

УДК 616.831-089.87

DOI 10.34014/2227-1848-2024-1-41-63

## ПРОГНОСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ РИСКА РАЗВИТИЯ ПОСЛЕОПЕРАЦИОННЫХ КАРДИОЛОГИЧЕСКИХ И РЕСПИРАТОРНЫХ ОСЛОЖНЕНИЙ У БОЛЬНЫХ РАКОМ ЛЕГКОГО

Е.А. Тонеев<sup>1, 2</sup>, А.С. Комаров<sup>1, 2</sup>, О.В. Мидленко<sup>2</sup>, А.А. Мартынов<sup>1</sup>,  
Д.Н. Исаев<sup>2</sup>, П.М. Чавкин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ГУЗ Областной клинический онкологический диспансер,  
г. Ульяновск, Россия;

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет»,  
г. Ульяновск, Россия

*Цель.* Выявление факторов риска развития послеоперационных кардиологических и респираторных осложнений у пациентов после лобэктомии и создание номограмм для прогнозирования данных осложнений.

*Материалы и методы.* С января 2020 по август 2023 г. в хирургическом отделении торакальной онкологии ГУЗ Областной клинический онкологический диспансер (г. Ульяновск) выполнено 411 лобэктомий у больных немелкоклеточным раком легкого. В настоящее исследование согласно разработанным критериям отбора были включены 162 пациента. Выявлялись статистически значимые факторы риска развития тяжелых кардиологических и респираторных осложнений после лобэктомии с систематической лимфодиссекцией средостения.

*Результаты.* В связи с недостаточной мощностью данных произведен синтез искусственных данных с аналогичным распределением по методу MICE (многомерное вменение с помощью цепных уравнений). Выборка разделена в соотношении 80/20 на тренировочный (n=1258) и валидационный (n=342) датасеты. Проведено окончательное тестирование исходных данных (n=162).

*Логистическая регрессия респираторных осложнений:* респираторные осложнения =  $23,4232 - 0,7427 \times$  лестничная проба  $- 0,0259 \times$  челночный ход. На основании указанных данных построена номограмма для прогнозирования развития респираторных осложнений. Характеристики матрицы ошибок: точность – 0,95; чувствительность – 0,86; специфичность – 0,97; положительная прогностическая ценность – 0,86; отрицательная прогностическая ценность – 0,97.

*Логистическая регрессия кардиологических осложнений:* кардиологические осложнения =  $11,1147 - 0,1247 \times$  лестничная проба  $- 0,1651 \times$  фракция выброса  $+ 0,1568 \times$  ИМТ  $+ 1,133 \times$  гипертоническая болезнь. На основании указанных данных построена номограмма для прогнозирования кардиологических осложнений. Характеристики матрицы ошибок: точность – 0,91; чувствительность – 0,63; специфичность – 0,98; положительная прогностическая ценность – 0,9; отрицательная прогностическая ценность – 0,92.

*Выводы.* С помощью разработанных прогностических моделей можно на дооперационном этапе определить группу риска среди пациентов, которым планируется лобэктомия по поводу рака легкого; у пациентов с высоким риском осложнений – обеспечить их качественную профилактику.

**Ключевые слова:** лобэктомия, номограмма, респираторные осложнения, кардиологические осложнения.

**Введение.** Хирургия занимает ключевую позицию при лечении ранних стадий немелкоклеточного рака легкого. В результате хирургического вмешательства часто происходит удаление опухолевого узла вместе с функциональной легочной тканью, что в последующем приводит к гипоксемии и ухудшению работы

сердца. Большинство больных раком легкого имеют в анамнезе длительный стаж курения, которое негативно влияет на сердечно-легочную функцию [1].

Послеоперационная аритмия, особенно послеоперационная фибрилляция предсердий (ФП), является наиболее частым послеопера-

ционным осложнением у больных раком легкого. Распространенность ФП, по данным отечественных и зарубежных авторов, составляет 10–15 % после лобэктомии и 20–30 % после пневмонэктомии [2, 3]. В ранее проведенных исследованиях было показано, что пожилой возраст, мужской пол, ожирение, артериальная гипертензия, низкий уровень сердечного выброса, хроническая почечная недостаточность, хроническая обструктивная болезнь легких и объем удаляемой легочной ткани являются независимыми факторами риска. Хотя ФП обычно носит транзиторный характер и купируется консервативными мероприятиями, иногда она способна приводить к тяжелым осложнениям, таким как тромбоэмболия легочной артерии, острый коронарный синдром и острая сердечно-легочная недостаточность [4]. Таким образом, ФП и ее кардиологические последствия способны увеличить продолжительность пребывания пациента в стационаре и привести к летальному исходу [5]. В доступных нам источниках уделено недостаточно внимания прогнозированию кардиальных осложнений раннего послеоперационного периода у пациентов, оперированных по поводу рака легкого. Появление прогностических моделей позволит эффективнее оценить вероятность развития кардиологических осложнений и тем самым модифицировать ведение пациентов высокого риска для предотвращения негативных последствий.

Послеоперационные легочные осложнения являются основной причиной периоперационной заболеваемости и смертности, возникающей у 14–40 % пациентов после резекции легкого [6]. Американский колледж врачей-пульмонологов (АССР) рекомендует тщательную предоперационную физиологическую оценку легких и сердца для отбора пациентов на хирургическое лечение [7]. Перед хирургическими вмешательствами на легких обычно проводят несколько тестов: исследование функции внешнего дыхания, кардиопульмональный нагрузочный тест, функциональные пробы.

Известные нам исследования по выявлению факторов, влияющих на послеоперационные кардиореспираторные осложнения, были

ограничены включением только отдельных потенциально связанных индексов. Модели прогнозирования в настоящее время широко применяются в клинической практике, поскольку они лаконичны, ясны и всегда включают более одного фактора для расчета риска [8].

**Цель исследования.** Построение прогностических моделей оценки риска развития послеоперационных кардиологических и респираторных осложнений на основании анализа результатов лечения пациентов, оперированных по поводу рака легкого.

**Материалы и методы.** В исследование были включены 162 пациента, которым была выполнена лобэктомия в период 2020–2022 гг. в условиях хирургического отделения торакальной онкологии ГУЗ Областной клинической онкологической диспансер г. Ульяновска.

Критерии включения в исследование: немелкоклеточный рак легкого I–IIIА стадии; возраст 18–80 лет; доступ: торакотомия передне-боковая или боковая; исследование функции легких и сердца за одну неделю до операции.

Критерии исключения: неполные клинические данные для анализа; противопоказания к исследованию функции легких и сердца ввиду сопутствующей патологии; выявленная тяжелая сердечная недостаточность, определяемая по данным электро- или эхокардиографии; ранее перенесенная резекция легкого; другие тяжелые цереброваскулярные заболевания или другие состояния, исключающие резекцию легкого; торакоскопическая лобэктомия; выявленная на догоспитальном этапе аритмия; сочетанная острая кардиореспираторная патология.

Были учтены следующие клинические данные: пол, возраст, параметры функции внешнего дыхания (ФВД) (ОФВ<sub>1</sub> – объем форсированного выдоха за 1 с; ЖЕЛ – жизненная емкость легких; ПОС – пиковая объемная скорость), индекс пачка/лет (ИПЛ), функциональные тесты: (челночный ход, лестничная проба), параметры биохимического анализа крови (общий белок, креатинин, мочевины), интраоперационные данные (время операции, кровопотеря, вид лобэктомии), использование

глюкокортикостероидов (ГКС) после операции, параметры сердечной деятельности (давление в легочной артерии, фракция выброса левого желудочка), индекс массы тела (ИМТ, рассчитанный как отношение массы тела (кг) к квадрату роста (м)), наличие или отсутствие гипертонической болезни (ГБ), ишемическая болезнь сердца (ИБС).

Послеоперационные осложнения регистрировали как их наличие или отсутствие. Послеоперационными легочными осложнениями в раннем послеоперационном периоде после лобэктомии являлись:

- пневмония, характеризующаяся новой легочной инфильтрацией при визуализирующем исследовании и любым из следующих признаков: 1) лихорадка (температура тела  $\geq 38$  °C), продолжающаяся более 5 дней; 2) количество лейкоцитов  $> 10,5 \times 10^9/\text{л}$ ;
- ателектаз легкого;
- дыхательная недостаточность, требующая перевода на ИВЛ;
- продленный сброс воздуха.

Послеоперационные кардиологические осложнения в раннем послеоперационном периоде после лобэктомии включали:

- стойкую аритмию, требующую лекарственной коррекции;
- острый коронарный синдром;
- тромбоэмболия легочной артерии.

Общее число исследуемых факторов составило 18. Частота прогнозируемых кардиологических исходов – 21 (13 %), респираторных – 28 (17 %). С учетом частоты исходов и количества ковариат показатель EPP (Events per predictor) составил 28/21 (EPP=1,3) и 21/21 (EPP=1). При использовании эмпирического правила при построении регрессионных моделей показатель EPP должен равняться 10–15. В связи с недостаточной мощностью данных произведен синтез искусственных данных

с аналогичным распределением по методу MICE (многомерное вменение с помощью цепных уравнений) при помощи сервиса <http://dataclone.ru/> – 1600 наблюдений.

Выборка разделена в соотношении 80/20 на тренировочный (n=1258) и валидационный (n=342) датасеты. Окончательное тестирование проведено на исходных данных (n=162).

Для построения прогностических моделей использован метод биномиальной логистической регрессии с обратным исключением переменных по их скорректированной значимости в многофакторной модели (исключены наименее значимые ковариаты) и с учетом величины информационного критерия Акаике (AIC). Дискриминативность модели (точность классификации) оценена по значению C-индекса (AUC). Доля дисперсии зависимой переменной в модели определена по значению коэффициента детерминации Негелькерке  $R^2$ . Калибровка модели оценена путем построения сглаженной калибровочной кривой с оценкой уровня наклона кривой (Slope), максимальной и средней ошибок калибровки на валидационном наборе данных. В ходе построения моделей проверены допущения на линейность независимых переменных и логарифма шансов (графический метод, тест Бокса – Тидвелла), выполнена проверка на полное (квазиполное) разделение и мультиколлинеарность (через корреляционный анализ ковариат методом Спирмена и вычисление коэффициента инфляции дисперсии – VIF).

Статистический анализ проведен с использованием языка программирования R версии 4.2.1 и программного обеспечения R Studio, а также с использованием программы StatTech v. 3.1.8 (ООО «Статтех», Россия).

**Результаты.** Характеристики исследуемых пациентов в группе респираторных осложнений представлены в табл. 1.

Таблица 1  
Table 1

**Параметры пациентов с респираторными осложнениями**  
**Patients with respiratory complications**

Показатель Parameter	Категория Category	Респираторные осложнения Respiratory complications		p
		Нет No (134)	Да Yes (28)	
Пол, чел. (%) Sex, n (%)	Женский Female	38 (28,4)	2 (7,1)	0,018
	Мужской Male	96 (71,6)	26 (92,9)	
Возраст, лет Age, years old		65 (60–69)	63 (58–69)	0,935
ПОС, % PFER, %		54 (41–59)	45 (40–52)	0,010
ОФВ1, % FEV <sub>1</sub> , %		81 (62–89)	71 (64–82)	0,154
ЖЕЛ, % VC, %		81 (69–92)	75 (65–94)	0,391
ИПЛ Pack-year index		24 (10–34)	32 (23–38)	0,033
Давление в ЛА, мм рт. ст. РА pressure, mmHg		17 (14–21)	17 (15–23)	0,348
ФВ, % EF, %		63 (60–65)	62 (57–64)	0,261
ИМТ BMI		24 (22–27)	26 (24–29)	0,008
Челночный ход, м Shuttle walking test, m		468 (426–495)	310 (288–352)	<0,001
Лестничная проба, м Stair climbing test, m		22 (21–23)	17 (15–18)	<0,001
Общий белок, г/л Total protein, g/l		68 (63–71)	61 (58–64)	<0,001
ГБ, абс. (%) HD, abs (%)	Нет / No	75 (56,0)	10 (35,7)	0,051
	Да / Yes	59 (44,0)	18 (64,3)	
ИБС, абс. (%) CHD, abs (%)	Нет / No	119 (88,8)	27 (96,4)	0,219
	Да / Yes	15 (11,2)	1 (3,6)	

Показатель Parameter	Категория Category	Респираторные осложнения Respiratory complications		p
		Нет No (134)	Да Yes (28)	
Вид лобэктомии, абс. (%) Type of lobectomy, abs (%)	ВЛЭ справа Right upper lobectomy	39 (29,1)	7 (25,0)	0,776
	СЛ Middle lobectomy	9 (6,7)	3 (10,7)	
	НЛЭ справа Right lower lobectomy	24 (17,9)	3 (10,7)	
	ВЛЭ слева Left upper lobectomy	38 (28,4)	10 (35,7)	
	НЛЭ слева Left lower lobectomy	24 (17,9)	5 (17,9)	
Время операции, мин Operation time, min		107±27	123±27	0,005
Кровопотеря, мл Blood loss, ml		240 (200–290)	310 (240–370)	0,002
ГКС после операции, абс. (%) HCS after operation, abs (%)	Нет / No	84 (62,7)	11 (39,3)	0,022
	Да / Yes	50 (37,3)	17 (60,7)	

**Примечание.** ЛА – легочная артерия; ВЛЭ – верхняя лобэктомия; СЛ – средняя лобэктомия; НЛЭ – нижняя лобэктомия. В скобках указан интраквартильный размах. В табл. 2 обозначения те же.

**Note.** PFER – peak flow expiratory rate, FEV – forced expiratory volume, VC – vital capacity, PA – pulmonary artery, EF – ejection fraction, BMI – body mass index, HD – hypertensive disease, CHD – coronary heart disease, HCS – hypercoagulable syndrome.

Статистически значимые различия в группах осложнений по сравнению с пациентами с гладким послеоперационным течением были получены по следующим параметрам. В группе осложнений преобладали мужчины ( $p=0,018$ ). Из показателей ФВД только ПОС была статистически значимо ниже в группе осложнений ( $p=0,010$ ). ИПЛ и ИМТ также значимо влияли на развитие осложнений ( $p=0,033$  и  $p=0,008$  соответственно). Вероятность развития респираторных осложнений демонстрировали неудовлетворительные предоперационные функциональные пробы (челночный ход и лестничная проба,  $p<0,001$

и  $p<0,001$  соответственно). Уровень общего белка в биохимическом анализе крови может свидетельствовать о низких репаративных способностях организма в послеоперационном периоде, в нашей выборке низкий уровень белка напрямую зависел от развития осложнений ( $p<0,001$ ). Одним из компонентов лечения респираторных осложнений является использование ГКС, в группе с респираторными осложнениями частота использования ГКС была статистически значимо выше ( $p=0,022$ ).

Параметры пациентов с кардиологическими осложнениями представлены в табл. 2.

Таблица 2

Table 2

## Параметры пациентов с кардиологическими осложнениями

## Patients with cardiac complications

Показатель Parameter	Категория Category	Кардиологические осложнения Cardiac complications		p
		Нет No (141)	Да Yes (21)	
Пол, чел. (%) Sex	Женский Female	39 (27,7)	1 (4,8)	0,023
	Мужской Male	102 (72,3)	20 (95,2)	
Возраст, лет Age, years old		64 (59–69)	69 (65–70)	0,005
ПОС, % PFER, %		51 (44–55)	53 (41–59)	0,848
ОФВ1, % FEV, %		79 (62–88)	74 (71–86)	0,686
ЖЕЛ, % VC, %		83 (69–93)	69 (61–79)	0,015
ИПЛ Pack year index		24 (9–34)	33 (26–41)	0,001
Давление в ЛА, мм рт. ст. РА pressure, mmHg		17 (14–21)	17 (15–23)	0,187
ФВ, % EF, %		63 (60–65)	57 (53–61)	<0,001
ИМТ BMI		24 (22–27)	26 (24–30)	0,020
Челночный ход, м Shuttle walking test, m		460 (405–490)	320 (280–360)	<0,001
Лестничная проба, м Stair climbing test, m		22 (21–23)	17 (15–18)	<0,001
Общий белок, г/л Total protein, g/l		68 (63–71)	60 (55–62)	0,129
ГБ, абс. (%) HD, abs (%)	Нет / No	81 (57,4)	4 (19,0)	0,001
	Да / Yes	60 (42,6)	17 (81,0)	
ИБС, абс. (%) CHD, abs (%)	Нет / No	126 (89,4)	20 (95,2)	0,400
	Да / Yes	15 (10,6)	1 (4,8)	

Вид лобэктомии, абс. (%) Type of lobectomy, abs (%)	ВЛЭ справа Right upper lobectomy	39 (29,1)	7 (25,0)	0,776
	СЛ Middle lobectomy	9 (6,7)	3 (10,7)	
	НЛЭ справа Right lower lobectomy	24 (17,9)	3 (10,7)	
	ВЛЭ слева Left upper lobectomy	38 (28,4)	10 (35,7)	
	НЛЭ слева Left lower lobectomy	24 (17,9)	5 (17,9)	
Время операции, мин Operation time, min		108±26	119±35	0,101
Кровопотеря, мл Blood loss, ml		240 (200–300)	300 (200–330)	0,111
ГКС после операции, абс. (%) HCS after operation, abs (%)	Нет / No	88 (62,4)	7 (33,3)	0,012
	Да / Yes	53 (37,6)	14 (66,7)	

Статистически значимые различия между группой осложнений и остальными пациентами были получены по 10 параметрам из 18. Обращает на себя внимание отсутствие достоверных различий между группами по показателю ИБС ( $p=0,400$ ), наличие данной патологии не влияло на развитие кардиологических осложнений, что может быть связано с ее удовлетворительной коррекцией на дооперационном этапе.

Перед построением моделей выполнялась проверка на мультиколлинеарность потенциальных предикторов методом построения тепловой корреляционной матрицы (рис. 1). Коррелирующие между собой переменные (коэффициент корреляции Спирмена  $\rho > 0,75$ ) считались коллинеарными.

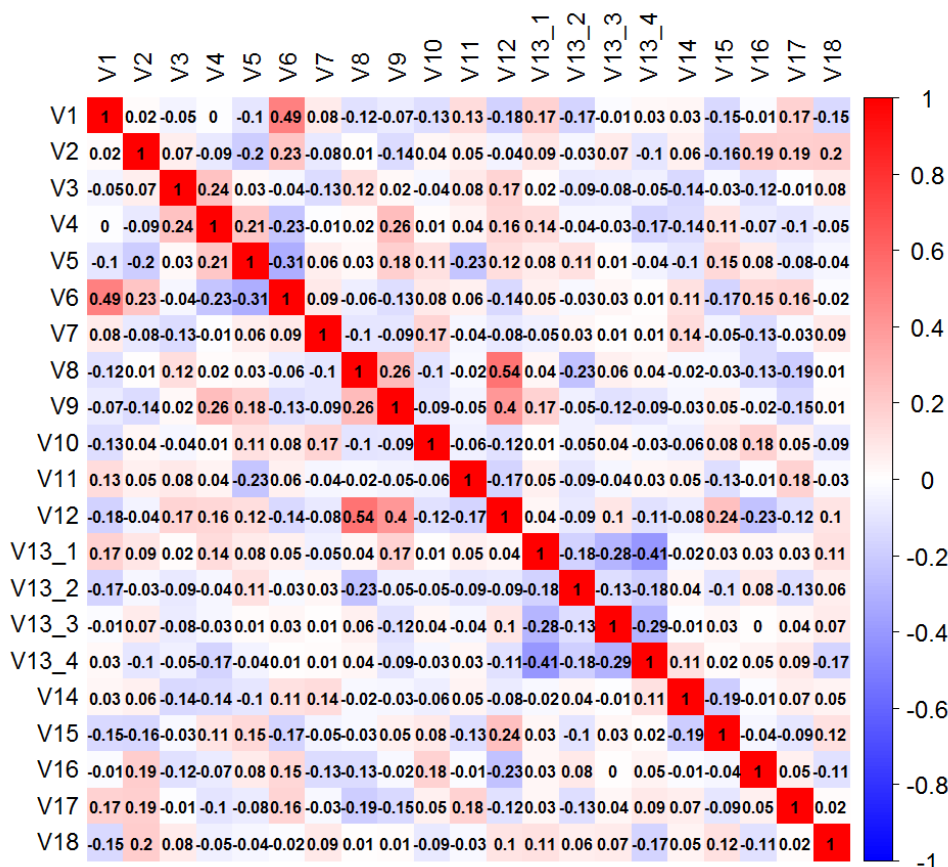


Рис. 1. Тепловая корреляционная матрица. Коллинеарных переменных не обнаружено: медиана rho=-0,003 (Мин-Макс: -0,458-0,666)

Fig. 1. Thermal correlation matrix. No collinear variables were found: median rho=-0.003 (Min-Max: -0.458-0.666)

**Прогностическая модель респираторных осложнений**

*Характеристика модели*

Logit (респираторные осложнения) = 23,4232 – 0,7427 × лестничная проба – 0,0259 × челночный ход.

Скорректированные характеристики модели методом бутстрэпа (400 итераций): С-индекс: 0,983; R<sup>2</sup>: 0,789.

Таблица 3  
Table 3

**Отношение шансов респираторных осложнений**

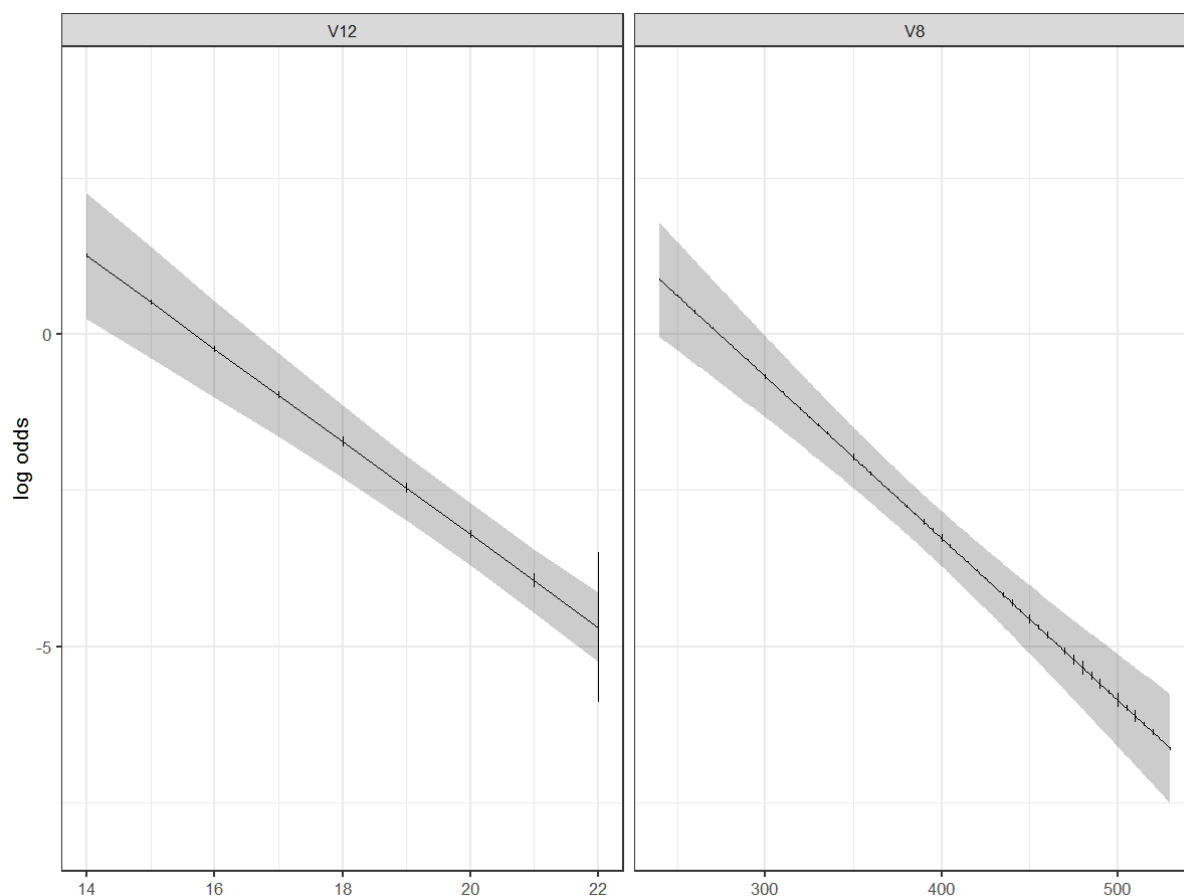
**Odds ratio for respiratory complications**

Предиктор / Predictor	ОШ / OR	95 % ДИ / 95% CI
Лестничная проба / Stair climbing test	0,475	0,412–0,549
Челночный ход / Shuttle walking test	0,974	0,969–0,979



*Проверка на мультиколлинеарность*

Лестничная проба: VIF=1,03; челночный ход: VIF=1,03. Показатели VIF<5, мультиколлинеарности нет.



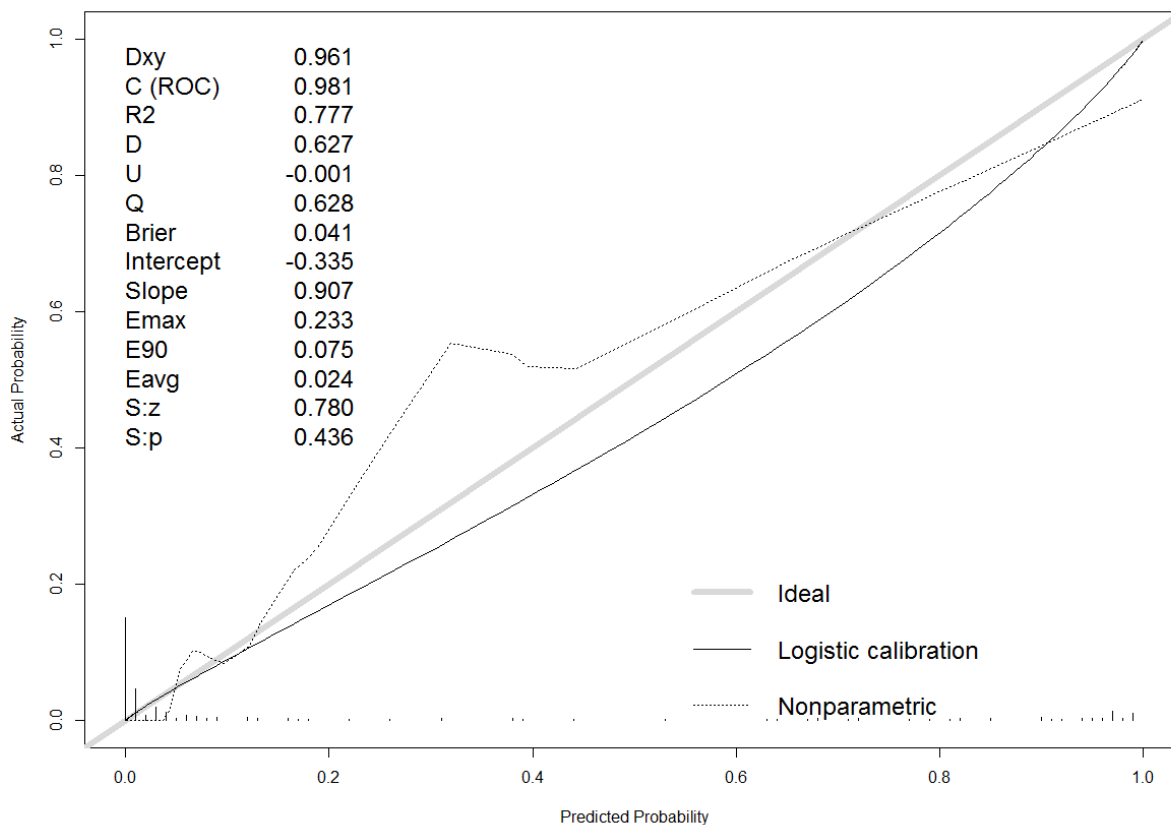
**Рис. 2.** Проверка линейности взаимосвязи независимых переменных и логарифма шансов

**Fig. 2.** Testing linear correlation between independent variables and the log odds

Тест Бокса – Тидвелла не пройден ( $p < 0,05$  для обеих переменных «лестничная проба» и «челночный ход», рис. 2). Однако визуально наблюдается линейная зависимость между значениями независимых переменных и логитом, что является допущением к построению модели логистической регрессии. Также выполнялся корреляционный анализ по Спирмену между логарифмом шансов отклика и независимыми переменными «челночный ход» ( $\rho = -0,93$ ) и «лестничная проба» ( $\rho = -0,72$ ).

*Валидация и калибровка*

AUC (на валидационной выборке): 0,98 (95 % ДИ: 0,97–0,99).



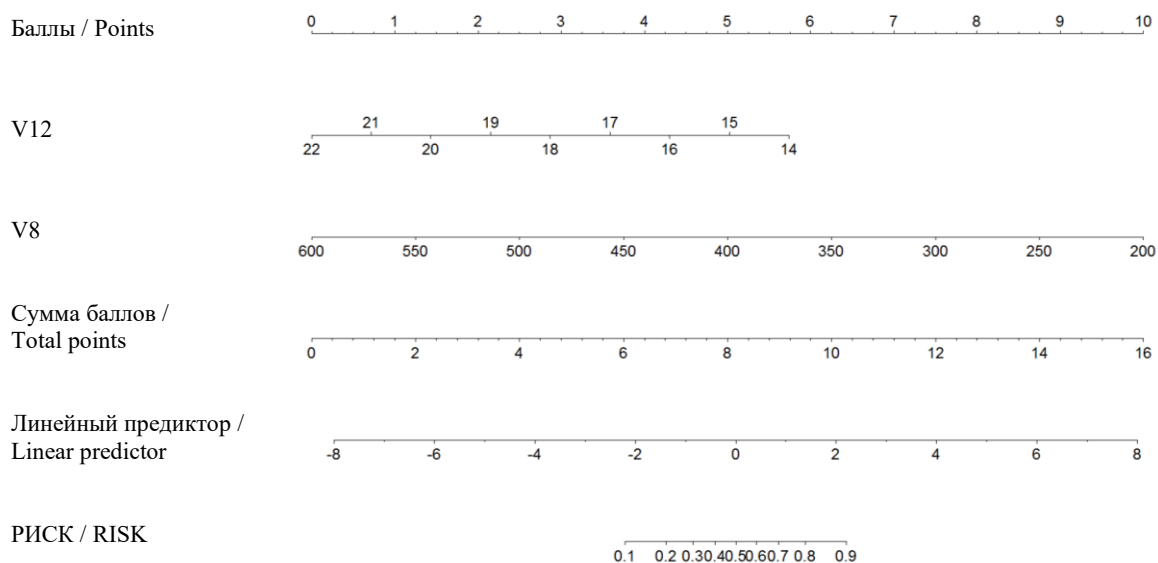
**Рис. 3.** Калибровочная кривая прогностической модели для респираторных осложнений

**Fig. 3.** Calibration curve for a predictive model of respiratory complications

Согласно калибровочной кривой (рис. 3) прогнозируемые и истинные значения вероятностей исхода наименее совпадают в диапазоне от ~0,2 до 0,4. Значения предсказанных вероятностей выше истинных с максимальной ошибкой 23 %. Средняя ошибка калибровки составляет 2,4 %. Непараметрическая калибровочная кривая близка к диагонали (slope > 0,9, в идеале 1) и указывает на то, что прогнозируемые риски в целом хорошо соответствуют наблюдаемым. Отрицательное значение интерсепта указывает на переоцененность модельных прогнозов, положительное – на их недооцененность.

Не рекомендуется использовать диапазон менее 0,5 для принятия решений о рисках исхода.

Номограмма / Nomogram (рис. 4)

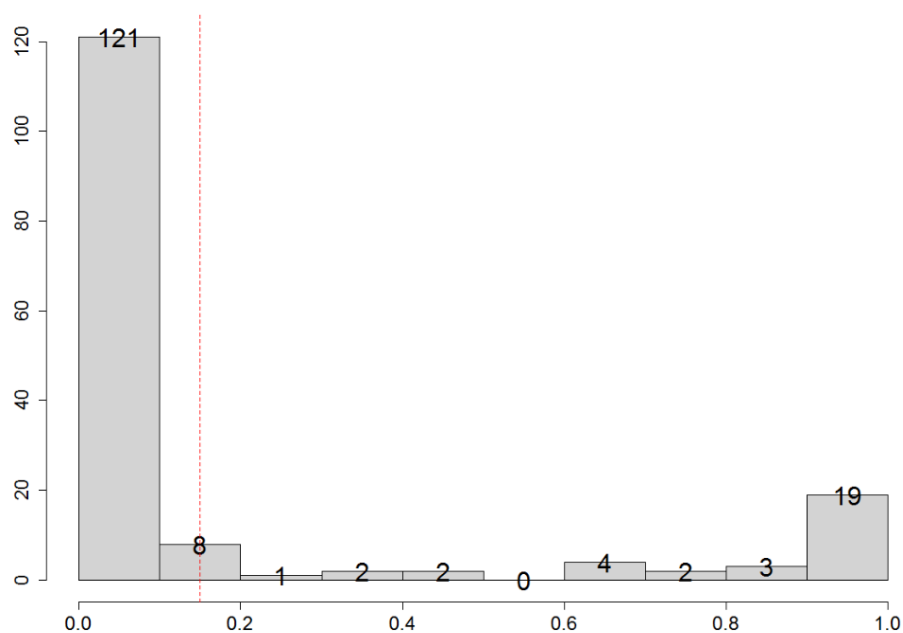


**Рис. 4.** Номограмма для прогнозирования респираторных осложнений (V12 – лестничная проба, V8 – челночный ход)

**Fig. 4.** Nomogram for predicting respiratory complications (V12 – stair climbing test, V8 – shuttle walking test)

Тестирование

AUC (на тестовой выборке): 0,98 (95 % ДИ: 0,97–0,99).



**Рис. 5.** Диаграмма распределения вероятностей прогноза исхода респираторных осложнений на тестовой выборке

**Fig. 5.** Probability distribution diagram for predicting respiratory complication outcome on the test sample

Таблица 4  
Table 4**Метрики модели для респираторных осложнений  
при эмпирическом пороге вероятности исхода >0,5****Model metrics for respiratory complications,  
empirical threshold for outcome probability >0,5**

Предсказанный исход Predicted outcome	Истинный исход True outcome	
	Нет / No	Да / Yes
Нет / No	130	4
Да / Yes	4	24

Характеристики матрицы ошибок: точность – 0,95; чувствительность – 0,86; специфичность – 0,97; положительная прогностическая ценность – 0,86; отрицательная прогностическая ценность – 0,97; F-мера – 0,86. Диагностические метрики можно признать хорошими. Модель обладает высокой специфичностью и чувствительностью.

**Прогностическая модель кардиологических осложнений***Характеристика модели*

Logit (кардиологические осложнения) =  $11,1147 - 0,1247 \times \text{лестничная проба} - 0,1651 \times \text{фракция выброса левого желудочка} + 0,1568 \times \text{ИМТ} + 1,133 \times \text{гипертоническая болезнь}$ .

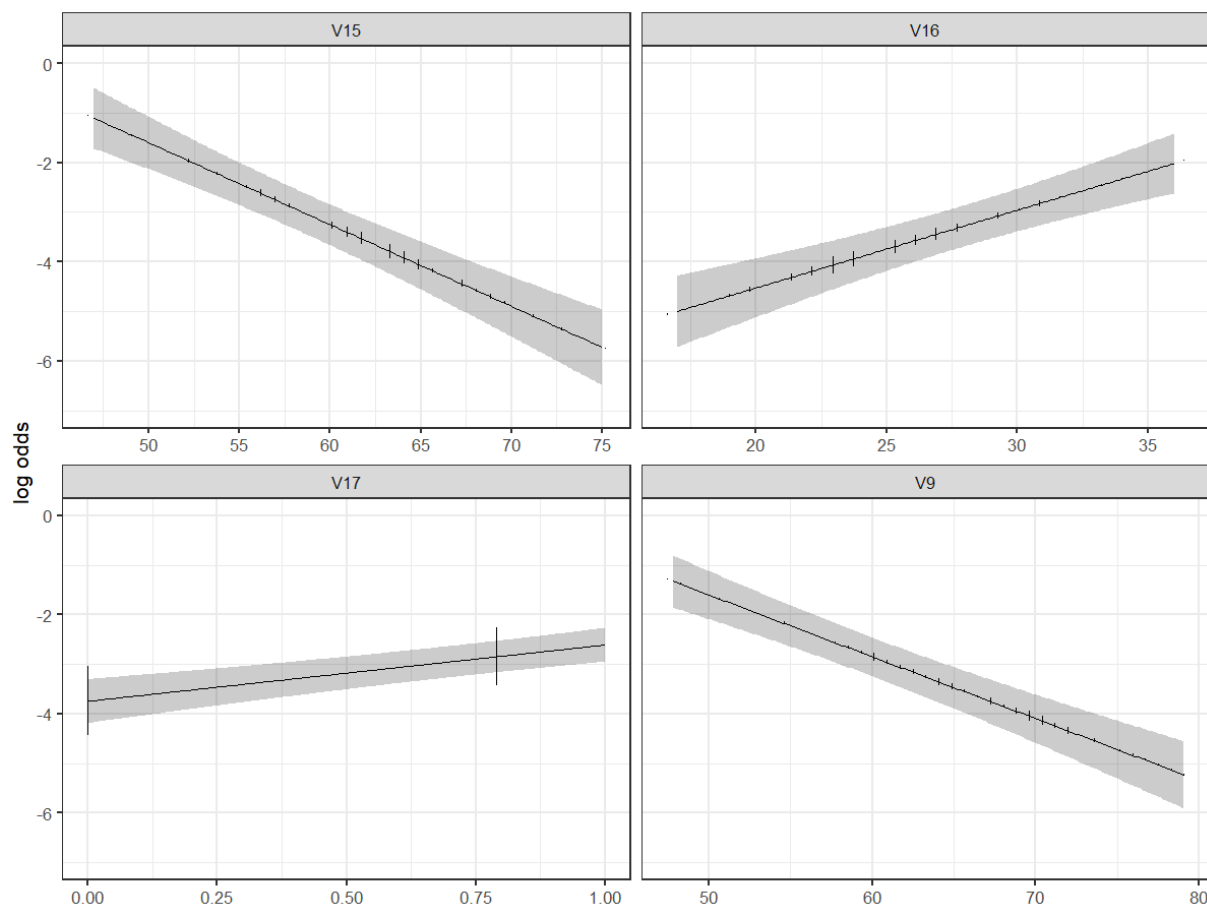
Скорректированные характеристики модели методом бутстрэпа (400 итераций): С-индекс: 0,854;  $R^2$ : 0,329.

Таблица 5  
Table 5**Отношение шансов развития кардиологических осложнений****Odds ratio for developing cardiac complications**

Предиктор / Predictor	ОШ / OR	95 % ДИ / 95 % CI
Лестничная проба Stair climbing test	0,882	0,857–0,908
Фракция выброса левого желудочка Left ventricular ejection fraction	0,847	0,815–0,818
ИМТ BMI	1,169	1,108–1,234
Артериальная гипертензия Arterial hypertension	3,104	2,011–4,791

*Проверка на мультиколлинеарность*

Общий белок: VIF=1,04; фракция выброса левого желудочка: VIF=1,01; ИМТ: VIF=1,03; стадия гипертонической болезни: VIF=1,05. Показатели VIF<5, мультиколлинеарности нет.



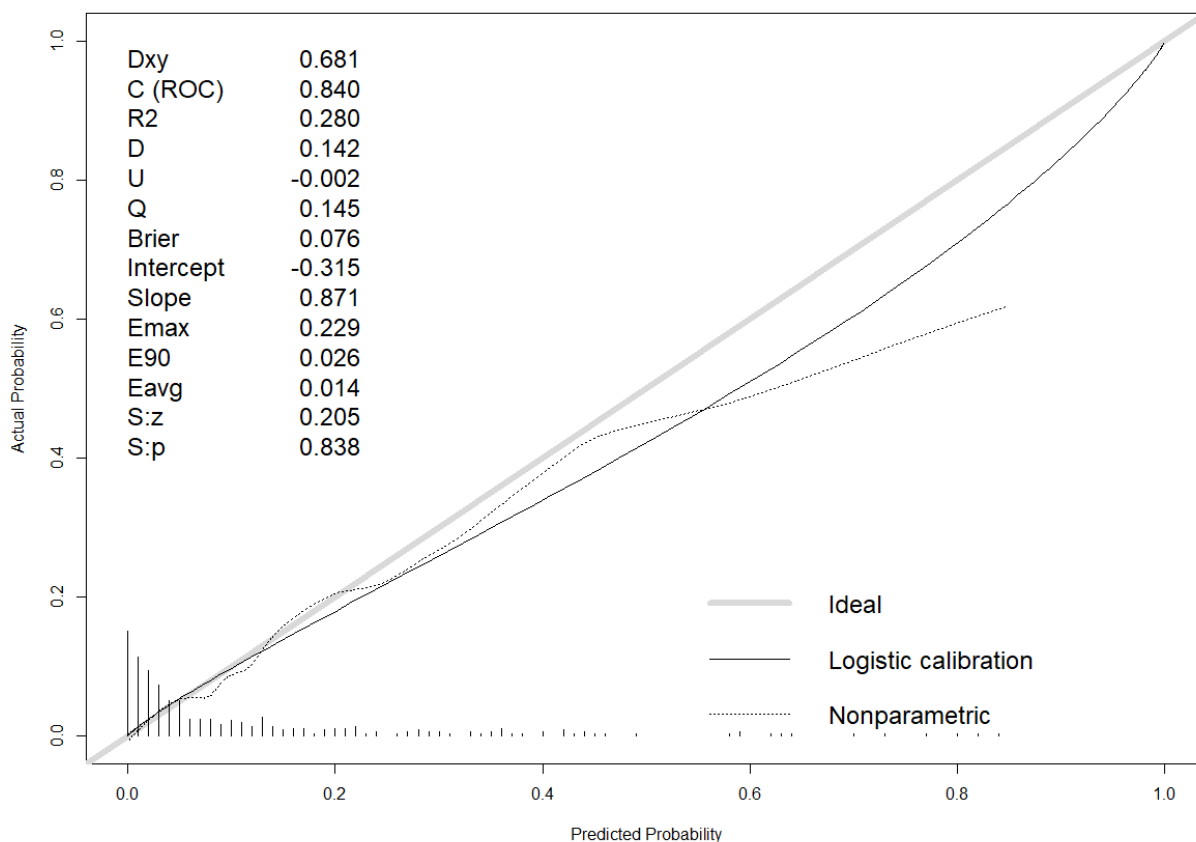
**Рис. 6.** Проверка линейности взаимосвязи независимых переменных и логарифма шансов

**Fig. 6.** Testing linear correlation between independent variables and log odds

Тест Бокса – Тидвелла пройден ( $p > 0,05$  для количественных переменных: общий белок, фракция выброса, ИМТ, стадия гипертонической болезни). Подтверждена линейная взаимосвязь между независимыми переменными и логитом модели.

## Валидация и калибровка

AUC (на валидационной выборке): 0,84 (95 % ДИ: 0,78–0,9).



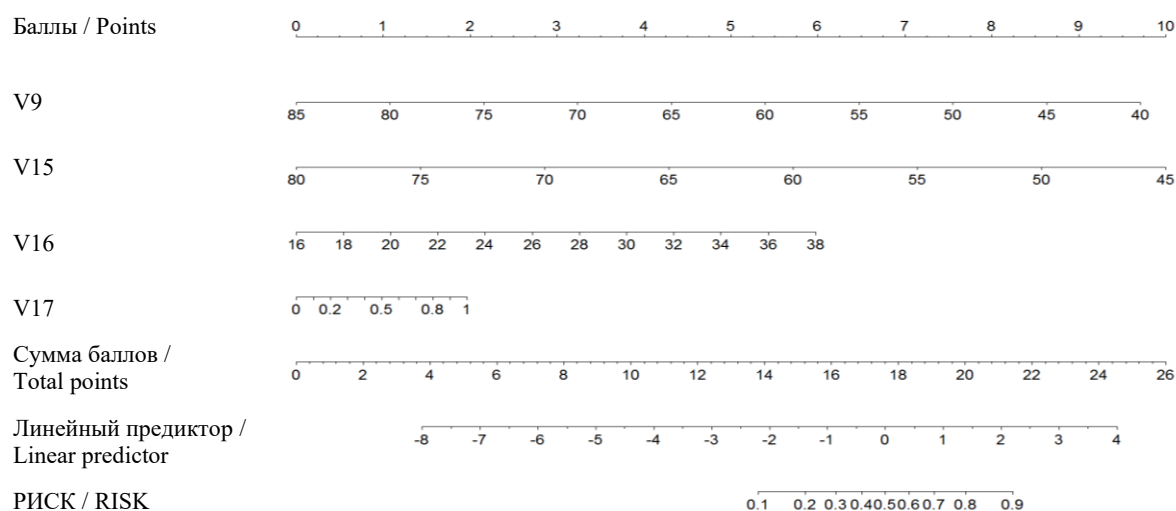
**Рис. 7.** Калибровочная кривая прогностической модели для кардиологических осложнений

**Fig. 7.** Calibration curve for a prognostic model of cardiac complications

Согласно калибровочной кривой прогнозируемые и истинные значения вероятностей исхода наименее совпадают в диапазоне выше 0,5. Значения предсказанных вероятностей выше истинных с максимальной ошибкой 22,9 %. Средняя ошибка калибровки составляет 1,4 %. Непараметрическая калибровочная кривая умеренно близка к диагонали (slope=0,87, в идеале 1) и указывает на то, что прогнозируемые риски удовлетворительно соответствуют наблюдаемым. Отрицательное значение интерсепта указывает на переоцененность модельных прогнозов, положительное – на их недооцененность.

Предсказанные моделью вероятности выше 0,5 следует считать завышенными, в связи с этим можно сдвинуть порог для принятия решений до >0,3.

*Номограмма*

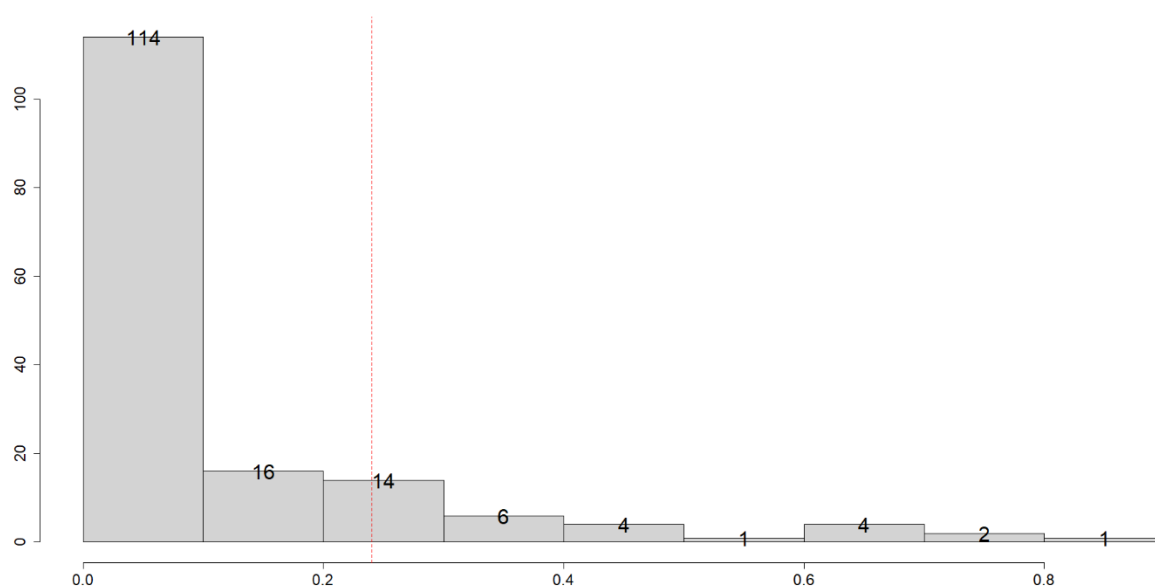


**Рис. 8.** Номограмма для прогнозирования кардиологических осложнений (V9 – лестничная проба, V15 – фракция выброса левого желудочка, V16 – ИМТ, V17 – гипертоническая болезнь)

**Fig. 8.** Nomogram for predicting cardiac complications (V9 – stair climbing test, V15 – left ventricular ejection fraction, V16 – ИМТ, V17 – hypertonic disease)

*Тестирование*

AUC (на тестовой выборке): 0,92 (95 % ДИ: 0,88–0,97).



**Рис. 9.** Диаграмма распределения вероятностей прогноза исхода кардиологических осложнений на тестовой выборке

**Fig. 9.** Probability distribution diagram for predicting cardiac complication outcome on the test sample

Таблица 6  
Table 6**Метрики модели для кардиологических осложнений  
при эмпирическом пороге вероятности исхода >0,4****Model metrics for cardiac complications, empirical threshold for outcome probability >0.4**

Предсказанный исход Predicted outcome	Истинный исход True outcome	
	Нет / No	Да / Yes
Нет / No	130	11
Да / Yes	2	19

Характеристики матрицы ошибок: точность – 0,91; чувствительность – 0,63; специфичность – 0,98; положительная прогностическая ценность – 0,9; отрицательная прогностическая ценность – 0,92; F-мера – 0,74. Диагностические метрики можно признать достаточно хорошими. Модель обладает высокой специфичностью и умеренной чувствительностью. Чувствительность снижена из-за числа ложноотрицательных результатов (~8 % от всех отрицательных прогнозов модели).

**Обсуждение.** Известно, что рак легкого – наиболее частая причина смерти у мужчин в мире и вторая по частоте причина смерти у женщин [1]. Помимо рецидива опухоли и метастазирования, фатальным фактором для больных раком легкого являются осложнения в послеоперационном периоде.

В этом исследовании мы ретроспективно проанализировали данные 162 пациентов, которым была выполнена лобэктомия по поводу немелкоклеточного рака легкого, по 18 периоперационным параметрам. Частота кардиологических осложнений составила 13 %, респираторных – 17 %. Были разработаны модели для прогнозирования риска развития кардиологических и респираторных осложнений. Номограммы содержат 2 переменных при расчёте респираторных осложнений и 4 – при расчёте кардиологических осложнений, продемонстрирована хорошая дискриминация и калибровка как в обучающей, так и в проверочной выборке.

Острая сердечная недостаточность и мерцательная аритмия часто сосуществуют и взаимозависимы. Фибрилляция предсердий является наиболее частым кардиологическим осложнением при операциях по поводу рака легкого, ее причиной может быть повышение уровня гормонов стресса, вызванное травматичностью хирургического вмешательства и способствующее развитию неблагоприятных сердечных событий [9]. Большинство хирургических манипуляций (особенно с монополярной электрокоагуляцией) при систематической ипсилатеральной медиастинальной лимфодиссекции выполняется в областях ветвей n. vagus, в частности в области сердечного сплетения и вблизи легочных вен, и может стимулировать развитие аритмии и другие кардиологические нарушения [10].

При анализе результатов кардиологических осложнений было определено, что 10 параметров из 18 имеют статистическую значимость, однако при построении логистической регрессии только 4 были включены в прогностическую модель: лестничная проба, фракция выброса, ИМТ, давление в легочной артерии.

Лестничная проба (подъем по лестнице) – функциональное обследование, рекомендуемое при подготовке пациентов к хирургическому вмешательству по поводу рака легкого [11]. Во время этого теста пациент поднимается по лестнице (как правило, высота одной ступеньки составляет 11 см), и проводится замер высоты подъема. В исследовании А. Вру-



nelli et al. было установлено, что пациенты, поднимающиеся менее чем на 12 м (3 этажа), в два раза чаще страдают осложнениями после хирургического вмешательства на легких, при этом смертность среди них возрастает в 13 раз, а затраты на их лечение – в 2,5 раза по сравнению с пациентами, которые могут подняться на 22 м (5 этажей) [12].

В последнее время были опубликованы сообщения, указывающие на значимость скорости подъема по лестнице в отношении частоты развития осложнений после операций резекции легкого. В этих исследованиях было продемонстрировано, что подъем на 20 м за 80 с (скорость  $\geq 15$  м/мин) хорошо коррелирует с максимальным количеством кислорода, которое организм человека способен потребить во время нагрузки за 1 мин ( $VO_2 \max$ ). Все пациенты, достигшие результата менее 80 с, имели  $VO_2 \max$  выше 20 мл/кг/мин [13]. На снижение фракции выброса левого желудочка (ФВЛЖ) приходится примерно половина диагнозов сердечной недостаточности. Наличие сниженной ФВЛЖ подтверждает наличие и стадию сердечной недостаточности [14]. В ранее проведенных исследованиях было показано, что это важный и независимый фактор риска для пациентов, перенесших внесердечные операции, даже при отсутствии симптомов сердечной недостаточности [15].

Ожирение, особенно абдоминальное, оказывает значительное давление на дыхательную систему. Ожирение живота и распределение жировой ткани в области грудной клетки уменьшает объем легких и ухудшает механику грудной клетки [16]. Все это приводит в конечном итоге к снижению функционирования легких и неадекватному газообмену. В раннем послеоперационном периоде после лобэктомии на фоне болевого синдрома и ожирения у больного возникает нарушение механики дыхания и кашля, что в свою очередь способствует снижению эффективности выведения мокроты, развитию застойных явлений в легких. После лобэктомии сердечно-легочная функция более уязвима, что повышает частоту сердечно-легочных осложнений. В своем исследовании О.А. Vamgbade et al. показали, что ожирение является независимым фактором риска перио-

перационной заболеваемости при сравнении частоты и тяжести осложнений у хирургических пациентов с ожирением и без него [17]. Точно так же De Jong et al. сообщили, что морбидное ожирение ( $ИМТ > 40$ ) является одним из наиболее важных предикторов 30-дневной заболеваемости после операции [18].

Частота встречаемости АГ в нашем исследовании составила 42,6 % и 81 % в группе без осложнений и в группе с гладким послеоперационным периодом соответственно. Международное общество гипертонии (ISH) опубликовало собственные глобальные практические рекомендации, разделив пациентов с АГ на три категории [19]. Среди них пациенты из группы высокого риска имеют очень низкую толерантность к стрессовым реакциям на различные неблагоприятные раздражители. У пожилых пациентов с первичной гипертензией артериальное давление действует чрезвычайно долго в ответ на раздражители, вызывающие вазоконстрикцию, такие как боль и гипоксемия. Затем может произойти внезапное и сильное повышение артериального давления во время выхода из наркоза [20], все это в значимой мере способно спровоцировать дальнейшие неблагоприятные явления сердечно-сосудистой системы.

При построении номограммы производится суммирование набранных баллов, которые соответствуют вероятности исхода (рisku) от 0 до 1. Было выделено 3 интервала: 0–0,3, 0,3–0,7, >0,7, в зависимости от которых мы могли оценить риск развития кардиологических осложнений и принять комплексные меры по мониторингу и купированию возникновения данного вида осложнения.

Пациенты с раком легкого, как правило, пожилого возраста, курят в анамнезе и имеют сопутствующие сердечно-сосудистые или респираторные заболевания, и эти факторы повышают риск возникновения послеоперационных респираторных осложнений [21]. В последнее десятилетие, несмотря на значительное развитие хирургии, разработку и проведение комплексных мероприятий по уходу за больными в послеоперационном периоде, частота осложнений по-прежнему остается на уровне 20–30 %.

При анализе таблицы респираторных осложнений было определено, что значимыми прогностическими параметрами являются челночный ход и лестничная проба. Проведение и анализ лестничной пробы осуществлялись также, как при оценке кардиологических осложнений.

Челночный ход представляет собой функциональную пробу, при которой пациент проходит между двумя точками, находящимися на расстоянии 10 м друг от друга, с возрастающей скоростью, заданной звуковым сигналом, характерным для теста. Расстояние, пройденное во время этого теста, хорошо коррелирует с  $VO_2 \max$  [22]. Предыдущие исследования рекомендовали 250 м в качестве порогового значения, при снижении которого частота развития осложнений после резекции легкого значительно возрастает [23].

Таким образом, мы построили и утвердили относительно точные клинические номограммы, которые продемонстрировали адекватное различие и калибровку при прогнозировании индивидуального риска развития кардиологических и респираторных осложнений у больных после лобэктомии. Наши результаты подчеркивают потенциал этих номограмм для улучшения индивидуального принятия клинических решений в отношении послеоперационного ведения данной категории пациентов.

**Заключение.** Использование предложенных номограмм у больных после лобэктомии позволяет выявлять группу высокого риска и принимать необходимые комплексные меры по предупреждению и купированию кардиологических и респираторных осложнений.

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

#### Вклад авторов

Концепция и дизайн исследования: Тонеев Е.А., Комаров А.С.

Литературный поиск, участие в исследовании, обработка материала: Исаев Д.Н., Мартынов А.А.

Статистическая обработка данных: Чавкин П.М.

Анализ и интерпретация данных: Мидленко О.В.

Написание и редактирование текста: Тонеев Е.А., Комаров А.С.

#### Литература

1. Bray F., Ferlay J., Soerjomataram I., Siegel R.L., Torre L.A., Jemal A. Global cancer statistics 2018: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA Cancer J Clin.* 2018; 68: 394–424.
2. Semeraro G.C., Meroni C.A., Cipolla C.M., Cardinale D.M. Atrial Fibrillation after Lung Cancer Surgery: Prediction, Prevention and Anticoagulation Management. *Cancers (Basel).* 2021; 13 (16): 4012. DOI: 10.3390/cancers13164012.
3. Алексин А.А., Хороненко В.Э., Пикин О.В., Шеметова М.М. Влияние факторов хирургической агрессии на частоту послеоперационной фибрилляции предсердий у больных со злокачественными опухолями легких. *Онкология. Журнал им. П.А. Герцена.* 2015; 4 (3): 28–34. DOI: <https://doi.org/10.17116/onkolog20154328-34>.
4. Guha A., Dey A.K., Jneid H., Ibarz J.P., Addison D., Fradley M. Atrial Fibrillation in the Era of Emerging Cancer Therapies. *Eur Heart J.* 2019; 40 (36): 3007–3010. DOI: 10.1093/eurheartj/ehz649.
5. Koshy A.N., Hamilton G., Theuerle J., The A.W., Han H.C., Gow P.J., Lim H.S., Thijs V., Farouque O. Postoperative Atrial Fibrillation Following Noncardiac Surgery Increases Risk of Stroke. *Am. J. Med.* 2020; 133: 311–322. DOI: 10.1016/j.amjmed.2019.07.057.
6. Mao X., Zhang W., Ni Y.Q., Niu Y., Jiang L.Y. A Prediction Model for Postoperative Pulmonary Complication in Pulmonary Function-Impaired Patients Following Lung Resection. *J Multidiscip Healthc.* 2021; 14: 3187–3194. DOI: <https://doi.org/10.2147/JMDH.S327285>.
7. 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: e166s–e190s.

8. Grant S.W., Collins G.S., Nashef S.A.M. Statistical Primer: developing and validating a risk prediction model. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2018; 54 (2): 203–208. DOI: 10.1093/ejcts/ezy180.
9. Yamaji M., Tsutamoto T., Kawahara C., Nishiyama K., Yamamoto T., Fujii M., Horie M. Serum cortisol as a useful predictor of cardiac events in patients with chronic heart failure: the impact of oxidative stress. *Circulation: Heart Failure.* 2009; 2 (6): 608–615.
10. Al Turki A., Marafi M., Proietti R., Cardinale D., Blackwell R., Dorian P., Bessissow A., Vieira L., Greiss I., Essebag V., Healey J.S., Huynh T. Major Adverse Cardiovascular Events Associated With Postoperative Atrial Fibrillation After Noncardiac Surgery: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Circ Arrhythm Electrophysiol.* 2020; 13 (1): e007437. DOI: 10.1161/CIRCEP.119.007437.
11. Van Nostrand D., Kjelsberg M.O., Humphrey E.W. Preresectional evaluation of risk from pneumonectomy. *Surg Gynecol Obstet.* 1968; 127: 306–312.
12. Brunelli A., Refai M., Xiume F., Xiumé F., Salati M., Sciarra V., Socci L., Sabbatini A. Performance at symptom limited stair-climbing test is associated with increased cardiopulmonary complications, mortality, and costs after major lung resection. *Ann Thorac Surg.* 2008; 86: 240–247.
13. Bernansconi M., Koegelenberg C.F., von Groote-Bidlingmaier F., Maree D., Barnard B.J., Diacon A.H., Bolliger C.T. Speed of ascent during stair climbing identifies operable lung resection candidates. *Respiration.* 2012; 84: 117–122.
14. Hunt S.A., Baker D.W., Chin M.H., Cinquegrani M.P., Feldman A.M., Francis G.S., Ganiats T.G., Goldstein S., Gregoratos G., Jessup M.L., Noble R.J., Packer M., Silver M.A., Stevenson L.W., Gibbons R.J., Antman E.M., Alpert J.S., Faxon D.P., Fuster V., Jacobs A.K., Hiratzka L.F., Russell R.O., Smith S.C. Jr. American College of Cardiology/American Heart Association. ACC/AHA guidelines for the evaluation and management of chronic heart failure in the adult: executive summary. A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee to revise the 1995 Guidelines for the Evaluation and Management of Heart Failure). *J Am Coll Cardiol.* 2001; 38 (7): 2101–2133. DOI: 10.1016/s0735-1097(01)01683-7.
15. Lerman B.J., Popat R.A., Assimes T.L., Heidenreich P.A., Wren S.M. Association of Left Ventricular Ejection Fraction and Symptoms with Mortality after Elective Noncardiac Surgery among Patients with Heart Failure. *JAMA.* 2019; 321 (6): 572–579.
16. Eichler L., Truskowska K., Dupree A., Busch P., Goetz A.E., Zöllner C. Intraoperative ventilation of morbidly obese patients guided by transpulmonary pressure. *Obes Surg.* 2018; 28: 122–129.
17. Bamgbade O.A., Rutter T.W., Nafiu O.O., Dorje P. Postoperative complications in obese and nonobese patients. *World J Surg.* 2007; 31: 556e560.
18. De Jong A., Verzilli D., Chanques G., Futier E., Jaber S. Preoperative risk and perioperative management of obese patients. *Rev Mal Respir.* 2019; 36: 985–1001.
19. Unger T., Borghi C., Charchar F., Khan N.A., Poulter N.R., Prabhakaran D., Ramirez A., Schlaich M., Stergiou G.S., Tomaszewski M., Wainford R.D., Williams B., Schutte A.E. International Society of Hypertension Global Hypertension Practice Guidelines. *Hypertension.* 2020; 75 (6): 1334–1357. DOI: 10.1161/HYPERTENSIONAHA.120.15026.
20. Wen W., Luo R., Tang X., Tang L., Huang H.X., Wen X., Hu S., Peng B. Age-related progression of arterial stiffness and its elevated positive association with blood pressure in healthy people. *Atherosclerosis.* 2015; 238 (1): 147–152. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2014.10.089>.
21. Багров В.А., Рябов А.Б., Пикин О.В., Колбанов К.И., Глушко В.А., Вурсол Д.А., Амиралиев А.М., Рудаков П.В., Бармин В.В. Осложнения после торакоскопической лобэктомии у больных со злокачественными опухолями легких. *Онкология. Журнал им. П.А. Герцена.* 2018; 7 (4): 26–33. DOI: <https://doi.org/10.17116/onkolog20187426>.
22. Singh S.J., Morgan M.D., Hardman A.E., Rowe C., Bardsley P.A. Comparison of oxygen uptake during a conventional treadmill test and the shuttle walking test in chronic airflow limitation. *Eur Respir J.* 1994; 7: 2016–2020.
23. Trzaska-Sobczak M., Skoczyński S., Pierzchała W. Pulmonary function tests in the preoperative evaluation of lung cancer surgery candidates. A review of guidelines. *Kardiochir Torakochirurgia Pol.* 2014; 11 (3): 278–282. DOI: 10.5114/kitp.2014.45677.

**Авторский коллектив**

**Тонеев Евгений Александрович** – кандидат медицинских наук, ассистент кафедры факультетской хирургии, ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет». 432017, Россия, г. Ульяновск, ул. Л. Толстого, 42; врач-хирург хирургического торакального отделения, 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>.

**Комаров Андрей Сергеевич** – ассистент кафедры госпитальной хирургии, ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет». 432017, Россия, г. Ульяновск, ул. Л. Толстого, 42; врач – анестезиолог-реаниматолог, ГУЗ Областной клинический онкологический диспансер. 432017, Россия, г. Ульяновск, ул. 12 Сентября, 90; e-mail: andrey-komarov-88@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-5125-2840>.

**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>.

**Мартынов Александр Александрович** – врач – торакальный хирург, заведующий хирургическим торакальным отделением, ГУЗ Областной клинический онкологический диспансер. 432017, Россия, г. Ульяновск, ул. 12 Сентября, 90; e-mail: orimpik2006@rambler.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4662-9886>.

**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>.

**Чавкин Петр Михайлович** – доцент кафедры госпитальной хирургии, ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет». 432017, Россия, г. Ульяновск, ул. Л. Толстого, 42; e-mail: p10111978@yandex.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3439-9016>.

**Образец цитирования**

Тонеев Е.А., Комаров А.С., Мидленко О.В., Мартынов А.А., Исаев Д.Н., Чавкин П.М. 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.

## PREDICTIVE MODELS FOR ASSESSING RISKS OF POSTOPERATIVE CARDIAC AND RESPIRATORY COMPLICATIONS IN PATIENTS WITH LUNG CANCER

E.A. Toneev<sup>1,2</sup>, A.S. Komarov<sup>1,2</sup>, O.V. Midlenko<sup>2</sup>, A.A. Martynov<sup>1</sup>,  
D.N. Isaev<sup>2</sup>, P.M. Chavkin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Regional Clinical Oncology Dispensary, Ulyanovsk, Russia;

<sup>2</sup> Ulyanovsk State University, Ulyanovsk, Russia

*The aim of the study is to identify risk factors for the development of postoperative cardiac and respiratory complications in patients after lobectomy and to develop nomograms to predict such complications.*

*Materials and Methods. From January 2020 to August 2023, 411 lobectomies were performed in patients with non-small cell lung cancer in the surgical department of thoracic oncology, Regional Clinical Oncology Dispensary (Ulyanovsk). The present study included 162 patients according to the designed enrolment criteria. The authors identified statistically significant risk factors for the development of severe cardiac and respiratory complications after lobectomy with systematic lymph node dissection.*

*Results. Due to insufficient data cardinality, artificial data with a similar distribution were synthesized using the MICE method (multivariate imputation by chained equations). The sample is divided into training (n=1258) and validation (n=342) datasets at a ratio 80 to 20. Final testing of the initial data was carried out (n=162).*

Logistic regression for respiratory complications:  $\text{respiratory complications} = 23.4232 - 0.7427 \times \text{stair climbing test} - 0.0259 \times \text{shuttle walking test}$ . Based on these data, a nomogram was constructed to predict the development of respiratory complications. Error matrix characteristics: accuracy – 0.95; sensitivity – 0.86; specificity – 0.97; positive predictive value – 0.86; negative predictive value – 0.97.

Logistic regression for cardiac complications:  $\text{cardiac complications} = 11.1147 - 0.1247 \times \text{stair climbing test} - 0.1651 \times \text{ejection fraction} + 0.1568 \times \text{BMI} + 1.133 \times \text{hypertension}$ . Based on these data, a nomogram was constructed to predict cardiac complications. Error matrix characteristics: accuracy – 0.91; sensitivity – 0.63; specificity – 0.98; positive predictive value – 0.9; negative predictive value – 0.92.

Conclusions. The developed prognostic models allow us to determine the risk group among patients who are planning a lobectomy for lung cancer at the preoperative stage. It also allows us to ensure high-quality prevention for these complications in patients at high risk.

**Key words:** lobectomy, nomogram, respiratory complications, cardiac complications.

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

### Author contributions

Research concept and design: Toneev E.A., Komarov A.S.

Literature search, participation in the research study, data processing: Isaev D.N., Martynov A.A.

Statistical data processing: Chavkin P.M.

Data analysis and interpretation: Midlenko O.V.

Text writing and editing: Toneev E.A., Komarov A.S.

### References

1. Bray F., Ferlay J., Soerjomataram I., Siegel R.L., Torre L.A., Jemal A. Global cancer statistics 2018: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA Cancer J Clin.* 2018; 68: 394–424.
2. Semeraro G.C., Meroni C.A., Cipolla C.M., Cardinale D.M. Atrial Fibrillation after Lung Cancer Surgery: Prediction, Prevention and Anticoagulation Management. *Cancers (Basel).* 2021; 13 (16): 4012. DOI: 10.3390/cancers13164012.
3. Aleksin A.A., Khoronenko V.E., Pikin O.V., Shemetova M.M. Vliyanie faktorov khirurgicheskoy agressii na chastotu posleoperatsionnoy fibrillyatsii predserdiy u bol'nykh so zlokachestvennymi opukholyami legkikh [Influence of surgical aggression factors on the rate of postoperative atrial fibrillation in patients with malignant lung tumors]. *Onkologiya. Zhurnal im. P.A. Gertsena.* 2015; 4 (3): 28–34. DOI: <https://doi.org/10.17116/onkolog20154328-34> (in Russian).
4. Guha A., Dey A.K., Jneid H., Ibarz J.P., Addison D., Fradley M. Atrial Fibrillation in the Era of Emerging Cancer Therapies. *Eur Heart J.* 2019; 40 (36): 3007–3010. DOI: 10.1093/eurheartj/ehz649.
5. Koshy A.N., Hamilton G., Theuerle J., The A.W., Han H.C., Gow P.J., Lim H.S., Thijs V., Farouque O. Postoperative Atrial Fibrillation Following Noncardiac Surgery Increases Risk of Stroke. *Am. J. Med.* 2020; 133: 311–322. DOI: 10.1016/j.amjmed.2019.07.057.
6. Mao X., Zhang W., Ni Y.Q., Niu Y., Jiang L.Y. A Prediction Model for Postoperative Pulmonary Complication in Pulmonary Function-Impaired Patients Following Lung Resection. *J Multidiscip Healthc.* 2021; 14: 3187–3194. DOI: <https://doi.org/10.2147/JMDH.S327285>.
7. 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: e166s–e190s.
8. Grant S.W., Collins G.S., Nashef S.A.M. Statistical Primer: developing and validating a risk prediction model. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2018; 54 (2): 203–208. DOI: 10.1093/ejcts/ezy180.
9. Yamaji M., Tsutamoto T., Kawahara C., Nishiyama K., Yamamoto T., Fujii M., Horie M. Serum cortisol as a useful predictor of cardiac events in patients with chronic heart failure: the impact of oxidative stress. *Circulation: Heart Failure.* 2009; 2 (6): 608–615.
10. Al Turki A., Marafi M., Proietti R., Cardinale D., Blackwell R., Dorian P., Bessissow A., Vieira L., Greiss I., Essebag V., Healey J.S., Huynh T. Major Adverse Cardiovascular Events Associated With Postoperative

- Atrial Fibrillation After Noncardiac Surgery: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Circ Arrhythm Electrophysiol.* 2020; 13 (1): e007437. DOI: 10.1161/CIRCEP.119.007437.
11. Van Nostrand D., Kjelsberg M.O., Humphrey E.W. Preresectional evaluation of risk from pneumonectomy. *Surg Gynecol Obstet.* 1968; 127: 306–312.
  12. Brunelli A., Refai M., Xiume F., Xiumé F., Salati M., Sciarra V., Socci L., Sabbatini A. Performance at symptom limited stair-climbing test is associated with increased cardiopulmonary complications, mortality, and costs after major lung resection. *Ann Thorac Surg.* 2008; 86: 240–247.
  13. Bernansconi M., Koegelenberg C.F., von Groote-Bidlingmaier F., Maree D., Barnard B.J., Diacon A.H., Bolliger C.T. Speed of ascent during stair climbing identifies operable lung resection candidates. *Respiration.* 2012; 84: 117–122.
  14. Hunt S.A., Baker D.W., Chin M.H., Cinquegrani M.P., Feldman A.M., Francis G.S., Ganiats T.G., Goldstein S., Gregoratos G., Jessup M.L., Noble R.J., Packer M., Silver M.A., Stevenson L.W., Gibbons R.J., Antman E.M., Alpert J.S., Faxon D.P., Fuster V., Jacobs A.K., Hiratzka L.F., Russell R.O., Smith S.C.Jr. American College of Cardiology/American Heart Association. ACC/AHA guidelines for the evaluation and management of chronic heart failure in the adult: executive summary. A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee to revise the 1995 Guidelines for the Evaluation and Management of Heart Failure). *J Am Coll Cardiol.* 2001; 38 (7): 2101–2013. DOI: 10.1016/s0735-1097(01)01683-7.
  15. Lerman B.J., Popat R.A., Assimes T.L., Heidenreich P.A., Wren S.M. Association of Left Ventricular Ejection Fraction and Symptoms with Mortality after Elective Noncardiac Surgery among Patients with Heart Failure. *JAMA.* 2019; 321 (6): 572–579.
  16. Eichler L., Truskowska K., Dupree A., Busch P., Goetz A.E., Zöllner C. Intraoperative ventilation of morbidly obese patients guided by transpulmonary pressure. *Obes Surg.* 2018; 28: 122–129.
  17. Bamgbade O.A., Rutter T.W., Nafiu O.O., Dorje P. Postoperative complications in obese and nonobese patients. *World J Surg.* 2007; 31: 556e560.
  18. De Jong A., Verzilli D., Chanques G., Futier E., Jaber S. Preoperative risk and perioperative management of obese patients. *Rev Mal Respir.* 2019; 36: 985–1001.
  19. Unger T., Borghi C., Charchar F., Khan N.A., Poulter N.R., Prabhakaran D., Ramirez A., Schlaich M., Stergiou G.S., Tomaszewski M., Wainford R.D., Williams B., Schutte A.E. International Society of Hypertension Global Hypertension Practice Guidelines. *Hypertension.* 2020; 75 (6): 1334–1357. DOI: 10.1161/HYPERTENSIONAHA.120.15026.
  20. Wen W., Luo R., Tang X., Tang L., Huang H.X., Wen X., Hu S., Peng B. Age-related progression of arterial stiffness and its elevated positive association with blood pressure in healthy people. *Atherosclerosis.* 2015; 238 (1): 147–152. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2014.10.089>.
  21. Bagrov V.A., Ryabov A.B., Pikin O.V., Kolbanov K.I., Glushko V.A., Vursol D.A., Amiraliev A.M., Rudakov R.V., Barmin V.V. Oslozhneniya posle torakoskopicheskoy lobektomii u bol'nykh so zlo-kachestvennymi opukholyami legkikh [Complications after thoracoscopic lobectomy in patients with malignant lung tumor]. *Onkologiya. Zhurnal im. P.A. Gertsena.* 2018; 7 (4): 26–33. DOI: <https://doi.org/10.17116/onkolog20187426> (in Russian).
  22. Singh S.J., Morgan M.D., Hardman A.E., Rowe C., Bardsley P.A. Comparison of oxygen uptake during a conventional treadmill test and the shuttle walking test in chronic airflow limitation. *Eur Respir J.* 1994; 7: 2016–2020.
  23. Trzaska-Sobczak M., Skoczyński S., Pierzchała W. Pulmonary function tests in the preoperative evaluation of lung cancer surgery candidates. A review of guidelines. *Kardiochir Torakochirurgia Pol.* 2014; 11 (3): 278–282. DOI: 10.5114/kitp.2014.45677.

Received September 27, 2023; accepted January 21, 2024.

### Information about the authors

**Toneev Evgeniy Aleksandrovich**, Candidate of Sciences (Medicine), Teaching Assistant, Chair of Faculty Surgery, Ulyanovsk State University. 432017, Russia, Ulyanovsk, L. Tolstoy St., 42; Surgeon, Thoracic Surgical Department, 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>.

**Komarov Andrey Sergeevich**, Teaching Assistant, Chair of Faculty Surgery, Ulyanovsk State University. 432017, Russia, Ulyanovsk, L. Tolstoy St., 42; Intensivist, Clinical Oncology Dispensary. 432017, Russia, Ulyanovsk, 12 Sentyabrya St., 90; e-mail: andrey-komarov-88@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-5125-2840>.

**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>.

**Martynov Aleksandr Aleksandrovich**, Thoracic Surgeon, Head of the Surgical Thoracic Department, Regional Clinical Oncology Dispensary. 432017, Russia, Ulyanovsk, 12 Sentyabrya St., 90; e-mail: orimpik2006@rambler.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4662-9886>.

**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>.

**Chavkin Petr Mikhaylovich**, Associate Professor, Chair of Hospital Surgery, Ulyanovsk State University. 432017, Russia, Ulyanovsk, L. Tolstoy st., 42; e-mail: p10111978@yandex.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3439-9016>.

#### For citation

Toneev E.A., Komarov A.S., Midlenko O.V., Martynov A.A., Isaev D.N., Chavkin P.M. Prognosticheskie modeli otsenki riska razvitiya posleoperatsionnykh kardiologicheskikh i respiratornykh oslozhneniy u bol'nykh rakom legkogo [Predictive models for assessing risks postoperative cardiac and respiratory complications in patients with lung cancer]. *Ulyanovskiy mediko-biologicheskij zhurnal*. 2024; 1: 41–63. DOI: 10.34014/2227-1848-2024-1-41-63 (in Russian).