

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ В ИНТЕНСИВНОЙ ТЕРАПИИ

<https://doi.org/10.21320/1818-474X-2026-2-140-150>

### Количественная ультразвуковая оценка легких для прогноза послеоперационной десатурации: ретроспективное наблюдательное исследование

И.С. Щепарев <sup>1,\*</sup>, Б.А. Теплых <sup>1</sup>, А.Н. Кузовлев <sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБУ «Национальный медико-хирургический центр им. Н.И. Пирогова» Минздрава России, Москва, Россия

<sup>2</sup> ФГБНУ «Федеральный научно-клинический центр реаниматологии и реабилитологии» Минобрнауки России, Москва, Россия

#### Реферат

**АКТУАЛЬНОСТЬ:** Послеоперационные ателектазы являются частым осложнением, однако прогнозирование развития клинически значимой гипоксемии у конкретных пациентов остается нерешенной задачей. Ультразвуковое исследование (УЗИ) легких позволяет количественно оценить выраженность ателектазов, но его прогностическая ценность в отношении десатурации требует уточнения. **ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ:** Определить, является ли количественная оценка выраженности послеоперационных ателектазов по данным УЗИ легких независимым предиктором развития клинически значимой десатурации (сатурации артериальной крови кислородом [SpO<sub>2</sub>] ≤ 90 %) у гетерогенной когорты хирургических пациентов. **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ:** Проведено ретроспективное наблюдательное исследование. Применен упрощенный двухзонный протокол УЗИ легких до операции и после нее, выраженность ателектазов оценивалась по шкале 0–3. Основным предиктором служил суммарный балл УЗИ после операции, основным исходом — десатурация (SpO<sub>2</sub> ≤ 90 %). Прогностическая ценность оценивалась с помощью ROC-анализа и многофакторной логистической регрессии. **РЕЗУЛЬТАТЫ:** Включено 450 пациентов после плановых операций в условиях общей анестезии с искусственной вентиляцией легких (ИВЛ): 300 (66,7 %) женщин и 150 (33,3 %) мужчин. Медиана возраста — 51 год, диапазон — 18–84 года. Суммарный балл УЗИ продемонстрировал высокую прогностическую точность (AUC 0,85); оптимальный порог ≥ 3 баллов (чувствительность 73,8 %, специфичность 82,8 %). В многофакторном анализе каждый дополнительный балл УЗИ увеличивал шансы десатурации в 2,95 раза (отношение шансов [ОШ]

## PREDICTION IN INTENSIVE CARE MEDICINE

### Quantitative lung ultrasound assessment for predicting postoperative desaturation: a retrospective observational study

I.S. Shcheparev <sup>1,\*</sup>, B.A. Teplykh <sup>1</sup>, A.N. Kuzovlev <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Pirogov National Medical and Surgical Center, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Federal Research and Clinical Center of Intensive Care Medicine and Rehabilitology, Moscow, Russia

#### Abstract

**INTRODUCTION:** Postoperative atelectasis is a frequent complication, yet predicting which patients will develop clinically significant hypoxemia remains challenging. Lung ultrasound (LUS) enables quantitative assessment of atelectasis severity, but its prognostic value for desaturation has not been fully established. **OBJECTIVE:** To determine whether quantitative assessment of postoperative atelectasis severity by lung ultrasound is an independent predictor of clinically significant desaturation, defined as a decrease in peripheral oxygen saturation (SpO<sub>2</sub>) to ≤ 90 %, in a heterogeneous cohort of surgical patients. **MATERIALS AND METHODS:** A retrospective observational study was conducted. A simplified 2-zone LUS protocol was used preoperatively and postoperatively to assess atelectasis severity on a 0–3 scoring scale. The primary predictor was the total postoperative LUS score; the primary outcome was desaturation (SpO<sub>2</sub> ≤ 90 %). Prognostic value was assessed using receiver operating characteristic (ROC) analysis and multivariable logistic regression. **RESULTS:** A total of 450 patients undergoing elective surgery under general anesthesia with mechanical ventilation were included (300 women [66.7 %], 150 men [33.3 %]; median age 51 years, range 18–84). The LUS score demonstrated high prognostic accuracy for desaturation (area under the ROC curve, AUC 0.85); the optimal cutoff was ≥ 3 points (sensitivity 73.8 %, specificity 82.8 %). In multivariable analysis, each 1-point increase in LUS score raised the odds of desaturation 2.95-fold (odds ratio, OR 2.95; *p* < 0.001), with higher body mass index (BMI) as additional independent predictor. **CONCLUSIONS:** Quantitative assessment of postoperative atelectasis by lung ultrasound is a strong independent predictor of clinically significant desaturation. LUS monitoring

2,95;  $p < 0,001$ ) наряду с повышенным индексом массы тела (ИМТ). **ВЫВОДЫ:** Количественная оценка послеоперационных ателектазов по данным УЗИ легких является сильным независимым предиктором клинически значимой десатурации. УЗИ-мониторинг позволяет объективно стратифицировать риск гипоксемии и выделять пациентов, которым показаны целенаправленные респираторные вмешательства и усиленное наблюдение.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ателектаз легких, ультразвуковое исследование легких, гипоксемия, общая анестезия, искусственная вентиляция легких, прогноз

\* *Для корреспонденции:* Щепарев Иван Сергеевич — канд. мед. наук, врач — анестезиолог-реаниматолог, ФГБУ «Национальный медико-хирургический Центр им. Н.И. Пирогова» Минздрава России, Москва, Россия; e-mail: teplykhba@pirogov-center.ru, is22@list.ru

✉ *Для цитирования:* Щепарев И.С., Теплых Б.А., Кузовлев А.Н. Количественная ультразвуковая оценка легких для прогноза послеоперационной десатурации: ретроспективное наблюдательное исследование. Вестник интенсивной терапии им. А.И. Салтанова. 2026; 2:140–150. <https://doi.org/10.21320/1818-474X-2026-2-140-150>

📅 *Поступила:* 17.10.2025

📄 *Принята к печати:* 15.02.2026

enables objective risk stratification for hypoxemia and helps identify patients who may benefit from targeted respiratory interventions and closer postoperative surveillance.

**KEYWORDS:** pulmonary atelectasis, ultrasonography lung, hypoxemia, anesthesia general, respiration artificial, prognosis

\* *For correspondence:* Ivan S. Shcheparev — Researcher, Pirogov National Medical and Surgical Center, Moscow, Russia; e-mail: teplykhba@pirogov-center.ru, is22@list.ru

✉ *For citation:* Shcheparev I.S., Teplykh B.A., Kuzovlev A.N. Quantitative lung ultrasound assessment for predicting postoperative desaturation: a retrospective observational study. Annals of Critical Care. 2026; 2:140–150. <https://doi.org/10.21320/1818-474X-2026-2-140-150>

📅 *Received:* 17.10.2025

📄 *Accepted:* 15.02.2026

DOI: 10.21320/1818-474X-2026-2-140-150

## Введение

Послеоперационные легочные осложнения остаются одной из наиболее серьезных проблем в современной хирургии и анестезиологии-реаниматологии, оказывая значительное влияние на исходы лечения [1]. Развитие таких осложнений ассоциировано с увеличением летальности и сроков госпитализации, что подчеркивает критическую важность их своевременной диагностики и профилактики [2, 3]. Наиболее частым среди всех послеоперационных легочных осложнений является ателектазирование легких, которое формируется в течение первых минут после индукции общей анестезии у 85–90 % пациентов [4–6]. Выступая в качестве триггера для последующих более тяжелых осложнений, ателектаз приводит к нарушению вентиляционно-перфузионных отношений в легких [2]. Прямым физиологическим следствием этого процесса является развитие гипоксемии, которая может сохраняться в течение нескольких дней после обширных вмешательств и представляет непосредственную угрозу для пациен-

та [7]. Несмотря на высокую частоту ателектазирования, своевременная диагностика этого состояния у постели больного представляет собой сложную задачу. Клинические признаки, такие как аускультативные изменения, часто бывают неспецифичными и ненадежными [7, 8]. Золотым стандартом диагностики является компьютерная томография, однако ее рутинное применение в послеоперационный период для скрининга невозможно из-за высокой лучевой нагрузки, стоимости и логистических трудностей [2, 6, 9]. Таким образом, в клинической практике существует значимый пробел: отсутствует простой и надежный инструмент, который позволил бы не только диагностировать ателектаз, но и, что более важно, спрогнозировать, у кого из многочисленных пациентов с ателектазами разовьется клинически значимая гипоксемия. В последние годы ультразвуковое исследование (УЗИ) легких утвердилось в качестве быстрого, безопасного, неинвазивного [10, 11] и валидированного прикроватного метода диагностики, превосходящего по информативности стандартную рентгенографию грудной клетки [4, 6,

12]. Что особенно важно, стандартизированные протоколы УЗИ позволяют не просто констатировать наличие ателектаза, а количественно оценить его выраженность с помощью валидированных балльных шкал [6, 13, 14]. Наибольшее диагностическое значение имеют заднебазальные отделы легких, где нарушения аэрации развиваются чаще всего. Использование 12-зонного протокола УЗИ легких информативно, но трудоемко для рутинного применения. В настоящей работе мы использовали упрощенный двухзонный протокол, фокусирующийся на заднебазальных отделах, как компромисс между информативностью и реалистичностью внедрения в повседневную практику. Следует отметить, что упрощенные протоколы, фокусирующиеся именно на этих зонах, на данный момент не валидированы, несмотря на очевидное преимущество в скорости выполнения [15]. Ряд исследований продемонстрировал, что увеличение балла по данным УЗИ коррелирует с ухудшением послеоперационной оксигенации [4, 5, 16]. Это позиционирует УЗИ не только как диагностический, но и как потенциально мощный прогностический инструмент, способный оценить степень физиологических нарушений и предсказать риск неблагоприятных исходов. Хотя общая корреляция между ультразвуковой оценкой ателектазов и оксигенацией установлена, специфическая прогностическая ценность количественного балла по УЗИ для предсказания клинически значимого исхода — десатурации при дыхании атмосферным воздухом до уровня сатурации артериальной крови ( $SpO_2$ )  $\leq 90\%$  — остается недостаточно изученной. Неясно, является ли балл по УЗИ лишь сопутствующей находкой или же он представляет собой независимый предиктор, сохраняющий свое значение даже при учете других факторов риска, связанных с пациентом и характером операции.

### Цель исследования

Оценить прогностическую значимость количественной ультразвуковой оценки послеоперационных ателектазов в отношении риска развития клинически значимой десатурации ( $SpO_2 \leq 90\%$ ) у гетерогенной когорты хирургических пациентов.

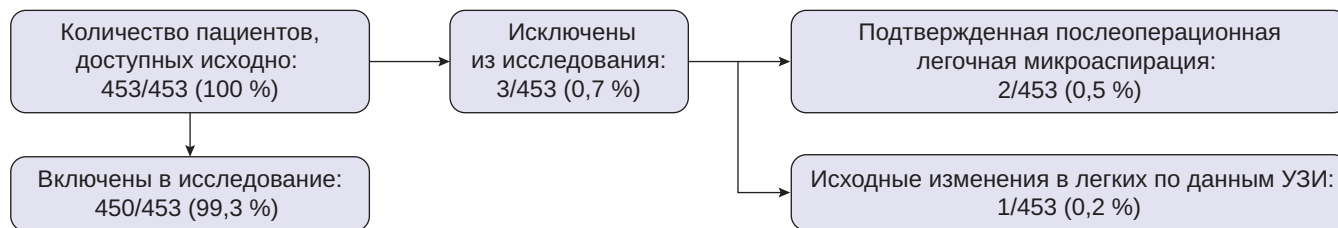


Рис. 1. Блок-схема отбора пациентов в исследование

Fig. 1. Flowchart of patient selection in the study

## Материалы и методы

### Дизайн исследования и формирование выборки

Исследование является ретроспективным наблюдательным. Выполнено на основе анализа массива клинических и инструментальных данных пациентов, перенесших хирургические вмешательства в условиях общей анестезии с искусственной вентиляцией легких (ИВЛ) с 1 апреля по 1 июня 2025 г. в отделении анестезиологии и реанимации с палатами реанимации и интенсивной терапии для взрослого населения № 1 Национального медико-хирургического центра им. Н.И. Пирогова. Исследование зарегистрировано на Clinical Trials Registry 06 октября 2025 г. (Registration No. NCT07211074).

Ниже представлена диаграмма flow chart, представляющая процесс отбора пациентов (рис. 1).

Исследование представляет собой ретроспективный анализ рутинной клинической практики. Для снижения организационной нагрузки и уменьшения риска систематических ошибок набор пациентов осуществлялся в заранее определенные дни наблюдения. В эти дни в исследование последовательно включались все пациенты, удовлетворяющие критериям включения и не имеющие критериев исключения. Размер выборки определялся числом таких пациентов и составил 450 человек. Априорный расчет статистической мощности (расчет при помощи G-Power 3.1): при ожидаемой частоте десатурации 10 % и отношении шансов 3,0 для баллов по УЗИ  $\geq 3$ , объем  $n = 450$  обеспечивал мощность 80 % ( $\alpha = 0,05$ ). Дополнительно был выполнен post-hoc анализ мощности для сравнения частоты послеоперационной десатурации между группами РЕЕР  $\leq 7$  и  $\geq 8$  см вод. ст. При наблюдаемых пропорциях исхода 11,6и 0,8 %, размерах групп 250 и 119 пациентов соответственно, уровне значимости  $\alpha = 0,05$  расчетная статистическая мощность составила 0,99.

### Критерии включения и исключения

В исследование включались все пациенты, удовлетворяющие критериям включения/исключения, зафиксированные в электронной медицинской системе,

с полной регистрацией интраоперационных и послеоперационных показателей.

#### Критерии включения в исследование:

- оперативное вмешательство в условиях общей анестезии с использованием ИВЛ;
- тип протекции дыхательных путей — эндотрахеальная трубка или ларингеальная маска;
- исходно нормальная ультразвуковая картина заднебазальных отделов легких (0 баллов по УЗИ легких).

#### Критерии исключения из исследования:

- кардиохирургические и торакальные операции;
- выявленный периоперационно пневмоторакс;
- невозможность адекватной визуализации на УЗИ целевых точек;
- наличие гидроторакса;
- подтвержденный факт периоперационной легочной аспирации;
- исходные патологические изменения при УЗИ заднебазальных отделов легких;
- необходимость массивной гемотрансфузии во время операции;
- операции на диафрагме;
- длительная остаточная седация после операции (> 2 ч).

#### Параметры вентиляции и оксигенации во время анестезии

Во всех случаях использовалась ИВЛ в режиме контроля по объему или давлению по решению анестезиолога. Дыхательный объем задавался в диапазоне 6–10 мл/кг идеальной массы тела в зависимости от клинической ситуации и рутинных предпочтений ответственного анестезиолога. Фракция вдыхаемого кислорода ( $FiO_2$ ) обычно составляла 40–60 % с индивидуальной коррекцией при необходимости. Частота дыханий выставлялась согласно показателям капнографа. В анализируемой когорте клинически значимые эпизоды интраоперационной гипоксемии не отмечены: уровень  $SpO_2$  на протяжении анестезии оставался  $\geq 96$  % у всех пациентов.

#### Мероприятия по профилактике ателектазов во время анестезии

На момент проведения исследования в отделении не применялся единый стандартизированный протокол профилактики послеоперационных ателектазов. Настройки вентиляции, уровень Positive End-Expiratory Pressure (PEEP), а также использование рекрутмент-маневров и периодических «вздохов» определялись рутинными предпочтениями ответственного анестезиолога с учетом клинических особенностей конкретного пациента. Специальные унифицированные схемы профилактики ателектазов не применялись. Клинически значимые эпизоды интраоперационной десатурации,

требующие изменения тактики анестезиологического ведения, в анализируемой когорте не регистрировались.

#### Описание схемы ультразвукового исследования мониторинга легких

Сканирование проводилось в двух заднебазальных точках, соответствующих шестым зонам в 12-зонном протоколе: по линии между медиальным краем лопатки и позвоночником на уровне нижнего края легкого справа и слева. Таким образом, протокол фокусировался на наиболее уязвимых для развития ателектазов заднебазальных отделах легких. Использовался аппарат Sonosite Edge с конвексным датчиком в режиме «Абдоминальный».

УЗИ легких выполнялось тремя исследователями, прошедшими специализированное обучение и имеющими достаточную компетенцию в ультразвуковой оценке легких, что обеспечивало надежное распознавание целевых ультразвуковых паттернов [15]. Степень потери аэрации в каждой зоне оценивали по модифицированной авторами балльной шкале от 0 до 3:

- 0 баллов — сохраненная аэрация: в поле зрения преобладают А-линии, допускается не более двух тонких, маловыраженных В-линий;
- 1 балл — легкая потеря аэрации: наличие более двух В-линий в поле зрения и/или единичный субплевральный консолидат малых размеров с гетерогенной структурой;
- 2 балла — выраженная потеря аэрации: субплевральные консолидаты с четкой, преимущественно гипоэхогенной однородной структурой, вплоть до плащевидного распространения вдоль линии плевры;
- 3 балла — крупная консолидация с признаками статической бронхограммы в ее толще.

Суммарный балл УЗИ оценки легких рассчитывали как сумму баллов в двух зонах (диапазон 0–6).

УЗИ легких проводилось дважды: до индукции анестезии при поступлении пациента в операционную и в течение первых двух часов после окончания операции. Послеоперационное исследование выполняли при отсутствии признаков остаточной седации и мио-релаксации; готовность пациента оценивали по шкале Post-anesthetic Recovery Score (PARS) [17], допустимым считался общий балл > 8 при обязательном значении 2 балла по показателю «Вентиляция».

#### Межэкспертная повторяемость

УЗИ легких выполняли три анестезиолога-реаниматолога. Предварительно до начала исследования было проведено стандартизированное обучение. Один врач с опытом в УЗИ легких более 10 лет обучал двух остальных. Обучение включало стандартизированный упрощенный протокол (оценка 2 зон) и контроль на 20 па-

циентах под непосредственным наблюдением опытного врача. Простота протокола специально разработана для обеспечения высокой повторяемости. В результате контроля межэкспертная повторяемость составила 0,85 (95 % ДИ 0,78–0,92), внутриэкспертная воспроизводимость ICC 0,91 (95 % ДИ 0,85–0,96). Высокие показатели достигнуты благодаря упрощенному протоколу и стандартизированному обучению.

**Переменные исследования и формат их учета:**

- способ протекции дыхательных путей: категориально (эндотрахеальная интубация/ларингеальная маска);
- пол: категориально (мужской/женский);
- возраст: количественно (годы);
- уровень (РЕЕР): количественно (см вод. ст.; непрерывная переменная);
- индекс массы тела (ИМТ): количественно (кг/м<sup>2</sup>);
- положение во время операции и наличие лапароскопии: категориально;
- длительность операции: категориально (до 2 ч / 2–3 ч / > 3 ч);
- баллы по шкале Assess Respiratory Risk in Surgical Patients in Catalonia (ARISCAT): количественно (баллы);
- исходный уровень SpO<sub>2</sub>: категориально (≤ 90 % / 91–95 % / ≥ 96 %);
- ультразвуковой балл после операции: количественно (суммарный балл);
- наличие послеоперационной десатурации не менее 30 мин при баллах по шкале PARS выше 8 (при этом показатель «Вентиляция» 2 балла): категориально (да — SpO<sub>2</sub> ≤ 90 %, нет — SpO<sub>2</sub> > 90 %).

**Описание исходов и ключевых переменных**

В рамках данного исследования были определены основной клинический исход и ключевая прогностическая переменная. Основной клинический исход: наличие послеоперационной десатурации, определяемой как снижение SpO<sub>2</sub> до уровня ≤ 90 % не менее 30 мин при балле по PARS > 8, при обязательном значении 2 балла по показателю «Вентиляция». Ключевой прогностический показатель: выраженность послеоперационных ателектазов, количественно оцениваемая с помощью суммарного балла по данным УЗИ легких. Стратегия анализа заключалась в том, чтобы оценить, как ключевой прогностический показатель (балл УЗИ оценки) связан с основным клиническим исходом (десатурацией).

**Сбор данных и контроль качества**

Клинические, анестезиологические данные и результаты УЗИ легких извлекались из электронной медицинской документации. Первичный сбор и кодирование данных выполняли три анестезиолога-реаниматолога, обученных методике УЗИ легких и участвовавших

в УЗИ включенных пациентов. Для контроля качества один из старших исследователей независимо перепроверял случайную выборку не менее 10 % записей на полноту и корректность внесения всех анализируемых переменных. Обнаруженные несоответствия обсуждались и устранялись консенсусом; при невозможности надежно восстановить исходное значение переменная помечалась как отсутствующая и учитывалась в статистическом анализе как пропуск.

**Этические аспекты и контроль качества**

Все этапы сбора и обработки данных соответствовали локальным требованиям по защите информации и стандартам научной этики. Протокол исследования был одобрен локальным этическим комитетом Национального медико-хирургического центра им. Н.И. Пирогова (протокол № 5 от 16.07.2025). Информированное согласие не было применимо к данному исследованию.

**Статистический анализ**

Статистическая обработка данных и их визуализация проводилась с использованием программного пакета IBM SPSS Statistics, версия 27.0 (IBM Corp., Armonk, NY, США). Критический уровень статистической значимости для всех выполняемых тестов был установлен на уровне  $p < 0,05$ . Для характеристики исследуемой когорты ( $n = 450$ ) применялись методы описательной статистики. Нормальность распределения количественных переменных оценивалась с помощью критерия Шапиро—Уилка. Данные с нормальным распределением представлены в виде среднего значения ± стандартное отклонение (SD), в то время как данные с распределением, отличным от нормального, — в виде медианы и интерквартильного размаха (IQR). Категориальные переменные описывались абсолютными и относительными частотами ( $n$ , %). Для определения способности послеоперационного ультразвукового балла прогнозировать развитие десатурации (SpO<sub>2</sub> ≤ 90 %) был выполнен ROC-анализ. Рассчитывалась площадь под кривой (AUC) с 95% ДИ. Оптимальное пороговое значение (cut-off) для балла по УЗИ определялось по максимальному значению индекса Юдена. Для найденной точки отсечения были рассчитаны чувствительность и специфичность. Для оценки силы связи между категориальными переменными (включая балл по УЗИ, разделенный по найденной точке отсечения) и фактом развития десатурации использовался критерий  $\chi^2$  Пирсона или при малых ожидаемых частотах в ячейках точный критерий Фишера. Для выявления независимых факторов, ассоциированных с риском развития послеоперационной десатурации, был применен метод многофакторной бинарной логистической регрессии. В качестве зависимой (бинарной) переменной выступало наличие или отсут-

ствии клинически значимой десатурации ( $SpO_2 \leq 90\%$ ). Независимые переменные отбирались на основе клинической значимости с целью избежать переобучения модели. Многофакторный логистический регрессионный анализ был выполнен методом пошагового включения ( $p < 0,10$  для входа) с контролем VIF (variance inflation factor)  $< 5$  (отсутствие мультиколлинеарности). В регрессионную модель были включены следующие независимые переменные (предикторы): количественные (возраст, ИМТ, балл по шкале ARISCAT, ультразвуковой балл после операции, уровень РЕЕР, движущее давление [dP] и дыхательный объем [Vt]) и категориальные (пол, лапароскопия, положение на операционном столе, способ протекции дыхательных путей и исходный уровень  $SpO_2$ ). Результаты анализа представлены в виде отношения шансов (ОШ) с 95% ДИ. Для наглядного представления результатов использовались следующие графики: ROC-кривая для демонстрации прогностической ценности балла по УЗИ, forest plot (лес-диаграмма) — для визуализации результатов многофакторного регрессионного анализа, отображающая ОШ и 95% ДИ для каждого предиктора.

## Результаты

### Характеристика общей группы пациентов

В зависимости от клинической ситуации и решения анестезиолога протекция дыхательных путей обеспечивалась либо эндотрахеальной трубкой ( $n = 369$ ; 82%), либо ларингеальной маской ( $n = 81$ ; 18%). Когорта пациентов была гетерогенной и включала в себя различные типы хирургических вмешательств. В частности, 32,4% операций были выполнены лапароскопически, а 20% вмешательств проводились в положении пациента на животе (прон-позиция). Исходные демографические и клинико-anamнестические данные всей исследуемой группы представлены в таблице 1.

### Прогностическая ценность послеоперационного УЗИ легких для развития десатурации

Для оценки прогностической значимости УЗИ легких в отношении развития послеоперационной десатурации ( $SpO_2 \leq 90\%$ ) и определения оптимального порогового значения выраженности ателектазов был проведен последовательный статистический анализ.

### Определение порогового значения методом ROC-анализа

На первом этапе был выполнен ROC-анализ, в который были включены данные 450 пациентов. В качестве предиктора использовался суммарный балл по УЗИ после операции, а в качестве бинарного исхо-

**Таблица 1.** Исходные характеристики исследуемой когорты ( $n = 450$ )

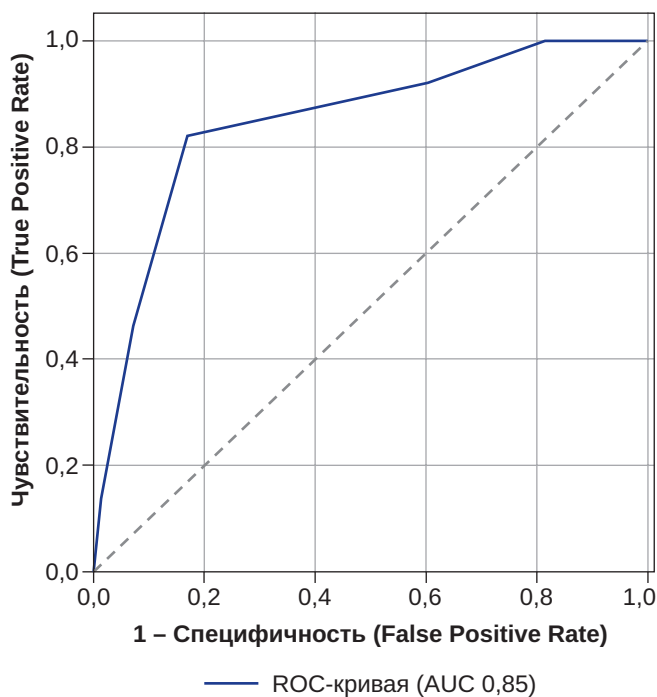
**Table 1.** Baseline characteristics of the study cohort ( $n = 450$ )

Показатель	Значение
Возраст, лет; медиана (IQR)	51 (41–65)
Пол (мужчины/женщины), $n$ (%)	150 (33,3 %)/ 300 (66,7 %)
ИМТ, кг/м <sup>2</sup> , среднее $\pm$ SD	28,5 $\pm$ 5,6
Балл по ARISCAT, медиана (IQR)	31 (19–42)
Способ протекции дыхательных путей, $n$ (%):	
■ эндотрахеальная трубка;	369 (82,0 %)
■ ларингеальная маска	81 (18,0 %)
Положение пациента/доступ, $n$ (%):	
■ лапароскопия;	146 (32,4 %)
■ прон-позиция	90 (20,0 %)
Длительность операции, $n$ (%):	
■ до 2 ч;	279 (62,0 %)
■ от 2 до 3 ч;	97 (21,6 %)
■ более 3 ч	74 (16,4 %)
ARISCAT — шкала оценки риска послеоперационных легочных осложнений; IQR — межквартильный размах; VIF — коэффициент инфляции дисперсии; ИМТ — индекс массы тела.	
ARISCAT — Assess Respiratory Risk in Surgical Patients in Catalonia; IQR — interquartile range; VIF — variance inflation factor; ИМТ — body mass index.	

да — факт развития десатурации. Анализ показал высокую прогностическую ценность ультразвукового балла. Площадь под ROC-кривой (AUC) составила 0,85, 95% ДИ для AUC 0,78–0,91, что соответствует хорошему качеству модели. С помощью индекса Юдена было определено оптимальное пороговое значение (cut-off), которое составило  $\geq 3$  баллов. Для данной точки отсечения прогностические характеристики были следующими: чувствительность 73,8% (95% ДИ 60,9–84,2), специфичность 82,8% (95% ДИ 78,8–86,3). Это означает, что УЗИ оценка ателектазов в 3 и более балла является оптимальным порогом для выявления пациентов с высоким риском последующей десатурации (рис. 2).

### Анализ ассоциации между выраженностью ателектазов и риском десатурации

На втором этапе была оценена сила связи между выявленным пороговым значением ( $\geq 3$  баллов) и частотой развития десатурации. Пациенты с выраженностью ателектазов  $\geq 3$  баллов имели частоту десатурации 31,4%. В то же время у пациентов с изменениями  $< 3$  баллов этот показатель составил всего 2,0%. Различия между группами были статистически высокозначимыми ( $p < 0,0001$ , точный критерий Фишера).



**Рис. 2.** ROC-кривая для оценки прогностической значимости суммарного балла по ультразвуковому исследованию в отношении послеоперационной десатурации

**Fig. 2.** ROC curve for the prognostic value of the total ultrasound score in predicting postoperative desaturation

### Многофакторный анализ

Результаты многофакторного анализа (табл. 2) выявили пять независимых предикторов послеоперационной десатурации. Модель хорошо откалибрована ( $R^2$  Nagelkerke 0,481; AUC 0,922).

### Интерпретация результатов

Наиболее сильными предикторами десатурации были выраженные ателектазы по УЗИ легких (ОШ 2,95; 95 % ДИ 1,97–4,40;  $p < 0,001$ ) и ИМТ (ОШ 1,19; 95 % ДИ

1,07–1,31;  $p < 0,001$ ). Каждое увеличение суммарного балла по УЗИ на 1 единицу повышало риск десатурации в 2,95 раза, рост ИМТ на  $1 \text{ кг/м}^2$  — на 19 %. Исходный уровень  $\text{SpO}_2$  показал тенденцию к влиянию, не достигшую статистической значимости (ОШ 3,02; 95 % ДИ 0,95–9,54;  $p = 0,060$ ). Возраст имел слабую положительную связь с риском десатурации (ОШ 1,04 за год; 95 % ДИ 1,00–1,08;  $p = 0,088$ ). Лапароскопический доступ ассоциировался с тенденцией к снижению риска десатурации (ОШ 0,22; 95 % ДИ 0,05–0,99;  $p = 0,049$ ). Однако в группе лапароскопических операций значительно чаще применялся РЕЕР  $\geq 8$  см вод. ст. по сравнению с открытыми операциями ( $p < 0,001$ ), что указывает на возможный конфаундинг. Такие показатели, как РЕЕР, ARISCAT, длительность операции, положение пациента и пол, не оказали независимого влияния ( $p > 0,10$ ).

### Обсуждение

Ключевым результатом нашего исследования стала выявленная ассоциация между количественной оценкой ателектазов по УЗИ и риском десатурации (ОШ 2,95 на каждый балл увеличения;  $p < 0,001$ ), сохраняющаяся после коррекции на демографические и операционные факторы.

Международный консенсус ESICM-ESPNIC [15] по количественной УЗИ оценке легких рекомендует стандартный 12-зонный протокол для расчета суммарного балла аэрации. Мы использовали усеченный двухзонный протокол УЗИ, фокусируясь на заднебазальных отделах, которые наиболее подвержены ателектазированию [18]. Этот подход приводит к значимой экономии времени [15] в рутинной практике анестезиолога. Мы использовали упрощенный вид шкалы выставления баллов, основанной на наличии и выраженности консолидаций, поскольку выставление баллов по классическим методикам вызывает сложности и разногласия [15]. Предложенная нами модификация шкалы может быть использована только для оценки выраженности ателектазов и не должна переноситься на иные

**Таблица 2.** Результаты многофакторного логистического регрессионного анализа факторов риска десатурации

**Table 2.** Results of multivariable logistic regression analysis of risk factors for desaturation

Фактор	ОШ	95% ДИ	$p$	VIF
Балл УЗИ после операции	2,95	1,97–4,40	$< 0,001$	1,34
ИМТ	1,19	1,07–1,31	$< 0,001$	1,22
$\text{SpO}_2$ исходно	3,02	0,95–9,54	0,060	2,21
Лапароскопия	0,22	0,05–0,99	0,049	1,35
Возраст	1,04	1,00–1,08	0,088	1,19

95% ДИ — 95%-й доверительный интервал; VIF — коэффициент инфляции дисперсии; УЗИ — ультразвуковое исследование.

95% ДИ — 95 % confidence interval; VIF — variance inflation factor; УЗИ — ultrasound examination.

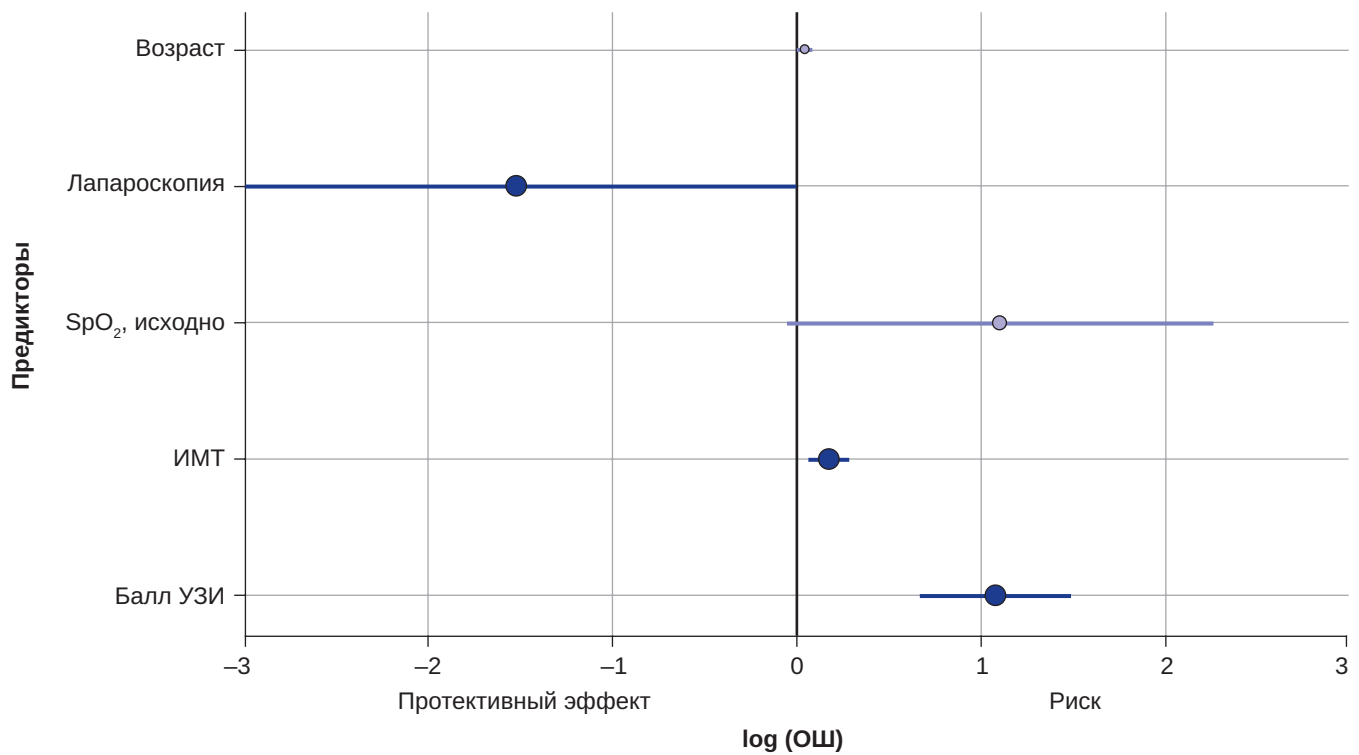


Рис. 3. Результаты многофакторного логистического регрессионного анализа факторов риска десатурации

**Примечание:** ИМТ — индекс массы тела; ОШ — отношение шансов; УЗИ — ультразвуковое исследование.

Fig. 3. Results of multivariable logistic regression analysis of risk factors for desaturation

**Note:** ИМТ — body mass index; ОШ — odds ratio; УЗИ — lung ultrasound.

патологии. Такой подход осознанно выбран как скрининговый инструмент в рамках рутинной практики с целью повысить воспроизводимость и применимость метода, однако он не полностью соответствует рекомендованной зональной схеме ESICM-ESPNIC и требует отдельной валидации в будущих проспективных исследованиях. Анализ продемонстрировал высокую прогностическую точность балла УЗИ оценки с площадью AUC равной 0,85, было определено оптимальное пороговое значение в  $\geq 3$  балла. Наиболее важным является то, что балл по УЗИ сохранил свою высокую прогностическую значимость в комплексной многофакторной модели, оставаясь сильным независимым предиктором (ОШ 2,95 на каждый балл увеличения). Этот вывод позволяет перейти от простой констатации корреляции между УЗИ картиной и оксигенацией, показанной в предыдущих работах [5, 6], к определению УЗИ легких как важного инструмента для количественного прогнозирования клинически значимых событий. Балл по УЗИ отражает конечный результат сложного взаимодействия между исходными факторами риска пациента (такими как ИМТ и возраст), характером хирургического вмешательства и анестезиологического пособия (включая положение на столе, длительность операции) и, что крайне важно, эффективностью интраоперационной стратегии ИВЛ. Являясь наиболее

близким и прямым измерением патофизиологического процесса, приведшего к гипоксемии, балл УЗИ оценки оказывается более сильным и непосредственным предиктором исхода, чем любой из отдельных факторов, повлиявших на его формирование.

Важной особенностью полученных результатов является то, что упрощенный двухзонный протокол УЗИ легких продемонстрировал работоспособность в гетерогенной когорте хирургических пациентов при условии отсутствия выраженных исходных изменений легких и доступности заднебазальных зон для сканирования. Хотя исследование не было специально спланировано для сравнения отдельных подгрупп по типу вмешательства и целенаправленный межгрупповой анализ не проводился, единообразная ассоциация суммарного балла УЗИ оценки с риском десатурации в общей выборке косвенно поддерживает применимость данного протокола в различных клинических сценариях.

В нашей когорте широко используемая и валидированная шкала ARISCAT не проявила себя как независимый предиктор десатурации. Несмотря на то что этот результат, вероятно, обусловлен ограниченным размером выборки и не умаляет общей значимости шкалы, он указывает на то, что предоперационный прогноз может не в полной мере отражать реальный физиологический ответ организма на стресс анестезии и хирургии.

Истинный риск гипоксемии является динамическим состоянием. Это наблюдение позволяет предложить концепцию, дополняющую предоперационное прогнозирование риска немедленной послеоперационной верификацией риска. Пациент с высокими предоперационными факторами риска (например, ожирением), но с низким послеоперационным баллом по УЗИ ( $< 3$ ) может быть реклассифицирован в группу более низкого риска немедленной гипоксемии. И наоборот, пациент, исходно считавшийся низкорисковым, но у которого по данным УЗИ выявлены выраженные ателектазы ( $\geq 3$  баллов), должен быть немедленно переведен в категорию высокого риска и стать объектом усиленного мониторинга и целенаправленных респираторных вмешательств. Такой подход, основанный на объективной оценке патологического процесса, а не только на демографических вероятностях, позволяет более рационально распределять ресурсы и персонализировать послеоперационное ведение пациентов. Многофакторный анализ подтвердил значимость ряда известных факторов риска. Повышенный ИМТ, пожилой возраст и особенно сниженный исходный уровень сатурации кислорода являлись сильными и независимыми предикторами послеоперационной десатурации. Эти результаты полностью согласуются с данными крупных исследований и подтверждают валидность нашей модели и репрезентативность исследуемой когорты [19, 20].

Интересной находкой стало видимое протективное влияние лапароскопического доступа (ОШ 0,22). Хотя известно, что сам по себе пневмоперитонеум способствует развитию ателектазов [21–23], полученный результат, вероятно, объясняется особенностями интраоперационного ведения в нашей клинике. В ходе анализа было отмечено, что у пациентов, перенесших лапароскопические вмешательства, анестезиологи значительно чаще применяли более высокий уровень РЕЕР. Данная практика, направленная на компенсацию повышенного внутрибрюшного давления, не является общепринятым стандартом во всех стационарах и, таким образом, представляет собой особенность нашего исследования, которое могло повлиять на итоговые результаты. Однако в многофакторном анализе на данной выборке не была показана статическая значимость РЕЕР для снижения риска десатурации, что требует дальнейшего анализа и, возможно, расширения объема выборки пациентов.

### Ограничения исследования

Необходимо признать ряд ограничений данной работы. Во-первых, ретроспективный дизайн не позволяет установить прямые причинно-следственные связи и не исключает возможности систематических ошибок. Во-вторых, пороговое значение балла УЗИ оценки ( $\geq 3$ ) было определено *post hoc* на основании данных этой же когорты и требует обязательной валидации в независи-

мых проспективных исследованиях. В-третьих, данные были получены в одном центре, что может ограничивать их генерализуемость. В-четвертых, исследование представляет собой анализ рутинной клинической практики без жесткой стандартизации параметров вентиляции: фракция вдыхаемого кислорода ( $FiO_2$ ) варьировала, как правило, в диапазоне 0,40–0,60, а уровень РЕЕР подбирался индивидуально. Такой разброс  $FiO_2$  и РЕЕР потенциально мог влиять на частоту абсорбционных ателектазов и потому выступает важным неконтролируемым фактором [20]. Полученные результаты следует рассматривать как основу для планирования проспективного рандомизированного исследования со строгим протоколом респираторной поддержки и стандартизированными режимами ИВЛ. Следует также отметить, что наибольший риск абсорбционных ателектазов описан при использовании высоких концентраций кислорода (близких к 100 %) [20], тогда как в нашем исследовании  $FiO_2$ , как правило, находилась в умеренном диапазоне 40–60 %, что потенциально ограничивает выраженность этого эффекта у включенных пациентов. Наконец, мы использовали упрощенный протокол УЗИ, фокусируясь на заднебазальных отделах, которые наиболее подвержены ателектазированию. Этот подход удобен для скрининга, но мог привести к недооценке общего объема и распространенности ателектазов в других отделах легких. Данный протокол не полностью соответствует рекомендуемой зональной схеме международного консенсуса ESICM-ESPNIC, что ограничивает сопоставимость наших результатов с другими исследованиями и требует дальнейшей валидации.

### Заключение

Наши данные показывают, что количественная ультразвуковая оценка послеоперационных ателектазов по упрощенному двухзонному протоколу является сильным независимым предиктором клинически значимой послеоперационной десатурации ( $SpO_2 \leq 90\%$ ) у гетерогенной когорты хирургических пациентов.

Суммарный балл УЗИ-оценки легких  $\geq 3$  баллов обеспечивает высокую прогностическую точность (AUC 0,85; чувствительность 73,8 %, специфичность 82,8 %) и ассоциирован с повышенным риском десатурации. Низкий исходный уровень  $SpO_2$ , повышенный ИМТ и возраст в сочетании с высоким суммарным баллом УЗИ позволяют выделить группу пациентов, которым показаны усиленный респираторный мониторинг и таргетные дыхательные вмешательства в ранний послеоперационный период. Полученные результаты подчеркивают потенциал прикроватного УЗИ легких как инструмента стратификации риска и обосновывают необходимость проспективных многоцентровых исследований для валидации предложенного порогового значения и разработки клинических протоколов, основанных на данных УЗИ.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Disclosure.** The authors declare no competing interests.

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

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

**Этическое утверждение.** Проведение исследования было одобрено локальным этическим комитетом ФГБУ «Национальный медико-хирургический центр им. Н.И. Пирогова» Минздрава России, Москва, Россия (протокол № 5 от 16.07.2025).

**Ethics approval.** This study was approved by the local Ethical Committee of Pirogov National Medical and Surgical Center, Moscow, Russia (reference number: 5-16.07.2025).

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

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

**Декларация о наличии данных.** Данные, подтверждающие выводы этого исследования, находятся в открытом доступе в репозитории Mendeley Data по адресу <https://data.mendeley.com/datasets/y9bxg9gxzb/1>.

**Data Availability Statement.** The data that support the findings of this study are openly available in repository Mendeley Data at <https://data.mendeley.com/datasets/y9bxg9gxzb/1>.

#### ORCID авторов:

Щепарев И.С. — 0000-0002-0432-135X

Теплых Б.А. — 0000-0002-1784-9540

Кузовлев А.Н. — 0000-0002-5930-0118

## Литература/References

- [1] Вейлер Р.В., Трэмбач Н.В., Мусаева Т.С. и др. Модель прогнозирования послеоперационной пневмонии в абдоминальной хирургии: результаты наблюдательного многоцентрового исследования. Вестник интенсивной терапии им. А.И. Салтанова. 2023; 4: 43–59. [Veyler R.V., Trembach N.V., Musaeva T.S., et al. Prediction model for postoperative pneumonia in abdominal surgery: results of an observational multicenter study. *Annals of Critical Care*. 2023; 4: 43–59. (In Russ)] DOI: 10.21320/1818-474X-2023-4-43-59
- [2] Liao B., Liao W., Yin S., et al. Effect of ultrasound-guided lung recruitment to reduce pulmonary atelectasis after non-cardiac surgery under general anesthesia: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Perioperative Medicine*. 2024; 13(1). DOI: 10.1186/s13741-024-00379-7
- [3] Ma J., Sun M., Song F., et al. Effect of ultrasound-guided individualized positive end-expiratory pressure on the severity of postoperative atelectasis in elderly patients: a randomized controlled study. *Scientific Reports*, 2024; 14(1). DOI: 10.1038/s41598-024-79105-8
- [4] Wu X., Xia, H., et al. Effects of ultrasound-guided alveolar recruitment manoeuvres compared with sustained inflation or no recruitment manoeuvres on atelectasis in laparoscopic gynaecological surgery as assessed by ultrasonography: a randomized clinical trial. *BMC Anesthesiology*, 2022; 22(1). DOI: 10.1186/s12871-022-01798-z
- [5] Frassanito L., Sonnino C., Pitoni S., et al. Lung ultrasound to monitor the development of pulmonary atelectasis in gynecologic oncologic surgery. *Minerva Anestesiologica*, 2020; 86(12), 1287–95. DOI: 10.23736/S0375-9393.20.14687-X
- [6] Yu X., Zhai Z., Zhao Y., et al. Performance of Lung Ultrasound in Detecting Peri-Operative Atelectasis after General Anesthesia. *Ultrasound in Medicine and Biology*, 2016; 42(12), 2775–84. DOI: 10.1016/j.ultrasmedbio.2016.06.010
- [7] Miskovic A., Lumb A.B. Postoperative pulmonary complications. *British Journal of Anaesthesia*, 2017; 118(3), 317–34. DOI: 10.1093/bja/aex002
- [8] Петров А.А., Сафарова А.Ф., Рачина С.А. и др. Ультразвуковое исследование легких: методика выполнения и перспективы в диагностике нозокомиальной пневмонии. Практическая пульмонология. 2018; 3: 46–57. [Petrov A.A., Safarova A.F., Rachina S.A., et al. Ultrasound examination of lungs: procedure and role in diagnosis of nosocomial pneumonia. *Prakticheskaya pul'monologiya*. 2018; 3: 46–57. (In Russ)] Accessed October 21, 2025. <https://bronhus.com/wp-content/uploads/2019/11/Ультразвуковое-исследование-легких-методика-выполнения-и-перспективы-в-диагностике-нозокомиальной-пневмонии.pdf>
- [9] Зоря О.Т., Рачина С.А., Кобалава Ж.Д. и др. Ультразвуковое исследование легких в диагностике пневмонии в многопрофильном стационаре: результаты проспективного исследования. Медицинский вестник Северного Кавказа. 2020; 15(4): 476–9. [Zorya O.T., Rachina S.A., Kobalava

- Zh.D., et al.* Ultrasound of the lungs in the diagnosis of pneumonia in a multispeciality hospital: results of a prospective study. *Medical News of North Caucasus*. 2020; 15(4): 476–9. (In Russ) DOI: 10.14300/mnnc.2020.15111
- [10] *Грицан А.И., Пфейфер А.А., Гурченко С.А. и др.* Ультразвуковое исследование легких в отделении анестезиологии- реанимации детского кардиохирургического профиля: обзор литературы. *Вестник интенсивной терапии им. А.И. Салтанова*. 2024; 3: 161–76. [*Gritsan A.I., Pfeifer A.A., Gurchenko S.A., et al.* Lung ultrasound at the department of anesthesiology and intensive care for pediatric cardiac surgery: a narrative review. *Annals of Critical Care*. 2024; 3: 161–76. (In Russ) DOI: 10.21320/1818-474X-2024-3-161-176
- [11] *Щепарев И.С., Теплых Б.А., Проценко Д.Н.* Эволюция методики и новые протоколы ультразвукового исследования легких при COVID-19 пневмониях. *Общая реаниматология*. 2023; 19(6): 39–47. [*Shcheparev I.S., Teplykh B.A., Protsenko D.N.* Evolution of Techniques and New Protocols for Lung Ultrasound Examination in COVID-19 Pneumonia Patients. *Obshchaya Reanimatologiya = General Reanimatology*. 2023; 19(6): 39–47. (In Russ) DOI: 10.15360/1813-9779-2023-6-39-47
- [12] *Yoon H.K., Kim B.R., Yoon S., et al.* The effect of ventilation with individualized positive end-expiratory pressure on postoperative atelectasis in patients undergoing robot-assisted radical prostatectomy: A randomized controlled trial. *Journal of Clinical Medicine*, 2021; 10(4), 1–14. DOI: 10.3390/jcm10040850
- [13] *Liu B., Wang Y., Li L., et al.* The effects of laryngeal mask versus endotracheal tube on atelectasis after general anesthesia induction assessed by lung ultrasound: a randomized controlled trial. *J Clin Anesth*. 2024; 98: 111564. DOI: 10.1016/j.jclinane.2024.111564
- [14] *Ляхин Р.Е., Жирнова Е.А., Щеголев А.В.* Ультразвуковой индекс поражения легких как предиктор исходов лечения: когортное исследование 388 пациентов с коронавирусной инфекцией. *Вестник интенсивной терапии им. А.И. Салтанова*. 2022; 3: 45–56. [*Lakhin R.E., Zhirnova E.A., Shchegolev A.V.* Ultrasound-guided lung lesion index as a predictor of treatment outcomes: cohort study of 388 patients with coronavirus infection. *Annals of Critical Care*. 2022; 3: 45–56. (In Russ) DOI: 10.21320/1818-474X-2022-3-45-56
- [15] *Mongodi S., Cortegiani A., Alonso-Ojembarrena A., et al.* ESICM-ESPNIC international expert consensus on quantitative lung ultrasound in intensive care. *Intensive Care Med*. 2025; 51(6): 1022–49. DOI: 10.1007/s00134-025-07932-y
- [16] *Cho S., Oh H.W., Choi M.H., et al.* Effects of intraoperative ventilation strategy on perioperative atelectasis assessed by lung ultrasonography in patients undergoing open abdominal surgery: A prospective randomized controlled study. *Journal of Korean Medical Science*, 2020; 35(39). DOI: 10.3346/JKMS.2020.35.E327
- [17] *Aldrete J.A.* Post-anesthetic recovery score. *J Am Coll Surg*. 2007; 205(5): e3–4; DOI: 10.1016/j.jamcollsurg.2007.07.034
- [18] *Boussier J., Lemasle A., Hantala N., et al.* Lung Ultrasound Score on Postoperative Day 1 Is Predictive of the Occurrence of Pulmonary Complications after Major Abdominal Surgery: A Multicenter Prospective Observational Study. *Anesthesiology*. 2024; 140(3): 417–29. DOI: 10.1097/ALN.0000000000004855
- [19] *Mini G., Ray B.R., Anand R.K., et al.* Effect of driving pressure-guided positive end-expiratory pressure (PEEP) titration on postoperative lung atelectasis in adult patients undergoing elective major abdominal surgery: A randomized controlled trial. *Surgery*. 2021; 170(1): 277–83. DOI: 10.1016/j.surg.2021.01.047
- [20] *Min W.K., Jin S., Choi Y.J., et al.* Lung ultrasound score-based assessment of postoperative atelectasis in obese patients according to inspired oxygen concentration: A prospective, randomized-controlled study. *Medicine*. 2023; 102(7): E32990. DOI: 10.1097/MD.00000000000032990
- [21] *Kumar L.D., Patel R., Ayub N.A., et al.* Effect of Lung Compliance-Based Optimum Pressure Versus Fixed Positive End-Expiratory Pressure on Lung Atelectasis Assessed by Modified Lung Ultrasound Score in Laparoscopic Gynecological Surgery: A Prospective Randomized Controlled Trial. *Cureus*. 2023. DOI: 10.7759/cureus.40278
- [22] *Yessenbayeva G.A., Meyerbekova A.M., Kim S.I., et al.* Impact of a positive end-expiratory pressure on oxygenation, respiratory compliance, and hemodynamics in obese patients undergoing laparoscopic surgery in reverse Trendelenburg position: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *BMC Anesthesiol*. 2025; 25(1): 61. DOI: 10.1186/s12871-025-02933-2
- [23] *Yang Y., Geng Y., Zhang D., et al.* Effect of lung recruitment maneuvers on reduction of atelectasis determined by lung ultrasound in patients more than 60 years old undergoing laparoscopic surgery for colorectal carcinoma: A prospective study at a single center. *Medical Science Monitor*, 2021; 27. DOI: 10.12659/MSM.926748