

## Влияние методов неинвазивной респираторной поддержки на газообмен у кардиохирургических больных с послеоперационной дыхательной недостаточностью

А. А. Еременко<sup>1,2</sup>, П. В. Полякова<sup>1</sup>, М. А. Выжигина<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Российский научный центр хирургии им. Б. В. Петровского, Россия, 119435, г. Москва, Абрикосовский пер., д. 2

<sup>2</sup> Первый Московский государственный медицинский университет им. И. М. Сеченова Минздрава России, Россия, 119146, г. Москва, Большая Пироговская ул., 19, стр. 1

## Influence of Noninvasive Respiratory Support Techniques on Gas Exchange in Cardiac Surgical Patients Suffering from Post-Operative Respiratory Failure

Alexander A. Eremenko<sup>1,2</sup>, Polina V. Polyakova<sup>1</sup>, Margarita A. Vyzhigina<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> B.V. Petrovsky Russian Scientific Center of Surgery, 2 Abrikosov lane, 119435 Moscow, Russia

<sup>2</sup> I. M. Sechenov First Moscow State Medical University, Ministry of Health of Russia, 19 Bolshaya Pirogovskaya Str., Bldg. 1, 119146 Moscow, Russia

Дыхательная недостаточность (ДН) после экстубации трахеи возникает у 5–25% кардиохирургических больных. Для лечения ДН доступны различные методы неинвазивной респираторной поддержки.

**Цель исследования** — сравнительная оценка влияния на газообмен ингаляции кислорода через маску с предварительным объемом, неинвазивной масочной вентиляции с положительным давлением в дыхательных путях и высокопоточной вентиляции легких при постэкстубационной дыхательной недостаточности у кардиохирургических больных.

**Материалы и методы.** В исследование включили 52 кардиохирургических пациента с постэкстубационной дыхательной недостаточностью (средний возраст 61 (55–67) лет). Критериями дыхательной недостаточности являлись: соотношение  $PaO_2/FiO_2 \leq 300$  мм рт. ст. или  $SpO_2 \leq 88\%$  при дыхании атмосферным воздухом. Критериями исключения было наличие у пациентов плеврального выпота, пневмоторакса, пареза диафрагмы. Каждому пациенту последовательно проводили анализ газового состава артериальной крови при дыхании атмосферным воздухом, низкопоточной терапии кислородом с помощью маски с предварительным объемом, высокопоточной вентиляции (ВПВ) и неинвазивной масочной вентиляции легких с положительным давлением (НИМВЛ). Продолжительность применения каждого метода до взятия анализа составляла 1 час. Частоту дыхательных движений (ЧДД) и сатурацию капиллярной крови ( $SpO_2$ ) мониторировали на протяжении всего исследования.

**Результаты.** Соотношение  $PaO_2/FiO_2$  во время низкопоточной оксигенотерапии составило 171 (137–243) мм рт. ст. На фоне ВПВ данный показатель увеличился до 235 (183–305) мм рт. ст. ( $p=0,00004$ ), а при переходе на НИМВЛ — до 228 (180–288) мм рт. ст. ( $p=0,000028$ ). При этом  $SpO_2$  на ВПВ и НИМВЛ увеличивалось с 95 (93–98)% до 98 (96–99)% ( $p=0,000006$ ) и 97 (95–98)% соответственно ( $p=0,000006$  и  $p=0,000069$ ).  $PaCO_2$  было выше при дыхании кислородной маской, чем на воздухе — 41 (37–44) мм рт. ст. и 38 (34–42) мм рт. ст., соответственно,  $p=0,0017$ . При переходе на ВПВ  $PaCO_2$  снижалось, в среднем, на 10% (37 (33–39) мм рт. ст.,  $p=0,0000001$ ), на НИМВЛ — на 7% (38 (36–42) мм рт. ст.,  $p=0,0015$ ). Также различия были значимыми при сравнении ЧДД на кислородной маске (20 (16–24) ДД/мин) с ВПВ (16 (12–20) ДД/мин,  $p=0,0$ ) и с НИМВЛ (18 (16–20) ДД/мин,  $p=0,018$ ). При сравнении ВПВ с НИМВЛ выявлены достоверные различия в ЧДД (16 (12–20) ДД/мин против 18 (16–20) ДД/мин,  $p=0,016$ ),  $PaCO_2$  (37 (33–39) мм рт. ст. против 38 (36–42) мм рт. ст.,  $p=0,0034$ ) и  $SpO_2$  (98 (96–99)% против 97 (95–98)%),  $p=0,022$ ).

**Заключение.** ВПВ и НИМВЛ обладают сходным положительным эффектом на оксигенирующую функцию легких и газообмен у кардиохирургических больных с постэкстубационной дыхательной недостаточностью. Высокопоточная вентиляция, по сравнению с НИМВЛ, оказывает более выраженный положительный эффект на элиминацию  $CO_2$ , ЧДД и  $SpO_2$  и лучше переносится пациентами.

**Ключевые слова:** дыхательная недостаточность; неинвазивная респираторная поддержка; высокопоточная вентиляция легких; ингаляция кислорода через маску с предварительным объемом; неинвазивная масочная вентиляция легких с положительным давлением

Respiratory failure (RF) after tracheal extubation occurs in 5–25% of cardiac surgical patients. Various non-invasive respiratory support techniques are available for RF treatment.

### Адресс для корреспонденции:

Полина Владимировна Полякова  
E-mail: [polyakova\\_polina@mail.ru](mailto:polyakova_polina@mail.ru)

### Correspondence to:

Polina V. Polyakova  
E-mail: [polyakova\\_polina@mail.ru](mailto:polyakova_polina@mail.ru)

**The purpose of the study** is a comparative assessment of the effect on gas exchange of oxygen inhalation through a mask with noninvasive airway positive pressure mask ventilation, and high-flow lung ventilation during post-extubation respiratory failure in cardiac surgical patients.

**Materials and methods.** 52 cardiac surgical patients with post-extubation respiratory failure (mean age 61 (55–67) years) were included in the study. Respiratory failure criteria were as follows:  $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 \leq 300$  mm Hg or  $\text{SpO}_2 \leq 88\%$  during room air breathing. Exclusion criteria included presentation of pleural effusion in patients, pneumothorax, diaphragm paresis. Every patient was subjected consecutively to arterial blood gases test during room air breathing, low-flow oxygen therapy using a mask with a pre-volume bag, high-flow ventilation (HFNC), and noninvasive positive pressure mask ventilation (NIPPV). Each method was applied during 1 hour prior to the test. Respiratory rate (RR) and capillary blood saturation ( $\text{SpO}_2$ ) were monitored throughout the whole study.

**Results.**  $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$  during low-flow oxygen therapy was equal to 171 (137–243) mm Hg. At the background of HFNC, this index increased to 235 (183–305) mm Hg ( $P=0.00004$ ), and upon transfer to NIPPV — to 228 (180–288) mm Hg ( $P=0.000028$ ).  $\text{SpO}_2$  during HFNC and NIPPV increased from 95 (93–98)% to 98 (96–99)% ( $P=0.000006$ ) and 97 (95–98)%, respectively ( $P=0.000006$  and  $P=0.000069$ ).  $\text{PaCO}_2$  was higher during oxygen mask breathing compared to air breathing: 41 (37–44) mm Hg and 38 (34–42) mm Hg, correspondingly,  $P=0.0017$ . Upon transfer to HFNC,  $\text{PaCO}_2$  lowered on average by 10% (37 (33–39) mm Hg,  $P=0.0000001$ ), to NIPPV — by 7% (38 (36–42) mm Hg,  $P=0.0015$ ). Differences were also significant when compared RR during oxygen mask breathing (20 (16–24) respirations/minute) vs. HFNC (16 (12–20) respirations/minute,  $P=0.0$ ) and vs. NIPPV (18 (16–20) respirations/minute,  $P=0.018$ ). Comparison of HFNC vs. NIPPV revealed reliable difference in RR (16 (12–20) respirations/minute against 18 (16–20) respirations/minute,  $P=0.016$ ),  $\text{PaCO}_2$  (37 (33–39) mm Hg against 38 (36–42) mm Hg,  $P=0.0034$ ), and  $\text{SpO}_2$  (98 (96–99)% against 97 (95–98)%,  $P=0.022$ ).

**Conclusion.** HFNC and NIPPV exert a similar positive effect on the oxygenating function of lungs and gas exchange in cardiac surgical patients with post-extubation respiratory failure. Compared to NIPPV, high-flow ventilation renders most significant positive effect on elimination of  $\text{CO}_2$ , RR and  $\text{SpO}_2$ , and is better tolerated by patients.

**Keywords:** respiratory failure; noninvasive respiratory support; high-flow ventilation; oxygen inhalation through a mask with a pre-volume bag; noninvasive positive pressure mask ventilation

DOI:10.15360/1813-9779-2019-1-21-31

## Введение

Острая дыхательная недостаточность (ОДН) является серьезным осложнением ближайшего послеоперационного периода при кардиохирургических вмешательствах и одной из основных причин смертности в ОРИТ [1–3]. Нарушение альвеолярной оксигенации после данных операций наблюдается практически у всех больных, и частота возникновения клинически значимой ДН находится в диапазоне 5–25% [4, 5], составляя при многоклапанных вмешательствах около 17%, а при операциях на аорте — 22% [5]. Среди предоперационных рисков возникновения дыхательной недостаточности следует отметить: курение, ХОБЛ, возраст более 70 лет, нейромышечные заболевания, затрагивающие дыхательную мускулатуру, сахарный диабет, хроническая сердечная или почечная недостаточность, кардиогенный шок, синдром низкого сердечного выброса [4].

Интраоперационные факторы риска включают в себя: повторное оперативное вмешательство, повышенную волевическую нагрузку во время операции, проведение инотропной или механической поддержки кровообращения, операции на аорте, потребность в циркуляторном аресте, срочное оперативное вмешательство. Послеоперационные риски: медиастинальное кровотечение и необходимость рестернотомии, вновь возникшие нев-

## Introduction

Acute respiratory failure (ARF) is a serious complication of the early post-operative period during cardiac surgeries and one of the main causes of lethality in ICU [1–3]. Altered alveolar oxygenation after such operations is observed almost in all patients and the incidence of clinically significant RF is within 5–25% [4, 5], accounting for 17% approximately in case of multivalve interventions and 22% in case of aorta surgeries [5]. Among pre-operative risks of respiratory failure, the following should be noted: smoking, COPD, age over 70 years, neuromuscular diseases involving respiratory muscles, diabetes mellitus, chronic cardiac or renal insufficiency, cardiogenic shock, low cardiac output syndrome [4].

Intra-operative risk factors include: repeated surgery, increased volemic load during operation, inotropic or mechanical circulation support, aorta operations, requirement for circulatory arrest, emergency operative intervention. Post-operative risks are: mediastinal bleeding and reexploration requirement, new neurological disorders, unstable hemodynamics, gastrointestinal hemorrhage, acute renal failure, mediastinitis, infective endocarditis, sepsis. ALV during cardiac surgery and after some time thereof is also an additional damaging factor for the lung tissue. Components of ventilator-associated lung injury include barotrauma, volutrauma, oxygen toxicity, desynchronization

рологические расстройства, нестабильность гемодинамики, желудочно-кишечное кровоотечение, острая почечная недостаточность, медиастинит, инфекционный эндокардит, сепсис. Осуществление ИВЛ во время кардиохирургического вмешательства и некоторое время после него также является дополнительным повреждающим фактором для легочной ткани. Компонентами вентилятор-ассоциированного повреждения легких являются: баротравма, волюмотравма, токсичность кислорода, десинхронизация с аппаратом ИВЛ, а также возникновение ауто-ПДКВ в дыхательных путях [6].

Ингаляционная кислородная терапия является основным методом неинвазивной респираторной поддержки при лечении пациентов с умеренной степенью гипоксемической дыхательной недостаточности. Для подачи кислорода в дыхательные пути пациента можно использовать несколько видов устройств, таких как низкочастотные носовые канюли, простые лицевые маски, маски Вентури и маски с резервуаром для подачи кислорода высокой концентрации. Обычные кислородные ингаляторы, используемые в отделениях интенсивной терапии, рассчитаны на максимальную скорость потока, составляющую 15 л/мин, что, в любом случае, меньше инспираторного потока пациента с ОДН. Кроме того, недостаточное увлажнение и согревание дыхательной смеси могут вызывать высыхание слизистой оболочки дыхательных путей и ощущение дискомфорта у пациентов, нуждающихся в дополнительном кислороде [7].

Когда терапия с помощью низкочастотных устройств недостаточна для поддержания адекватного газообмена, используется неинвазивная масочная вентиляция легких (НИМВЛ) [8, 9]. Благодаря созданию положительного давления в дыхательных путях она способствует раскрытию коллабированных альвеол, уменьшению функционального мертвого пространства и увеличению вентиляционной поверхности легких, а также позволяет поддерживать альвеолы в открытом состоянии в фазу выдоха за счет ПДКВ. Данный метод признан «золотым стандартом» лечения ОДН при кардиогенном отеке легких, а также является доказанным неинвазивным методом лечения ОДН, способствующим снижению летальности у пациентов с ХОБЛ [10]. Неинвазивная вентиляция легких может вызывать ряд осложнений, таких как дефекты кожного покрова лица по контуру маски, аэрофагия, слезотечение. К недостаткам данной методики можно также отнести значительную утечку дыхательной смеси из дыхательного контура, которая достигает иногда 90–95%, невозможность адекватного увлажнения дыхательной смеси, ощущение дис-

with ALV machine, and occurrence of auto-positive end-expiratory pressure in airways [6].

Inhalation oxygen therapy is the main method of noninvasive respiratory support in the management of patients with moderate hypoxemic respiratory failure. To force the oxygen into patient's airways several types of devices can be used, such as low-flow nasal cannulas, simple face masks, Venturi masks, and masks with a bag to feed with highly concentrated oxygen. Common oxygen inhalers used in intensive care units are designed for a flow rate of 15 l/min maximum, which is in any case less than the ARF patient's inspiration flow. Besides, insufficient moistening and warming of a respiratory mixture might cause airways mucous membrane drying and sense of discomfort in patients who may need an additional oxygen feeding [7].

When therapy utilizing low-flow devices are not enough to maintain adequate gas exchange, noninvasive mask ventilation (NIPPV) is used [8, 9]. Due to creation of positive pressure in airways, it assists opening of collapsed alveoli, reduction of functional dead space, and increase of the ventilation surface of lungs; it also allows keeping alveoli opened during the expiration phase due to positive end-expiratory pressure. This method is a recognized 'gold standard' of ARF management during cardiogenic pulmonary edema and a proven effective noninvasive method of ARF treatment facilitating reduction of mortality in COPD patients [10]. Noninvasive ventilation might cause a number of complications such as face skin defects along the mask contour, aerophagy, tearing. Considerable leakage of respiratory mixture from the breathing circuit that sometimes reaches 90–95%, impossibility of adequate moistening of the respiratory mixture, sense of discomfort in patients for whom this method of respiratory support is applied can be regarded the method drawbacks, too. In 20% of cases approximately it is impossible to carry out noninvasive positive-pressure mask ventilation for many reasons including patient's poor compliance [9, 11, 23].

Relatively recently, high-flow ventilation (HFV) through a nasal cannula (High-Flow Nasal Cannula—HFNC), which was first mentioned in literature in 2001, came into use in the treatment of acute respiratory failure [12]. HFNC was developed for treatment of apnea in premature infants, but now it becomes increasingly more popular for ARF in adult patients due to its convenience of usage, high efficacy, and patients' tolerance to this therapy. The machines and breathing circuit for high-flow ventilation provide not only high flow rate (up to 60 l/min), but also efficient moistening and warming of the gas mixture with the capability of regulating oxygen fraction therein. High flow and adequate moistening of the respiratory mixture assures a number of positive effects such as: carbon dioxide 'washout' from the dead space [13, 14], maintenance of continuous positive pressure in airways

комфорта у пациентов, у которых применяется данный метод респираторной поддержки. Приблизительно в 20% случаев провести неинвазивную масочную вентиляцию с положительным давлением не представляется возможным по многим причинам, в том числе из-за сниженной комплаентности пациента [9, 11, 12].

Относительно недавно в лечении острой дыхательной недостаточности стала использоваться высокопоточная вентиляция (ВПВ) через назальную канюлю (High-Flow Nasal Cannula — HFNC), первые упоминания о которой появились в литературе в 2001 году [13]. Она была разработана для лечения апноэ недоношенных детей, однако в настоящее время приобретает все большую популярность при лечении ОДН у взрослых пациентов по причине удобства использования, высокой эффективности и толерантности пациентов к проводимой терапии. Аппараты и дыхательный контур для высокопоточной вентиляции обеспечивают не только высокую скорость потока (до 60 л/мин), но и эффективное увлажнение и согревание газовой смеси с возможностью регуляции фракции кислорода в ней. Высокий поток и адекватное увлажнение дыхательной смеси обеспечивает ряд положительных эффектов, таких как: «вымывание» углекислого газа из мертвого пространства [14, 15], обеспечение постоянного положительного давления в дыхательных путях [15, 16], относительно постоянной фракции кислорода во вдыхаемой смеси [17], а также сохранение и улучшение функции мукоцилиарного эпителия [18]. Большое количество исследований, проведенных у различных категорий пациентов, показали, что высокопоточная вентиляция является эффективным и хорошо переносимым методом неинвазивной респираторной поддержки при дыхательной недостаточности различного генеза [19–21].

Следует отметить, что в литературе нет единого мнения об эффективности различных методов респираторной поддержки, а в кардиохирургии эта проблема изучена недостаточно.

Цель исследования: сравнительная оценка влияния на газообмен ингаляции кислорода через маску с предварительным объемом, неинвазивной масочной вентиляции с положительным давлением в дыхательных путях и высокопоточной вентиляции легких при постэкстубационной дыхательной недостаточности у кардиохирургических больных.

### Материал и методы

В исследование включили 52 пациентов (30 мужчин и 22 женщины) после кардиохирургического вмешательства возрастом 61 (55–67) лет с дыхательной недостаточностью в послеоперационном периоде, наблюдавшейся после прекращения ИВЛ

[14, 15], a relatively constant oxygen fraction in the inhaled mixture [16], preservation and improvement of the mucociliary epithelium function [17]. A great number of investigations carried out in different categories of patients have shown that high-flow ventilation is an efficient and well-tolerated method of noninvasive respiratory support during respiratory failure of various origins [19–21].

It should be noted that there is no consensus in literature about efficacy of different respiratory support methods and in cardiac surgery this problem is understudied.

Purpose of the study: a comparative assessment of the influence rendered on gas exchange by oxygen inhalation through a mask with a pre-volume bag, noninvasive airways positive pressure mask ventilation, and high-flow ventilation during post-extubation respiratory failure in cardiac surgical patients.

### Materials and Methods

52 patients (30 men and 22 women) after cardiac surgical intervention, aged 61 (55–67) years, suffering from post-operative respiratory failure observed after ALV termination and tracheal extubation were included in the study. The study protocol was approved by the Ethics Committee of Academician B.V. Petrovsky Russian Scientific Center of Surgery, Federal State Budgetary Scientific Institution.

Distribution of patients by types of operative intervention is given in table 1.

The inclusion criteria were: age older than 18 years, completed cardiac surgery, postoperative tracheal extubation, mild or moderate postoperative respiratory failure ( $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$  at air  $\leq 300$  mm Hg or  $\text{SpO}_2 \leq 88\%$ ). The exclusion criteria were: acute postoperative mental disturbance (delirium, psychosis), compromised nasal breathing, diaphragm paresis, pneumo-, hydro-, or hemothorax, elevated intra-abdominal pressure syndrome.

The study included four consecutive stages in the sole group of patients. At the first stage of the study, patients breathed room air without any respiratory support. After that, the noninvasive respiratory support methods under study were applied for 1 hour. The second stage of the study included oxygen inhalation with the help of a face mask with a bag. Then, the patients were transferred to the third stage of the study during which high-flow ventilation (HFNC) was carried out. After gas exchange registration at the third stage, the fourth stage of the study — noninvasive mask ventilation in BiPAP mode (NIPPV) — followed. 1 hour after usage of the above ventilation methods, every patient was consecutively subjected to arterial blood gases test ( $\text{PaO}_2$ ,  $\text{PaCO}_2$ ), and  $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$  relation was calculated where  $\text{FiO}_2$  was the inhaled oxygen fraction. In the course of the study, respiratory rate (RR) and saturation using pulse oximeter ( $\text{SpO}_2$ ) were monitored.

During mask breathing of highly concentrated oxygen (oxygen bag mask), the oxygen flow value was set initially at 7 l/min, which corresponded to the inhaled oxygen fraction of 60% according to the manufacturer's information leaflet. In the most severe cases, the flow rate was increased to 10 l/min, which corresponded to the inhaled oxygen fraction of 80%.

Таблица 1. Виды хирургического вмешательства.

Table 1. Types of surgery.

Type of surgery, quantity of surgery	Mean duration of mechanical ventilation in perioperative period, min
All, n=52	945 (642.5–1545)
Coronary artery bypass	
CPB, n=4	540–645
Non CPB, n=6	530–850
Heart valve surgery, n=13	460–5760
+coronary bypass, n=5	1020–1920
Aortic prosthetics:	
Ascending aorta, n=1	960
Aortic arch, n=10	660–27360
Thoracoabdominal aorta, n=6	1410–4260
Infrarenal aorta, n=1	530
Brachiocephalic branches, n=1	720
Hybrid operation (descending aorta stenting, ascending and aortic arch prosthesis), n=4	825–1290
Lungs neo resection + CAB, n=1	1440

**Примечание.** Type of surgery — вид хирургического вмешательства; quantity of surgery — число операций; mean duration of mechanical ventilation in perioperative period, min — длительность ИВЛ в периоперационном периоде, мин; all — все; coronary artery bypass — АКШ; CPB — с ИК; non CPB — без ИК; heart valve surgery — клапанные вмешательства; aortic prosthetics — протезирование аорты; aortic arch — дуга аорты; aorta — аорта; ascending — восходящая; thoracoabdominal — торакоабдоминальная; infrarenal — инфраренальная; brachiocephalic branches — брахиоцефальные ветви; hybrid operation (descending aorta stenting, ascending and aortic arch prosthesis) — гибридная операция (стентирование нисходящей аорты, протезирование восходящей и дуги аорты); lungs neo resection + CAB — резекция новообразований легких + АКШ

и экстубации трахеи. Протокол исследования утвержден этическим комитетом ФГБНУ РНЦХ им. акад. Б. В. Петровского.

Распределение больных по видам оперативного вмешательства представили в табл. 1.

Критериями включения были: возраст старше 18 лет, выполнение кардиохирургического вмешательства, экстубация после операции, наличие дыхательной недостаточности легкой или средней степени тяжести в послеоперационном периоде ( $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$  на воздухе  $\leq 300$  мм рт. ст. или  $\text{SpO}_2 \leq 88\%$ ). Критериями исключения были: развитие острого психического расстройства в послеоперационном периоде (делирий, психоз), затруднение носового дыхания, парез диафрагмы, пневмо-, гидро- или гемоторакс, синдром повышенного внутрибрюшного давления.

Исследование включало 4 последовательных этапа в единственной группе пациентов. На первом этапе исследования пациенты дышали атмосферным воздухом без какой-либо респираторной поддержки. Далее в течение 1 часа применяли исследуемые режимы неинвазивной респираторной поддержки. Второй этап исследования включал ингаляцию кислородом посредством лицевой маски с резервуаром. Затем производили переход на третий этап исследования, в рамках которого производилась высокопоточная вентиляция (ВПВ). После регистрации газообмена на третьем этапе производили переход на четвертый этап исследования — неинвазивную масочную вентиляцию легких (НИМВЛ) в режиме BiPAP. Каждому пациенту последовательно спустя 1 час после использования вышеперечисленных методов вентиляции выполняли анализ газового состава артериальной крови ( $\text{PaO}_2$ ,  $\text{PaCO}_2$ ) и расчет соотношения  $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ , где  $\text{FiO}_2$  — фракция вдыхаемого кислорода. Во время исследования проводили мониторинг частоты дыхательных движений (ЧДД) и сатурации по пульсоксиметру ( $\text{SpO}_2$ ).

При дыхании кислородом через маску высокой концентрации (кислородная маска с резервуаром),

For HFNC, machines feeding pure oxygen at a flow rate of up to 60 l/min, moistener capable of adequate moistening the respiratory mixture with such high flow rate, and a heated breathing circuit providing delivery of conditioned high-flow gas mixture with a specific oxygen concentration therein were used. In 41 patients, HFNC was performed using Airvo-2 machine (Fisher&Paykel, New Zealand), in 11 patients — Hamilton G-5 machine (Hamilton, USA). In 48 patients, HFNC was performed through nasal and in 4 patients — through tracheostomy cannulas.

During HFNC, the initial flow rate was set at 40 l/min and  $\text{FiO}_2$  — 40% regardless of the baseline gas exchange parameters. Thereafter, those parameters were chosen for every patient individually depending on the clinical efficacy of the procedure ( $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ ,  $\text{PaCO}_2$ ,  $\text{SpO}_2$ , RR dynamics) and patient's comfort. The optimal flow rate during HFNC was 40 (30–45) l/min, the inhaled oxygen fraction — 49 (40–60)%.

During NIPPV, a naso-oral mask and BiPAP (two-phase pressure) mode modification were used in all patients. In the beginning of procedure, ventilation parameters were set regardless of the initial clinical presentation: positive end-expiratory pressure — 5 cm  $\text{H}_2\text{O}$ , inspiratory pressure — 5 cm  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{FiO}_2$  — 40%. Later, the said parameters were adjusted to achieve the target gas exchange, RR and RV (6–8 ml/kg of the ideal body weight). In our series, the mean optimal positive end-expiratory pressure was equal to 6 (5–8) cm  $\text{H}_2\text{O}$ , the optimal peak inspiratory pressure — 13 (10–17.5) cm  $\text{H}_2\text{O}$ , RV — 7 (6–8) ml/kg. The inhaled oxygen fraction averaged to 50 (45–60)%.

Among the leading reasons for post-extubation respiratory failure, the following should be noted: functional atelectasis (26 patients), exacerbation of chronic obstructive lung disease (7 patients), mild acute respiratory distress syndrome (6 patients), pulmonary circulation hypervolemia (5 patients), nosocomial pneumonia (4 patients), pulmonary fibrosis (3 patients), lithicosis (1 patient).

Statistical analysis of data was carried out by Statistica 8.0 software. All data were checked for numbers distribution normality by Kolmogorov-Smirnov and

величину потока кислорода исходно выставляли на уровне 7 л/мин, что соответствует фракции вдыхаемого кислорода 60%, согласно информационному листу производителя. В наиболее тяжелых случаях поток увеличивали до 10 л/мин, что соответствует 80% фракции вдыхаемого кислорода.

Для проведения ВПВ использовали аппараты, осуществляющие подачу чистого кислорода с потоком до 60 л/мин, увлажнитель, способный адекватно увлажнять дыхательную смесь с таким высоким потоком, а также дыхательный контур с подогревом, обеспечивающий доставку кондиционированной высокопоточной газовой смеси с определенной концентрацией кислорода в ней. У 41 пациента ВПВ проводили с помощью аппарата Airvo-2 (Fisher&Paykel, Новая Зеландия) у 11 пациентов с помощью аппарата Hamilton G-5 (Hamilton, США). У 48 больных ВПВ проводили через назальные, у 4 — через трахеостомические канюли.

При проведении ВПВ начальную скорость потока выставляли на уровне 40 л/мин, а  $\text{FiO}_2$  — 40%, независимо от исходных параметров газообмена. Далее эти параметры подбирали для каждого пациента индивидуально в зависимости от клинической эффективности процедуры (динамики показателей  $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ ,  $\text{PaCO}_2$ ,  $\text{SpO}_2$ , ЧДД) и комфорта пациента. Оптимальная величина потока при ВПВ составила 40 (30–45) л/мин, фракция вдыхаемого кислорода — 49 (40–60)%.

При проведении НИМВЛ во всех случаях использовали носо-ротовую маску и модификацию режима ViPAP (двухфазного давления). Параметры вентиляции в начале процедуры выставляли независимо от исходной клинической картины — ПДКВ 5 см  $\text{H}_2\text{O}$ , инспираторное давление — 5 см  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{FiO}_2$  — 40%. Далее указанные параметры регулировали для достижения целевого газообмена, ЧД и ДО (6–8 мл/кг идеальной массы тела). Среднее оптимальное ПДКВ составило 6 (5–8) см  $\text{H}_2\text{O}$ , оптимальное пиковое давление вдоха — 13 (10–17,5) см  $\text{H}_2\text{O}$ , ДО — 7 (6–8) мл/кг. Фракция вдыхаемого кислорода в среднем равнялась 50 (45–60)%.

Среди ведущих причин постэкстубационной дыхательной недостаточности следует отметить: дистензионные ателектазы (26 пациентов), обострение хронической обструктивной болезни легких (7 пациентов), ОРДС легкой степени тяжести (6 пациентов), гипертония малого круга кровообращения (5 пациентов), внутрибольничная пневмония (4 пациента), пневмофиброз (3 пациента), пневмокопиоз (1 пациент).

Статистический анализ данных выполняли на персональном компьютере с помощью пакета прикладных программ Statistica 8.0. Все данные проверены на нормальность распределения чисел с учетом критериев Колмогорова–Смирнова и Шапиро–Уилка. Для сравнения нормальных распределений использовался *t*-критерий Стьюдента, для ненормальных — критерий Вилкоксона или точный критерий Фишера. Различия считали статистически достоверными при  $p < 0,05$ . В зависимости от вида распределения количественные данные представили как среднее арифметическое  $\pm$  среднее квадратичное отклонение в случаях нормального распределения и как *Me* (25–75) — медиана (верхний и нижний квартили) в случаях ненормального распределения.

Shapiro–Wilk tests. For comparison of normal distributions, Student's *t*-test was used; for a distribution distinct from the normal one the Wilcoxon test or Fisher's exact test were employed. Differences were judged reliable at  $P < 0.05$ . Depending on the type of distribution, quantitative data were presented as the arithmetic mean  $\pm$  root-mean-square deviation in cases of normal distribution, and as *Me* (25–75) — median (upper and lower quartiles) — in cases of distribution distinct from the normal one.

## Results and Discussion

Compared to room air breathing, all respiratory support methods resulted in statistically significant elevation of  $\text{PaO}_2$  and  $\text{SpO}_2$  (tables 2, 3, fig. 1). During HFNC and NIPPV, the increment of those indices was approximately similar and  $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$  ration and  $\text{SpO}_2$  were reliably higher than during oxygen inhalation through a mask with a pre-volume bag.

During oxygen mask inhalation,  $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$  ratio was equal to 171 (137–243) mm Hg. Transition to HFNC therapy was accompanied with increase of this index to 235 (183–305) mm Hg ( $P = 0.00004$ ), and to NIPPV — to 228 (180–288) mm Hg ( $P = 0.000028$ ). Hence, both methods of assisted ventilation were considerably more efficient than inhalation through a mask with a bag and improved the oxygenating function of lungs almost similarly (differences between them were statistically insignificant,  $P = 0.6$ ). Saturation according to pulse oximeter ( $\text{SpO}_2$ ) reliably increased both in the comparison of oxygen inhalation through a face mask versus HFNC and NIPPV: 95 (93–98)% against 98 (96–99)% and 97 (95–98)%,  $P = 0.000006$  and  $P = 0.000069$ , respectively, and in the comparison of HFNC versus NIPPV (98 (96–99)% and 97 (95–98)%,  $P = 0.022$ ). Arterial carbon dioxide saturation during therapy using a mask with a bag was reliably higher than during air breathing — 41 (37–44) and 38 (34–42), respectively,  $P = 0.0017$ , i.e. the mask with a bag facilitated  $\text{CO}_2$  accumulation. At the same time, there was no reliable difference between  $\text{PaCO}_2$  in case of air and  $\text{PaCO}_2$  during high-flow ventilation — 38 (34–42) and 37 (33–39), respectively ( $P = 0.088$ ). Upon transition from breathing through a mask with a bag to assisted ventilation,  $\text{PaCO}_2$  lowered to 10% ( $P = 0.000001$ ) during HFNC and by 7% ( $P = 0.0015$ ) following the NIPPV. During HFNC, a reliably lower  $\text{PaCO}_2$  than during NIPPV ( $P = 0.0034$ ) was recorded, which evidenced better carbon dioxide elimination by means of high flow.

A mask with a bag did not result in a lower respiratory rate. However, reliable RR differences were found during room air breathing or usage of mask with a bag compared to high-flow ventilation — 20 (16–26) respirations/minute, 20 (16–24) respirations/minute, and 16 (12–20) respirations/minute,  $P = 0.0$  and  $P = 0.0$ , respectively). In case of RR increase over 18 per minute during mask use, there was no reliable difference between RR decrease

**Таблица 2. Респираторные показатели в зависимости от метода вспомогательной вентиляции.**  
**Table 2. Respiratory parameters depending on the method of noninvasive ventilation.**

Parameters	Values of parameters on the stage of study			
	Room air 1 <sup>st</sup>	Mask with pre-volume bag 2 <sup>nd</sup>	HFNC 3 <sup>rd</sup>	NIPPV 4 <sup>th</sup>
PaO <sub>2</sub> , mmHg	63 (59–68)	94 (80–126)	104 (88–120)	111 (88–133)
PaO <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub> , mmHg	303 (283–324)	171 (137–243)	235 (183–305)	228 (180–288)
SpO <sub>2</sub> , %	86 (84–88)	95 (93–98)	98 (96–99)	97 (95–98)
PaCO <sub>2</sub> , mmHg	38 (34–42)	41 (37–44)	37 (33–39)	38 (36–42)
RR, bpm	20 (16–26)	20 (16–24)	16 (12–20)	18 (16–20)

**Примечание.** Для таблиц 1, 2: Parameters — показатели; values of ... on the stage of study — значения... на этапах исследования. Для табл. 1, рис: room air — воздух; mask with pre-volume bag — маска с предварительным объемом; HFNC — высокопоточная вентиляция; NIPPV — неинвазивная масочная вентиляция; RR, bpm — ЧДД, в мин.

**Таблица 3. Значения достоверности (*p*) при сравнении исследуемых групп пациентов.**  
**Table 3. Values of authenticity (*P*) comparing the groups of patients.**

Parameters	<i>P</i>					
	1 <sup>st</sup> -2 <sup>nd</sup>	1 <sup>st</sup> -3 <sup>rd</sup>	1 <sup>st</sup> -4 <sup>th</sup>	2 <sup>nd</sup> -3 <sup>rd</sup>	2 <sup>nd</sup> -4 <sup>th</sup>	3 <sup>rd</sup> -4 <sup>th</sup>
PaO <sub>2</sub> , mmHg	0.0	0.0	0.000001	0.51	0.026	0.24
PaO <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub> , mmHg	0.0	0.000045	0.000097	0.00004	0.000028	0.6
SpO <sub>2</sub> , %	0.0	0.0	0.0	0.000006	0.000069	0.022
PaCO <sub>2</sub> , mmHg	0.0017	0.088	0.58	0.000001	0.0015	0.0034
RR, bpm	0.053	0.0	0.0031	0.0	0.018	0.016

## Результаты и обсуждение

По сравнению с дыханием атмосферным воздухом все методы респираторной поддержки приводили к статистически значимому повышению PaO<sub>2</sub> и SpO<sub>2</sub> (табл. 2, 3, рис. 1). Во время ВПВ и НИМВЛ степень прироста этих показателей была приблизительно одинаковой, а соотношение PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> и SpO<sub>2</sub> были достоверно выше, чем при ингаляции кислорода через маску с предварительным объемом.

При ингаляции кислорода через кислородную маску соотношение PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> составляло 171 (137–243) мм рт. ст. Переход на терапию ВПВ сопровождался увеличением этого показателя до 235 (183–305) мм рт. ст. ( $p=0,00004$ ), а на НИМВЛ — до 228 (180–288) мм рт. ст. ( $p=0,000028$ ). Таким образом, оба метода вспомогательной вентиляции были значительно эффективнее, чем ингаляция через маску с мешком и улучшали оксигенирующую функцию легких практически в одинаковой степени (различия между ними были статистически незначимыми,  $p=0,6$ ). Сатурация по пульсоксиметру (SpO<sub>2</sub>) достоверно увеличивалась как при сравнении ингаляции кислородом через лицевую маску с ВПВ и НИМВЛ: 95 (93–98)% против 98 (96–99)% и 97 (95–98)%,  $p=0,000006$  и  $p=0,000069$  соответственно, так и при сравнении ВПВ с НИМВЛ (98 (96–99)% и 97 (95–98)%,  $p=0,022$ ). Насыщение артериальной крови углекислым газом при терапии маской с мешком было достоверно выше, чем на воздухе — 41 (37–44) и 38 (34–42) соответственно,  $p=0,0017$ , т. е. маска с мешком способствовала накоплению CO<sub>2</sub>. В то же время не было достоверного различия между PaCO<sub>2</sub> на воздухе и PaCO<sub>2</sub> при высокопоточной вентиляции — 38 (34–42) и 37 (33–39) соответственно,  $p=0,088$ ). PaCO<sub>2</sub> при переходе с

during high-flow therapy and NIPPV —  $\Delta$ RR (mask-HFNC) = 3 (0–7) respirations/minute,  $\Delta$ RR (mask-NIPPV) = 3 (0–10) respirations/minute,  $P=0.96$ . At baseline mask RR  $\geq 25$  per minute, no reliable difference was found between RR decrease during usage of high-flow therapy and NIPPV —  $\Delta$ RR (mask-HFNC) = 7 (0–12) respirations/minute,  $\Delta$ RR (mask-NIPPV) = 10 (2–13) respirations/minute,  $P=0.39$ , either. However, high-flow ventilation reliably better assisted RR decrease compared to non-invasive mask ventilation: 16 (12–20) against 18 (16–20) respirations/minute,  $P=0.016$  (fig. 2).

It should be noted that in a number of cases, patients developed a significant sense of discomfort from the performed respiratory support: during HFNC, 1 case (2% of the total number of patients) of therapy intolerance was observed; during NIPPV, 9 cases (18% of the total number of patients) of therapy intolerance were observed, which required return to high-flow ventilation ( $P=0.014$ ).

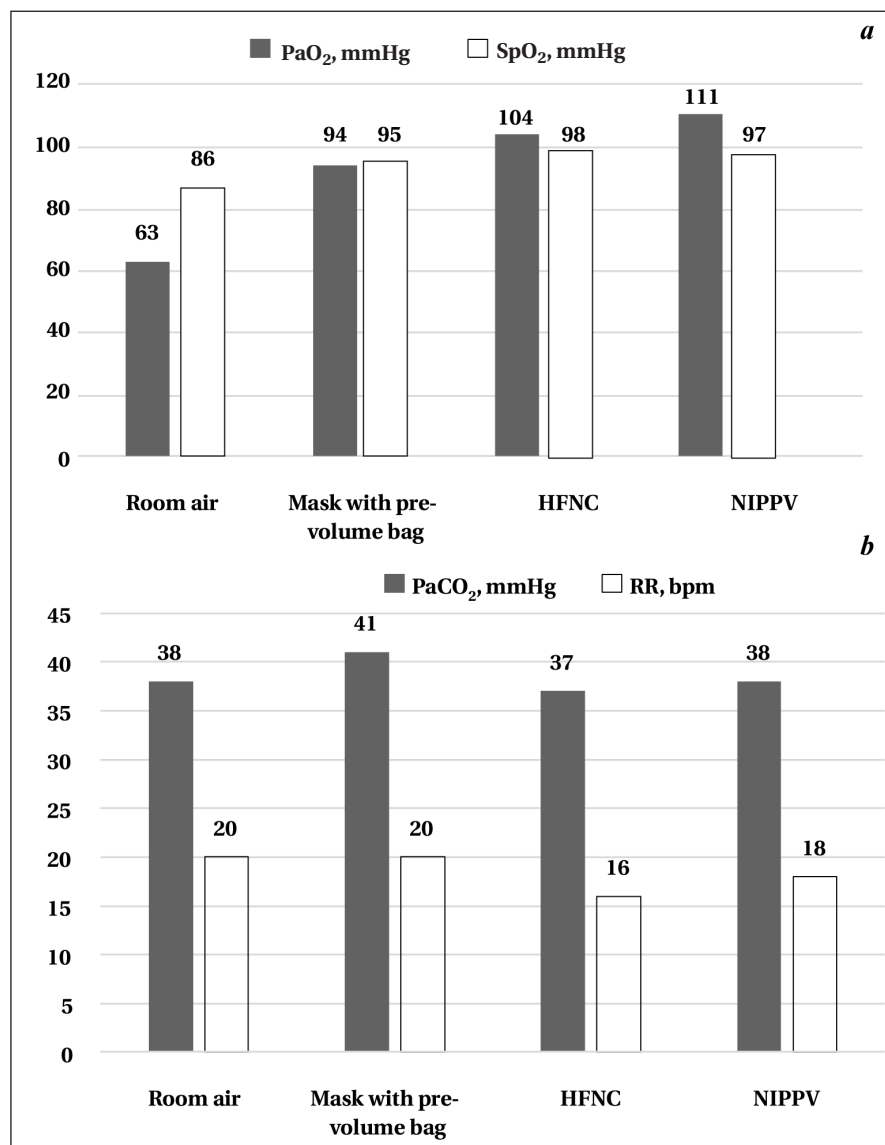
The presented study was carried out during the early postoperative period in cardiac surgical patients suffering from disturbed oxygenating function of lungs (PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> < 300 mm Hg or SpO<sub>2</sub> < 88% during room air breathing). The undertaken comparison of application of three modes of non-invasive respiratory support in 52 patients has demonstrated that high-flow ventilation is not worse than noninvasive mask ventilation performed in BiPAP mode when considering gas exchange and influence on respiratory rate. Compared to oxygen therapy through a mask with a bag, significant growth of PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> during both noninvasive mask ventilation and high-flow ventilation (by 27% and 25%, respectively) was achieved. This disagrees with findings of limited number of studies, in which any significant difference regarding the gas exchange and RR between

дыхания через маску с резервуаром на вспомогательные методы вентиляции снижалось, в среднем, на 10% ( $p=0,000001$ ) при проведении ВПВ и на 7% ( $p=0,0015$ ) — на фоне НИМВЛ. При ВПВ регистрировали достоверно меньшее  $\text{PaCO}_2$ , чем при НИМВЛ ( $p=0,0034$ ), что свидетельствовало о лучшей элиминации углекислого газа посредством высокого потока.

Применение маски с мешком не приводило к снижению частоты дыхания. Однако выявили достоверные различия в ЧДД при дыхании атмосферным воздухом или маской с мешком по сравнению с высокопоточной вентиляцией — 20 (16–26) ДД/мин, 20 (16–24) ДД/мин и 16 (12–20) ДД/мин,  $p=0,0$  и  $p=0,0$ , соответственно). При увеличении ЧДД на маске более 18 в мин не выявили достоверных различий между снижением ЧДД на высокопоточной терапии и НИМВЛ —  $\Delta\text{ЧДД}$  (маска-ВПВ) = 3 (0–7) ДД/мин,  $\Delta\text{ЧДД}$  (маска-НИМВЛ) = 3 (0–10) ДД/мин,  $p=0,96$ . При исходном ЧДД на маске  $\geq 25$  в мин также не выявили достоверных различий между снижением ЧДД на высокопоточной терапии и НИМВЛ —  $\Delta\text{ЧДД}$  (маска-ВПВ) = 7 (0–12) ДД/мин,  $\Delta\text{ЧДД}$  (маска-НИМВЛ) = 10 (2–13) ДД/мин,  $p=0,39$ . Однако, высокопоточная вентиляция достоверно лучше способствовала снижению ЧДД по сравнению с неинвазивной масочной вентиляцией легких: 16 (12–20) против 18 (16–20) ДД/мин,  $p=0,016$  (рис. 2).

Следует отметить, что в ряде случаев у больных возникало чувство выраженного дискомфорта от проводимой респираторной поддержки — во время ВПВ отмечался 1 случай непереносимости терапии (2% от общего числа больных), во время НИМВЛ отмечалось 9 случаев (18% от общего числа больных) непереносимости терапии, что требовало возврата к

use of a mask with a bag or high-flow ventilation were observed [18, 20]. A number of studies [17, 22, 23, 25] have shown a higher growth of  $\text{PaO}_2$  during noninvasive mask ventilation in BiPAP mode compared to high-flow ventilation. Most likely, different findings of studies can be explained by different levels of inspiratory and expiratory pressure employed in different studies. In patients with a higher or two-phase pressure during ventilation in BiPAP mode, higher arterial oxygenation figures are usually obtained. Also, flow values used during HFNC vary between studies. In our series, we chose NIPPV parameters individually for every patient. Thus, a correct comparison with results of other authors could have been possible subject to identical study protocol and similar respiratory support parameters.



Динамика  $\text{PaO}_2$  и  $\text{SpO}_2$  (a) и  $\text{PaCO}_2$  и ЧДД (b) в зависимости от метода респираторной поддержки.  
 $\text{PaO}_2$  and  $\text{SpO}_2$  dynamics (a) and changes in  $\text{PaCO}_2$  and RR (b) depending on the respiratory support method.



высокопоточной вентиляции (различия статистически значимы,  $p=0,014$ ).

Представленное исследование выполнено в раннем послеоперационном периоде у кардиохирургических больных с нарушением оксигенирующей функции легких ( $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 < 300$  мм рт. ст. или  $\text{SpO}_2 < 88\%$  при дыхании атмосферным воздухом). Проведенное сравнение применения трех режимов неинвазивной респираторной поддержки у 52 пациентов показало, что высокопоточная вентиляция не уступает неинвазивной масочной вентиляции, проводимой в режиме BiPAP по параметрам газообмена и влиянию на частоту дыхания. По сравнению с кислородотерапией через маску с резервуаром мы получили существенный прирост  $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$  при проведении как неинвазивной масочной вентиляции, так и высокопоточной вентиляции (на 27 и 25%, соответственно). Это отличается от результатов некоторых авторов, которые в рандомизированных исследованиях не получили существенных различий в показателях газообмена и ЧДД при использовании маски с резервуаром и высокопоточной вентиляции [20, 22].

В ряде исследований [12, 18, 23, 24] показан более высокий прирост  $\text{PaO}_2$  при неинвазивной масочной вентиляции в режиме BiPAP по сравнению с высокопоточной вентиляцией. Скорее всего, разные результаты исследований можно объяснить различными уровнями давления на вдохе и выдохе, применяемыми разными авторами. У пациентов с более высоким и двухфазным уровнем давления при проведении вентиляции в режиме BiPAP обычно получают более высокие показатели артериальной оксигенации. Также в разных исследованиях варьируют значения потока, применяемые при ВПВ. В нашей серии мы подбирали параметры НИМВЛ индивидуально для каждого пациента. Таким образом, корректное сравнение с результатами других авторов было бы возможным при идентичном протоколе проведения исследования и сходных параметрах респираторной поддержки.

В ряде зарубежных исследований при гипоксической дыхательной недостаточности, не связанной с проведением хирургического вмешательства, были обнаружены преимущества ВПВ по сравнению с другими методами вспомогательной вентиляции. Так, при исследовании пациентов с ХОБЛ, отмечается снижение обструкции дыхательных путей и работы дыхания при проведении ВПВ по сравнению со стандартной оксигенотерапией [25]. У пациентов с ОДН было показано, что газообмен лучше, частота реинтубаций и смертность ниже при проведении ВПВ, чем при стандартной оксигенотерапии и НИМВЛ [18, 24]. Также

In various studies, during hypoxic respiratory failure not related to surgery, HFNC advantages compared to other methods of assisted ventilation were found. The investigation of COPD patients revealed decrease of obstruction of airways and breathing work during HFNC compared to standard oxygen therapy [24]. It has been shown that in ARF patients, gas exchange is better, prevalence of re-intubation and mortality are lower during HFNC than during standard oxygen therapy and NIPPV [17, 25]. It has also been noted that high respiratory rate is an early predictor of HFNC inefficacy [26]. In the study of patients with acute respiratory distress syndrome, the high-flow therapy was not successful in 40% of cases, wherein treatment failure predictors were identified: refractory shock, low  $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ , high SAPS II score [27]. A high percentage of treatment failure appears to be connected with a severity of the condition of patients included in the study. Taking into account the clinical experience of other researchers, in our work we did not include patients with neurological disorders, pneumothorax, hemo- and hydrothorax, and diaphragm paresis.

Our study has shown reliable difference in  $\text{PaCO}_2$  and RR during NIPPV and high-flow ventilation. This agrees with data of a number of authors whose studies [17, 23] have shown a faster elimination of  $\text{CO}_2$  during HFNC compared to NIPPV. The transition from oxygen inhalation through a pre-volume mask both to HFNC and to NIPPV led to a statistically reliable decrease of  $\text{PaCO}_2$  compared to oxygen therapy by means of a mask with a bag (by 10%,  $P=0.000001$  and 7%,  $P=0.0015$ ), which evidenced a more effective elimination of carbon dioxide when this respiratory support method was used. Reliable decrease of respiratory rate upon transition from oxygen inhalation to high-flow ventilation and NIPPV has been also revealed.

Importantly, during NIPPV the sense of discomfort occurred in 9 (18%) patients while high-flow ventilation was well tolerated by 98% patients.

## Conclusion

Compared to oxygen inhalation through a high-concentration oxygen face mask, high-flow ventilation and noninvasive mask ventilation lead to a similar positive effect on the oxygenating pulmonary function and gas exchange in cardiac surgical patients suffering from post-extubation respiratory failure.

High-flow ventilation renders a more positive influence on arterial oxygen saturation measured by pulse oximeter, respiratory rate, and  $\text{CO}_2$  elimination than noninvasive mask ventilation.

High-flow ventilation causes the sense of discomfort considerably rarer than noninvasive mask ventilation and is better tolerated by patients in general.

было отмечено, что высокая частота дыхания является ранним предиктором неэффективности ВПВ [26]. При исследовании пациентов с ОРДС высокопоточная терапия не приводила к успеху в 40% случаев, причем выявлены предикторы неудачи лечения: рефрактерный шок, низкое соотношение  $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ , высокий балл по шкале SAPS II [27]. Большой процент неудачи лечения, по-видимому, связан с большей тяжестью состояния пациентов, включенных в исследование. Учитывая клинический опыт других исследователей, мы не включали в нашу работу больных с неврологическими нарушениями, пневмотораксом, гемо- гидротораксом и парезом диафрагмы.

При НИМВЛ и высокопоточной вентиляции мы выявили достоверные различия в показателях  $\text{PaCO}_2$  и ЧДД. Это соответствует данным ряда авторов, в чьих исследованиях [12, 18] показана более быстрая элиминация  $\text{CO}_2$  при ВПВ по сравнению с НИМВЛ. Переход с ингаляции кислорода через маску с предварительным объемом как на ВПВ, так и на НИМВЛ приводил к статистически достоверному снижению  $\text{PaCO}_2$  по сравнению с оксигенотерапией посредством маски с мешком (на 10%,  $p=0,000001$  и 7%,  $p=0,0015$ ), что свидетель-

ствует о более эффективной элиминации углекислого газа при использовании этого метода респираторной поддержки. Также обнаружили достоверное снижение частоты дыхания при переходе от ингаляции кислорода к высокопоточной вентиляции и НИМВЛ.

Важно отметить, что при проведении НИМВЛ чувство дискомфорта возникало у 9 (18%) больных, в то время как высокопоточную вентиляцию хорошо переносили 98% пациентов.

Таким образом, по сравнению с ингаляцией кислородом через лицевую маску высокой концентрации кислорода, высокопоточная вентиляция и неинвазивная масочная вентиляция приводят к сходному положительному эффекту на оксигенирующую функцию легких и газообмен у кардиохирургических больных с постэкстубационной дыхательной недостаточностью.

Высокопоточная вентиляция оказывает более позитивное влияние на измеряемое пульсоксиметром насыщение гемоглобина кислородом, частоту дыхания и элиминацию  $\text{CO}_2$ , чем неинвазивная масочная вентиляция легких.

Высокопоточная вентиляция значительно реже, чем неинвазивная масочная вентиляцией легких, вызывает чувство дискомфорта и в целом лучше переносится пациентами.

#### Литература

1. Azoulay E, Thiery G, Chevret S, Moreau D, Darmon M, Bergeron A, Yang K, Meignin V, Ciroidi M, Le Gall J.R., Tazi A, Schlemmer B. The prognosis of acute respiratory failure in critically ill cancer patients. *Medicine (Baltimore)*. 2004; 83 (6): 360–370. DOI: 10.1097/01.md.0000145370.63676.fb. PMID: 15525848
2. Linko R, Okkonen M, Pettila V, Parviainen I, Ruokonen E, Tenhunen J, Ala-Kokko T, Varpula T; FINNALI-study group. Acute respiratory failure in intensive care units. FINNALI: a prospective cohort study. *Intensive Care Med*. 2009; 35 (8): 1352–1361. DOI: 10.1007/s00134-009-1519-z. PMID: 19526218
3. Duan J, Han X, Bai L, Zhou L, Huang S. Assessment of heart rate, acidosis, consciousness, oxygenation, and respiratory rate to predict noninvasive ventilation failure in hypoxemic patients. *Intensive Care Med*. 2017; 43: 192–199 DOI 10.1007/s00134-016-4601-3. PMID: 27812731
4. Yamagishi T, Ishikawa S, Ohtaki A, Takahashi T, Koyano T, Ohki S, Sakata S, Murakami J, Hasegawa Y, Morishita Y. Postoperative oxygenation following coronary artery bypass grafting. A multivariate analysis of perioperative factors. *J Cardiovasc. Surg. (Torino)*. 2000 Apr; 41 (2): 221–225. PMID: 10901525
5. Filsoufi F, Rahmanian PB, Castillo J.G., Chikwe J, Adams D.H. Logistic risk model predicting postoperative respiratory failure in patients undergoing valve surgery. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2008; 34 (5): 953–959. DOI: 10.1016/j.ejcts.2008.07.061. PMID: 18835184
6. Dabbagh A, Esmailian F, Aranki S. (eds.). Postoperative Critical Care for Adult Cardiac Surgical Patients. Second Edition. Springer International Publishing AG, part of Springer Nature 2018: 334–337. ISBN: 978-3-319-75746-9. DOI: 10.1007/978-3-319-75747-6
7. Papazian L, Corley A, Hess D, Fraser J.F., Frat J.P., Guitton C, Jaber S, Maggiore S.M., Nava S., Rello J., Ricard J.D., Stephan F., Trisolini R., Azoulay E. Use of high-flow nasal cannula oxygenation in ICU adults: a narrative review. *Intensive Care Med*. 2016; 42 (9): 1336–1349. DOI: 10.1007/s00134-016-4277-8. PMID: 26969671
8. Curley G.F., Laffy J.G., Zhang H., Slutsky A.S. Noninvasive respiratory support for acute respiratory failure—high flow nasal cannula oxygen or non-invasive ventilation? *J Thorac Dis*. 2015; 7 (7): 1092–1097. DOI: 10.3978/j.issn.2072-1439.2015.07.18. PMID: 26380720
9. Ozsancak Ugurlu A., Sidhom S.S., Khodabandeh A., Jeong M., Mohr C., Lin D.Y., Buchwald I., Bahady I., Wengryn J., Maheshwari V., Hill N.S. Use and outcomes of noninvasive positive pressure ventilation in acute care hospitals in Massachusetts. *Chest*. 2014; 145 (5): 964–971. DOI: 10.1378/chest.13-1707. PMID: 24480997
10. Авдеев С.Н. Неинвазивная вентиляция легких у больных ХОБЛ, госпитализированных в стационар. *Бюллетень сибирской медицины*. 2017; 16 (2): 6–19. DOI 10.20538/1682-0363-2017-2-6-19
11. Zhu G.F., Wang D.J., Liu S., Jia M., Jia S.J. Efficacy and safety of noninvasive positive pressure ventilation in the treatment of acute respi-

#### References

1. Azoulay E, Thiery G, Chevret S, Moreau D, Darmon M, Bergeron A, Yang K, Meignin V, Ciroidi M, Le Gall J.R., Tazi A, Schlemmer B. The prognosis of acute respiratory failure in critically ill cancer patients. *Medicine (Baltimore)*. 2004; 83 (6): 360–370. DOI: 10.1097/01.md.0000145370.63676.fb. PMID: 15525848
2. Linko R, Okkonen M, Pettila V, Parviainen I, Ruokonen E, Tenhunen J, Ala-Kokko T, Varpula T; FINNALI-study group. Acute respiratory failure in intensive care units. FINNALI: a prospective cohort study. *Intensive Care Med*. 2009; 35 (8): 1352–1361. DOI: 10.1007/s00134-009-1519-z. PMID: 19526218
3. Duan J, Han X, Bai L, Zhou L, Huang S. Assessment of heart rate, acidosis, consciousness, oxygenation, and respiratory rate to predict noninvasive ventilation failure in hypoxemic patients. *Intensive Care Med*. 2017; 43: 192–199 DOI 10.1007/s00134-016-4601-3. PMID: 27812731
4. Yamagishi T, Ishikawa S, Ohtaki A, Takahashi T, Koyano T, Ohki S, Sakata S, Murakami J, Hasegawa Y, Morishita Y. Postoperative oxygenation following coronary artery bypass grafting. A multivariate analysis of perioperative factors. *J Cardiovasc. Surg. (Torino)*. 2000 Apr; 41 (2): 221–225. PMID: 10901525
5. Filsoufi F, Rahmanian PB, Castillo J.G., Chikwe J, Adams D.H. Logistic risk model predicting postoperative respiratory failure in patients undergoing valve surgery. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2008; 34 (5): 953–959. DOI: 10.1016/j.ejcts.2008.07.061. PMID: 18835184
6. Dabbagh A, Esmailian F, Aranki S. (eds.). Postoperative Critical Care for Adult Cardiac Surgical Patients. Second Edition. Springer International Publishing AG, part of Springer Nature 2018: 334–337. ISBN: 978-3-319-75746-9. DOI: 10.1007/978-3-319-75747-6
7. Papazian L, Corley A, Hess D, Fraser J.F., Frat J.P., Guitton C, Jaber S, Maggiore S.M., Nava S., Rello J., Ricard J.D., Stephan F., Trisolini R., Azoulay E. Use of high-flow nasal cannula oxygenation in ICU adults: a narrative review. *Intensive Care Med*. 2016; 42 (9): 1336–1349. DOI: 10.1007/s00134-016-4277-8. PMID: 26969671
8. Curley G.F., Laffy J.G., Zhang H., Slutsky A.S. Noninvasive respiratory support for acute respiratory failure—high flow nasal cannula oxygen or non-invasive ventilation? *J Thorac Dis*. 2015; 7 (7): 1092–1097. DOI: 10.3978/j.issn.2072-1439.2015.07.18. PMID: 26380720
9. Ozsancak Ugurlu A., Sidhom S.S., Khodabandeh A., Jeong M., Mohr C., Lin D.Y., Buchwald I., Bahady I., Wengryn J., Maheshwari V., Hill N.S. Use and outcomes of noninvasive positive pressure ventilation in acute care hospitals in Massachusetts. *Chest*. 2014; 145 (5): 964–971. DOI: 10.1378/chest.13-1707. PMID: 24480997
10. Avdeev S.N. Non-invasive ventilation in patients hospitalized with COPD. *Bulletin of Siberian medicine. Byulleten sibirskoj mediciny*. 2017; 16 (2): 6–19. [In Russ.] DOI 10.20538/1682-0363-2017-2-6-19
11. Zhu G.F., Wang D.J., Liu S., Jia M., Jia S.J. Efficacy and safety of noninvasive positive pressure ventilation in the treatment of acute respi-

- piratory failure after cardiac surgery. *Chin Med J (Engl)*. 2013; 126 (23): 4463–4469. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0366-6999.20131704 PMID: 24286408.
12. Stephan F, Barrucand B, Petit P, Rézaiguia-Delclaux S, Médard A, Delannoy B, Cossierant B, Flicoteaux G, Imbert A, Pilorge C, Bérard L.; BiPOP Study Group. High-flow nasal cannula oxygen vs noninvasive positive airway pressure in hypoxemic patients after cardiothoracic surgery: A randomized clinical trial. *JAMA*. 2015; 313: 2331–2339. DOI: 10.1001/jama.2015.5213. PMID: 25980660
  13. Sreenan C, Lemke R.P, Hudson-Mason A., Osioviich H. High-flow nasal cannulae in the management of apnea of prematurity: a comparison with conventional nasal continuous positive airway pressure. *Pediatrics*. 2001 May; 107 (5):1081–1083. DOI: 10.1542/peds.107.5.1081. PMID: 11331690
  14. Roca O, Hernandez G., Diaz-Lobato S., Carratala J.M., Gutierrez R.M., Masclans J.R., Spanish Multidisciplinary Group of High Flow Supportive Therapy in Adults (HiSpaFlow). Current evidence for the effectiveness of heated and humidified high flow nasal cannula supportive therapy in adult patients with respiratory failure. *Crit Care*. 2016; 20 (1): 109. DOI: 10.1186/s13054-016-1263-z. PMID: 27121707
  15. Nishimura M. High-flow nasal cannula oxygen therapy in adults. *J Intensive Care*. 2015; 3 (1): 15. DOI: 10.1186/s40560-015-0084-5. PMID: 25866645
  16. Riera J., Pérez P., Cortés J., Roca O., Masclans J.R., Rello J. Effect of high-flow nasal cannula and body position on end-expiratory lung volume: a cohort study using electrical impedance tomography. *Respir Care*. 2013; 58: 589–596. DOI: 10.4187/respcare.02086. PMID: 23050520
  17. Chanques G., Contantini J.M., Sauter M., Jung B., Sebbane M., Verzilli D. Discomfort associated with underhumidified high-flow oxygen therapy in critically ill patients. *Intensive Care Med*. 2009; 35 (6): 996–1003. DOI: 10.1007/s00134-009-1456-x. PMID: 19294365
  18. Maggiore S.M., Idone F.A., Vaschetto R., Festa R., Cataldo A., Antonicelli F., Montini L., De Gaetano A., Navalesi P., Antonelli M. Nasal high-flow oxygen versus Venturi mask oxygen therapy after extubation. Effects on oxygenation, comfort and clinical outcome. *Am J Respir Crit Care Med*. 2014; 190: 282–288. DOI: 10.1164/rccm.201402-0364OC. PMID: 25003980
  19. Lee J.H., Rehder K.J., Williford L., Cheifetz I.M., Turner D.A. Use of high flow nasal cannula in critically ill infants, children, and adults: a critical review of the literature. *Intensive Care Med*. 2013; 39 (2): 247–257. DOI: 10.1007/s00134-012-2743-5. PMID: 23143331
  20. Hernandez G., Vaquero C., Gonzalez P., Subira C., Frutos-Vivar F., Rialp G., Laborda C., Colinas L., Cuenca R., Fernández R. Effect of Postextubation high-flow nasal cannula vs conventional oxygen therapy on reintubation in low-risk patients a randomized clinical trial. *JAMA*. 2016; 315 (13): 1354–1361. DOI: 10.1001/jama.2016.2711. PMID: 26975498
  21. Parke R., McGuinness S., Dixon R., Jull A. Open-label, phase II study of routine high-flow nasal oxygen therapy in cardiac surgical patients. *Br J Anaesth*. 2013; 111 (6): 925–931. DOI: 10.1093/bja/aet262. PMID: 23921199
  22. Tiruvoipati R., Lewis D., Haji K., Botha J. High-flow nasal oxygen vs high-flow face mask: a randomized crossover trial in extubated patients. *J. Crit. Care*. 2010; 25: 463–468. DOI: 10.1016/j.jccr.2009.06.050. PMID: 19781896
  23. Schwaiblmair N., Berg B., Blumenstock G., Haap M., Hetzel J., Riessen R. Nasal high-flow oxygen therapy in patients with hypoxic respiratory failure: effect on functional and subjective respiratory parameters compared to conventional oxygen therapy and non-invasive ventilation (NIV). *BMC Anesthesiol*. 2014; 14: 66. DOI: 10.1186/1471-2253-14-66. PMID: 25110463
  24. Frat J.P., Thille A.W., Mercat A., Girault C., Ragot S., Perbet S., Prat G., Boulain T., Morawiec E., Cottereau A., Devaquet J., Nseir S., Razazi K., Mira J.P., Argaud L., Chakarian J.C., Ricard J.D., Wittebole X., Chevalier S., Herbland A., Fartoukh M., Constantin J.M., Tonnelier J.M., Pierrot M., Mathonnet A., Béduneau G., Deléage-Métréau C., Richard J.C., Brochard L., Robert R.; FLORALI Study Group; REVA Network. High-flow oxygen through nasal cannula in acute hypoxemic respiratory failure. *N Engl J Med*. 2015; 372 (23): 2185–2196. DOI: 10.1056/NEJMoa1503326. PMID: 25981908
  25. McGinley B.M., Patil S.P., Kirkness J.P., Smith P.L., Schwartz A.R., Schneider H. A nasal cannula can be used to treat obstructive sleep apnea. *Am J Respir Crit Care Med*. 2007; 15; 176 (2): 194–200. DOI: 10.1164/rccm.200609-1336OC. PMID: 17363769
  26. Sztrymf B., Messika J., Bertrand F., Hurel D., Leon R., Dreyfuss D., Ricard J.D. Beneficial effects of humidified high flow nasal oxygen in critical care patients: a prospective pilot study. *Intensive Care Med*. 2011; 37: 1780–1786. DOI: 10.1007/s00134-011-2354-6. PMID: 21946925
  27. Messika J., Ben Ahmed K., Gaudry S., Miguel-Montanes R., Rafat C., Sztrymf B., Dreyfuss D., Ricard J.D. Use of high-flow nasal cannula oxygen therapy in subjects with ARDS: A 1-year observational study. *Respir Care* 2015; 60: 162–169 DOI: 10.4187/respcare.03423 PMID: 25371400
  - ratory failure after cardiac surgery. *Chin Med J (Engl)*. 2013; 126 (23): 4463–4469. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0366-6999.20131704 PMID: 24286408
  12. Stephan F, Barrucand B, Petit P, Rézaiguia-Delclaux S, Médard A, Delannoy B, Cossierant B, Flicoteaux G, Imbert A, Pilorge C, Bérard L.; BiPOP Study Group. High-flow nasal cannula oxygen vs noninvasive positive airway pressure in hypoxemic patients after cardiothoracic surgery: A randomized clinical trial. *JAMA*. 2015; 313: 2331–2339. DOI: 10.1001/jama.2015.5213. PMID: 25980660
  13. Sreenan C, Lemke R.P, Hudson-Mason A., Osioviich H. High-flow nasal cannulae in the management of apnea of prematurity: a comparison with conventional nasal continuous positive airway pressure. *Pediatrics*. 2001 May; 107 (5):1081–1083. DOI: 10.1542/peds.107.5.1081. PMID: 11331690
  14. Roca O, Hernandez G., Diaz-Lobato S., Carratala J.M., Gutierrez R.M., Masclans J.R., Spanish Multidisciplinary Group of High Flow Supportive Therapy in Adults (HiSpaFlow). Current evidence for the effectiveness of heated and humidified high flow nasal cannula supportive therapy in adult patients with respiratory failure. *Crit Care*. 2016; 20 (1): 109. DOI: 10.1186/s13054-016-1263-z. PMID: 27121707
  15. Nishimura M. High-flow nasal cannula oxygen therapy in adults. *J Intensive Care*. 2015; 3 (1): 15. DOI: 10.1186/s40560-015-0084-5. PMID: 25866645
  16. Riera J., Pérez P., Cortés J., Roca O., Masclans J.R., Rello J. Effect of high-flow nasal cannula and body position on end-expiratory lung volume: a cohort study using electrical impedance tomography. *Respir Care*. 2013; 58: 589–596. DOI: 10.4187/respcare.02086. PMID: 23050520
  17. Chanques G., Contantini J.M., Sauter M., Jung B., Sebbane M., Verzilli D. Discomfort associated with underhumidified high-flow oxygen therapy in critically ill patients. *Intensive Care Med*. 2009; 35 (6): 996–1003. DOI: 10.1007/s00134-009-1456-x. PMID: 19294365
  18. Maggiore S.M., Idone F.A., Vaschetto R., Festa R., Cataldo A., Antonicelli F., Montini L., De Gaetano A., Navalesi P., Antonelli M. Nasal high-flow oxygen versus Venturi mask oxygen therapy after extubation. Effects on oxygenation, comfort and clinical outcome. *Am J Respir Crit Care Med*. 2014; 190: 282–288. DOI: 10.1164/rccm.201402-0364OC. PMID: 25003980
  19. Lee J.H., Rehder K.J., Williford L., Cheifetz I.M., Turner D.A. Use of high flow nasal cannula in critically ill infants, children, and adults: a critical review of the literature. *Intensive Care Med*. 2013; 39 (2): 247–257. DOI: 10.1007/s00134-012-2743-5. PMID: 23143331
  20. Hernandez G., Vaquero C., Gonzalez P., Subira C., Frutos-Vivar F., Rialp G., Laborda C., Colinas L., Cuenca R., Fernández R. Effect of Postextubation high-flow nasal cannula vs conventional oxygen therapy on reintubation in low-risk patients a randomized clinical trial. *JAMA*. 2016; 315 (13): 1354–1361. DOI: 10.1001/jama.2016.2711. PMID: 26975498
  21. Parke R., McGuinness S., Dixon R., Jull A. Open-label, phase II study of routine high-flow nasal oxygen therapy in cardiac surgical patients. *Br J Anaesth*. 2013; 111 (6): 925–931. DOI: 10.1093/bja/aet262. PMID: 23921199
  22. Tiruvoipati R., Lewis D., Haji K., Botha J. High-flow nasal oxygen vs high-flow face mask: a randomized crossover trial in extubated patients. *J. Crit. Care*. 2010; 25: 463–468. DOI: 10.1016/j.jccr.2009.06.050. PMID: 19781896
  23. Schwaiblmair N., Berg B., Blumenstock G., Haap M., Hetzel J., Riessen R. Nasal high-flow oxygen therapy in patients with hypoxic respiratory failure: effect on functional and subjective respiratory parameters compared to conventional oxygen therapy and non-invasive ventilation (NIV). *BMC Anesthesiol*. 2014; 14: 66. DOI: 10.1186/1471-2253-14-66. PMID: 25110463
  24. Frat J.P., Thille A.W., Mercat A., Girault C., Ragot S., Perbet S., Prat G., Boulain T., Morawiec E., Cottereau A., Devaquet J., Nseir S., Razazi K., Mira J.P., Argaud L., Chakarian J.C., Ricard J.D., Wittebole X., Chevalier S., Herbland A., Fartoukh M., Constantin J.M., Tonnelier J.M., Pierrot M., Mathonnet A., Béduneau G., Deléage-Métréau C., Richard J.C., Brochard L., Robert R.; FLORALI Study Group; REVA Network. High-flow oxygen through nasal cannula in acute hypoxemic respiratory failure. *N Engl J Med*. 2015; 372 (23): 2185–2196. DOI: 10.1056/NEJMoa1503326. PMID: 25981908
  25. McGinley B.M., Patil S.P., Kirkness J.P., Smith P.L., Schwartz A.R., Schneider H. A nasal cannula can be used to treat obstructive sleep apnea. *Am J Respir Crit Care Med*. 2007; 15; 176 (2): 194–200. DOI: 10.1164/rccm.200609-1336OC. PMID: 17363769
  26. Sztrymf B., Messika J., Bertrand F., Hurel D., Leon R., Dreyfuss D., Ricard J.D. Beneficial effects of humidified high flow nasal oxygen in critical care patients: a prospective pilot study. *Intensive Care Med*. 2011; 37: 1780–1786. DOI: 10.1007/s00134-011-2354-6. PMID: 21946925
  27. Messika J., Ben Ahmed K., Gaudry S., Miguel-Montanes R., Rafat C., Sztrymf B., Dreyfuss D., Ricard J.D. Use of high-flow nasal cannula oxygen therapy in subjects with ARDS: A 1-year observational study. *Respir Care* 2015; 60: 162–169 DOI: 10.4187/respcare.03423 PMID: 25371400

Поступила 17.03.19

Received 17.03.19