

Пфейфер Александр Андреевич

**ДИАГНОСТИКА И ИНТЕНСИВНОЕ ЛЕЧЕНИЕ ДЕТЕЙ С ОСТРОЙ
ДЫХАТЕЛЬНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТЬЮ ПОСЛЕ РАДИКАЛЬНЫХ
КАРДИОХИРУРГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ НА ОСНОВЕ
УЛЬТРАЗВУКОВОГО СКАНИРОВАНИЯ**

3.1.12. Анестезиология и реаниматология

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Красноярский государственный медицинский университет имени профессора В. Ф. Войно-Ясенецкого» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Научный руководитель:

доктор медицинских наук, профессор

Грицан Алексей Иванович

Официальные оппоненты:

доктор медицинских наук, профессор,

член-корреспондент РАН

Григорьев Евгений Валерьевич

(Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний», администрация, лаборатория анестезиологии, реаниматологии и патофизиологии критических состояний, заместитель директора по научной и лечебной работе, ведущий научный сотрудник)

доктор медицинских наук, профессор

Лахин Роман Евгеньевич

(Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования «Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации, кафедра военной анестезиологии и реаниматологии, профессор кафедры)

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Защита диссертации состоится «___» _____ 2026 г. в «___» часов на заседании диссертационного совета 21.2.046.03, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации (630091, г. Новосибирск, Красный проспект, д. 52)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Новосибирского государственного медицинского университета (630091, г. Новосибирск, ул. Залесского, д. 4; тел. +7(383)222-68-35; <https://new.ngmu.ru/dissers/get-file/5231>)

Автореферат разослан «___» _____ 2026 г.

Ученый секретарь диссертационного совета

Алексей Станиславович Полякевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность избранной темы. Острая дыхательная недостаточность (ОДН) остаётся одним из наиболее частых послеоперационных осложнений и причин удлинения сроков лечения у детей грудного возраста после радикальных кардиохирургических вмешательств. Её развитие обусловлено сочетанием факторов: незрелостью лёгочной ткани, ятрогенным ателектазированием паренхимы легких, искусственным кровообращением (ИК), хирургической травмой и гипотермией. Несмотря на достижения в анестезиологии и интенсивной терапии, частота ОДН после кардиохирургических операций остаётся высокой и встречается почти у половины детей всех возрастов (Дудов П. Р. и др., 2008), что ухудшает прогноз и увеличивает длительность пребывания в реанимации (Крашенинников С. В. и др., 2017).

В этой связи особенно актуальным становится поиск методов ранней диагностики и мониторинга состояния лёгких. Ультразвуковое исследование (УЗИ) лёгких в последние годы активно внедряется в педиатрическую практику как неинвазивный, безопасный и высокоинформативный прикроватный метод, превосходящий по чувствительности рентгенографию в диагностике интерстициального синдрома, альвеолярной консолидации, плеврального выпота и пневмоторакса (Volpicelli G. et al., 2012). Однако применение УЗИ у детей после кардиохирургических операций недостаточно стандартизировано, а его прогностическая и диагностическая ценность в контексте ОДН остаётся мало изученной. Это определяет высокую актуальность настоящего исследования, направленного на разработку стандартизированного подхода к УЗИ лёгких, создания прогностической модели и выявления независимых ультразвуковых предикторов развития ОДН, определение диагностической ценности ультразвуковых параметров и оценку эффективности персонализированной интенсивной терапии, основанной на ультразвуковом мониторинге.

Степень разработанности темы исследования. Работы (Xin H. et al., 2023), (Urbankowska E. et al., 2015), (Riccabona M. et al., 2008), подтвердили высокую эффективность УЗИ в оценке лёгочной патологии у детей. Особое внимание уделяется применению УЗИ в детской кардиохирургии. Rodríguez-Fanjul J. с соавт. предложили шкалу «LUSNEHDI» (Lung Ultrasound in Neonatal Congenital Heart Disease) для оценки гиперволемии малого круга кровообращения у новорождённых по выраженности В-линий. Коллективы авторов продемонстрировали эффективность УЗИ-контролируемой коррекции искусственной вентиляции легких (ИВЛ), а Cantinotti M. et al. 2020, разработали прогностические модели на основе УЗИ-оценки для прогноза длительности ИВЛ и пребывания в реанимации. Однако существующие подходы носят фрагментарный характер: большинство балльных систем оценивают лишь отдельные синдромы, не учитывая полный спектр ультразвуковых синдромов.

Прогностические модели, представленные в литературе, не прошли внутренней валидации на независимой выборке, редко интегрируют клинические и ультразвуковые параметры, а их эффективность не оценивалась количественно. Отсутствуют стандартизированные, воспроизводимые протоколы, охватывающие весь спектр ультразвуковых синдромов у детей после кардиохирургических операций. Не установлены независимые ультразвуковые предикторы ОДН и их прогностическая ценность в раннем послеоперационном периоде, а также отсутствуют валидированные на независимой выборке прогностические модели ОДН, основанные на полном спектре ультразвуковых синдромов. Отсутствуют рандомизированные данные, подтверждающие эффективность персонализированной интенсивной терапии, корректируемой в реальном времени на основе динамического УЗИ легких. Не были выявлены взаимосвязи между ультразвуковыми параметрами и ОДН, их диагностическая ценность. До настоящего времени не была описана ультразвуковая картина легких, характерная для детей грудного возраста с ОДН после радикальных кардиохирургических операций.

Цель исследования. Повысить качество и результативность интенсивной терапии у детей после радикальных кардиохирургических операций на основе диагностики и интенсивной терапии патологических процессов в лёгких для профилактики развития острой дыхательной недостаточности с использованием ультразвукового сканирования.

Задачи исследования

1. Создать прогностическую модель и выявить независимые предикторы развития острой дыхательной недостаточности в послеоперационном периоде у детей после радикальных кардиохирургических операций на основе ультразвукового исследования лёгких.
2. Описать ультразвуковую семиотику патологических изменений в лёгких у детей с острой дыхательной недостаточностью после радикальных кардиохирургических операций в условиях отделения анестезиологии-реанимации.
3. Выявить взаимосвязи клинических и инструментальных данных с острой дыхательной недостаточностью и оценить их диагностическую ценность.
4. Оценить эффективность интенсивного лечения патологических процессов в лёгких с целью профилактики острой дыхательной недостаточности на основе ультразвукового исследования лёгких у детей после радикальных кардиохирургических операций.

Научная новизна. Разработан стандартизированный 12-зонный протокол ультразвукового исследования лёгких для детей грудного возраста, обеспечивающий количественную и изолированную оценку всех ключевых ультразвуковых паттернов.

Впервые создана и подвергнута внутренней валидации оригинальная модель «LUCN-D» (Lung Ultrasound in Congenital Heart Disease) на основе ансамблевого алгоритма машинного обучения (Random Forest), позволяющая прогнозировать риск развития ОДН в раннем

послеоперационном периоде.

Установлены и количественно оценены 25 независимых предикторов ОДН, из которых 22 являются ультразвуковыми параметрами. Впервые показано, что наиболее прогностически значимые признаки локализуются в заднем отделе правого легкого и выявляются в течение 2 часов после поступления в отделение анестезиологии и реанимации (2-й оценочный период исследования).

Впервые описана комплексная ультразвуковая картина лёгких у детей с ОДН после кардиохирургических вмешательств.

Впервые выявлены взаимосвязи клинических и инструментальных данных с острой дыхательной недостаточностью и оценена их диагностическая ценность у детей с ОДН после кардиохирургических вмешательств.

Доказана эффективность персонализированной интенсивной терапии, корректируемой в реальном времени на основании данных УЗИ лёгких.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая и практическая значимость работы заключается в уточнении патогенеза ОДН у детей грудного возраста после кардиохирургических операций. Был разработан стандартизированный 12-зонный протокол УЗИ лёгких, на основе которого были выявлены 25 независимых предикторов ОДН, из них 22 – ультразвуковые, создана пилотная прогностическая модель «LUCH-D» (зарегистрирована как программа для ЭВМ), позволяющая в первые 2 часа после операции выявлять пациентов с высоким риском развития ОДН, установлены взаимосвязи ультразвуковых параметров с ОДН и определена их диагностическая ценность, а также предложен алгоритм персонализированной интенсивной терапии под контролем УЗИ, который достоверно снизил частоту ОДН с 86,5 % до 32,4 % ($p < 0,001$). Следует отметить, что модель «LUCH-D» является пилотной и требует внешней валидации и многоцентровых исследований перед широким внедрением. Кроме того, было показано, что применение алгоритмов машинного обучения при создании прогностических моделей в интенсивной терапии позволяет значительно повысить их эффективности.

Таким образом, на основе полученных данных были разработаны, теоретически обоснованы и внедрены в клиническую работу отделения анестезиологии и реанимации детского (ОАРд) Федерального центра сердечно-сосудистой хирургии г. Красноярск практические рекомендации по прогнозированию, диагностике и профилактике ОДН у детей грудного возраста, на основе созданного 12-зонного протокола УЗИ лёгких.

Методология и методы диссертационного исследования. Работа выполнена в соответствии с принципами доказательной медицины и требованиями «Надлежащей клинической практики» (GCP, 2006) в дизайне одноцентрового проспективного

рандомизированного контролируемого исследования. Материалом клинического исследования послужили данные 71 ребенка в возрасте от 1 до 12 месяцев после выполненных радикальных кардиохирургических операций в условиях ИК. В исследовании использовались клинические, инструментальные (12-зонное УЗИ легких), эхокардиография, лабораторные и современные статистические методы, включая логистическую регрессию, ансамблевый алгоритм машинного обучения Random Forest, а также точечно-бисериальный и рангово-бисериальный корреляционный анализ. Предметом исследования стала оценка прогностической и диагностической ценности ультразвуковых маркеров состояния легочной ткани для раннего выявления и профилактики ОДН, а также оценка эффективности проводимой интенсивной терапии под контролем УЗИ легких у детей грудного возраста. На основании полученных результатов разработана оригинальная прогностическая модель «LUCH-D», а также способ персонализированной интенсивной терапии для профилактики развития ОДН, корректируемой в реальном времени на основе динамического ультразвукового мониторинга, показавший высокую эффективность.

Положения, выносимые на защиту

1. Модель «LUCH-D» позволяет прогнозировать риск развития острой дыхательной недостаточности у детей грудного возраста после радикальных кардиохирургических операций.
2. Определенные в ходе исследования ультразвуковые признаки обладают высокой диагностической ценностью для выявления острой дыхательной недостаточности у детей грудного возраста после радикальных кардиохирургических операций.
3. Персонализированная интенсивная терапия, проводимая на основе динамического мониторинга по 12-зонному протоколу ультразвукового исследования лёгких, позволяет эффективно и безопасно осуществлять профилактику острой дыхательной недостаточности у детей грудного возраста после радикальных кардиохирургических вмешательств.

Степень достоверности. Достоверность выводов, положений и рекомендаций, сформулированных в диссертационной работе, доказывается достаточным количеством пациентов, включенных в исследование (71 пациент), использованием современных методик и оборудования для диагностики и лечения пациентов, системным подходом к научному анализу полученных результатов с применением современных методов статистической обработки и современного программного компьютерного обеспечения. Полученные в ходе исследования результаты опубликованы в научной печати и представлены в виде докладов на научно-практических конференциях, было получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Прогностическая модель «LUCH-D» на основе ансамблевого алгоритма машинного обучения Random Forest» № 2025661123 от 30.04.2025. Также был получен патент

на изобретение № 2858762 «Способ ультразвукового исследования легких и плевральных полостей в послеоперационном периоде у детей кардиохирургического профиля». Все УЗИ-исследования выполнены автором с подтвержденной компетенцией, что исключает межоператорную вариабельность и обеспечивает однородность данных. Автор имеет удостоверение о повышении квалификации «УЗИ лёгких: дифференциальная диагностика при острой дыхательной недостаточности» и «УЗИ в практике анестезиолога-реаниматолога».

Апробация работы. Основные положения диссертационного исследования доложены и обсуждены на: 21-й Всероссийской научно-образовательной конференции «Рекомендации и индивидуальные подходы в анестезиологии и реаниматологии» (Геленджик, 2024), Третьем Всероссийском съезде детских кардиохирургов и специалистов по врожденным порокам сердца (Казань, 2024), Международном форуме по респираторной поддержке 2024 (Красноярск, 2024), 22-й Всероссийской научно-образовательной конференции «Рекомендации и индивидуальные подходы в анестезиологии и реаниматологии» (Геленджик, 2025), где работа была удостоена Диплома I степени в конкурсе молодых учёных, Международном конгрессе по респираторной поддержке 2025 (Красноярск, 2025), Четвёртом Всероссийском съезде детских кардиохирургов и специалистов по врожденным порокам сердца (Самара, 2025), где работа была удостоена Диплома I степени в конкурсе молодых учёных и отмечена Премией имени профессора В. В. Алекси-Месхишвили, Форуме анестезиологов и реаниматологов России (ФАРР-2025) (Москва, 2025).

Результаты исследования получили положительную оценку научного сообщества, что подтверждает их актуальность, научную новизну и практическую значимость.

Диссертационная работа апробирована на заседании профильной проблемной комиссии «Хирургические болезни» ФГБОУ ВО «Красноярский государственный медицинский университет им. проф. В. Ф. Войно-Ясенецкого» Минздрава России и рекомендована к защите (Красноярск, 2026).

Внедрение результатов исследования. Результаты диссертационного исследования используются в учебном процессе на кафедре анестезиологии и реаниматологии ИПО ФГБОУ ВО «Красноярский государственный медицинский университет им. проф. В. Ф. Войно-Ясенецкого» Минздрава России, в практической работе отделения анестезиологии-реанимации детского ФГБУ «Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии» Минздрава России (г. Красноярск). Программный продукт «Прогностическая модель «LUCN-D» на основе ансамблевого алгоритма машинного обучения Random Forest» был защищён свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025661123 от 30.04.2025.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 10 научных работ, в том числе 1 патент на изобретение, 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ

и 4 статьи в научных журналах и изданиях, включенных в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, из них 4 статьи в журналах, которые входят в международную реферативную базу данных и систем цитирования Scopus.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа представлена в виде специально подготовленной рукописи и оформлена в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.11-2011.

Диссертация изложена на 185 страницах машинописного текста и состоит из введения, шести глав, заключения, выводов, практических рекомендаций, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы и списка иллюстративного материала. Список литературы представлен 128 источниками, из которых 109 в зарубежных изданиях. Полученные результаты проиллюстрированы с помощью 16 таблиц и 26 рисунков.

Личный вклад автора. Автором самостоятельно выбрана тема диссертационного исследования, разработан дизайн и осуществлено планирование всех этапов работы. Автор лично провёл УЗИ лёгких у всех включённых в исследование пациентов, собрал клинический и инструментальный материал, выполнил статистическую обработку и интерпретацию полученных данных. Личный вклад автора заключается в разработке и внедрении в клиническую практику своего отделения оригинального 12-зонного протокола УЗИ лёгких, предусматривающего независимую количественную оценку всех ключевых ультразвуковых синдромов, а также алгоритма персонализированной интенсивной терапии патологических синдромов в лёгких на основе данных УЗИ, пилотной прогностической модели «LUCN-D» на основе ансамблевого алгоритма машинного обучения Random Forest. Автор принимал непосредственное участие в лечении всех пациентов, включённых в исследование, в том числе в проведении анестезиологического и перфузиологического обеспечения и ведении послеоперационного периода. Все положения, выносимые на защиту, сформулированы лично автором. Результаты исследования опубликованы в научных работах, написанных лично автором.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Настоящее исследование представляет собой комплексное двухэтапное одноцентровое проспективное клиническое исследование, проведенное на базе отделения анестезиологии-реанимации детского (ОАРд) Федерального центра сердечно-сосудистой хирургии г. Красноярск в период с октября 2023 года по март 2025 года. Исследование одобрено локальным этическим комитетом ФГБОУ ВО «Красноярский государственный медицинский

университет им. проф. В. Ф. Войно-Ясенецкого» Минздрава России (протокол №122/2023 от 29.11.2023), проведено с письменного согласия законных представителей.

В исследование включались дети в возрасте от 1 до 12 месяцев, которым выполнялась плановая первичная радикальная коррекция врождённого порока сердца (ВПС) в условиях ИК, при наличии добровольного информированного согласия законных представителей. Не включались пациенты с тяжёлыми сопутствующими заболеваниями, цианотическими ВПС, паллиативными вмешательствами, операциями без ИК, а также при отсутствии согласия. Критериями исключения являлись отзыв согласия или летальный исход до завершения наблюдения.

Исследование состояло из пилотного ($n = 60$) и заключительного ($n = 71$) этапов. На пилотном этапе исследования был включен 61 пациент, однако 1 пациент был исключен в связи с летальным исходом. Таким образом, на пилотном этапе размер выборки составил 60 пациентов. Для повышения мощности исследования до необходимого уровня на заключительном этапе исследования был проведен добор 11 пациентов. Таким образом, итоговый размер выборки на заключительном этапе составил 71 пациент.

Все пациенты на двух этапах исследования были случайным образом разделены на группы интенсивной терапии с использованием или без использования УЗИ легких (исследуемая и контрольная группы) с помощью простой рандомизации. Рандомизация проводилась при поступлении в стационар и до начала диагностических и лечебных мероприятий для минимизации систематических ошибок.

Сбор данных в ходе диссертационного исследования проводился на 4 оценочных периодах: 1-й – за 18–24 часа до выполнения оперативного вмешательства, 2-й – в течение 2 часов после поступления пациента из операционной в ОАР, 3-й – в конце первых реанимационных суток и 4-й перед переводом в профильное отделение. Для оценки лёгочной паренхимы был разработан оригинальный стандартизированный 12-зонный протокол УЗИ легких с количественной оценкой интерстициального синдрома, синдрома альвеолярной консолидации (с дифференциацией по типу воздушных бронхограмм), локального В+ синдрома, плеврального выпота, пневмоторакса и характера движения диафрагмы.

ОДН диагностировали на 4-м оценочном периоде по критериям: отношением парциального давления кислорода в артериальной крови (PaO_2) к фракции кислорода во вдыхаемом воздухе (FiO_2) < 300 и/или артериальная сатурация (SaO_2) $< 92\%$ и/или нарастание частоты дыхательных движений $> 30\%$ от исходной величины (при самостоятельном дыхании с инсуффляцией увлажненного кислорода 1,5 л/мин в состоянии покоя в 4-м оценочном периоде) после 10-минутного теста дыхания атмосферным кислородом.

На пилотном этапе ($n = 60$) были созданы прогностическая модель «LUCN-D» на основе

алгоритма машинного обучения Random Forest (ММО) и модель логистической регрессии (МЛР). Модели были созданы с использованием данных описанного ранее ультразвукового протокола, демографических и интраоперационных параметров, полученных на 1-м и 2-м оценочных периодах исследования, групповая принадлежность пациентов была включена как один из предикторов в созданные прогностические модели. Обучение моделей производилось на обучающей подвыборке (42 пациента – 70 %), калибровка ММО производилась на калибровочной подвыборке (6 пациентов – 10 %). Внутренняя валидация модели «LUCN-D» проводилась на независимой тестовой подвыборке (12 пациентов – 20 %). Разделение пациентов на подвыборки производилось рандомизировано, между подвыборками не было статистически значимой разницы по всем параметрам.

На заключительном этапе расчёт мощности (GPower 3.1.9.7; $\alpha = 0,05$, $1 - \beta = 0,8$) потребовал 71 пациент. В выборку, набранную на пилотном этапе, было дополнительно включено 11 детей с их рандомизацией по ранее описанному принципу. Оценивали ультразвуковую семиотику ОДН, диагностическую ценность ультразвуковых параметров и эффективность персонализированной интенсивной терапии под контролем УЗИ легких. Таким образом, все 71 пациент были рандомизированы на 2 группы по типу интенсивной терапии: исследуемая группа ($n = 34$) – интенсивное лечение осуществлялось под контролем УЗИ легких, контрольная группа – интенсивная терапия осуществлялась без контроля УЗИ легких.

Интенсивная терапия в исследуемой и контрольной группах проводилась в соответствии с клиническими рекомендациями по ведению детей с ВПС. До поступления пациента из операционной в палату интенсивной терапии лечебные мероприятия осуществлялись стандартно и не зависели от принадлежности пациента к исследуемой или контрольной группе. Послеоперационная терапия в исследуемой группе корректировалась на основе 12-зонного УЗИ легких: при интерстициальном синдроме применялся фуросемид и инфузия альбумина при гипопроотеинемии. При синдроме альвеолярной консолидации – рекрутмент-манёвры, индивидуальная настройка положительного давления в конце выдоха, позиционирование и вибрационный массаж грудной клетки, санация дыхательных путей. Плевральный выпот объёмом ≥ 10 мл/кг и умеренный/массивный пневмоторакс служили показанием к дренированию. При выявлении аномалий движений диафрагмы производилась консультация детского кардиохирурга. В контрольной группе терапия основывалась на стандартных клинических, лабораторных и инструментальных данных (рентгенография, эхокардиография), данные УЗИ легких не учитывались и не сообщались лечащему врачу. Стандартная интенсивная терапия (поддержание гемодинамики, респираторная поддержка, коррекция водно-электролитного баланса, антибактериальная профилактика) была одинаковой в обеих группах.

Эффективность и безопасность интенсивной терапии оценивались путем сравнения значений первичного (частота развития ОДН оцениваемая на 4-м оценочном периоде) и вторичных критериев эффективности (индекс PaO_2/FiO_2 , суммарные балльные оценки выраженности интерстициального синдрома и синдрома альвеолярной консолидации на 3-м и 4-м оценочных периодах), эффективности между группами; сравнения значений дополнительных вторичных критериев эффективности (продолжительность ИВЛ, реанимационный койко-день); критериев безопасности (частота и характер послеоперационных осложнений, уровень креатинина и мочевины, оцениваемых на 4-м оценочном периоде).

Методы статистического анализа данных. Нормальность распределения полученных данных оценивалась с использованием критерия Шапиро – Уилка. Для сравнительного анализа количественных независимых переменных были применены t-критерия Стьюдента и U-критерий Манна – Уитни. Для сравнения категориальных признаков – критерий χ^2 или точный тест Фишера. Для создания прогностических моделей развития ОДН применялись алгоритм Random Forest и логистическая регрессия. Тестирование предиктивных моделей производилось с помощью ROC-анализа и кросс-валидации Монте-Карло (1 000 итераций). Для выявления статистически значимых независимых предикторов и диагностически ценных параметров УЗИ легких был выполнен однофакторный логистический регрессионный анализ с последующим проведением ROC-анализа для выявления 5 наиболее прогностически ценных и 10 наиболее диагностически ценных параметров УЗИ. Для оценки связи между количественными переменными и бинарной зависимой переменной (ОДН) использовалась точечно-бисериальная корреляция. Для оценки связи между бинарной зависимой переменной (ОДН) и множеством порядковых независимых переменных был использован коэффициент рангово-бисериальной корреляции. Уровень статистической значимости для всех тестов принят за $p < 0,05$. Статистический анализ данных проводился с использованием программного обеспечения Python (версия 3.12.0).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Создание прогностической модели и выявление независимых предикторов развития острой дыхательной недостаточности. Были созданы две прогностические модели: ММО и МЛР. ММО была подвергнута калибровке с оптимизацией гиперпараметров, Brier Score составил 0,095, что свидетельствует о хорошей калибровке модели. Также были проведены однофакторный и многофакторный логистические регрессионные анализы, создана МЛР. В результате проведенного ROC-анализа и тестирования методом кросс-валидации на независимой тестовой выборке, ММО продемонстрировала высокую прогностическую

эффективность, МЛР показала существенно более низкие метрики (Таблица 1), что свидетельствует о преимуществе подхода с использованием машинного обучения при работе с комплексными, нелинейными данными.

Таблица 1 – Сравнение эффективности предиктивных моделей

Предиктивные модели	Accuracy	Recall	Specificity	Precision	F1-мера	AUC
ММО	0,922	1,000	0,867	0,840	0,913	0,929
МЛР	0,742	0,387	1,000	1,000	0,558	0,700

Примечание: ММО – предиктивная модель на основе машинного обучения. МЛР – предиктивная модель на основе логистической регрессии.

В результате однофакторного логистического регрессионного анализа выявлено 25 статистически значимых независимых предикторов развития ОДН, из которых 22 – ультразвуковые параметры. Большинство из них (81,8 %) локализованы в правом лёгком и регистрировались во 2-м оценочном периоде, что указывает на преимущественно вторичный, послеоперационный характер повреждения легких.

Пять наиболее прогностически ценных ультразвуковых предикторов (AUC от 0,691 до 0,766) обнаружены исключительно в заднем отделе правого лёгкого: 1) синдром альвеолярной консолидации без воздушных бронхограмм в задненижней зоне любого размера (AUC = 0,766) – наиболее сильный предиктор, отражающий полную деаэрацию участка лёгкого (ателектаз); 2) синдром альвеолярной консолидации с любыми воздушными бронхограммами в задненижней зоне > 1 балла (AUC = 0,753); 3) синдром альвеолярной консолидации с воздушными бронхограммами, > 2 баллов, в задневерхней зоне (AUC = 0,721); 4) интерстициальный синдром > 3 баллов в задневерхней зоне (AUC = 0,707); 5) синдром альвеолярной консолидации без воздушных бронхограмм любого размера в задневерхней зоне (AUC = 0,691).

Модель машинного обучения была названа «LUCH-D» и зарегистрирована как программа для ЭВМ (Свидетельство Роспатента № 2025661123 от 30.04.2025), что подтверждает её авторство и новизну.

«LUCH-D» показала более высокую эффективность. Модель является пилотной и требует внешней мультицентральной валидации, однако уже на данном этапе демонстрирует высокую потенциальную клиническую применимость. Также впервые показано, что ранний (в течение 2 часов после операции) УЗИ-мониторинг задних зон правого лёгкого позволяет выявить пациентов с высоким риском ОДН, что создаёт основу для своевременного начала

персонализированной профилактической терапии. Наличие ателектаза (синдром альвеолярной консолидации без воздушных бронхограмм) ассоциировано с 2,2–3,3-кратным увеличением риска ОДН и служит маркером тяжёлого нарушения функции легких, в то время как сохранение воздушных бронхограмм указывает на частичную проходимость бронхов и меньший риск клинической манифестации ОДН.

Описание ультразвуковой семиотики патологических изменений в легких у детей с ОДН. ОДН была диагностирована у 43 детей (60,6 %) на 4-м оценочном периоде. Ультразвуковая картина лёгких характеризовалась тяжёлым интерстициальным синдромом (суммарная балльная оценка – $30,86 \pm 5,04$) и выраженным синдромом альвеолярной консолидации ($17,35 \pm 5,92$) балла). Наиболее значимые изменения локализовались в задних и боковых отделах обоих лёгких, что соответствует гравитационно-зависимым зонам у пациентов в положении лёжа на спине.

Ключевыми ультразвуковыми находками были: синдром альвеолярной консолидации без воздушных бронхограмм (медиана – 3 зоны легких), что является признаком полной деаэрации (ателектаза); синдром альвеолярной консолидации с динамическими воздушными бронхограммами – выявлен в среднем в 5 зонах, что указывает на частичную проходимость бронхов и гиповентиляцию; локальный В + синдром был слабо выражен (медиана – 2 зоны), что свидетельствует о второстепенной роли локального интерстициального синдрома в патогенезе ОДН. Гидроторакс был зарегистрирован у 23 пациентов (53,5 %) и наиболее часто был правосторонним – в 34,9 % случаев. Пневмоторакс был выявлен у 5 детей с ОДН (11,6 %) и был преимущественно левосторонним (7,0 % против 4,7 %). Аномалии движения диафрагмы были зафиксированы у 3 пациентов (7,0 %), во всех случаях затрагивали правый купол (2 случая парадоксального движения диафрагмы, 1 – паралич).

Таким образом, для ультразвуковой картины легких пациентов исследуемой категории с ОДН наиболее характерно сочетание тяжелого интерстициального синдрома, выраженного синдрома альвеолярных консолидаций без воздушных бронхограмм и с динамическими воздушными бронхограммами. Гидроторакс был зарегистрирован у 53,5 % пациентов с ОДН и чаще был правосторонним. Наиболее подвержены патологическим процессам задние зоны легких.

Взаимосвязь клинических и инструментальных данных с ОДН и их диагностическая ценность. Анализ взаимосвязи ультразвуковых, клинических и инструментальных параметров с развитием ОДН выявил высокую диагностическую значимость показателей 12-зонного ультразвукового протокола.

Наиболее сильная корреляция с ОДН ($r = 0,66$ и $r = 0,61$ соответственно) установлена для суммарной выраженности синдрома альвеолярной консолидации и интерстициального

синдрома. ROC-анализ показал, что эти параметры обладают наибольшей дискриминативной способностью. Умеренную корреляцию с ОДН имело количество зон легких с синдромом альвеолярной консолидации без воздушных бронхограмм ($r = 0,51$). Слабые связи с ОДН были обнаружены у возраста пациента ($r = -0,34$) и количества зон легких с синдромом альвеолярной консолидации и динамическими воздушными бронхограммами ($r = 0,34$). Остальные переменные имели мощность менее 0,8 и слабые корреляции с ОДН. В ходе однофакторного логистического регрессионного анализа выявлено 27 статистически значимых фактора ($p < 0,05$), 25 из них были представлены параметрами УЗИ легких. Для переменных со статистически значимыми коэффициентами, а также со значениями псевдо- $R^2 > 0,2$ был выполнен ROC-анализ с расчетом AUC, чувствительности и специфичности, а также порог значения переменных для положительной классификации и отношение шансов с 95 % доверительным интервалом. Всего было выявлено 10 наиболее диагностически ценных переменных (Таблица 2).

Таблица 2 – Характеристики ультразвуковых параметров для выявления ОДН со значениями псевдо- $R^2 > 0,2$

Параметр	Пороговое значение	ОШ (95 % ДИ)	AUC	Se.	Sp.
Сумма баллов синдрома альвеолярной консолидации	12 баллов	1,40 (1,20;1,63)	0,8987	86,05 %	82,14 %
Сумма баллов интерстициального синдрома	29 баллов	1,40 (1,20;1,68)	0,8704	72,09 %	89,29 %
Левое легкое, латерально-нижняя зона, синдром альвеолярной консолидации	1 балл	4,70 (2,34;9,47)	0,8223	74,42 %	74,42 %
Левое легкое, латерально-верхняя зона, синдром альвеолярной консолидации	1 балл	4,48 (2,27;8,84)	0,8198	76,74 %	82,14 %
Количество зон легких с альвеолярными консолидациям, но без воздушных бронхограмм	1 зона легких	2,31 (1,50;3,54)	0,8056	81,39 %	71,43 %
Правое легкое, латерально-верхняя зона, интерстициальный синдром	3 балла	6,55 (2,55;16,86)	0,7998	60,46 %	85,71 %
Правое легкое, латерально-нижняя зона, синдром альвеолярной консолидации	2 балла	2,94 (1,76; 4,91)	0,7986	81,39 %	71,43 %

Продолжение Таблицы 2

Параметр	Пороговое значение	ОШ (95 % ДИ)	AUC	Se.	Sp.
Левое легкое, латерально-верхняя зона, интерстициальный синдром	3 балла	6,84 (2,63;17,83)	0,7823	76,74 %	71,43 %
Левое легкое, задне-нижняя зона, интерстициальный синдром	3 балла	5,35 (2,29;12,51)	0,7803	65,12 %	78,57 %
Правое легкое, латерально-верхняя зона, синдром альвеолярной консолидации	2 балла	3,14 (1,75;5,61)	0,7790	62,79 %	85,71 %
Примечание: Показаны пороговые значения переменных для положительной классификации, отношения шансов (ОШ), доверительный интервал (ДИ), площадь под ROC-кривой (AUC), чувствительность (Se.) и специфичность (Sp.) для параметров с $p < 0,05$ и псевдо- $R^2 > 0,2$.					

Пространственная локализация изменений имеет важное диагностическое значение: наиболее информативными зонами с высокой диагностической точностью оказались латеральные зоны, особенно левого легкого, в то время как изменения в передних зонах не имели высокой диагностической ценности. Это согласуется с физиологией вентиляции в положении лёжа на спине: латеральные зоны имеют оптимальное соотношение вентиляция-перфузия, и их поражение существенно нарушает газообмен.

Гемодинамические параметры (фракция выброса левого желудочка измеренная на 2-м и 4-м оценочных периодах, систолическое давление в легочной артерии, измеренное на 4-м оценочном периоде, индекс конечно диастолического объема левого желудочка, измеренный на 2-м и 4-м оценочных периодах), длительность пережатия аорты, длительность ИК, длительность операции, индексированный гидробаланс имели очень низкие корреляционные связи с ОДН, что указывает на второстепенную роль гемодинамических факторов в данном контексте и на необходимость учета других модулирующих влияний.

Таким образом, суммарная оценка синдрома альвеолярной консолидации и интерстициального синдрома, а также целенаправленный анализ латеральных зон лёгких, позволяют с высокой точностью выявлять ОДН у детей после кардиохирургических операций. Полученные данные позволяют предположить двухэтапный характер развития ОДН: на ранней стадии (в течение 2 часов после операции) ключевую роль играют изменения в правом лёгком, а на стадии клинической манифестации доминируют изменения в левом лёгком, связанные с большей интраоперационной травмой. Эти результаты формируют основу для

персонализированного подхода: скрининг по задним зонам правого лёгкого для прогноза и оценка латеральных зон, особенно левого легкого, для выявления и подтверждения ОДН и коррекции терапии.

Оценка эффективности интенсивного лечения патологических процессов в легких с целью профилактики острой дыхательной недостаточности на основе ультразвукового сканирования легких. Для оценки эффективности персонализированной интенсивной терапии 71 ребёнок был рандомизирован в исследуемую ($n = 34$; терапия под контролем УЗИ лёгких) и контрольную ($n = 37$; терапия без УЗИ легких) группы согласно принципам, описанным в материале и методах. Группы были сопоставимы по возрасту, массе, типу ВПС и параметрам ИК. Единственным исходным статистически значимым различием было более выраженное повреждение лёгких в исследуемой группе (сумма баллов интерстициального синдрома: 32,5 против 26,0 в контрольной; $p = 0,033$).

Несмотря на более тяжёлое исходное состояние, в исследуемой группе к 4-му оценочному периоду была достигнута значимо более низкая частота ОДН: 32,4 % против 86,5 % в контрольной группе ($p < 0,001$). Пациенты, получавшие терапию под контролем УЗИ, достоверно чаще демонстрировали улучшение газообмена и регресс патологических изменений: уменьшение выраженности интерстициального синдрома как на 3-м оценочном периоде: ($25,91 \pm 6,72$) балла в исследуемой группе против ($29,76 \pm 5,30$) балла в контрольной ($p = 0,009$), так и на 4-м оценочном периоде: ($25,18 \pm 5,49$) против ($30,38 \pm 5,51$) балла соответственно ($p < 0,001$), уменьшение выраженности синдрома альвеолярной консолидации как на 3-м оценочном периоде: ($9,32 \pm 5,57$) балла в исследуемой группе против ($16,11 \pm 5,51$) в контрольной ($p < 0,001$), так и на 4-м оценочном периоде: ($9,44 \pm 5,46$) против ($17,51 \pm 6,05$) балла соответственно ($p < 0,001$), а также улучшение газообмена как на 3-м оценочном периоде: индекс $PaO_2/FiO_2 = 311,50$ (286,25; 346,00) в исследуемой группе против 242,90 (214,30; 286,00) в контрольной ($p < 0,001$), так и на 4-м оценочном периоде: $316,67 \pm 38,99$ против $239,22 \pm 50,86$ соответственно ($p < 0,001$), что свидетельствует о эффективности интенсивной терапии, проводимой на основании данных УЗИ лёгких.

Различия по длительности ИВЛ и реанимационного койко-дня не достигли статистической значимости ($p = 0,067$ и $0,073$ соответственно), что, вероятно, связано с особенностями алгоритма перевода пациентов в профильное отделение и недостаточной мощностью для этих вторичных критериев.

Анализ безопасности показал отсутствие статистически значимых различий по частоте серьёзных послеоперационных осложнений. Уровень креатинина был выше в исследуемой группе ($p = 0,005$), что, вероятно, связано с более активным применением фуросемида, однако оставался в пределах референсных значений лаборатории и не сопровождался изменением

уровня мочевины.

Таким образом, персонализированная интенсивная терапия, корректируемая на основе данных оригинального 12-зонного протокола УЗИ лёгких, достоверно снижает частоту ОДН, улучшает оксигенацию и способствует регрессу ультразвуковых признаков лёгочного повреждения у детей грудного возраста после кардиохирургических операций. Подход продемонстрировал высокую эффективность и безопасность, что подтверждает его клиническую значимость и целесообразность внедрения в практику.

ВЫВОДЫ

1. Разработана, подвергнута внутренней валидации прогностическая модель «LUCN-D», имеющая высокую прогностическую эффективность (AUC = 0,929, чувствительность 100 %, специфичность 86,7 %) и определены независимые предикторы острой дыхательной недостаточности в послеоперационном периоде у детей после радикальных кардиохирургических операций на основе ультразвуковой картины лёгких. Наиболее ценными для прогноза являются признаки, выявляемые в заднем отделе правого лёгкого: наличие синдрома альвеолярной консолидации без воздушных бронхограмм любого размера в задне-нижней зоне (ОШ 3,26, AUC 0,766), синдром альвеолярной консолидации с любым типом воздушных бронхограмм выраженностью более 1 балла в задне-нижней зоне (ОШ 2,47, AUC 0,753) и задне-верхней зоне выраженностью более 2 баллов (ОШ 2,56, AUC 0,721), интерстициальный синдром в задне-верхней зоне выраженностью более 3 баллов (ОШ 2,89, AUC 0,707) и наличие синдрома альвеолярной консолидации без воздушных бронхограмм любого размера в задне-верхней зоне (ОШ 2,22, AUC 0,691).

2. Ультразвуковая семиотика патологических изменений у детей с острой дыхательной недостаточностью после кардиохирургических вмешательств характеризуется сочетанием интерстициального синдрома тяжелой степени, выраженного синдрома альвеолярных консолидаций без воздушных бронхограмм и с динамическими воздушными бронхограммами. Гидроторакс был зарегистрирован у 23 (53,5 %) пациентов с острой дыхательной недостаточностью и чаще был правосторонним, а наиболее подвержены патологическим процессам оказались задние зоны лёгких.

3. Наиболее информативным для диагностики острой дыхательной недостаточности оказался синдром альвеолярной консолидации, особенно локализованный в латеральных зонах левого легкого. Ключевыми ультразвуковыми критериями, обладающими наибольшей корреляцией с острой дыхательной недостаточностью, были синдром альвеолярной консолидации ($r = 0,66$) с наибольшей дискриминативной способностью при сумме баллов > 12

(AUC = 0,899) и интерстициальный синдром ($r = 0,61$) с высокой дискриминативной способностью при сумме баллов > 29 (AUC = 0,870).

4. Интенсивная терапия, проводимая на основании данных ультразвукового исследования лёгких, статистически значимо снижает частоту развития острой дыхательной недостаточности (32,4 % в исследуемой против 86,5 % в контрольной группе, $p < 0,001$), уменьшает выраженность интерстициального синдрома как на 3 оценочном периоде: $(25,91 \pm 6,72)$ балла в исследуемой группе против $(29,76 \pm 5,30)$ балла в контрольной, ($p = 0,009$), так и на 4 оценочном периоде: $(25,18 \pm 5,49)$ против $(30,38 \pm 5,51)$ балла соответственно ($p < 0,001$), уменьшает выраженность синдрома альвеолярной консолидации как на 3 оценочном периоде: $(9,32 \pm 5,57)$ балла в исследуемой группе против $16,11 \pm 5,51$ в контрольной ($p < 0,001$), так и на 4 оценочном периоде: $(9,44 \pm 5,46)$ против $(17,51 \pm 6,05)$ балла соответственно ($p < 0,001$), а также улучшает газообмен как на 3 оценочном периоде: индекс $PaO_2/FiO_2 = 311,50$ (286,25; 346,00) в исследуемой группе против 242,90 (214,30; 286,00) в контрольной ($p < 0,001$), так и на 4 оценочном периоде: $316,67 \pm 38,99$ против $239,22 \pm 50,86$ соответственно ($p < 0,001$), что свидетельствует о эффективности интенсивной терапии, проводимой на основании данных ультразвукового исследования лёгких.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. В повседневной клинической практике целесообразно включить стандартизированный 12-зонный протокол ультразвукового исследования лёгких в алгоритм мониторинга детей грудного возраста в раннем послеоперационном периоде после радикальных кардиохирургических операций. Особое внимание следует уделять задним и латеральным отделам лёгких, где наиболее часто локализуются прогностически и диагностически значимые изменения.

2. Для раннего выявления пациентов с высоким риском развития острой дыхательной недостаточности целесообразно использовать прогностическую модель «LUCH-D».

3. При проведении ультразвукового сканирования лёгких в первые 2 часа после поступления ребенка в отделение анестезиологии-реанимации после радикальной кардиохирургической операции (2 оценочный период) особое внимание следует уделять заднему отделу правого легкого. Выявление синдрома альвеолярной консолидации без воздушных бронхограмм в задне-нижней и задне-верхней зонах правого лёгкого любого размера, синдрома альвеолярной консолидации с любым типом воздушной бронхограмм в задне-нижней зоне при выраженности более 1 балла и в задне-верхней зоне при выраженности

более 2 баллов, а также интерстициального синдрома при выраженности более 3 баллов в задне-верхней зоне правого легкого должно рассматриваться как независимые предикторы высокого риска развития острой дыхательной недостаточности и служить основанием для раннего начала превентивной персонафицированной интенсивной терапии с наибольшим вниманием к этим зонам.

4. При проведении ультразвукового исследования лёгких у детей в раннем послеоперационном периоде позже, чем в течение 2 часов после радикальных кардиохирургических вмешательств рекомендуется:

а) оценивать суммарную выраженность синдрома альвеолярной консолидации и интерстициального синдрома по 12-зонной методике;

б) пороговые значения ≥ 12 баллов для синдрома альвеолярной консолидации и ≥ 29 баллов для интерстициального синдрома следует рассматривать как высокий риск наличия острой дыхательной недостаточности и основание для немедленной коррекции интенсивной терапии;

в) особое внимание уделять латеральным отделам лёгких, особенно латерально-верхней и латерально-нижней зонам левого лёгкого, где даже небольшая выраженность синдрома альвеолярной консолидации (более 1 балла) многократно повышает шансы выявления острой дыхательной недостаточности.

5. Рекомендуется персонафицированный подход к интенсивной терапии на основе ультразвуковых данных:

а) при выявлении интерстициального синдрома средней и более выраженной степени – назначение дробной или непрерывной диуретической терапии фуросемидом с ультразвуковым контролем в динамике, коррекция онкотического давления при гипопроотеинемии;

б) при наличии синдрома альвеолярной консолидации – применение рекрутмент-манёвра под ультразвуковым контролем, индивидуальная настройка уровня положительного давления в конце выдоха, позиционирование пациента, вибрационный массаж грудной клетки и адекватная санация дыхательных путей;

в) при плевральном выпоте менее 5 мл/кг (малый плевральный выпот) рекомендуется придерживаться консервативной тактики (петлевые диуретики и ограничение инфузии) с последующим ультразвуковым контролем. При объеме 5–10 мл/кг (умеренный плевральный выпот) рекомендуется рассмотреть дренирование плевральной полости, исходя из выраженности острой дыхательной недостаточности и клинического состояния пациента, необходима консультация детского кардиохирурга. При более значительных объемах

(массивный плевральный выпот) рекомендуется выполнять дренирование плевральной полости;

г) при выявлении малого пневмоторакса необходимо динамическое наблюдение, при умеренном и массивном требуется хирургическое дренирование.

б. Обучение медицинского персонала стандартизированным методикам проведения и интерпретации ультразвукового исследования лёгких у детей после кардиохирургических вмешательств с использованием детализированной балльной системы оценки.

Пространственная локализация изменений имеет важное диагностическое значение. Наиболее информативными зонами оказались латеральные зоны левого лёгкого, что в сочетании с данными исследования может говорить о новых, ранее не изученных, двухэтапных механизмах формирования и развития острой дыхательной недостаточности. Полученные данные позволяют рекомендовать целенаправленное ультразвуковое сканирование этих зон в рамках комплексной оценки респираторного статуса и могут способствовать более точной персонализации интенсивной терапии и оптимизации динамического наблюдения за респираторным статусом у детей с подозрением на острую дыхательную недостаточность. Требуются дальнейшие исследования.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Ультразвуковое исследование легких в отделении анестезиологии-реанимации детского кардиохирургического профиля: обзор литературы / А. И. Грицан, **А. А. Пфейфер**, С. А. Гурченко [и др.] // **Вестник интенсивной терапии имени А. И. Салтанова**. – 2024. – № 3. – С. 161–176.

2. LUCH-D – прогностическая модель развития острой дыхательной недостаточности в послеоперационный период у детей грудного возраста после радикальных кардиохирургических операций на основе оригинального протокола ультразвукового исследования легких: пилотное рандомизированное контролируемое исследование / **А. А. Пфейфер**, А. Ю. Миллер, С. А. Гурченко [и др.] // **Вестник интенсивной терапии имени А. И. Салтанова**. – 2025. – № 2. – С. 125–144.

3. Методика и семиотика ультразвукового исследования легких у детей в отделении анестезиологии и реанимации / **А. А. Пфейфер**, С. А. Гурченко, К. А. Ильиных [и др.] // **Анестезиология и реаниматология**. – 2025. – № 2. – С. 90–100.

4. Информативность ультразвукового исследования легких у детей первого года жизни после кардиохирургических операций: проспективное наблюдательное исследование /

А. А. Пфейфер, С. А. Гурченко, К. А. Ильиных [и др.] // **Вестник интенсивной терапии имени А. И. Салтанова**. – 2026. – № 1. – С. 164–178.

5. **Патент 2858762 Российская Федерация**, МПК (2006.01) А61В 8/08. Способ ультразвукового исследования легких и плевральных полостей в послеоперационном периоде у детей кардиохирургического профиля : № 2025117030 : заявл. 20.06.2025 : опубл. 24.03.2026 / **Пфейфер А. А.**, Грицан А. И. ; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Красноярский государственный медицинский университет имени профессора В.Ф. Войно-Ясенецкого» Министерства здравоохранения Российской Федерации (ФГБОУ ВО КГМУ им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого Минздрава России). – 11 с.

6. **Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2024689763** Российская Федерация. Прогностическая модель развития острой дыхательной недостаточности в послеоперационном периоде у детей после радикальных кардиохирургических операций «LUCH-D» : заявл. 05.12.2024 : зарегистр. 30.01.2025 / **А. А. Пфейфер**, А. Ю. Миллер ; заявитель А. А. Пфейфер. – 7,42 КБ.

7. **Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2025661123** Российская Федерация. Прогностическая модель «LUCH-D» на основе ансамблевого алгоритма машинного обучения Random Forest : заявл. 16.04.2025 : зарегистр. 30.04.2025 / **А. А. Пфейфер** ; заявитель **А. А. Пфейфер**. – 20 КБ.

8. Ультразвуковое исследование как метод прикроватной оценки функции лёгких врачом анестезиологом-реаниматологом у детей кардиохирургического профиля / **А. А. Пфейфер**, К. А. Ильиных, А. И. Грицан [и др.] // Третий Всероссийский съезд детских кардиохирургов и специалистов по врождённым порокам сердца : сборник тезисов, Казань, 5–7 сентября 2024 г. – Москва : Издательство РАМН, 2024. – С. 26–27.

9. **Пфейфер, А. А.** Ультразвуковые предикторы развития острой дыхательной недостаточности в послеоперационном периоде у детей кардиохирургического профиля / **А. А. Пфейфер** // Форум анестезиологов и реаниматологов России (ФАРР-2025) : сборник тезисов. – Москва : Человек и его здоровье, 2025. – С. 307–308.

10. «LUCH-D» – модель прогнозирования острой дыхательной недостаточности на основе ансамблевого алгоритма машинного обучения у детей после радикальных кардиохирургических операций с искусственным кровообращением / **А. А. Пфейфер**, А. Ю. Миллер, С. А. Гурченко [и др.] // Четвёртый Всероссийский съезд детских кардиохирургов и специалистов по врождённым порокам сердца : сборник тезисов, Самара, 11–13 сентября 2025 г. – Москва : Издательство РАМН, 2025. – С. 22.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ВПС	врожденный порок сердца
ИВЛ	искусственная вентиляция легких
ИК	искусственное кровообращение
МЛР	модель логистической регрессии
ММО	модель машинного обучения
ОДН	острая дыхательная недостаточность
УЗИ	ультразвуковое исследование
F_iO_2	фракция кислорода во вдыхаемом воздухе
LUCH-D	Lung Ultrasound in Congenital Heart Disease
PaO_2	парциальное давление кислорода в артериальной крови
SaO_2	сатурация артериальной крови