

Сравнение эффективности методов неинвазивной респираторной поддержки в послеоперационном периоде у кардиохирургических больных: пилотное исследование

А.А. Еременко^{id*}, Д.В. Фомина^{id}, Р.Д. Комнов^{id},
Л.С. Сорокина^{id}, А.В. Урбанов^{id}

ГНЦ РФ ФГБНУ «Российский научный центр хирургии имени
академика Б.В. Петровского», Москва, Россия

Реферат

АКТУАЛЬНОСТЬ: Частота развития дыхательной недостаточности после кардиохирургических вмешательств составляет 17–22% [1–3]. Методы неинвазивной респираторной поддержки: неинвазивная масочная вентиляция легких (НИМВЛ), высокопоточная назальная оксигенотерапия (ВНО) и неинвазивная вентиляция с помощью шлема (НИВЛШ) находят все более широкое применение в терапии дыхательной недостаточности у этих пациентов. **ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ:** Сравнение эффективности методов респираторной поддержки в зависимости от их влияния на газообмен у пациентов с легкой степенью тяжести дыхательной недостаточности в раннем периоде после кардиохирургических вмешательств. **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ:** В работу включены 42 кардиохирургических пациента с $200 < P/F < 300$, которые были разделены на 3 группы в зависимости от применяемого метода респираторной поддержки (НИМВЛ, ВНО или НИВЛШ). Основная точка исследования — оценка динамики показателей газообмена до, во время и после их применения. **РЕЗУЛЬТАТЫ:** Все три метода НИВЛ способствуют статистически достоверному улучшению показателей газообмена во время проведения НИВЛ, которое сохранялось и после завершения терапии (SpO_2 , PaO_2 , P/F , Q_{sp}/Q_t). В группе с применением НИМВЛ и ВНО отмечен прирост фракции оксигемоглобина. Значения $PaCO_2$ в группах сравнения не различались. Наибольший прирост SpO_2 наблюдаем в группах с использованием маски и шлема, но по завершении сеанса НИВЛ статистически значимых различий между группами не было. Доля пациентов с $P/F < 300$ после однократного сеанса в группе НИМВЛ снизилась в 2 раза, в группе ВНО — в 1,6 раза, в группе

Comparison of noninvasive respiratory support methods in the postoperative period in cardiac surgery patients: a prospective randomized trial

A.A. Eremenko^{id*}, D.V. Fomina^{id}, R.D. Komnov^{id},
L.S. Sorokina^{id}, A.V. Urbanov^{id}

Petrovsky National Research Centre of Surgery, Moscow, Russia

Abstract

INTRODUCTION: The frequency of respiratory failure in the postoperative period is 17–22% [1–3]. The most commonly used methods: noninvasive positive pressure mask ventilation (NIPPMV), high-flow nasal cannula (HFNC), noninvasive positive pressure helmet ventilation (NIPPHV). **OBJECTIVE:** Comparison of the effectiveness of respiratory support methods depending on their effect on gas exchange in patients with mild to moderate respiratory failure in the early period after cardiac surgery. **MATERIALS AND METHODS:** The study included 42 cardiac surgery patients with $200 < P/F < 300$ who were divided into 3 groups depending on the methods of respiratory support used (NIPPMV, HFNC, NIPPHV). The main point of the study is to assess the dynamics of the gas exchange indicators before, during and after their use. **RESULTS:** All three methods of NIVL contribute to a statistically significant improvement in gas exchange during NIVL, which persisted after the end of therapy (SpO_2 , PaO_2 , P/F , Q_{sp}/Q_t). In the group with the use of NIPPMV and HFNC an increase in the oxyhemoglobin fraction. In the course of this study, no data were revealed on changes in $PaCO_2$. The largest increase in SpO_2 was revealed in groups using a mask and helmet, but at the end of the NIVL session there were no statistically significant differences between the groups. A decrease in the proportion of patients with $P/F < 300$ after a single session in the NIPPMV group by 2 times, in the HFNC group — by 1.6 times, in the NIPPHV group — by 3.5 times. **CONCLUSIONS:** Conducting noninvasive respiratory support significantly improves the indicators of oxygenating lung function in the early postoperative period in cardiac surgery patients. NIPPHV and NIPPMV are more effective compared to HFNC. When using a helmet, a higher level of support is required.

НИВЛШ — в 3,5 раза. **Выводы:** Проведение неинвазивной респираторной поддержки значительно улучшает показатели оксигенирующей функции легких в раннем послеоперационном периоде у кардиохирургических больных. НИВЛШ и НИМВЛ более эффективны по сравнению с ВНО. При использовании шлема требуется более высокий уровень респираторной поддержки.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: неинвазивная вентиляция легких, шлемы, назальная оксигенотерапия, дыхательная недостаточность, гипоксемия

* *Для корреспонденции:* Еременко Александр Анатольевич — д-р мед. наук, профессор, член-корреспондент РАН, заведующий отделением кардиореанимации и интенсивной терапии ФГБНУ «Российский научный центр хирургии им. академика Б.В. Петровского», Москва, Россия; e-mail: aereenko54@mail.ru

✉ *Для цитирования:* Еременко А.А., Фомина Д.В., Комнов Р.Д., Сорокина Л.С., Урбанов А.В. Сравнение эффективности методов неинвазивной респираторной поддержки в послеоперационном периоде у кардиохирургических больных: пилотное исследование. Вестник интенсивной терапии им. А.И. Салтанова. 2023;3:97–107. <https://doi.org/10.21320/1818-474X-2023-3-97-107>

📅 *Поступила:* 29.12.2022

📅 *Принята к печати:* 03.06.2023

📅 *Дата онлайн-публикации:* 28.07.2023

KEYWORDS: noninvasive ventilation, helmets, oxygen inhalation therapy, respiratory insufficiency, hypoxia

* *For correspondence:* Aleksandr A. Eremenko — Dr. Med. Sci., professor, Corresponding member of the Russian Academy of Sciences, Head of intensive care department for patient after cardiac surgery at Petrovsky National Research Centre of Surgery, Moscow, Russia; e-mail: aereenko54@mail.ru

✉ *For citation:* Eremenko A.A., Fomina D.V., Komnov R.D., Sorokina L.S., Urbanov A.V. Comparison of noninvasive respiratory support methods in the postoperative period in cardiac surgery patients: a prospective randomized trial. Annals of Critical Care. 2023;3:97–107. <https://doi.org/10.21320/1818-474X-2023-3-97-107>

📅 *Received:* 29.12.2022

📅 *Accepted:* 03.06.2023

📅 *Published online:* 28.07.2023

DOI: 10.21320/1818-474X-2023-3-97-107

Введение

Послеоперационная дыхательная недостаточность (ДН), частота которой у кардиохирургических пациентов достигает 17–22% [1–3], увеличивает сроки пребывания пациентов в отделении реанимации и интенсивной терапии, длительность госпитализации, а также число осложнений и летальных случаев, что требует большого количества медицинских ресурсов и экономических затрат [4, 5]. В последние годы коррекция сниженной оксигенирующей функции легких (ОФЛ) с помощью различных методов неинвазивной вентиляции легких занимает все более прочные позиции.

Методы неинвазивной респираторной поддержки, используемые в раннем послеоперационном периоде, хорошо себя зарекомендовали в клинической практике [6, 7]. Они применяются для улучшения газообмена,

уменьшения работы дыхания и расправления коллабированных альвеол при образовании участков гиповентиляции и микроателектазирования.

В современной практике наиболее часто применяют неинвазивную масочную вентиляцию легких, высокопоточную назальную оксигенотерапию и неинвазивную вентиляцию с помощью шлема [8–14].

С помощью данных методов у многих больных удастся избежать интубации трахеи и добиться существенного улучшения показателей ОФЛ, однако в литературе нет единого мнения об эффективности их применения у разных категорий пациентов, а в кардиохирургии эта проблема изучена недостаточно [15].

Цель исследования — сравнение эффективности методов респираторной поддержки в зависимости от их влияния на газообмен у пациентов с легкой степенью тяжести дыхательной недостаточности в раннем периоде после кардиохирургических вмешательств.

Материалы и методы

Дизайн — пилотное проспективное рандомизированное исследование. Исследование зарегистрировано в международной базе <https://clinicaltrials.gov>, номер исследования NCT04787666.

В работу включены 42 пациента после кардиохирургических операций, проведенных в ФГБНУ РНЦХ им. академика Б.В. Петровского в 2021–2022 гг. (табл. 1).

Критерии включения пациентов в исследование: снижение ОФЛ (PaO_2/FiO_2) — $200 < P/F < 300$ после экстубации [16], наличие информированного согласия пациента на участие в данном исследовании. Критерии исключения: интубация трахеи, отсутствие самостоятельного дыхания, нестабильная гемодинамика или

гемодинамически значимые нарушения ритма, острое нарушение мозгового кровоснабжения, шок различной этиологии, невозможность обеспечить защиту дыхательных путей, отсутствие продуктивного контакта с пациентом, отказ пациента от участия в данном исследовании.

При значениях $P/F: 200 < PaO_2/FiO_2 < 300$ пациенты на основе метода случайных чисел были разделены на 3 группы в соответствии с используемым методом НИВЛ: группа 1 — неинвазивная масочная вентиляция (НИМВЛ), группа 2 — высокопоточная оксигенотерапия через носовые канюли (высокопоточная назальная оксигенация, ВНО), группа 3 — неинвазивная вентиляция легких с помощью шлема (НИВЛШ).

Первичная конечная точка исследования — оценка динамики коэффициента P/F .

Таблица 1. Клиническая характеристика пациентов

Table 1. Clinical characteristics of patients

Показатели	НИМВЛ	ВНО	НИВЛШ	p
Индекс массы тела, кг/м ²	26,6 ± 4	28,7 ± 3	27,5 ± 3,7	0,89
Возраст, лет	54 ± 11	58 ± 13	54 ± 9	0,53
Курение	5	6	5	0,91
Сопутствующая патология бронхолегочной системы	3	2	2	0,85
Длительность оперативного вмешательства				
искусственное кровообращение, мин	111 ± 57	108 ± 65	121 ± 44	0,27
ишемия миокарда, мин	61 ± 28	76 ± 34	70 ± 38	0,15
Доступ оперативного вмешательства				
мини-торакотомия	2	3	3	0,87
стернотомия	12	11	11	0,87
Протезирование/пластика клапанного аппарата сердца	3	5	6	0,49
Септальная миоэктомия	2	1	1	0,77
Септальная миоэктомия + протезирование клапанного аппарата сердца	2	2	0	0,35
Реваскуляризация миокарда				
без искусственного кровообращения	1	2	1	0,77
с искусственным кровообращением	1	1	2	0,77
Реваскуляризация миокарда + протезирование или пластика клапанного аппарата сердца	1	3	1	0,42
Реконструктивные вмешательства на аорте + реваскуляризация миокарда + протезирование клапанного аппарата сердца	0	0	2	0,38
Реконструктивные вмешательства на аорте	1	2	2	0,42
ВНО — высокопоточная назальная оксигенотерапия; НИВЛШ — неинвазивная вентиляция легких с помощью шлема; НИМВЛ — неинвазивная масочная вентиляция легких.				

Таблица 2. Причины развития дыхательной недостаточности в раннем послеоперационном периоде у кардиохирургических пациентов

Table 2. Causes of respiratory failure in the early postoperative period in cardiac surgery patients

Причина	НИМВЛ	ВНО	НИВЛШ	p
Оперативное вмешательство				
механическая травма легких	2	3	3	0,87
Проведение анестезиологического пособия				
респираторный дистресс-синдром легкой степени	14	14	14	1,00
однолегочная вентиляция легких во время операции	1	2	1	0,77
микроателектазирование	2	2	2	1,00
применение искусственного кровообращения	11	12	14	0,22
переливания значительных объемов крови и ее компонентов	9	10	8	0,75
Наличие сопутствующей патологии				
ХОБЛ	1	3	2	0,58
бронхиальная астма	1	1	1	1,00
хронический бронхит	2	3	2	0,85
Сочетание нескольких факторов				
	4	3	5	0,72

ВНО — высокопоточная назальная оксигенотерапия; НИВЛШ — неинвазивная вентиляция легких с помощью шлема; НИМВЛ — неинвазивная масочная вентиляция легких.

У 38 больных операции были выполнены с применением искусственного кровообращения в условиях нормотермии или умеренной гипотермии. Анестезиологическое пособие включало в себя применение комбинированной общей анестезии: анальгезия — фентанил (0,2–0,3 мг на вводную анестезию с постоянной инфузией в дозе 3,0–3,5 мкг/кг/ч), миоплегия — пипекурония бромид (суммарно 10–12 мг) или цисатракурия бромид (10–15 мг на вводную анестезию с последующей инфузией в расчетной дозе), гипнотик — пропофол (1–2 мг/кг на вводную анестезию с последующей инфузией) в комбинации с ингаляционным анестетиком севофлураном (1,0 об % МАК). В качестве кардиоплегических растворов использовали «del Nido» или кровяную кардиоплегию с поддержанием нормотермии или умеренной гипотермии.

Всем пациентам в послеоперационном периоде проводили мультимодальное обезбоживание по схеме: парацетамол 1 г в/в инфузия в течение 15 мин, за 30 мин до экстубации трахеи, затем каждые 8 ч + НПВП (кеторолак 100 мг или лорноксикам 8–16 мг или кеторолак 30 мг) через 3, 15, 27 ч после поступления из операционной в/в или в/м. В качестве дополнительной опиоидной анальгезии применяли: тримеперидин в дозе 20 мг в/в или в/м, либо морфин в дозе 10 мг в/м, либо трамадол в дозе 100 мг в/в или в/м при оценке боли по визуально-аналоговой шкале (ВАШ) > 4.

Сеанс неинвазивной респираторной поддержки проводили через 8–10 ч после экстубации трахеи. Перед сеансом за 10 мин, через 30 мин от начала сеанса и через 20 мин после его окончания при дыхании атмосферным воздухом определяли показатели газового состава артериальной крови и насыщение крови кислородом по пульсоксиметру (SpO₂). Сеанс проводили в течение 1 ч. В последующем после проведенного однократного сеанса продолжали ингаляцию увлажненного кислорода с низким потоком или продолжали терапию неинвазивной респираторной поддержки при неудовлетворительных показателях газообмена.

Неинвазивную вентиляцию легких проводили с помощью носоротовой маски (Philips Respironics, США) и шлема (Intersurgical, Россия) в режиме BiPAP — двухуровневой регуляции давления вдоха и выдоха. ВНО проводили через назальные канюли (Fisher & Paykel, Новая Зеландия). Использовали респираторы (Hamilton-G5, Швейцария), имеющие специальные опции для проведения данных методов НИВЛ.

Устанавливали следующие параметры вентиляции: для НИМВЛ и НИВЛШ — режим поддержки давлением с положительным давлением в конце выдоха (PEEP) 5 см вод. ст., давление вдоха (PS) — 7 см вод. ст., фракция кислорода во вдыхаемом воздухе (FiO₂) — 40%. Затем величину давления вдоха устанавливали таким образом, чтобы дыхательный объем составлял 6–8 мл/кг

идеальной массы тела. Для ВНО скорость потока дыхательной смеси — 40 л/мин при FiO_2 40 %.

Параметры вентиляции в целях достижения оптимального уровня газообмена были изменены в сторону увеличения поддержки в двух группах: НИМВЛ и НИВЛШ (табл. 3). В группе НИВЛШ для обеспечения оптимального газообмена требовались более высокие значения давления вдоха и давления в конце выдоха, чем при НИМВЛ. Это было связано с необходимостью вентиляции дополнительного пространства внутри шлема.

При НИМВЛ и НИВЛШ использовали следующие режимы триггирования: экспираторный триггер — 40–50 %, триггер давления –1,5–2,0 см вод. ст., триггер потока — 2–3 л/мин.

Статистический анализ

Статистический анализ выполнен с помощью программ Statistica 10.0 и Jamovi 1.2.27. Полученные в ходе

исследования результаты были оценены согласно закону нормального распределения в соответствии с критерием Шапиро—Уилка. Использовались методы параметрического и непараметрического анализа. В случае описания количественных показателей, имеющих нормальное распределение, проводился расчет средних арифметических величин (M) и стандартных отклонений (SD); при ненормальном распределении данные представлены в виде медианы и 10-го и 90-го перцентилей — $Me [p10-p90]$. Статистическую значимость межгрупповых различий количественных показателей, имеющих нормальное распределение, оценивали при помощи однофакторного дисперсионного анализа путем расчета критерия F с поправкой на множественные сравнения Бонферрони (ANOVA). При сравнении нескольких выборок количественных данных, имеющих распределение, отличное от нормального, использовали критерий Краскела—Уоллиса. Частоту явления в группе определяли по точному критерию Фишера. Статистически значимыми считались показатели при $p < 0,05$.

Таблица 3. Стартовые и оптимальные параметры вентиляции при проведении неинвазивной респираторной поддержки

Table 3. Starting and optimal ventilation parameters during noninvasive respiratory support

Параметры	НИМВЛ		ВНО		НИВЛШ	
	стартовые	через 30 мин	стартовые	через 30 мин	стартовые	через 30 мин
PEEP, см вод. ст.	5	6	—	—	5	10
PS, см вод. ст.	7	8	—	—	7	12
FiO_2 , %	40	40	40	40	40	40
Поток, л/мин	—	—	40	40	—	—

FiO_2 — фракция кислорода во вдыхаемой смеси; PEEP — положительное давление конца выдоха; PS — инспираторное давление на вдохе; ВНО — высокопоточная назальная оксигенотерапия; НИВЛШ — неинвазивная вентиляция легких с помощью шлема; НИМВЛ — неинвазивная масочная вентиляция легких.

Результаты исследования

Исследование проведено в ранние сроки после кардиохирургических вмешательств. Для данной категории пациентов характерны дыхательные нарушения, которые помимо сопутствующей патологии могут быть связаны с особенностями этих операций: использование искусственного кровообращения, во время которого отсутствуют кровообращение и вентиляция в легких, образование микроателектазов и участков гиповентиляции в легких в результате длительного нахождения в положении лежа на спине, повреждение легких в результате длительной ИВЛ, переливание крови и ее компонентов, острый респираторный дистресс-синдром и другие факторы. Данные факторы и причины острой дыхательной недостаточности представлены в табл. 1 и 2, где

показано отсутствие достоверных различий между группами сравнения.

При всех способах респираторной поддержки зарегистрировано статистически достоверное улучшение показателей газообмена во время проведения НИВЛ, которое сохранялось и после ее окончания (табл. 4). Это касалось насыщения крови кислородом по данным пульсоксиметрии (SpO_2), парциального давления кислорода в артериальной крови (PaO_2), коэффициента P/F и фракции венозной примеси (Qsp/Qt).

Достоверный прирост фракции оксигемоглобина на фоне сеанса неинвазивной поддержки отмечен во всех группах, однако после его окончания статистически значимые различия обнаружены в двух группах — НИМВЛ и ВНО. Также во всех группах и на всех этапах исследования мы не обнаружили значимых изменений PaCO_2 .

Таблица 4. Динамика показателей газового состава крови и пульсоксиметрии на этапах проведения неинвазивной респираторной поддержки в трех группах ($n = 42$)

Table 4. Dynamics of indicators of blood gas composition and pulse oximetry at the stages of noninvasive respiratory support in three groups ($n = 42$)

Показатели	Группа 1 ($n = 14$) НИМВЛ	Группа 2 ($n = 14$) ВНО	Группа 3 ($n = 14$) НИВЛШ
SpO₂, %			
перед сеансом (p1)	87 ± 3	90 [87–98]	89 ± 2
во время сеанса (p2)	97 ± 2	97 [93–98]	98 ± 2
после сеанса (p3)	92 ± 3	92 ± 3	94 ± 3
p1–p2	< 0,001	< 0,001	< 0,001
p2–p3	< 0,001	< 0,001	< 0,001
p1–p3	< 0,001	0,02	< 0,001
PaO₂, мм рт. ст.			
перед сеансом (p1)	57 [50–60]	57 [50–62]	56 ± 10
во время сеанса (p2)	107 ± 22	85 ± 20	100 ± 26
после сеанса (p3)	62 ± 7	60 ± 9	63 [59–77]
p1–p2	< 0,001	< 0,001	< 0,001
p2–p3	< 0,001	< 0,001	< 0,001
p1–p3	< 0,001	0,04	0,01
P/F			
перед сеансом (p1)	273 [238–285]	270 [238–295]	281 ± 11
во время сеанса (p2)	318 ± 110	232 ± 55	287 ± 64
после сеанса (p3)	291 ± 31	287 ± 45	300 [281–366]
p1–p2	< 0,001	0,03	0,92
p2–p3	0,01	0,01	0,07
p1–p3	0,01	0,03	0,02
PaCO₂, мм рт. ст.			
перед сеансом (p1)	40 ± 5	40 [35–46]	39 ± 5
во время сеанса (p2)	39 ± 4	40 ± 5	39 ± 4
после сеанса (p3)	40 ± 4	39 ± 4	38 ± 3
p1–p2	0,21	0,78	0,47
p2–p3	0,08	0,31	0,37
p1–p3	0,56	0,27	0,11
HbO₂, %			
перед сеансом (p1)	88,1 ± 3,8	88,58 ± 3,36	91,31 ± 3,3
во время сеанса (p2)	96,4 [94–97,3]	95,72 ± 0,92	97,1 ± 1,2
после сеанса (p3)	90,4 ± 3,6	90,53 ± 3,36	92,7 ± 2,8
p1–p2	< 0,001	< 0,001	< 0,001
p2–p3	< 0,001	0,002	< 0,001
p1–p3	0,02	0,02	0,14

Показатели	Группа 1 (n = 14) НИМВЛ	Группа 2 (n = 14) ВНО	Группа 3 (n = 14) НИВЛШ
Qsp/Qt (est), %			
перед сеансом (p1)	29,28 ± 7,93	28,6 [7,9–35,5]	23,63 ± 7,46
во время сеанса (p2)	17,9 [7,9–20]	19,8 ± 6,1	15,76 ± 5,54
после сеанса (p3)	18,49 ± 10,86	20,7 ± 7,83	16,46 ± 8,52
p1–p2	< 0,001	< 0,001	0,03
p2–p3	0,37	0,87	0,87
p1–p3	< 0,001	0,03	0,01
Данные представлены в виде медианы и 10-го и 90-го перцентилей — Me [p10–p90]. HbO ₂ — оксигемоглобин; PaCO ₂ — парциальное давление углекислого газа в артериальной крови; PaO ₂ — парциальное давление кислорода в артериальной крови; PaO ₂ /FiO ₂ — отношение парциального давления кислорода в артериальной крови к фракции кислорода на вдохе; Qsp/Qt (est) — внутрилегочный шунт; SpO ₂ — насыщение крови кислородом по пульсоксиметру.			

Во всех трех группах исходные значения данного показателя составляют менее 90 %, во время проведения возрастают в среднем до 97–98 %, а после сеанса остаются выше исходного уровня в пределах 92–94 %. Это подтверждается достоверными различиями значений SpO₂ на этапах исследования. Не менее важной нам представляется оценка «остаточного»

эффекта неинвазивной респираторной поддержки. Для этого проведена оценка прироста показателей газообмена после прекращения сеанса НИВЛ по сравнению с исходом. Оказалось, что достоверные различия были обнаружены по приросту SpO₂ между группами ВНО и при использовании маски или шлема (табл. 5).

Таблица 5. Прирост показателей оксигенирующей функции легких (Δ) трех методов НИВЛ до и после окончания 1-часового сеанса неинвазивной респираторной поддержки

Table 5. The increase in indicators of oxygenating lung function (Δ) of three methods of ventilation before and after the end of a 1-hour session of respiratory support

Показатель	НИМВЛ	ВНО	НИВЛШ	<i>p</i>
ΔSpO₂, %				
1–2				0,02
2–3	4 ± 2	1,5 ± 1	5 ± 2	0,004
1–3				0,35
ΔPaO₂, мм рт. ст				
1–2				0,50
2–3	5 ± 4	3 ± 2	7 ± 5	0,54
1–3				0,27
ΔPaO₂/FiO₂, мм рт. ст				
1–2				0,50
2–3	24 ± 20	16 ± 7	33 ± 21	0,21
1–3				0,42
Δ PaO ₂ — прирост парциального давления кислорода в артериальной крови; Δ PaO ₂ /FiO ₂ — прирост отношения парциального давления кислорода в артериальной крови к фракции кислорода на вдохе; Δ SpO ₂ — прирост насыщения крови кислородом по пульсоксиметру; ВНО — высокопоточная назальная оксигенотерапия; НИВЛШ — неинвазивная вентиляция легких с помощью шлема; НИМВЛ — неинвазивная масочная вентиляция легких.				

Однократный сеанс в течение 1 ч во всех трех группах приводил к достоверному улучшению показателей газообмена, о чем свидетельствует снижение доли пациентов

с $P/F < 300$ в группе НИМВЛ — в 2 раза, в группе ВНО — в 1,6 раза, а в группе НИВЛШ отмечено наиболее значимое снижение количества пациентов с ДН — в 3,5 раза (табл. 6).

Таблица 6. Количество пациентов с P/F менее 300 мм рт. ст. до и после применения изучаемых методов неинвазивной респираторной поддержки ($n = 42$)

Table 6. The number of patients with P/F less than 300 mmHg before and after application of noninvasive respiratory support ($n = 42$)

Этап исследования	НИМВЛ $p = 0,01$	ВНО $p = 0,04$	НИВЛШ $p = 0,0002$
До сеанса, n (%)	14 (100)	14 (100)	14 (100)
После сеанса, n (%)	7 (50)	9 (64)	4 (29)

ВНО — высокопоточная назальная оксигенотерапия; НИВЛШ — неинвазивная вентиляция легких с помощью шлема; НИМВЛ — неинвазивная масочная вентиляция легких.

Осложнений и отказов от выполнения процедур со стороны пациентов не зафиксировано.

Обсуждение

Полученные нами результаты показали, что применяемые методы неинвазивной респираторной поддержки (НИМВЛ, ВНО и НИВЛШ) обеспечивают существенное улучшение показателей газообмена. Значительно и достоверно повышались насыщение крови кислородом по данным пульсоксиметрии, парциальное давление кислорода в артериальной крови и показатель P/F , снижалась фракция внутрилегочного шунта.

НИМВЛ и НИВЛШ по сравнению с ВНО продемонстрировали наибольшую эффективность за счет положительного давления, создаваемого в дыхательных путях, как на вдохе, так и на выдохе. Важно, что, в отличие от ВНО, после прекращения одночасового сеанса НИВЛ с помощью шлема или маски наблюдается «остаточный эффект» и сохраняется улучшение показателей газообмена. Это можно объяснить расправлением микроателектазов и уменьшением участков гиповентиляции в легких под воздействием режима двухуровневого давления, который применяли в группах НИМВЛ и НИВЛШ. Данный факт считаем основанием для рекомендации использовать короткие сеансы неинвазивной вентиляции с положительным давлением в дыхательных путях в качестве метода респираторной реабилитации у пациентов с постэкстубационной ДН. Полученное заключение также подтверждает значительное сокращение доли пациентов с низким P/F после окончания НИВЛ. Однократный одночасовой сеанс способствует снижению количества пациентов с $P/F < 300$: в группе

с применением ВНО — в 1,6 раза, в группах с применением маски и шлема — в 2 и 3,5 раза соответственно.

При использовании шлема и маски мы отталкивались от стартовых параметров вентиляции, которые затем оптимизировали в процессе индивидуального подбора. Стоит обратить внимание, что качество проведения НИВЛ зависит от правильно подобранных параметров вентиляции, здесь важно учитывать, что при использовании шлема следует не забывать о дополнительном вентилируемом объеме мертвого пространства внутри него. Уровень инспираторного давления на вдохе и положительное давление конца выдоха необходимо устанавливать на более высоком уровне, чем при использовании маски. Это позволяет достичь оптимальных показателей ОФЛ и избежать повышения $PaCO_2$, которое может наблюдаться ввиду повторного вдыхания CO_2 пациентом во время НИВЛ [17].

Известно, что любое кардиохирургическое вмешательство влечет за собой нарушение функции дыхания. Среди факторов, способствующих снижению ОФЛ у кардиохирургических пациентов в раннем послеоперационном периоде, можно выделить следующие: механическую травму легких, респираторный дистресс-синдром, одностороннюю вентиляцию легких, микроателектазирование, применение искусственного кровообращения, переливание компонентов крови на фоне массивной кровопотери, ХОБЛ, бронхиальную астму, хронический бронхит, сочетание нескольких факторов. Это приводит к значительному снижению дыхательного объема легких, нарушению эвакуации мокроты и увеличению внутрилегочного шунтирования крови (венозной примеси). Основным итогом этих изменений является формирование ателектазов, усиление работы дыхания, нарушение газообмена, что повышает риск повторной интубации трахеи [18, 19].

Однако выделить ведущий фактор, приводящий к снижению ОФЛ у кардиохирургических пациентов в раннем послеоперационном периоде, затруднительно, и зачастую стоит рассматривать данное осложнение как результат многофакторного воздействия.

Неинвазивная масочная вентиляция легких, осуществляемая в виде двухуровневого положительного давления в дыхательных путях (BiPAP), часто используется у пациентов с гипоксемией после кардиоторакальных операций [20, 21].

Высокопоточная назальная кислородная терапия все чаще используется для улучшения оксигенации из-за простоты ее осуществления, лучшей переносимости и клинической эффективности [22]. Основными эффектами высокопоточной оксигенотерапии являются элиминация CO₂, снижение числа ателектазированных альвеол за счет создания в них положительного давления и улучшение мукоцилиарного клиренса [23, 24].

Одним из быстро развивающихся направлений в респираторной поддержке является вентиляция с помощью шлема, имеющая ряд преимуществ по сравнению с НИМВЛ. Среди выраженных преимуществ следует указать обеспечение герметизма дыхательного контура и отсутствие повреждающего воздействия на кожный покров лица и роговицу глаза [25, 26]. При применении высокопоточной оксигенотерапии пациент должен держать рот закрытым, иначе данная процедура будет неэффективна в связи с большой утечкой. НИМВЛ при длительном применении влечет за собой травмирование кожного покрова, поэтому важно проверять места плотного контакта маски с кожей на предмет появления мацерации или трещин, проводить ротацию используемых девайсов для дальнейшего проведения НИМВЛ (носовые, полнолицевые маски или шлем). При коротких сеансах пациенты обычно хорошо переносят неинвазивную респираторную поддержку, возможность травматизации кожного покрова лица практически исключена, что показали результаты нашего исследования.

Таким образом, проведенное исследование продемонстрировало положительное влияние изучаемых методов НИМВЛ на ОФЛ у пациентов с умеренной или легкой степенью послеоперационной ДН. Мы, как и другие исследователи, показали, что клиническая эффективность неинвазивной масочной вентиляции легких и неинвазивной вентиляции легких с помощью шлема способствует тренировке дыхательной мускулатуры, а также уменьшению фракции венозной примеси в легких [27–30]. Сохраняющееся после применения этих методов улучшение ОФЛ позволяет рекомендовать их для проведения послеоперационной респираторной реабилитации пациентов.

Ограничения исследования

В данной работе мы оценили влияние на ОФЛ однократного одночасового сеанса различных мето-

дов неинвазивной респираторной поддержки у кардиохирургических пациентов с умеренной степенью послеоперационной ДН. Необходимы дальнейшие исследования клинической эффективности представленных методов с оценкой числа повторных интубаций, длительности госпитализации пациентов и исходом лечения.

Заключение

При легкой и средней степени дыхательной недостаточности, возникающей в раннем послеоперационном периоде у кардиохирургических больных, проведение неинвазивной респираторной поддержки значительно улучшает показатели оксигенирующей функции легких как во время проведения сеанса, так и после его окончания.

Неинвазивная вентиляция легких через шлем или маску по сравнению с высокопоточной оксигенотерапией более эффективно улучшает показатели оксигенации, что может быть связано с дополнительным эффектом создаваемого ими положительного давления на вдохе и выдохе.

Для проведения респираторной реабилитации с помощью шлема требуется более высокий уровень поддержки в связи с наличием внутри него дополнительного вентилируемого пространства.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Disclosure. The authors declare that they have no competing interests.

Вклад авторов. Все авторы в равной степени участвовали в разработке концепции статьи, получении и анализе фактических данных, написании и редактировании текста статьи, проверке и утверждении текста статьи.

Author contribution. All authors according to the ICMJE criteria participated in the development of the concept of the article, obtaining and analyzing factual data, writing and editing the text of the article, checking and approving the text of the article.

Этическое утверждение. Проведение исследования было одобрено локальным этическим комитетом ФГБНУ РНЦХ им. акад. Б.В. Петровского, протокол № 6 от 18/02/2021.

Ethics approval. This study was approved by the local Ethical Committee of Petrovsky National Research Centre of Surgery (reference number: 6-18.02.2021).

Информация о финансировании. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Декларация о наличии данных. Данные, подтверждающие выводы этого исследования, можно получить по запросу у корреспондирующего автора. Данные не являются общедоступными, так как они содержат информацию, которая может поставить под угрозу конфиденциальность участников исследования.

Data Availability Statement. The data that support the findings of this study are available on request from

the corresponding author. The data are not publicly available due to their containing information that could compromise the privacy of research participants.

Регистрация исследования. Исследование зарегистрировано в международной базе <https://clinicaltrials.gov>, номер исследования NCT04787666.

Registration of the study. The study was registered in the international database <https://clinicaltrials.gov>, study number NCT04787666.

ORCID авторов:

Еременко А.А. — 0000-0001-5809-85-63

Фомина Д.В. — 0000-0002-3694-9328

Комнов Р.Д. — 0000-0002-1128-362X

Сорокина Л.С. — 0000-0001-5809-8563

Урбанов А.В. — 0000-0002-6859-041X

Литература/References

[1] Баутин А.Е., Кашерининов И.Ю., Лалетин Д.А. и др. Распространенность и структура острой дыхательной недостаточности в раннем послеоперационном периоде кардиохирургических вмешательств. Вестник интенсивной терапии. 2016; 4: 19–26. [Bautin A.E., Kasherininov I. Yu., Laletin D.A. et al. Prevalence and causes of the postoperative acute respiratory failure in cardiac surgery. Vestnik intensivnoi terapii. 2016; 4: 19–26. (In Russ)]

[2] Stephens R.S., Shah A.S., Whitman G.J.R. Lung injury and acute respiratory distress syndrome after cardiac surgery. Ann Thorac Surg. 2013; 95(3): 1122–9. DOI: 10.1016/j.athoracsur.20120-10-024

[3] Mathis M.R., Duggal N.M., Likosky D.S., et al. Intraoperative Mechanical Ventilation and Postoperative Pulmonary Complications after Cardiac Surgery. Anesthesiology. 2019; 131: 1046–62. DOI: 10.1097/ALN.0000000000002909

[4] Navarra S.M., Congedo M.T., Pennisi M.A. Indications for Non-Invasive Ventilation in Respiratory Failure. Rev Recent Clin Trials. 2020; 15(4): 251–7. DOI: 10.2174/1574887115666200603151838

[5] Landoni G., Lomivorotov V., Silvetti S., et al. Nonsurgical Strategies to Reduce Mortality in Patients Undergoing Cardiac Surgery: An Updated Consensus Process. J Cardiothorac Vasc Anesth. 2018; 32(1): 225–35. DOI: 10.1053/j.jvca.2017-06-017

[6] 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. 2019; (6): 5–19. DOI: 10.17116/anaesthesiology20190615 [Yaroshetskiy A.I., Vlasenko A.V., Gritsan A.I., et al. Non-invasive respiratory support (the second edition) Clinical guidelines of the Federation of Anesthesiologists and Reanimatologists of Russia. Russian Journal of Anaesthesiology and Reanimatology. 2019; (6): 5–19. DOI: 10.17116/anaesthesiology20190615 (In Russ)]

[7] Lopes C.R., Brandão C.M., Nozawa E., et al. Benefits of non-invasive ventilation after extubation in the postoperative period of heart surgery. Rev Bras Cir Cardiovasc. 2008; 23(3): 344–50. DOI: 10.1590/s0102-76382008000300010

[8] Yourc'h M., Nicolet J., Volteau C., et al. High-Flow Therapy by Nasal Cannulae Versus High-Flow Face Mask in Severe Hypoxemia After Cardiac Surgery: A Single-Center Randomized Controlled Study-The HEART FLOW Study. J Cardiothorac Vasc Anesth. 2020; 34(1): 157–65. DOI: 10.1053/j.jvca.2019-05-039

[9] Jaber S., Michelet P., Chanques G. Role of non-invasive ventilation (NIV) in the perioperative period. Best Pract Res Clin Anaesthesiol. 2010; 24(2): 253–65. DOI: 10.1016/j.bpa.2010-02-007

[10] Beng Leong L., Wei Ming N., Wei Feng L. High flow nasal cannula oxygen versus noninvasive ventilation in adult acute respiratory failure: a systematic review of randomized-controlled trials. Eur J Emerg Med. 2019; 26(1): 9–18. DOI: 10.1097/MEJ.0000000000000557

[11] Zhu G., Huang Y., Wei D., et al. Efficacy and safety of noninvasive ventilation in patients after cardiothoracic surgery: A PRISMA-compliant systematic review and meta-analysis. Medicine (Baltimore). 2016; 95(38): 1–10. DOI: 10.1097/MD.0000000000004734

[12] Wang T., Yin H., Xu Q., et al. Use of a helmet for oxygen therapy in critically ill patients: a systematic review and meta-analysis. J Int Med Res. 2020; 48(2): 1–14. DOI: 10.1177/0300060520903209

[13] Grieco D.L., Menga L.S., Cesarano M., et al. COVID-ICU Gemelli Study Group. Effect of Helmet Noninvasive Ventilation vs High-Flow Nasal Oxygen on Days Free of Respiratory Support in Patients With COVID-19 and Moderate to Severe Hypoxemic Respiratory Failure: The HENIVOT Randomized Clinical Trial. JAMA. 2021; 325(17): 1731–43. DOI: 10.1001/jama.2021-4682

[14] Брусенцев О.Ю. Опыт использования шлема для неинвазивной вентиляции STARMED CASTAR UP у пациента с морбидным

- ожирением. Здравоохранение Югры: опыт и инновации. 2018; 3: 29–33. [Brusev O.Yu. Experience of using a helmet for noninvasive ventilation of STARMED CASTAR UP in a patient with morbid obesity. Zdravoohranenie Yugry: opyt i innovacii. 2018; 3: 29–33. (In Russ)]
- [15] Popowicz P., Leonard K. Noninvasive Ventilation and Oxygenation Strategies. *Surg Clin North Am.* 2022; 102(1): 149–57. DOI: 10.1016/j.suc.2021-09-012
- [16] Ferguson N.D., Fan E., Camporota L., et al. The Berlin definition of ARDS: an expanded rationale, justification, and supplementary material. *Intensive Care Med.* 2012; 38(10): 1731–2. DOI: 10.1007/s00134-012-2682-1
- [17] Mojoli F., Gerletti M., Lucarini C., et al. Carbon dioxide rebreathing during non-invasive ventilation delivered by helmet: a bench study. *Intensive care medicine.* 2008; 34(8): 1454–60. DOI: 10.1007/s00134-008-1109-5
- [18] Neligan P.J. Postoperative noninvasive ventilation. *Anesthesiol Clin.* 2012; 30(3): 495–511. DOI: 10.1016/j.anclin.2012-07-002
- [19] Landoni G., Zangrillo A., Cabrini L. Noninvasive ventilation after cardiac and thoracic surgery in adult patients: a review. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2012; 26(5): 917–22. DOI: 10.1053/j.jvca.2011-06-003
- [20] Richter R.P., Alten J.A., King R.W., et al. Positive Airway Pressure Versus High-Flow Nasal Cannula for Prevention of Extubation Failure in Infants After Congenital Heart Surgery. *Pediatr Crit Care Med.* 2019; 20(2): 149–57. DOI: 10.1097/PCC.0000000000001783
- [21] Попова К., Авдеев С., Неклюдова Г. Сравнение эффективности режимов неинвазивной вентиляции легких при декомпенсации хронической сердечной недостаточности. Пульмонология. 2009; (3): 37–42. DOI: 10.18093/0869-0189-2009-3-37-42 [Popova K., Avdeev S., Neklyudova G. Comparison of the effectiveness of noninvasive ventilation regimens in decompensation of chronic heart failure. *Russian Pulmonology Journal.* 2009; (3): 37–42. DOI: 10.18093/0869-0189-2009-3-37-42 (In Russ)]
- [22] Stéphan F., Barrucand B., Petit P., et al. BiPAP Study Group. High-Flow Nasal Oxygen vs Noninvasive Positive Airway Pressure in Hypoxemic Patients After Cardiothoracic Surgery: A Randomized Clinical Trial. *JAMA.* 2015; 313(23): 2331–9. DOI: 10.1001/jama.2015-5213
- [23] Lu Z., Chang W., Meng S.S., et al. Effect of high-flow nasal cannula oxygen therapy compared with conventional oxygen therapy in postoperative patients: a systematic review and meta-analysis. *BMJ Open.* 2019; 9(8): 1–10. DOI: 10.1136/bmjopen-2018-027523
- [24] Власенко А.В., Корякин А.Г., Евдокимов Е.А. Высокопоточная оксигенотерапия при лечении острой дыхательной недостаточности различного генеза: возможности и перспективы. Медицинский алфавит. 2017; 3(29): 16–26. [Vlasenko A.V., Koryakin A.G., Evdokimov E.A. High-flow oxygen therapy in the treatment of acute respiratory failure of various genesis: opportunities and prospects. *Medicinskij alfavit.* 2017; 3(29): 16–26. (In Russ)]
- [25] Maruccia M., Ruggieri M., Onesti M.G. Facial skin breakdown in patients with noninvasive ventilation devices: report of two cases and indications for treatment and prevention. *Int Wound J.* 2015; 12(4): 451–5. DOI: 10.1111/iwj.12135
- [26] Wei Y. The prevalence and risk factors of facial pressure injuries related to adult non-invasive ventilation equipment: A systematic review and meta-analysis. *Int Wound J.* 2022; 11(5): 21–36. DOI: 10.1111/iwj.13903
- [27] Olper L., Bignami E., Di Prima A.L., et al. Continuous Positive Airway Pressure Versus Oxygen Therapy in the Cardiac Surgical Ward: A Randomized Trial. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2017; 31(1): 115–21. DOI: 10.1053/j.jvca.2016-08-007
- [28] Yang Y., Sun L., Liu N., et al. Effects of Noninvasive Positive-Pressure Ventilation with Different Interfaces in Patients with Hypoxemia after Surgery for Stanford Type A Aortic Dissection. *Med Sci Monit.* 2015; 21: 2294–304. DOI: 10.12659/MSM.893956
- [29] Grieco D.L., Menga L.S., Cesarano M., et al. COVID-ICU Gemelli Study Group. Effect of Helmet Noninvasive Ventilation vs High-Flow Nasal Oxygen on Days Free of Respiratory Support in Patients With COVID-19 and Moderate to Severe Hypoxemic Respiratory Failure: The HENIVOT Randomized Clinical Trial. *JAMA.* 2021; 325(17): 1731–43. DOI: 10.1001/jama.2021-4682
- [30] Landoni G., Likhvantsev V., Kuzovlev A., et al. Perioperative Noninvasive Ventilation After Adult or Pediatric Surgery: A Comprehensive Review. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2022; 36(3): 785–93. DOI: 10.1053/j.jvca.2021-03-023