

КЛИНИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

УДК 616-089.1

DOI 10.34014/2227-1848-2025-2-37-54

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ РЕСПИРАТОРНЫХ ОСЛОЖНЕНИЙ ПОСЛЕ РЕЗЕКЦИИ ЛЕГКОГО

Е.А. Тонеев ^{1,2}, Р.Ф. Шагдалеев ², А.С. Комаров ³, В.И. Мидленко ²,
О.В. Мидленко ², Д.Н. Исаев ²

¹ ГУЗ Областной клинический онкологический диспансер, г. Ульяновск, Россия;

² ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет», г. Ульяновск, Россия;

³ ГУЗ Ульяновская областная клиническая больница, г. Ульяновск, Россия

Цель. Изучить частоту и структуру респираторных осложнений после резекции легкого, а также факторы, влияющие на их развитие.

Материалы и методы. Исследование проведено на базе хирургического отделения торакальной онкологии ГУЗ ОКОД г. Ульяновска. В анализ были включены данные 468 пациентов, которым в период с 01.01.2021 по 31.12.2023 была выполнена лобэктомия или атипичная резекция по поводу новообразований посредством переднебоковой торакотомии.

Результаты. Частота развития респираторных осложнений в послеоперационном периоде составила 19,02 %. При проведении однофакторного анализа было определено, что анамнез курения, никотин-содержащая табачная продукция (ПОС), прогнозируемый послеоперационный объем форсированного выдоха за 1 с (ппОФВ1), продолжительность оперативного вмешательства и лобэктомия являются значимыми факторами для прогнозирования риска развития респираторных осложнений. При увеличении ПОС на 1 % вероятность возникновения респираторных осложнений уменьшалась в 1,080 раз (ОШ=1,080 (95 % ДИ 1,034–1,127)). Наличие хронической обструктивной болезни легких (ХОБЛ) увеличивало риски развития осложнений: при GOLD2 в 16,392 раза (ОШ=16,392 (95 % ДИ 2,686–100,083), при GOLD3 в 35,082 раза (ОШ=35,082 (95 % ДИ 1,267–970,683)). При проведении операции в объеме лобэктомии вероятность развития осложнений возрастала в 3,251 раза (ОШ=0,308 (95 % ДИ 0,105–0,899), $p=0,031$).

Выводы. В проведенном исследовании частота развития послеоперационных респираторных осложнений составляла 19,02 %. Значимыми предикторами развития осложнений являются ХОБЛ (GOLD 2 и GOLD 3), ПОС и хирургическое вмешательство в объеме лобэктомии.

Ключевые слова: торакотомия, резекция легкого, лобэктомия, респираторные осложнения.

Введение. Несмотря на развитие хирургических методик и оптимизацию периоперационного ведения пациентов торакального профиля, проблема респираторных осложнений, возникающих после резекции легкого, остается актуальной. Их частота значительно варьирует и, по данным отечественных и зарубежных исследователей, составляет от 14 до 25 % [1, 2]. В хирургических центрах с большим количеством операций и хорошо отрабо-

танной периоперационной программой ведения пациентов количество легочных осложнений меньше, чем в центрах с малым количеством вмешательств [3]. Также значимым фактором в последние десятилетия стало широкое внедрение миниинвазивных технологий, которые существенно уменьшают операционную травму, обеспечивая оптимальные условия для восстановления функционального состояния легких после операции [4].

В работах, посвященных оценке результатов лечения пациентов после резекции легкого, было отмечено, что при возникновении легочных осложнений госпитальная летальность составляет до 5–10 % [1, 2]. Изучение индивидуальных факторов, влияющих на развитие осложнений, проводилось многими исследователями. Наиболее часто в публикациях встречаются следующие: курение, наличие ХОБЛ, нарушение функции внешнего дыхания, объем выполненной резекции легкого, сниженные показатели функциональных проб [2, 5]. Немаловажными являются и интраоперационные параметры: объем кровопотери, время операции [6]. С учетом того, что некоторые факторы являются модифицируемыми и подвержены изменениям на предоперационном этапе, стратификация пациентов по уровню риска позволяет принимать необходимые меры для снижения вероятности развития послеоперационных легочных осложнений.

Цель исследования. Изучить частоту и структуру респираторных осложнений после резекции легкого, а также факторы, влияющие на их развитие.

Материалы и методы. Исследование выполнено на базе хирургического отделения торакальной онкологии ГУЗ Областной клинический онкологический диспансер (г. Ульяновск). В ретроспективный анализ включены данные 468 пациентов, в период с 01.01.2021 по 31.12.2023 перенесших хирургическое вмешательство в объеме лобэктомии или атипичной резекции легкого.

Хирургический доступ осуществлялся через стандартную боковую или переднебоковую торакотомию; выбор межреберного пространства был обусловлен локализацией опухоли и анатомическими особенностями пациента. Дренирование плевральной полости осуществлялось 1 дренажом, установленным в купол плевральной полости.

Медицинская документация и данные обрабатывались в соответствии с унифицированным протоколом исследования. Пациенты, не удовлетворявшие критериям включения или не имевшие полных клинических данных, были исключены.

Критерии включения: лобэктомия или атипичная резекция легкого; наличие необходимых сведений о клинических параметрах (время операции, объем кровопотери, имеющиеся отметки в медицинской документации о сопутствующей патологии, статус пациента по курению); конверсия в торакотомию при торакоскопических резекциях.

Критерии исключения: резекция элементов грудной клетки; пневмонэктомия; острая сердечно-легочная недостаточность в раннем послеоперационном периоде, не позволяющая адекватно оценить развитие респираторных осложнений; торакоскопическая резекция (в т.ч. исключены конверсии, выполненные по экстренным показаниям).

Антибактериальная терапия, в т.ч. антибиотикопрофилактика, проводилась согласно рекомендациям Стратегии контроля антимикробной терапии. Контроль за заживлением осуществлялся ежедневно на перевязках, что было отражено в медицинской документации. При развитии пневмонии проводился обязательный бактериальный посев мокроты на флору и чувствительность к антибиотикам.

Прогнозируемый послеоперационный ОФВ1 (ппОФВ1) в процентах от предоперационного значения рассчитывался следующим образом:

1) $\text{ппОФВ1 (\%)} = (19 - \text{количество удаляемых сегментов}) / 19 \times 100$
или

2) $\text{ппОФВ1 (\%)} = [1 - (S \times 5,26 / 100)] \times 100$,
где S – количество сегментов, которые планируется удалить.

Продленным сбросом воздуха (ПСВ), согласно рекомендациям Европейского сообщества торакальных хирургов (European Society of Thoracic Surgeons, ESTS), считали его поступление по дренажам более 5 сут после операции.

На основании определения осложнений STS/ESTS выделялись следующие категории и критерии послеоперационных респираторных осложнений [7]:

- Grade I: ателектаз, документированный клинически или рентгенологически;
- Grade II: пневмония, определяемая в соответствии с критериями, включающими

новый или прогрессирующий и постоянный инфильтрат, консолидацию или полость, обнаруженные на рентгенограммах грудной клетки, наличие по крайней мере одного из следующих признаков: лихорадка ($>38^{\circ}\text{C}$) без других признанных причин, лейкопения (<4000 лейкоцитов/ мм^3) или лейкоцитоз (<12000 лейкоцитов/ мм^3); для пациентов старше 70 лет изменение психического состояния с гнойной мокротой или изменением ее характера, увеличением или появлением необходимости отсасывания респираторных выделений; возникновение или ухудшение симптомов (одышка, тахипноэ и т.д.) или клинических признаков (хрипы, бронхиальные дыхательные шумы и т.д.);

- Grade III: респираторный дистресс-синдром взрослых (ОРДС);
- Grade IV: искусственная вентиляция легких более 48 ч;
- Grade V: сброс воздуха по дренажам более 5 дней;
- Grade VI: реинтубация;
- Grade VII: возвращение в отделение интенсивной терапии или необходимость трахеостомии;
- Grade VIII: эмпиема плевры;
- Grade IX: хилоторакс/бронхоплевральный свищ.

Под продленным плевральным выпотом подразумевали выделение серозного отделяемого по дренажу в объеме более 100 мл в течение более 5 сут при наличии расправленного легкого по данным рентгенографии ОГК и отсутствии продувания воздуха по дренажам.

Статистический анализ проводился с использованием программы StatTech v. 4.4.1 (ООО «Статтех», Россия).

Количественные показатели оценивались на соответствие нормальному распределению с помощью критерия Шапиро – Уилка (при числе исследуемых менее 50) или критерия Колмогорова – Смирнова (при числе исследуемых более 50).

В случае отсутствия нормального распределения количественные данные описывались с помощью медианы и нижнего и верхнего квартилей (Me [Q1; Q3]).

Категориальные данные описывались с указанием абсолютных значений и процентных долей. 95 % доверительные интервалы для процентных долей рассчитывались по методу Клоппера – Пирсона.

Сравнение двух групп по количественному показателю, распределение которого отличалось от нормального, выполнялось с помощью U-критерия Манна – Уитни.

Сравнение процентных долей при анализе четырехпольных таблиц сопряженности выполнялось с помощью критерия χ^2 Пирсона (при значениях ожидаемого явления более 10), точного критерия Фишера (при значениях ожидаемого явления менее 10).

В качестве количественной меры эффекта при сравнении относительных показателей использовался показатель отношения шансов с 95 % доверительным интервалом (ОШ; 95 % ДИ).

Построение прогностической модели вероятности определенного исхода выполнялось при помощи метода логистической регрессии. Мерой определенности, указывающей на ту часть дисперсии, которая может быть объяснена с помощью логистической регрессии, служил коэффициент в скорректированном виде (adjusted) R^2 Найджелкерка.

Для оценки диагностической значимости количественных признаков при прогнозировании определенного исхода применялся метод анализа ROC-кривых. Разделяющее значение количественного признака в точке cut-off определялось по наивысшему значению индекса Юдена.

Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Модель логистической регрессии прошла машинное обучение на искусственном интеллекте (ИИ) до получения наилучших результатов чувствительности и обучаемости с защитой от переобучаемости и недообучаемости.

Калибровка модели оценивалась путем построения сглаженной калибровочной кривой с оценкой уровня наклона (Slope), максимальной и средней ошибок калибровки на валидационном наборе данных. В ходе построения моделей проверялись допущения на ли-

нейность независимых переменных и логарифма шансов (графический метод, тест Бокса – Тидвелла), выполнялась проверка на полное (квазиполное) разделение и мультиколлинеарность (через корреляционный анализ ковариат методом Спирмена и вычисление коэффициента инфляции дисперсии VIF).

Программирование выполнялось при помощи R 4.3.0 (R-Project).

Результаты. Медиана возраста исследуемых пациентов составила 64 года. Мужчин было 309 (66 %), женщин – 159 (34 %). Лобэктомия была выполнена в 192 (41 %) случаях, атипичная резекция – в 276 (59 %). Основные клинико-лабораторные данные участников представлены в табл. 1.

Хирургические параметры пациентов представлены в табл. 2.

Таблица 1
Table 1

Клинико-anamnestические параметры пациентов
Clinical and anamnestic parameters for patients

Показатель / Parameter		Респираторное осложнение / Respiratory complications		p
		Наличие / Yes	Отсутствие / No	
Возраст / Age, Me [Q1; Q3]		66,00 [60,00; 71,00]	63,00 [57,00; 69,00]	0,122
Пол, абс (%) Sex, abs. (%)	Женский / Female	31 (34,8)	127 (33,5)	0,932
	Мужской / Male	58 (65,2)	252 (66,5)	
СД, абс (%) DM, abs. (%)	Отсутствие / No	82 (92,1)	323 (85,42)	0,250
	Наличие / Yes	7 (7,9)	56 (14,8)	
ХОБЛ, абс (%) COPD, abs. (%)	Отсутствие / No	34 (38,2)	148 (39,0)	0,812
	GOLD1	31 (34,8)	150 (39,6)	
	GOLD2	18 (20,2)	66 (17,4)	
	GOLD3	6 (6,8)	15 (4,0)	
ИМТ, Me [Q1; Q3] BMI, Me [Q1; Q3]		26,00 [24,00; 28,00]	25,00 [23,00; 28,00]	0,358
Гепатит, абс (%) Hepatitis, abs (%)	Наличие / Yes	2 (2,2)	11 (2,9)	0,367
	Отсутствие / No	87 (97,8)	368 (97,1)	
Атеросклероз, абс (%) Atherosclerosis, abs. (%)	Наличие / Yes	55 (61,8)	178 (47,0)	0,114
	Отсутствие / No	34 (38,2)	201 (53,0)	
Гистологический тип, абс (%) Histological type, abs (%)	ДНО / BN	15 (16,9)	132 (34,8)	0,550
	ЗНО / MN	74 (83,1)	247 (65,2)	
Давление в ЛА, Me [Q1; Q3] PA pressure, Me [Q1; Q3]		19,00 [15,00; 21,00]	20,00 [15,00; 24,00]	0,330
ФВ, Me [Q1; Q3] EF, Me [Q1; Q3]		60,00 [58,00; 66,00]	61,00 [57,00; 66,00]	0,762
Курение, абс (%) Smoking, abs. (%)	Наличие / Yes	64 (72,0)	198 (52,2)	0,034*
	Отсутствие / No	25 (28,0)	181 (47,8)	
НЛИ, Me [Q1; Q3] NLR, Me [Q1; Q3]		2,04 [1,66; 2,29]	1,93 [1,46; 2,47]	0,722

ПНИ, Ме [Q1; Q3] PNI, Me [Q1; Q3]	44,00 [41,00; 48,00]	44,00 [41,00; 48,50]	0,875
ТЛИ, Ме [Q1; Q3] PLR, Me [Q1; Q3]	188,00 [152,00; 241,00]	196,00 [140,00; 240,00]	0,679
Индекс Тиффно, Ме [Q1; Q3] FEV1/FVC ratio, Me [Q1; Q3]	73,00 [68,00; 82,00]	76,00 [69,00; 83,00]	0,333
ОФВ1 (%), Ме [Q1; Q3] FEV1 (%), Me [Q1; Q3]	81,00 [74,00; 88,00]	84,00 [72,00; 94,00]	0,230
ФЖЕЛ (%), Ме [Q1; Q3] FVC (%), Me [Q1; Q3]	115,00 [93,00; 120,00]	117,00 [94,50; 120,00]	0,905
ПОС (%), Ме [Q1; Q3] PFR (%), Me [Q1; Q3]	80,00 [57,00; 93,00]	90,00 [81,00; 98,00]	0,009*
ЖЕЛ (%), Ме [Q1; Q3] VC (%), Me [Q1; Q3]	97,00 [83,00; 101,00]	97,00 [81,00; 102,00]	0,826
ппОФВ1 (%), Ме [Q1; Q3] pFEV1 (%), Me [Q1; Q3]	65,53 [59,21; 75,00]	74,21 [63,95; 83,37]	0,014*

Примечания: 1. СД – сахарный диабет, ХОБЛ – хроническая обструктивная болезнь легких, ИМТ – индекс массы тела, ДНО – доброкачественное новообразование, ЗНО – злокачественное новообразование, ЛА – легочная артерия, ФВ – фракция выброса, НЛИ – нейтрофильно-лимфоцитарный индекс, ПНИ – прогностический нутритивный индекс, ТЛИ – тромбоцитарно-лимфоцитарный индекс; ОФВ1 – объем форсированного выдоха за 1 с, ФЖЕЛ – форсированная жизненная емкость легких; ПОС – пиковая объемная скорость; ЖЕЛ – жизненная емкость легких, ппоОФВ1 – послеоперационный объем форсированного выдоха за 1 с. 2. * – различия статистически достоверны ($p < 0,05$).

Notes: 1. DM – diabetes mellitus; COPD – chronic obstructive pulmonary disease; BMI – body mass index; BN – benign neoplasm; MN – malignant neoplasm; PA – pulmonary artery; EF – ejection fraction; NLR – neutrophil-to-lymphocyte ratio; PNI – prognostic nutritional index; PLR – platelet-to-lymphocyte ratio; FEV1 – forced expiratory volume in 1 second; FVC – forced vital capacity PFR – peak flow rate; VC – vital capacity; pFEV1 – postoperative forced expiratory volume in 1 second. 2.* – differences are statistically significant ($p < 0.05$).

Таблица 2

Table 2

Хирургические параметры пациентов

Surgical parameters for patients

Показатель / Parameter		Респираторное осложнение / Respiratory complications		p
		Наличие / Yes	Отсутствие / No	
Объем кровопотери (мл), Ме [Q1; Q3] Extent of blood loss (ml), Me [IQR]		100,00 [100,00; 200,00]	100,00 [100,00; 100,00]	0,090
Продолжительность операции (мин), Ме [Q1; Q3] Surgery duration (min), Me [Q1; Q3]		90,00 [80,00; 115,00]	65,00 [42,50; 112,50]	0,023*
Объем операции, абс (%) Surgery, abs. (%)	AP / AR	9 (31,0)	266 (60,6)	0,002*
	Лобэктомия / Lobectomy	20 (69,0)	173 (39,4)	
Хирургическое осложнение, абс (%) Surgical implications, abs. (%)	Отсутствие / No	28 (96,6)	374 (85,2)	0,089
	Наличие / Yes	1 (3,4)	65 (14,8)	
Количество койко-дней, Ме [Q1; Q3] Number of bed-days, Me [IQR]		9,00 [8,00; 13,00]	10,00 [8,00; 13,00]	0,765

Примечания: 1. AP – атипичная резекция. 2.* – различия статистически достоверны ($p < 0,05$).

Notes: 1. AR – atypical resection. 2.* – differences are statistically significant ($p < 0.05$).

Продолжительность операции и ее объем являются статистически значимыми предикторами развития послеоперационных респираторных осложнений.

Далее легочные осложнения были стратифицированы согласно классификации Cavi-en – Dindo (табл. 3).

Таблица 3
Table 3

Структура легочных осложнений
Structure of pulmonary complications

Вид осложнения / Complications		n	%
<i>Малые осложнения / Minor complications</i>			
Grade I	Пневмоторакс Pneumothorax	2	7,0
Grade II	Пневмония Pneumonia	1	3,4
	Продленный сброс воздуха (без операции) Persistent air leak (without surgery)	44	13,8
	Продленный плевральный выпот (без операции) Prolonged pleural effusion (without surgery)	24	13,8
	Ателектаз легкого / Atelectasis	2	7,0
<i>Большие осложнения / Major complications</i>			
Grade IIIA	Продленный сброс воздуха (эндоскопическая коррекция) Persistent air leak (endoscopic correction)	2	7,0
	Продленный плевральный выпот (плевральная пункция) Prolonged pleural effusion (pleural puncture)	3	10,4
	Ателектаз легкого (эндоскопическая санация) Atelectasis (endoscope reprocessing)	1	3,4
Grade IIIB	Продленный сброс воздуха Persistent air leak	3	10,4
Grade IVA	Бронхоплевральная фистула Bronchopleural fistula	1	3,4
	Острая дыхательная недостаточность с коррекцией кислородом Acute respiratory failure with oxygen therapy	1	3,4
	ОРДС ARDS	1	3,4
Grade IVB	Тяжелая пневмония с ИВЛ Severe pneumonia with ALV	1	3,4
	Дыхательная недостаточность с сердечной недостаточностью Respiratory failure with cardiac failure	1	3,4
Grade V	Дыхательная недостаточность на фоне ТЭЛА мелких ветвей Respiratory failure due to PE of small branches	1	3,4
	Дыхательная недостаточность на фоне пневмонии Respiratory failure due to pneumonia	1	3,4
Всего / Total		89	100

Примечание. ТЭЛА – тромбоэмболия легочной артерии.

Note. ARDS – acute respiratory distress syndrome; ALV – artificial lung ventilation; PE - pulmonary embolism.

На рис. 1 изображена тепловая карта мультиколлинеарности, которая отображает

взаимосвязи между переменными: значения, близкие к +1 или -1, указывают на сильную

корреляцию, а значения, близкие к 0, свидетельствуют о слабой или отсутствующей связи. При анализе определено, что уровень мультиколлинеарности не превышает критических значений, т.е. можно утверждать, что включение данных переменных в модель ло-

гистической регрессии не приведет к значительному искажению результатов. Таким образом, модель может быть использована для прогноза респираторных осложнений без значительных рисков возникновения мультиколлинеарности.

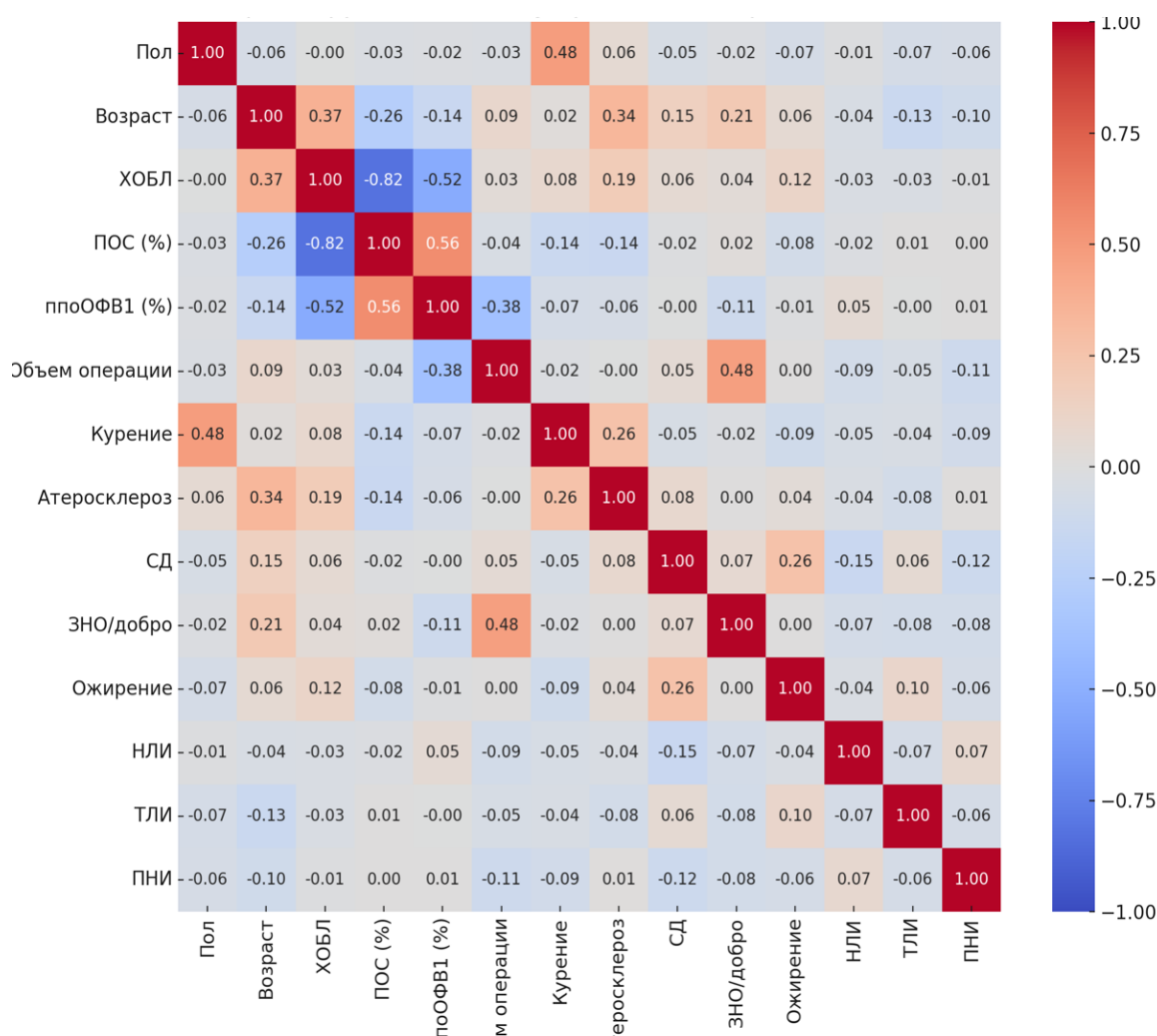


Рис. 1. Тепловая карта мультиколлинеарности. Рисунок представлен на русском языке

Fig. 1. Multicollinearity Heat Map. The figure is presented in Russian (пол – sex; возраст – age; ХОБЛ – chronic obstructive pulmonary disease; ПОС – peak flow rate; ппоОФВ1 – postoperative forced expiratory volume in 1 second; объем операции – surgery; курение – smoking; атеросклероз – atherosclerosis; СД – diabetes mellitus; ЗНО/добро – malignant neoplasm/benign neoplasm; ожирение – obesity; НЛИ – neutrophil-to-lymphocyte ratio; ТЛИ – platelet-to-lymphocyte ratio; ПНИ – prognostic nutritional index)

На рис. 2 представлена диаграмма важности признаков, полученная в результате анализа с использованием алгоритма Light Gradient Boosted Machine (LightGBM). Важность признаков оценивалась по критерию Gain, который отражает вклад каждого из них в улучшение модели. Чем выше значение Gain, тем более значи-

мым является данный признак для точности предсказаний. Исходя из карты мультиколлинеарности и диаграммы важности признаков были определены факторы для построения логистической регрессии прогнозирования развития респираторных осложнений после резекции легкого. Результаты представлены в табл. 4.

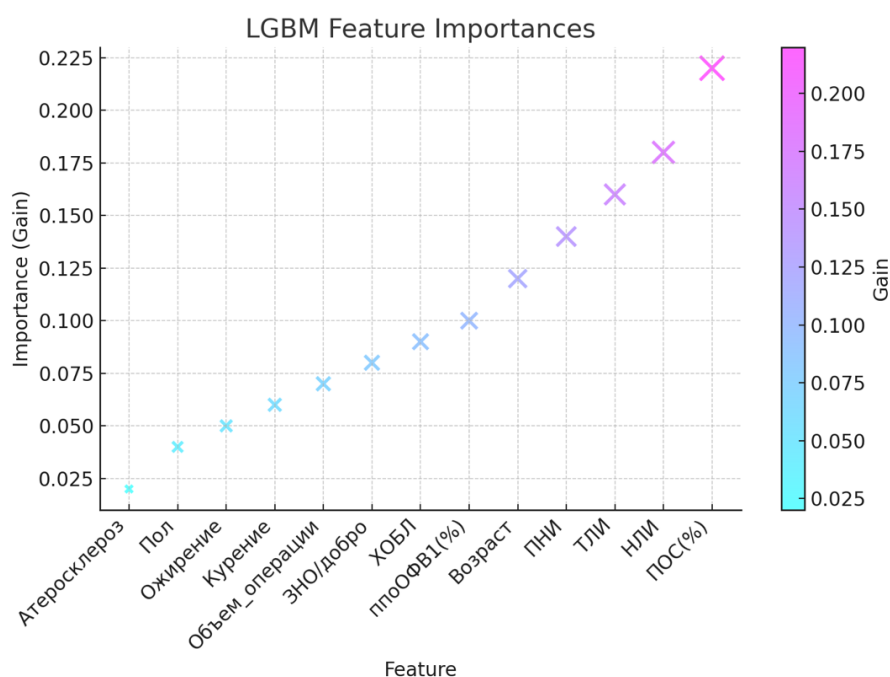


Рис. 2. Диаграмма важности признаков. Рисунок представлен на русском языке

Fig. 2. Feature importance diagram. The figure is presented in Russian
 (пол – sex; возраст – age; ХОБЛ – chronic obstructive pulmonary disease; ПОС – peak flow rate;
 ппОФВ1 – postoperative forced expiratory volume in 1 second; объем операции – surgery;
 курение – smoking; атеросклероз – atherosclerosis; ЗНО/добро – malignant neoplasm/benign neoplasm;
 ожирение – obesity; НЛИ – neutrophil-to-lymphocyte ratio; ТЛИ – platelet-to-lymphocyte ratio;
 ПНИ – prognostic nutritional index)

Таблица 4

Table 4

Характеристики связи предикторов модели с вероятностью выявления респираторных осложнений

Correlation between model predictors and the probability of respiratory complications

Предиктор / Predictor	Не связано / Unadjusted		Связано / Adjusted	
	COR; 95 % ДИ COR; 95 % CI	p	AOR; 95 % ДИ AOR; 95 % CI	p
ппОФВ1 / pPEFV1	1,030; 1,005–1,054	0,017*	1,012; 0,966–1,060	0,624
ПОС (%) / PFR (%)	1,026; 1,007–1,045	0,007*	1,080; 1,034–1,127	0,001*
ХОБЛ: GOLD1 / COPD: GOLD1	1,119; 0,463–2,705	0,802	2,210; 0,818–5,972	0,118
ХОБЛ: GOLD2 / COPD: GOLD2	0,826; 0,295–2,314	0,715	16,392; 2,686–100,083	0,002*
ХОБЛ: GOLD3 / COPD: GOLD3	0,547; 0,112–2,672	0,456	35,082; 1,267–970,683	0,036*
Объем операции: «атипичная резекция» / Surgery: Atypical resection	0,293; 0,130–0,658	0,003*	0,308; 0,105–0,899	0,031*

Примечание. * – влияние предиктора статистически значимо ($p < 0,05$).

Note: pPEFV1 – postoperative forced expiratory volume in 1 second; PFR – peak flow rate; COPD – chronic obstructive pulmonary disease; * – the predictor influence is statistically significant ($p < 0.05$).

При увеличении ПОС (%) на 1 % риск возникновения респираторных осложнений снижался в 1,080 раза. Наличие хронической обструктивной болезни легких (ХОБЛ) увеличивало риски развития осложнений: при GOLD2

в 16,392 раза, при GOLD3 в 35,082 раза. При проведении операции в объеме лобэктомии вероятность развития осложнений возрастала в 3,251 раза (рис. 3).

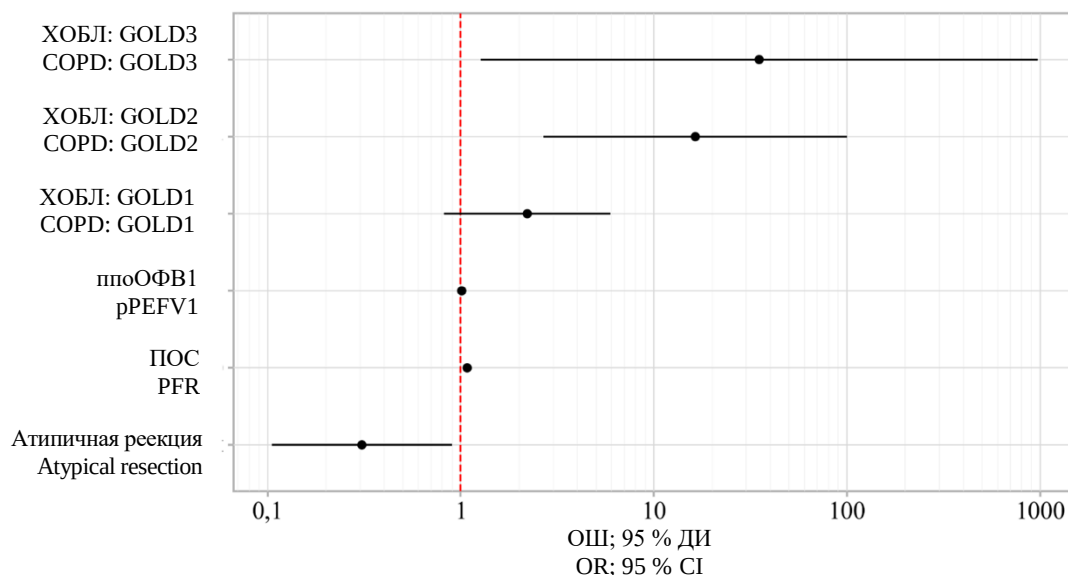


Рис. 3. Оценки ОШ с 95 % ДИ для изучаемых предикторов респираторной осложнения

Fig. 3. OR estimates with 95 % CI for the studied predictors of respiratory complications

При оценке зависимости вероятности отсутствия респираторных осложнений от значения логистической функции Р с помощью

ROC-анализа была получена кривая, представленная на рис. 4.

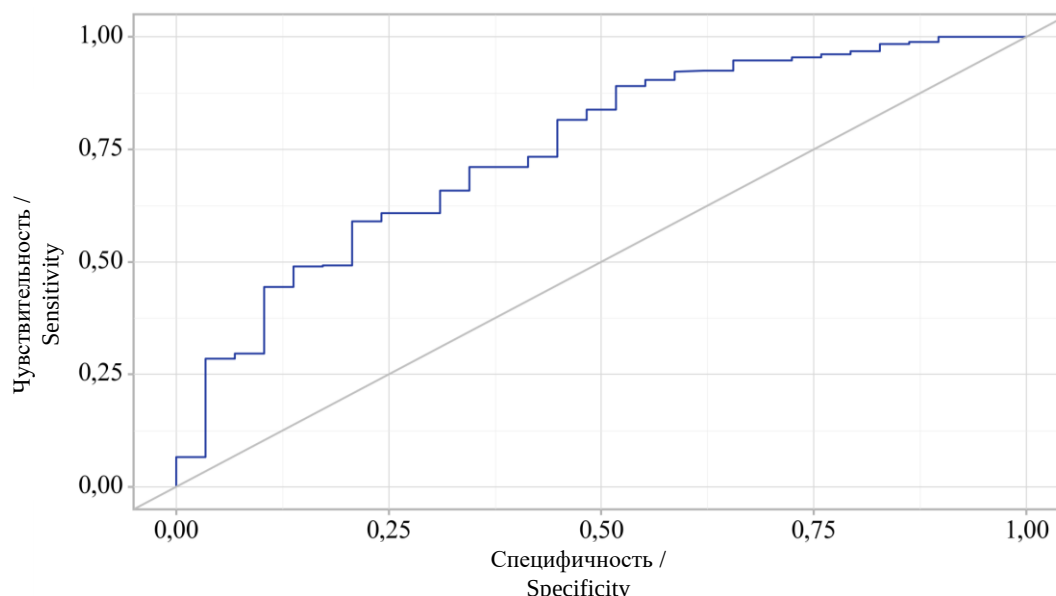


Рис. 4. ROC-кривая, характеризующая зависимость вероятности респираторных осложнений от значения логистической функции Р

Fig. 4. ROC curve characterizing the correlation between the probability of respiratory complications and the value of the logistic function P

Площадь под ROC-кривой составила $0,750 \pm 0,039$ (95 % ДИ 0,674–0,825). Полученная модель была статистически значимой ($p < 0,001$). Пороговое значение логистической функции Р в точке cut-off, которому соответствовало наивысшее значение индекса Юдена, составило 0,953. Отсутствие прогнозировалось при значении логистической функции Р выше данной величины или равном ей. Чувствительность и специфичность модели составили 59,0 % и 79,3 % соответственно. После применения логистической регрессии для первичной оценки предсказательной способности переменных, таких как объем операции (лобэктомия), ПОС и ХОБЛ по степени GOLD, было установлено, что эти факторы являются значимыми предикторами респираторных осложнений. Однако логистическая регрессия имеет ограничения, связанные с линейностью модели и предположениями о взаимозависимости переменных. В целях преодоления этих ограничений и повышения точности прогнозов были использованы методы машинного обучения ИИ.

Модели машинного обучения, такие как LightGBM и искусственная нейронная сеть multilayer perceptrons (MLP), были выбраны из-за их способности обрабатывать сложные нелинейные зависимости между перемен-

ными и предоставлять более глубокую оценку факторов, влияющих на развитие осложнений. В ходе анализа было обнаружено, что выявленные с помощью логистической регрессии предикторы, такие как ПОС, степень ХОБЛ (GOLD2 и GOLD3) и лобэктомия, подтвердили свою прогностическую ценность и в моделях машинного обучения. LightGBM продемонстрировала высокую точность предсказаний, хотя и с нулевой полнотой в выявлении осложнений, что говорит о ее фокусе на более «безопасных» случаях без осложнений. В то же время MLP показала наивысшую точность среди всех методов (94 %), а также чувствительность 71 %. Это указывает на то, что нейросети могут быть более чувствительными, чем логистическая регрессия, которая показала лучшую сбалансированность, но меньшую чувствительность (табл. 5). Тем не менее результаты машинного обучения подтвердили значимость ключевых предикторов, таких как ПОС, степень ХОБЛ (GOLD2 и GOLD3) и объем операции (лобэктомия), что подчеркивает их важность в прогнозировании респираторных осложнений. Применение моделей машинного обучения расширило возможности анализа, позволив учитывать более сложные взаимосвязи и повысить общую точность предсказаний.

Таблица 5

Table 5

Сравнение результатов различных моделей прогнозирования респираторных осложнений

Comparison of the results of different models for predicting respiratory complications

Модель Model	Площадь под кривой Area under the Curve	Точность Accuracy	Полнота Completeness	Специфичность / Specificity
Логистическая регрессия Logistic Regression	0,75	0,85	0,59	0,79
LightGBM	0,61	0,89	0,0	0,96
MLP	0,61	0,94	0,71	0,94

Использование методов машинного обучения позволило нам расширить границы стандартных статистических подходов и рассмотреть более сложные модели предсказания, способные учитывать многомерные зависимости. Эти модели обладают потенциальными преимуществами при использовании в клинической практике, улучшая точность

прогнозирования и способствуя выявлению пациентов с высоким риском осложнений.

Обсуждение. Хирургическое лечение новообразований легких является приоритетным при локализованных формах рака легкого, а также местно-распространенных формах у некоторых больных [8]. Широкое применение методов инструментальной визуализации органов грудной

клетки в последнее десятилетие позволило значительно увеличить число пациентов, с показаниями к оперативному вмешательству [9].

Несмотря на значительное развитие технологий периоперационного ведения пациентов, частота развития послеоперационных легочных осложнений остается высокой и зависит от многих факторов, в т.ч. связанных с пациентами [10, 11]. Разработка периоперационных стратегий для пациентов торакального профиля позволила снизить частоту развития респираторных осложнений, но не решила эту проблему полностью [12]. Кроме того, в исследовании S. Shinohara et al. говорится о негативном влиянии развития респираторных осложнений на долгосрочную выживаемость пациентов с немелкоклеточным раком легкого [13]. В проведенном исследовании было продемонстрировано, что частота развития тяжелых послеоперационных респираторных осложнений составила 3,4 %. Такой низкий процент связан с плановым порядком проведения операций, а также с тщательной периоперационной программой ведения пациентов, включающей в себя использование преабилитации пациентов с высоким риском развития послеоперационных осложнений, комплексного подхода к послеоперационной профилактике и ранней диагностике респираторных осложнений (отказ от курения за 2–3 нед. до операции, использование дыхательной гимнастики, коррекция нутритивного статуса, выполнение назначений пульмонолога).

При проведении однофакторного анализа было установлено, что анамнез курения, ПОС, ппоОФВ, время операции и объем оперативного вмешательства (лобэктомия) являются статистически значимыми предикторами развития респираторных осложнений. Курение, которое является основной причиной рака легкого, вызывает хроническую обструктивную болезнь легких, что значительно снижает функциональные резервы при выполнении резекции [14]. Отечественные и зарубежные исследования, касавшиеся влияния показателей функции внешнего дыхания на развитие респираторных послеоперационных осложне-

ний, подтвердили, что ОФВ1 и ппоОФВ1 являются критически важными компонентами прогнозирования [15, 16].

ПОС отражает проходимость и сопротивление дыхательных путей, силу дыхательных мышц и другие показатели функции внешнего дыхания, а снижение значений данного параметра фиксируется при различных хронических заболеваниях легких [17]. Обоснованность использования ПОС для оценки функции внешнего дыхания была подтверждена многочисленными исследованиями [16, 18]. ПОС у пациентов с легочными осложнениями была на 10 % ниже, чем у больных с гладким послеоперационным периодом ($p=0,009$). В исследовании Y. Lai et al., проведенном на выборке из 725 пациентов, перенесших лобэктомию, было показано, что ПОС является независимым фактором риска развития послеоперационных респираторных осложнений. При значении $ПОС \leq 300$ л/мин риск их развития возрастал статистически значимо (ОШ 8,551; 95 % ДИ: 5,692–12,845; $p<0,001$) [19]. Продолжительность хирургического вмешательства также оказывала статистически значимое влияние, что обуславливалось техническими трудностями при выполнении оперативного пособия, более длительной анестезией, влияющей на снижение показателей дыхания [20].

Отметим также, что активное внедрение в клиническую практику сегментэктомий и снижение доли лобэктомий привели к уменьшению количества хирургических осложнений и положительно сказались на отдаленных онкологических результатах [21]. Из нашего исследования пациенты с сегментэктомиями были исключены ввиду их небольшого количества. Было выявлено, что лобэктомия оказывает значимое влияние на развитие послеоперационных респираторных осложнений, что указывает на важность отбора пациентов для данного объема оперативного вмешательства.

Предыдущие исследования изучали только прогностическую ценность отдельных параметров пациентов, которым планировалось оперативное лечение. Включение нескольких факторов риска в модель может да-

вать синергетический эффект; таким образом, объединение двух или более параметров может улучшить диагностическую эффективность [22, 23]. При проведении многофакторного анализа было установлено, что значимыми предикторами возникновения послеоперационных респираторных осложнений являются ХОБЛ (GOLD 2 и GOLD 3), объем оперативного вмешательства (лобэктомия) и низкие показатели ПОС. Эти параметры вошли в прогностическую модель оценки частоты послеоперационных респираторных осложнений. Эффективность модели доказана ROC-кривой, площадь под которой составила $0,750 \pm 0,039$ (95 % ДИ $0,674 - 0,825$). Полученная модель была статистически значимой ($p < 0,001$).

В настоящее время ИИ играет существенную роль в клинической диагностике и лечении [17]. Методы машинного обучения имеют определенные преимущества перед стандартными методами в прогнозировании явлений или состояний пациентов [24]. Одним из них является их способность делать более стабильные прогнозы путем обработки сложных нелинейных связей между прогностическими переменными [25]. В проведенном исследовании использовались два подхода ИИ: LightGBM и MLP. Они подтвердили прогностическую ценность первичной логистической регрессии, но использование MLP позволило получить более точную модель, что повышает вероятность правильной стратификации пациентов по уровню риска. Высокая чувствительность и специфичность MLP улучшает клинические исходы и снижает неопре-

деленность при принятии клинических решений. В этом заключается преимущество машинного обучения ИИ перед традиционными методами, такими как логистическая регрессия, которые могут демонстрировать меньшую точность и вызывать сомнения в выборе тактики лечения.

Таким образом, полученные результаты подчеркивают важность использования нескольких моделей машинного обучения для предсказания медицинских осложнений. Логистическая регрессия может быть предпочтительнее для стандартных и простых ситуаций, когда требуется более сбалансированная модель с высокой точностью и приемлемой полнотой, тогда как LightGBM и MLP позволяют выявить сложные взаимодействия между множеством факторов и специфических случаев. MLP в настоящем исследовании и в более ранних продемонстрировала, что использование данного метода позволяет получать более качественные модели, повышая клиническую значимость для принятия решений [26].

Заключение. Частота развития послеоперационных респираторных осложнений составила 19 %. Значимыми предикторами являлись ХОБЛ (GOLD 2 и GOLD3), ПОС и объем операции (лобэктомия).

Методика MLP показала высокую эффективность в построении прогностических моделей, обеспечила более точные прогнозы за счет способности моделировать сложные нелинейные зависимости в данных, что делает ее более предпочтительной по сравнению с традиционными методами.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов

Концепция и дизайн исследования: Тонеев Е.А., Шагдалеев Р.Ф.

Литературный поиск, участие в исследовании, обработка материала: Комаров А.С., Мидленко В.И.

Статистическая обработка данных: Мидленко О.В., Исаев Д.Н.

Литература

1. Ибадов Р.А., Эшонходжаев О.Д., Ибрагимов С.Х., Тургунов Б.Ф. Осложнения раннего послеоперационного периода после расширенных хирургических вмешательств на легких. Инновационная медицина Кубани. 2024; 4: 7–13. DOI: <https://doi.org/10.35401/2541-9897-2024-9-4-7-13>.

2. Stéphan F., Boucheseiche S., Hollande J., Flahault A., Cheffi A., Bazelly B., Bonnet F. Pulmonary complications following lung resection: a comprehensive analysis of incidence and possible risk factors. *Chest*. 2000; 118 (5): 1263–1270. DOI: <https://doi.org/10.1378/chest.118.5.1263>.
3. Harrison S., Sun T., Kamel M.K., Cleary C., Stiles B.M., Altorki N.K., Sedrakyan A. Do individual surgeon volumes affect outcomes in thoracic surgery? *European journal of cardio-thoracic surgery: official journal of the European Association for Cardio-thoracic Surgery*. 2019; 56 (4): 770–777. DOI: <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezz095>.
4. Wong M.K.H., Sit A.K.Y., Au T.W.K. Minimally invasive thoracic surgery: beyond surgical access. *Journal of thoracic disease*. 2018; 10 (Suppl 16): S1884–S1891. DOI: <https://doi.org/10.21037/jtd.2018.05.196>.
5. Baar W., Semmelmann A., Knoerlein J., Weber F., Heinrich S., Loop T. Risk Factors for Postoperative Pulmonary Complications Leading to Increased In-Hospital Mortality in Patients Undergoing Thoracotomy for Primary Lung Cancer Resection: A Multicentre Retrospective Cohort Study of the German Thorax Registry. *Journal of clinical medicine*. 2022; 11 (19): 5774. DOI: <https://doi.org/10.3390/jcm11195774>.
6. Licker M.J., Widikker I., Robert J., Frey J.G., Spiliopoulos A., Ellenberger C., Schweizer A., Tschopp J.M. Operative mortality and respiratory complications after lung resection for cancer: impact of chronic obstructive pulmonary disease and time trends. *The Annals of thoracic surgery*. 2006; 81 (5): 1830–1837. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2005.11.048>.
7. Seder C.W., Salati M., Kozower B.D., Wright C.D., Falcoz P.E., Brunelli A., Fernandez F.G. Variation in Pulmonary Resection Practices Between The Society of Thoracic Surgeons and the European Society of Thoracic Surgeons General Thoracic Surgery Databases. *Ann Thorac Surg*. 2016; 101 (6): 2077–2084. DOI: [10.1016/j.athoracsur.2015.12.073](https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2015.12.073).
8. Лактионов К.К., Артамонова Е.В., Борисова Т.Н., Бредер В.В., Бычков Ю.М., Владимирова Л.Ю., Волков Н.М., Ергян С.М., Жабина А.С., Кононец П.В., Кузьминов А.Е., Левченко Е.В., Малихова О.А., Маринов Д.Т., Миллер С.В., Моисеенко Ф.В., Мочальникова В.В., Новиков С.Н., Пикин О.В., Реутова Е.В., Родионов Е.О., Сакаева Д.Д., Саранцева К.А., Семенова А.И., Смолин А.В., Сотников В.М., Тузиков С.А., Туркин И.Н., Тюрин И.Е., Чхиквадзе В.Д., Колбанов К.И., Черных М.В., Черниченко А.В., Феденко А.А., Филоненко Е.В., Невольских А.А., Иванов С.А., Хайлова Ж.В., Геворкян Т.Г., Бутенко А.В., Гильмутдинова И.Р., Гриднева И.В., Еремушкин М.А., Зернова М.А., Каспаров Б.С., Ковлен Д.В., Кондратьева К.О., Кончугова Т.В., Короткова С.Б., Крутов А.А., Обухова О.А., Пономаренко Г.Н., Семиглазова Т.Ю., Степанова А.М., Хуламханова М.М. Злокачественное новообразование бронхов и легкого. Современная онкология. 2022; 24 (3): 269–304. DOI: [10.26442/18151434.2022.3.201848](https://doi.org/10.26442/18151434.2022.3.201848).
9. El Alam R., Byrne S.C., Hammer M.M. Rate of benign nodule resection in a lung cancer screening program. *Clin Imaging*. 2023; 104: 109984. DOI: [10.1016/j.clinimag.2023.109984](https://doi.org/10.1016/j.clinimag.2023.109984).
10. Sengupta S. Post-operative pulmonary complications after thoracotomy. *Indian J Anaesth*. 2015; 59 (9): 618–626. DOI: [10.4103/0019-5049.165852](https://doi.org/10.4103/0019-5049.165852).
11. Wang S., Li X., Li Y., Li J., Jiang G., Liu J., Wang J. The long-term impact of postoperative pulmonary complications after video-assisted thoracic surgery lobectomy for lung cancer. *J Thorac Dis*. 2017; 9 (12): 5143–5152. DOI: [10.21037/jtd.2017.10.144](https://doi.org/10.21037/jtd.2017.10.144).
12. Yepes-Temiño M.J., Monedero P., Pérez-Valdivieso J.R., Grupo Español de Anestesia Torácica. Risk prediction model for respiratory complications after lung resection: An observational multicentre study. *Eur J Anaesthesiol*. 2016; 33 (5): 326–333. DOI: [10.1097/EJA.0000000000000354](https://doi.org/10.1097/EJA.0000000000000354).
13. Shinohara S., Kobayashi K., Kasahara C., Onitsuka T., Matsuo M., Nakagawa M., Sugaya M. Long-term impact of complications after lung resections in non-small cell lung cancer. *J Thorac Dis*. 2019; 11 (5): 2024–2033. DOI: [10.21037/jtd.2019.04.91](https://doi.org/10.21037/jtd.2019.04.91).
14. Varga J.T. Smoking and pulmonary complications: respiratory prehabilitation. *J Thorac Dis*. 2019; 11 (Suppl 5). DOI: [10.21037/jtd.2018.12.11](https://doi.org/10.21037/jtd.2018.12.11).
15. Тонеев Е.А., Комаров А.С., Мидленко О.В. Прогностические модели оценки риска развития послеоперационных кардиологических и респираторных осложнений у больных раком легкого. Ульяновский медико-биологический журнал. 2024; 1: 41–63. DOI: [10.34014/2227-1848-2024-1-41-63](https://doi.org/10.34014/2227-1848-2024-1-41-63).
16. Cukic V. Preoperative prediction of lung function in pneumonectomy by spirometry and lung perfusion scintigraphy. *Acta Inform Med*. 2012; 20 (4): 221–225. DOI: [10.5455/aim.2012.20.221-225](https://doi.org/10.5455/aim.2012.20.221-225).
17. Чучалин А.Г., Авдеев С.Н., Айсанов З.Р., Белевский А.С., Леценко И.В., Овчаренко С.И., Шмелев Е.И. Хроническая обструктивная болезнь легких: федеральные клинические рекомендации по

- диагностике и лечению. Пульмонология. 2022; 32 (3): 356–392. DOI: <https://doi.org/10.18093/0869-0189-2022-32-3-356-392>.
18. Brunelli A., Kim A.W., Berger K.I., Addrizzo-Harris D.J. Physiologic evaluation of the patient with lung cancer being considered for resectional surgery: Diagnosis and management of lung cancer, 3rd ed: American College of Chest Physicians evidence-based clinical practice guidelines. Chest. 2013; 143 (Suppl 5). DOI: 10.1378/chest.12-2395.
19. Lai Y., Wang X., Li P., Li J., Zhou K., Che G. Preoperative peak expiratory flow (PEF) for predicting postoperative pulmonary complications after lung cancer lobectomy: a prospective study with 725 cases. J Thorac Dis. 2018;10 (7): 4293–4301. DOI: 10.21037/jtd.2018.07.02.
20. de Angelis P., Tan K.S., Chudgar N.P., Dycoco J., Adusumilli P.S., Bains M.S., Bott M.J., Downey R.J., Huang J., Isbell J.M., Molena D., Park B.J., Rusch V.W., Sihag S., Jones D.R., Rocco G. Operative Time is Associated With Postoperative Complications After Pulmonary Lobectomy. Ann Surg. 2023; 278 (6): e1259–e1266. DOI: 10.1097/SLA.0000000000005696.
21. Амиралиев А.М., Пикин О.В., Рябов А.Б., Халимон А.И., Багров В.А., Бармин В.В. Сегментэктомия при первичных злокачественных опухолях легких. Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. 2019; 10: 5–12. DOI: 10.17116/hirurgia20191015.
22. Wang B., Chen Z., Zhao R., Zhang L., Zhang Y. Development and validation of a nomogram to predict postoperative pulmonary complications following thoracoscopic surgery. Peer J. 2021; 9. DOI: 10.7717/peerj.12366.
23. Zhao D., Ma A., Li S., Fan J., Li T., Wang G. Development and validation of a nomogram for predicting pulmonary complications after video-assisted thoracoscopic surgery in elderly patients with lung cancer. Front Oncol. 2023; 13: 1265204. DOI: 10.3389/fonc.2023.1265204.
24. Yang J., Li Y., Liu Q., Li L., Feng A., Wang T., Zheng S., Xu A., Lyu J. Brief introduction of medical database and data mining technology in big data era. J Evid Based Med. 2020; 13 (1): 57–69. DOI: 10.1111/jebm.12373.
25. Wu W.T., Li Y.J., Feng A.Z., Li L., Huang T., Xu A.D., Lyu J. Data mining in clinical big data: the frequently used databases, steps, and methodological models. Mil Med Res. 2021; 8 (1): 44. DOI: 10.1186/s40779-021-00338-z.
26. Eckert C. Beyond the Spreadsheet: Data Management for Physicians in the Era of Big Data. Surg Clin North Am. 2023; 103 (2): 335–346. DOI: 10.1016/j.suc.2022.11.007.

Поступила в редакцию 15.11.2024; принята 04.03.2025.

Авторский коллектив

Тонеев Евгений Александрович – кандидат медицинских наук, доцент кафедры факультетской хирургии, ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет». 432017, Россия, г. Ульяновск, ул. Л. Толстого, 42; врач – торакальный хирург хирургического отделения торакальной онкологии, ГУЗ Областной клинический онкологический диспансер. 432017, Россия, г. Ульяновск, ул. 12 Сентября, 90; e-mail: e.toneev@inbox.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8590-2350>.

Шагдалеев Роман Фатыхович – ассистент кафедры госпитальной хирургии, анестезиологии, реаниматологии, урологии, травматологии и ортопедии, ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет». 432017, Россия, г. Ульяновск, ул. Л. Толстого, 42; e-mail: roman2000shagdaleev@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0004-0218-666X>.

Комаров Андрей Сергеевич – врач анестезиолог-реаниматолог, заведующий отделением анестезиологии и реанимации, ГУЗ Ульяновская областная клиническая больница. 432017, Россия, г. Ульяновск, ул. Третьего Интернационала, 7; ассистент кафедры госпитальной хирургии, ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет». 432017, Россия, г. Ульяновск, ул. Л. Толстого, 42; e-mail: andrey-komarov-88@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-5125-2840>.

Мидленко Владимир Ильич – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой госпитальной хирургии, анестезиологии, реаниматологии, урологии, травматологии и ортопедии, ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет». 432017, Россия, г. Ульяновск, ул. Л. Толстого, 42; e-mail: imefc@ulsu.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4358-8484>.

Мидленко Олег Владимирович – доктор медицинских наук, профессор кафедры госпитальной хирургии, ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет». 432017, Россия, г. Ульяновск, ул. Л. Толстого, 42; e-mail: 953151@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8076-7145>.

Исаев Дмитрий Николаевич – кандидат медицинских наук, доцент кафедры факультетской хирургии, ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет». 432017, Россия, г. Ульяновск, ул. Л. Толстого, 42; e-mail: asuga@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9903-1816>.

Образец цитирования

Тонеев Е.А., Шагдалеев Р.Ф., Комаров А.С., Мидленко В.И., Мидленко О.В., Исаев Д.Н. Прогнозирование развития респираторных осложнений после резекции легкого. Ульяновский медико-биологический журнал. 2025; 2: 37–54. DOI: 10.34014/2227-1848-2025-2-37-54.

PREDICTION OF RESPIRATORY COMPLICATIONS AFTER LUNG RESECTION

E.A. Toneev ^{1,2}, R.F. Shagdaleev ², A.S. Komarov ³, V.I. Midlenko ²,
O.V. Midlenko ², D.N. Isaev ²

¹ Regional Clinical Oncology Dispensary, Ulyanovsk, Russia;

² Ulyanovsk State University, Ulyanovsk, Russia;

³ Ulyanovsk Regional Clinical Hospital, Ulyanovsk, Russia

The aim of the study is to examine the frequency and structure of respiratory complications after lung resection, and factors influencing their development.

Materials and Methods. The study was conducted at the department of thoracic surgical oncology, Ulyanovsk Regional Oncological Clinical Hospital. The analysis included data from 468 patients who underwent lobectomy or atypical resection for neoplasms using anterolateral thoracotomy (January 01, 2021 – December 31, 2023).

Results. The incidence of respiratory complications in the postoperative period was 19.02 %. Univariate analysis revealed that smoking history, peak flow rate (PFR), predicted postoperative forced expiratory volume in 1 second (pFOFEV1), surgery and lobectomy duration were significant factors for predicting the risks of respiratory complications. With a 1 % increase in PFR, the likelihood of respiratory complications decreased by 1.080 times (OR=1.080 (95 % CI 1.034–1.127)). The chronic obstructive pulmonary disease (COPD) increased the risks of complications: in GOLD2 by 16.392 times (OR=16.392 (95 % CI 2.686–100.083), in GOLD3 by 35.082 times (OR=35.082 (95 % CI 1.267–970.683)). After lobectomy, the probability of complications increased by 3.251 times (OR=3.251 (95 % CI 0.105–0.899), $p=0.031$).

Conclusion. The study results showed that the incidence of postoperative respiratory complications was 19.02 %. Significant predictors of complications are COPD (GOLD 2 and GOLD 3), PFR, and lobectomy.

Key words: thoracotomy, lung resection, lobectomy, respiratory complications.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Author contributions

Research concept and design: Toneev E.A., Shagdaleev R.F.

Literature search, participation in the study, data processing: Komarov A.S., Midlenko V.I.

Statistical data processing: Midlenko O.V., Isaev D.N.

References

1. Ibadov R.A., Eshonkhodzhaev O.D., Ibragimov S.Kh., Turgunov B.F. Oslozhneniya rannego posleoperatsionnogo perioda posle rasshirenykh khirurgicheskikh vmeshatel'stv na legkikh [Early postoperative complications following extensive lung surgery]. *Innovatsionnaya meditsina Kubani*. 2024; 4: 7–13. DOI: <https://doi.org/10.35401/2541-9897-2024-9-4-7-13> (in Russian).

2. Stéphan F., Boucheseiche S., Hollande J., Flahault A., Cheffi A., Bazelly B., Bonnet F. Pulmonary complications following lung resection: a comprehensive analysis of incidence and possible risk factors. *Chest*. 2000; 118 (5): 1263–1270. DOI: <https://doi.org/10.1378/chest.118.5.1263>.
3. Harrison S., Sun T., Kamel M.K., Cleary C., Stiles B.M., Altorki N.K., Sedrakyan A. Do individual surgeon volumes affect outcomes in thoracic surgery? *European journal of cardio-thoracic surgery: official journal of the European Association for Cardio-thoracic Surgery*. 2019; 56 (4): 770–777. DOI: <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezz095>.
4. Wong M.K.H., Sit A.K.Y., Au T.W.K. Minimally invasive thoracic surgery: beyond surgical access. *Journal of thoracic disease*. 2018; 10 (Suppl 16): S1884–S1891. DOI: <https://doi.org/10.21037/jtd.2018.05.196>.
5. Baar W., Semmelmann A., Knoerlein J., Weber F., Heinrich S., Loop T. Risk Factors for Postoperative Pulmonary Complications Leading to Increased In-Hospital Mortality in Patients Undergoing Thoracotomy for Primary Lung Cancer Resection: A Multicentre Retrospective Cohort Study of the German Thorax Registry. *Journal of clinical medicine*. 2022; 11 (19): 5774. DOI: <https://doi.org/10.3390/jcm11195774>.
6. Licker M.J., Widikker I., Robert J., Frey J.G., Spiliopoulos A., Ellenberger C., Schweizer A., Tschopp J.M. Operative mortality and respiratory complications after lung resection for cancer: impact of chronic obstructive pulmonary disease and time trends. *The Annals of thoracic surgery*. 2006; 81 (5): 1830–1837. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2005.11.048>.
7. Seder C.W., Salati M., Kozower B.D., Wright C.D., Falcoz P.E., Brunelli A., Fernandez F.G. Variation in Pulmonary Resection Practices Between The Society of Thoracic Surgeons and the European Society of Thoracic Surgeons General Thoracic Surgery Databases. *Ann Thorac Surg*. 2016; 101 (6): 2077–2084. DOI: [10.1016/j.athoracsur.2015.12.073](https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2015.12.073).
8. Laktionov K.K., Artamonova E.V., Borisova T.N., Breder V.V., Bychkov Yu.M., Vladimirova L.Yu., Volkov N.M., Ergnyan S.M., Zhabina A.S., Kononets P.V., Kuz'minov A.E., Levchenko E.V., Malikhova O.A., Marinov D.T., Miller S.V., Moiseenko F.V., Mochal'nikova V.V., Novikov S.N., Pikin O.V., Reutova E.V., Rodionov E.O., Sakaeva D.D., Sarantseva K.A., Semenova A.I., Smolin A.V., Sotnikov V.M., Tuzikov S.A., Turkin I.N., Tyurin I.E., Chkhikvadze V.D., Kolbanov K.I., Chernykh M.V., Chernichenko A.V., Fedenko A.A., Filonenko E.V., Nevol'skikh A.A., Ivanov S.A., Khaylova Zh.V., Gevorkyan T.G., Butenko A.V., Gil'mutdinova I.R., Gridneva I.V., Eremushkin M.A., Zernova M.A., Kasparov B.S., Kovlen D.V., Kondrat'eva K.O., Konchugova T.V., Korotkova S.B., Kru-tov A.A., Obukhova O.A., Ponomarenko G.N., Semiglazova T.Yu., Stepanova A.M., Khulamkha-nova M.M. Zlokachestvennoe novoobrazovanie bronkhov i legkogo [Malignant neoplasm of the bronchi and lung]. *Sovremennaya onkologiya*. 2022; 24 (3): 269–304. DOI: [10.26442/18151434.2022.3.201848](https://doi.org/10.26442/18151434.2022.3.201848) (in Russian).
9. El Alam R., Byrne S.C., Hammer M.M. Rate of benign nodule resection in a lung cancer screening program. *Clin Imaging*. 2023; 104: 109984. DOI: [10.1016/j.clinimag.2023.109984](https://doi.org/10.1016/j.clinimag.2023.109984).
10. Sengupta S. Post-operative pulmonary complications after thoracotomy. *Indian J Anaesth*. 2015; 59 (9): 618–626. DOI: [10.4103/0019-5049.165852](https://doi.org/10.4103/0019-5049.165852).
11. Wang S., Li X., Li Y., Li J., Jiang G., Liu J., Wang J. The long-term impact of postoperative pulmonary complications after video-assisted thoracic surgery lobectomy for lung cancer. *J Thorac Dis*. 2017; 9 (12): 5143–5152. DOI: [10.21037/jtd.2017.10.144](https://doi.org/10.21037/jtd.2017.10.144).
12. Yepes-Temiño M.J., Monedero P., Pérez-Valdivieso J.R., Grupo Español de Anestesia Torácica. Risk prediction model for respiratory complications after lung resection: An observational multicentre study. *Eur J Anaesthesiol*. 2016; 33 (5): 326–333. DOI: [10.1097/EJA.0000000000000354](https://doi.org/10.1097/EJA.0000000000000354).
13. Shinohara S., Kobayashi K., Kasahara C., Onitsuka T., Matsuo M., Nakagawa M., Sugaya M. Long-term impact of complications after lung resections in non-small cell lung cancer. *J Thorac Dis*. 2019; 11 (5): 2024–2033. DOI: [10.21037/jtd.2019.04.91](https://doi.org/10.21037/jtd.2019.04.91).
14. Varga J.T. Smoking and pulmonary complications: respiratory prehabilitation. *J Thorac Dis*. 2019; 11 (Suppl 5). DOI: [10.21037/jtd.2018.12.11](https://doi.org/10.21037/jtd.2018.12.11).
15. Toneev E.A., Komarov A.S., Midlenko O.V. Prognosticheskie modeli otsenki riska razvitiya posleoperatsionnykh kardiologicheskikh i respiratornykh oslozhneniy u bol'nykh rakom legkogo [Predictive models for assessing risks of postoperative cardiac and respiratory complications in patients with lung cancer]. *Ul'yanovskiy mediko-biologicheskii zhurnal*. 2024; 1: 41–63. DOI: [10.34014/2227-1848-2024-1-41-63](https://doi.org/10.34014/2227-1848-2024-1-41-63) (in Russian).

16. Cukic V. Preoperative prediction of lung function in pneumonectomy by spirometry and lung perfusion scintigraphy. *Acta Inform Med.* 2012; 20 (4): 221–225. DOI: 10.5455/aim.2012.20.221-225.
17. Chuchalin A.G., Avdeev S.N., Aysanov Z.R., Belevskiy A.S., Leshchenko I.V., Ovcharenko S.I., Shmelev E.I. Khronicheskaya obstruktivnaya bolezni' legkikh: federal'nye klinicheskie rekomendatsii po diagnostike i lecheniyu [Federal guidelines on diagnosis and treatment of chronic obstructive pulmonary disease]. *Pul'monologiya.* 2022; 32 (3): 356–392. DOI: <https://doi.org/10.18093/0869-0189-2022-32-3-356-392> (in Russian).
18. Brunelli A., Kim A.W., Berger K.I., Addrizzo-Harris D.J. Physiologic evaluation of the patient with lung cancer being considered for resectional surgery: Diagnosis and management of lung cancer, 3rd ed: American College of Chest Physicians evidence-based clinical practice guidelines. *Chest.* 2013; 143 (Suppl 5). DOI: 10.1378/chest.12-2395.
19. Lai Y., Wang X., Li P., Li J., Zhou K., Che G. Preoperative peak expiratory flow (PEF) for predicting postoperative pulmonary complications after lung cancer lobectomy: a prospective study with 725 cases. *J Thorac Dis.* 2018;10 (7): 4293–4301. DOI: 10.21037/jtd.2018.07.02.
20. de Angelis P., Tan K.S., Chudgar N.P., Dycoco J., Adusumilli P.S., Bains M.S., Bott M.J., Downey R.J., Huang J., Isbell J.M., Molena D., Park B.J., Rusch V.W., Sihag S., Jones D.R., Rocco G. Operative Time is Associated With Postoperative Complications After Pulmonary Lobectomy. *Ann Surg.* 2023; 278 (6): e1259–e1266. DOI: 10.1097/SLA.0000000000005696.
21. Amiraliev A.M., Pikin O.V., Ryabov A.B., Khalimon A.I., Bagrov V.A., Barmin V.V. Segmentektomiya pri pervichnykh zlokachestvennykh opukholyakh legkikh [Segmentectomy in patients with primary pulmonary malignancies]. *Khirurgiya. Zhurnal im. N.I. Pirogova.* 2019; 10: 5–12. DOI: 10.17116/hirurgia20191015 (in Russian).
22. Wang B., Chen Z., Zhao R., Zhang L., Zhang Y. Development and validation of a nomogram to predict postoperative pulmonary complications following thoracoscopic surgery. *Peer J.* 2021; 9. DOI: 10.7717/peerj.12366.
23. Zhao D., Ma A., Li S., Fan J., Li T., Wang G. Development and validation of a nomogram for predicting pulmonary complications after video-assisted thoracoscopic surgery in elderly patients with lung cancer. *Front Oncol.* 2023; 13: 1265204. DOI: 10.3389/fonc.2023.1265204.
24. Yang J., Li Y., Liu Q., Li L., Feng A., Wang T., Zheng S., Xu A., Lyu J. Brief introduction of medical database and data mining technology in big data era. *J Evid Based Med.* 2020; 13 (1): 57–69. DOI: 10.1111/jebm.12373.
25. Wu W.T., Li Y.J., Feng A.Z., Li L., Huang T., Xu A.D., Lyu J. Data mining in clinical big data: the frequently used databases, steps, and methodological models. *Mil Med Res.* 2021; 8 (1): 44. DOI: 10.1186/s40779-021-00338-z.
26. Eckert C. Beyond the Spreadsheet: Data Management for Physicians in the Era of Big Data. *Surg Clin North Am.* 2023; 103 (2): 335–346. DOI: 10.1016/j.suc.2022.11.007.

Received November 15, 2024; accepted March 04, 2025.

Information about the authors

Toneev Evgeniy Aleksandrovich, Candidate of Sciences (Medicine), Associate Professor, Chair of Faculty Surgery, Ulyanovsk State University. 432017, Russia, Ulyanovsk, L. Tolstoy St., 42. Thoracic Surgeon, Department of Thoracic Surgical Oncology, Regional Clinical Oncology Dispensary. 432017, Russia, Ulyanovsk, 12 Sentyabrya St., 90; e-mail: e.toneev@inbox.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8590-2350>.

Shagdaleev Roman Fatykhovich, Teaching Assistant, Chair of Hospital Surgery, Anesthesiology, Resuscitation, Urology, Traumatology and Orthopedics, Ulyanovsk State University. 432017, Russia, Ulyanovsk, L. Tolstoy St., 42; e-mail: roman2000shagdaleev@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0004-0218-666X>.

Komarov Andrey Sergeevich, Intensivist, Head of the Anesthesiology and Resuscitation Department, Ulyanovsk Regional Clinical Hospital. 432017, Russia, Ulyanovsk, Tret'ego Internatsionala St., 7; Teaching Assistant, Chair of Hospital Surgery, Ulyanovsk State University. 432017, Russia, Ulyanovsk, L. Tolstoy St., 42; e-mail: andrey-komarov-88@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-5125-2840>.

Midlenko Vladimir Il'ich, Doctor of Sciences (Medicine), Professor, Head of the Chair of Hospital Surgery, Anesthesiology, Resuscitation, Urology, Traumatology and Orthopedics, Ulyanovsk State University. 432017, Russia, Ulyanovsk, L. Tolstoy St., 42; e-mail: imefc@ulsu.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4358-8484>.

Midlenko Oleg Vladimirovich, Doctor of Sciences (Medicine), Professor, Chair of Hospital Surgery, Ulyanovsk State University. 432017, Russia, Ulyanovsk, L. Tolstoy St., 42; e-mail: 953151@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8076-7145>.

Isaev Dmitriy Nikolaevich, Candidate of Sciences (Medicine), Associate Professor, Chair of Faculty Surgery, Ulyanovsk State University. 432017, Russia, Ulyanovsk, L. Tolstoy St., 42; e-mail: asuga@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9903-1816>.

For citation

Toneev E.A., Shagdaleev R.F., Komarov A.S., Midlenko V.I., Midlenko O.V., Isaev D.N. Prognozirovaniye razvitiya respiratornykh oslozhneniy posle rezektsii legkogo [Prediction of respiratory complications after lung resection]. *Ulyanovskiy mediko-biologicheskii zhurnal*. 2025; 2: 37–54. DOI: 10.34014/2227-1848-2025-2-37-54 (in Russian).