

УДК 612.(204.1)

Е. В. Моисеенко, В. И. Федорченко

Методика определения функционального состояния систем дыхания и кровообращения человека в подводных условиях

Разработана оригинальная установка, позволяющая регистрировать параметры дыхания, газообмена и кровообращения, а также определять работоспособность человека при погружениях и выполнении тестовых проб (дозированной физической нагрузки, дыхания измененной газовой смесью и т. д.) под водой. Экспериментально определены поправочные коэффициенты для расчета значений показателей газообмена и кардиогемодинамики в подводных условиях.

Введение

Изучение влияния на организм человека гипербарической среды, оценка функциональных резервов и профессиональный отбор водолазов в значительной мере затруднены отсутствием методик и приборов, специально предназначенных для регистрации физиологических параметров в подводных условиях [1, 3, 4]. Данные о влиянии комплекса экстремальных факторов на организм, в частности на системы дыхания и кровообращения, получены, в основном, в результате обследования человека в лабораторных условиях при действии «сухой» гипербарии и водной иммерсии [2]. Имеющиеся в литературе сведения о функциональном состоянии организма человека и его работоспособности под водой, особенно в реальных условиях, зачастую основываются на фрагментарных исследованиях без точной дозировки физической нагрузки, без комплексного обследования при выполнении тестовых проб. Поэтому целью нашей работы было создание установки на базе функционального объединения эргометра и физиологической аппаратуры, адаптированных к подводным условиям, и получение возможности регистрировать параметры внешнего дыхания, газообмена и кровообращения при погружении и выполнении человеком дозированной физической работы под водой.

На рис. 1 (1 — комплекс физиологической аппаратуры, 2 — газохранилище для подачи водолазу дыхательной смеси, 3 — спуско-подъемное устройство, 4 — газовые магистрали, 5 — электрические магистрали, 6 — подводный велоэргометр с водолазом, 7 — лабораторные помещения) представлена общая схема проведения обследования человека при выполнении дозированной физической нагрузки под водой. Комплексная установка для регистрации физиологических параметров организма человека под водой состоит из функционально взаимосвязанных трех частей — подводной (велоэргометр, дыхательное устройство, комплект герметизированных электродов и датчиков), надводной (физиологическая аппаратура, блок управления велоэргометром, спуско-подъемное устройство) и системы герметизированных газовых и электрических магистралей, связывающей подводную и надводную части в единый комплекс.

© Е. В. МОИСЕЕНКО, В. И. ФЕДОРЧЕНКО, 1991

Подводная часть установки базируется на подводном велоэргометре, для изготовления которого использован серийный велоэргометр ВЭ-02 (рис. 2: 1 — приборная стойка, 2 — баллон с калибровочной смесью, 3 — устройство для переключения капилляра масс-спектрометра, 4 — измеритель артериального давления, 5 — гермокамера с датчиками расхода дыхательной смеси, 6 — редуктор подачи дыхательной смеси водолазу, 7 — мерный баллон высокого давления, 8 — газохра-

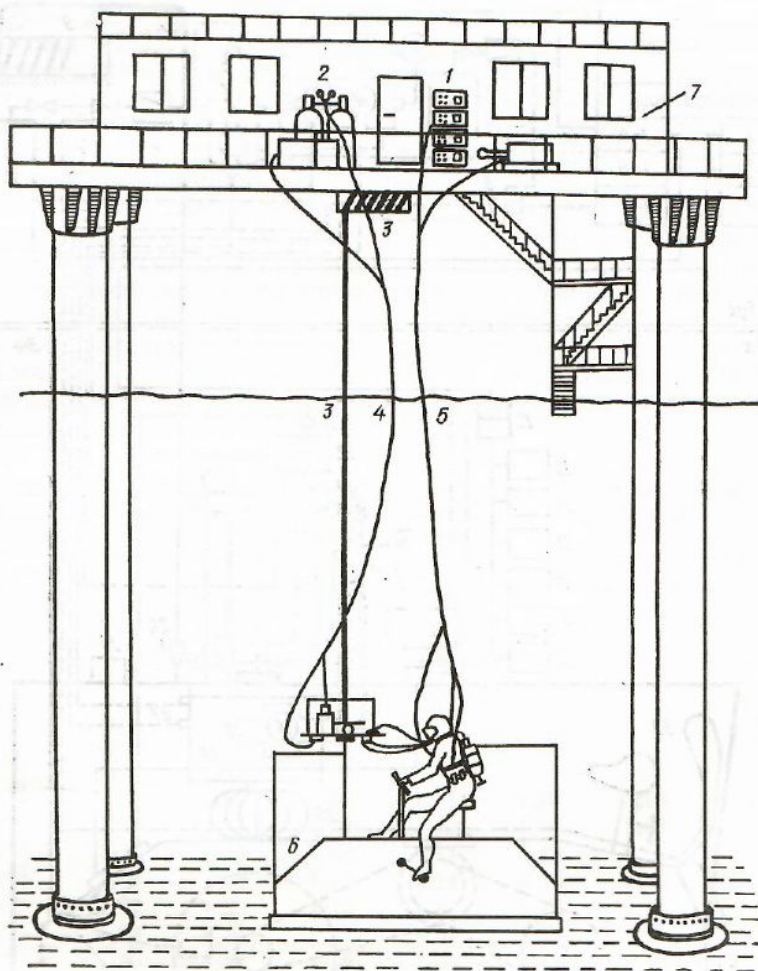


Рис. 1. Общая схема проведения обследования человека под водой.

нилище дыхательной смеси, 9 — подъемное устройство, 10 — легкоразнимаемый разъем электрокабеля к водолазу с компенсатором давления, 11 — сигнальная лампа, 12 — указатель частоты педалирования велоэргометра, 13 — ларингофоны, 14 — датчик измерителя артериального давления, 15 — датчик эхокардиографа, 16 — датчик РПГ, 17 — датчика ЭКГ, 18 — клапанная коробка с загубником, 19 — автоматический редуктор, 20 — лепестковый клапан выдыхаемого воздуха, 21 — компрессионная манжета, 22 — сигнальная кнопка, 23 — переключатель дыхания из замкнутого объема, 24 — трос спуско-подъемного устройства, 25 — датчик электротермометра, 26 — измеритель вентиляции, 27 — штуцеры для вывода альвеолярного и смешанного выдыхаемого воздуха, 28 — смеситель выдыхаемого воздуха, 29 — эластичная емкость смесителя выдыхаемого газа, 30 — ремни фикса-

ции водолаза на велоэргометре, 31 — автоматический редуктор, 32 — лепестковый клапан, 33 — подводный велоэргометр, 34 — система электро- и пневмокабелей).

Электромеханические узлы велоэргометра герметизированы металлическим корпусом, а для предотвращения затекания во внутрь воды использован автоматический редуктор, с помощью которого, в зависи-

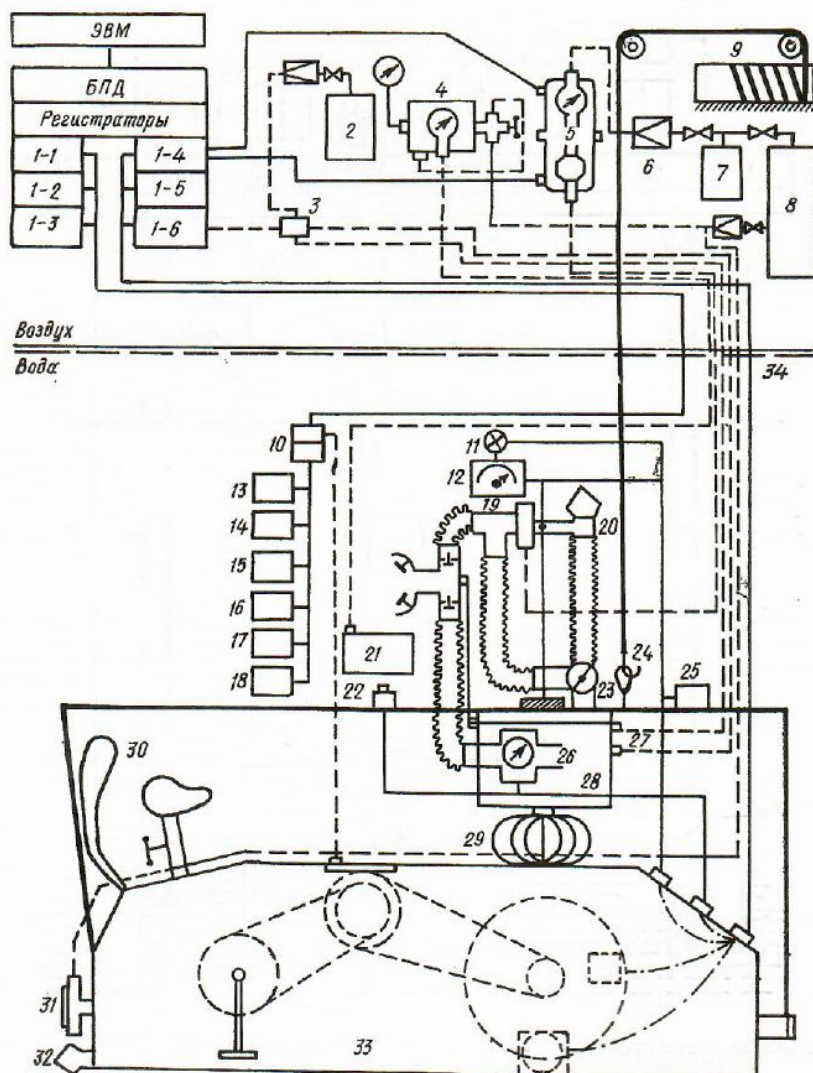


Рис. 2. Схема устройства подводного велоэргометра.

мости от глубины погружения, регулируется подача воздуха из газохранилища. Устройство для дыхания человека под водой жестко закреплено на рулевой части велоэргометра. Дыхательная смесь к испытуемому подается из газохранилища через мерный баллон, понижающий редуктор, камеру с датчиками расхода воздуха, и автоматический редуктор. Такая схема подачи дыхательной смеси обеспечивает определение расхода воздуха одновременно тремя независимыми способами: манометрическим по расходу смеси в мерном баллоне, методом пневмотахографии и с помощью крыльчатого вентилметра. Переключение испытуемого на дыхание из замкнутого объема осуществляется поворотом многоходового крана, что позволяет проводить под

водой исследование вентиляторного ответа системы дыхания человека на измененное содержание кислорода и углекислого газа в дыхательной среде. Определение уровня вентиляции в этом случае осуществляется только с помощью крыльчатого вентилометра. Выдыхаемый водолазом воздух через крыльчатый вентилометр подается в смеситель выдыхаемого воздуха и через лепестковый клапан поступает в окружающую среду. Анализируемая часть смешанного выдыхаемого и альвеолярного воздуха через штуцеры и капиллярные газопроводы (внутренний диаметр 1 мм), через устройство переключения капилляра поступает на газоанализатор. На подводном велоэргометре размещены герметизированные и легко разъединяющиеся разъемы для подключения электродов и датчиков (электрокардиографических, реографических, эхокардиографических, электротермометрических и др.), которые накладываются на участки тела испытуемого и фиксируются на нем с помощью специальных устройств.

Система герметизированных газовых и электрических магистралей соединяет подводный велоэргометр и испытуемого с надводно расположенным комплексом аппаратуры: пневмотахографом, газоанализатором, электрокардиоанализатором, ритмокардиографом, реоплетизмометром, поликардиоанализатором, эхокардиографом, электротермометром, измерителем артериального давления и др. На поверхности расположены блок сбора результатов и их подготовки для ЭВМ, что дает возможность оперативно получать информацию о функциональном состоянии организма водолаза.

Время продвижения выдыхаемого газа по пневмокабелю ($\varnothing$ 1 мм) и поправочные коэффициенты для определения содержания кислорода и углекислого газа в альвеолярном воздухе при исследованиях под водой

Частота дыхания	Глубина погружения						
	5 м	10 м	15 м	20 м	25 м	30 м	35 м
Время продвижения газа, с							
	39	34	29	25	21	18	15
Коэффициенты для кислорода							
10 мин ⁻¹	1,12	1,08	1,06	1,05	1,04	1,03	1,03
15 мин ⁻¹	1,14	1,11	1,09	1,08	1,07	1,06	1,05
20 мин ⁻¹	1,17	1,14	1,12	1,11	1,10	1,09	1,08
25 мин ⁻¹	1,20	1,17	1,15	1,14	1,13	1,12	1,11
30 мин ⁻¹	1,23	1,20	1,18	1,17	1,16	1,15	1,14
35 мин ⁻¹	1,26	1,24	1,21	1,20	1,19	1,18	1,17
40 мин ⁻¹	1,30	1,27	1,24	1,23	1,22	1,21	1,20
45 мин ⁻¹	1,35	1,31	1,27	1,26	1,25	1,24	1,23
50 мин ⁻¹	1,40	1,35	1,31	1,29	1,28	1,27	1,26
55 мин ⁻¹	1,45	1,40	1,36	1,33	1,32	1,31	1,30
60 мин ⁻¹	1,60	1,50	1,42	1,39	1,37	1,35	1,34
Коэффициенты для углекислого газа							
10 мин ⁻¹	1,12	1,08	1,06	1,05	1,04	1,03	1,03
15 мин ⁻¹	1,15	1,11	1,09	1,08	1,07	1,06	1,05
20 мин ⁻¹	1,19	1,15	1,13	1,12	1,11	1,10	1,09
25 мин ⁻¹	1,23	1,19	1,17	1,16	1,15	1,14	1,13
30 мин ⁻¹	1,27	1,23	1,21	1,20	1,19	1,18	1,17
35 мин ⁻¹	1,31	1,27	1,25	1,24	1,23	1,22	1,21
40 мин ⁻¹	1,37	1,31	1,29	1,28	1,27	1,26	1,25
45 мин ⁻¹	1,42	1,36	1,34	1,33	1,32	1,31	1,29
50 мин ⁻¹	1,48	1,41	1,39	1,38	1,37	1,36	1,35
55 мин ⁻¹	1,56	1,47	1,45	1,44	1,43	1,42	1,40
60 мин ⁻¹	1,61	1,54	1,51	1,49	1,48	1,47	1,46

Однако специфическое действие водной среды и применение удлинённых газовых и электрических магистралей при подводных исследованиях сказываются на качестве регистрируемых сигналов, что привело к необходимости экспериментального расчёта соответствующих коэффициентов для корректировки получаемых результатов. Уд-

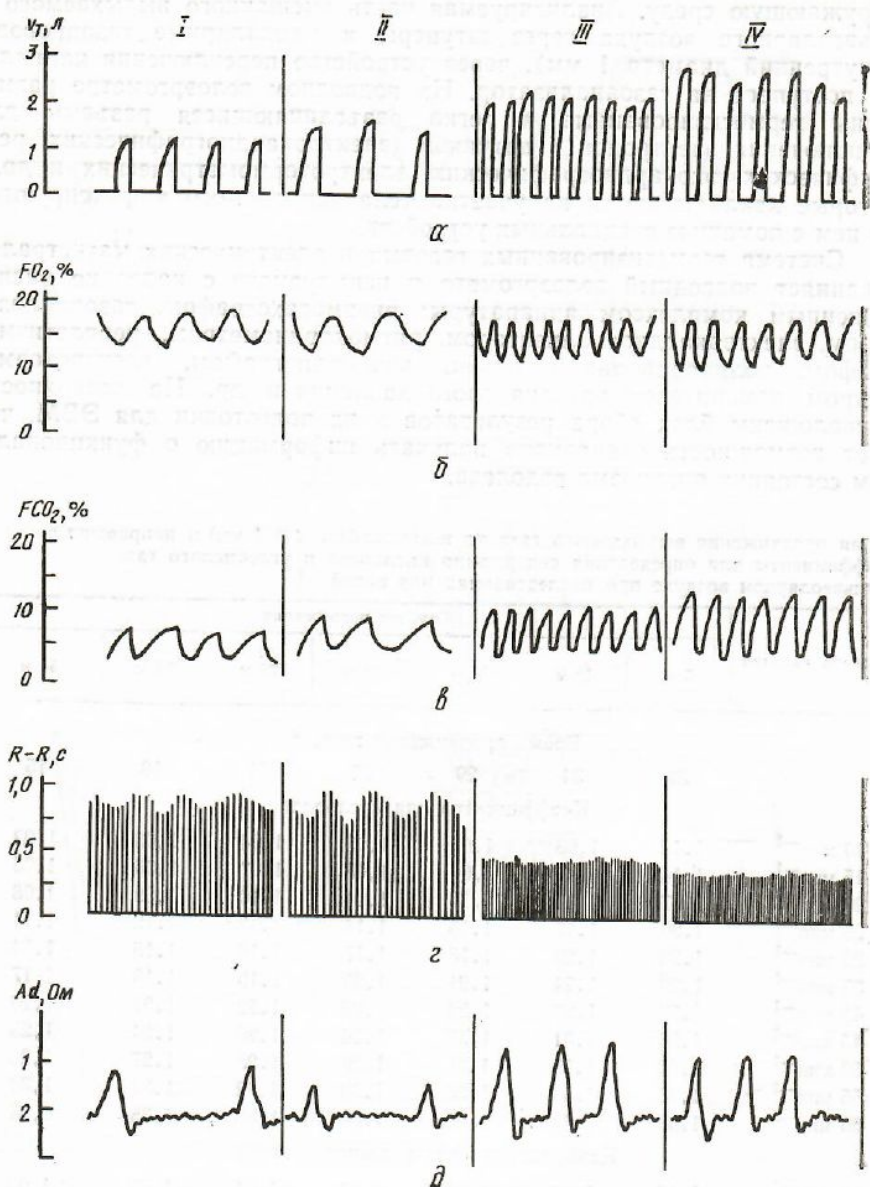


Рис. 3. Примеры регистрации показателей дыхательной и сердечно-сосудистой систем водолазов в подводных условиях.

линение капилляров подачи выдыхаемого воздуха на газоанализатор приводит к увеличению времени продвижения газа, а порции альвеолярного газа, вследствие диффузии, несколько «размываются». Установлено также, что относительное содержание (%) респираторных газов в конечных порциях выдыхаемого воздуха изменяется не только в зависимости от глубины погружения, но и от частоты дыхания. Поэтому с помощью дыхательного иммитатора экспериментально были получены сведения о времени продвижения дыхательных газов по пневмокабелю

длиной 45 м (диаметр 1 мм) и рассчитаны поправочные коэффициенты для пересчета полученных результатов газоанализа в зависимости от глубины погружения и частоты дыхания (таблица). Несовпадение значений поправочных коэффициентов для O_2 и CO_2 связано с различной инерционностью газоанализатора к этим газам.

Экспериментальная серия исследований по выявлению влияния водной среды и удлиненного кабеля на амплитуду кардио- и реографических сигналов заключалась в поочередной регистрации этих сигналов без изменения положения электродов на теле водолаза и без погру-

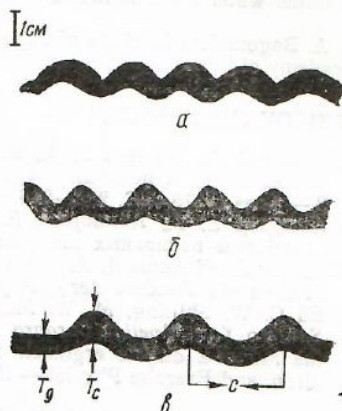


Рис. 4. Эхокардиографические изменения характера сокращений задней стенки левого желудочка сердца у человека под водой.

жения под воду при длинном и коротком кабелях, а также при погружении под воду с длинным и коротким кабелями.

Полученные результаты позволили определить поправочные коэффициенты, которые были использованы в программе обработки информации на ЭВМ. Для электрокардиографического сигнала коэффициенты составляли 0,80 и 0,62, реографического — 0,87 и 0,71 (для пресной и морской воды соответственно).

Изменение некоторых показателей кардиореспираторной системы человека в подводных условиях проиллюстрировано на рис. 3 (а — пневмотахограмма — дыхательный объем, мл; б — оксиграмма — относительное содержание кислорода в выдыхаемом воздухе, %; в — капнограмма — относительное содержание углекислого газа в выдыхаемом воздухе, %; г — интервалокардиограмма — интервалы R—R электрокардиограммы, с; д — дифференциальная трансторакальная реограмма и амплитуда дифференциальной реограммы, Ом; I — покой при нормобарии, II — покой под водой, III — физнагрузка при нормобарии, IV — физнагрузка под водой).

Удлинение электрокабеля эходатчика до 15 м не оказывало существенного влияния на качество регистрируемого сигнала, а до 45 м — приводило к некоторому снижению четкости изображения. При этом погружение эхокабеля под воду на качество сигнала не влияло. На рис. 4 представлена характерная эхокардиографическая картина сокращения задней стенки левого желудочка сердца у человека под водой (а — нормобария, б — глубина 3 м, в — глубина 15 м; T_d — толщина задней стенки левого желудочка сердца в период диастолы, T_c — толщина задней стенки левого желудочка сердца в период систолы, с — время одного кардицикла).

Таким образом, разработана методика, позволяющая проводить исследования систем дыхания, газообмена и кровообращения у человека в подводных условиях при его различных состояниях (покое, физнагрузке, дыхании измененными газовыми смесями и т. д.), оценивать функциональные резервы, определять работоспособность под водой.

F. V. Moiseenko, V. I. Fedorchenko

THE METHOD FOR FUNCTIONAL DETERMINATION OF THE STATE IN HUMAN RESPIRATION AND CIRCULATION SYSTEMS IN UNDERWATER CONDITIONS

An original device has been worked out which permits registering parameters of respiration, gas exchange and circulation in man during diving and performance of some tests

under water (graduated exercise, respiration with changed gas mixture, etc.). The correction coefficients have been experimentally determined to calculate the gas exchange and cardiohemodynamics indices in underwater conditions. The indices of human work capacity under water are determined using the above device.

A. A. Bogomoletz Institute of Physiology,
Academy of Sciences of the Ukraine, Kiev

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуляр С. А., Веселый Г. А., Барац Ю. М. и др. К методике медико-физиологических исследований в подводной среде. Подводные медико-физиологические исследования. 2.— Киев; 1975.— С. 209—216.
2. Ланфиер Е. Г., Кампореги Е. М. Дыхание и физическая нагрузка // Медицинские проблемы подводных погружений /— Пер. с англ. М.: Медицина, 1988.— 672 с.
3. Dwyer J., Pilmanis A. A. Physiological studies of divers working at depths to 90 FSW in open sea Underwater // Physiology VI. Proc. 6 th. Symp. on Underwater physiology. Ed C. W. Shilling, M. W. Maryland, Bethesda: Beckett FASEB, 1978.— P. 167—178.
4. Spapero Yuri, Avelini Bardara A., Toner. Michel M., Pandolf Kent B. Modification of the Monar-k dicycle ergometer for underwater exercise // J. Appl. Physiol. Respir. Environ. and Exercise Physiol.— 1981.— 50, N 3.— P. 679—683.

Ин-т физиологии им. А. А. Богомольца
АН Украины, Киев

Материал поступил
в редакцию 29.12.90

**К СВЕДЕНИЮ ФИЗИОЛОГОВ, ЖЕЛАЮЩИХ ПРИНЯТЬ УЧАСТИЕ
В ФИЗИОЛОГИЧЕСКОМ КОНГРЕССЕ В ГЛАЗГО В 1993 Г.
РЕДКОЛЛЕГИЯ ЖУРНАЛА ПУБЛИКУЕТ НИЖЕСЛЕДУЮЩЕЕ:**

«ПРИГЛАШЕНИЕ

Физиологический конгресс в Глазго в 1993 г. — это будущее физиологии. Я и мои коллеги признали целесообразным включить тематику работ, которые ранее представлялись на спутных симпозиумах, непосредственно в программу самого конгресса. Единый регистрационный взнос даст возможность каждому посещать любой симпозиум.

Международный программный комитет пригласил для организации симпозиумов выдающихся ученых в данной области науки. Стеновые доклады могут быть представлены как обычно, а некоторые из них будут включены в программу симпозиумов. Мы также планируем ряд изданий, в том числе — труды конгресса, будущи убеждены, что интегративная физиология конца XX века включает в себя исследование на молекулярном и клеточном уровне, которые призваны облегчить наше понимание деятельности всех органов, систем и организма в целом.

От имени Королевского Общества и Физиологического общества я имею честь пригласить Вас присоединиться к нам. Это будет Конгресс, который запомнится надолго. Не пропустите его!

ДЕНИС НОУБЛ,
Председатель Оргкомитета Конгресса

Бланк карточки предварительной регистрации и адрес Оргкомитета Конгресса Вы найдете на с. 115 нашего журнала.

РЕДКОЛЛЕГИЯ