

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2018

УДК 614.894-092:612.22+612.121.2]-07

Бяловский Ю.Ю.¹, Булатецкий С.В.¹, Кирюшин В.А.¹, Прохоров Н.И.², Абросимов В.Н.¹, Глотов С.И.¹, Пономарёва И.Б.¹, Субботин С.В.¹**ЛЁГочный ГАЗообмен и КИСЛОТНО-ЩЕЛОЧНОЕ СОСТОЯНИЕ КРОВИ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ**¹ФГБОУ ВО РязГМУ Минздрава России, 390026, Рязань;²ФГАУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), 119992, Москва

Проведено исследование, целью которого было изучение влияния длительности тренировок к использованию средств индивидуальной защиты органов дыхания на показатели лёгочного газообмена и кислотно-щелочного состояния крови. Моделирование условий применения средств индивидуальной защиты органов дыхания осуществлялось с помощью инспираторных сопротивлений дыханию величиной 40, 60, 70 и 80% P_{тmax}. В исследовании участвовало 38 практически здоровых испытуемых мужского пола в возрасте от 20 до 36 лет. По результатам исследования показано, что при использовании средств индивидуальной защиты органов дыхания предварительная тренировка имеет существенное значение. У испытуемых, не прошедших предварительной тренировки, характер дыхательного рисунка мало изменялся при использовании средств индивидуальной защиты органов дыхания. У испытуемых, прошедших предварительную тренировку, отмечалась адаптивная перестройка дыхательного рисунка, состоявшая в урежении дыхательных движений по мере роста респираторного сопротивления. Предварительная тренировка к действию дополнительного сопротивления дыханию изменяла лёгочный газообмен и кислотно-щелочное состояние крови. Тренированные испытуемые имели более высокие значения напряжения углекислого газа и более низкие значения напряжения кислорода в крови. У них обнаружился больший дефицит буферных оснований плазмы по сравнению с нетренированными. Данный факт свидетельствовал о том, что предварительная тренировка к использованию средств индивидуальной защиты органов дыхания (долговременная адаптация) изменяла газовый состав и кислотно-щелочное состояние крови на более экономный режим расхода буферных систем. На основании полученных данных выдвинуто положение о том, что при использовании средств индивидуальной защиты органов дыхания целесообразно проведение предварительной тренировки к увеличенному сопротивлению дыхания.

Ключевые слова: дополнительное респираторное сопротивление; лёгочный газообмен; кислотно-щелочное состояние; средства индивидуальной защиты органов дыхания.

Для цитирования: Бяловский Ю.Ю., Булатецкий С.В., Кирюшин В.А., Прохоров Н.И., Абросимов В.Н., Глотов С.И., Пономарёва И.Б., Субботин С.В. Лёгочный газообмен и кислотно-щелочное состояние крови при применении средств индивидуальной защиты органов дыхания. *Гигиена и санитария*. 2018; 97(5): 445-448. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-5-445-448>

Для корреспонденции: Бяловский Юрий Юльевич, д-р мед. наук, зав. каф. патофизиологии ФГБОУ ВО «РязГМУ» Минздрава России. E-mail: b_uu@mail.ru

Byalovsky Yu. Y.¹, Bulatetsky S. V.¹, Kiryushin V. A.¹, Prokhorov N. I.², Abrosimov V. N.¹, Glotov S. I.¹, Ponomareva I. B.¹, Subbotin S. V.¹

PULMONARY GAS EXCHANGE AND ACID-BASE STATUS OF BLOOD UNDER THE USE OF MEANS FOR INDIVIDUAL PROTECTION OF RESPIRATORY ORGANS¹Ryazan State Medical University, Ryazan, 390026, Russian Federation;²I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, 119991, Russian Federation

The aim of the study was to evaluate the effect of the duration of training on the use of personal respiratory protective equipment on indices of pulmonary gas exchange. Simulation of conditions for the use of personal respiratory protective equipment was carried out at the inspiratory resistance of 40, 60, 70 and 80% P_{тmax}. The study included 38 healthy male subjects aged 20 to 36 years. According to the results of the study, under the use of personal protective equipment for the respiratory system, preliminary training was shown to be essential. In the subjects without preliminary training, the use of personal protective equipment was followed by a weak change in the nature of the respiratory pattern. After the preliminary training subjects had an adaptive rearrangement of the respiratory pattern, consisted of the decline in breathing movements as the respiratory resistance increased. Preliminary training to the exposure of additional resistance to breathing, altered pulmonary gas exchange and acid-base state of blood. The trained subjects had higher pCO₂ blood values and lower values of pO₂. They showed a greater deficit of buffer bases of plasma compared to untrained ones. This fact testified the preliminary training for the use of personal respiratory protective equipment (long-term adaptation) changed the gas composition and acid-base state of the blood to be a more economical mode of the discharge of buffer systems. On the basis of the data obtained, the preliminary training for increased respiratory resistance was suggested to be advisable before the using personal respiratory protective equipment.

Key words: additional respiratory resistance; pulmonary gas exchange; acid-base state; personal respiratory protective equipment.

For citation: Byalovsky Yu. Y., Bulatetsky S. V., Kiryushin V. A., Prokhorov N. I., Abrosimov V. N., Glotov S. I., Ponomareva I. B., Subbotin S. V. Pulmonary gas exchange and acid-base status of blood under the use of means for individual protection of respiratory organs. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2018; 97(5): 445-448. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-5-445-448>

For correspondence: Yury Yu. Byalovsky, MD, Ph.D., DSci., Head of the Department of Pathophysiology of the State Medical University of the Ryazan, 390026, Russian Federation. E-mail: b_uu@mail.ru

Information about authors:Byalovsky Yury Yu., <http://orcid.org/0000-0002-6769-8277>; Bulatetsky S. V., <http://orcid.org/0000-0002-6023-7523>;Kiryushin V. A., <http://orcid.org/0000-0002-1258-9807>; Prokhorov N. I., <http://orcid.org/0000-0002-4510-2890>;Abrosimov V. N., <https://orcid.org/0000-0001-7011-4765>; Glotov S. I., <https://orcid.org/0000-0002-4445-4480>;Ponomareva I. B., <https://orcid.org/0000-0002-0273-4388>; Subbotin S. V., <http://orcid.org/0000-0002-7459-5380>.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgment. The study had no sponsorship.

Received: 19 February 2018

Accepted: 24 April 2018

Введение

В системе профилактических мероприятий, направленных на обеспечение безопасных условий труда и снижение профессиональных заболеваний, средства индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД) занимают важное место. Их использование становится необходимым в тех случаях, когда современными техническими средствами не удается обеспечить нормализацию воздуха рабочей зоны. На сегодня разработан и выпускается достаточно большой ассортимент противоаэрозольных, противогазовых и универсальных респираторов, фильтрующих противогазов, изолирующих шланговых дыхательных устройств различных конструкций [1–3].

Современные СИЗОД характеризуются высокой эффективностью. Однако надёжная защита человека с их помощью может быть достигнута лишь при условии рационального выбора и правильного применения соответствующих устройств в конкретной производственной обстановке. Правильное применение СИЗОД обеспечивается не только теоретическим обучением работающих к использованию защитного оборудования, но и тренировкой (адаптацией) человека к действию дополнительного респираторного сопротивления (ДРС). Основное внимание при этом уделяется изменениям биомеханики дыхания, связанным с действием ДРС [4, 5]. При этом на сегодня практически не изучены вопросы влияния продолжительности адаптации к СИЗОД на функцию газообмена и кислотно-щелочного состояния крови. Исследование этой проблемы представляет несомненный интерес с точки зрения изучения санитарно-гигиенических аспектов применения СИЗОД.

Целью данного исследования являлось изучение влияния длительности тренировок к использованию средств индивидуальной защиты органов дыхания на показатели лёгочного газообмена и кислотно-щелочного состояния крови.

Материал и методы

Изучались показатели внешнего дыхания и газообмена 38 практически здоровых испытуемых мужского пола в возрасте от 20 до 36 лет. Испытуемых распределили на 2 группы: 1 – группа участников серии «срочной» (кратковременной) адаптации, 2 – группа участников серии долговременной (хронической) адаптации [6]. К участникам серии исследований срочной адаптации относили испытуемых, ранее не встречавшихся с ДРС (так называемые «наивные» испытуемые); изучение физиологических показателей во время действия ДРС у них проводилось однократно, т. е. в течение одного исследования. Группа добровольцев серии исследования долговременной адаптации характеризовалась длительным на протяжении 18–20 исследований изучением реакций организма на ДРС.

В исследованиях применялись инспираторные беспороговые ДРС. Для стандартизации величины ДРС у разных испытуемых применялся способ, описанный в работе [7]. Суть способа заключалась в том, что величина ДРС определялась, исходя из значения подмасочного давления во время первого нагруженного вдоха при выполнении пробы Мюллера. Дыхательный маневр Мюллера состоит в том, что испытуемый производит вдох при полностью перекрытых воздухоносных путях; полученное при этом внутриротовое давление принимается за 100% (100% P_{тmax}). Исходя из этого, ДРС дозировались в следующих градациях: 40, 60, 70, 80% P_{тmax}. Для предъявления ДРС использовано оригинальное устройство [8], позво-

Таблица 1

Показатели внешнего дыхания и газообмена испытуемых срочной и долговременной адаптации к дополнительным сопротивлениям вдоху величиной 0, 40, 60 и 80% P_{тmax}

Показатель	Испытуемые группы срочной адаптации, %				Испытуемые группы долговременной адаптации, %				
	0	40	60	80	0	40	60	70	80
РАСО ₂ (мм. рт. ст.)	42 ± 1,46	44,4 ± 0,9	44,6 ± 0,63	44,1 ± 1,1	39,7 ± 1,12	42,1 ± 1,2	44,1 ± 1,4	43,8 ± 1,09	45,2 ± 1,2
РАО ₂ (мм. рт. ст.)	111,4 ± 1,96	105,7 ± 1,6	104,9 ± 2,2	101,1 ± 1,8	113,5 ± 2,36	106,5 ± 1,96	106,2 ± 2,1	105,5 ± 1,34	100,1 ± 2,2
РАО ₂ e-i (мм. рт. ст.)	35,2 ± 3,8	43,2 ± 1,1	43,6 ± 2,3	48,8 ± 1,4	34,7 ± 3,14	39 ± 2,3	45,6 ± 1,3	44,7 ± 1,4	48,1 ± 2,0
R (с)	2,15 ± 1,18*	0,86 ± 0,083	0,78 ± 0,06	0,54 ± 0,06*	0,82 ± 0,04*	0,9 ± 0,03	0,8 ± 0,03	0,7 ± 0,03	0,83 ± 0,03*
Угол α (град)	73,5 ± 8,15	82,8 ± 1,05	82,3 ± 0,8	81,5 ± 1,3	81,2 ± 1,26	82,8 ± 0,79	82,8 ± 1,2	82,4 ± 1,2	82 ± 1,4
Угол β (град)	11,7 ± 9,2*	2,2 ± 0,2	2,4 ± 0,1	1,6 ± 0,16*	5,4 ± 1,4*	3,0 ± 0,3	2,85 ± 0,3	2,80 ± 0,4	2,75 ± 0,3*
Угол γ (град)	90,4 ± 9,96*	97,9 ± 0,8	99,3 ± 0,96	97,3 ± 0,7	102,5 ± 2,4*	97,1 ± 1,1	112,1 ± 3,2	100,8 ± 1,6	98,2 ± 0,7
f (мин ⁻¹)	13,9 ± 1,8	13,8 ± 1,3*	12,4 ± 0,8*	12,5 ± 1,04*	13,5 ± 1,1	7,42 ± 0,57*	6,2* ± 0,4	7,71 ± 0,68*	6,14 ± 0,77*
Ti (сек)	1,54 ± 0,27*	1,87 ± 0,2*	2,62 ± 0,27*	2,85 ± 0,38*	2,67 ± 0,28*	5,34 ± 0,16*	5,34* ± 0,1	6,0 ± 0,72*	5,2 ± 0,26*
Te (с)	2,83 ± 0,32*	2,68 ± 0,3	2,56 ± 0,23*	2,5 ± 0,16*	1,51 ± 0,24*	2,8 ± 0,1	3,55 ± 0,65*	2,67 ± 0,21	3,9 ± 0,4*
Tt (с)	3,8 ± 0,3	4,44 ± 0,32*	5,08 ± 0,41*	5,31 ± 0,54*	3,9 ± 0,27	7,37 ± 0,66*	8,58 ± 0,74*	7,51 ± 1,0*	7,72 ± 0,5*
Ti/Tt	0,40 ± 0,02*	0,41 ± 0,02*	0,52 ± 0,03*	0,52 ± 0,02*	0,68 ± 0,02*	0,72 ± 0,03*	0,62 ± 0,04*	0,81 ± 0,02*	0,70 ± 0,02*

Примечание. * – суждение о различии показателей срочной и долговременной адаптации достоверно (p < 0,05).

лявшее плавно изменять сечение дыхательного канала. Исходным фоном являлось незатруднённое дыхание (0% P_{max}).

Проводили изучение временных показателей внешнего дыхания, данных капнографии, определяли показатели кислотно-щелочного состояния крови (КЩС). Капнограмма регистрировалась с помощью капнографа NORMOCAP-200-оу (Datex, Финляндия). Рассчитывали следующие показатели: парциальное давление углекислого газа в альвеолярном воздухе (РАСО₂), мм. рт. ст.; парциальное давление кислорода в альвеолярном воздухе (РАО₂), мм. рт. ст.; разность парциальных давлений кислорода альвеолярного воздуха во время вдоха и выдоха (РАО₂ e-i), мм. рт. ст.; индекс Van Meerten – радиус экспоненциальной части капнограммы – R (с); индексы проходимости дыхательных путей [9] – угол α (град), угол β (град) и угол γ (град).

Показатели КЩС определялись на газоанализаторе AVL-995 (Австрия). Измерялись следующие параметры: водородный показатель – pH (ед.); напряжение углекислого газа артериальной крови – рСО₂ (мм. рт. ст.); избыток буферных оснований – BE (ммоль/л); эффективная разница между количеством буферных оснований и индивидуальной нормой – BE_{eff} (ммоль/л); буферные основания крови – BB (ммоль/л); свободная угольная кислота – Н₂СО₃ (ммоль/л); напряжение кислорода артериальной крови – рО₂ (мм. рт. ст.); сатурационный показатель О₂Sat (%). Для определения КЩС крови у испытуемых 3-кратно (до, во время и после нагрузок) проводился забор капиллярной крови.

Материал обработан с использованием автоматизированного пакета StatGraphics Plus 5.0.

Результаты

В табл. 1 приведены средние величины ($M \pm m$) показателей дыхания испытуемых срочной и долговременной адаптации к ДРС различной величины. Следует отметить разную динамику изменений временных показателей дыхательного цикла у представителей несхожей степени адаптированности в условиях ступенчатого увеличения ДРС. Так, если испытуемые срочной адаптации обнаруживали крайне стабильные величины f , T_i , T_t , T_i/T_t ($pid > 0,05$), то у представителей долговременной адаптации выявлялось изменение этих показателей ($pid < 0,05$), состоявшее в урежении дыхательных движений по мере роста величины ДРС. Динамика показателей газового состава альвеолярного воздуха при увеличении ДРС у испытуемых обеих групп была незначительной, однако у адаптированных испытуемых соответствующие газовые отклонения были более выраженными. Для суждения об изменениях вентиляционно-перфузионных соотношений при адаптации к ДРС необходима оценка динамики газового состава крови. В табл. 2 приведены оценки показателей КЩС крови адаптированных и неадаптированных испытуемых до, во время и после предъявления максимальной градации ДРС (80% P_{max}).

Как следует из данных, представленных в табл. 2, испытуемые, предварительно тренированные к действию ДРС, имели КЩС крови, отличное от нетренированных.

Показатели кислотно-щелочного состояния крови у адаптированных (1 группа) и неадаптированных (2 группа) к действию ДРС испытуемых до (А), во время (Б) и после (В) предъявления 80% P_{max} (M ± m)

Группа		pH	pCO ₂	BE	BE _{eff}	BB	H ₂ CO ₃	pO ₂	O ₂ Sat
1	А	7,36 ± 0,01	41,28 ± 0,4	2,2 ± 0,4*	2,1 ± 0,5*	46,3 ± 2,1	23,5 ± 1,2	73,4 ± 3,9	93,2 ± 2,2
	Б	7,40 ± 0,01	47,3 ± 2,0	1,1 ± 0,2	0,8 ± 0,3	46,2 ± 2,8	24,3 ± 1,4	74,7 ± 4,8	94,7 ± 2,5
	В	7,38 ± 0,02	41,1 ± 2,3	1,0 ± 0,2	0,8 ± 0,1	46,1 ± 3,2	23,8 ± 1,8	88,2 ± 4,9	96,1 ± 3,1
2	А	7,39 ± 0,02	39,5 ± 1,8	0,7 ± 0,2*	0,6 ± 0,2*	47,5 ± 3,4	22,1 ± 2,1	80,5 ± 3,9	94,6 ± 2,7
	Б	7,36 ± 0,01	47,6 ± 2,7	0,9 ± 0,1	0,8 ± 0,2	47,2 ± 4,1	24,8 ± 1,7	75,4 ± 4,2	93,3 ± 3,6
	В	7,39 ± 0,01	39,6 ± 2,5	0,7 ± 0,2	0,5 ± 0,1	47,5 ± 3,4	24,1 ± 2,2	88,5 ± 4,1	96,5 ± 2,5

Примечание. * – $p < 0,05$.

Эти различия касались исходного состояния: представители группы 1 имели тенденцию к более высоким значениям рСО₂, Н₂СО₃ и более низким рО₂ и О₂Sat. Такая тенденция явным образом отражалась на значительно большем дефиците буферных оснований у тренированных испытуемых по сравнению с нетренированными ($p < 0,05$).

Данный факт свидетельствовал о том, что предварительная тренировка к ДРС (долговременная адаптация) изменяла КЩС крови на более экономный режим. Наблюдались различия в динамике описываемых показателей у разных групп во время ДРС 80% P_{max}. Если адаптированные испытуемые практически не испытывали респираторных ацидотических сдвигов, то в группе нетренированных лиц таковые явно присутствовали. По-видимому, это свидетельствует о более мобильных механизмах регуляции КЩС крови как результата длительных адаптационных изменений.

В табл. 3 приведены некоторые показатели отношения вентиляция – кровоток у адаптированных и неадаптированных испытуемых до, во время и после действия ДРС 80% P_{max}.

Как следует из представленных данных, вентиляционно-перфузионные показатели представителей двух указанных групп не выходили за пределы среднепопуляционной нормы (0–4 мм. рт. ст. для артериоальвеолярной разности по СО₂; 5–15 мм. рт. ст. для альвеоло-артериальной разности по О₂ и 0–15% для ВНПAs).

При этом сами показатели имели значимые межгрупповые различия ($p < 0,05$). Это обстоятельство, по-видимому, указывает на оптимизацию регионарной лёгочной гемодинамики в ходе долговременной адаптации к ДРС, более согласованную регуляцию вентиляции и перфузии [11].

Таблица 3

Показатели вентиляционно-перфузионных соотношений адаптированных (1 группа) и неадаптированных (2 группа) испытуемых до (А), во время (Б) и после (В) предъявления 80% P_{max}

Группа		Δ(a-A)PCO ₂	Δ(A-a)PO ₂	ВНПА [10]
1	А	1,5784 ± 0,02331	7,881 ± 0,64	2,42798 ± 0,067231
	Б	2,1556 ± 0,10320	9,243 ± 0,82	4,43351 ± 0,135620
	В	1,2488 ± 0,09214	6,551 ± 0,56	2,92682 ± 0,246359
2	А	2,5012 ± 0,29711	10,07 ± 1,22	6,32911 ± 0,371134
	Б	3,5076 ± 0,45128	12,29 ± 1,07	8,53658 ± 0,571123
	В	2,3457 ± 0,51231	11,54 ± 0,94	5,90909 ± 0,316522

Обсуждение

Оценивая изменения лёгочного газообмена при адаптации испытуемых к ДРС, следует отметить, что основным механизмом долговременной адаптации является изменение дыхательного паттерна. Урежение и углубление дыхания при действии ДРС, по данным большинства исследователей этой проблемы [12, 13 и мн. др.], является несомненным признаком оптимизации энергетики вентиляции в условиях механических нагрузок на дыхательный аппарат. Как было показано нами ранее [4], основным результатом урежения и углубления дыхания во время ДРС является минимизация энергетики вентиляции, т. е. предупреждение утомления дыхательной мускулатуры. Как показали капнографические оценки состояния адаптированных испытуемых, их газовый гомеостаз менее жестко детерминирован, т. е. допускает определённый диапазон колебаний основных констант (PAO_2 , $PACO_2$). Подобные адаптивные сдвиги в литературе трактуются как проявления гомеокинеза и являются несомненным признаком эффективности долговременной адаптации [14]. Таким образом, долговременная адаптация к ДРС позволяет расширить диапазон показателей газового гомеостаза и за счёт этого существенно снизить энергетику вентиляции, уровень которой создаёт предельный уровень психоэмоционального напряжения, ограничивающего переносимость ДРС [15].

Выводы

При использовании средств индивидуальной защиты органов дыхания предварительная тренировка имеет важное значение для повышения переносимости дополнительного респираторного сопротивления при оптимизации показателей газообмена и кислотно-щелочного состояния крови.

У испытуемых, не прошедших предварительной тренировки, характер дыхательного рисунка мало изменялся при использовании дополнительного респираторного сопротивления; испытуемые, прошедшие предварительную тренировку, демонстрировали адаптивную перестройку дыхательного рисунка, состоявшую в урежении дыхательных движений по мере роста респираторного сопротивления.

Предварительная тренировка к действию дополнительного респираторного сопротивления изменяла лёгочный газообмен и кислотно-щелочное состояние крови в сторону расширения диапазона газовых показателей и дефицита буферных оснований плазмы.

Финансирование. Работа не имела финансовой поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература

1. Каминский С.Л. *Основы рациональной защиты органов дыхания на производстве*. М.: Проспект Науки; 2007: 208.
2. Рассел Дж. *Противогаз*. М.: Книга по Требованию; 2012: 104.
3. Технические и специальные средства обеспечения гражданской обороны и защиты от чрезвычайных ситуаций. Санкт-Петербург: Институт риска и безопасности; 2007: 232.
4. Бяловский Ю.Ю. Реципрокные реакции организма на разные величины увеличенного сопротивления дыханию. *Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова*. 2016; 1:19-25.
5. Бяловский Ю.Ю., Булатецкий С.В. Реакция систем организма на увеличенное сопротивление дыханию в группах с разным уровнем адаптационных возможностей. *Центральный научный вестник*. 2016; 1 (4): 7-11.
6. Бяловский Ю.Ю. Системная организация адаптивной деятельности человека в условиях дополнительного респираторного сопротивления. Дис. на соискание уч. ст. д. м. н. Рязань, 1996: 277.
7. Александрова Н.П. Относительный вклад мышц грудной клетки и диафрагмы в работу дыхания при инспираторной резистивной нагрузке. *Физиол. Журнал*. 1993; 79 (11): 64-71.
8. Пневматический дозатор внешнего сопротивления дыханию. Ю.Ю. Бяловский, В.Н.Абросимов. Описание изобретения к патенту Российской Федерации №2071790, запат. 20.01.1997.
9. Leupold W., Roth J. Möglichkeiten des Einsatzes der Kapnographie im Rahmen von inhalativen Provokationstesten. *Pneumologie*. 1984; 38 (7): 256-60.
10. Severinghaus J.W., Stupfel M.A., Bradley A.F. Alveolar dead space in the dog and man. *J. Appl. Physiol.* 1957; 10: 349.
11. Van Meerten R.J. Expiratory gas concentration curves for examination of uneven distribution of ventilation and perfusion in the lung. Second Communication: experiments. *Respiration*. 1971; 28: 167.
12. Cherniack N.S. Load Detection and Breathlessness. *Breathlessness. The Campbell Symposium*. Canada; 1992: 66-71.
13. Gibson J., Gilmartin J.J., Vealle D., Walls T.J. et al. Respiratory Muscle Function in Neuromuscular Disease. *Breathlessness. The Campbell Symposium*. Canada; 1992: 66-71.
14. Byalovsky Yu.Yu., Bulatetsky S.V., Glushkova E.P. The system organization of nonspecific mechanisms of adaptation in restorative medicine: monograph. Yu. Yu. Byalovsky. Voronezh: OOO RITM Publishing House; 2017: 406.
15. Aleksandrova N.P., Isaev G.G. Central and peripheral components of diaphragmatic fatigue during an inspiratory resistive load in cats. *Acta Physiol. Scand.* 1997; 161: 355.

References

1. Kaminsky S.L. Basics of rational respiratory protection in the workplace. M.: Pro-spectrum of Science; 2007: 208.
2. Russell J. The gas mask. M.: The book on Demand; 2012:104.
3. Technical and special means of ensuring civil defense and protection from emergency situations. St. Petersburg: Institute for Risk and Safety; 2007: 232.
4. Byalovsky Yu.Y. Reciprocal reactions of the body to different values of increased resistance to breathing. *Russian medical and biological bulletin named after academician I.P. Pavlova*. 2016; 1: 19-25.
5. Byalovsky Yu.Yu., Bulatetsky S.V. The reaction of the body's systems to increased resistance to breathing in groups with different levels of adaptive capacity. *Central Scientific Bulletin*. 2016; 1 (4): 7-11.
6. Byalovsky Yu.Y. The system organization of adaptive human activity in conditions of additional respiratory resistance. *Dis. kand. for the competition uch. Art. D.M. Ryazan*; 1996: 277.
7. Alexandrova N.P. The relative contribution of the muscles of the chest and diaphragm to the work of respiration with an inspiratory resistive load. *Fiziol. Journal*. 1993; 79 (11): 64-71.
8. Pneumatic doser of external resistance to breathing. Yu.Yu. Byalovsky, V.N. Abrosimov. Description of the invention to the Russian Federation patent No. 2071790, 01.20.1997.
9. Leupold W., Roth J. Möglichkeiten des Einsatzes der Kapnographie im Rahmen von inhalativen Provokationstesten. *Pneumologie*. 1984; 38 (7): 256-60.
10. Severinghaus J.W., Stupfel M.A., Bradley A.F. Alveolar dead space in the dog and man. *J. Appl. Physiol.* 1957; 10: 349.
11. Van Meerten R.J. Expiratory gas concentration curves for examination of uneven distribution of ventilation and perfusion in the lung. Second Communication: experiments. *Respiration*. 1971; 28: 167.
12. Cherniack N.S. Load Detection and Breathlessness. *Breathlessness. The Campbell Symposium*. Canada; 1992: 66-71.
13. Gibson J., Gilmartin J.J., Vealle D., Walls T.J. et al. Respiratory Muscle Function in Neuromuscular Disease. *Breathlessness. The Campbell Symposium*. Canada; 1992: 66-71.
14. Byalovsky Yu.Yu., Bulatetsky S.V., Glushkova E.P. The system organization of nonspecific mechanisms of adaptation in restorative medicine: monograph. Yu. Yu. Byalovsky. Voronezh: OOO RITM Publishing House; 2017: 406.
15. Aleksandrova N.P., Isaev G.G. Central and peripheral components of diaphragmatic fatigue during an inspiratory resistive load in cats. *Acta Physiol. Scand.* 1997; 161: 355.