

На правах рукописи

МИРОШНИКОВ Евгений Георгиевич

**КАРДИОГЕМОДИНАМИКА В ПРОЦЕССЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВОДОЛАЗОВ**

03.00.13 – физиология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

Владивосток
2006

Диссертация выполнена в группе подводных работ Института биологии моря им. А.В. Жирмунского ДВО РАН

Научный руководитель:

доктор медицинских наук
Кириллов Олег Иванович

Официальные оппоненты:

доктор медицинских наук
Кочеткова Евгения Анатольевна

доктор медицинских наук,
профессор
Кулаков Юрий Вячеславович

Ведущая организация: ГНЦ РФ Институт медико-биологических проблем РАН (Москва)

Защита состоится «12» октября в 10 часов на заседании регионального диссертационного совета КМ 005.008.01 при Институте биологии моря им. А.В. Жирмунского ДВО РАН по адресу: 690041, г. Владивосток, ул. Пальчевского, 17, факс (4232)310900. Электронный адрес: inmarbio@primorye.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института биологии моря им. А.В. Жирмунского ДВО РАН

Автореферат разослан 12 сентября 2006 года

И.о. ученого секретаря диссертационного совета,
доктор биологических наук

Н.А. Одинцова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. При проведении подводных спусков сердечно-сосудистая система водолазов испытывает значительную нагрузку (Lin, 1988; Gooden, 1994; Pendergast, 1996). Вследствие этого кардиоваскулярная патология занимает существенное место в водолазной медицине (Dembert et al., 1983; Жердев и др., 1993; Wilmshust, 1998; Spira, 1999; Евстропова, 2000; Кулешов и др., 2002; Дмитрук, 2004). Она является одной из основных причин отстранения водолазов от профессиональной деятельности (Жердев, 1993).

Интерес подводной медицины к сердечно-сосудистой системе, однако, не ограничивается вопросами ее патологии. Водолазы проходят ежегодные медицинские освидетельствования на годность к выполнению подводных работ, при этом состояние сердечно-сосудистой системы может рассматриваться как индикатор общей адаптированности организма. Методология соотнесения отклонений в состоянии сердечно-сосудистой системы со степенью адаптированности целого организма (Баевский, 2001; 2002) широко используется в прикладной физиологии (Берсенева, 2002; Галеев и др., 2002; Солдатова и др., 2006). Считается, что физиологические преобразования, связанные с трудовой деятельностью, определяют характер заболеваемости в той или иной профессиональной группе (Kristensen, 1994). Исходя из этого, отправным пунктом для анализа наблюдаемых изменений оказывается не обнаружение ранних проявлений патологии и даже не поиск доклинических нарушений, а углубленное исследование того стереотипа функционирования сердечно-сосудистой системы, который складывается в здоровом организме как адаптивная форма к выполнению многократных подводных погружений (Гуляр, Ильин, 1990). Кардиоваскулярная реакция на подводное погружение включает брадикардию, снижение ударного объема крови, подъем артериального давления и констрикцию кожных сосудов (Yamaguchi et al., 1993; Delapille et al., 2000; Schipke, Pelcer, 2001; Ferraty, Costa, 2003), хотя вид водолазного снаряжения, состав газовой смеси, применяемой для дыхания, характер выполняемой под водой мышечной работы и другие факторы существенно модифицируют ее (Ferrigno et al., 1997; Andersson et al., 2000; Shiraki et al., 2002; Johan et al., 2002). В процессе продолжительной профессиональной деятельности у водолазов

формируется кардиогемодинамический стереотип, свойственный увеличению постнагрузки на сердце, однако соответствующие сообщения единичны (Гуляр, Ильин, 1990; Титков и др., 1992; Holm et al., 1998). Остается неизвестным механизм закрепления этих изменений, их адаптивная роль, динамика развития.

В настоящем исследовании описывается характер кардиогемодинамических изменений в процессе профессиональной деятельности водолазов, работающих на малых и средних глубинах (до 60 м) с использованием для дыхания сжатого воздуха. Отдельные этапы регистрируемых преобразований соотносятся с возрастом, интенсивностью подводных работ и продолжительностью подводного стажа. Для данной категории трудящихся установлен льготный пенсионный стаж в 50 лет при условии работы водолазом не менее 10 лет, интенсивности подводных работ 275 ч в год и продолжительности подводного стажа 2750 ч. На основании полученных данных уточняются оптимальные величины интенсивности подводных работ и продолжительности подводного стажа, соответствующие физиологическим возможностям человека.

Цель исследования: изучить характер и динамику состояния сердечно-сосудистой системы в процессе профессиональной деятельности водолазов, работающих на малых и средних глубинах, использующих для дыхания сжатый воздух.

Задачи:

1. Описать кардиогемодинамическую реакцию водолазов на однократное погружение и установить продолжительность восстановительного периода после него.
2. Охарактеризовать комплекс кардиогемодинамических преобразований, закрепляемый у водолазов в процессе профессиональной деятельности.
3. Определить динамику развития сердечно-сосудистых изменений на этапах долговременной адаптации водолазов к профессиональной деятельности.
4. Сравнить корреляционную зависимость развития кардиогемодинамических изменений у водолазов от возраста, интенсивности подводных работ и продолжительности подводного стажа.

5. Установить предел интенсивности подводных работ и продолжительности подводного стажа, до которого напряжение адаптационных механизмов у водолазов сохраняет физиологический характер.

Научная новизна. Впервые выполнено системное исследование развития кардиоваскулярных изменений в процессе полного цикла профессиональной деятельности водолазов, работающих на малых и средних глубинах (до 60 м) использовавших для дыхания сжатый воздух.

Установлено, что проведение однократного погружения данной категорией водолазов сопровождается стереотипной кардиоваскулярной реакцией, включающей брадикардию, снижение ударного объема крови, увеличение диастолического артериального давления и повышение общего периферического сосудистого сопротивления. Основные отклонения нормализуются в течение суток, однако такие признаки, как брадикардия или увеличение диастолического артериального давления, сохраняются в форме следовых изменений до 4-7, а изменения в фазовой структуре сердечного цикла – до 14 суток.

Получены новые доказательства, что при систематическом выполнении подводных погружений происходит закрепление увеличенной постнагрузки на сердце (повышение систолического и диастолического артериального давления, а также общего периферического сосудистого сопротивления), которая на уровне механизмов долговременной адаптации компенсируется изометрической гиперфункцией сердца и перестройкой гемодинамики по гипокинетическому типу кровообращения.

Впервые описана последовательность процессов, характеризующих динамику развития кардиоваскулярных изменений в разные периоды профессиональной деятельности водолазов. Начальной адаптивной реакцией на увеличение постнагрузки на сердце служит повышение расхода энергии на продвижение крови и рост мощности левого желудочка сердца, после чего на уровне механизмов долговременной адаптации формируется изометрическая гиперфункция сердца и наблюдается переход на гипокинетический тип кровообращения. Наряду с этим, у водолазов выявляется несоответствие мощности левого желудочка и внешней работы сердца и сложившейся гемодинамической ситуацией, что свидетельствует об относительности достигаемой адаптации и опасности ее утраты.

Показано, что скорость развития перечисленных процессов во времени зависит не столько от возраста водолазов, сколько от интенсивности подводных работ и продолжительности подводного стажа. Предел интенсивности подводных работ, до которого их выполнение осуществляется без развития функциональных нарушений, составляет 200 ч в год, а продолжительность подводного стажа 2000 ч, что ниже нормативных цифр, законодательно установленных для льготного пенсионного ценза (соответственно, 275 и 2750 ч).

Теоретическое и прикладное значение. Диссертация расширяет недостаточно разработанные в науке представления о влиянии систематического выполнения подводных погружений на организм человека. Охарактеризован кардиогемодинамический стереотип, формируемый у профессиональных водолазов, описана динамика развития процесса во времени, установлена последовательность отдельных этапов. Прикладное значение исследования состоит в конкретизации сроков интенсивности подводных работ и продолжительности подводного стажа, в пределах которых профессиональная деятельность водолазов, работающих на малых и средних глубинах с использованием для дыхания сжатого воздуха, может осуществляться без функциональных нарушений. Согласно полученным данным, эти сроки ниже нормативных цифр, законодательно установленных для льготного пенсионного ценза.

Положения, развиваемые автором, внедрены в систему обследования водолазов в Дальневосточном окружном водолазно-медицинском центре.

Положения, выносимые на защиту:

1. В процессе продолжительной профессиональной деятельности у водолазов, систематически выполняющих подводные спуски, в ответ на увеличенную постнагрузку левого желудочка формируется кардиогемодинамический стереотип, характеризующийся развитием компенсаторной гиперфункции сердца по изометрическому типу и гипокинетическим типом кровообращения.

2. Динамика состояния сердечно-сосудистой системы, наблюдаемая в процессе профессиональной деятельности водолазов, представлена упорядоченной последовательностью преобразований от адаптивной перестройки до проявления скрытых нарушений.

3. Скорость развития стереотипных кардиогемодинамических изменений более тесно коррелирует с интенсивностью подводных работ и продолжительностью подводного стажа, чем с возрастом водолазов.

Апробация работы. Материалы диссертации доложены и обсуждены на 7-м международном симпозиуме по морской медицине (Москва, 1976), конференции «Гигиенические аспекты изучения труда и быта человека на Дальнем Востоке» (Владивосток, 1977), II съезде физиологов Сибири и Дальнего Востока (Новосибирск, 1995), XVII съезде физиологов России (Ростов-на-Дону, 1998), научно-практической конференции «Экологические, гуманитарные и спортивные аспекты подводной деятельности» (Томск, 2002), региональной научной конференции, посвященной 40-летию ТИБОХ ДВО РАН (Владивосток, 2004), конференции по программе фундаментальных исследований Президиума РАН «Фундаментальные науки – медицине» (Москва, 2004), I съезде физиологов СНГ (Сочи, Дагомыс, 2005), ежегодных научных конференциях ИБМ ДВО РАН (Владивосток, 1997, 1999, 2005). Диссертация обсуждена на заседании Приморского физиологического общества.

Личный вклад. Все исследования выполнены автором самостоятельно.

Диссертация поддержана грантом ДВО РАН 06-1-П12-042.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 10 работ, в том числе две статьи в журналах, входящих в список ВАК.

Объем и структура работы. Диссертация изложена на 147 страницах компьютерного набора. Она содержит введение, обзор литературы, описание использованных методов, результаты собственных исследований, обсуждение, заключение, выводы, практические рекомендации и список литературы. Работа иллюстрирована 58 таблицами и 14 рисунками. Список литературы включает наименования 122 первоисточников, в том числе 40 отечественных и 82 иностранных авторов.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материал диссертации основан на результатах ежегодных медицинских комиссий водолазов гражданских учреждений Владивостока. Под наблюдением находился 331 водолаз, работа которых была связана с систематическим выполнением подводных погружений на малых и средних глубинах (до 60 м) с

использованием для дыхания сжатого воздуха. Возраст обследуемых – от 20 до 50 лет. Контролем служила группа из 156 мужчин того же возраста.

Медицинское освидетельствование проводилось в соответствии с «Инструкцией по медицинскому отбору и освидетельствованию водолазов» МЗ СССР (М.,1986). Освидетельствование включало общее клиническое обследование (осмотр узких специалистов и выполнение лабораторных анализов), а также дополнительное тестирование на пригодность к работе под водой с помощью комплекса физиологических методов, в том числе поликардиографической оценки состояния сердечно-сосудистой системы (электрокардиография, фонокардиография, реография аорты). Все испытуемые, результаты обследования которых вошли в материал диссертации, по заключениям медицинских комиссий признавались годными к профессиональной деятельности и не имели сердечно-сосудистой патологии.

Регистрацию поликардиограмм производили в утренние часы после 30-минутного отдыха в положении лежа (6-канальный поликардиограф П64-01, скорость лентопротяжного механизма при обзорной записи - 50 мм/с, при записи для проведения измерений – 100 мм/с).

Регистрируемые показатели

Фазовая структура сердечного цикла. На основании параметров поликардиограмм рассчитывали сердечный цикл (R-R), длительность фаз сердечного цикла левого желудочка, включая фазу асинхронного сокращения (АС), фазу изометрического сокращения (IC), период напряжения (Т), период изгнания (Е), механическую систолу (S_m), общую систолу (S_o), электрическую систолу (S_e), акустическую систолу (S_a), диастолу (D).

Из комплексных и относительных показателей кардиогемодинамики, которые могут быть выведены путем сопоставления продолжительности фаз сердечного цикла, определяли коэффициент механический Блумбергера ($KMB=E/T$, отн.ед.), индекс напряжения миокарда ($ИНМ=T/S_o \times 100\%$), внутрисистолический показатель ($ВСП=E/S_m \times 100\%$), гемодинамический коэффициент Бронвца ($KB=IC/E$, отн.ед.), внутренний коэффициент напряжения ($ВКН=АС/IC$, отн.ед.), время изгнания минутного объема крови ($ВИМО=E \times ЧСС$, отн. ед.).

Характеристики системной гемодинамики. В число характеристик системной гемодинамики, использованных в настоящей работе, входили частота

сердечных сокращений (ЧСС = 60/R-R), ударный объем (УО), минутный объем кровообращения (МОК), ударный индекс (УИ), сердечный индекс (СИ), систолическое артериальное давление (САД), диастолическое артериальное давление (ДАД), среднее артериальное давление (СрАД), истинное пульсовое давление (ИПД), общее периферическое сосудистое сопротивление (ОПСС), индекс соответствия фактического и рабочего сопротивления сосудов (У), суммарное упругое сопротивление артериальной системы - модуль объемной упругости (ЕО), отношение модуля объемной упругости и периферического сопротивления (ЕО/У). Значения ударного и минутного объема кровообращения находили по формуле Эгресса (1967), должную величину МОК – по формуле Гайтона (1969).

В качестве показателя вегетативного равновесия в системе регуляции кровообращения рассчитывали индекс Кердо (ВИК = $(1 - \text{ДАД}/\text{ЧСС}) \times 100\%$).

Сократительная функция миокарда. Критерием состояния сократительной функции миокарда служили величина работы, выполняемой левым желудочком сердца (А), мощность сокращения левого желудочка (М), расход энергии левым желудочком на продвижение одного литра крови (РЭ), объемная скорость выброса (ОСВ), средняя скорость повышения внутрижелудочкового давления (СПВД).

Адаптационный потенциал кровообращения. Обобщенным показателем напряжения регуляторных механизмов являлся адаптационный потенциал кровообращения (Баевский, Берсенева, 1993).

Расчет отклонений от должных величин

Для большинства измеренных показателей рассчитывались должные величины, и определялась степень отклонения от них фактических значений.

Отклонения ($\Delta\%$) фактических значений ($X_{\text{ф}}$) от должных ($X_{\text{дл}}$) рассчитывали по формуле: $\Delta\% = (X_{\text{ф}} - X_{\text{дл}}) / X_{\text{дл}} \times 100\%$. Для показателей фазовой структуры сердечного цикла в качестве нормы устанавливали флуктуации в границах $-5 \leq \Delta\% \leq +5$. Отклонения со знаком + или – от 5 до 25% рассматривали как умеренные, от 25 до 50% - выраженные, больше 50% - резкие. Для показателей системной кардиогемодинамики и сократительной функции миокарда за норму принимали колебания в рамках $-10 \leq \Delta\% \leq +10$. Изменения более 10 до 25% относили к умеренным, от 25 до 50% - к выраженным, больше 50% - к резким.

Стереотипные комплексы кардиогемодинамических реакций

Типы кровообращения. Тип кровообращения диагностировали по величине сердечного индекса (СИ). При колебании величины СИ в границах ± 10 % от должного значения делалось заключение об эукинетическом типе кровообращения. Превышение этих границ соответствовало гиперкинетическому типу кровообращения, снижение - гипокинетическому (Савицкий, 1978).

Синдромы фазовых сдвигов. Определение синдромов фазовых сдвигов производили по В.Л. Карпману в модификации В.Ф. Кубышкина (1982). Диагностическим критерием служил характер сочетаний изменения величин фазы изометрического сокращения (IC), периода изгнания (E), механической систолы (S_m), внутрисистолического показателя (BCП), средней скорости повышения внутрижелудочкового давления (СПВД) и объемной скорости выброса (ОСВ). Идентифицировали следующие синдромы: нагрузки объемом, нагрузки сопротивлением (высокого диастолического давления и стеноза выходного тракта желудочков), гипердинамии, гиподинамии.

Типы гиперфункции сердца. Изотонический тип сокращения диагностировался по наличию фазовых синдромов гипердинамии или нагрузки объемом, изометрический – по наличию фазовых синдромов высокого диастолического давления или стеноза выходного тракта желудочков.

Статистическая обработка результатов. Полученные результаты обработаны статистически. Достоверность различий между группами устанавливалась по t-критерию Стьюдента. Обработка результатов проведена с использованием программы STATGRAPHICS plus for Windows.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Однократное погружение. В то время как кардиогемодинамическая реакция на погружение описана достаточно хорошо, характер и сроки нормализации наблюдаемых отклонений требуют уточнения. В связи с этим нами проведено сопоставление выборок протоколов обследования водолазов через 1, 2, 3, 4-7 и 8-14 суток после очередного погружения (численность групп от 49 до 69 человек). Контролем служили результаты определения кардиогемодинамических показателей у 331 водолаза в период между погружениями, который составлял не менее 14 суток.

Считается, что изменения, вызываемые подводным погружением, восстанавливаются в течение нескольких часов. Вместе с тем, из тестируемых нами признаков спустя сутки после погружения нормализовывалась только часть параметров кардиогемодинамики. Продолжают регистрироваться изменения центральной гемодинамики (снижение УО и МОК, подъем ОПСС), фазовой структуры сердечного цикла (удлинение фазы изометрического сокращения ИС, периода напряжения Т и механической систолы S_m) и сократительной функции левого желудочка (снижение скорости повышения внутрижелудочкового давления, повышенный расход энергии на продвижение 1 л крови). Нормализация большинства показателей кардиогемодинамики происходит на 4-7 суток, однако отклонения в фазовой структуре сердечного цикла, а также снижение УО и скорости ударного выброса крови из левого желудочка регистрируются даже на 8-14-е сутки после погружения.

Долговременная адаптация. Чтобы получить общее представление о том стереотипе, который может быть рассмотрен как модель долговременной адаптивной перестройки кардиогемодинамики водолазов, суммировали результаты обработки всех регистрационных карт, отобранных для анализа. Численность групп: контроль – 156, водолазы – 331 человек.

Как следует из таблицы 1, частота сердечных сокращений (ЧСС) и ударный объем (УО) у водолазов несколько меньше, чем в контроле, без статистической значимости отклонений. Вместе с тем, снижение минутного объема крови (МОК) как величины производной от ЧСС и УО, статистически достоверно. Систолическое, диастолическое и среднее артериальное давление (соответственно САД, ДАД и СрАД), а также общее периферическое сосудистое сопротивление (ОПСС) и суммарное упругое сопротивление артериальной стенки (ЕО) у водолазов существенно выше. Из перечисленных отклонений рост ОПСС и ЕО выходит за границы должных величин ($-10 \leq \Delta\% \leq +10$). Эти признаки свидетельствуют об увеличении постнагрузки на сердце. Вегетативный индекс Кердо, отражающий равновесие между симпатическими и парасимпатическими влияниями на кардиогемодинамику, в контрольной группе равен минус $16,2 \pm 1,88$, у водолазов – минус $28,7 \pm 1,15\%$ ($P \leq 0,01$).

Показатели центральной гемодинамики у водолазов

Показатель	Контроль		Водолазы	
	M ± m	Δx	M ± m	Δx
ЧСС, уд/мин	63,3±0,91		62,2±0,49	
УО, мл	80,3±0,79	10,1	78,4±0,54	-7,0
МОК, л/мин	5,2±0,06	10,1	4,9±0,04**	-7,0
САД, мм рт. ст.	118±0,56	0,01	126±0,58**	3,3
ДАД, мм рт. ст.	74±0,57	-1,6	80±0,43**	3,9
СрАД, мм рт. ст.	88±0,46	-0,6	95±0,41**	3,6
ОПСС, дин/с/см ⁻⁵	1308±17,2	-5,5	1482±13,7**	18,1
ЕО, дин/с/см ⁻⁵	1232±22,9	-1,0	1298±19,9*	18,6

Примечание: * - P≤0,05, ** - P≤0,01, Δ% - отклонение от должной величины.

Продолжительность интервала R-R сердечного сокращения у водолазов одинакова с контролем, при этом в том и другом случае она несколько превышает должные величины (табл. 2).

Таблица 2

Показатели фазовой структуры сердечного цикла (с) у водолазов

Показатель	Контроль		Водолазы	
	M ± m	Δ%	M ± m	Δ%
R-R	0,948±0,0136	13,4	0,964±0,0076	13,2
AC	0,060±0,0008	10,0	0,061±0,0006	11,8
IC	0,035±0,0008	4,8	0,041±0,0007**	10,2
T	0,096±0,0010	11,1	0,102±0,0008**	14,4
E	0,260±0,0016	-0,6	0,262±0,0010	-0,6
S _m	0,296±0,0018	0,8	0,303±0,0013**	2,7
S _o	0,356±0,0019	2,1	0,365±0,0014**	4,1
S _a	0,327±0,0018	-0,5	0,337±0,0012**	0,9
S _e	0,363±0,0032	-2,7	0,374±0,0013**	-0,3
D	0,591±0,0121	-1,3	0,598±0,0069	-2,4

Примечание: * - P≤0,05, ** - P≤0,01, Δ% - отклонение от должной величины.

Основным отличием фазовой структуры сердечного цикла является увеличение фазы изометрического сокращения (IC). Это, в свою очередь, влечет рост продолжительности зависимых от нее отрезков: периода напряжения (T), механической систолы (S_m) и общей систолы (S_o). Степень отклонений фактических значений интервала IC у водолазов находится на верхней границе, а периода T - выше должных величин. Из других показателей регистрируется статистически достоверное

увеличение акустической (S_a) и электрической (S_e) систол. Продолжительность периода изгнания (E) и диастолы (D) не отличается от контроля.

Совокупность наблюдаемых изменений характерна для изометрической гиперфункции сердца.

Распределение лиц контрольной группы и водолазов по типам кровообращения, идентифицированным на основании определения сердечного индекса (%) имеет следующий вид:

Тип	Контроль	Водолазы
Эукинетический	34,4	32,6
Гиперкинетический	45,0	19,7
Гипокинетический	20,6	47,7

Таким образом, у водолазов преобладает гипокинетический тип кровообращения.

Работа, совершаемая левым желудочком сердца в единицу времени (A), у водолазов одинакова с контролем (табл. 3). Параллельно отмечается статистически значимое увеличение мощности (M) миокарда. Величина обоих показателей сохраняется в границах должных величин. У водолазов статистически достоверно повышен расход энергии на продвижение 1 л крови.

Таблица 3

Показатели сократительной функции левого желудочка у водолазов

Показатель	Контроль		Водолазы	
	M ± m	Δ %	M ± m	Δ %
A, кгм/мин	6,15±0,084	9,4	6,35±0,067	-3,3
M, Вт	3,40±0,027	10,0	3,56±0,025**	-3,0
PЭ, Вт/л	11,1±0,062	-0,7	11,9±0,055**	3,8

Примечание: * - $P \leq 0,05$, ** - $P \leq 0,01$, Δ% - отклонение от должной величины.

Итак, при систематическом выполнении подводных погружений формируется кардиогемодинамический стереотип, характеризующийся развитием компенсаторной гиперфункции сердца преимущественно по изометрическому типу и гипокинетическим типом кровообращения, как компенсаторная реакция в ответ на увеличенную постнагрузку.

Возраст. Водолазы и лица контрольной группы были ранжированы по возрасту на три класса – 21-30, 31-40 и 41-50 лет. Распределение обследованных по классам: контроль – 97, 44 и 15 человек, водолазы – 124, 151 и 56 человек.

Как следует из таблицы 4, наиболее ранними отклонениями, которые обнаруживаются у водолазов уже в возрасте 21-30 лет, оказываются признаки увеличения постнагрузки на сердце (повышение САД, ДАД и ОПСС).

Таблица 4

Возрастные изменения основных кардиогемодинамических показателей у водолазов и лиц контрольной группы

Показатель	Группа	Возраст, лет		
		21-30	31-40	41-50
ЧСС	Контроль	63±0,95	63±1,43	62±1,59
	Водолазы	61±0,84	63±0,67	63±1,12
УО	Контроль	80±0,9	79±1,2	83±2,3
	Водолазы	80±0,8	77±0,9 /*	77±1,3 /*
УИ	Контроль	44±0,6	43±0,9	45±1,9
	Водолазы	43±0,9	41±0,5	40±0,9*
МОК	Контроль	5,1±0,08	5,1±0,11	5,2±0,14
	Водолазы	5,0±0,08	4,9±0,06	4,9±0,09
СИ	Контроль	2,8±0,05	2,8±0,07	2,8±0,09
	Водолазы	2,7±0,04	2,6±0,04*	2,5±0,06 /*
САД	Контроль	118±0,7	118±1,2	118±2,0
	Водолазы	124±0,9**	126±0,8**	127±1,5**
ДАД	Контроль	73±0,8	75±0,9	78±1,4 /*
	Водолазы	78±0,8**	81±0,6**/**	82±0,9**/**
ОПСС	Контроль	1315±21	1318±28	1336±55
	Водолазы	1432±21**	1515±23**	1504±34**
IC	Контроль	0,035±0,0019	0,036±0,0014	0,035±0,0025
	Водолазы	0,037±0,0010	0,043±0,001**/**	0,044±0,0017 /*
Т	Контроль	0,095±0,0018	0,094±0,0016	0,094±0,004
	Водолазы	0,098±0,0012	0,105±0,001**/**	0,104±0,002**/*
А	Контроль	6,017±0,104	6,122±0,154	6,27±0,254
	Водолазы	6,339±0,116	6,319±0,095	6,405±0,145
М	Контроль	3,371±0,034	3,393±0,043	3,493±0,092
	Водолазы	3,575±0,042	3,545±0,037	3,514±0,043
РЭ	Контроль	10,94±0,077	11,05±0,112	11,28±0,189
	Водолазы	11,69±0,089**	12,03±0,08**/**	12,08±0,13**/**

Примечание: * - $P \leq 0,05$, ** - $P \leq 0,01$; слева от косой линии – статистическая достоверность различий по отношению к контролю, справа – к возрастной группе водолазов 21-30 лет.

В этот период также регистрируется повышение расхода энергии на продвижение крови и рост мощности левого желудочка как проявление компенсаторной реакции на постнагрузку.

С возрастом 31-40 лет соотносится формирование компенсаторной гиперфункции сердца по изометрическому типу (удлинение интервала IC и периода T в фазовой структуре сердечного цикла), сопровождаемое перестройкой гемодинамики по гипокинетическому типу (снижение УО, МОК), что отражает структуризацию механизмов долговременной адаптации.

В возрасте 41-50 лет большинство показателей кардиогемодинамики удерживаются на значениях, характерных для предыдущей группы, но происходит снижение УО. На этом этапе, несмотря на повышенный расход энергии на продвижение крови, регистрируются одинаковые с контролем цифры мощности левого желудочка и внешней работы сердца.

С увеличением возраста наблюдается накопление числа показателей, изменения которых выходят за рамки должных величин (табл. 5).

Таблица 5

Степень отклонения от должных величин (%) фактических значений основных показателей кардиогемодинамики у водолазов различного возраста

Показатель	Возраст, лет		
	21-30	31-40	41-50
УО	-1,6	-9,1	-13,1
ОПСС	12,8	20,8	21,6
IC	5,1	13,7	15,0
T	11,6	16,8	14,1
A	-1,6	-9,1	-13,1
M	5,9	2,9	-1,3

Продолжительность подводного стажа водолазов. Выборка протоколов обследованных водолазов градуировалась на четыре класса: до 1000, 1001-2000, 2001-3000 и более 3000 часов. Число испытуемых, входивших в каждую группу, составляло, соответственно, 152, 53, 39 и 87 человек. Контроль - 156 здоровых мужчин.

Величина показателей кардиогемодинамики водолазов представлена в таблице 6, а степень их отклонений от должных величин – в таблице 7.

Как и в отношении возрастных изменений, наиболее ранними отклонениями, которые выявлялись, начиная с класса менее 1000 ч, были признаки, связанные с ростом постнагрузки на сердце (повышение САД, ДАД и ОПСС). С первых сроков подводного стажа, кроме того, отмечалось увеличение мощности левого желудочка (М) и расхода энергии на продвижение крови (РЭ).

Таблица 6

Зависимость основных кардиогемодинамических показателей водолазов от продолжительности подводного стажа

Показатель	Контроль	Подводный стаж, ч			
		до 1000	1001-2000	2001-3000	больше 3000
ЧСС	63,3±0,91	61,8±0,74	61,2±1,16	62,1±1,7	61,8±0,75
УО	80,3±0,79	79,9±0,75	80,0±1,11	75,6±1,61 ^{*/}	75,7±1,12 ^{*/}
УИ	44,4±0,56	42,7±0,51	42,5±0,69	38,7±1,05 ^{**/}	39,3±0,71 ^{**/}
МОК	5,3±0,06	5,1±0,07	5,0±0,10	4,6±0,12 ^{**/}	4,8±0,11 ^{**/}
СИ	2,9±0,04	2,7±0,05 ^{**}	2,7±0,06 ^{**}	2,4±0,07 ^{**/}	2,5±0,05 ^{**/}
САД	118±0,56	124±0,82 ^{**}	125±1,12 ^{**}	126±1,61 ^{**}	130±1,18 ^{**}
ДАД	74±0,57	79±0,51 ^{**}	78±1,21 ^{**}	82±1,37 ^{**}	83±0,82 ^{**}
ОПСС	1308±17,2	1421±16,8 ^{**}	1442±33,3 ^{**}	1557±44,6 ^{**}	1581±26,2 ^{**}
IC	0,035±0,001	0,038±0,001	0,038±0,0015	0,046±0,0023 ^{**}	0,046±0,0014 ^{**}
T	0,096±0,001	0,099±0,001	0,099±0,0018	0,11±0,002 ^{**}	0,107±0,0017 ^{**}
A	6,15±0,084	6,42±0,102	6,28±0,145	6,16±0,201	6,34±0,117
M	3,40±0,027	3,58±0,036 ^{**}	3,54±0,054 [*]	3,46±0,083	3,55±0,042 ^{**}
РЭ	11,1±0,062	11,7±0,075 ^{**}	11,7±0,134 ^{**}	12,0±0,165 ^{**}	12,3±0,109 ^{**/}

Примечание: * - $P \leq 0,05$, ** - $P \leq 0,01$; слева от косой линии – статистическая достоверность различий по отношению к контролю, справа – к группе водолазов с наименьшим подводным стажем.

Формирование изометрической гиперфункции сердца (увеличение IC и T) с превышением должных величин обнаруживалось при подводном стаже 2001-3000 и более 3000 ч. На этом же этапе регистрировалось снижение УО, МОК и СИ, т.е. имела место перестройка гемодинамики по гипокинетическому типу. Внешняя работа сердца (A) во всех группах водолазов была одинакова с контролем, но для классов

2001-3000 и более 3000 ч она, как и мощность левого желудочка (М), оказалась ниже должных величин.

Таблица 7

Степень отклонений фактических значений основных кардиогемодинамических показателей от должных величин (%) у водолазов с разным подводным стажем

Показатель	Подводный стаж, ч			
	до 1000	1001-2000	2001-3000	больше 3000
УО	-1,1	-4,8	-16,7	-14,2
ОПСС	11,1	12,8	29,6	27,9
IC	3,7	6,9	24,3	19,4
T	11,2	12,3	22,7	17,3
A	3,5	-1,8	-14,0	-11,4
M	4,0	-1,7	-13,4	-11,4

Интенсивность подводных работ. Исследуемые группы водолазов ранжировали на классы до 100, 101 - 200, от 201 - 300 и больше 300 ч в год. Количество водолазов в группах равнялось 97, 58, 110 и 66 человек.

Повышение САД, ДАД и ОПСС как признаков, характеризующих рост постнагрузки на сердце, выявлялось уже при интенсивности подводных работ до 100 ч в год (табл. 8).

К ранним признакам относились также увеличение мощности левого желудочка сердца и расхода энергии на продвижение 1 л крови.

Начиная с нагрузки от 101 до 200 ч, у водолазов происходило статистически значимое снижение МОК и СИ. С этой интенсивностью подводных работ соотносится и развитие изометрической гиперфункции сердца, проявлением которой было увеличение интервалов IC и T в фазовой структуре сердечного цикла водолазов.

При интенсивности подводных работ от 201 до 300 ч и больше 300 ч перечисленные отклонения прогрессировали. Кроме того, при этих нагрузках у водолазов уменьшение величины УО становилось статистически значимым.

Зависимость основных кардиогемодинамических показателей водолазов от интенсивности подводных работ

Показатель	Контроль	Интенсивность подводных работ, ч			
		до 100	101-200	201-300	больше 300
ЧСС	63,3±0,91	62,4±0,83	62,2±0,98	61,7±0,87	63,3±1,02
УО	80,3±0,79	80,7±0,85	79,4±1,07	77,5±0,97 ^{*/}	75,1±1,50 ^{*/**}
МОК	5,3±0,06	5,2±0,08	5,0±0,09 [*]	4,8±0,04 ^{**/**}	4,8±0,11 ^{**/**}
СИ	2,9±0,04	2,7±0,05	2,7±0,05 ^{**}	2,5±0,04 ^{**/**}	2,5±0,04 ^{**/**}
САД	118±0,56	122±1,0 ^{**}	125±1,4 ^{**}	128±0,9 ^{**/**}	129±1,3 ^{**/**}
ДАД	74±0,57	78±0,7 ^{**}	79±1,1 ^{**}	81±0,8 ^{**/**}	83±0,9 ^{**/**}
ОПСС	1308±17,2	1375±20,0 [*]	1438±27,1 ^{**}	1533±23,6 ^{**}	1595±38,2 ^{**/**}
IC	0,035±0,0008	0,036±0,0011	0,039±0,0016 [*]	0,043±0,0012 ^{**/**}	0,047±0,0017 ^{**/**}
T	0,096±0,0010	0,097±0,0014	0,101±0,002 [*]	0,104±0,0014 ^{**/**}	0,108±0,0021 ^{**/**}
A	6,15±0,084	6,43±0,133	6,31±0,142	6,27±0,107	6,38±0,161
M	3,40±0,027	3,55±0,040 ^{**}	3,53±0,048 [*]	3,55±0,037 ^{**}	3,57±0,072 [*]
РЭ	11,1±0,062	11,6±0,093 ^{**}	11,7±0,121 ^{**}	12,1±0,093 ^{**/**}	12,3±0,116 ^{**/**}

Примечание: * - $P \leq 0,05$, ** - $P \leq 0,01$; слева от косой линии – статистическая достоверность различий по отношению к контролю, справа – к группе водолазов с наименьшей интенсивностью подводных работ.

Одним из значимых моментов является то, что в данном диапазоне нагрузок отклонения УО, ОПСС, IC и T выходили за рамки должных величин (табл. 9).

Таблица 9

Степень отклонений фактических значений наиболее важных кардиогемодинамических показателей от должных величин (%) у водолазов с разной интенсивностью подводных работ

Показатель	Подводный стаж, ч			
	до 100	101-200	201-300	больше 300
УО	-1,9	-1,4	-11,6	-11,6
ОПСС	8,5	9,1	23,8	29,8
IC	6,4	8,6	14,5	21,3
T	9,8	14,2	15,9	19,8
A	0,1	1,8	-7,7	-5,4
M	-0,1	2,0	-7,1	-4,7

Теснота связей изменения показателей кардиогемодинамики водолазов с продолжительностью подводного стажа и интенсивностью подводных работ выше, чем с возрастом и общим профессиональным стажем работы (табл.10).

Таблица 10

Коэффициент корреляции изменений показателей кардиогемодинамики водолазов с возрастом, общим профессиональным стажем, подводным стажем и интенсивностью подводных работ

Показатель	ИС	ИНМ	ВСП	УО	А	РЭ
Возраст	0,18	0,14	-0,17	-0,12	0,13	0,14
Общий стаж	0,10	0,09	-0,09	-0,08	0,08	0,10
Подводный стаж	0,24*	0,19*	-0,24*	-0,21*	0,23*	0,24*
Интенсивность подводных работ	0,33**	0,24*	-0,31*	-0,24*	0,36*	0,30*

Примечание: * - $P \leq 0,05$, ** - $P \leq 0,01$. ИС – фаза изометрического сокращения, ИНМ – индекс напряжения миокарда, ВСП – внутрисистолический показатель, УО – ударный объем, А – внешняя работа сердца, РЭ – расход энергии.

Подводя общий итог, следует отметить, что динамика развития долговременной адаптации сердечно-сосудистой системы водолазов к профессиональной деятельности представляет стереотипную последовательность процессов, характеризующих этапы формирования изометрической гиперфункции сердца и гипокинетического типа кровообращения, которые направлены на компенсирование увеличенной постнагрузки на сердце. Функционирование в подобном режиме сопряжено с хроническим напряжением, отражением чего служит повышенный расход энергии на продвижение 1 л крови. Наблюдаемая перестройка поддерживает сопоставимый с контролем уровень внешней работы и мощность левого желудочка сердца, но со временем эти цифры оказываются меньше должных величин, соответствующих складывающейся гемодинамической ситуации.

Согласно полученным данным, предел устойчивости, до которого работа водолазов осуществляется без отклонений в кардиогемодинамике, по интенсивности подводных погружений составляет 200 ч в год, а по продолжительности подводного стажа – 2000 часов. Основным критерием, по которому можно сделать подобное заключение, служит выход фактических значений большинства показателей, таких как УО, ОПСС, ИС, Т, А и М, за пределы должных величин. В прикладном плане существенно, что выявленное ограничение ниже цифр, регламентируемых

нормативными документами для назначения водолазам льготной пенсии (интенсивность подводных работ – 275 ч в год, подводный стаж -2750 ч).

ВЫВОДЫ

1. При однократном подводном погружении у водолазов, работающих на глубинах до 60 м, развивается стандартная кардиоваскулярная реакция с нормализацией большинства наблюдаемых отклонений в течение суток. Вместе с тем, следовые изменения, такие как брадикардия или увеличение диастолического артериального давления, сохраняются до 4-7, а изменения в фазовой структуре сердечного цикла – до 14 суток.

2. В условиях систематического выполнения подводных погружений у водолазов формируется кардиогемодинамический стереотип реакции на увеличение постнагрузки на сердце с развитием компенсаторной гиперфункции сердца преимущественно по изометрическому типу и перестройкой системы кровообращения гипокинетическому типу.

3. Развитие хронических кардиоваскулярных изменений в процессе профессиональной деятельности водолазов включает следующие этапы: а) увеличение постнагрузки на сердце, б) повышение расхода энергии на продвижение крови и рост мощности левого желудочка, в) компенсаторная гиперфункция сердца преимущественно по изометрическому типу и перестройка гемодинамики по гипокинетическому типу кровообращения, г) несоответствие мощности левого желудочка и внешней работы сердца сложившейся гемодинамической ситуации.

4. Скорость развития кардиоваскулярных изменений в диапазоне от адаптивной перестройки до проявления скрытых нарушений более тесно коррелирует с интенсивностью подводных работ и продолжительностью подводного стажа, чем с возрастом водолазов.

5. Физиологический предел интенсивности подводных работ, до которого их выполнение осуществляется без развития функциональных отклонений, составляет 200 ч в год, а продолжительности подводного стажа 2000 ч.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Рекомендовать внедрение методологии оценки адаптированности организма человека на основании показателей кардиогемодинамики в практику освидетельствования водолазов на пригодность к профессиональной деятельности.
2. При профессиональном отборе кандидатов для обучения водолазной специальности отдавать предпочтение лицам с гипокинетическим типом кровообращения, при котором повышены резервные возможности сердечно-сосудистой системы.
3. При проведении медицинского освидетельствования водолазов принимать во внимание физиологические пределы организма человека к работе в условиях гипербарии.
4. Признать необходимым уточнение нормативов интенсивности работ и продолжительности подводного стажа в регламентирующих документах.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Мирошников Е.Г. Сердечно-сосудистая система водолазов // Вестник ДВО РАН. 2005. №1. С.83-89.
2. Мирошников Е.Г., Мирошникова О.Н., Кириллов О.И. Возрастная динамика показателей сердечно-сосудистой системы водолазов, работающих на малых и средних глубинах // Военно-мед. журн. 2006. № 4. С. 56-59.
3. Мирошников Е.Г., Федотов П.И. Некоторые показатели функции сердечно-сосудистой системы и гемодинамики у водолазов // 7-й международный симпозиум по морской медицине (23-30 сентября 1976 г., Одесса): Тезисы докладов. Москва, 1976. С. 214.
4. Петров В.А., Мирошников Е.Г., Акатова Р.С. Заболеваемость водолазов с временной утратой нетрудоспособности // Гигиенические аспекты изучения труда и быта человека на Дальнем Востоке. Вып. 2. Владивосток: Изд-во Приморского крайисполкома, 1977. С. 62-64.

5. Мирошников Е.Г., Кучинский А.В., Мирошникова Ю.Е., Смирнов А.Ю. Компьютерный анализ состояния системы кровообращения человека с использованием неинвазивных методов диагностики // II съезд физиологов Сибири и Дальнего Востока (15-17 июня 1995 г., Новосибирск): Тезисы докладов. Новосибирск.. 1995. Ч. 2. С. 298.
6. Мирошников Е.Г. Некоторые механизмы адаптации сердечно-сосудистой системы у водолазов в зависимости от интенсивности подводных работ // II съезд физиологов Сибири и Дальнего Востока (15-17 июня 1995 г., Новосибирск): Тезисы докладов. Новосибирск.. 1995. Ч. 2. С. 297.
7. Мирошников Е.Г., Лавренюк М.В. Состояние функции внешнего дыхания у водолазов в зависимости от интенсивности труда и подводного стажа работы // XVII съезд физиологов России: Тез. докл. Ростов на Дону: Изд-во РГУ, 1998. С. 330-331.
8. Мирошников Е.Г. Состояние сердечно-сосудистой системы у водолазов в зависимости от подводного стажа и интенсивности подводных работ // Экологические, гуманитарные и спортивные аспекты подводной деятельности: Материалы научно-практической конференции. Томск: Изд-во ТГУ, 2002. С.93-101.
9. Кириллов О.И., Мирошников Е.Г., Мирошникова О.Н., Горькавая А.Ю. и др. Исследование механизмов хронического стресса (теоретические и прикладные аспекты) // Фундаментальные науки – медицине: Тез. докл. конференции (2-3 декабря 2004 г., Москва). М.: фирма «Слово», 2004. С. 37-38.
10. Кириллов О.И., Мирошников Е.Г., Мирошникова О.Н., Горькавая А.Ю. Исследование хронического стресса у водолазов и студенческой молодежи // Научные труды I Съезда физиологов СНГ (19-23 сентября 2005 г., Сочи, Дагомыс). М.: Медицина-здоровье, 2005. Т. 2. С. 231.