



ДЫХАТЕЛЬНЫЕ РЕАКЦИИ ВО ВРЕМЯ УПРАЖНЕНИЙ В АВТОНОМНОМ ДЫХАТЕЛЬНОМ АППАРАТЕ У ПОЖАРНЫХ

¹Мухамедов И.И

Старший преподаватель кафедры “Пожарной и спасательной техники” (Академии МЧС Республики Узбекистан),

²Каримов Ф.К.

Офицер отдела “воспитательной и идеологической работы” (Академии МЧС Республики Узбекистан).

<https://doi.org/10.5281/zenodo.7500370>

ARTICLE INFO

Received: 21th December 2022

Accepted: 30th December 2022

Online: 31th December 2022

KEY WORDS

Автономный дыхательный аппарат, гиповентиляция, углекислый газ.

ABSTRACT

В этой статье исследование показывает, что по сравнению с контрольной группой у пожарных наблюдается гиповентиляция во время максимального теста с градуированной нагрузкой (ГРН). Гиповентиляция привела к увеличению CO_2 и предположительно, увеличению артериального CO_2 во время физической нагрузки. Предполагается, что у пожарных изменяется чувствительность к CO_2 из-за произвольной гиповентиляции во время тренировок и работы.

1. Введение

Пожарные обязаны использовать автономные дыхательные аппараты (ДАСВ) при работе в непосредственно опасных для жизни и здоровья окружающих средах. Хотя дыхательный аппарат необходим для безопасной работы, он ограничивает производительность и время работы [1,2]. Дыхательный аппарат ухудшает дыхательную механику: и снижает максимальное потребление кислорода пожарными ($VO_2 \max$) [1,3]. Конечный запас воздуха, содержащегося в дыхательном баллоне, ограничивает рабочий интервал на вынуждая пожарного отключиться, когда звучит сигнал тревоги о низком уровне воздуха. В предыдущих исследованиях сообщалось, что пожарные имеют разные модели дыхания при использовании дыхательного аппарата

для сохранения воздуха для дыхания [1,4], а в другом отчете сделан вывод о том, что «требуется агрессивные стратегии управления воздухом» для работы в определенных условиях, таких как высотные здания [5].

Преднамеренная гиповентиляция при использовании средств защиты органов дыхания также имеет физиологические последствия. Предыдущие исследования показали, что аквалангисты недостаточно вентилируют и таким образом, имеют повышенный уровень углекислого газа в артериальной крови [парциальное давление углекислого газа в артериальной крови ($PaCO_2$)], определяемый по углекислому газу в конце выдоха ($ETCO_2$) [6]. Дополнительные исследования показали, что некоторые дайверы, использующие акваланг на глубине,



имеют повышенное значение P_{aCO_2} , в то время как остальные поддерживают нормальное значение P_{aCO_2} , но у них развивается одышка [7]. Было высказано предположение, что недостаточная вентиляция и последующее повышение P_{aCO_2} связаны с попыткой аквалангиста дышать медленно, чтобы сохранить воздух и продлить время погружения (пропустить дыхание) [6]. Кроме того, было показано, что у дайверов во время длительной физической нагрузки возникает утомление дыхательных мышц, что приводит к неадекватной вентиляции и повышению P_{aCO_2} [7, 9].

Эти исследования среди дайверов поднимают такие вопросы, как, например, приводит ли сходная схема прерывистого дыхания у пожарных при дыхании из дыхательного аппарата во время физической нагрузки к задержке углекислого газа. Работа дыхания с аквалангом и дыхательным аппаратом может быть одинаковой и таким образом, оказывать негативное влияние на вентиляцию [3,8–11]. Пожарные обычно обучены недостаточной вентиляции для экономии воздуха и продления рабочего времени за счет увеличения работы дыхания и увеличения продолжительности подачи воздуха из баллона. Повышение P_{aCO_2} , вероятно, еще больше увеличивается во время упражнений [12].

Существует множество краткосрочных и долгосрочных негативных последствий повышенного P_{aCO_2} . Одним из них является неспособность регулировать кислотно-щелочной статус, особенно во время упражнений, требующих анаэробного гликолиза, что приводит к выработке молочной

кислоты и снижению pH (метаболический ацидоз), что часто встречается у пожарных. Метаболический ацидоз обычно приводит к респираторной компенсации. Однако, если пожарные намеренно недостаточно вентилируют воздух, P_{aCO_2} будет повышенным, а pH — пониженным. Мы предположили, что (1) у пожарных уровень P_{aCO_2} будет выше во время упражнений по сравнению с теми, кто не является пожарным, и (2) использование дыхательного аппарата приведет к недостаточной вентиляции и повышению P_{aCO_2} , согласно оценке $ETCO_2$ [13], как у пожарных, так и у не пожарных из-за повышенной работы дыхания, с большим влиянием на пожарных из-за их произвольной недостаточной вентиляции во время циклических упражнений. Мы провели это пилотное исследование, чтобы определить, существует ли устойчивая разница в респираторных реакциях во время упражнений между пожарными и не пожарными, а также в двух состояниях (дыхательный аппарат или только лицевая маска) между пожарными и не пожарными.

Результаты

На $ET CO_2$ не влияла скорость работы ни в одной из групп ни в одном из условий. $ET CO_2$ был выше у пожарных по сравнению с контрольной группой при любой интенсивности работы ($p = 0,002$). Дыхание с помощью дыхательного аппарата по сравнению с использованием только лицевой маски привело к незначительному снижению $ET CO_2$ у контрольной группы (4%) и у пожарных (3%).



Частота дыхания увеличивалась линейно ($r = 0,97, 0,99, 0,98, 0,96$) в зависимости от процентного содержания $VO_2 \max$ в обеих группах и условиях.

Данные максимальных тестов и тестов ГРН при сопоставимых нагрузках.

Показатели были выше у контрольных участников при более низких интенсивностях как при ношении лицевой маски, так и при использовании полного дыхательного аппарата. У пожарных была более высокая частота сердечных сокращений по сравнению с тестом максимальной физической нагрузки в состоянии дыхательного аппарата. Как у пожарных, так и у участников контрольной группы частота дыхания была ниже в условиях лицевой маски по сравнению с максимальным тестом, но только у пожарных участников была более низкая частота дыхания в условиях дыхательного аппарата.

3. Дискуссия

Основным результатом настоящего исследования было то, что пожарные значительно более высокие значения $ETCO_2$, чем у участников контрольной группы, при дыхании через мундштук (тест $VO_2 \max$), лицевую маску дыхательного аппарата и дыхательный аппарат. Кроме того, дыхание от дыхательного аппарата уменьшилось.

Известно, что дыхание в дыхательном аппарате увеличивает работу дыхания, что изменяет характер дыхания. Предыдущие исследования предполагали, что у пожарных меняется характер дыхания при использовании дыхательного аппарата из-за увеличения работы дыхания [1,3,11,15]. Тем не менее, пожарные в настоящем

исследовании также меньше дышали во время максимального теста, и их частота дыхания была одинаково ниже на ГРН в обоих условиях по сравнению с участниками контрольной группы. Это говорит о том, что контроль вентиляции у пожарного менялся во всех трех условиях тестирования и не был напрямую связан с работой дыхания от дыхательного аппарата. Ограниченная схема вентиляции, вероятно, вызвала увеличение $ETCO_2$ и артериального CO_2 .

В поддержку настоящих данных приводятся предыдущие данные нашей лаборатории по дыханию под водой с аквалангом, где работа дыхания (измеряемая как площадь под пищеводным давлением и контуром объема) выше, чем на суше [8–10]. Дайверы испытывают гипервентиляцию так же, как пожарные в этом исследовании, и наблюдается такое же увеличение $ET CO_2$ [8–10]. В дополнение к лабораторным исследованиям другие исследования показали, что у активных дайверов снижена вентиляция и повышено $ET CO_2$ в состоянии покоя и во время физических упражнений [6]. Для лиц, которые не могут переносить более высокий уровень CO_2 , защищая нормальный артериальный CO_2 за счет увеличения

Преднамеренная гиповентиляция для сохранения дыхательного газа может быть понятна во время периодов дыхания с дыхательным аппаратом. Однако пожарные в настоящем исследовании продемонстрировали эту адаптацию при дыхании через мундштук, где не было повышенного давления.



работа дыхания. Чтобы объяснить это, возможно, что их тренировки с AIRGO изменили их химическую чувствительность, чтобы сохранить VE и позволили им переносить повышенный артериальный CO₂, как показано в этом исследовании. Было показано, что хеморецепторы, подвергшиеся воздействию повышенного содержания CO₂, становятся менее чувствительными и сбрасывают уровень воздействия, при котором мозг реагирует увеличением вентиляции [16]. Хотя мы, не зная об исследованиях чувствительности пожарных к CO₂, эти наблюдения наблюдались у аквалангистов [17]. На основании подавленного VE и повышенный ET CO₂ наблюдается у пожарных в настоящем исследовании, разумно предположить, что пожарные имеют пониженную чувствительность к CO₂, что приводит к повышению ET CO₂ во время упражнений, независимо от респиратора. Хотя резкое повышение уровня CO₂, наблюдаемое у участников-пожарных, может не увеличивать риск, хроническое повышение может увеличить риск заболеваний, таких как болезни сердца.

4. Выводы

Существуют ограничения на интерпретацию этих данных. Участники не были подобраны между группами, в результате чего группа пожарных была старше и тяжелее, чем не пожарные. В будущих исследованиях следует рассмотреть потенциальное влияние возраста, физической формы и телосложения на дыхательные реакции при использовании дыхательного аппарата.

В заключение, настоящее исследование показало, что по сравнению с участниками контрольной группы у пожарных наблюдается гиповентиляция во время максимальной и ГРН. Гиповентиляция привела к увеличению ET CO₂ и предположительно, увеличению артериального CO₂ во время физической нагрузки. На ET CO₂ пожарных не повлияло использование дыхательного аппарата по сравнению с использованием только лицевой маски, в то время как участники контрольной группы снизили ET CO₂ за счет гипервентиляции. Предполагается, что у пожарных изменяется чувствительность к CO₂ из-за произвольной гиповентиляции во время тренировок и работы.

References:

1. Лоухеваара В., Смоландер Дж., Туоми Т., Корхонен О., Яаккола Дж. Влияние дыхательного аппарата на характер дыхания, газообмен и частоту сердечных сокращений во время упражнений. *J Occup Med* 1985; 27: 213e6.
2. Лоухеваара В., Туоми Т., Смоландер Дж., Корхонен О., Тоссавайнен А., Яаккола Дж. Кардиореспираторная нагрузка на работах, требующих защиты органов дыхания. *Int Arch Occup Environ Health* 1985; 55:195e206.
3. Мясник С.Дж., Джонс Р.Л., Мейн Дж.Р., Хартли Т.К., Петерсен С.Р. Вентиляционная механика с нарушением двигательной активности с помощью автономного дыхательного аппарата совершенствуется с помощью гелиокса. *Eur J Appl Physiol* 2007;101:659e69.



4. Donovan K.D., MacConnell A.K. Развиваются ли у пожарных специфические дыхательные реакции, чтобы справляться с физическими упражнениями при ношении автономного дыхательного аппарата? *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1999;80:107e12.
5. Williams-Bell FM, Boisseau G, McGill J, Kostjuk A, Hughson RL. Управление воздухом и физиологические реакции во время имитации пожаротушения в высотном здании. *Appl Ergon* 2010;41:251e9.
6. Lanphier EH, Bookspan J. Удержание углекислого газа. В: Лундгрэн КЭГ, Миллер Дж. Н., редакторы. Легкие на глубине. Марсель Деккер; 1999. с. 211e36.
7. Тальманн ЭД, Спонгольц ДК, Лундгрэн КЭ. Влияние погружения и статической нагрузки на легкие при погружении в воду на глубине. *Undersea Biomed Res* 1979; 6: 259e90.
8. Рэй А.Д., Пендергаст Д.Р., Лундгрэн К.Э. Тренировка дыхательных мышц снижает работу дыхания на глубине. *Eur J Appl Physiol* 2010;108:811e20.
9. Рэй А.Д., Пендергаст Д.Р., Лундгрэн К.Э. Тренировка дыхательных мышц повышает выносливость при плавании на глубине. *Undersea Hyperb Med* 2008; 35:185e96.
10. Хелд Х.Е., Пендергаст Д.Р. Относительное влияние погружения и повышенного давления на дыхательную механику, работу и затраты энергии на дыхание. *J Appl Physiol* 1985; 2013 (114): 578e91.
11. Мясник С.Дж., Джонс Р.Л., Евс Н.Д., Петерсен С.Р. Работа дыхания увеличивается при выполнении упражнений с помощью автономного регулятора дыхательного аппарата. *Appl Physiol Nutr Metab* 2006;31:693e701.
12. Огох С., Эйнсли П.Н. Регуляторные механизмы мозгового кровотока при физической нагрузке: новые представления. *Exerc Sport Sci Rev* 2009; 37: 123e9.
13. Братья Р.М., Ганио М.С., Хабинг К.А., Гастингс Д.Л., Крэндэлл К.Г. Напряжение углекислого газа в конце выдоха отражает напряжение углекислого газа в артериальной крови у человека, подвергшегося тепловому стрессу, с моделированным кровотоком и без него. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 2011; 300: R978e83.
14. Robertson RJ, Goss FL, Dube J, Rutkowski J, Dupain M, Brennan C, Andreacci J. Валидация взрослой шкалы воспринимаемой нагрузки OMNI для упражнений на велоэргометре. *Медицинские научные спортивные упражнения* 2004; 36: 102e8.
15. Лоухеваара В., Туоми Т., Корхонен О., Яаккола Дж. Кардиореспираторные эффекты респираторных защитных устройств во время упражнений у хорошо тренированных мужчин. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1984;52:340e5.
16. Grassi B, Ferretti G, Costa M, Ferrigno M, Panzacchi A, Lundgren CE, Marconi C, Cerretelli P. Вентиляционные реакции на гиперкапнию и гипоксию у элитных дайверов с задержкой дыхания. *Respir Physiol* 1994; 97:323e32.
17. Пендергаст Д.Р., Линдхольм П., Вайлегала Дж., Варкандер Д., Лундгрэн К.Э. Влияние тренировки дыхательных мышц на чувствительность дыхательных путей к CO₂ у дайверов с аквалангом. *Undersea Hyperb Med* 2006; 33:447e53.