водолазов / В.И. Советов // Медико-биологические проблемы декомпрессионной болезни. – М.: 1991. – С. 54–57.
20. Чернов, В.И. Функциональное состояние организма при гипербарической оксигенации, дозирование по парциальному давлению кислорода: автореф. дис. ... к-та мед. наук / В.И. Чернов. – СПб.: ВМедА, 2004. – 28 с.
21. Юнкин, И.П. Повышение устойчивости животных к декомпрессионной болезни путем адаптации их к гипоксии при нормальном барометрическом давлении / И.П. Юнкин // Бюлл. эксперим. биол. и мед. – 1969. – Т. 68, № 9. – С. 26–29.

A. Yu. Yuriev, A. Yu. Shitov, I. A. Panchenkova, M. Yu. Yaroslavtsev

Dynamics of nonspecific adaptive reactions under the influence of factors on the organism of high pressure

Abstract. The relationship of indicators, states of functions of the central nervous and cardiovascular systems with the dynamics of nonspecific adaptive responses and resistance of organism to the factors of high pressure (decompression intravascular gas production, the toxic effect of oxygen and nitrogen) are represented. The study involved 16 men aged 23 to 35 years admitted to diving descents for health reasons. It turned out that different in character, but about equal in force factors associated with scuba diving (provocation of decompression gas formation, high partial pressures of nitrogen and oxygen) cause changes in nonspecific adaptive reactions, but do not lead to significant differences on this indicator with each other. The greatest imbalance in the direction of the adverse adaptive reactions is observed under the influence on the body of high partial pressure of nitrogen. Thus, high pressure is a strong irritant to humans, and in answer to it influence the mechanisms of adaptation run in the organism.

Key words: Non-specific adaptive reaction, diver, diving, recompression chamber, adaptation, decompression sickness, the toxic effect of nitrogen, the toxic effect of oxygen.

Контактный телефон 8-(812) 495-72-43; 8-921-312-38-43; e-mail: urievandrey@ya.ru