



Выбор методики ИВЛ при коррекции патологии митрального клапана из миниторакотомного доступа

Н. Н. ТОЛМАЧЕВА*, Т. А. ПШЕНИЧНЫЙ, Н. В. МЕНЬШИХ, А. В. ГОНЧАРОВА, Е. П. ЕВСЕЕВ, Э. В. БАЛАКИН, Я. А. АЙДАМИРОВ,
Б. А. АКСЕЛЬРОД

Российский научный центр хирургии им. акад. Б. В. Петровского, Москва, Российская Федерация

Поступила в редакцию 21.01.2025 г.; дата рецензирования 25.02.2025 г.

РЕЗЮМЕ

Введение. В последние годы все большее количество кардиохирургических операций выполняется малоинвазивным доступом. Однако вопрос оптимального варианта вентиляционной поддержки операций, выполняемых из миниторакотомии, до сих пор остается дискуссионным.

Цель – изучить возможность применения высокочастотной струйной вентиляции легких при проведении малоинвазивных операций на митральном клапане, выполняемых из правосторонней миниторакотомии, оценить ее эффективность и безопасность.

Материалы и методы. 80 пациентов разделили на группу, в которой проводили высокочастотную струйную вентиляцию легких (ВЧВ), и группу малообъемной вентиляции легких (МОВ). Показатели инвазивной гемодинамики, газовый состав артериальной крови и метаболические маркеры оценивали до операции, интраоперационно и в отделении реанимации. Проанализировали характер и частоту послеоперационных осложнений.

Результаты. В группе ВЧВ по сравнению с группой МОВ был статистически значимо выше уровень напряжения кислорода в артериальной крови (PaO_2) на 30-й мин после торакотомии – 307 (220–352) мм рт. ст. против 106 (90–127,5) мм рт. ст., $p < 0,001$ и на 30-й мин после окончания искусственного кровообращения (ИК) – 264 (188–323) мм рт.ст. против 147 (109,5–183,5) мм рт. ст., $p < 0,001$. Соотношение PaO_2 к FiO_2 в группе ВЧВ по сравнению с группой МОВ также было выше на этих этапах – 623 (450–714) против 214 (171,3–263,3), $p < 0,001$ и 534 (367–654) против 260 (200,5–358), $p < 0,001$. Количество пациентов с $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 \leq 200$ в группе ВЧВ по сравнению с группой МОВ было меньше – 2,5% против 32% до ИК и 5% против 25% после ИК.

Не обнаружено статистически значимой разницы между группами в количестве послеоперационных легочных осложнений, длительности искусственной вентиляции легких (ИВЛ) и пребывания в отделении реанимации и интенсивной терапии (ОРИТ).

Заключение. Применение высокочастотной струйной вентиляции легких при малоинвазивных операциях на митральном клапане сердца, выполняемых из правосторонней миниторакотомии, позволяет обеспечить адекватную оксигенацию, предупредить развитие гипоксемии и не приводит к увеличению количества послеоперационных осложнений.

Ключевые слова: искусственная вентиляция легких, высокочастотная вентиляция легких, кардиохирургия, малоинвазивные кардиохирургические вмешательства, анестезия у кардиохирургических больных

Для цитирования: Толмачева Н. Н., Пшеничный Т. А., Меньших Н. В., Гончарова А. В., Евсеев Е. П., Балакин Э. В., Айдамиров Я. А., Аксельрод Б. А. Выбор методики ИВЛ при коррекции патологии митрального клапана из миниторакотомного доступа // Вестник анестезиологии и реаниматологии. – 2025. – Т. 22, № 3. – С. 6–15. <https://doi.org/10.24884/2078-5658-2025-22-3-6-15>.

Choice of an artificial lung ventilation technique for the correction of mitral valve pathology from a mini-thoracotomy approach

NADEZHDA N. TOLMACHEVA*, TIMOFEY A. PSHENICHNYY, NADEZHDA V. MENSHIKH, AIEVTINA V. GONCHAROVA,
EVGENIY P. EVSEEV, EDGAR V. BALAKIN, YASHAR A. AIDAMIROV, BORIS A. AKSELROD

Petrovsky National Research Center of Surgery, Moscow, Russia

Received 21.01.2025; review date 25.02.2025

ABSTRACT

Background. In recent years, there has been a growing number of cardiac surgeries performed using minimally invasive techniques. However, there is still debate about the optimal ventilation support for these operations, which are performed through a mini-thoracotomy.

The objective was to study the possibility of using high-frequency jet ventilation during minimally invasive mitral valve surgery performed from right-sided mini-thoracotomy, to evaluate its effectiveness and safety.

Materials and methods. 80 patients were divided into two groups: one group received high-frequency jet ventilation (HFJV), and the other received low-volume ventilation (LVV). Before surgery, during surgery, and in the intensive care unit, invasive hemodynamic parameters, arterial blood gas composition, and metabolic markers were assessed. The nature and incidence of postoperative complications were also analyzed.

Results. In the HFJV group, compared to the LVV group, the level of oxygen tension in arterial blood (PaO_2) was significantly higher at 30 minutes after thoracotomy – 307 (220–352) mmHg versus 106 (90–127.5) mmHg, $p < 0.001$, and at 30 minutes after the end of cardiopulmonary bypass (CPB) – 264 (188–323) mmHg versus 147 (109.5–183.5) mmHg, $p < 0.001$. $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ was also higher in the HFJV group compared to the LVV group at these stages – 623 (450–714) versus 214 (171.3–263.3), $p < 0.001$ and 534 (367–654) versus 260 (200.5–358), $p < 0.001$. The number of patients with a $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ of 200 or lower in the HFJV group was significantly lower than in the LVV group – 2.5 % compared to 32 %, $p < 0.001$ before CPB and 5 % compared to 25 %, $p = 0.013$ after CPB.

There was no statistically significant difference between the groups in the number of postoperative pulmonary complications, as well as the duration of artificial lung ventilation (ALV) and stay in the intensive care unit (ICU).

Conclusions. The use of high-frequency jet ventilation during minimally invasive mitral valve surgery performed through right-sided mini-thoracotomy provides adequate oxygenation and prevents the development of hypoxemia. This technique does not increase the number of postoperative complications.

Keywords: artificial lung ventilation, high-frequency jet ventilation, cardiac surgery, minimally invasive cardiac surgery, cardiac anaesthesia

For citation: Tolmacheva N. N., Pshenichnyy T. A., Menshikh N. V., Goncharova A. V., Evseev E. P., Balakin E. V., Aidamirov Ya. A., Akselrod B. A. Choice of an artificial lung ventilation technique for the correction of mitral valve pathology from a mini-thoracotomy approach. *Messenger of Anesthesiology and Resuscitation*, 2025, Vol. 22, № 3, P. 6–15. (In Russ.). <https://doi.org/10.24884/2078-5658-2025-22-3-6-15>.

* Для корреспонденции:

Надежда Николаевна Толмачева
E-mail: nadezda.tolmachova@gmail.com

* Correspondence:

Nadezhda N. Tolmacheva
E-mail: nadezda.tolmachova@gmail.com

Введение

В настоящее время большинство операций на сердце традиционно выполняется через срединную стернотомию, которая может приводить к значительному количеству осложнений. В связи с этим в клиническую практику активно внедряются малоинвазивные кардиохирургические операции [27]. Преимуществом такого подхода является снижение объема кровопотери и гемотрансфузий, более ранняя активизация пациентов, уменьшение послеоперационной боли, уменьшение количества инфекционных осложнений, сокращение времени пребывания в ОРИТ и стационаре, большая удовлетворенность пациентов и лучший косметический эффект [10, 21, 23, 25].

Развитие хирургической техники позволяет выполнять все больше малоинвазивных операций для коррекции патологии митрального клапана (МК). Однако обеспечение такого рода вмешательств на МК представляет определенные трудности как для хирурга, так и для анестезиолога. При миниторакотомном доступе визуализация операционного поля в предперфузионный период ограничена, и ее обеспечение является непростой задачей. Существует несколько вариантов решения этой проблемы. Наибольшее распространение получило применение однологочной вентиляции легких (ОВЛ) [3, 7, 29]. Реже используют раннее начало ИК [15, 24], ИВЛ с периодическими паузами [28, 29] и высокочастотную вентиляцию легких (ВЧВ) [9]. Все указанные подходы имеют как преимущества, так и недостатки.

Выключение из вентиляции и коллабирование правого легкого при операциях из правосторонней миниторакотомии представляется наиболее логичным вариантом обеспечения хирургического доступа. Однако проведение ОВЛ нередко сопровождается развитием гипоксемии [6, 16, 30], которая особенно опасна у пациентов с патологией сердечно-сосудистой системы [2, 29]. Ателектазирование большого объема газообменной поверхности и развитие гипоксемии у этой группы пациентов приводит к увеличению легочного сосудистого сопротивления, нарастанию легочной гипертензии и прогрессированию дисфункции правого желудочка [2, 11]. ОВЛ требует интубации двухпросветной трубкой, которая требует специальных навыков и в ряде случаев может быть затруднена и приводить к серьезным осложнениям [29]. Редким, но опасным осложнением ОВЛ при малоинвазивных клапанных вмешательствах является односторонний отек легких или одностороннее легочное повреждение (Re-expansion Pulmonary Oedema / Unilateral lung injury after MICS) [17, 20]. Механизм развития этого тяжелого осложнения до конца не известен, но по данным литературы основными факторами являются механическое повреждение микрососудов

легких, реперфузионно-ишемические повреждения, сопровождающиеся образованием свободных радикалов и полиморфноядерных лейкоцитов, которые усугубляются синдромом системного воспалительного ответа, возникающим во время ИК [13, 31]. Частота развития подобного состояния не так велика (от 2,1 до 25%) [18], однако летальность, по данным разных авторов, составляет до 21% [14].

Недостатком раннего начала ИК сразу после торакотомии является значительное увеличение времени перфузии, что является предиктором роста послеоперационной смертности, количества послеоперационных осложнений и увеличения продолжительности госпитализации [26].

В некоторых центрах анестезиологи для обеспечения вентиляции при малоинвазивных кардиохирургических операциях из правосторонней миниторакотомии применяют малообъемную ИВЛ с интубацией однопросветной трубкой, используя периодически паузу ИВЛ с обеспечением пассивного выдоха на критически важных для визуализации этапах операции [19]. Однако при таком варианте в ряде случаев не удается обеспечить оптимальную визуализацию зоны операции и адекватную оксигенацию при частых паузах ИВЛ.

В малоинвазивной кардиохирургии ИБС также нашла применение высокочастотная ИВЛ [1, 9]. К недостаткам этой методики относится невозможность использовать ингаляционные анестетики, частое развитие гиперкапнии, риск развития баротравмы и ограничение ее использования при ХОБЛ и буллезной болезни легких. В настоящее время отсутствуют сведения о применении ВЧВ в малоинвазивной клапанной хирургии.

Проведенный нами анализ литературы показал, что в настоящее время нет единого мнения, какой вариант ИВЛ является оптимальным при малоинвазивных кардиохирургических вмешательствах, особенно при доступе через правостороннюю торакотомию. Гипотеза нашего исследования состоит в том, что ВЧВ позволит обеспечить оптимальную оксигенирующую функцию легких и визуализацию операционного поля при малоинвазивной коррекции клапанной патологии по сравнению с малообъемной ИВЛ.

Цель исследования – сравнить эффективность и безопасность искусственной вентиляции легких малыми объемами и струйной высокочастотной вентиляции легких при проведении малоинвазивных операций на митральном клапане, выполняемых из правосторонней миниторакотомии.

Материалы и методы

Было проведено ретро- и проспективное одноцентровое нерандомизированное контролируемое простое исследование на базе ФГБНУ «РНЦХ им. акад.

Б. В. Петровского». В исследование вошло 80 взрослых пациентов, которые были прооперированы с 2021 по 2024 гг. по поводу патологии митрального клапана из правосторонней миниторакотомии в условиях ИК. Все операции выполнялись одним хирургом.

Критерии включения пациентов в исследование: возраст старше 18 лет, кардиохирургические операции, выполняемые из правосторонней миниторакотомии по поводу изолированного и сочетанного поражения митрального клапана в условиях ИК, наличие подписанного пациентом информированного добровольного согласия.

Критерии невключения пациентов в исследование: возраст меньше 18 лет, критическая сердечная недостаточность с ФВ < 30%, острый коронарный синдром, экстренный характер вмешательства, нестабильное состояние, буллезная болезнь легких, аллергическая реакция на пропофол или яичный белок в анамнезе, отказ пациента от участия в исследовании. Для анализа было сформировано две группы пациентов. При формировании проспективной группы проанализировано 43 пациента, исключено 2 (аллергия на яйца, тяжелая ХОБЛ с формированием булл). Впоследствии один пациент был исключен в связи с конверсией в стернотомию. В проспективной группе для визуализации зоны операции проводили высокочастотную вентиляцию легких (группа ВЧВ, $n = 40$). Вторая группа была ретроспективной, пациентам проводили ИВЛ малыми объемами (группа МОВ, $n = 40$).

Анестезиологическое обеспечение оперативного вмешательства. Вечером накануне вмешательства пациенты получали альпразолам 0,1 мг внутрь. За 30–40 мин до вмешательства вводили внутримышечно промедол и супрастин в качестве премедикации. Индукцию анестезии проводили с использованием мидазолама (0,02–0,03 мг/кг), пропофола (1–2 мг/кг) и фентанила (2,5–3,5 мкг/кг). Для миорелаксации использовали цисатракурий безилат в дозе 0,15 мг/кг. Все пациенты были интубированы однопросветной трубкой. Для поддержания анестезии применяли инфузию фентанила в дозе 3 мкг/кг в час, ингаляцию севофлурана в дозе, соответствующей 0,8–1,1 МАС, миорелаксацию поддерживали инфузией цисатракурия в дозе 0,06 мг/кг в час. В группе ВЧВ для обеспечения гипнотического компонента проводили инфузию пропофола в дозе 4–5 мг/кг в час. Во время ИК в обеих группах проводили инфузию пропофола в этой же дозировке.

Искусственная вентиляция легких. ИВЛ проводили при помощи наркозно-дыхательного аппарата Primus (Dräger, Германия). В группе ВЧВ до этапа торакотомии проводили ИВЛ с контролем по объему. Применяли следующие параметры вентиляции: дыхательный объем 4–6 мл/кг идеальной массы тела (ИМТ), минутную вентиляцию регулировали, ориентируясь на конечно-экспираторное содержание CO_2 для поддержания нормокапнии. После торакотомии начинали проведение ВЧВ. Во время

пережатия аорты ВЧВ прекращали, но поддерживали постоянное положительное давление в дыхательных путях 5 см H_2O . После снятия зажима с аорты ВЧВ возобновляли и проводили вплоть до сведения ребер, после чего начинали проведение традиционной ИВЛ, при необходимости выполняли маневр раскрытия альвеол (рекрутмент). Для проведения ВЧВ использовали аппарат ИВЛ высокочастотный струйный ИВЛ-ВЧ/100-«ЗисЛайн» (ООО фирма «Тритон-ЭлектроникС», г. Екатеринбург). Применяли следующие параметры вентиляции: МОД 10–18 л/мин, частота циклов 100–120/мин, которые регулировали в зависимости от конечно-экспираторного содержания CO_2 и качества визуализации операционного поля. Соотношение вдоха к выдоху 1:3 являлось заводской установкой. Фракция кислорода при инъекционной струйной вентиляции не регулируется и составляет, по данным производителей, около 50%. В данном аппарате реализована функция увлажнения и согревания дыхательной смеси.

В группе МОВ проводили протективную ИВЛ малыми дыхательными объемами из расчета 4 мл/кг ИМТ, РЕЕР 3–5 см H_2O вплоть до начала ИК с периодическими паузами ИВЛ и обеспечением пассивного выдоха по согласованию с хирургом, если это было необходимо. Во время пережатия аорты в контрольной группе поддерживали постоянное положительное давление в дыхательных путях 5–7 см H_2O . После сведения ребер проводили маневр рекрутмента, если это требовалось. Во время операции вентиляцию легких считали оптимальной при достижении респираторного индекса $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ 300 и более, а значение соотношения $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 \leq 200$ мы расценивали как случай интраоперационной гипоксемии, что соответствует гипоксемии средней тяжести согласно Берлинскому консенсусу 2012 г. [4].

В обеих группах проводили периферическое подключение ИК, для чего канюлировали правые бедренные артерию и вену. Использовали венозную канюлю Карпантье, которую позиционировали под контролем ЧП-ЭХО. Разрез осуществляли в 4-м межреберье, а зажим на аорту проводили через дополнительное отверстие во 2-м межреберье. Кардиоплегический раствор подавали антеградно, в обеих группах проводили холодовую кристаллоидно-кровяную кардиopleгию по методике Дель-Нидо.

В рамках исследования оценивали исходное состояние пациентов, течение интраоперационного и послеоперационного периодов. В исходе фиксировали параметры неинвазивной гемодинамики, такие как АД и ЧСС, данные пульсоксиметрии и церебральной оксиметрии. После индукции анестезии и катетеризации периферической артерии и центральной вены оценивали инвазивное АД, ЦВД, ЧСС, данные пульсоксиметрии и церебральной оксиметрии, параметры биомеханики дыхания и напряжение углекислого газа в выдыхаемом воздухе, а также данные лабораторных исследований,

Таблица 1. Антропометрические и демографические данные обследованных больных
Table 1. Anthropometric and demographic characteristics of the examined patients

Параметр	Группа ВЧВ, <i>n</i> = 40	Группа МОВ, <i>n</i> = 40	Уровень значимости, <i>p</i>
Пол, <i>n</i> (%)	Мужской 26 (65) Женский 14 (35)	Мужской 24 (60) Женский 16 (40)	0,644
Возраст, лет	51,8 (± 13,9)	52,3 (± 12,4)	0,873
Рост, см	173,7 (± 10,2)	171,3 (± 9,3)	0,266
Вес, кг	74,0 (± 14,6)	77,1 (± 14,2)	0,343
ИМТ	24,2 (21,9–25,9)	25,1 (23,4–27,2)	0,158
Артериальная гипертензия, <i>n</i> (%)	16 (40)	17 (42,5)	0,821
ИБС, <i>n</i> (%)	1 (2,5)	2 (5)	0,557
Ожирение, <i>n</i> (%)	4 (10)	7 (17,5)	0,331
Сахарный диабет, <i>n</i> (%)	2 (5)	1 (2,5)	0,557
Фибрилляция предсердий, <i>n</i> (%)	11 (27,5)	9 (22,5)	0,606
Легочная гипертензия, <i>n</i> (%)	23 (57,5)	21 (52,5)	0,654

такие как напряжение кислорода и углекислого газа в артериальной и венозной крови, соотношение $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$, показатели кислотно-щелочного состояния артериальной и венозной крови, метаболические маркеры (лактат).

Этапы исследования. В обеих группах оценивали параметры при поступлении пациента в операционную, после преоксигенации в течение 5 мин 70% кислородом и после индукции анестезии. Интраоперационно анализировали данные на 10-й и 30-й мин после торакотомии до ИК (в группе ВЧВ это соответствовало 10-й и 30-й мин от начала ВЧВ), на 10-й и 30-й мин после окончания ИК, в конце операции, а также после операции при поступлении в ОРИТ. Для оценки течения интраоперационного периода использовали следующие клинические характеристики: длительность операции и ИВЛ в операционной, продолжительность периода ИК и время ишемии миокарда. В послеоперационном периоде оценивали длительность ИВЛ в ОРИТ, длительность нахождения в ОРИТ, а также частоту послеоперационных бронхолегочных осложнений (ателектазирование, формирование гидроторакса, пневмонии, трахеобронхита, необходимость в неинвазивной вентиляции легких) и госпитальную летальность. Для оценки безопасности метода изучали частоту послеоперационных легочных осложнений, длительность пребывания в ОРИТ и стационаре и госпитальную летальность. Первичной конечной точкой была частота случаев гипоксемии в доперфузионном и постперфузионном периоде. Вторичными конечными точками были количество легочных осложнений, длительность пребывания в ОРИТ, длительность пребывания в стационаре, госпитальная летальность.

Статистическая обработка данных. Для каждого исследуемого параметра проверили гипотезу о принадлежности выборки к нормальному закону распределения. Решение о нормальности распределения показателя принимали на основании критерия Шапиро – Уилка (Shapiro – Wilk test). В работе результаты сведены в таблицы с указанием описатель-

ных статистик для показателей. В зависимости от закона распределения результаты представлены или средним значением и среднеквадратичным отклонением ($M \pm \sigma$) или медианой и интерквартильным диапазоном (*Me* (25–75 перцентиль)). Качественные показатели представлены абсолютными значениями и частотой встречаемости (*n*, %). Для сравнения исследуемых (независимых) групп использовали *t*-критерий Стьюдента (Student's *t*-test), *U*-критерий Манна – Уитни (Mann – Whitney *U*-test), критерий χ^2 (chi-squared test) и точный критерий Фишера (Fisher's exact test). Уровень принятия решения о статистической значимости различий приняли равным 0,05. Для статистического анализа использовали статистический пакет программного обеспечения SPSS Statistics 27.

Исследование выполнено в соответствии с требованиями Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации в редакции 2013 г. Все пациенты проспективной группы подписывали до операции информированное добровольное согласие на участие в исследовании. Исследование одобрено локальным этическим комитетом (протокол заседания ЛЭК № 10 от 16.12.2022 г.).

Результаты

При анализе данных не отмечено различий в антропометрических параметрах между пациентами сравниваемых групп (табл. 1). Также не было различий в типе выполняемых оперативных вмешательств.

Длительность ИК, время пережатия аорты, длительность операции и общая продолжительность анестезии не различались между группами (табл. 2).

За весь период интраоперационного наблюдения не выявлено различий в уровне артериального давления, частоте сердечных сокращений между группами. Напряжение кислорода в артериальной крови было выше в группе ВЧВ по сравнению с группой МОВ на 30-й мин после торакотомии и на 30-й мин после окончания ИК (табл. 3).

Таблица 2. Интраоперационный период
Table 2. Intraoperative period

Параметр	Группа ВЧВ, $n = 40$	Группа МОВ, $n = 40$	Уровень значимости, p
Длительность операции, мин	220 (211–240,3)	226,5 (202,5–257,5)	0,476
Длительность ИК, мин	99 (84,8–114,3)	105 (82,5–123,5)	0,342
Длительность ИМ, мин	78 (66–90)	76,5 (68–100)	0,456
Длительность ИВЛ в опер, мин	175 (157,5–188)	180,5 (170–199)	0,053

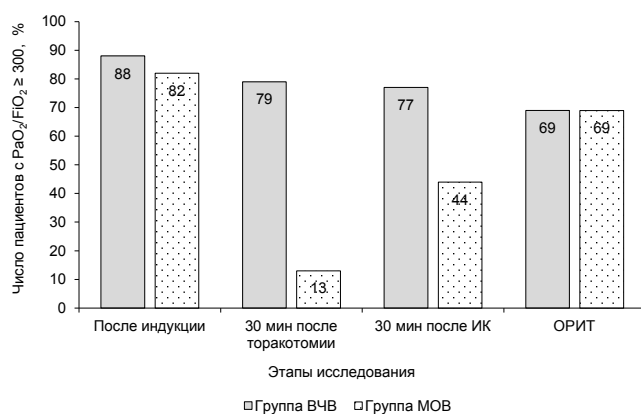
Примечание: ИМ – ишемия миокарда, соответствует времени пережатия аорты.

Таблица 3. Показатели напряжения кислорода в артериальной крови (PaO_2 , мм рт. ст.) на этапах исследования
Table 3. Parameters of oxygen tension in arterial blood (PaO_2 , mmHg) on the stages of the study

Параметр	Группа ВЧВ, $n = 40$	Группа МОВ, $n = 40$	Уровень значимости, p
PaO_2 после индукции	189,1 ($\pm 50,6$)	188,1 ($\pm 43,5$)	0,919
PaO_2 30 мин после торакотомии	307 (220–352)	106 (90–127,5)	$< 0,001$
PaO_2 30 мин после ИК	264 (188–323)	147 (109,5–183,5)	$< 0,001$
PaO_2 в ОРИТ	126,4 ($\pm 30,6$)	138,5 ($\pm 37,2$)	0,12

Таблица 4. Значение отношения $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ на этапах исследования
Table 4. The value of the $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ ratio on the stages of the study

Параметр	Группа ВЧВ, $n = 40$	Группа МОВ, $n = 40$	Уровень значимости, p
$\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ после индукции	424,5 ($\pm 93,9$)	404,5 ($\pm 96,6$)	0,349
$\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ 30 мин после торакотомии	623 (450–714)	214 (171,3–263,3)	$< 0,001$
$\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ 30 мин после ИК	534 (367–654)	260 (200,5–358)	$< 0,001$
$\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ в ОРИТ	351,2 ($\pm 81,6$)	339,9 ($\pm 90,9$)	0,563



Количество пациентов, достигших $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 \geq 300$ на этапах исследования
Number of patients who have $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 \geq 300$ on the stages of the study

Отношение $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ также было выше в группе ВЧВ по сравнению с группой МОВ на этих же этапах исследования (табл. 4).

Распределение пациентов в группах в зависимости от достижения целевого уровня $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ представлено на рисунке. Частота оптимальной вентиляции легких, определяемой по достижению соотношения $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 \geq 300$, статистически значимо не отличалась в группе ВЧВ по сравнению с группой МОВ на этапе индукции и при поступлении в ОРИТ. На этапах 30 мин после торакотомии и 30 мин после ИК целевое значение $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ в группе ВЧВ достигалось чаще, чем в группе МОВ.

Количество пациентов с $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 \leq 200$ в группе ВЧВ было значительно меньше по сравнению с

группой МОВ. В доперфузионном периоде значение соотношения $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 \leq 200$ в группе МОВ было достигнуто у 32% пациентов, тогда как в группе ВЧВ – у 2,5% ($p < 0,001$), в постперфузионном периоде – у 25% в группе МОВ и у 5% в группе ВЧВ ($p = 0,013$). При поступлении в ОРИТ в группе ВЧВ пациентов с $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 \leq 200$ не было, а в группе МОВ был один пациент (0 и 2,5% соответственно, $p = 0,315$).

Напряжение углекислого газа артериальной крови в исходе не различалось между группами, а на этапах 30 мин после торакотомии и 30 мин после ИК в группе ВЧВ было выше по сравнению с группой МОВ. В группе ВЧВ были ниже значения pH в артериальной крови на этих же этапах. В ОРИТ не было выявлено различий в показателях PaCO_2 и pHa (табл. 5, 6).

Уровень лактата артериальной крови в обеих группах оставался в пределах референсных значений на всех этапах исследования. Однако обращает на себя внимание, что на 30-й мин после ИК в группе ВЧВ по сравнению с группой МОВ он был ниже – 1,4 (1,1–1,78) ммоль/л против 1,8 (1,33–2,45) ммоль/л, $p = 0,01$. Эта же тенденция сохранялась и при поступлении в ОРИТ – уровень лактата в группе ВЧВ был 1,4 (1,05–2,1) ммоль/л, а в группе МОВ 1,9 (1,35–2,55) ммоль/л, $p = 0,019$.

Удовлетворенность визуализацией операционного поля хирурга оценивали по 10-балльной шкале, где 10 баллов соответствовало идеальной визуализации сердца, а 0 баллов – отсутствию визуализации. В группе ВЧВ она составила в среднем $7,83 \pm 0,98$ баллов, тогда как в группе МОВ – $5,98 \pm 0,83$ баллов, $p < 0,001$.

Таблица 5. Показатели напряжения углекислого газа в артериальной крови (PaCO₂, мм рт. ст.) на этапах исследования

Table 5. Parameters of carbon dioxide tension in arterial blood (PaCO₂, mmHg) on the stages of the study

Параметр	Группа ВЧВ, n = 40	Группа МОВ, n = 40	Уровень значимости, p
PaCO ₂ после индукции	36 (34–39)	36 (34–38)	0,708
PaCO ₂ 30 мин после торакотомии	47,5 (38–54)	42 (38,3–44)	0,016
PaCO ₂ 30 мин после ИК	48 (39–54)	40 (35,5–43)	< 0,001
PaCO ₂ в ОРИТ	38,2 ± 3,8	38,7 ± 5,6	0,6073

Таблица 6. Уровень pH в артериальной крови на этапах исследования

Table 6. Arterial blood pH on the stages of the study

Параметр	Группа ВЧВ, n = 40	Группа МОВ, n = 40	Уровень значимости, p
pH после индукции	7,43 (7,39–7,44)	7,43 (7,40–7,46)	0,666
pH 30 мин после торакотомии	7,34 (7,29–7,37)	7,38 (7,34–7,41)	0,006
pH ВЧВ 30 мин после ИК	7,35 ± 0,07	7,39 ± 0,041	< 0,001
pH в ОРИТ	7,44 (7,41–7,46)	7,44 (7,40–7,46)	0,417

Таблица 7. Течение послеоперационного периода

Table 7. The course of the postoperative period

Осложнение	Группа ВЧВ, N (%)	Группа МОВ, N (%)	Уровень значимости p
Снижение оксигенирующей функции легких в ОРИТ	0	1 (2,5%)	0,494
Ателектазы субсегментарные	31 (75,6%)	33 (82,5%)	0,449
Гидроторакс	2 (4,9%)	0	0,494
Гидроторакс незначительный	29 (70,7%)	20 (50,0%)	0,058
Пневмоторакс	6 (14,6%)	8 (20,0%)	0,526
Пневмония	2 (4,9%)	0	0,494
Трахеобронхит	0	0	–
Неинвазивная ВЛ	0	0	–
Длительность ИВЛ в ОРИТ > 6 часов	13 (31,7%)	18 (45,0%)	0,221
Гнойно-септические осложнения	0	0	–

Длительность ИВЛ после операции (4 (4–6) часов против 5 (4–7) часов, $p = 0,221$) и время пребывания в ОРИТ (18 (17–22) часов против 17 (15–21) часов, $p = 0,423$) между группами не различались. Количество пациентов со снижением оксигенирующей функции легких в ОРИТ, послеоперационными легочными осложнениями, продленной ИВЛ (длительность ИВЛ в ОРИТ > 6 часов) не различались между группами. Потребности в неинвазивной масочной вентиляции легких не было ни в одной группе. Летальных исходов не было (табл. 7).

Обсуждение

Результаты проведенного нами исследования показали, что ВЧВ имеет ряд преимуществ по сравнению с группой МОВ. По исходному состоянию оксигенирующей функции легких группы пациентов не различались. Однако после торакотомии на 30-й мин в группе ВЧВ было выше PaO₂ (307 [220–325] мм рт. ст. против 106 [90–127,5] мм рт. ст.; $p < 0,001$) и отношение PaO₂/FiO₂ (623 [450–714] против 214 [171,3–263,3]; $p < 0,001$). Применение малых дыхательных объемов с минимальным ПДКВ, периодические паузы ИВЛ для обеспечения доступа к сердцу в группе МОВ неизбежно приводят к снижению оксигенирующей

способности легких. В группе ВЧВ на этом этапе, напротив, отмечается увеличение показателей ОФЛ по сравнению с исходом, что обусловлено высокой оксигенирующей способностью высокочастотной струйной вентиляции. Аналогичная картина наблюдалась и после ИК. Напряжение углекислого газа в артериальной крови в исходе не различалось между группами, однако на тех же этапах исследования было выше в группе ВЧВ по сравнению с группой МОВ. J. Ender et al. (2010) получили схожие результаты при сравнении двулегочной ВЧВ с ОВЛ при проведении малоинвазивных операций коронарного шунтирования и считают ВЧВ возможной альтернативой ОВЛ при этих вмешательствах [9]. По данным авторов, в группе ВЧВ по сравнению с группой ОВЛ было значимо выше напряжение кислорода в артериальной крови на 5-й и 15-й мин, а уровень PaCO₂ был значимо выше в группе ВЧВ на 5-й мин исследования и сохранялся в течение 60 мин вентиляции. M. Buise et al. (2009), напротив, получили более высокие значения PaCO₂ в группе ОВЛ по сравнению с ВЧВ при выполнении эзофагоэктомии из правосторонней торакотомии [5]. Авторы сообщают, что в обеих группах была обеспечена адекватная оксигенация, не было разницы в послеоперационных легочных осложнениях, и считают ВЧВ безопасной и адекватной методикой ИВЛ при

выполнении эзофагоэктомии. В нашем исследовании умеренная гиперкапния в группе ВЧВ оставалась в рамках пермиссивной, не имела каких-либо негативных последствий и приходила к нормальным значениям уже к концу операции – 41 (37–45,5). Уровень PaCO_2 при поступлении в ОРИТ не различался между группами.

Оптимальным уровнем, характеризующим поддержание адекватной оксигенирующей функции легких, мы считали значение $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ 300 мм рт. ст. и выше. В группе ВЧВ это значение достигалось чаще: до ИК у 79% пациентов в группе ВЧВ против 13% в группе МОВ ($p < 0,001$) и после ИК 77% против 44% соответственно ($p = 0,003$). Количество пациентов с $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 \leq 200$, что было нами определено как случай интраоперационной гипоксемии, в группе ВЧВ было значимо меньше по сравнению с группой МОВ. В доперфузионном периоде значение соотношения $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 \leq 200$ в группе МОВ было достигнуто у 32% пациентов, тогда как в группе ВЧВ – у 2,5% ($p < 0,001$), в постперфузионном периоде – у 25% в группе МОВ и у 5% в группе ВЧВ ($p = 0,013$). Это подтверждает эффективность ВЧВ в предотвращении гипоксемии при данном типе кардиохирургических вмешательств.

После поступления в ОРИТ в показателях оксигенирующей функции легких различий между группами выявлено не было. Обращает на себя внимание, что уровень лактата в артериальной крови после ИК в группе ВЧВ был ниже по сравнению с группой МОВ – 1,4 (1,1–1,78) ммоль/л против 1,8 (1,33–2,42) соответственно, $p = 0,01$. Это преимущество сохранялось и в ОРИТ – 1,4 (1,05–2,1) в группе ВЧВ против 1,9 (1,35–2,55) в группе МОВ ($p = 0,019$).

С точки зрения визуализации операционного поля в нашем исследовании хирурги отдавали предпочтение высокочастотной вентиляции легких как более комфортной. Однако нет однозначной оценки качества визуализации поля во время ВЧВ при данном типе операций. Н. Misiolek et al. (2009) [22] не рекомендует ВЧВ при операциях из миниторакотомии из-за невозможности обеспечить адекватную визуализацию операционного поля, а J. Ender et al. (2010) [9] оценивает визуализацию операционного поля в группе ВЧВ как отличную и не выявил различий в комфорте хирурга между группами ОВЛ и ВЧВ при выполнении малоинвазивных операций коронарного шунтирования. А часть авторов отдает предпочтение ИВЛ малыми объемами при минито-

ракотомном доступе даже в сравнении с ОВЛ. Так, О. Sen et al. (2020) считают прерывистую двулегочную ИВЛ осуществимой и безопасной альтернативой ОВЛ при роботизированных кардиологических процедурах и отмечает, что она обеспечивает хорошую визуализацию для хирурга, позволяет уменьшить среднее время анестезии, продолжительность вентиляции, пребывания в ОРИТ и в стационаре, а также предотвращает развитие одностороннего отека легких [28]. А Н. Y. Kim et al. (2016) [19] показали, что интубация однопросветной трубкой с прерывистой ИВЛ малыми объемами (4–6 мл/кг ИМТ) может быть применима для поддержания протокола fast track в малоинвазивной кардиохирургии, так как не имеет неблагоприятных послеоперационных эффектов, уменьшает длительность анестезии и хирургического вмешательства, а также время от начала анестезии до кожного разреза по сравнению с ОВЛ.

Течение послеоперационного периода и количество осложнений у пациентов в нашем исследовании не различалось между группами. Это может свидетельствовать о безопасности проведения ВЧВ. К недостаткам методики ВЧВ можно отнести возникающую у части пациентов гипероксию, однако нужно отметить, что ее период был кратковременным. Возможным направлением для решения данной проблемы можно рассмотреть применение неинжекционного варианта ВЧВ с регулируемой фракцией кислорода дыхательной смеси.

Ограничениями нашего исследования были его ретро-проспективный характер, малый объем выборки, отсутствие сравнения с другими методами обеспечения визуализации хирургического поля (ОВЛ и раннее начало ИК).

Выводы

1. Применение высокочастотной струйной вентиляции легких при малоинвазивных операциях на сердце, выполняемых из правосторонней миниторакотомии, позволяет обеспечить адекватную оксигенацию, предупредить развитие гипоксемии, создать условия хорошей визуализации операционного поля для хирургической бригады и не приводит к увеличению количества послеоперационных осложнений.

2. По сравнению с методикой малообъемной ИВЛ высокочастотная струйная вентиляция легких обеспечивает лучшие показатели газообмена и сопровождается меньшим уровнем накопления лактата.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов.

Conflict of Interests. The authors declare that they have no conflict of interests.

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

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аксельрод Б. А., Пшеничный Т. А., Толмачева Н. Н. и др. Применение высокочастотной вентиляции легких при коронарном шунтировании с использованием миниторакотомического доступа // Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия. – 2022. – Т. 15, № 4. – С. 377–384. <https://doi.org/10.17116/kardio202215041377>.
2. Выжигина М. А., Мизиков В. М., Сандриков В. А. и др. Современные особенности респираторного обеспечения в торакальной хирургии. Традиционные проблемы и инновационные решения (опыт более 2 тыс. анестезий) // Анестезиология и реаниматология. – 2013. – № 2. – С. 34–41.
3. Кричевский Л. А., Семенчев Н. В., Магилевец А. И. и др. Анестезиологическое обеспечение миниинвазивных операций на клапанах сердца // Общая реаниматология. – 2013. – Т. 9, № 3. – С. 48–53. <https://doi.org/10.15360/1813-9779-2013-3-48>.
4. ARDS Definition Task Force; Ranieri V. M., Rubenfeld G. D. et al. Acute respiratory distress syndrome: the Berlin Definition // JAMA. – 2012. – Vol. 307, № 23. – P. 2526–33. <https://doi.org/10.1001/jama.2012.5669>. PMID: 22797452.
5. Buise M., van Bommel J., van Genderen M. et al. Two-lung high-frequency jet ventilation as an alternative ventilation technique during transthoracic esophagectomy // J Cardiothorac Vasc Anesth. – 2009. – Vol. 23, № 4. – P. 509–512. <https://doi.org/10.1053/j.jvca.2008.12.025>.
6. Campos J. H., Feider A. Hypoxia during one-lung ventilation—a review and update // J Cardiothorac Vasc Anesth. – 2018. – Vol. 32, № 5. – P. 2330–2338. <https://doi.org/10.1053/j.jvca.2017.12.026>.
7. Ding C., Wang C., Dong A. et al. Anterolateral minithoracotomy versus median sternotomy for the treatment of congenital heart defects: a meta-analysis and systematic review // J Cardiothorac Surg. – 2012. – Vol. 7. – P. 43. <https://doi.org/10.1186/1749-8090-7-43>.
8. Elkassabany N., Garcia F., Tschabrunn C. et al. Anesthetic management of patients undergoing pulmonary vein isolation for treatment of atrial fibrillation using high-frequency jet ventilation // J Cardiothorac Vasc Anesth. – 2012. – Vol. 26, № 3. – P. 433–438. <https://doi.org/10.1053/j.jvca.2011.11.011>.
9. Ender J., Brodowsky M., Falk V. et al. High-frequency jet ventilation as an alternative method compared to conventional one-lung ventilation using double-lumen tubes during minimally invasive coronary artery bypass graft surgery // J Cardiothorac Vasc Anesth. – 2010. – Vol. 24, № 4. – P. 602–607. <https://doi.org/10.1053/j.jvca.2009.10.029>.
10. Falk V., Cheng D. C., Martin J. et al. Minimally invasive versus open mitral valve surgery: a consensus statement of the international society of minimally invasive coronary surgery (ISMICS) 2010. – Innovations (Phila). – 2011. – Vol. 6, № 2. – P. 66–76. <https://doi.org/10.1097/IMI.0b013e318216be5c>.
11. Ganapathy S. Anaesthesia for minimally invasive cardiac surgery // Best Pract Res Clin Anaesthesiol. – 2002. – Vol. 16, № 1. – P. 63–80. <https://doi.org/10.1053/bean.2001.0208>.
12. Goode J. S. Jr., Taylor R. L., Buffington C. W. et al. High-frequency jet ventilation: utility in posterior left atrial catheter ablation // Heart Rhythm. – 2006. – Vol. 3, № 1. – P. 13–19. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2005.09.013>.
13. Inoue K., Hiraoka A., Chikazawa G. et al. Preventive strategy for reexpansion pulmonary edema after minimally invasive cardiac surgery // Ann Thorac Surg. – 2020. – Vol. 109, № 5. – e375–e377. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsurg.2019.10.073>.
14. Irisawa Y., Hiraoka A., Totsugawa T. et al. Re-expansion pulmonary oedema after minimally invasive cardiac surgery with right mini-thoracotomy // Eur J Cardiothorac Surg. – 2016. – Vol. 49, № 2. – P. 500–505. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezv089>.
15. Ito T. Minimally invasive mitral valve surgery through right mini-thoracotomy: recommendations for good exposure, stable cardiopulmonary bypass, and secure myocardial protection // Gen Thorac Cardiovasc Surg. – 2015. – Vol. 63, № 7. – P. 371–378. <https://doi.org/10.1007/s11748-015-0541-z>.
16. Karzai W., Schwarzkopf K. Hypoxemia during one-lung ventilation: prediction, prevention, and treatment // Anesthesiology. – 2009. – Vol. 110, № 6. – P. 1402–1411. <https://doi.org/10.1097/ALN.0b013e31819fb15d>.
17. Keyl C., Staier K., Pingpoh C. et al. Unilateral pulmonary oedema after minimally invasive cardiac surgery via right anterolateral minithoracotomy // Eur J Cardiothorac Surg. – 2015. – Vol. 47, № 6. – P. 1097–102. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezu312>.
18. Keyl C., Siepe M. Unilateral lung injury after minimally invasive cardiac surgery: more questions than answers // Eur J Cardiothorac Surg. – 2014. – Vol. 9, № 2. – P. 505–506. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezv130>.
19. Kim H. Y., Baek S. H., Je H. G. et al. Comparison of the single-lumen endotracheal tube and double-lumen endobronchial tube used in minimally invasive

REFERENCES

1. Akselrod B. A., Pshenichnyy T. A., Tolmacheva N. N. et al. High-frequency ventilation in minimally invasive coronary artery bypass surgery. *Russian Journal of Cardiology and Cardiovascular Surgery*, 2022, vol. 15, no. 4, pp. 377–384. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/kardio202215041377>.
2. Vyzhigina M. A., Mizikov V. M., Sandrikov V. A. et al. Respiratory support in anaesthetic management for thoracic surgery and their comparative characteristics: over 2000 anaesthesia experience. *Russian Journal of Anaesthesiology and Reanimatology*, 2013, no. 2, pp. 34–41. (In Russ.).
3. Krichevsky L. A., Semenychev N. V., Magilevets A. I. et al. Anaesthesia maintenance during mini-invasive cardiac valve surgery. *General Reanimatology*, 2013, vol. 9, no. 3, pp. 48. (In Russ.). <https://doi.org/10.15360/1813-9779-2013-3-48>.
4. ARDS Definition Task Force; Ranieri V. M., Rubenfeld G. D. et al. Acute respiratory distress syndrome: the Berlin Definition. *JAMA*, 2012, vol. 307, no. 23, pp. 2526–33. <https://doi.org/10.1001/jama.2012.5669>. PMID: 22797452.
5. Buise M., van Bommel J., van Genderen M. et al. Two-lung high-frequency jet ventilation as an alternative ventilation technique during transthoracic esophagectomy. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2009, vol. 23, no. 4, pp. 509–512. <https://doi.org/10.1053/j.jvca.2008.12.025>.
6. Campos J. H., Feider A. Hypoxia during one-lung ventilation—a review and update. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2018, vol. 32, no. 5, pp. 2330–2338. <https://doi.org/10.1053/j.jvca.2017.12.026>.
7. Ding C., Wang C., Dong A. et al. Anterolateral minithoracotomy versus median sternotomy for the treatment of congenital heart defects, vol. a meta-analysis and systematic review. *J Cardiothorac Surg*, 2012, vol. 7, pp. 43. <https://doi.org/10.1186/1749-8090-7-43>.
8. Elkassabany N., Garcia F., Tschabrunn C. et al. Anesthetic management of patients undergoing pulmonary vein isolation for treatment of atrial fibrillation using high-frequency jet ventilation. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2012, vol. 26, no. 3, pp. 433–438. <https://doi.org/10.1053/j.jvca.2011.11.011>.
9. Ender J., Brodowsky M., Falk V. et al. High-frequency jet ventilation as an alternative method compared to conventional one-lung ventilation using double-lumen tubes during minimally invasive coronary artery bypass graft surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2010, vol. 24, no. 4, pp. 602–607. <https://doi.org/10.1053/j.jvca.2009.10.029>.
10. Falk V., Cheng D. C., Martin J. et al. Minimally invasive versus open mitral valve surgery, vol. a consensus statement of the international society of minimally invasive coronary surgery, no. ISMICS) 2010. *Innovations (Phila)*, 2011, vol. 6, no. 2, pp. 66–76. <https://doi.org/10.1097/IMI.0b013e318216be5c>.
11. Ganapathy S. Anaesthesia for minimally invasive cardiac surgery. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol*, 2002, vol. 16, no. 1, pp. 63–80. <https://doi.org/10.1053/bean.2001.0208>.
12. Goode J. S. Jr., Taylor R. L., Buffington C. W. et al. High-frequency jet ventilation, vol. utility in posterior left atrial catheter ablation. *Heart Rhythm*, 2006, vol. 3, no. 1, pp. 13–19. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2005.09.013>.
13. Inoue K., Hiraoka A., Chikazawa G. et al. Preventive strategy for reexpansion pulmonary edema after minimally invasive cardiac surgery. *Ann Thorac Surg*, 2020, vol. 109, no. 5, pp. e375–e377. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsurg.2019.10.073>.
14. Irisawa Y., Hiraoka A., Totsugawa T. et al. Re-expansion pulmonary oedema after minimally invasive cardiac surgery with right mini-thoracotomy. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2016, vol. 49, no. 2, pp. 500–505. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezv089>.
15. Ito T. Minimally invasive mitral valve surgery through right mini-thoracotomy, vol. recommendations for good exposure, stable cardiopulmonary bypass, and secure myocardial protection. *Gen Thorac Cardiovasc Surg*, 2015, vol. 63, no. 7, pp. 371–378. <https://doi.org/10.1007/s11748-015-0541-z>.
16. Karzai W., Schwarzkopf K. Hypoxemia during one-lung ventilation, vol. prediction, prevention, and treatment. *Anesthesiology*, 2009, vol. 110, no. 6, pp. 1402–1411. <https://doi.org/10.1097/ALN.0b013e31819fb15d>.
17. Keyl C., Staier K., Pingpoh C. et al. Unilateral pulmonary oedema after minimally invasive cardiac surgery via right anterolateral minithoracotomy. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2015, vol. 47, no. 6, pp. 1097–102. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezu312>.
18. Keyl C., Siepe M. Unilateral lung injury after minimally invasive cardiac surgery, vol. more questions than answers. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2014, vol. 9, no. 2, pp. 505–506. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezv130>.
19. Kim H. Y., Baek S. H., Je H. G. et al. Comparison of the single-lumen endotracheal tube and double-lumen endobronchial tube used in minimally

- cardiac surgery for the fast track protocol // *J Thorac Dis.* – 2016. – Vol. 8, № 5. – P. 778–783. <https://doi.org/10.21037/jtd.2016.03.13>.
20. Madershahian N., Wippermann J., Sindhu D. et al. Unilateral re-expansion pulmonary edema: a rare complication following one-lung ventilation for minimal invasive mitral valve reconstruction // *J Card Surg.* – 2009. – Vol. 24, № 6. – P. 693–694. <https://doi.org/10.1111/j.1540-8191.2009.00813.x>.
 21. Maj G., Regesta T., Campanella A. Optimal management of patients treated with minimally invasive cardiac surgery in the era of enhanced recovery after surgery and fast-track protocols: a narrative review // *J Cardiothorac Vasc Anesth.* – 2022. – Vol. 36, № 3. – P. 766–775. <https://doi.org/10.1053/j.jvca.2021.02.035>.
 22. Misiolek H., Knapik P., Misiolek M. et al. High-frequency ventilation is not suitable for mini-thoracotomy // *Eur J Anaesthesiol.* – 2009. – Vol. 26, № 8. – P. 701–702. <https://doi.org/10.1097/EJA.0b013e32832a0b91>.
 23. Modi P., Hassan A., Chitwood W. R. Jr. Minimally invasive mitral valve surgery: a systematic review and meta-analysis // *Eur J Cardiothorac Surg.* – 2008. – Vol. 34, № 5. – P. 943–952. <https://doi.org/10.1016/j.ejcts.2008.07.057>.
 24. Piekarski F., Rohner M., Monsefi N. et al. Anesthesia for minimal invasive cardiac surgery: the bonn heart center protocol // *J Clin Med.* – 2024. – Vol. 13, № 13. – P. 3939. <https://doi.org/10.3390/jcm13133939>.
 25. Salenger R., Lobdell K., Grant M. C. Update on minimally invasive cardiac surgery and enhanced recovery after surgery // *Curr Opin Anaesthesiol.* – 2024. – Vol. 37, № 1. – P. 10–15. <https://doi.org/10.1097/ACO.0000000000001322>.
 26. Salis S., Mazzanti V. V., Merli G. et al. Cardiopulmonary bypass duration is an independent predictor of morbidity and mortality after cardiac surgery // *J Cardiothorac Vasc Anesth.* – 2008. – Vol. 22, № 6. – P. 814–822. <https://doi.org/10.1053/j.jvca.2008.08.004>.
 27. Schmitto J. D., Mokashi S. A., Cohn L. H. Minimally-invasive valve surgery // *J Am Coll Cardiol.* – 2010. – Vol. 56, № 6. – P. 455–462. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2010.03.053>.
 28. Sen O., Onan B., Aydin U. et al. Robotic-assisted cardiac surgery without lung isolation utilizing single-lumen endotracheal tube intubation // *J Card Surg.* – 2020. – Vol. 35, № 6. – P. 1267–1274. <https://doi.org/10.1111/jocs.14575>.
 29. Vernick W. J., Woo J. Y. Anesthetic considerations during minimally invasive mitral valve surgery // *Semin Cardiothorac Vasc Anesth.* – 2012. – Vol. 16, № 1. – P. 11–24. <https://doi.org/10.1177/1089253211434591>.
 30. White A., Patvardhan C., Falter F. Anesthesia for minimally invasive cardiac surgery // *J Thorac Dis.* – 2021. – Vol. 13, № 3. – P. 1886–1898. <https://doi.org/10.21037/jtd-20-1804>.
 31. Yamashiro S., Arakaki R., Kise Y. et al. Prevention of pulmonary edema after minimally invasive cardiac surgery with mini-thoracotomy using neutrophil elastase inhibitor // *Ann Thorac Cardiovasc Surg.* – 2018. – Vol. 24, № 1. – P. 32–39. <https://doi.org/10.5761/atcs.0a.17-00102>.
 - invasive cardiac surgery for the fast track protocol. *J Thorac Dis*, 2016, vol. 8, no. 5, pp. 778–783. <https://doi.org/10.21037/jtd.2016.03.13>.
 20. Madershahian N., Wippermann J., Sindhu D. et al. Unilateral re-expansion pulmonary edema: a rare complication following one-lung ventilation for minimal invasive mitral valve reconstruction. *J Card Surg*, 2009, vol. 24, no. 6, pp. 693–694. <https://doi.org/10.1111/j.1540-8191.2009.00813.x>.
 21. Maj G., Regesta T., Campanella A. Optimal management of patients treated with minimally invasive cardiac surgery in the era of enhanced recovery after surgery and fast-track protocols: a narrative review. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2022, vol. 36, no. 3, pp. 766–775. <https://doi.org/10.1053/j.jvca.2021.02.035>.
 22. Misiolek H., Knapik P., Misiolek M. et al. High-frequency ventilation is not suitable for mini-thoracotomy. *Eur J Anaesthesiol*, 2009, vol. 26, no. 8, pp. 701–702. <https://doi.org/10.1097/EJA.0b013e32832a0b91>.
 23. Modi P., Hassan A., Chitwood W. R. Jr. Minimally invasive mitral valve surgery: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2008, vol. 34, no. 5, pp. 943–952. <https://doi.org/10.1016/j.ejcts.2008.07.057>.
 24. Piekarski F., Rohner M., Monsefi N. et al. Anesthesia for minimal invasive cardiac surgery: the bonn heart center protocol. *J Clin Med*, 2024, vol. 13, no. 13, pp. 3939. <https://doi.org/10.3390/jcm13133939>.
 25. Salenger R., Lobdell K., Grant M. C. Update on minimally invasive cardiac surgery and enhanced recovery after surgery. *Curr Opin Anaesthesiol*, 2024, vol. 37, no. 1, pp. 10–15. <https://doi.org/10.1097/ACO.0000000000001322>.
 26. Salis S., Mazzanti V.V., Merli G. et al. Cardiopulmonary bypass duration is an independent predictor of morbidity and mortality after cardiac surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2008, vol. 22, no. 6, pp. 814–822. <https://doi.org/10.1053/j.jvca.2008.08.004>.
 27. Schmitto J. D., Mokashi S. A., Cohn L. H. Minimally-invasive valve surgery. *J Am Coll Cardiol*, 2010, vol. 56, no. 6, pp. 455–462. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2010.03.053>.
 28. Sen O., Onan B., Aydin U. et al. Robotic-assisted cardiac surgery without lung isolation utilizing single-lumen endotracheal tube intubation. *J Card Surg*, 2020, vol. 35, no. 6, pp. 1267–1274. <https://doi.org/10.1111/jocs.14575>.
 29. Vernick W. J., Woo J. Y. Anesthetic considerations during minimally invasive mitral valve surgery. *Semin Cardiothorac Vasc Anesth*, 2012, vol. 16, no. 1, pp. 11–24. <https://doi.org/10.1177/1089253211434591>.
 30. White A., Patvardhan C., Falter F. Anesthesia for minimally invasive cardiac surgery. *J Thorac Dis*, 2021, vol. 13, no. 3, pp. 1886–1898. <https://doi.org/10.21037/jtd-20-1804>.
 31. Yamashiro S., Arakaki R., Kise Y. et al. Prevention of pulmonary edema after minimally invasive cardiac surgery with mini-thoracotomy using neutrophil elastase inhibitor. *Ann Thorac Cardiovasc Surg*, 2018, vol. 24, no. 1, pp. 32–39. <https://doi.org/10.5761/atcs.0a.17-00102>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

ФГБНУ «Российский научный центр хирургии им. акад. Б. В. Петровского»,
119435, Россия, Москва, Абрикосовский пер., д. 2

Толмачева Надежда Николаевна
врач – анестезиолог-реаниматолог.
E-mail: nadezda.tolmachova@gmail.com,
ORCID: 0000-0003-2405-9368

Пишеничный Тимофей Андреевич
канд. мед. наук, врач – анестезиолог-реаниматолог.
E-mail: dr.pshenichniiy@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8978-0394

Меньших Надежда Владимировна
канд. мед. наук, врач – анестезиолог-реаниматолог,
старший научный сотрудник.
E-mail: md.menshich22@gmail.com, ORCID: 0000-0001-7597-6057

Гончарова Алефтина Владимировна
врач клинической лабораторной диагностики.
E-mail: tamasha-alya@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-1414-8500

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Petrovsky National Research Center of Surgery,
2, Abrikosovsky per., Moscow, 119435, Russia

Tolmacheva Nadezhda N.
Anesthesiologist and Intensivist.
E-mail: nadezda.tolmachova@gmail.com,
ORCID: 0000-0003-2405-9368

Pshenichnyy Timofey A.
Cand. of Sci. (Med.), Anesthesiologist and Intensivist.
E-mail dr.pshenichniiy@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8978-0394

Menshikh Nadezhda V.
Cand. of Sci. (Med.), Anesthesiologist and Intensivist,
Senior Research Fellow.
E-mail: md.menshich22@gmail.com, ORCID: 0000-0001-7597-6057

Goncharova Alevtina V.
Doctor of Clinical Laboratory Diagnostics.
E-mail: mamasha-alya@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-1414-8500

Евсеев Евгений Петрович

канд. мед. наук, зав. отделением хирургии пороков сердца.

E-mail: e_evseev@mail.ru, ORCID: 0000-0002-3806-9658

Evseev Evgeny P.

Cand. of Sci. (Med.), Head of the Department of Surgery of Heart Defects.

E-mail: e_evseev@mail.ru, ORCID iD 0000-0002-3806-9658

Балакин Эдгар Валерьевич

научный сотрудник.

E-mail: derarst@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9658-6725

Balakin Edgar V.

Research Fellow.

E-mail: derarst@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9658-6725

Айдамиров Яшар Амиддинович

канд. мед. наук, кардиохирург, старший научный сотрудник.

E-mail: moon.park@mail.ru, ORCID: 0000-0003-3870-1040

Aidamirov Iashar A.

Cand. of Sci. (Med.), Cardiac Surgeon, Senior Research Fellow.

E-mail: moon.park@mail.ru, ORCID: 0000-0003-3870-1040

Аксельрод Борис Альбертович

д-р мед. наук, профессор, врач – анестезиолог-реаниматолог, зав. отделением анестезиологии-реанимации.

E-mail: aksel@mail.ru, ORCID: 0000-0002-4434-3123

Akselrod Boris A.

Dr. of Sci. (Med.), Professor, Anesthesiologist and Intensivist, Head of the Department of Anesthesiology and Intensive Care.

E-mail: aksel@mail.ru, ORCID: 0000-0002-4434-3123