

**Сравнительный анализ  
использования высокопоточной  
и традиционной оксигенотерапии  
у пациентов с тяжелой  
внебольничной пневмонией**

И.Н. Грачев<sup>1</sup>, В.И. Шаталов<sup>1</sup>, А.Г. Климов<sup>1</sup>,  
И.В. Блинда<sup>2</sup>, И.А. Кочкин<sup>1</sup>, К.А. Цыганков<sup>1</sup>,  
А.В. Щеголев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия имени  
С.М. Кирова» МО РФ, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> ФГКУ «442 Военно-клинический госпиталь» МО РФ, Санкт-  
Петербург, Россия

**Реферат**

**Актуальность.** Для пациентов с сохраненным спонтанным дыханием и дыхательной недостаточностью разработаны различные способы доставки газовой смеси в дыхательные пути. Открытым остается вопрос о выборе оптимальной методики при гипоксии у пациентов с тяжелой внебольничной пневмонией. Применение высокопоточной оксигенотерапии является альтернативой ингаляции кислорода через стандартные канюли.

**Цели исследования.** Экспериментальное изучение механизмов воздействия высокопоточной оксигенотерапии и оценка ее клинической эффективности в сравнении с традиционной оксигенотерапией у пациентов с тяжелой внебольничной пневмонией.

**Материалы и методы.** При проведении экспериментального этапа исследования определен уровень среднего давления в дыхательных путях в зависимости от потока газовой смеси с использованием модели легких с параметрами биомеханики дыхания, характеризующими «здоровые легкие», «легкие со сниженной растяжимостью» и «легкие с высоким сопротивлением дыхательных путей».

При проведении клинического этапа осуществлен сравнительный анализ эффективности респираторной поддержки в группах пациентов с тяжелой внебольничной пневмонией с использованием высокопоточной и традиционной оксигенотерапии.

**Comparative analysis of the use of  
high-flow and traditional oxygen  
therapy in patients with severe  
community-acquired pneumonia.  
An experimental and clinical study**

I.N. Grachev<sup>1</sup>, V.I. Shatalov<sup>1</sup>, A.G. Klimov<sup>1</sup>, I.V. Blinda<sup>2</sup>,  
I.A. Kochkin<sup>1</sup>, K.A. Tsygankov<sup>1</sup>, A.V. Shchegolev<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia

<sup>2</sup> 442<sup>th</sup> Military Clinical Hospital, Saint Petersburg, Russia

**Abstract**

**Introduction.** In patients with spontaneous breathing and respiratory failure, various methods of delivering the gas mixture to the respiratory tract have been developed. The use of high-flow oxygen therapy is alternative standard oxygen therapy.

**Objectives.** Experimental study of the effects of high-flow oxygen therapy and evaluation of its clinical effectiveness in comparison with traditional oxygen therapy in patients with severe community-acquired pneumonia.

**Materials and methods.** During the experimental stage of the study, the level of mean airway pressure was determined depending on the flow of the gas mixture using a lung model with parameters of biomechanics of respiration.

During the clinical stage, a comparative analysis of the effectiveness of respiratory support in groups of patients with severe community-acquired pneumonia using high-flow and traditional oxygen therapy was carried out.

**Results.** During experimental study, flow of gas mixture 30 l/min was determined, at which mean airway pressure registered on models of healthy lungs and lungs with modified respiratory biomechanics significantly increases.

During the clinical phase of the study, a statistically significant decrease in the frequency of initiation of artificial (invasive and non-invasive) lung ventilation, an increase in oxygenation (saturation hemoglobin with oxygen, partial pressure oxygen in arterial blood) and partial pressure carbon dioxide with simultaneous decrease in respiratory rate.

**Результаты.** При проведении экспериментального исследования определен поток газовой смеси 30 л/мин, при котором значимо увеличивается среднее давление в дыхательных путях, регистрируемое на моделях «здоровых» легких и легких с измененной биомеханикой дыхания.

В ходе проведения клинического этапа исследования установлено значимое снижение частоты инициации искусственной (инвазивной и неинвазивной) вентиляции легких, увеличение показателей оксигенации (насыщение гемоглобина кислородом, парциальное давление кислорода в артериальной крови) и парциального давления углекислого газа в артериальной крови с одновременным снижением частоты дыхания.

**Выводы.** Величина потока газовой смеси более 30 л/мин значимо увеличивает среднее давление в дыхательных путях в эксперименте при моделировании «здоровых легких», «легких со сниженной растяжимостью» и «легких с высоким сопротивлением дыхательных путей». Однако клиническое значение данного показателя не существенно.

Использование высокопоточной оксигенотерапии у пациентов с тяжелой внебольничной пневмонией в сравнении со стандартной методикой уменьшает частоту применения искусственной (инвазивной и неинвазивной) вентиляции легких при увеличении показателей оксигенации. При этом уменьшается гипервентиляция, что подтверждается увеличением парциального давления углекислого газа в артериальной крови и снижением частоты дыхания.

**Ключевые слова:** высокопоточная оксигенотерапия, терапия ингаляцией кислорода, пневмония

✉ **Для корреспонденции:** Грачев Иван Николаевич — преподаватель кафедры военной анестезиологии и реаниматологии Военно-медицинской академии имени С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург, Россия; e-mail: GrachewIN@mail.ru

✉ **Для цитирования:** И.Н. Грачев, В.И. Шаталов, А.Г. Климов, И.В. Блинда, И.А. Кочкин, К.А. Цыганков, А.В. Щеголев. Сравнительный анализ использования высокопоточной и традиционной оксигенотерапии у пациентов с тяжелой внебольничной пневмонией. Вестник интенсивной терапии им. А.И. Салтанова. 2020;3:95–103. DOI: 10.21320/1818-474X-2020-3-95-103

✉ **Поступила:** 30.02.2020

✉ **Принята к печати:** 02.09.2020

**Conclusion.** The value of gas flow over 30 l/min has significant effect on the recorded mean airway pressure calculated using models of lungs in experiment. However, clinical significance of this indicator is not clinically significant.

The use of high-flow oxygen therapy in patients with severe community-acquired pneumonia in comparison with standard method reduces the frequency use of ventilation (invasive and non-invasive) with a significant increase in oxygenation indicators. This reduces hyperventilation, which is confirmed by a significant increase in partial pressure carbon dioxide and a decrease in respiratory rate.

**Keywords:** high-flow nasal cannula, oxygen inhalation therapy, pneumonia

✉ **For correspondence:** Ivan N. Grachev, educator of the department of military anesthesiology and reanimatology Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia; e-mail: GrachewIN@mail.ru.

✉ **For citation:** I.N. Grachev, V.I. Shatalov, A.G. Klimov, I.V. Blinda, I.A. Kochkin, K.A. Tsygankov, A.V. Shchegolev. Comparative analysis of the use of high-flow and traditional oxygen therapy in patients with severe community-acquired pneumonia. An experimental and clinical study. Annals of Critical Care. 2020;3:95–103. DOI: 10.21320/1818-474X-2020-3-95-103

✉ **Received:** 30.02.2020

✉ **Accepted:** 02.09.2020

DOI: 10.21320/1818-474X-2020-3-95-103

## Введение

Внебольничная пневмония (ВБП) — одно из распространенных заболеваний органов дыхания, представляющее актуальную проблему в интенсивной терапии и

связанное с высокой летальностью как среди взрослых, так и среди детей [1–3]. Заболеваемость в Европе составляет от 1,6 до 10,6 % [4, 5]. При этом в Российской Федерации за январь — апрель 2018 г., по данным Федеральной службы по надзору в сфе-

ре защиты прав потребителей и благополучия человека, зарегистрировано около 300 000 случаев ВБП (2,01 %) [6].

Острая дыхательная недостаточность (ОДН) часто осложняет ВБП и является основным фактором, определяющим госпитализацию пациентов в отделение реанимации и интенсивной терапии (ОРИТ). Внутривентиляторное шунтирование и нарушение вентиляционно-перфузионных отношений в легких — основные патофизиологические механизмы развития гипоксемии при пневмонии [7]. Оксигенотерапия оказывает незначительное воздействие на шунтирование, однако при этом значительно ухудшаются вентиляционно-перфузионные отношения вследствие гипоксической легочной вазоконстрикции. У пациентов с тяжелой ВБП данный факт может стать причиной увеличения физиологического мертвого пространства [8]. В настоящее время активно развиваются методики респираторной терапии, уменьшающие потребление кислорода организмом вследствие создания положительного давления в дыхательных путях, приводящего к уменьшению работы дыхания пациента.

В то же время одной из причин того, что от 37 до 60 % пациентов с ВБП, поступивших в ОРИТ, нуждаются в искусственной вентиляции легких (ИВЛ), является неэффективное использование стандартных методик оксигенотерапии [9, 10]. При угрожающей жизни ОДН, а также в случаях несостоятельности функций нескольких органов и систем ИВЛ остается основным методом интенсивной терапии. Однако его применение может стать причиной как легочных, так и внелегочных осложнений [11].

Экспериментальное и клиническое обоснование использования неинвазивных методик оксигенотерапии (например, высокопоточной оксигенотерапии (ВПО)), минимально влияющих на структуру и функцию легких, обеспечивая при этом оптимальную оксигенацию и вентиляцию, является перспективным направлением исследований в области респираторной медицины. Основой для данной методики служит применение скорости потока до 60 л/мин с возможностью установки температуры, влажности, фракции кислорода во вдыхаемой смеси ( $FiO_2$ ) [12].

В отечественных рекомендациях скорость потока 30 л/мин определяется как стартовая величина при гипоксемической ОДН. Однако физиологического обоснования наиболее оптимального алгоритма выбора первичных настроек ВПО у больных с ОДН различного генеза нет [1].

Исходя из вышесказанного, целью исследования явились экспериментальное изучение механизмов воздействия ВПО и оценка ее клинической эффективности в сравнении с традиционной оксигенотерапией у пациентов с тяжелой ВБП.

## Материалы и методы

Исследование одобрено независимым этическим комитетом при Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова (Протокол № 207 от 22 мая 2018 г.). Экспериментальный этап исследования проводили на базе симуляционного центра Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова в период с 2017 по 2018 г. Клинический этап исследования проводили в Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова в период с 2018 по 2019 г.

Для оценки изучаемых показателей применяли аппарат ИВЛ Hamilton G5 (Hamilton Medical, Швейцария) с наличием режима HighFlow, позволяющего проводить ВПО через контур доставки газа с устройством соединения с трахеостомической канюлей OPT870 (Fisher & Paykel, Healthcare Ltd).

В качестве модели легких использовали высокореалистичный симулятор TestChest® Respiratory Flight Simulator (Organis-GmbH, Швейцария), состоящий из точной модели легких со сложной системой математического моделирования для обеспечения воспроизведения легочной механики, газообмена и гемодинамических реакций взрослого человека в норме и при различных патологических состояниях как при сохранении самостоятельного дыхания, так и при проведении ИВЛ.

В данном исследовании использовали три модели биомеханики дыхания: «здоровые легкие», «легкие со сниженной растяжимостью» и «легкие с высоким сопротивлением дыхательных путей». Все измерения проводили при комнатной температуре и влажности.

Основные характеристики моделей представлены в табл. 1.

Регистрацию показателей проводили на семи этапах исследования. На каждом этапе устанавливали величину потока и концентрацию кислорода 50 % на фоне моделирования параметров системы дыхания человека с частотой 14 уд. в мин. Для базового измерения показателей системы дыхания применяли поток 0 л/мин, для моделирования стандартной оксигенотерапии — от 5 до 15 л/мин с шагом 5 л/мин, для моделирования ВПО — от 30 до 50 л/мин с шагом 10 л/мин. При этом величина потока 30 л/мин определена в соответствии с отечественными рекомендациями по проведению неинвазивной вентиляции легких, как рекомендуемая при гипоксемической ОДН [1].

Для оценки результатов были выбраны параметры состояния дыхательной системы пациента.

1. Продолжительность дыхательного цикла ( $T$ , ед. времени) — время от начала до конца цикла.
2. Давление в дыхательных путях ( $ДДП$ , см вод. ст.) в определенную точку времени  $T_i$ . При этом количество измерений во время дыхательного цикла, моделируемого с частотой 14 уд. в мин, составило 200.

**Таблица 1.** Параметры моделей легких TestChest® Respiratory Flight Simulator

**Table 1.** TestChest® Respiratory Flight Simulator parameters

Изменяемый параметр биомеханики дыхания модели	Варианты моделей эксперимента		
	Здоровые легкие	Легкие со сниженной растяжимостью	Легкие с высоким сопротивлением дыхательных путей
Растяжимость ниже нижней точки перегиба, мл/см вод. ст.	50	10	40
Растяжимость выше верхней точки перегиба, мл/см вод. ст.	50	5	20
Общая растяжимость, мл/см вод. ст.	50	20	60
Сопротивление дыхательных путей, условные единицы	5	5	50
Нижняя точка перегиба, см вод. ст.	5	10	20
Верхняя точка перегиба, см вод. ст.	35	25	50

3. Среднее давление в дыхательных путях (ДДП<sub>ср</sub>) отдельного цикла, рассчитанное по формуле

$$ДДП\ ср = \sum_{T_i=0}^{T_i=200} ДДП / T.$$

В дальнейшем проводился клинический этап исследования, заключающийся в сравнительном анализе эффективности респираторной поддержки с использованием ВПО и традиционной оксигенотерапии (группы 1 и 2) у пациентов с ВБП и признаками ОДН. Количество пациентов в каждой группе составило 32 человека.

Критериями включения определены:

- возраст старше 18 лет;
- дыхательная недостаточность, не требующая ИВЛ по общепринятым критериям [2];

- гемодинамические показатели (среднее артериальное давление  $\geq 65$  мм рт. ст. без использования вазопрессоров).

Критериями исключения определены:

- отказ пациента от проводимого исследования;
- беременность.

Для объективной оценки тяжести ВБП применяли шкалу SMRT-CO (systolic blood pressure, multilobar chest radiography involvement, respiratory rate, tachycardia, confusion, oxygenation), учитывающую клинические, лабораторные и инструментальные признаки [2]. ВБП оценивали как тяжелую при сумме баллов 4 и более. Общая характеристика групп пациентов представлена в табл. 2.

**Таблица 2.** Антропометрические показатели, сопутствующая патология и тяжесть основного заболевания пациентов 1-й и 2-й групп

**Table 2.** Anthropometric indicators, concomitant pathology and the severity of the underlying disease in patients of groups 1 and 2

Показатель	Группа 1 (n = 32)	Группа 2 (n = 32)	Значение p
Возраст, годы	36,7 (19–47)	38,6 (20–48)	0,2
Пол муж, n (%)	23 (71)	20 (62,5)	0,42
Индекс массы тела, кг/м <sup>2</sup>	18,3 (19,9–20,90)	18,8 (19,1–19,5)	0,45
Сахарный диабет I, II типа, %	2 (6)	4 (12,5)	0,39
Хроническая сердечная недостаточность, %	5 (16)	8 (25)	0,35
Хроническая почечная недостаточность, %	8 (25)	6 (18,7)	0,54
Хроническая обструктивная болезнь легких, %	3 (9)	6 (18,7)	0,28
Значение по шкале SMRT-CO	4,7 (3,6–5,5)	5,0 (3,8–5,9)	0,28
Двусторонняя легочная инфильтрация, %	26 (81)	30 (94 %)	0,13

В 1-й группе пациентов проводили инсуффляцию увлажненного кислорода с  $\text{FiO}_2$  100 % с потоком 5 л/мин через стандартные назальные канюли. Для достижения целевых показателей оксигенации (насыщение гемоглобина кислородом (по пульсоксиметру) ( $\text{SpO}_2$ ) > 92 %) поток увеличивали до 15 л/мин. При неэффективности исследуемого метода ( $\text{SpO}_2$  < 92 %, частота дыхания (ЧД) > 35 уд. в мин) регистрировали показатели согласно протоколу исследования и немедленно использовали неинвазивную вентиляцию легких, а при наличии критериев осуществлялся перевод на ИВЛ.

Для 2-й группы пациентов использовали оксигенотерапию с потоком до 15 л/мин через стандартные назальные канюли. При неэффективности методики ( $\text{SpO}_2$  < 92 %, ЧД > 35 уд. в мин) немедленно использовали ВПО с одновременной регистрацией исследуемых показателей. Через 60 мин использования стандартной оксигенотерапии оценивали показатели системы дыхания (ЧД), газового состава крови (парциальное давление кислорода в артериальной крови ( $\text{PaO}_2$ ), парциальное давление углекислого газа в артериальной крови ( $\text{PaCO}_2$ )) и кислотно-основного состояния (КОС).

Затем осуществляли ВПО через инспираторный контур и носовую канюлю необходимого размера аппаратом Hamilton G5 (Hamilton Medical, Швейцария) до достижения требуемого уровня оксигенации. Стартовыми параметрами являлись скорость потока 30 л/мин,  $\text{FiO}_2$  50 % и температура газовой смеси 37 °С. Через 60 мин применения ВПО оценивали параметры системы дыхания (ЧД), показателей газового состава ( $\text{PaO}_2$ ,  $\text{PaCO}_2$ ) и КОС (рН,  $\text{HCO}_3^-$ ). При неэффективности стартовых параметров проводили коррекцию до достижения целевого значения  $\text{SpO}_2$  > 92 % по утвержденной методике [1]. При дальнейшем лечении пациентов методику оксигенотерапии не меняли.

В ходе проводимого исследования у групп пациентов регистрировали частоту использования ИВЛ (инвазивной и неинвазивной).

При статистической обработке данных применяли пакет статистических программ R-studio (version 3.3.4 R Core Team (2018). R: URL <https://www.R-project.org>). Данные представлены в виде медианы (Me) (квартиль 1 (Q1); квартиль 3 (Q3)) для непараметрических данных.

Для статистической обработки экспериментальных данных были использованы критерии Шапиро—Уилка и Бартлетта для определения нормальности распределения и гомогенности дисперсии с применением дисперсионного анализа с поправками Tukey для множественных сравнений. Результаты представлены как среднее значение по выборке  $\pm$  среднее квадратическое отклонение.

При проведении клинического этапа оценка значимости различий между группами данных проводилась с помощью непараметрических методов (критерий Wilcoxon). Качественные показатели оценивались с использованием  $\chi^2$  (критерий Пирсона). Различия принимались статистически значимыми при  $p < 0,05$ .

## Результаты

Уровень ДДПср в зависимости от потока газовой смеси, рассчитанный при оценке моделей «здоровые легкие», «легкие со сниженной растяжимостью» и «легкие с высоким сопротивлением дыхательных путей», продемонстрирован на рис. 1. Выявлен значимый рост данного показателя при потоке более 30 л/мин ( $p < 0,05$ ).

Максимальное значение ДДПср  $0,7 \pm 0,03$  см вод. ст. при скорости потока 5 л/мин выявлено при моделировании «легких со сниженной растяжимостью» и «здоровых легких», наименьшее значение  $0,62 \pm 0,018$  см вод. ст. — при оценке «легких с высоким сопротивлением дыхательных путей».

При потоке 30 л/мин в сравнении с уровнем потока 5 л/мин показатель ДДПср в дыхательных путях при моделировании «здоровых легких» значительно увеличился на 0,23 (0,19–0,27) см вод. ст., «легких со сниженной растяжимостью» — на 0,2 (0,17–0,24) см вод. ст., «легких с высоким сопротивлением дыхательных путей» — на 0,18 (0,15–0,21) см вод. ст.

При использовании ВПО со скоростью потока 50 л/мин в сравнении с уровнем потока 5 л/мин ДДПср значительно увеличилось на 0,74 (0,69–0,78) см вод. ст. при моделировании «здоровых легких», на 0,65 (0,62–0,69) см вод. ст. — «легких со сниженной растяжимостью», на 0,64 (0,6–0,68) см вод. ст. — «легких с высоким сопротивлением дыхательных путей». Исходя из полученных данных, максимальному воздействию при увеличении потока подвержены участки легких с неизменной биомеханикой дыхания, а минимальному — со сниженной растяжимостью и высоким сопротивлением входу.

Исследование на следующем этапе заключалось в оценке влияния использования ВПО и стандартной оксигенотерапии на клинические показатели, показатели газообмена, работу дыхания и сравнение частоты пере-

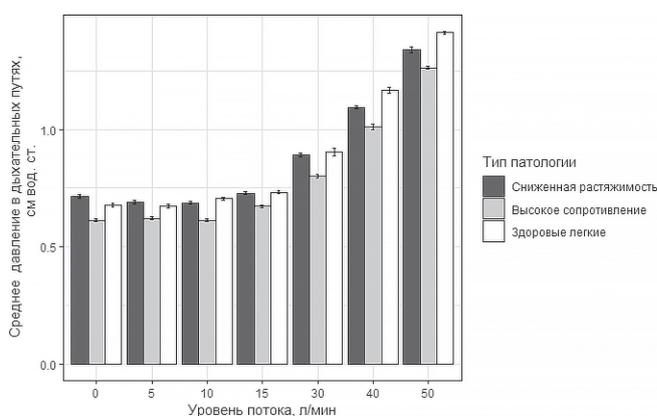


Рис. 1. Влияние уровня потока подаваемой газовой смеси на среднее давление в дыхательных путях

Fig. 1. Influence of the flow rate of the supplied gas mixture on the mean airway pressure

вода пациентов в ходе проводимой интенсивной терапии на ИВЛ (как инвазивной и неинвазивной).

При оценке клинических и лабораторных показателей установили, что у пациентов с использованием ВПО величина  $PaO_2$  составила 103,3 (96,1–107,2) мм рт. ст., что оказалось выше, чем при использовании стандартной оксигенотерапии (54,7 (54,2–60,5) мм рт. ст.,  $p = 0,0003$ ). При исследовании показателей вентиляции отмечено статистически значимое увеличение  $PaCO_2$  при переходе от стандартных канюль к использованию ВПО с 32,2 (30,6–35,7) до 36,9 (33,3–40,7) мм рт. ст. Уровень значимости ( $p$ ) различий между пока-

зателями составил 0,001. Частота дыхания достоверно уменьшалась при переходе со стандартной оксигенотерапии к ВПО.

При применении ВПО гемодинамические показатели (систолическое и диастолическое артериальное давление) увеличивались, а частота сердечных сокращений значимо снижалась по сравнению с использованием методики стандартной оксигенотерапии. Различия в клинических показателях, показателях КОС и газового состава крови при использовании стандартных канюль и ВПО, а также уровень значимости обобщены в табл. 3.

**Таблица 3.** Клинические и лабораторные показатели в группах пациентов при проведении стандартной оксигенотерапии и высокопоточной оксигенотерапии

**Table 3.** Clinical and laboratory parameters in patient groups during standard oxygen therapy and high-flow oxygen therapy

Показатели	Стандартная оксигенотерапия, Ме (Q1–Q3)	Высокопоточная оксигенотерапия Ме (Q1–Q3)	Значение критерия, уровень значимости $p$
<b>Клинические показатели</b>			
Систолическое артериальное давление, мм рт. ст.	99,2 (92,5–103,5)	109,1 (104,6–116,5)	$V = 11, p = 0,02^*$
Диастолическое артериальное давление, мм рт. ст.	57,2 (52,56–58,89)	60,0 (56,7–62,2)	$V = 43, p = 0,21$
Частота сердечных сокращений, уд. в мин	100,4 (95,04–104,89)	91,7 (85,5–96,04)	$V = 116, p = 0,02^*$
ЧД, мин	35,6 (35–42)	22,6 (18,3–25,97)	$V = 124, p = 0,002$
Температура тела, °C	37,8 (37,2–38,4)	37,6 (36,6–38,17)	$V = 1, p = 1$
<b>Кислотно-основное состояние и газовый состав артериальной крови</b>			
pH	7,44 (7,43–7,47)	7,46 (7,45–7,47)	$V = 14,5, p = 0,1$
$HCO_3^-$ , ммоль/л	24,4 (23,5–25,1)	24,3 (22,8–25,5)	$V = 57, p = 0,9$
$PaCO_2$ , мм рт. ст.	32,2 (30,6–35,7)	36,9 (33,3–40,7)	$V = 3, p = 0,001^{**}$
$PaO_2$ , мм рт. ст.	54,7 (54,2–60,5)	103,3 (96,1–107,2)	$V = 0, p = 0,0003^{**}$
$SpO_2$ , %	87,9 (83,4–92,1)	99,5 (95,5–100)	$V = 0, p = 0,005^{**}$

\*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,001$ .

В ходе исследования установлено значимое снижение частоты использования ИВЛ у пациентов с приме-

нением ВПО. Показатели частоты использования ИВЛ и уровень значимости указаны в табл. 4.

**Таблица 4.** Анализ частоты применения ИВЛ у пациентов 1-й и 2-й групп

**Table 4.** Analysis of the frequency of the use of mechanical ventilation in patients of the 1st and 2nd groups

Показатель	Группа 1 (n = 32)	Группа 2 (n = 32)	Уровень $p$
Число пациентов, переведенных на ИВЛ, n	20 (32)	8 (32)	$\chi^2 = 9,1; p = 0,03^*$

\*  $p < 0,05$ .

## Обсуждение

В ходе исследования выявлено увеличение показателей оксигенации, сопровождающееся снижением работы дыхания, одним из механизмов возникновения которых стало повышение ДДПср, что позволяло избежать интубации трахеи. Результатом исследования стало снижение частоты применения ИВЛ у групп пациентов с использованием ВПО. Данный результат может свидетельствовать об эффективности данного подхода к коррекции ОДН в ОРИТ у взрослых пациентов с тяжелой ВБП и требует дальнейшего изучения.

На экспериментальном этапе исследования оценено влияние потока газовой смеси при использовании ВПО на ДДПср во время самостоятельного дыхания на моделях легких при нормальных и измененных показателях биомеханики легких.

В основе клинических эффектов ВПО в современных исследованиях, помимо возможности создания необходимой фракции кислорода во вдыхаемой газовой смеси, выделяют ряд механизмов, связанных с высокой скоростью потока. К основным из них относятся: вымывание  $\text{CO}_2$  из мертвого пространства, соответствие фактического потока газа на вдохе необходимому уровню для пациента с ОДН, создание невысокого положительного давления в верхних дыхательных путях, приводящего к снижению работы дыхания [1]. В проведенных ранее исследованиях изучено влияние скорости потока газовой смеси на давление в дыхательных путях с использованием неинвазивных методик поддержки дыхания на моделях легких [13–15]. В данных работах отмечено, что использование ВПО способно создавать низкий уровень положительного давления, диапазон измеренных значений был широк и определялся от 2 до 11 см вод. ст. с учетом лишь фазы вдоха [16, 17].

Последние исследования показали, что по сравнению с методиками стандартной оксигенотерапии у пациентов при проведении ВПО через трахеостомическую трубку с использованием потока 50 л/мин давление в дыхательных путях незначительно повышается. В исследовании [19], выполненном у пациентов с возможностью мониторинга давления в дыхательных путях через трахеостомическое отверстие, при проведении ВПО на уровнях потока 10, 30, 50 л/мин среднее давление в трахее было пропорционально величине потока газовой смеси. Повышение ДДПср, вызванное увеличением потока на 10 л/мин, определено на уровне 0,2 см вод. ст. В нашем исследовании данная величина была сопоставимой и составила 0,15 см вод. ст. при оценке модели «здоровых легких», 0,13 см вод. ст. — «легких со сниженной растяжимостью» и «легких с высоким сопротивлением дыхательных путей».

По сравнению с потоком газовой смеси 8 л/мин в исследовании Natalini D. et al. поток 50 л/мин приводил

к увеличению ДДПср на 0,4 см вод. ст. При выполнении моделирования биомеханики дыхания данная величина была значительно выше. При проведении ВПО со скоростью потока 50 л/мин (по сравнению с уровнем потока 5 л/мин) ДДПср увеличилось на 0,74 см вод. ст. при моделировании «здоровых легких», на 0,65 см вод. ст. — при моделировании «легких со сниженной растяжимостью», на 0,64 — при моделировании «легких с высоким сопротивлением дыхательных путей».

Особенностью исследования [19] явилось то, что в нем приняло участие ограниченное число пациентов. Оценка параметров механики дыхания также не проводилась. При этом метод, применяемый в нашем исследовании, позволил моделировать механику дыхания пациента с сохраненным самостоятельным дыханием как с обструктивной, так и с рестриктивной патологией легких. Таким образом, данный подход дает возможность более точно предсказывать изменения ДДПср у пациентов при проведении ВПО.

При анализе данных, полученных в нашем исследовании, несмотря на статистически значимые отличия в величине исследуемого показателя при скорости потока более 30 л/мин, клиническая значимость положительного давления в дыхательных путях является незначительной. При этом в ходе эксперимента не учитывали влияние таких факторов, как частота дыхания, объем утечки через рот и нос при использовании назальных канюль, сопротивление верхних дыхательных путей и трахеостомической трубки. При соблюдении методики проведения оксигенотерапии, снижая воздействие этих факторов, можно увеличить клинический эффект респираторной терапии, связанный с созданием положительного давления в дыхательных путях.

Проведенное клиническое исследование продемонстрировало, что использование ВПО у пациентов с тяжелой ВБП обеспечивает улучшение оксигенации по сравнению с традиционными методиками оксигенотерапии. В исследовании Roca O. et al. [20] использование ВПО после стандартной оксигенотерапии в течение 30 мин у 20 пациентов, из которых у 13 наблюдалась тяжелая пневмония, сопровождалось увеличением  $\text{PaO}_2$  с 77 до 127 мм рт. ст.

При этом значимые изменения, выявленные при оценке работы дыхания и проявляющиеся снижением ЧД с 28 до 21 уд. в мин, вероятно, связаны с уменьшением гипервентиляции. Установленное достижение референтных значений  $\text{PaCO}_2$  не выявлено [20]. Данные, полученные в нашем исследовании, подтверждают изменения оксигенации и вентиляции у пациентов с тяжелой ВБП с сохраненным самостоятельным дыханием.

Эффекты со стороны сердечно-сосудистой системы, такие как уменьшение частоты сердечных сокращений, увеличение систолического артериаль-

ного давления, могут рассматриваться как следствие снижения напряжения компенсаторных реакций при ОДН у пациентов с тяжелой ВБП при использовании этого метода. К недостаткам данного этапа исследования относятся отсутствие рандомизации пациентов и невозможность выделить ведущие механизмы, лежащие в основе отдельных клинических эффектов ВПО.

В проведенном ранее мультицентровом рандомизированном исследовании при использовании ВПО у пациентов с различной патологией легких ВБП как первичный диагноз был установлен только у 60 % пациентов [18]. При этом продемонстрировано отсутствие значимого снижения частоты интубации трахеи по сравнению со стандартной оксигенотерапией — 38 и 47 % соответственно. Существенным отличием нашего исследования от ранее проведенных работ явилось то, что данный показатель был определен исключительно у пациентов с тяжелой ВБП. Возможно, это послужило увеличению числа пациентов, для лечения которых не использовались более инвазивные методики ИВЛ вследствие ранней стабилизации показателей газообмена и достижения эффективности этиотропной антибактериальной терапии.

Ограничением данной работы можно считать односторонний характер исследования с относительно небольшой выборкой пациентов, а также отсутствие анализа этиологии ВБП, дальнейшее исследование которой может определить группы пациентов с наиболее значимым влиянием ВПО на результаты респираторной терапии.

Основываясь на полученных положительных клинических и лабораторных эффектах ВПО, позволяющих значимо снизить частоту инициации ИВЛ, данная методика оксигенотерапии может рассматриваться как наиболее эффективная у пациентов с тяжелой ВБП.

## Выводы

При проведении ВПО поток газовой смеси более 30 л/мин статистически значимо увеличивает ДДПср, рассчитанное с применением моделей «здоровые легкие», «легкие со сниженной растяжимостью» и «легкие с высоким сопротивлением дыхательных путей». Однако значение данного показателя клинически незначительно. При этом использование ВПО, в сравнении со стандартной методикой, уменьшает частоту применения ИВЛ при статистически значимом увеличении показателей оксигенации ( $SpO_2$ ,  $PaO_2$ ) у пациентов с тяжелой ВБП. При этом снижается гипервентиляция, что подтверждается значимым увеличением  $PaCO_2$  и снижением ЧД.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Вклад авторов.** Грачев И.Н., Шаталов В.И., Климов А.Г., Блинда И.В., Кочкин И.А., Цыганков К.А., Щеголев А.В. — разработка концепции статьи, получение и анализ фактических данных, написание и редактирование текста статьи, проверка и утверждение текста статьи.

**Решение этического комитета.** Исследование одобрено независимым этическим комитетом при Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова (Протокол № 207 от 22 мая 2018 г.).

## ORCID авторов

Грачев И.Н. — 0000-0003-0678-8524  
Шаталов В.И. — 0000-0002-2351-0391  
Климов А.Г. — 0000-0003-2289-6867  
Кочкин И.В. — 0000-0002-2681-1851  
Блинда И.В. — 0000-0002-8115-3943  
Цыганков К.А. — 0000-0002-2357-0685  
Щеголев А.В. — 0000-0001-6431-439

## Литература/References

- [1] Ярошецкий А.И., Власенко А.В., Грицан А.И. и др. Применение неинвазивной вентиляции легких (второй пересмотр). Клинические рекомендации Общероссийской общественной организации «Федерация анестезиологов и реаниматологов». Анестезиология и реаниматология. Анестезиология и реаниматология. 2019; (6): 5–19. DOI: 10.17116/anaesthesiology20190615 [Yaroshetskiy A.I., Vlasenko A.V., Gritsan A.I., et al. Application of non-invasive ventilation (second revision). Clinical guidelines of the public organization "Russian Federation of Anesthesiologists and Reanimatologists". Anesthesiology and Reanimatology. 2019; (6): 5–19. (In Russ)]
- [2] Чучалин А.Г., Синопальников А.И., Козлов Р.С. Клинические рекомендации по диагностике, лечению и профилактике тяжелой внебольничной пневмонии у взрослых. Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия. 2015; 17(2): 84–127. DOI: 10.18093/0869-0189-2014-0-4-13-48 [Chuchalin A.G., Sinopalnikov A.I., Kozlov R.S. Clinical practice guidelines for the diagnosis, treatment and prevention of severe community-acquired pneumonia in adults. Clinical microbiology and antimicrobial chemotherapy. 2015; 17(2): 84–127. (In Russ)]
- [3] Yealy D.M., Auble T.E., Stone R.A., et al. Effect of increasing the intensity of implementing pneumonia guidelines: a randomized, controlled trial. Annals of internal medicine. 2005; 143(12): 881–894. DOI: 10.7326/0003-4819-143-12-200512200-00006
- [4] Almirall J., Bolibar I., Vidal J., et al. Epidemiology of community-acquired pneumonia in adults: A population based study. European Respiratory J. 2000; 15(4): 757–763.

- [5] Costa C., Gouveia I., Cunha P., et al. Severe community-acquired pneumonia in the intensive care unit. *Critical Care*. 2005; 9(1): 1. DOI: 10.1186/cc3064
- [6] Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека [Internet] Available from: [https://www.rospotrebnadzor.ru/documents/details.php?ELEMENT\\_ID=12053](https://www.rospotrebnadzor.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=12053) (updated 20.07.2020; cited 21.07.2020).
- [7] Gea J., Roca J., Torres A., Agustí A.G., et al. Mechanisms of abnormal gas exchange in patients with pneumonia. *Anesthesiology: J. American Society of Anesthesiologists*. 1991; 75(5): 782–789.
- [8] Wijesinghe M., Perrin K., Healy B., Weatherall M., et al. Randomized controlled trial of high concentration oxygen in suspected community-acquired pneumonia. *J. Royal Society of Medicine*. 2012; 105(5): 208–216. DOI: 10.1258/jrsm.2012.110084
- [9] Mandell L.A., Wunderink R.G., Anzueto A., et al. Infectious Diseases Society of America/American Thoracic Society consensus guidelines on the management of community-acquired pneumonia in adults. *Clinical infectious diseases*. 2007; 44(2): 27–72. DOI: 10.1086/511159
- [10] Restrepo M.I., Mortensen E.M., Velez J.A., et al. A comparative study of community-acquired pneumonia patients admitted to the ward and the ICU. *Chest*. 2008; 133(3): 610–617. DOI: 0.1378/chest.07-1456
- [11] Pinhu L., Whitehead T., Evans T., Griffiths M. Ventilator-associated lung injury. *The Lancet*. 2003; 361(9354): 332–340. DOI: 10.1016/S0140-6736(03)12329-X
- [12] Hasan R.A., Habib R.H. Effects of flow rate and air leak at the nares and mouth opening on positive distending pressure delivery using commercially available high-flow nasal cannula systems: a lung model study. *Pediatric Critical Care Medicine*. 2011; 12(1): 29–33. DOI: 10.1097/PCC.0b013e3181d9076d
- [13] Chikata Y., Onodera M., Oto J., Nishimura M. FIO<sub>2</sub> in an adult model simulating high-flow nasal cannula therapy. *Respiratory care*. 2017; 62(2): 193–198. DOI: 10.4187/respcare.04963
- [14] Ewig S., Woodhead M., Torres A. Towards a sensible comprehension of severe community-acquired pneumonia. *Intensive Care Medicine*. 2011; 37(2): 214–223. DOI: 10.1007/s00134-010-2077-0
- [15] Sivieri E.M., Gerdes J.S., Abbasi S. Effect of HFNC flow rate, cannula size, and nares diameter on generated airway pressures: an in vitro study. *Pediatric pulmonology*. 2013; 48(5): 506–514. DOI: 10.1002/ppul.22636
- [16] Lucangelo U., Vassallo F.G., Marras E., et al. High-flow nasal interface improves oxygenation in patients undergoing bronchoscopy. *Critical care research and practice*. 2012; 1–6. DOI: 10.1155/2012/506382
- [17] Parke R., McGuinness S., Eccleston M. Nasal high-flow therapy delivers low level positive airway pressure. *British J. Anaesthesia*. 2009; 103(6): 886–890. DOI: 10.1093/bja/aep280
- [18] Frat J.P., Ragot S., Girault C., et al. Effect of non-invasive oxygenation strategies in immunocompromised patients with severe acute respiratory failure: a post-hoc analysis of a randomised trial. *The Lancet Respiratory Medicine*. 2016; 4(8): 646–652. DOI: 10.1016/S2213-2600(16)30093-5
- [19] Natalini D., Grieco D.L., Santantonio M.T., et al. Physiological effects of high-flow oxygen in tracheostomized patients. *Annals of intensive care*. 2019; 9(1): 1–9. DOI: 10.1186/s13613-019-0591-y
- [20] Roca O., Riera J., Torres F., Masclans J.R. High-flow oxygen therapy in acute respiratory failure. *Respiratory care*. 2010; 201055(4): 408–413.