

УДК 613.6

DOI: 10.36946/0869-7922-2020-6-43-48

РОЛЬ ЧАСТОТЫ ДЫХАТЕЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ В ПЕРЕНОСИМОСТИ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ

Бяловский Ю.Ю.,
Ракитина И.С.

ФГБОУ ВО РязГМУ Минздрава России,
390026, г. Рязань, Российская
Федерация

Фактором, ограничивающим переносимость средств индивидуальной защиты органов дыхания следует считать частоту дыхательных движений, которая рефлекторно меняется при возникновении дополнительного респираторного сопротивления. К сожалению, в доступной литературе практически отсутствуют сведения об изменении переносимости средств индивидуальной защиты органов дыхания при разной частоте дыхательных движений. Целью данного исследования явилось изучение переносимости средств индивидуальной защиты органов дыхания при изменении частоты дыхательных движений.

Исследование проводилось на практически здоровых испытуемых обоего пола (78 человек), в возрасте от 20 до 36 лет. Для моделирования условий применения средств индивидуальной защиты органов дыхания использовались инспираторные резистивные дыхательные нагрузки величиной 20% от максимального внутриротового давления при пробе Мюллера. Переносимость средств индивидуальной защиты органов дыхания оценивалась с помощью шкалы визуального аналога одышки по Боргу, которая отражала уровень субъективного дискомфорта, возникающего при включении дополнительного респираторного сопротивления. Во время действия дополнительного респираторного сопротивления, испытуемым предлагалось удерживать частоту дыхательных движений, которая задавалась с помощью специальной установки.

Увеличение темпа дыхательных движений на фоне дополнительного респираторного сопротивления приводит к существенному ухудшению объективных и субъективных показателей функционального состояния испытуемых; замена вдыхаемого воздуха на обогащенную кислородом дыхательную смесь с поглощением углекислого газа не приводила к существенному улучшению функционального состояния. Умеренное уменьшение (до 70% исходной частоты дыхательных движений) темпа дыхания приводит к улучшению показателей адаптивной деятельности в условиях дополнительного респираторного сопротивления. Значительное уменьшение (до 35% исходной частоты дыхательных движений) темпа дыхания в условиях дополнительного респираторного сопротивления приводит к ухудшению объективных и субъективных показателей функционального состояния испытуемых.

Увеличение пиковых скоростей дыхательного потока, вызванное увеличением темпа дыханий, в соответствии с известным уравнением Рорера, существенно увеличивает неэластическое сопротивление и, как следствие, – респираторные потребности. Эти потребности в какой-то период могут удовлетворяться за счет значительного усиления работы дыхательной мускулатуры, однако вследствие утомления последней, довольно быстро нарастает психоэмоциональное напряжение и наступает отказ от использования средств индивидуальной защиты органов дыхания.

Ключевые слова: дополнительное респираторное сопротивление, частота дыхательных движений, средства индивидуальной защиты органов дыхания.

Цит: Бяловский Ю.Ю., Ракитина И.С. Роль частоты дыхательных движений в переносимости средств индивидуальной защиты органов дыхания. Токсикологический вестник. 2020; 6:43-48

Бяловский Юрий Юльевич (Byalovsky Yuri Yulievich), доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой патофизиологии ФГБОУ ВО РязГМУ Минздрава России, Российская Федерация, b_yu@mail.ru;
Ракитина Ирина Сергеевна (Rakitina Irina Sergeevna), кандидат медицинских наук, доцент кафедры патофизиологии ФГБОУ ВО РязГМУ Минздрава России, Российская Федерация, rakitina62@gmail.com

Введение. В системе защиты и охраны здоровья работающих одно из важных мест занимают средства индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД) [1, 2, 3]. Их использование обусловлено в первую очередь тем, что зачастую, меры инженерно-технологического и санитарно-гигиенического характера в промышленном производстве, горнодобывающих предприятиях и других отраслях промышленности, не позволяют добиться снижения содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны до допустимых уровней, безопасных для здоровья. В таких условиях повышение эффективности СИЗОД для защиты работающих трудно переоценить [4, 5].

Одной из проблем низкой эффективности СИЗОД является нерегулярное их использование в загрязнённой атмосфере. Отчасти это связано с плохой переносимостью СИЗОД, преимущественно из-за субъективного дискомфорта работающего [6]. Факторы, снижающие переносимость СИЗОД можно разделить на технологические (выдача масок, не соответствующих лицам по форме и/или размеру; запоздалая замена противогазных фильтров и т.п.) и физиологические [7, 8]. К последним следует отнести дополнительное респираторное сопротивление (ДРС), возникающее при использовании СИЗОД [9]. Большинство СИЗОД фильтрующего типа имеют клапанную развязку потоков вдыхаемого и выдыхаемого воздуха и характеризуются возникновением ДРС инспираторного типа. Еще одним физиологическим фактором, ограничивающим переносимость СИЗОД следует считать частоту дыхательных движений (ЧДД), которая существенно изменяется при возникновении ДРС. К сожалению, при использовании СИЗОД, как правило не проводится предварительное обучение работающих выбору оптимальной ЧДД в условиях ДРС [10]. Кроме того, в доступной литературе отсутствуют сведения об изменении переносимости СИЗОД при разной ЧДД.

Целью данного исследования явилось изучение переносимости средств индивидуальной защиты органов дыхания при изменении частоты дыхательных движений.

Задачи настоящего исследования: 1) оценить влияние увеличения ЧДД во время действия ДРС на объективные и субъективные показатели функционального состояния испытуемых; 2) выяснить роль умеренного уменьшения (до 70% исходной ЧДД) темпа дыхания на показатели адаптивной деятельности в условиях ДРС; 3) показать влияние значительного уменьшения (до 35% исходной ЧДД) темпа дыхания в условиях ДРС на объективные и субъективные показатели функционального состояния испытуемых.

Материалы и методы исследования. Исследование проводилось на практически здоровых до-

бровольцах обоего пола (78 человек), в возрасте от 20 до 36 лет. Для моделирования условий применения СИЗОД использовались инспираторные ДРС. Величина используемых ДРС определялась исходя из значения максимального внутриротового давления при выполнении пробы Мюллера [11]. Проба Мюллера состояла в том, что испытуемый производил вдох при полностью перекрытых ротовой полости и носовых ходах; полученное при этом внутриротовое давление принималось за 100% ($100\%P_{\text{max}}$). Затем, во время действия ДРС, посредством оригинального устройства [12], внутриротовое давление удерживалось на уровне $20\%P_{\text{max}}$, наиболее близком к диапазону ДРС большинства используемых СИЗОД [13,14].

Переносимость СИЗОД оценивалась с помощью шкалы визуального аналога одышки Борга [15], которая отражала уровень субъективного дискомфорта, возникающего при включении ДРС [16]. Перед глазами испытуемого располагалась светодиодная матрица, отражавшая степень затруднения дыхания в диапазоне от 0 (незатрудненное дыхание) до 10 (невозможно терпеть). Во время действия ДРС с помощью джойстика испытуемый мог отражать на светодиодной матрице текущий уровень затруднения дыхания, который фиксировался компьютером [17].

Во время действия ДРС, испытуемым предлагалось удерживать частоту дыхательных движений, которая задавалась с помощью специальной установки [18]. С целью индивидуального подбора темпа дыхательных движений, предварительно определяли среднюю частоту дыхательных движений (ЧДД), развиваемую испытуемым во время свободного дыхания. Эта величина принималась за 100% и в дальнейшем увеличивалась или уменьшалась.

Методика изменения газового состава альвеолярного воздуха у испытуемых [19] состояла в использовании системы, позволявшей добавлять в закрытый контур спирографа кислород из магистрали, а также включать и отключать адсорбер углекислого газа.

У испытуемых регистрировали следующие физиологические показатели: пневмотахограмму и интегрированную спирограмму, давление в полости рта, содержание O_2 и CO_2 в альвеолярном воздухе, оксигемоглобину периферической крови, кожно-гальваническую реакцию, интегрированную ЭМГ межреберных мышц, газовый состав и кислотно-щелочное состояние артериальной крови, интегральную реограмму тела, измерялись пороги восприятия респираторных нагрузок и уровень возникающей одышки по Borg. Физиологическая информация посредством информативно-диагностической системы [20] поступала в компьютер, где просчитывались важ-

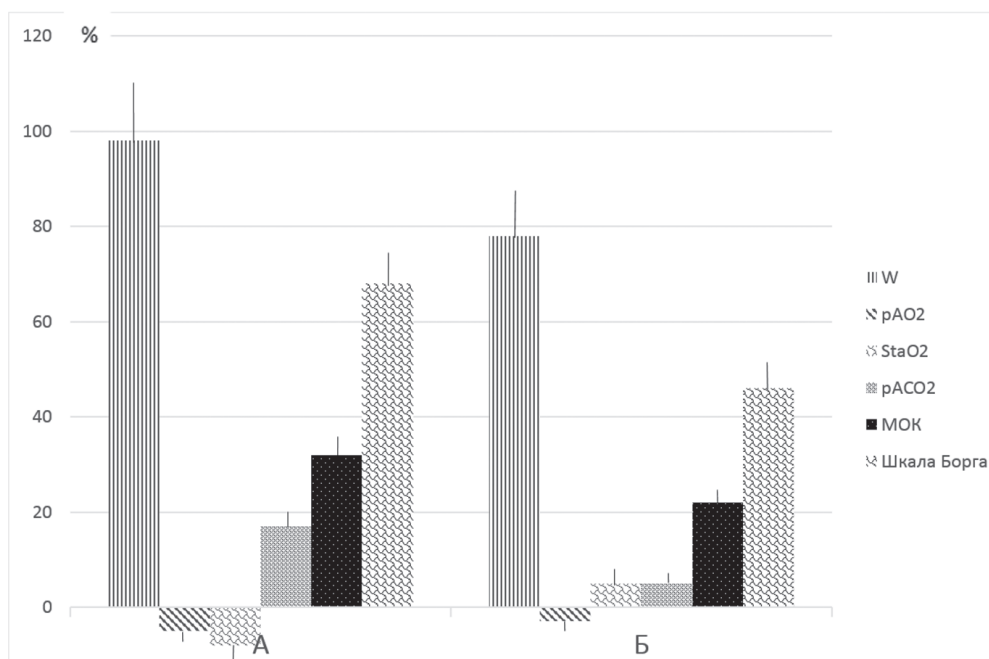


Рис. 1. Показатели сдвигов адаптивной деятельности при реализации ДРС 20%P_{max} при увеличении темпа дыханий до 150% ЧДД_{исх} при дыхании воздухом (А) и кислородом с поглощением углекислого газа (Б)

нейшие производные: парциальное давление O₂ и CO₂ альвеолярного воздуха (PAO₂, PACO₂); альвеолярная вентиляция (VA); работа дыхания (W); сопротивление воздухоносных путей (Raw); общие энергозатраты (E); минутный объем кровообращения (МОК); периферическое сопротивление сосудов (ПСС).

Материал обработан с использованием автоматизированного пакета StatGraphics Plus for Windows v5.4.

Результаты и обсуждение. Как показали результаты исследования, увеличение навязываемого темпа дыхательных движений вызывает уменьшение адаптивных возможностей испытуемых к преодолению ДРС. Это касается как повышения психоэмоционального напряжения по шкале Борга, так и возрастания отклонения физиологических параметров во время преодоления ДРС (физиологическая стоимость адаптивной деятельности). На рисунке 1 представлены отклонения показателей адаптивной деятельности (взяты в процентах относительно уровня с «естественным» темпом дыхания, принятого за условный ноль) по преодолению 20%P_{max} при воспроизведении темпа дыхательных движений 150% исходной ЧДД в условиях дыхания атмосферным воздухом (А) 80% кислородно-азотной смеси с поглощением CO₂ (Б). Величина 150% исходной ЧДД на ДРС 20%P_{max} была предельной для большинства испытуемых – дальнейшее увеличение темпа приводило к прекращению инспираторного дыхательного потока (по-види-

мому, из-за вентиляции мертвого пространства) и немедленному срыву маски. Из рис. 1 хорошо видно, что удержание темпа 150% исходной ЧДД при дыхании воздухом (А) сопровождается существенным снижением переносимости 20% P_{max} (шкала Борга), почти двукратным увеличением работы дыхания (W), существенными сдвигами кровообращения (МОК) и газового состава (PACO₂, PAO₂, StaO₂).

Как следует из данных рисунков 1 (Б), замена воздуха на 80% кислородно-азотную смесь с поглощением CO₂, не принесла существенного улучшения адаптивных возможностей к преодолению 20%P_{max}. Главным лимитирующим фактором, по-видимому, является избыточная работа дыхательных мышц, что влечет за собой значительное психоэмоциональное напряжение. Таким образом, произвольная регуляция дыхания в виде воспроизведения увеличенного темпа дыхания на фоне резистивных дыхательных нагрузок, вызывает уменьшение адаптивных возможностей испытуемых, оцениваемых по критерию переносимости СИЗОД (шкала Борга) и физиологической стоимости эффекта даже в условиях нормализации газового состава.

На рисунке 2 приведены показатели сдвигов адаптивной деятельности (в процентах от условного ноля, характеризующего незатрудненное дыхание), возникших во время преодоления 20%P_{max} при воспроизведении навязываемых темпов дыхания 70% исходной ЧДД (А) и 35% исходной ЧДД (Б). Отмечены существенные от-

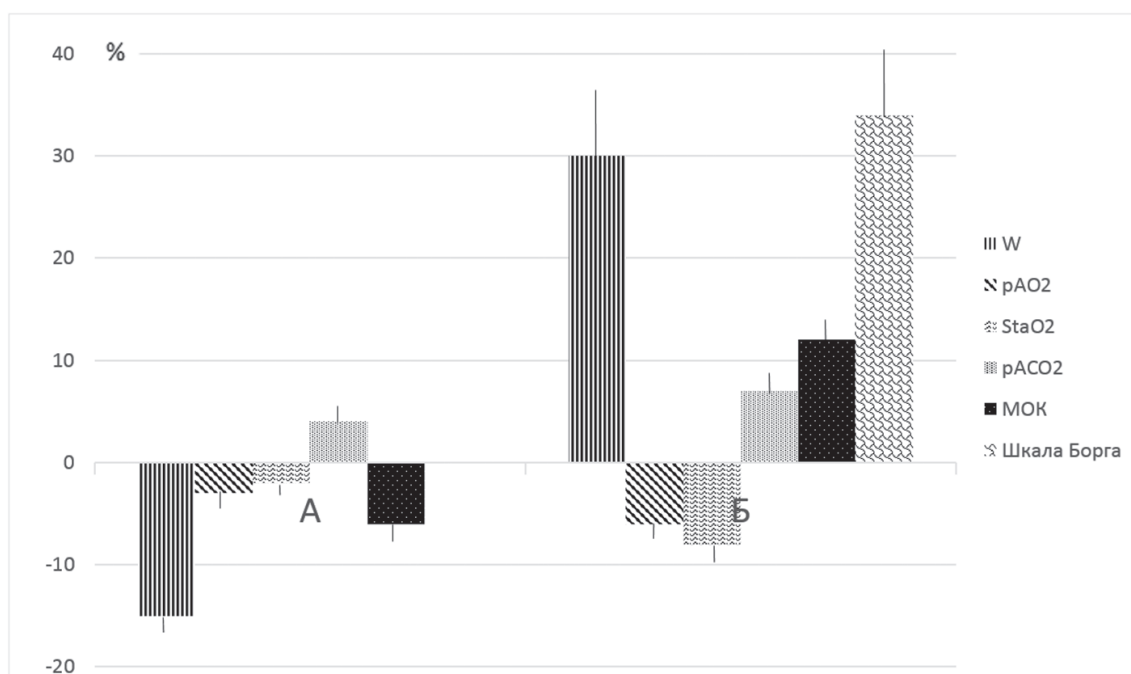


Рис. 2. Показатели сдвигов адаптивной деятельности во время действия ДРС 20%Pmmax при воспроизведении темпа дыхания 70% ЧДДисх (А) и 35% ЧДДисх (Б).

личия в характере сдвигов при реализации указанных темпов. Уменьшение ЧДД до 70% ЧДДисх сопровождалось повышением адаптивных возможностей испытуемых: наблюдалась оптимизация основных параметров адаптивной деятельности – снижение психоэмоционального напряжения (шкала Борга), уменьшение работы дыхания (W), снижение МОК ($p < 0,05$). Регистрируемые незначительные сдвиги газового состава ($РАСО_2$, $РАО_2$, $StaO_2$) не достигали достоверных значений. Полученные результаты показывают, что уменьшение работы дыхания за счет умеренного снижения ЧДД, благоприятно сказывается на функциональном состоянии испытуемых и переносимости ДРС. Это, в свою очередь, представляет практические возможности для обучения правильному дыханию лиц, работающих в условиях ДРС.

Однако, как следует из данных рис. 2 (Б), дальнейшее снижение навязываемой частоты дыханий до 35% ЧДДисх сопровождается обратными явлениями: ростом работы дыхания (W), отклонениями газового состава ($РАСО_2$, $РАО_2$, $StaO_2$), увеличением психоэмоционального напряжения (шкала Борга). Как показали результаты описываемой серии исследований, большинство испытуемых долговременной адаптации на 20%Pmmax не могут усвоить темп ниже 30% от исходной ЧДД.

В настоящем исследовании было подтверждено положение о том, что увеличение частоты дыхательных движений в условиях ДРС, приводит

к снижению переносимости СИЗОД [21]. По-видимому, резкое увеличение пиковых скоростей дыхательного потока, вызванное увеличением темпа дыханий, в соответствии с известным уравнением Рорера [22], существенно увеличивает неэластическое сопротивление и, как следствие, – респираторные потребности. Эти потребности в какой-то период могут удовлетворяться за счет значительного усиления работы дыхательной мускулатуры, однако вследствие утомления последней, довольно быстро нарастает психоэмоциональное напряжение и наступает отказ от продолжения исследования [23, 24]. Положение усугубляется снижением эффективности вентиляции в силу уменьшения альвеолярной вентиляции (из-за усиленного «промыывания» мертвого пространства). Именно поэтому мы наблюдали существенную разницу между содержанием альвеолярного кислорода и кислорода в крови. Тканевая гипоксия и гиперкапния, вызывая стимуляцию центрально-инспираторной активности, усугубляли утомление дыхательной мускулатуры [25, 26].

Весьма существенным обстоятельством следует считать тот факт, что нормализация газового состава не приводила к полной оптимизации функционального состояния испытуемых. Наиболее «узким» фактором, лимитирующим переносимость ДРС, является дыхательная мускулатура [27, 28]. Именно утомление дыхательных мышц дает психоэмоциональное напряжение, являющееся непосредственной причиной отказа от

дальнейшего преодоления резистивной нагрузки. Эти данные подтверждают высказываемые рядом исследователей [29, 30] положение о том, что именно работа дыхательной мускулатуры является ведущим «ценовым» фактором, ограничивающим переносимость ДРС. В свою очередь, предварительное обучение работающих к выработке оптимального паттерна дыхания в условиях ДРС, позволит увеличить переносимость СИЗОД.

Выводы.

Увеличение темпа дыхательных движений на фоне дополнительного респираторного сопротивления приводит к существенному ухудшению объективных и субъективных показателей функционального состояния испытуемых; заме-

на вдыхаемого воздуха на обогащенную кислородом дыхательную смесь с поглощением углекислого газа не приводила к существенному улучшению функционального состояния.

Умеренное уменьшение (до 70% исходной ЧДД) темпа дыхания приводит к улучшению показателей адаптивной деятельности в условиях ДРС.

Значительное уменьшение (до 35% исходной ЧДД) темпа дыхания в условиях ДРС приводит к ухудшению объективных и субъективных показателей функционального состояния испытуемых.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Финансовая поддержка статьи отсутствует

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чашин В.П., Никанов А.Н., Анфалова Г.Л. Анализ эффективности средств индивидуальной защиты органов дыхания от пыли на предприятиях по переработке слюды. Экология человека. 2006; 4: 55-4.
2. Капцов В.А., Чиркин А.В. Об эффективности средств индивидуальной защиты органов дыхания как средства профилактики заболеваний (обзор). Токсикологический вестник. 2018; 2: 2-4.
3. Чудинин Н.В., Кирюшин В.А., Ракина И.С. Оценка профессионального риска, как метод прогнозирования состояния здоровья работников, занятых во вредных условиях труда. Наука молодых - Eruditio Juvenium. 2013; 1: 5-7.
4. Малашенко А.В. Многофакторный генез профессиональной лёгочной патологии у горнорабочих урановых шахт. Медицинская радиология, 2010; 2: 5-8.
5. Голынько В.И., Наумов М.М., Чеберячко С.И., Радчук Д.И. Дослідження захисної ефективності вітчизняних одноразових протипилових респіраторів за європейськими стандартами. Metallurgical and mining industry, 2011; 5: 118-4.
6. Сорокин Ю.Г. Новое в средствах индивидуальной защиты. Безопасность жизнедеятельности. 2006; 1: 11-6.
7. Романов В.В., Рубцов В.И., Ключков В.Н., Суворцев Н.А., Тимошенко А.И. Государственный санитарно-эпидемиологический надзор за средствами индивидуальной защиты органов дыхания на радиационно опасных объектах. Гигиена и санитария. 2006; 4: 78-4.
8. Петрянов И.В., Кошечев В.С., Басманов П.И. Лёгкие респираторы. 2 изд. Москва: Наука, 2015.
9. Бяловский Ю.Ю., Булатецкий С.В., Кирюшин В.А., Прохоров Н.И. Иммунологические показатели человека в условиях применения индивидуальных средств защиты органов дыхания. Гигиена и санитария. 2017; 8: 96-4.
10. Бяловский Ю.Ю. Условный дыхательный рефлекс на увеличенное сопротивление дыханию как экспериментальная модель адаптивной деятельности. Российский медико-биологический вестник им. академика И.П. Павлова. 2012; 2: 75-10.
11. Александрова Н.П. Механизмы компенсаторных реакций дыхательной системы на инспираторные резистивные нагрузки. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук. Институт физиологии им. И. П. Павлова РАН. Санкт-Петербург, 2003.
12. Бяловский Ю.Ю., Абросимов В.Н. Пневматический дозатор внешнего сопротивления дыханию. Описание изобретения к патенту Российской Федерации № 2071790, 1997.
13. Шаталов Э.В., Щербаков М.Г., Балдыч А.А., Дроздов С.Н. Медико-технические аспекты эксплуатации средств индивидуальной защиты военнослужащего. Военная мысль. 2008; 4: 40-5.
14. Мионов Л. А. Применение средств индивидуальной защиты. Н. Новгород: БИОТа, 2009.
15. Borg G. Psychophysical bases of perceived exertion. Med. and science in sports and exertion. 1982; 14 (5): 377-5.
16. Бяловский Ю.Ю., Булатецкий С.В. Физиологические механизмы резистивного дыхания человека. Воронеж: Издательство РИТМ, 2018.
17. Бяловский Ю.Ю., Лапкин М.М., Боярчук В.А., Нагибин О.А. Устройство для визуальной самооценки функционального состояния человека. Рязань, 1992.
18. Бяловский Ю.Ю. Устройство для управления дыхательным ритмом человека в условиях дополнительного сопротивления дыханию. Рязань, 1995.
19. Fahey P.J., Hyde R.W. Detection of depressed ventilatory drive in patients with obstructive pulmonary diseases. Chest. 1983; 84 (1): 19-6.
20. Белов А.Ф., Бяловский Ю.Ю., Лапкин М.М. Информационно-диагностическая система для психофизиологической защиты органов дыхания человека. Рязань, 1990.
21. Капцов В.А., Чиркин А.В. Об оценке эффективности средств индивидуальной защиты органов дыхания. Безопасность в техносфере. 2015; 4: 5: 7-8.
22. Rohrer F. Der Zusammenhang der Atemkrafte und ihre Abhangigkeit vom Dehnungszustand der Atmungsorgane. Arch.Ges.Physiol. 1916; 165; 419-26.
23. Суслина И.В. Повышение функционального состояния дыхательной мускулатуры спортсменов в результате тренировки с дополнительным неэластическим сопротивлением дыханию. Физическое воспитание и спортивная тренировка. 2016; 2 (16): 63-5.
24. Горбанёва Е.П., Камчатников А.Г., Солопов И.Н., Сегиббаева М.О., Александрова Н.П. Оптимизация функции дыхания посредством тренировки с дополнительным резистивным сопротивлением. Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. 2011; 97 (1): 83-8.
25. Меркулова Н.А., Инюшкин А.Н., Беляков В.И. Дыхательный центр и регуляция его деятельности супрабульбарными структурами. Самара: Издательство «Самарский университет», 2007.
26. Сафонов В.А., Тарасова Н.А. Структурно-функциональная организация дыхательного центра. Физиология человека. 2006; 1: 118-13.
27. Сафонов В.А., Миняев В.И., Полуни И.Н. Дыхание. М., 2000.
28. Сегиббаева М.О., Александрова Н.П. Применение индекса «напряжение - время» для оценки функционального состояния инспираторных мышц. Ульяновский медико-биологический журнал. 2014; 2: 78-7.
29. Черешнев В.А., Бяловский Ю.Ю., Булатецкий С.В., Давыдов В.В. Иммунологические показатели человека в условиях действия увеличенного сопротивления дыханию. Вестник Уральской медицинской академической науки. 2018; 15 (4): 555-8.
30. Сегиббаева М.О., Александрова Н.П. Оценка устойчивости разных групп инспираторных мышц к утомлению при физической нагрузке на фоне моделируемой обструкции дыхательных путей. Физиология человека. 2014; 40 (6): 114-2.

REFERENCES:

1. Chashchin V.P., Nikonov A.N., Anfalova G.L. Analysis of the effectiveness of personal respiratory protection equipment from dust at mica processing enterprises. Human ecology. 2006; 4: 55-4 (in Russian).
2. Kaptsov V.A., Chirkin A.V. On the effectiveness of respiratory protective equipment as a means of preventing disease (review). Toxicological Review. 2018; 2: 2-4 (in Russian).
3. Chudin N.V., Kiryushin V.A., Rakitina I.S. Assessment of occupational risk as a method for predicting the health status of workers employed in hazardous working conditions. Science of the young. - Eruditio Juvenium. 2013; 1: 5-7 (in Russian).
4. Malashenko A.V. Multifactorial genesis of occupational pulmonary pathology in workers of uranium mines. Medical Radiology, 2010; 2: 5-8 (in Russian).
5. Golyn'ko V.I., Naumov M.M., Cheberyachko S.I., Radchuk D.I. Up to date one-time effectiveness of one-time disposable prototypical respirators for European standards. Metallurgy and mining industry, 2011; 5: 118-4 (in Russian).
6. Sorokin Yu.G. New in personal protective equipment. Life safety. 2006; 1: 11-6 (in Russian).
7. Romanov V.V., Rubtsov V.I., Klochkov V.N., Surovtsev N.A., Timoshenko A.I. State sanitary and epidemiological supervision of personal respiratory protection equipment at radiation-hazardous facilities. Hygiene and sanitation. 2006; 4: 78-4 (in Russian).
8. Petryanov I.V., Koshcheev V.S., Basmanov P.I. Light respirators. 2 ed. Moscow: Nauka, 2015 (in Russian).
9. Byalovsky Yu.Yu., Bulatetsky S.V., Kiryushin V.A., Prokhorov N.I. Human immunological indicators in the conditions of using individual respiratory protection equipment. Hygiene and sanitation. 2017; 8: 96-4 (in Russian).
10. Byalovsky Yu.Yu. Conditional respiratory reflex for increased resistance to breathing as an experimental model of adaptive activity. Russian Medical and Biological Bulletin named after I.P. Pavlov. 2012; 2: 75-10 (in Russian).
11. Alexandrova N.P. Mechanisms of compensatory reactions of the respiratory system to inspiratory resistive loads. Abstract of the dissertation for the degree of Doctor of Biological Sciences. Pavlov Institute of Physiology, Russian Academy of Sciences. Saint Petersburg, 2003 (in Russian).
12. Byalovsky Yu.Yu., Abrosimov V.N. Pneumatic dispenser for external breathing resistance. Patent of the Russian Federation No. 2071790, 1997. (in Russian).
13. Shatalov E.V., Shcherbakov M.G., Baldych A.A., Drozdov S.N. Medical and technical aspects of the operation of personal protective equipment for military personnel. Military thought. 2008; 4: 40-5 (in Russian).

14. Mironov L.A. Application of personal protective equipment. N. Novgorod: Biota, 2009 (in Russian).
15. Borg G. Psychophysical bases of perceived exertion. Med. and science in sports and exertion. 1982; 14 (5): 377-5.
16. Byalovsky Yu.Yu., Bulatetsky S.V. Physiological mechanisms of human resistive respiration. Voronezh: RITM Publishing house, 2018 (in Russian).
17. Byalovsky Yu.Yu., Lapkin M.M., Boyarchuk V.A., Nagibin O.A. Device for visual self-assessment of a person's functional state. Ryazan, 1992 (in Russian).
18. Byalovsky Yu.Yu. Device for controlling the respiratory rhythm of a person in conditions of additional resistance to breathing. Ryazan, 1995 (in Russian).
19. Fahey P.J., Hyde R.W. Detection of depressed ventilatory drive in patients with obstructive pulmonary disease. Honour. 1983; 84 (1): 19-6.
20. Belov A.F., Byalovsky Yu.Yu., Lapkin M.M. Information and diagnostic system for human psychophysiological research. Ryazan, 1990 (in Russian).
21. Kaptsov V.A., Chirkin A.V. On the assessment of the effectiveness of personal protective equipment for respiratory organs. Security in the technosphere. 2015; 4: 5: 7-8 (in Russian).
22. Rohrer F. Der Zusammenhang der Atemkrafte und ihre Abhangigkeit vom Dehnungszustand der Atmungsorgane. Arch.Ges.Physiol. 1916; 165: 419-26.
23. Suslina I.V. Improving the functional state of the respiratory muscles of athletes as a result of training with additional inelastic resistance to breathing. Physical education and sports training. 2016; 2 (16): 63-5 (in Russian).
24. Gorbaneva E.P., Kamchatnikov A.G., Solopov I.N., Segizbaeva M.O., Alexandrova N.P. Optimization of respiratory function by training with additional resistive resistance. Russian physiological journal named after I.M. Sechenov. 2011; 97 (1): 83-8 (in Russian).
25. Merkulova H.A., Inyushkin A.N., Belyakov V.I. Respiratory center and regulation of its activity by suprabulbar structures. Samara: Samara University Publishing House, 2007 (in Russian).
26. Safonov V.A., Tarasova H.A. Structural and functional organization of the respiratory center. Human physiology. 2006; 1: 118-13 (in Russian).
27. Safonov V.A., Minyaev V.I., Polunin I.N. Breath. M., 2000 (in Russian).
28. Segizbaeva M.O., Alexandrova N.P. Application of the "stress - time" index to assess the functional state of inspiratory muscles. Ulyanovsk medical and biological journal. 2014; 2: 78-7 (in Russian).
29. Chereshnev V.A., Byalovsky Yu.Yu., Bulatetsky S.V., Davydov V.V. Human immunological indicators under the conditions of increased respiratory resistance. Bulletin of the Ural Medical Academic Science. 2018; 15 (4): 555-8 (in Russian).
30. Segizbaeva M.O., Alexandrova N.P. Assessment of the resistance of different groups of inspiratory muscles to fatigue during exercise against the background of simulated airway obstruction. Human physiology. 2014; 40 (6): 114-2 (in Russian).

Yu.Yu. Byalovsky, I.S. Rakitina

ROLE OF RESPIRATORY RATE IN THE TOLERABILITY OF PERSONAL RESPIRATORY PROTECTION EQUIPMENT

I.P.Pavlov Ryazan State Medical University, Ministry of Healthcare of the Russian Federation, 390026, Ryazan, Russian Federation

The factor limiting the tolerance of personal respiratory protection equipment should be considered the frequency of respiratory movements, which reflexively changes when additional respiratory resistance occurs. Unfortunately, there is almost no information in the available literature about changes in the tolerability of personal respiratory protection equipment at different rates of respiratory movements. The purpose of this work was to study the tolerability of personal respiratory protection equipment when changing the frequency of respiratory movements.

The study was conducted on practically healthy persons of both sexes (78 people), aged from 20 to 36 years. To simulate the conditions for the use of personal respiratory protection equipment, inspiratory resistive respiratory loads of 20% of the maximum intraoral pressure during the Mueller test were used. The tolerance of personal respiratory protection equipment was assessed using the Borg visual analogue of dyspnea scale, which reflected the level of subjective discomfort that occurs when additional respiratory resistance is turned on. During the action of additional respiratory resistance, the persons were asked to hold the frequency of respiratory movements, which was set using a special setting.

An increase in the rate of respiratory movements against the background of additional respiratory resistance leads to a significant deterioration in the objective and subjective indicators of the functional state of the persons; replacing the inhaled air with an oxygen-rich respiratory mixture with carbon dioxide absorption did not lead to a significant improvement in the functional state. A moderate decrease (up to 70% of the initial frequency of respiratory movements) in the rate of respiration leads to an improvement in the indicators of adaptive activity in conditions of additional respiratory resistance. A significant decrease (up to 35% of the initial frequency of respiratory movements) in the rate of respiration under conditions of additional respiratory resistance leads to a deterioration of objective and subjective indicators of the functional state of the subjects.

An increase in peak respiratory flow rates caused by an increase in the rate of respiration, in accordance with the well – known Rohrer equation, significantly increases inelastic resistance and, as a result, respiratory needs. These needs can be met at some time due to a significant increase in the work of the respiratory muscles, but due to fatigue of the latter, psychoemotional tension increases quite quickly and the use of personal respiratory protection equipment is abandoned.

Keywords: *additional respiratory resistance, frequency of respiratory movements, personal respiratory protection equipment.*

Quote: Yu.Yu. Byalovsky, I.S. Rakitina. Role of respiratory rate in the tolerability of personal respiratory protection equipment. Toxicological Review. 2020; 6:43-48

Материал поступил в редакцию 10.08.2019 г.