<https://doi.org/10.29001/2073-8552-2021-36-1-108-116>
УДК 616.132.1-089.8:612.24:612.215.8

Комплексная защита легких в период циркуляторного ареста при операциях на дуге аорты

Н.М. Луговская, Д.С. Панфилов, А.И. Максимов, И.В. Пономаренко,
Ю.С. Свирко, Ю.К. Подоксенов, Б.Н. Козлов

Научно-исследовательский институт кардиологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук,
634012, Российская Федерация, Томск, ул. Киевская, 111а

Аннотация

Цель: анализ эффективности комплексной защиты легких у пациентов, оперированных на грудной аорте в условиях циркуляторного ареста (ЦА).

Материал и методы. В проспективное исследование включены 57 пациентов, оперированных по поводу аневризм и расслоений грудной аорты. Пациенты были разделены на две группы. Основной группе больных ($n = 27$) проводили комплексную защиту легких в виде перфузии легочной артерии и искусственной вентиляции легких (ИВЛ). Пациентам контрольной группы ($n = 30$) мероприятия по комплексной защите легких не проводили.

Результаты. Медианная продолжительность ИВЛ в послеоперационном периоде составила 14 ч в основной группе и 23 ч – в контрольной группе больных ($p < 0,001$). В раннем послеоперационном периоде не было получено значимой разницы между группами по частоте развития анализируемых легочных осложнений. Число пневмоний было 8 (14%), из них в основной группе – 4 (15%) случая и контрольной группе – 4 (13%) эпизода ($p = 0,87$).

Выводы. Селективная перфузия легочной артерии (СПЛА) в сочетании с ИВЛ редуцированными объемами при операциях на грудной аорте в условиях ЦА значительно снижает длительность послеоперационной ИВЛ.

Ключевые слова:	грудная аорта, защита легких, перфузия легочной артерии, респираторные осложнения.
Конфликт интересов:	авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Прозрачность финансовой деятельности:	никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.
Соответствие принципам этики:	информированное согласие получено от законных представителей каждого пациента. Исследование одобрено этическим комитетом Научно-исследовательского института кардиологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук (протокол № 161 от 19.09.2017 г.).
Для цитирования:	Луговская Н.М., Панфилов Д.С., Максимов А.И., Пономаренко И.В., Свирко Ю.С., Подоксенов Ю.К., Козлов Б.Н. Комплексная защита легких в период циркуляторного ареста при операциях на дуге аорты. <i>Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины</i> . 2021;36(1):108–116. https://doi.org/10.29001/2073-8552-2021-36-1-108-116 .

Comprehensive lung protection during circulatory arrest in aortic arch surgery

Nadezhda M. Lugovskaya, Dmitriy S. Panfilov, Alexander I. Maksimov,
Igor V. Ponomarenko, Julia S. Svirko, Yuri K. Podoksenov, Boris N. Kozlov

Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences,
111a, Kievskaya str., Tomsk, 634012, Russian Federation

Abstract

Aim. The aim of the study was to analyze the effectiveness of comprehensive lung protection in patients who underwent thoracic aortic surgery using circulatory arrest.

Material and Methods. A total of 57 patients undergoing operations for aneurysms and thoracic aortic dissection were enrolled in the prospective study. The patients were divided into two groups. The experimental group of patients ($n = 27$) underwent comprehensive lung protection with pulmonary artery perfusion and mechanical ventilation. Patients in the control group ($n = 30$) did not undergo comprehensive lung protection measures.

Results. The median duration of mechanical ventilation in the postoperative period was 14 hours in the experimental group and 23 hours in the control group of patients ($p < 0.001$). The incidence of analyzed pulmonary complications did not significantly differ between the groups during the early postoperative period. The number of pneumonia cases was 8 (14%) including 4 (15%) cases in the experimental group and 4 (13%) episodes in the control group ($p = 0.87$).

Conclusion. Selective pulmonary artery perfusion in combination with low tidal volume mechanical ventilation during operations on the thoracic aorta using circulatory arrest significantly reduced the duration of postoperative mechanical ventilation.

Keywords:	thoracic aorta, lung protection, pulmonary artery perfusion, respiratory complications.
Conflict of interest:	the authors do not declare a conflict of interest.
Financial disclosure:	no author has a financial or property interest in any material or method mentioned.
Adherence to ethical standards:	informed consent was obtained from all patients. The study was approved by the Ethics Committee of the Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center of the Russian Academy of Sciences (protocol No. 161 from 19.09.2017).
For citation:	Lugovskaya N.M., Panfilov D.S., Maksimov A.I., Ponomarenko I.V., Svirko J.S., Podoksenov Yu.K., Kozlov B.N. Comprehensive lung protection during circulatory arrest in aortic arch surgery. <i>The Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine</i> . 2021;36(1):108–116. https://doi.org/10.29001/2073-8552-2021-36-1-108-116 .

Введение

Хирургия грудной аорты является одной из наиболее сложных разделов кардиохирургии и сопровождается высокой частотой развития осложнений со стороны разных органов. На сегодняшний день предложены различные методики защиты органов при этих операциях, включая головной и спинной мозг [1].

Стоит отметить, что одним из наиболее частых осложнений при реконструкции грудного отдела аорты в условиях искусственного кровообращения (ИК) и гипотермического циркуляторного ареста (ЦА) являются осложнения со стороны дыхательной системы [2, 3]. Однако до сих пор не разработаны интраоперационные методики защиты легких при этих операциях. До настоящего времени ведутся поиски методов защиты легких.

Предложен подход, при котором сохраняется искусственная вентиляция легких (ИВЛ) редуцированными объемами с низкой частотой вдохов. Однако метод значительно не снижает количество респираторных осложнений [4]. Одним из возможных способов защиты является селективная перфузия легочной артерии (СПЛА) с сохранением ИВЛ в интраоперационном периоде. Тем не менее

эффективность этой методики в отношении защиты легких у пациентов кардиохирургического профиля изучена недостаточно.

Мы решили проанализировать эффективность данной стратегии защиты легких во время реконструктивных операций на грудном отделе аорты в условиях ИК, ЦА.

Цель исследования: оценить влияние комплексной защиты легких на функцию внешнего дыхания и частоту респираторных осложнений у пациентов, оперированных на грудной аорте в условиях ЦА.

Материал и методы

Проведенное проспективное исследование включило 57 пациентов с реконструкцией грудной аорты в условиях ИК, ЦА и антеградной унилатеральной перфузии головного мозга.

В соответствии с дизайном исследования пациенты были разделены на 2 группы. Основной группе пациентов ($n = 27$) проводили комплексную защиту легких в виде СПЛА и ИВЛ (СПЛА + ИВЛ). Пациентам контрольной группы ($n = 30$) мероприятия по комплексной защите легких не проводили (рис. 1).

Рис. 1. Дизайн исследования
Примечание: ИК — искусственное кровообращение
Fig. 1. Study design
Note: CPB — cardiopulmonary bypass.

Анализ полученных данных пациентов проводили по схеме, приведенной на рисунке 2.

У всех пациентов оценивали дооперационный статус, акцентируя внимание на наличии хронических заболеваний бронхолегочной системы и сопутствующей патологии в анамнезе. В послеоперационном периоде регистрировали длительность послеоперационной ИВЛ, а также структуру осложнений со стороны легких.

Из объективных показателей фиксировали статический комплаенс (compliance static – Cst) после интубации трахеи и при поступлении пациента в палату интенсивной терапии (ПИТ) после операции. Этот показатель рассчитывали по формуле:

$$Cst = VT / (P_{plateau} - PEEP),$$

где VT – дыхательный объем, P_{plateau} – давление плато, PEEP – положительное давление в конце выдоха.

Проводили лабораторный анализ, который включал оценку соотношения PaO₂/FiO₂, уровня углекислого газа, бикарбоната, гемоглобина и лактата артериальной крови на следующих этапах: после интубации трахеи, после инактивации гепарина, при поступлении пациента в ПИТ, через сутки после операции, через 2 сут после операции.

Средний возраст пациентов составил 60 [52; 68] лет. Среди всей когорты больных преобладали мужчины, n = 40 (70%). Предоперационная характеристика пациентов представлена в таблице 1. По анализируемым характеристикам группы не имели значимых различий.

Большей части пациентов (67%) была выполнена Hemiarch-процедура, остальным (33%) проведена радикальная реконструкция грудной аорты по методике «Замороженный хобот слона» («Frozen Elephant Trunk» – FET). У 31 (54%) пациента оперативное вмешательство было дополнено коррекцией порока аортального клапана, у 2 (4%) – коронарным шунтированием (табл. 2).

Перед операцией всем пациентам была назначена премедикация в составе димедрола (10 мг) и диазепама (10 мг).

Анестезиологическое пособие проводилось по типу комбинированной анестезии: внутривенная инфузия пропофола (1,5–2,5 мг/кг болюсно и 0,3–4 мг/кг/ч инфузионно) на этапе индукции в наркоз и в период ИК, ингаляционная анестезия севофлюраном (минимальная альвеолярная концентрация – 0,5–0,7) до и после ИК, в сочетании с анальгезией фентанилом (1–3 мкг/кг/ч) в течение всей операции.

Рис. 2. Схема анализа данных оперированных пациентов
Примечание: ИВЛ – искусственная вентиляция легких, ИК – искусственное кровообращение, PaO₂ – парциальное давление кислорода артериальной крови, FiO₂ – фракция кислорода во вдыхаемом воздухе.

Fig. 2. Data analysis scheme for operated patients
ALV – artificial lung ventilation, CPB – cardiopulmonary bypass, PaO₂ – partial pressure of oxygen in arterial blood, FiO₂ – oxygen fraction in the inhaled air.

Таблица 1. Предоперационная характеристика пациентов

Table 1. Preoperative characteristics of patients

Показатели	СПЛА + ИВЛ (n = 27) SPAP + ALV (n = 27)	Без СПЛА + ИВЛ (n = 30) No SPAP + ALV (n = 30)	p
Возраст, лет Age, years	60 [52; 68]	62 [56; 68]	0,53
Мужской пол, n (%) Male gender, n (%)	20 (74)	20 (67)	0,54
Рост, см Height, cm	172 [165; 180]	170 [164; 176]	0,46
Вес, кг Weight, kg	79 [68; 96]	82 [67; 90]	0,82
Аневризма, n (%) Aneurysm, n (%)	21 (78)	24 (80)	0,84
Расслоение, n (%) Delamination, n (%)	6 (22)	6 (20)	0,84
Дисплазия СТ, n (%) CT dysplasia, n (%)	14 (52)	14 (47)	0,69
ГБ, n (%) HTN, n (%)	21 (78)	24 (80)	0,84

Окончание табл. 1

End of table 1

Показатели	СПЛА + ИВЛ (n = 27) SPAP + ALV (n = 27)	Без СПЛА + ИВЛ (n = 30) No SPAP + ALV (n = 30)	p
ИБС, n (%) IHD, n (%)	10 (37)	10 (33)	0,77
СД, n (%) DM, n (%)	1 (4)	2 (7)	0,62
ХБЛ, n (%) CBPD, n (%)	8 (29)	8 (27)	0,80
Фракция выброса ЛЖ, % LV ejection fraction, %	64 [58; 68]	61 [57; 65]	0,11

Примечание: СПЛА – селективная перфузия легочной артерии, ИВЛ – искусственная вентиляция легких, ГБ – гипертоническая болезнь, ЛЖ – левый желудочек, ИБС – ишемическая болезнь сердца, СТ – соединительная ткань, СД – сахарный диабет, ХБЛ – хронические болезни бронхолегочной системы.

Note: SPAP – selective pulmonary artery perfusion, ALV – artificial lung ventilation, HTN – essential hypertension, LV – left ventricular, IHD – ischemic heart disease, CT – connective tissue, DM – diabetes mellitus, CBPD – chronic bronchopulmonary disease.

Таблица 2. Структура оперативных вмешательств

Table 2. The structure of surgical interventions

Показатели	СПЛА + ИВЛ (n = 27) SPAP + ALV (n = 27)	Без СПЛА + ИВЛ (n = 30) No SPAP + ALV (n = 30)	p
Оперативное вмешательство, n (%): Surgery, n (%):			
Hemiarch	19 (73)	19 (63)	0,57
FET	8 (27)	11 (37)	
КШ, n (%) CABG, n (%)	1 (4)	1 (3)	0,94
ПАК, n (%) AVC, n (%)	14 (52)	17 (57)	0,55

Примечание: СПЛА – селективная перфузия легочной артерии, ИВЛ – искусственная вентиляция легких, FET – Frozen Elephant Trunk, КШ – коронарное шунтирование, ПАК – протезирование аортального клапана.

Note: SPAP – Selective pulmonary artery perfusion, ALV – artificial lung ventilation, FET – Frozen Elephant Trunk, CABG – coronary artery bypass grafting, AVC – aortic valve replacement.

Интраоперационный мониторинг включал в себя проведение электрокардиографии, билатерального инвазивного измерения артериального давления, пищеводной и ректальной термометрии, пульсоксиметрии, церебральной оксиметрии, контроля диуреза. На всех этапах операции проводили контроль и коррекцию кислотно-основного состояния, водно-электролитного баланса, показателей свертывающей системы крови, гемоглобина, парциального давления кислорода и насыщения гемоглобина кислородом.

У всех пациентов использовали методику протективной вентиляции легких по схеме: рассчитывали дыхательный объем 6–8 мл/кг предсказанной массы тела с поддержанием положительного давления в конце выдоха (ПДКВ) 4–6 см вод. ст.

Индекс объемной скорости перфузии во время ИК составлял 2,5 л/мин/мл. Кардиоплегию проводили раствором «Кустодиол» непосредственно в устья коронарных артерий в объеме 1000–1500 мл, при необходимости через 90 мин ишемии миокарда повторяли инфузию раствора. Целевая температура для проведения операции в условиях ЦА при охлаждении была 25–28 °C.

Во время ЦА с целью защиты головного мозга всем пациентам выполняли антеградную унилатеральную перфузию головного мозга через брахиоцефальный ствол [5].

Комплексная защита легких заключалась в следующем. После стернотомии канюлировали легочную артерию канюлей для ретроградной кардиоплегии, которую подключали к дополнительной артериальной магистрали аппарата ИК. Перфузию легочной артерии проводили в объеме 300–350 мл/мин, что соответствует нормальной скорости кровотока в легочной артерии [6], и начинали перфузию сразу после инициации ИК (рис. 3). Период перфузии легочной артерии соответствовал времени ИК. Также с началом ИК проводили ИВЛ с частотой 4 вдоха в минуту редуцированными объемами (дыхательный объем составлял 50% от расчетных значений).

Рис. 3. Схема селективной перфузии легочной артерии

Примечание: ЛА – легочная артерия, ЛП – левое предсердие, ПП – правое предсердие, ПЖ – правый желудочек, ЛЖ – левый желудочек.

Fig. 3. Selective pulmonary artery perfusion scheme

Note: PA – pulmonary artery, LA – left atrium, RA – right atrium, RV – right ventricle, LV – left ventricle.

После операции пациентов переводили в ПИТ. При отсутствии осложнений, которые могли повлиять на тактику ведения пациента, требовали смены или расширения медикаментозной терапии, дополнительных медицинских манипуляций, больных переводили в общую палату (см. рис. 2).

Все показатели регистрировали и обрабатывали в программе STATISTICA v. 10. В связи с неизвестным законом распределения показателей использовали непараметрические статистические методы. Оценку нормальности проводили с помощью метода Колмогорова – Смирнова с поправкой Лиллиефорса. Количественные показатели представлены в виде $Me [LQ; UQ]$, где Me – медиана, LQ – нижний квартиль, UQ – верхний квартиль. Качественные показатели представлены в виде частот и процентов. При сравнении двух независимых выборок количественных показателей применяли U -критерий Манна – Уитни. При сравнении двух независимых выборок качественных показателей использовали критерий Хи-квадрат Пирсона. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты

Длительность оперативного вмешательства, ИК и ЦА в группах не различались (табл. 3).

Показатели статического комплайенса до и после операции не имели значимых межгрупповых различий. После интубации трахеи C_{ts} составил 50 мл/см H_2O в группе СПЛА + ИВЛ и 52 мл/см H_2O в контрольной группе ($p = 0,84$). При поступлении в ПИТ после операции данный показатель был на уровне 56 мл/см H_2O и 62 мл/см H_2O в основной и контрольной группах соответственно ($p = 0,32$).

Таблица 3. Основные временные характеристики оперативных вмешательств

Table 3. The main time characteristics of surgical interventions

Показатели	СПЛА + ИВЛ (<i>n</i> = 27) SPAP + ALV (<i>n</i> = 27)	Без СПЛА + ИВЛ (<i>n</i> = 30) No SPAP + ALV (<i>n</i> = 30)	<i>p</i>
Длительность операции, мин Operation duration, min	260 [220; 275]	270 [247; 315]	0,12
Длительность ИК, мин CPB time, min	110 [90; 130]	120 [105; 161]	0,06
Длительность ЦА, мин CA duration, min	15 [14; 19]	17 [15; 21]	0,35

Примечание: СПЛА – селективная перфузия легочной артерии, ИВЛ – искусственная вентиляция легких, ИК – искусственное кровообращение, ЦА – циркуляторный арест.

Note: SPAP – Selective pulmonary artery perfusion, ALV – artificial lung ventilation, CPB – cardiopulmonary bypass, CA – circulatory arrest.

При анализе респираторных осложнений в раннем послеоперационном периоде не было получено разницы в частоте их развития между группами (табл. 4).

Продолжительность ИВЛ в послеоперационном периоде составила 14 ч в группе СПЛА + ИВЛ и 23 ч – в контрольной группе больных ($p < 0,001$). Несмотря на это, длительность пребывания пациентов в ПИТ после операции значимо не различалась, как и пребывание в стационаре в целом.

Число пневмоний достигло 8 (14%) случаев, из них в основной группе было 4 (15%) случая и в контрольной группе – 4 (13%) эпизода ($p = 0,87$).

Такие осложнения со стороны органов дыхания, как ателектаз, острый респираторный дистресс-синдром, тромбоэмболия легочной артерии были отмечены у 5, 2 и 4% пациентов соответственно. По этим показателям также не было выявлено значимой разницы между группами.

Таблица 4. Сравнение респираторных осложнений в группах

Table 4. Comparison of respiratory complications in groups

Показатели	СПЛА + ИВЛ (<i>n</i> = 27) SPAP + ALV (<i>n</i> = 27)	Без СПЛА + ИВЛ (<i>n</i> = 30) No SPAP + ALV (<i>n</i> = 30)	<i>p</i>
Длительность ИВЛ после операции, ч Duration of mechanical ventilation after surgery, hours	14 [10,5; 22]	23 [16,5; 26,5]	<0,001
Реинтубация, <i>n</i> (%) Reintubation, <i>n</i> (%)	2 (7)	1 (3)	0,59
Пневмония, <i>n</i> (%) Pneumonia, <i>n</i> (%)	4 (15)	4 (13)	0,87
Ателектаз, <i>n</i> (%) Atelectasis, <i>n</i> (%)	1 (4)	2 (7)	0,62
ОРДС, <i>n</i> (%) ARDS, <i>n</i> (%)	1 (4)	0	0,29
ТЭЛА, <i>n</i> (%) PE, <i>n</i> (%)	1 (4)	1 (3)	0,94

Примечание: СПЛА – селективная перфузия легочной артерии, ИВЛ – искусственная вентиляция легких, ОРДС – острый респираторный дистресс-синдром, ТЭЛА – тромбоэмболия легочной артерии.

Note: SPAP – selective pulmonary artery perfusion, ALV – artificial lung ventilation, ARDS – acute respiratory distress syndrome, PE – pulmonary embolism.

При оценке лабораторных показателей в интраоперационном и раннем послеоперационном периодах не было получено различий между группами по анализируемым показателям (рис. 4).

Обсуждение

Согласно данным литературы, респираторные осложнения, требующие продленной ИВЛ, встречаются чаще всего в структуре послеоперационных осложнений в кардиохирургии [7]. Длительная послеоперационная ИВЛ может утяжелять течение послеоперационного периода и, опосредованно, приводить к развитию осложнений со стороны других органов и систем [8]. Таким образом, минимизация длительности ИВЛ в послеоперационном пе-

риод является профилактикой не только респираторных осложнений, но и обеспечивает сокращение количества послеоперационных осложнений в целом.

Одним из наиболее вероятных механизмов повреждения легких при проведении ИК является синдром ишемии-реперфузии. Были проведены различные исследования, раскрывающие патофизиологические механизмы легочного повреждения. Долгое время считалось, что резидуальный легочный кровоток, осуществляемый через бронхиальные артерии, обеспечивает потребности легких в кислороде во время ИК.

Однако в эксперименте было доказано, что в этих условиях только усиливается ишемическое повреждение легких [9].

Рис. 4. Динамика лабораторной оценки функции дыхания: 1 – после вводного наркоза, 2 – после окончания ИК и инактивации гепарина, 3 – после окончания операции, 4 – через 1 сут после операции, 5 – через 2 сут после операции
Примечание: PaO_2 – парциальное давление кислорода артериальной крови, FiO_2 – фракция кислорода во вдыхаемом воздухе, СПЛА – селективная перфузия легочной артерии, ИВЛ – искусственная вентиляция легких, ИК – искусственное кровообращение.
Fig. 4. Laboratory assessment of respiratory function dynamics: 1 – after induction of anesthesia, 2 – after the end of CPV and heparin inactivation, 3 – after the end of operation, 4 – one day after of operation, 5 – two day after the end of operation
Note: PaO_2 – partial pressure of oxygen in arterial blood, FiO_2 – oxygen fraction in the inhaled air, SPAP – Selective pulmonary artery perfusion, ALV – artificial lung ventilation, CPB – cardiopulmonary bypass.

Одним из методов защиты легких в кардиохирургии является сохранение ИВЛ редуцированными объемами с низкой частотой вдохов. Однако данный метод, по мнению ряда авторов, значимо не снижает количество респираторных осложнений [4].

Предложен комбинированный вариант защиты легких – СПЛА в сочетании с ИВЛ редуцированными объемами. Методика позволяет, с одной стороны, поддерживать в открытом состоянии альвеолы за счет сохраняющейся вентиляции, с другой – обеспечивает профилактику ишемии легочной паренхимы за счет сохраняющейся перфузии тканей. В ряде исследований была показана эффективность подобной стратегии при кардиохирургических операциях, которая заключалась в значимом снижении легочных осложнений, уменьшении длительности ИВЛ и пребывания больных в ПИТ [6, 10, 11].

На сегодняшний день опубликовано недостаточно клинических исследований, посвященных перфузии легочной артерии. Метаанализ, проведенный в 2018 г., не дал ответа об эффективности и безопасности данного метода СПЛА из-за недостаточной мощности исследования [12]. Тем не менее, авторы упоминают о возможном повышении индекса оксигенации в послеоперационном

периоде у пациентов, которым проводилась СПЛА в сочетании с ИВЛ редуцированными объемами.

Это побудило нас просветить соответствующий анализ у пациентов с патологией грудного отдела аорты. В данном исследовании не было выявлено значимой межгрупповой разницы в количестве респираторных осложнений. Тем не менее, длительность послеоперационной ИВЛ значимо различалась в пользу группы перфузии, что свидетельствует о том, что данная методика может быть перспективной в отношении защиты легких.

Также мы не выявили значимой разницы у пациентов разных групп по показателям функции внешнего дыхания, в том числе статического комплайенса и соотношения PaO_2/FiO_2 .

Используемая в данном исследовании технология комплексной защиты легких показала значимое снижение длительности ИВЛ в раннем послеоперационном периоде, что может способствовать снижению осложнений, в том числе легочных, в раннем послеоперационном периоде. Однако малое количество пациентов в исследовании не позволяет сформулировать высоко доказательные выводы. Более масштабное исследование для изучения эффектов СПЛА в сочетании с ИВЛ редуциро-

ванными объемами во время реконструктивных операций на грудной аорте будет полезным в плане выявления реальной эффективности комплексной защиты легких у этой категории пациентов.

Литература

1. Kozlov B.N., Panfilov D.S., Ponomarenko I.V., Miroshnichenko A.G., Nenakhova A.A., Maksimov A.I. et al. The risk of spinal cord injury during the frozen elephant trunk procedure in acute aortic dissection. *Interact. Cardiovasc. Thorac. Surg.* 2018;26(6):972–976. DOI: 10.1093/icvts/ivx432.
2. Rong L.Q., Di Franco A., Gaudino M. Acute respiratory distress syndrome after cardiac surgery. *J. Thorac. Dis.* 2016;8(10):E1177–E1186. DOI: 10.21037/jtd.2016.10.74.
3. Su I.L., Wu V.C., Chou A.H., Yang C.H., Chu P.H., Liu K.S. et al. Risk factor analysis of postoperative acute respiratory distress syndrome after type A aortic dissection repair surgery. *Medicine (Baltimore)*. 2019;98(29):e16303. DOI: 10.1097/MD.00000000000016303.
4. Apostolakis E.E., Koletsis E.N., Baikoussis N.G., Siminelakis S.N., Papadopoulos G.S. Strategies to prevent intraoperative lung injury during cardiopulmonary bypass. *J. Cardiothorac. Surg.* 2010;(5):1. DOI: 10.1186/1749-8090-5-1.
5. Козлов Б.Н., Панфилов Д.С., Кузнецов М.С., Пономаренко И.В., Насрашвили Г.Г., Шипулин В.М. Антеградная унилатеральная перфузия головного мозга через брахиоцефальный ствол при операциях на дуге аорты. *Ангиология и сосудистая хирургия*. 2016;22(1): 195–197.
6. Rodriguez-Blanco Y.F., Garcia L., Brice T., Ricci M., Salerno T.A. Deep hypothermic circulatory arrest with lung perfusion/ventilation in a patient with acute type a aortic dissection. *Case Rep. Med.* 2012;2012:631494. DOI: 10.1155/2012/631494.

References

1. Kozlov B.N., Panfilov D.S., Ponomarenko I.V., Miroshnichenko A.G., Nenakhova A.A., Maksimov A.I. et al. The risk of spinal cord injury during the frozen elephant trunk procedure in acute aortic dissection. *Interact. Cardiovasc. Thorac. Surg.* 2018;26(6):972–976. DOI: 10.1093/icvts/ivx432.
2. Rong L.Q., Di Franco A., Gaudino M. Acute respiratory distress syndrome after cardiac surgery. *J. Thorac. Dis.* 2016;8(10):E1177–E1186. DOI: 10.21037/jtd.2016.10.74.
3. Su I.L., Wu V.C., Chou A.H., Yang C.H., Chu P.H., Liu K.S. et al. Risk factor analysis of postoperative acute respiratory distress syndrome after type A aortic dissection repair surgery. *Medicine (Baltimore)*. 2019;98(29):e16303. DOI: 10.1097/MD.00000000000016303.
4. Apostolakis E.E., Koletsis E.N., Baikoussis N.G., Siminelakis S.N., Papadopoulos G.S. Strategies to prevent intraoperative lung injury during cardiopulmonary bypass. *J. Cardiothorac. Surg.* 2010;(5):1. DOI: 10.1186/1749-8090-5-1.
5. Kozlov B.N., Panfilov D.S., Kuznetsov M.S., Ponomarenko I.V., Nasrashvili G.G., Shipulin V.M. Antegrade unilateral perfusion of the brain through the brachiocephalic trunk during operations on the aortic arch. *Angiology and Vascular Surgery*. 2016;22(1):195–197 (In Russ.).
6. Rodriguez-Blanco Y.F., Garcia L., Brice T., Ricci M., Salerno T.A. Deep hypothermic circulatory arrest with lung perfusion/ventilation in a patient with acute type a aortic dissection. *Case Rep. Med.* 2012;2012:631494. DOI: 10.1155/2012/631494.

Информация о вкладе авторов

Луговская Н.М. – концепция исследования и его дизайн, непосредственный сбор и анализ данных, первый текст рукописи статьи.

Панфилов Д.С. – непосредственное выполнение хирургического вмешательства, рецензирование статьи.

Максимов А.И. – концепция и дизайн исследования, обеспечение анестезиологического пособия во время операций, анализ данных.

Пonomarenko I.V. – разработка схемы селективной перфузии легочной артерии через отдельный насос и осуществление перфузиологического обеспечения во время операций.

Свирко Ю.С. – разработка дизайна исследования, выполнение лабораторных исследований образцов крови.

Выводы

СПЛА в сочетании с ИВЛ редуцированными объемами при операциях на грудной аорте в условиях ЦА значительно снижает длительность послеоперационной ИВЛ.

7. Бокерия Л.А., Голухова Е.З., Мерзляков В.Ю., Шумков К.В., Медресова А.Т. Факторы риска и система прогнозирования развития послеоперационных легочных осложнений у кардиохирургических пациентов. *Креативная кардиология*. 2011;(2):24–36.
8. Jaaly E.A.I., Zakkar M., Fiorentino F., Angelini G.D. Pulmonary protection strategies in cardiac surgery: Are we making any progress? *Oxid. Med. Cell Longev.* 2015;2015:416235. DOI: 10.1155/2015/416235.
9. Schlensak C., Doenst T., Preusser S., Wunderlich M., Kleinschmidt M., Beyersdorf F. Bronchial artery perfusion during cardiopulmonary bypass does not prevent ischemia of the lung in piglets: assessment of bronchial artery blood flow with fluorescent microspheres. *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2001;19(3):326–331; discussion 331–332. DOI: 10.1016/s1010-7940(01)00581-4.
10. Пичугин В.В., Мельников Н.Ю., Сандалкин Е.В., Бобер В.М., Бодашков М.В. Комбинированные технологии органопroteкции при обеспечении кардиохирургических вмешательств с искусственным кровообращением. *Медицинский альманах*. 2015;(3):102–108.
11. Kiessling A.H., Guo F.W., Gökdemir Y., Thudt M., Reyher C., Scherer M. et al. The influence of selective pulmonary perfusion on the inflammatory response and clinical outcome of patients with chronic obstructive pulmonary disease undergoing cardiopulmonary bypass. *Interact. Cardiovasc. Thorac. Surg.* 2014;18(6):732–739. DOI: 10.1093/icvts/ivu062.
12. Buggeskov K.B., Grønlykke L., Risom E.C., Wei M.L., Wetterslev J. Pulmonary artery perfusion versus no perfusion during cardiopulmonary bypass for open heart surgery in adults. *Cochrane Database Syst. Rev.* 2018;2018(2):CD011098. DOI: 10.1002/14651858.CD011098.pub2.

7. Bokerija L.A., Goluhova E.Z., Merzljakov V.Yu. Shumkov K.V., Medresova A.T. Risk factors and a system for predicting the development of post-operative pulmonary complications in cardiac surgery patients. *Creative Cardiology*. 2011;(2):24–36 (In Russ.).
8. Jaaly E.A.I., Zakkar M., Fiorentino F., Angelini G.D. Pulmonary protection strategies in cardiac surgery: Are we making any progress? *Oxid. Med. Cell Longev.* 2015;2015:416235. DOI: 10.1155/2015/416235.
9. Schlensak C., Doenst T., Preusser S., Wunderlich M., Kleinschmidt M., Beyersdorf F. Bronchial artery perfusion during cardiopulmonary bypass does not prevent ischemia of the lung in piglets: assessment of bronchial artery blood flow with fluorescent microspheres. *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2001;19(3):326–331; discussion 331–332. DOI: 10.1016/s1010-7940(01)00581-4.
10. Pichugin V.V., Melnikov N.Yu., Sandalkin A.P., Bober V.M., Bodashkov M.V. Organoprotection combined with technologies for cardiac surgery with artificial circulation. *Medical Almanac*. 2015;(3):102–108 (In Russ.).
11. Kiessling A.H., Guo F.W., Gökdemir Y., Thudt M., Reyher C., Scherer M. et al. The influence of selective pulmonary perfusion on the inflammatory response and clinical outcome of patients with chronic obstructive pulmonary disease undergoing cardiopulmonary bypass. *Interact. Cardiovasc. Thorac. Surg.* 2014;18(6):732–739. DOI: 10.1093/icvts/ivu062.
12. Buggeskov K.B., Grønlykke L., Risom E.C., Wei M.L., Wetterslev J. Pulmonary artery perfusion versus no perfusion during cardiopulmonary bypass for open heart surgery in adults. *Cochrane Database Syst. Rev.* 2018;2018(2):CD011098. DOI: 10.1002/14651858.CD011098.pub2.

Information on author contributions

Lugovskaya N.M. – the concept and design of the study, direct collection and analysis of data, and writing the first draft of the manuscript.

Panfilov D.S. – direct performance of surgical interventions and revision of article.

Maksimov A.I. – the concept and design of the study, delivering anesthesia during the operations, and data analysis.

Ponomarenko I.V. – the development of scheme for selective perfusion of the pulmonary artery through the separate pump and implementation of perfusion support during operations.

Svirko Ju.S. – design of the study and laboratory blood testing
Podoksenov Yu.K. – general guidance and revision of the paper.

Подоксенов Ю.К. – общее руководство, рецензирование статьи.
Козлов Б.Н. – непосредственное выполнение хирургического вмешательства, общее руководство исследованием, рецензирование статьи.

Kozlov B.N. – direct implementation of surgical interventions, general research guidance, and revision of article.

Сведения об авторах

Луговская Надежда Михайловна, врач анестезиолог-реаниматолог, отделение анестезиологии и реаниматологии, Научно-исследовательский институт кардиологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук. ORCID 0000-0001-9000-8871.

E-mail: nocturnanix@gmail.com.

Панфилов Дмитрий Сергеевич, д-р мед. наук, врач-хирург, отделение сердечно-сосудистой хирургии, Научно-исследовательский институт кардиологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук; ассистент кафедры госпитальной хирургии с циклом сердечно-сосудистой хирургии, Сибирский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации. ORCID 0000-0003-2201-350X.

E-mail: pand2006@yandex.ru.

Максимов Александр Иванович, канд. мед. наук, врач анестезиолог-реаниматолог, отделение анестезиологии и реаниматологии, Научно-исследовательский институт кардиологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук. ORCID 0000-0001-8384-1494.

E-mail: alexmaximov82@mail.ru.

Пonomarenko Игорь Валерьевич, канд. мед. наук, старший научный сотрудник, отделение сердечно-сосудистой хирургии, Научно-исследовательский институт кардиологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук. ORCID 0000-0003-2494-0104.

E-mail: piv@cardio-tomsk.ru.

Свирко Юлия Станиславовна, д-р мед. наук, врач клинической лабораторной диагностики, отделение анестезиологии и реаниматологии, Научно-исследовательский институт кардиологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук. ORCID 0000-0002-2258-3564.

E-mail: julia@cardio-tomsk.ru.

Подоксенов Юрий Кириллович, д-р мед. наук, ведущий научный сотрудник, отделение сердечно-сосудистой хирургии, Научно-исследовательский институт кардиологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук. ORCID 0000-0002-8939-2340.

E-mail: uk@cardio-tomsk.ru.

Козлов Борис Николаевич, д-р мед. наук, заведующий отделением сердечно-сосудистой хирургии, Научно-исследовательский институт кардиологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук; профессор кафедры госпитальной хирургии с циклом сердечно-сосудистой хирургии, Сибирский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации. ORCID 0000-0002-0217-7737.

E-mail: bnkozlov@yandex.ru.

Луговская Надежда Михайловна, e-mail: nocturnanix@gmail.com.

Information about the authors

Nadezhda M. Lugovskaya, Anesthesiologist-Resuscitator, Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences. ORCID 0000-0001-9000-8871.

E-mail: nocturnanix@gmail.com.

Dmitriy S. Panfilov, Dr. Sci. (Med.), Cardiovascular Surgeon, Department of Cardiovascular Surgery, Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences; Assistant Professor, Department of Hospital Surgery with the Course of Cardiovascular Surgery, Siberian State Medical University. ORCID 0000-0003-2201-350X.

E-mail: pand2006@yandex.ru.

Alexander I. Maksimov, Cand. Sci. (Med.), Anesthesiologist-Resuscitator, Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences. ORCID 0000-0001-8384-1494.

E-mail: alexmaximov82@mail.ru.

Igor V. Ponomarenko, Cand. Sci. (Med.), Senior Research Scientist, Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences. ORCID 0000-0003-2494-0104.

E-mail: piv@cardio-tomsk.ru.

Julia S. Svirko, Dr. Sci. (Med.), Laboratory Diagnostics Physician, Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences. ORCID 0000-0002-2258-3564.

E-mail: julia@cardio-tomsk.ru.

Yuri K. Podoksenov, Dr. Sci. (Med.), Leading Research Scientist, Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences. ORCID 0000-0002-8939-2340.

E-mail: uk@cardio-tomsk.ru.

Boris N. Kozlov, Dr. Sci. (Med.), Head of the Department of Cardiovascular Surgery, Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences; Professor, Department of Hospital Surgery with the Course of Cardiovascular Surgery, Siberian State Medical University. ORCID 0000-0002-0217-7737.

E-mail: bnkozlov@yandex.ru.

Nadezhda M. Lugovskaya, e-mail: nocturnanix@gmail.com.

Received December 29, 2020

Поступила 29.12.2020