

## Особенности биомеханики дыхания при искусственной вентиляции лёгких гелиево-кислородной смесью в режиме управления давлением

Иван Николаевич Грачёв\*, Борис Николаевич Богомолов,  
Алексей Валерианович Щёголев, Евгений Петрович Макаренко<sup>1</sup>,  
Евгений Николаевич Ершов<sup>1</sup>

Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова,  
г. Санкт-Петербург, Россия

### Реферат

**Цель.** Изучение динамики инспираторного давления в дыхательных путях и дыхательного объёма в двух вариантах эксперимента: искусственная вентиляция лёгких в режиме управления давлением воздушно-кислородной и гелиево-кислородной газовой смесью в моделях «здоровое лёгкое», «хроническая обструктивная болезнь лёгких», «острый респираторный дистресс-синдром».

**Методы.** Исследовали инспираторное давление и дыхательный объём в течение 10 дыхательных циклов на уровне управления давлением от 5 до 20 см вод.ст. с шагом 5 см вод.ст. В качестве модели лёгких использовали TestChest®, который позволяет имитировать нормальную функцию и некоторые патологические состояния лёгких, такие как хроническая обструктивная болезнь лёгких и острый респираторный дистресс-синдром.

**Результаты.** В модели «здоровое лёгкое» инспираторное давление при применении кислородно-воздушной смеси и гелиево-кислородной смеси составило: на уровне 5 см вод.ст. — 6,4 (6,26; 6,50) и 7,17 (6,94; 7,17) см вод.ст.; 10 см вод.ст. — 11,31 (11,2; 11,43) и 12,11 (12,11; 12,27) см вод.ст.; 15 см вод.ст. — 16,8 (16,8; 17,03) и 15,24 (15,07; 15,24) см вод.ст.; 20 см вод.ст. — 18,83 (18,65; 19,04) и 21,52 (21,34; 21,67) см вод.ст. При этом значения дыхательного объёма составили: 262,1 и 280,3 мл — при уровне 5 см вод.ст.; 541,8 и 577,9 мл — при 10 см вод.ст.; 836,9 и 925,9 мл — при 15 см вод.ст.; 1109,0 и 1265,0 мл — при 20 см вод.ст. Показатели инспираторного давления и дыхательного объёма также определены в других исследуемых моделях. Сравнение показателей выявило статистически значимое увеличение исследуемых параметров при моделируемых патологических состояниях.

**Вывод.** Применение гелиево-кислородной смеси в режиме с управляемым давлением при моделировании нормальной механики дыхания, острого респираторного дистресс-синдрома и хронической обструктивной болезни лёгких сопровождается статистически значимым увеличением давления в верхних дыхательных путях и объёма вдоха.

**Ключевые слова:** принудительная вентиляция лёгких с управляемым давлением, инспираторное давление, инспираторный дыхательный объём, гелиево-кислородная смесь, модель лёгких.

**Для цитирования:** Грачёв И.Н., Богомолов Б.Н., Щёголев А.В. и т.д. Особенности биомеханики дыхания при искусственной вентиляции лёгких гелиево-кислородной смесью в режиме управления давлением. *Казанский мед. ж.* 2019; 100 (3): 445–450. DOI: 10.17816/KMJ2019-445.

### Features of respiration biomechanics at mechanical pressure-controlled helium-oxygen ventilation

I.N. Grachev, B.N. Bogomolov, A.V. Shchegolev, E.P. Makarenko, E.N. Ershov  
S.M. Kirov Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia

### Abstract

**Aim.** To study the dynamics of inspiratory pressure and volume in two versions of the experiment — mechanical pressure-controlled air-oxygen and helium-oxygen ventilation in the models of «healthy lung», «chronic obstructive pulmonary disease», «acute respiratory distress syndrome».

**Methods.** Inspiratory pressure and tidal volume were recorded during 10 respiratory cycles at each predetermined level from 5 to 20 cm H<sub>2</sub>O with a step of 5 cm H<sub>2</sub>O. TestChest® was used as a model of the lungs which allows simulating normal function and some pathological states of the lungs such as COPD and ARDS.

**Results.** In the model of «healthy lung» inspiratory pressure in the application of air-oxygen mixture and helium-oxygen mixture was: at level 5 cm H<sub>2</sub>O — 6.4 (6.26; 6.50) and 7.17 (6.94; 7.17) cm H<sub>2</sub>O; 10 cm H<sub>2</sub>O — 11.31 (11.2; 11.43) and 12.11 (12.11; 12.27) cm H<sub>2</sub>O; 15 cm H<sub>2</sub>O — 16.8 (16.8; 17.03) and 15.24 (15.07; 15.24) cm H<sub>2</sub>O and at the level of 20 cm H<sub>2</sub>O — 18.83 (18.65; 19.04) and 21.52 (21.34; 21.67) cm H<sub>2</sub>O. At this, the respiratory volumes were 262.1 ml and 280.3 ml at the level 5 cm H<sub>2</sub>O; 541.8 ml and 577.9 ml at 10 cm H<sub>2</sub>O, 836.9 ml and 925.9 ml at 15 cm H<sub>2</sub>O; 1109 ml and 1265 ml at 20 cm H<sub>2</sub>O. In other studied models the inspiratory pressure and respiratory volume were also determined. Comparison of indicators revealed a statistically significant increase of the studied parameters in the simulated pathological conditions.

**Conclusion.** Pressure-controlled use of helium-oxygen mixture in the simulation of normal breathing mechanics, acute respiratory distress syndrome and chronic obstructive pulmonary disease is accompanied by a statistically significant increase in inspiratory pressure in the airways and inspiratory volume.

**Keywords:** pressure-controlled mechanical ventilation, inspiratory pressure, inspiratory tidal volume, helium-oxygen mixture, lung model.

**For citation:** Grachev I.N., Bogomolov B.N., Shchegolev A.V. et al. Features of respiration biomechanics at mechanical pressure-controlled helium-oxygen ventilation. *Kazan medical journal*. 2019; 100 (3): 445–450. DOI: 10.17816/KMJ2019-445.

Гелиево-кислородную смесь (ГКС) в респираторной медицине применяют на протяжении нескольких десятилетий. В ряде работ предложено использовать ГКС при обострении хронической обструктивной болезни лёгких (ХОБЛ) и остром респираторном дистресс-синдроме (ОРДС) [1, 2]. Известно, что у пациентов с ХОБЛ проведение искусственной вентиляции лёгких (ИВЛ) ГКС приводит к уменьшению остаточного объёма лёгких, собственного положительного давления в конце выдоха и количества неэффективных попыток вдоха [1–5].

В случае тяжёлого течения ОРДС респираторная терапия не всегда оказывается эффективной, что требует применения более мощных методов респираторной поддержки, таких как экстракорпоральная мембранная оксигенация. Вместе с тем её проведение возможно при наличии специального оборудования и подготовленных в этой области специалистов. Альтернативной методикой респираторной терапии служит применение ГКС, которая позволяет обеспечить протективную стратегию ИВЛ и адекватный газообмен за счёт уменьшения минутного объёма дыхания при уменьшении пикового давления [6]. Согласно мнению ряда авторов, данная методика может быть терапевтическим «мостом» в случае дефицита времени и отсутствия условий для использования других, более эффективных методов лечения [7, 8].

Отсутствие достаточной разработанности темы ограничивает применение ИВЛ с использованием ГКС у пациентов с дыхательной недостаточностью различного генеза. Исследования в этой области показали, что для достижения положительных эффектов ГКС при различных

режимах ИВЛ необходимо учитывать физиологию, патофизиологию лёгких, данные графического анализа и особенности конкретного аппарата ИВЛ [9].

С учётом вышеизложенного целью настоящего исследования стало изучение динамики инспираторного давления (P<sub>insp</sub>) в дыхательных путях, инспираторного дыхательного объёма (V<sub>insp</sub>) в двух вариантах эксперимента: ИВЛ в режиме вентиляции с управляемым давлением (PCV — от англ. pressure controlled ventilation) воздушно-кислородной газовой смесью и ГКС в моделях «здоровое лёгкое», «ХОБЛ», «ОРДС».

Данное экспериментальное исследование проведено в симуляционном центре Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова. Для проведения ИВЛ с использованием ГКС применяли респиратор Hamilton G5 (Hamilton Medical, Швейцария) с блоком, обеспечивающим возможность подачи ГКС.

В качестве модели лёгких использовали TestChest® Respiratory Flight Simulator (Organis-GmbH, Швейцария). TestChest позволяет имитировать нормальную функцию и некоторые патологические состояния лёгких, такие как ХОБЛ и ОРДС (табл. 1).

ИВЛ в ходе эксперимента проводили в режиме PCV со следующими параметрами: P<sub>insp</sub> от 5 до 20 см вод.ст. с шагом 5 см вод.ст. в течение 10 дыхательных циклов, положительное давление в конце выдоха 5 см вод.ст., время вдоха 1,3 с, время нарастания потока 0 мс, соотношение фаз вдоха и выдоха 1:2, частота 15 дыханий в минуту. В зависимости от используемой дыхательной смеси эксперимент

Таблица 1. Основные позиции настройки модели лёгких пациента TestChest® Respiratory Flight Simulator

Настраиваемый параметр механики дыхания	Модель неизменённых лёгких	Хроническая обструктивная болезнь лёгких	Острый респираторный дистресс-синдром
Сопротивление дыхательных путей, условные единицы, Rp	5	50	5
Общая податливость, мл/см вод.ст.	50	60	20
Нижняя точка перегиба, см вод.ст.	5	21	10
Податливость ниже нижней точки перегиба, мл/см вод.ст.	50	42	10
Верхняя точка перегиба, см вод.ст.	35	50	25
Податливость выше верхней точки перегиба, мл/см вод.ст.	50	22	5

проводили в двух вариантах: первый — применяли кислородно-воздушную смесь (30% кислорода и 70% воздуха), второй — ГКС (30% кислорода и 70% гелия).

Перед началом эксперимента с каждым видом смеси проводили тестирование датчика потока аппарата Hamilton G5 по рекомендуемой производителем методике. ГКС, которую использовали для ИВЛ, имела сертификат соответствия.

Регистрацию показателей P<sub>insp</sub> и V<sub>insp</sub> во время ИВЛ производили в течение 10 дыхательных циклов на каждом заданном уровне управления давлением (PC — от англ. pressure control) от 5 до 20 см вод.ст. с шагом 5 см вод.ст., определяли их с помощью программного обеспечения Test Chest по следующей методике.

1. P<sub>insp</sub> (см вод.ст.). Регистрировали изменения минимального давления в дыхательных путях (P<sub>min</sub>) — аналога положительного давления в конце выдоха, а также максимального давления (P<sub>max</sub>) во время дыхательного цикла. P<sub>insp</sub> в дыхательных путях рассчитывали по формуле (1):

$$P_{insp} = P_{max} - P_{min} \quad (1)$$

При этом учитывали тот факт, что при моделировании ОРДС в измерительной камере модели лёгких дополнительно создаётся давление с целью симуляции сниженной податливости лёгких.

2. V<sub>insp</sub> (мл). Регистрировали изменения минимального объёма лёгких (V<sub>min</sub>) — аналога функциональной остаточной ёмкости, а также максимального объёма лёгких (V<sub>max</sub>) во время дыхательного цикла. V<sub>insp</sub> рассчитывали по формуле (2):

$$V_{insp} = V_{max} - V_{min} \quad (2)$$

Выявлено, что при моделировании ОРДС в измерительной камере модели лёгких вследствие поддержания дополнительного давле-

ния для симуляции сниженной податливости лёгких создаётся добавочный объём, который увеличивает дыхательный объём на величину, зависимую от уровня положительного давления в конце выдоха.

При статистической обработке полученных данных использовали программу R-studio [10]. Данные представлены в виде медианы (Me), 1-го и 3-го квартилей (Q<sub>1</sub>; Q<sub>3</sub>) для непараметрических данных и среднего значения для описания прогнозируемых значений P<sub>insp</sub>.

Для сравнения влияния состава двух газовых смесей на V<sub>insp</sub> и P<sub>insp</sub> при ИВЛ в режиме PCV на модели нормальных и патологических (ХОБЛ, ОРДС) лёгких использовали непараметрический метод для несвязанных выборок (Манна–Уитни).

На начальном этапе экспериментальных исследований на модели нормальной функции лёгких изучали влияние разных уровней аппаратной поддержки давлением (PCV) на P<sub>insp</sub> в дыхательных путях в зависимости от состава газовой смеси — кислородно-воздушной или ГКС. В ходе эксперимента выявлено, что при применении кислородно-воздушной смеси (первый вариант) расчётный показатель P<sub>insp</sub> составил на уровне PC: 5 см вод.ст. — 6,4 (6,26; 6,50) см вод.ст.; 10 см вод.ст. — 11,31 (11,2; 11,43) см вод.ст.; 15 см вод.ст. — 16,8 (16,8; 17,03) см вод.ст., на уровне 20 см вод.ст. — 18,83 (18,65; 19,04) см вод.ст.

Расчётный показатель P<sub>insp</sub> в тех же условиях нормальной функции лёгких при использовании ГКС (второй вариант) составил на уровне PC: 5 см вод.ст. — 7,17 (6,94; 7,17) см вод.ст.; 10 см вод.ст. — 12,11 (12,11; 12,27) см вод.ст.; 15 см вод.ст. — 15,24 (15,07; 15,24) см вод.ст.; 20 см вод.ст. — 21,52 (21,34; 21,67) см вод.ст.

Сравнение P<sub>insp</sub> во время ИВЛ между первым и вторым вариантами эксперимента показало, что более высокие показатели присутствовали во втором варианте на всех

**Таблица 2.** Модель «здоровое лёгкое»: инспираторное давление (P<sub>insp</sub>) в дыхательных путях при применении кислородно-воздушной и гелиево-кислородной смесей

Величина PC, см вод.ст.	Вариант эксперимента, P <sub>insp</sub> , см вод.ст.; Me (Q <sub>1</sub> ; Q <sub>3</sub> )		Уровень значимости (критерий Манна–Уитни, W)
	Первый (кислородно-воздушная смесь), n=10	Второй (гелиево-кислородная смесь), n=10	
5	6,4 (6,26; 6,50)	7,17 (6,94; 7,17)	W=10; p=0,0026
10	11,31 (11,2; 11,43)	12,11 (12,11; 12,27)	W=0; p=0,00015
15	15,24 (15,07; 15,24)	16,8 (16,8; 17,03)	W=0; p=0,00014
20	18,83 (18,65; 19,04)	21,52 (21,34; 21,67)	W=0; p=0,0002

Примечание: PC — уровень управления давлением.

**Таблица 3.** Модель «здоровые лёгкие»: инспираторный дыхательный объём (V<sub>insp</sub>) при применении кислородно-воздушной и гелиево-кислородной смесей.

Величина PC, см вод.ст.	Вариант эксперимента, V <sub>insp</sub> , мл; Me (Q <sub>1</sub> ; Q <sub>3</sub> )		Уровень значимости (критерий Манна–Уитни, W)
	Первый (кислородно-воздушная смесь), n=10	Второй (гелиево-кислородная смесь), n=10	
5	262,1 (234,3; 267,0)	280,3 (278,0; 281,5)	W=10; p=0,0028
10	541,8 (537; 546,5)	577,9 (574,1; 578,9)	W=0; p < 0,0001
15	836,9 (836,1; 837,7)	925,9 (923,8; 929,7)	W=0; p < 0,0001
20	1109,0 (1104,0; 1113,0)	1265,0 (1262,0; 1270,0)	W=0; p < 0,0001

Примечание: PC — уровень управления давлением.

**Таблица 4.** Модель хронической обструктивной болезни лёгких: инспираторное давление (P<sub>insp</sub>) в дыхательных путях при применении кислородно-воздушной и гелиево-кислородной смесей

Величина PC, см вод.ст.	Вариант эксперимента, P <sub>insp</sub> , см вод.ст.; Me (Q <sub>1</sub> ; Q <sub>3</sub> )		Уровень значимости (критерий Манна–Уитни, W)
	Первый (кислородно-воздушная смесь), n=10	Второй (гелиево-кислородная смесь), n=10	
5	5,37 (5,36; 5,53)	6,10 (5,96; 5,53)	W=0; p=0,00016
10	9,63 (9,63; 9,85)	10,30 (10,14; 10,32)	W=2; p=0,00028
15	13,89 (13,89; 14,12)	15,07 (14,81; 15,24)	W=0; p=0,00015
20	18,60 (18,6; 18,81)	19,94 (19,64; 20,11)	W=0; p=0,00016

Примечание: PC — уровень управления давлением.

уровнях PC: 5 см вод.ст. — W=10 (критерий Манна–Уитни), p=0,0026; 10 см вод.ст. — W=0, p=0,00015; 15 см вод.ст. — W=0, p=0,00014; 20 см вод.ст. — W=10, p=0,0002 (табл. 2).

На этой же модели лёгких изучали сравнительную динамику V<sub>insp</sub>, применяя различные составы газовой смеси. Используя кислородно-воздушную смесь, констатировали следующие значения V<sub>insp</sub>: 262,1 мл — при уровне PC 5 см вод.ст.; 541,8 мл — при 10 см вод.ст.; 836,9 мл — при 15 см вод.ст.; 1109,0 мл — при 20 см вод.ст. Изменение варианта эксперимента, при котором вентиляцию лёгких проводили ГКС, позволило получить статистически

более высокие значения V<sub>insp</sub> на тех же уровнях PC: 280,3 мл — при 5 см вод.ст.; 577,9 мл — при 10 см вод.ст.; 925,9 мл — при 15 см вод.ст.; 1265,0 мл — при 20 см вод.ст. (табл. 3).

На втором этапе эксперимента проводили моделирование ХОБЛ. В первом варианте эксперимента (кислородно-воздушная смесь) при увеличении величины аппаратной поддержки с 5 до 20 см вод.ст. получили прямолинейное увеличение P<sub>insp</sub> в дыхательных путях с 5,37 до 18,60 см вод.ст. В варианте применения ГКС P<sub>insp</sub> было достоверно выше (p < 0,01) при всех уровнях величины аппаратной поддержки: с 6,10 до 19,94 см вод.ст. (табл. 4).

**Таблица 5.** Модель хронической обструктивной болезни лёгких: инспираторный дыхательный объём ( $V_{insp}$ ) при применении кислородно-воздушной и гелиево-кислородной смесей

Величина PC, см вод.ст.	Вариант эксперимента, $V_{insp}$ , мл; Me ( $Q_1$ ; $Q_3$ )		Уровень значимости (критерий Манна–Уитни, W)
	Первый (кислородно-воздушная смесь), n=10	Второй (гелиево-кислородная смесь), n=10	
5	221,7 (219,3; 223,7)	320,4 (318,2; 334,8)	W=0; p <0,0001
10	391,9 (389,6; 393,1)	591,8 (590,5; 594,4)	W=0; p <0,0001
15	517,5 (515,7; 520,3)	774,6 (771,4; 777,4)	W=0; p <0,0001
20	612,3 (610,6; 614,4)	936,3 (934,2; 938,3)	W=0; p <0,0001

Примечание: PC — уровень управления давлением.

**Таблица 6.** Модель острого респираторного дистресс-синдрома: инспираторное давление ( $P_{insp}$ ) в дыхательных путях при применении кислородно-воздушной и гелиево-кислородной смесей

Величина PC, см вод.ст.	Вариант эксперимента, $P_{insp}$ , см вод.ст.; Me ( $Q_1$ ; $Q_3$ )		Уровень значимости (критерий Манна–Уитни, W)
	Первый (кислородно-воздушная смесь), n=10	Второй (гелиево-кислородная смесь), n=10	
5	10,2 (10,1; 10,50)	8,94 (8,83; 9,04)	W=100; p=0,0002
10	14,34 (14,17; 14,55)	14,51 (14,37; 14,55)	W=32; p=0,18
15	19,16 (19,04; 19,26)	19,77 (19,61; 20,15)	W=5,5; p=0,0008
20	23,29 (23,29; 23,46)	24,64 (24,46; 25,24)	W=0; p=0,00013

Примечание: PC — уровень управления давлением.

**Таблица 7.** Модель острого респираторного дистресс-синдрома: инспираторный дыхательный объём ( $V_{insp}$ ) при применении кислородно-воздушной и гелиево-кислородной смесей

Величина PC, см вод.ст.	Вариант эксперимента, $V_{insp}$ , мл; Me ( $Q_1$ ; $Q_3$ )		Уровень значимости (критерий Манна–Уитни, W)
	Первый (кислородно-воздушная смесь), n=10	Второй (гелиево-кислородная смесь), n=10	
5	137,2 (136; 137,7)	120,7 (115,9; 125,6)	W=10; p=0,00018
10	254,5 (253; 256,3)	287,6 (286,2; 290,7)	W=0; p <0,0001
15	404,8 (403,9; 405,6)	450,1 (449; 452,4)	W=0; p <0,0001
20	571,1 (570,1; 572,4)	612,2 (610,3; 613,5)	W=0; p <0,0001

Примечание: PC — уровень управления давлением.

Изучая  $V_{insp}$  на той же модели эксперимента (ХОБЛ), выявили аналогичную динамику показателей. В первом варианте эксперимента (кислородно-воздушная смесь) при величине поддержки PC 5 см вод.ст.  $V_{insp}$  составил 221,7 мл; повышение аппаратного давления до 20 см вод.ст. увеличило  $V_{insp}$  до 612,3 мл. Во втором варианте эксперимента, когда вентиляцию проводили ГКС,  $V_{insp}$  в тех же условиях был значительно больше — от 320,4 до 936,3 мл. Уровень значимости (p) между показателями указанных вариантов составил менее 0,0001 (табл. 5).

На заключительном этапе проводили исследование на модели ОРДС.  $P_{insp}$  в дыхательных

путях оказалось значительно выше, чем на предыдущих моделях эксперимента («здоровые лёгкие», «ХОБЛ»), при всех задаваемых параметрах аппаратной поддержки давлением в обоих вариантах эксперимента. При начальном аппаратном давлении режима PC (5 см вод.ст.) вентиляция кислородно-воздушной смесью создавала  $P_{insp}$  на 59% выше, чем при аналогичном PC в модели здорового лёгкого. В случае вентиляции ГКС повышение  $P_{insp}$  происходило на 25%. Повышение PC до 20 см вод.ст. в первом варианте эксперимента (кислородно-воздушная смесь) приводило к увеличению  $P_{insp}$  в 2,3 раза, во втором варианте — в 2,7 раза (табл. 6).

Динамика  $V_{insp}$  в дыхательных путях при изменении величины аппаратной поддержки давлением на экспериментальной модели «ОРДС» имела те же закономерности, что и в предыдущих моделях, отличалась от последних только величиной. Так, в первом варианте эксперимента (кислородно-воздушная смесь) РС на уровне 5 см вод.ст. обеспечил  $V_{insp}$  в объёме 137,2 мл, при увеличении РС до 10 см вод.ст.  $V_{insp}$  составил 254,5 мл; при 15 см вод.ст. — 404,8 мл; при 20 см вод.ст. — 571,1 мл. При изменении условий эксперимента на второй вариант (дыхательная смесь — ГКС)  $V_{insp}$  оказались на более высоких показателях, начиная с уровня 10 см вод.ст. — 287,6 мл. При дальнейшем увеличении давления  $V_{insp}$  составил 450,1 мл при 15 см вод.ст. и 612,2 мл — при 20 см вод.ст. (табл. 7).

Результатом проведённого экспериментального исследования стало выявление различия в биомеханике дыхания при ИВЛ в режиме РС между воздушно-кислородной газовой смесью и ГКС. Установлено, что при проведении ИВЛ в режиме PCV одинаковыми уровнями пикового давления при вентиляции ГКС  $V_{insp}$  достоверно выше ( $p < 0,001$ ), чем при вентиляции кислородно-воздушной смесью. Такое увеличение  $V_{insp}$  оказалось при проведении всех трёх моделей эксперимента — «здоровые лёгкие», «ОРДС» и «ХОБЛ». Самая большая разница оказалась на модели «ХОБЛ», при величине поддержки 20 см вод.ст. она превысила этот показатель на 53% (324 мл) ИВЛ кислородно-воздушной смесью.

Выявленные в ходе эксперимента данные позволяют утверждать, что ИВЛ с использованием ГКС в режиме PCV у пациентов с ОРДС и ХОБЛ, с одной стороны, обеспечивает более эффективную респираторную поддержку, уменьшает нагрузку на дыхательные мышцы, а с другой — требует более тщательной подборки параметров вентиляции.

## ВЫВОДЫ

1. В экспериментальной модели хронической обструктивной болезни лёгких при вентиляции в режиме с управляемым давлением инспираторное давление в дыхательных путях в зависимости от величины поддержки давлением статистически значимо ( $p < 0,001$ ) увеличивалось на 7–14%, а инспираторный дыхательный объём — на 45–53% ( $p < 0,001$ ) в сравнении с вентиляцией «нормальных лёгких».

2. Моделирование острого респираторного дистресс-синдрома в аналогичных условиях эксперимента выявило статистически значимое

( $p < 0,001$ ) увеличение инспираторного давления в дыхательных путях, за исключением уровня управления давлением 10 см вод.ст. Однако данный показатель возрастает в меньшей степени (1–6%), чем при хронической обструктивной болезни лёгких. С такой же закономерностью происходило увеличение инспираторного дыхательного объёма — всего на 7–13% ( $p < 0,001$ ).

3. Традиционный подбор параметров вентиляции гелиево-кислородной смесью в режиме вентиляции с управляемым давлением, принятый для искусственной вентиляции лёгких кислородно-воздушной смесью, может оказаться опасным для пациентов с острым респираторным дистресс-синдромом и (особенно) с хронической обструктивной болезнью лёгких, так как может привести к вентилятор-ассоциированному повреждению лёгких.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов по представленной статье.*

## ЛИТЕРАТУРА

- Rodrigo G.J., Rodrigo C., Pollack C.V., Rowe B. Use of helium-oxygen mixtures in the treatment of acute asthma: a systematic review. *Chest*. 2003; 123: 891–896. DOI: 10.1378/chest.123.3.891.
- Beurskens C.J.P., Wosten-van Asperen R.M., Preckel B., Juffermans N.P. The potential of heliox as a therapy for acute respiratory distress syndrome in adults and children: A descriptive review. *Respiration*. 2015; 89 (2): 166–174. DOI: 10.1159/000369472.
- Berganza C.J., Zhang J.H. The role of helium gas in medicine. *Med. Gas. Res.* 2013; 3 (1): 18. DOI: 10.1186/2045-9912-3-18.
- Austan F., Polise M. Management of respiratory failure with noninvasive positive pressure ventilation and heliox adjunct. *Heart Lung*. 2012; 31 (3): 214–218. DOI: 10.1067/mhl.2002.123150.
- Tassaux D., Gannier M., Battisti A., Joliet P. Helium-oxygen decreases inspiratory effort and work of breathing during pressure support in intubated patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Int. Care Med.* 2005; 31: 1501–1507. DOI: 10.1007/s00134-005-2796-9.
- Ashworth L., Norisue Y., Koster M. et al. Management of pressure control ventilation: An algorithmic method of patient ventilatory management to address «Forgotten but Important Variables». *J. Crit. Care*. 2018; 43: 169–182. DOI: 10.1016/j.jcrc.2017.08.046.
- Beurskens C.J., Aslami H., de Beer F.M. et al. Heliox allows for lower minute volume ventilation in an animal model of ventilator-induced lung injury. *PLoS One*. 2013; 8: e78159. DOI: 10.1371/journal.pone.0078159.
- Yilmaz S., Daglioglu K., Yildizdas D. et al. The effectiveness of heliox in acute respiratory distress syndrome. *Ann. Thorac. Med.* 2013; 8 (1): 46–52. DOI: 10.4103/1817-1737.105719.
- Beurskens C.J., Brevoord D., Lagrand W.K. et al. Heliox improves carbon dioxide removal during lung protective mechanical ventilation. *Crit. Care Res. Pract.* 2014; 954814: 5. DOI: 10.1155/2014/954814.
- The R Project for Statistical Computing. <https://www.R-project.org> (access date: 21.02.2019).