

Разработка модели по оценке вероятности летального исхода аортокоронарного шунтирования

Ульянов И. А., Остроушко Н. И., Ковалёв С. А., Нехаенко Н. Е., Шарапова Ю. А.

ФГБОУ ВО "Воронежский государственный медицинский университет им. Н. Н. Бурденко" Минздрава России. Воронеж, Россия

Цель. Разработка модели по определению вероятности летального исхода аортокоронарного шунтирования (АКШ) на основании комплексной предоперационной характеристики пациентов.

Материал и методы. Основой для создания модели факторов, ассоциированных с летальным исходом АКШ, явились данные медицинской документации 1584 пациентов, которым было проведено изолированное АКШ в период 2021-2024гг. Были выбраны 24 предоперационных характеристики пациента, среди которых выявлялись факторы, ассоциированные с летальным исходом. Конечной точкой в исследовании выбран факт наступления летального исхода в ходе АКШ или после 30 дней от операции.

Результаты. Были определены факторы, ассоциированные с летальным исходом АКШ. На уровне $p < 0,05$ — давность последнего инфаркта миокарда, мультифокальный атеросклероз, функциональный класс хронической сердечной недостаточности, а на уровне $p < 0,001$ — значение по шкале EuroSCORE II (European System for Cardiac Operative Risk Evaluation II), легочная гипертензия, фракция выброса, нестабильная стенокардия в предшествующий месяц, IV функциональный класс стабильной стенокардии напряжения. В итоговую многофакторную модель были включены три предиктора: фракция выброса, нестабильная стенокардия и IV функциональный класс стенокардии. Чувствительность модели составила 87,5% (95% доверительный интервал: 71-96,5), а специфичность — 74,3% (95% доверительный интервал: 72-76,5).

Заключение. На основании проделанной работы удалось выявить факторы, ассоциированные с летальным исходом, и создать логистическую регрессионную модель, определяющую вероятность летального исхода в ходе АКШ и в ранний послеоперационный период.

Ключевые слова: аортокоронарное шунтирование, ишемическая болезнь сердца, модель, реваскуляризация миокарда.

Отношения и деятельность: нет.

Поступила 13/10-2025

Рецензия получена 31/10-2025

Принята к публикации 20/04-2026



Для цитирования: Ульянов И. А., Остроушко Н. И., Ковалёв С. А., Нехаенко Н. Е., Шарапова Ю. А. Разработка модели по оценке вероятности летального исхода аортокоронарного шунтирования. Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2026;25(7):4638. doi: 10.15829/1728-8800-2026-4638. EDN: FHVCP

Model for estimating the fatal outcome probability after coronary artery bypass grafting

Ulyanov I. A., Ostroushko N. I., Kovalev S. A., Nekhaenko N. E., Sharapova Yu. A.
Burdenko Voronezh State Medical University. Voronezh, Russia

Aim. To develop a model for assessing the fatal outcome probability after coronary artery bypass grafting (CABG) based on comprehensive preoperative patient characteristics.

Material and methods. The model of fatal outcome-associated factors after CABG was developed using medical records from 1584 patients who underwent isolated CABG between 2021 and 2024. Twenty-four preoperative patient characteristics were selected, from which factors associated with fatal outcome were identified. The study endpoint was death during CABG or within 30 days after surgery.

Results. Factors associated with fatal CABG outcomes were identified. At a $p < 0,05$ level, the following factors were associated: time since the last myocardial infarction, multifocal atherosclerosis, and heart failure functional class. At a $p < 0,001$ level, the following factors were asso-

ciated: European System for Cardiac Operative Risk Evaluation II score (EuroSCORE II), pulmonary hypertension, ejection fraction, unstable angina in the previous month, and class IV stable angina. The final multivariate model included three following predictors: ejection fraction, unstable angina, and class IV angina. The model's sensitivity was 87,5% (95% confidence interval (CI): 71-96,5), and specificity — 74,3% (95% CI: 72-76,5).

Conclusion. Based on this study, we identified factors associated with mortality and created a logistic regression model that predicts the mortality likelihood during CABG and in the early postoperative period.

Keywords: coronary artery bypass grafting, coronary artery disease, model, myocardial revascularization.

Relationships and Activities: none.

*Автор, ответственный за переписку (Corresponding author):

e-mail: ilyanov.ignat@yandex.ru

[Ульянов И. А. — аспирант кафедры управления в здравоохранении, ORCID: 0000-0003-1414-5406, Остроушко Н. И. — к.м.н., доцент кафедры управления в здравоохранении, ORCID: 0000-0002-2667-4180, Ковалёв С. А. — д.м.н., профессор, зав. кафедрой специализированных хирургических дисциплин, ORCID: 0000-0001-8200-0351, Нехаенко Н. Е. — д.м.н., зав. кафедрой управления в здравоохранении, ORCID: 0000-0002-5916-3248, Шарапова Ю. А. — к.м.н., доцент кафедры управления в здравоохранении, ORCID: 0000-0001-6824-1298].

Адреса организаций авторов: ФГБОУ ВО "Воронежский государственный медицинский университет им. Н. Н. Бурденко" Минздрава России, ул. Студенческая, д. 10, Воронеж, 394036, Россия.
Addresses of the authors' institutions: Burdenko Voronezh State Medical University, Studenetskaya str., 10, Voronezh, 394036, Russia.

Ulyanov I. A.* ORCID: 0000-0003-1414-5406, Ostroushko N. I. ORCID: 0000-0002-2667-4180, Kovalev S. A. ORCID: 0000-0001-8200-0351, Nekhaenko N. E. ORCID: 0000-0002-5916-3248, Sharapova Yu. A. ORCID: 0000-0001-6824-1298.

*Corresponding author: ilyanov.ignat@yandex.ru

Received: 13/10-2025

Revision Received: 31/10-2025

Accepted: 20/04-2026

For citation: Ulyanov I. A., Ostroushko N. I., Kovalev S. A., Nekhaenko N. E., Sharapova Yu. A. Model for estimating the fatal outcome probability after coronary artery bypass grafting. *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2026;25(7):4638. doi: 10.15829/1728-8800-2026-4638. EDN: FHVCP

АКШ — аортокоронарное шунтирование, ДИ — доверительный интервал, ИБС — ишемическая болезнь сердца, ИМ — инфаркт миокарда, ФВ — фракция выброса, ФК — функциональный класс, ФП — фибрилляция предсердий, ХБП — хронической болезни почек, ХСН — хроническая сердечная недостаточность, AUC — Area Under The ROC Curve (площадь под ROC-кривой), OR — odds ratio (отношение шансов), EuroSCORE II — European System for Cardiac Operative Risk Evaluation II.

Ключевые моменты

Что известно о предмете исследования?

- Существуют предоперационные факторы, повышающие риск летального исхода аортокоронарного шунтирования (АКШ).
- Прогнозирование летального исхода АКШ способно повлиять на определение тактики реваскуляризации миокарда.

Что добавляют результаты исследования?

- Были определены факторы, ассоциированные с летальным исходом АКШ: давность инфаркта миокарда, мультифокальный атеросклероз, функциональный класс хронической сердечной недостаточности, значение по шкале EuroSCORE II, легочная гипертензия, фракция выброса, нестабильная стенокардия в предшествующий месяц, IV функциональный класс стабильной стенокардии напряжения.
- Логистическая модель позволяет прогнозировать летальный исход АКШ с чувствительностью 87,5% и специфичностью 74,3%.

Key messages

What is already known about the subject?

- There are preoperative factors that increase the risk of mortality after coronary artery bypass grafting (CABG).
- Predicting mortality after CABG can influence the decision on myocardial revascularization strategies.

What might this study add?

- The following factors associated with fatal outcome after CABG were identified: duration of myocardial infarction, multifocal atherosclerosis, functional class of heart failure, EuroSCORE II score, pulmonary hypertension, ejection fraction, unstable angina in the previous month, and class IV stable angina.
- The logistic model predicts fatal outcome after CABG with a sensitivity of 87,5% and a specificity of 74,3%.

Введение

Лечение ишемической болезни сердца (ИБС) осуществляется методами медикаментозной терапии, рентгенэндоваскулярными и хирургическими вмешательствами. Выбор объема и способа лечения остаётся сложной задачей [1]. Если медикаментозное лечение применяется при всех формах и функциональных классах (ФК) заболевания, то выбор между стентированием и открытой операцией представляет сложную задачу [2]. Разные хирургические школы предлагают свои подходы и принципы отбора пациентов на инвазивное лечение, международные научные коллективы создают прогностические шкалы для облегчения процесса определения тактики лечения [3]. Отечественные клинические рекомендации, в связи с множеством факторов, определяющих тактику реваскуляризации миокарда, оставляют данный выбор мультидисциплинарному консилиуму [4]. Именно специ-

алистам, участвующим в консилиуме, приходится сопоставлять большое количество разнонаправленных сведений о пациенте и определять стратегию лечения [5]. Для помощи в принятии данного решения разработана логистическая регрессионная модель, которая представляет собой оценку вероятности летального исхода в ходе проведения аортокоронарного шунтирования (АКШ) [6].

Целью работы является разработка модели по определению вероятности летального исхода АКШ на основании комплексной предоперационной характеристики пациентов.

Материал и методы

Дизайн исследования состоял в ретроспективном одноцентровом анализе медицинской документации пациентов после АКШ, определении наиболее значимых факторов, ассоциированных с летальным исходом, и создании логистической регрессионной модели веро-

Таблица 1

Характеристика пациентов
(n=1584)

Показатель	Характеристика
Пол, n (%)	
Мужчины	1266 (80)
Женщины	318 (20)
Возраст, лет, Ме [Q25-Q75]	64,17 (59-70)
Показатель EuroSCORE II, %, Ме [Q25-Q75]	1,67 (1,61-1,72)
ИМ в анамнезе, n (%)	909 (57)
Количество сут. от ИМ до АКШ, Ме [Q25-Q75]	993 (801-1153)
Наличие повторного ИМ в анамнезе, n (%)	86 (6)
Стентирование в анамнезе, n (%)	502 (32)
Количество сут. от стентирования до АКШ, Ме [Q25-Q75]	636 (558-725)
Наличие повторного стентирования в анамнезе, n (%)	56 (4)
ФВ, %, Ме [Q25-Q75]	48,3 (44-54)
Нестабильная стенокардия в течение мес. до операции, n (%)	44 (3)
СД 1 типа, n (%)	27 (2)
СД 2 типа, n (%)	494 (31)
Одна из стадий ХБП, n (%)	756 (48)
ХОБЛ, n (%)	81 (5)
БА, n (%)	43 (3)
Инсулыт в анамнезе, n (%)	284 (18)
Мультифокальный атеросклероз, n (%)	328 (21)
Легочная гипертензия, n (%)	17 (1)
Злокачественные новообразования в анамнезе, n (%)	93 (6)
Значение ФК ХСН, Ме [Q25-Q75]	2,67 (2,01-3,46)
IV ФК стабильной стенокардии напряжения, n (%)	291 (18)
ФП в анамнезе, n (%)	321 (20)
Ожирение любой степени, n (%)	361 (23)

Примечание: АКШ — аортокоронарное шунтирование, БА — бронхиальная астма, ИБС — ишемическая болезнь сердца, ИМ — инфаркт миокарда, СД — сахарный диабет, ФВ — фракция выброса, ФК — функциональный класс, ФП — фибрилляция предсердий, ХБП — хроническая болезнь почек, ХОБЛ — хроническая обструктивная болезнь лёгких, ХСН — хроническая сердечная недостаточность, EuroSCORE II — European System for Cardiac Operative Risk Evaluation II, Ме [Q25-Q75] — медиана [интерквартильный размах].

Таблица 2

Оценка давности наступления
летального исхода (n=32)

Время наступления летального исхода после АКШ	Пациенты, n (%)
В течение 1 сут.	12 (37,5)
Со 2 по 7 сут.	10 (31,3)
С 7 по 20 сут.	6 (18,8)
С 20 по 30 сут.	4 (12,5)

Примечание: АКШ — аортокоронарное шунтирование.

ятности летального исхода. Критерии включения: установленный диагноз ИБС, стабильной и нестабильной стенокардии напряжения, многососудистое поражение коронарного русла, проведение АКШ в 2021-2024гг. Критерии невключения: выполнение АКШ в порядке срочной медицинской помощи пациентам с инфарктом миокарда (ИМ) с подъёмом сегмента ST, сочетанный характер оперативного вмешательства (коррекция аневризм и пороков сердца или вмешательство на других органах). Согласно определённым критериям включения и исключения, было отобрано 1584 пациента, которым было проведено АКШ на базе кардиохирургического отделения № 2 БуЗ ВО Воронежской областной клинической больницы № 1 (таблица 1). Всем пациентам, включённым в исследование, проводилось АКШ с использованием искусственного кровообращения. Количество графтов составляло от 1 до 4.

Для выявления факторов, ассоциированных с летальным исходом, и создания модели для каждого пациента фиксировались следующие параметры: пол, возраст, факт ИМ в анамнезе, давность ИМ, факт повторного ИМ, факт стентирования в анамнезе, давность стентирования, факт повторного стентирования, факт инсульта в анамнезе, нестабильная стенокардия в течение 1 мес. перед операцией, ФК ИБС стенокардии напряжения, показатель шкалы EuroSCORE II (European System for Cardiac Operative Risk Evaluation II), фракция выброса (ФВ), а также наличие в анамнезе следующих заболеваний: сахарный диабет 1 и 2 типов, стадия хронической болезни почек (ХБП), хроническая обструктивная болезнь лёгких, бронхиальная астма, мультифокальный атеросклероз, легочная гипертензия, онкологические заболевания, фибрилляция предсердий в анамнезе, ФК хронической сердечной недостаточности (ХСН), степень ожирения. Выбор данных параметров был обусловлен тем, что именно на них обращают внимание врачи при определении стратегии реваскуляризации миокарда и они всеобъемлюще характеризуют состояние пациента перед оперативным вмешательством. Все качественные признаки были закодированы в виде 0 и 1, где 0 обозначает отсутствие, а 1 — наличие того или иного признака. При кодировке таких признаков, как стадия ХБП, степень ожирения и ФК ХСН, вносилась цифра, соответствующая стадии и классу заболевания. Давность ИМ и стентирования кодировали следующим образом: если от события до АКШ прошло до 90 сут. присваивалось значение 4, если до 1 года — 3, если до 3 лет — 2, если >3 лет — 1, если не было, то 0.

В качестве конечной точки был выбран факт наступления летального исхода в течение 30 сут. после оперативного вмешательства. При оперативных вмешательствах, закончившихся летальным исходом, возникали различные виды интраоперационных и послеоперационных осложнений, но окончательной причиной летального исхода во всех случаях явился периоперационный ИМ. В выборке насчитывалось 32 случая достижения конечной точки (таблица 2).

Нормальность распределения количественных признаков оценивалась с помощью теста Колмогорова-Смирнова в модификации Лиллиефорса. По результатам оценки на нормальность распределения было выявлено отсутствие нормального распределения количественных

Таблица 3

Сравнительная характеристика групп пациентов с летальным исходом и выживших

	Летальный исход АКШ (n=32)	Успешное АКШ (n=1552)	p
Пол пациента, n (%)			
Мужчины	21 (66)	1245 (80)	0,04
Женщины	11 (34)	307 (20)	
Возраст пациентов, лет, Ме [Q25-Q75]	66 (54-77)	64 (52-74)	0,095
Показатель EuroSCORE II, %, Ме [Q25-Q75]	3,61 (3,41-3,82)**	1,64 (1,63-1,70)	<0,001
ИМ в анамнезе, n (%)	25 (78)*	884 (57)	0,016
ИМ в предшествующие 90 сут. до операции, n (%)	11 (34)*	255 (16,4)	0,003
Повторный ИМ в анамнезе, n (%)	2 (6,3)	84 (5,4)	0,863
Стентирование в анамнезе, n (%)	6 (19)	496 (32)	0,112
Стентирование в предшествующие 90 сут. до операции, n (%)	4 (12,5)	169 (10,8)	0,068
Повторное стентирование в анамнезе, n (%)	0 (0)	56 (3,6)	0,274
ФВ, %, Ме [Q25-Q75]	41,8** (37,5-43,7)	48,4 (46-51)	<0,001
Нестабильная стенокардия напряжения в предшествующий мес., n (%)	7 (21)**	37 (2,4)	<0,001
СД 1 типа, n (%)	0 (0)	27 (1,7)	0,461
СД 2 типа, n (%)	9 (28)	485 (31)	0,711
ХБП любой стадии, n (%)	17 (53)	739 (48)	0,476
ХОБЛ, n (%)	2 (6,3)	79 (5)	0,782
БА, n (%)	1 (3,1)	42 (2,7)	0,885
Инсульт в анамнезе, n (%)	8 (25)	284 (18)	0,334
Мультифокальный атеросклероз, n (%)	14 (44)*	314 (20)	0,001
Легочная гипертензия, n (%)	3 (9,4)**	14 (0,9)	<0,001
Онкологические заболевания, n (%)	3 (9,4)	90 (5,7)	0,406
ФК ХСН, ФК, Ме [Q25-Q75]	2,88* (2,42-3,44)	2,66 (2,01-3,31)	0,041
IV ФК стабильной стенокардии, n (%)	19 (59,4)**	272 (17,5)	<0,001
ФП в анамнезе, n (%)	6 (18,9)	315 (20,2)	0,843
Ожирение любой степени, n (%)	7 (22)	354 (23)	0,925

Примечание: * — различия значимы на уровне <0,05 (двухсторонняя), ** — различия значимы на уровне <0,001 (двухсторонняя). АКШ — аортокоронарное шунтирование, БА — бронхиальная астма, ИБС — ишемическая болезнь сердца, ИМ — инфаркт миокарда, СД — сахарный диабет, ФВ — фракция выброса, ФК — функциональный класс, ФП — фибрилляция предсердий, ХБП — хроническая болезнь почек, ХОБЛ — хроническая обструктивная болезнь лёгких, ХСН — хроническая сердечная недостаточность, EuroSCORE II — European System for Cardiac Operative Risk Evaluation II, Ме [Q25-Q75] — медиана [интерквартильный размах].

признаков. Для выявления различий сравниваемых групп применялся непараметрический критерий U Манна-Уитни для сравнения количественных признаков и критерий χ^2 для сравнения качественных признаков.

Предиктивное моделирование проводилось с использованием среды для статистических вычислений R 4.5.2 (R Foundation for Statistical Computing, Вена, Австрия).

Для отбора предикторов в прогностическую модель использовалась LASSO-регрессия (L1-регуляризация), подбор гиперпараметра λ осуществлялся с использованием 10-кратной 10-блочной кроссвалидации, в качестве таргетной метрики качества использовалась площадь под кривой (AUC). Отобранные предикторы включались в многофакторную логистическую регрессионную модель без мультипликативных взаимодействий, оценка коэффициентов модели проводилась с использованием метода максимального правдоподобия со штрафами Фирта (Firth's penalized maximum likelihood regression). Для выявления мультиколлинеарных предикторов использовался фактор инфляции дисперсии (Variance Inflation Factor, VIF), для выявления наблюдений с выраженным влиянием на значения регрессионных коэффициен-

тов использовались расстояние Кука и значения dfbetas. В качестве дискриминативных метрик модели оценивались псевдо- R^2 Найджелкерке, С-индекс, площадь под ROC-кривой и площадь под PR-кривой. Для оценки потенциального смещения и 95% доверительного интервала (ДИ) для указанных оценок использовался непараметрический бутстреп с $B=1000$ повторов. Кроме того, проводилась графическая оценка калибровки предсказаний и оценка практической полезности модели с использованием чистой клинической выгоды (net benefit) и кривых принятия решений. Для оценки стабильности предсказаний, полученных с использованием модели, использовался непараметрический бутстреп, с помощью которого оценивалась средняя абсолютная ошибка (Mean Absolute Error, MAE) предсказаний бутстреп-моделей ($B=100$) и предсказаний оригинальной модели.

Определение оптимального порогового значения для предсказанной вероятности проводилось с использованием J-статистики Юдена, в качестве метрик качества классификации использовались оценки чувствительности, специфичности и прогностической ценности положительного и отрицательного результатов с соответствующими

Таблица 4

Коэффициенты полученной прогностической модели

Предиктор	β (SE)	OR	95% ДИ	p	VIF
Свободный член	-0,899 (1,043)	—	—	—	—
ФВ (%)	-0,079 (0,023)	0,92	0,88; 0,97	<0,001	1,12
Нестабильная стенокардия	1,406 (0,552)	4,08	1,38; 12	0,011	1,18
ФК ИБС IV	1,646 (0,381)	5,19	2,46; 10,9	<0,001	1,07

Примечание: ДИ — доверительный интервал, ФВ — фракция выброса, ФК ИБС — функциональный класс ишемической болезни сердца, OR — odds ratio (отношение шансов), VIF — Variance Inflation Factor (фактор инфляции дисперсии), β (SE) — коэффициент регрессии (стандартная ошибка).

Таблица 5

Таблица-матрица расчёта летального исхода АКШ

ФВ (%)	НС(—)		НС(+)	
	ФК ИБС <IV	ФК ИБС IV	ФК ИБС <IV	ФК ИБС IV
60	0,35	1,77	1,39	6,83
50	0,76	3,82	3,03	14
40	1,67	8,09	6,47	26,4
30	3,62	16,3	13,3	44,3
20	7,67	30,1	25,3	63,7

Примечание: АКШ — аортокоронарное шунтирование, НС(—) — отсутствие факта нестабильной стенокардии в предшествующий месяц, НС(+) — наличие факта нестабильной стенокардии в предшествующий месяц, ФВ — фракция выброса, ФК ИБС — функциональный класс ишемической болезни сердца.

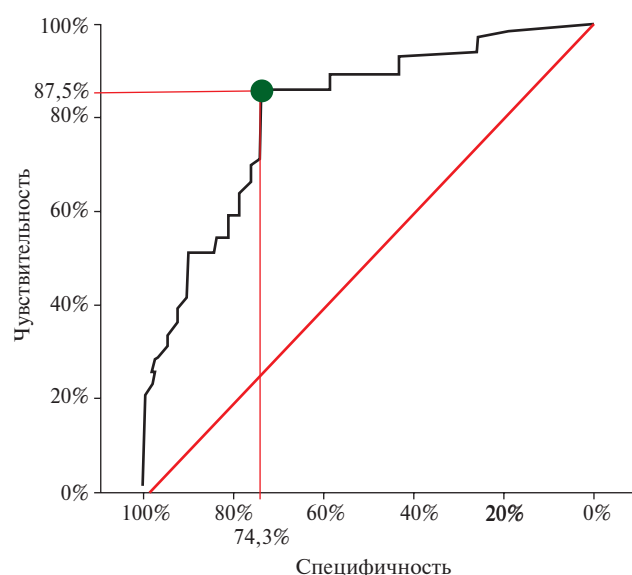


Рис. 1 ROC-кривая для предсказаний модели.

ющими 95% точными биномиальными ДИ, кроме того проводилась оценка коэффициента корреляции Мэттьюса (Matthews correlation coefficient, MCC).

Результаты

По факту достижения конечной точки все пациенты исследуемой когорты были разделены на 2 группы: группа 1 — пациенты, у которых после

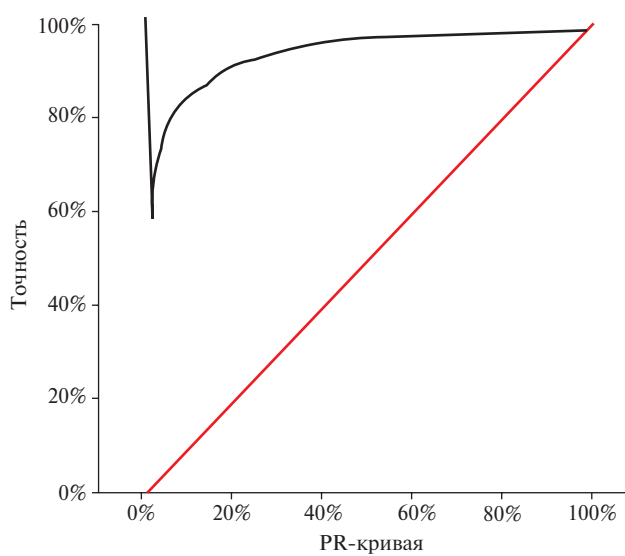


Рис. 2 PR-кривая.

Примечание: PR-кривая — кривая точности и полноты предсказаний.

проведения АКШ произошёл летальный исход в течение 30 сут. (32 человека), группа 2 — пациенты, успешно перенесшие АКШ (1552 человека) (таблица 3). С помощью непараметрического критерия U Манна-Уитни и критерия χ^2 были выявлены статистически значимые различия между группами. На уровне статистической значимости $p < 0,001$ группы различались по следующим признакам — среднее значение по шкале EuroSCORE II, средняя ФВ, наличие нестабильной стенокардии напряжения в анамнезе, легочная гипертензия, IV ФК стабильной стенокардии напряжения. На уровне статистической значимости $p < 0,05$ были выявлены различия между группами по распространённости факта и давности ИМ в анамнезе, мультифокального атеросклероза и среднего ФК ХСН. Полученные сведения позволили выявить признаки, которые отличают группы с разным исходом после АКШ, но не позволяют делать выводы о причинно-следственных связях признаков и конечной точкой.

В качестве предикторов в прогностическую модель были отобраны ФВ ((отношение шансов — odds ratio, OR)=0,92 (95% ДИ: 0,88-0,97), $p < 0,001$),

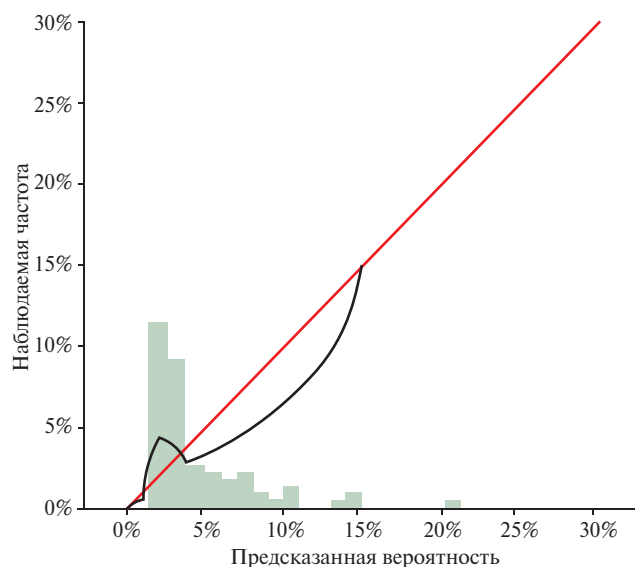


Рис. 3 Калибровочный график для предсказаний модели.

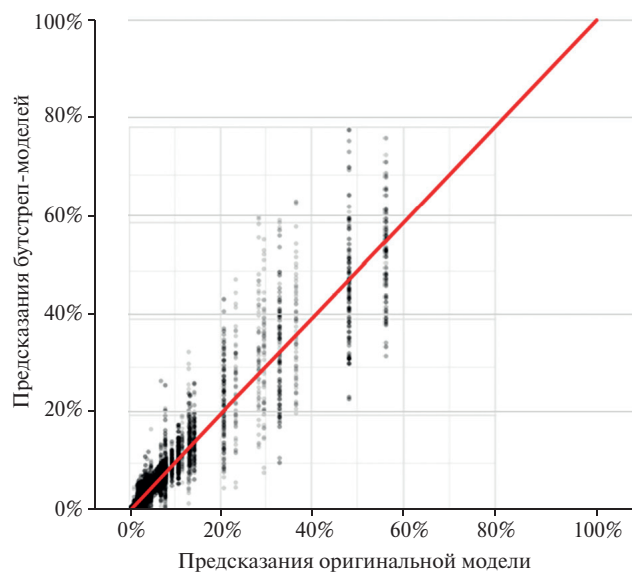


Рис. 4 Оценка стабильности предсказаний модели (B=100).
Примечание: B — бутстреп.

нестабильная стенокардия в предшествующий месяц (OR=4,08 (95% ДИ: 1,38-12), $p=0,011$), IV ФК стабильной стенокардии напряжения (OR=5,19 (95% ДИ: 2,46-10,9), $p<0,001$). Мультиколлинеарности предикторов в полученной модели выявлено не было, все значения фактора инфляции дисперсии были близки к 1. В таблице 4 представлены значения коэффициентов в полученной прогностической модели. Ниже приведено уравнение регрессии для оценки вероятности развития летального исхода:

$$Pr(Y=1) = \frac{1}{1 + e^{-z}},$$

где $z = -0,899 - 0,079 \times \text{ФВ в \%}$,
+ 1,406 при наличии нестабильная стенокардия в предшествующий месяц,
+ 1,646 при ФК ИБС IV.

Псевдо- R^2 Найджелкерке для полученной модели составил 0,183 (скорректированное значение — 0,172, 95% ДИ: 0,112-0,303), для модели с включением в качестве предиктора EuroSCORE II значение данной статистики составило 0,067 (увеличение EuroSCORE II на каждый 1% было ассоциировано с увеличением шансов летального исхода в среднем в 1,27 (95% ДИ: 1,16-1,39) раз, $p<0,001$). AUC предсказаний модели составила 0,84 (скорректированное значение — 0,84, 95% ДИ: 0,78-0,9), AUC для EuroSCORE II составила 0,8 (95% ДИ: 0,71-0,88) (рисунок 1). AUC точности и полноты предсказаний (PR-кривой) составила 0,949 (скорректированное значение — 0,949 95% ДИ: 0,94-0,957), площадь для EuroSCORE II составила 0,953 (рисунок 2). Для группы умерших площадь под PR-кривой составила 0,14. На рисунке 3 представлена калибровочный график для предсказаний, полученных с использованием модели, выраженных признаков нарушения калибровки предсказаний выявлено не было.

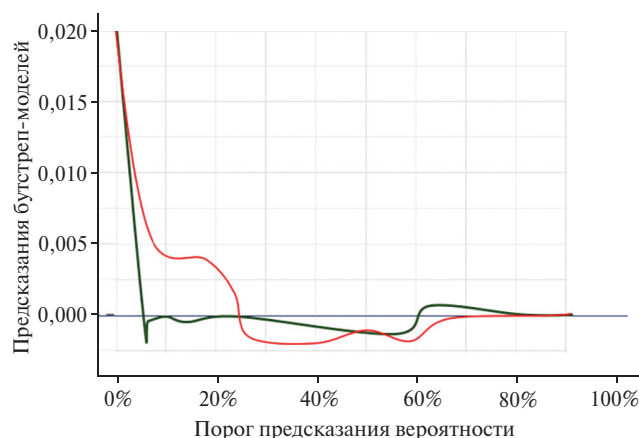


Рис. 5 Кривые принятия решений для предсказаний модели.
Примечание: EuroSCORE II — European System for Cardiac Operative Risk Evaluation II.

Средняя предсказанная вероятность события у выживших пациентов составила 2% (4,1), у умерших пациентов — 8,8% (4,1). На рисунке 4 представлены результаты оценки стабильности предсказаний вероятности смерти, полученных с использованием непараметрического бутстрепа, средняя абсолютная ошибка составила 0,44%.

На рисунке 5 представлены кривые принятия решений для предсказаний модели, на диапазоне предсказанных вероятностей от 0 до 25% разработанная модель характеризовалась более высокой чистой клинической выгодой (net benefit) по сравнению с EuroSCORE II, особенно выраженные отличия были на диапазоне предсказанных вероятностей от 5 до 20%.

При использовании в качестве порогового значения предсказанной вероятности летального исхода 1,9% (оценка оптимального порога с использованием J-статистики Юдена) чувствительность модели составила 87,5% (95% ДИ: 71-96,5), специфичность — 74,3% (95% ДИ: 72-76,5), прогностическая ценность положительного и отрицательного результатов составила 6,6% (95% ДИ: 4,4-9,3) и 99,7% (95% ДИ: 99,1-99,9), соответственно, коэффициент корреляции Мэттьюса составил 0,2.

Для облегчения практического применения созданной модели была разработана таблица-матрица расчёта вероятности летального исхода по выбранным нами параметрам. (таблица 5). Оценим различия в прогнозировании летального исхода между разработанной нами моделью и шкалой EuroSCORE II на примере реального пациента: мужчина 70 лет, перенёс ИМ за 82 дня до оперативного вмешательства, факта нестабильной стенокардии напряжения за предшествующий месяц не было, ФВ 30%, IV ФК стенокардии напряжения ИБС, без предшествующих стентирований и вмешательств на сердце, стадия почечной недостаточности 3А, ФК ХСН 2. Прогнозируемый риск летального исхода по шкале EuroSCORE II составил 3,18%. Прогнозируемая вероятность летального исхода, согласно таблице-матрице, составила 16,3%. Прогнозируемая нами вероятность летального исхода превышает рассчитанную по шкале EuroSCORE II в 5,1 раза. Это даёт основание для дополнительной подготовки и коррекции факторов риска у пациента перед оперативным вмешательством, для предотвращения летального исхода.

Обсуждение

Весь предшествующий объём работы позволил создать логистическую модель, основанную на факторах, ассоциированных с летальным исходом, для оценки вероятности летального исхода в ходе операции или в ранний послеоперационный период.

Нахождение границы между группами с высокой и низкой вероятностью летального исхода с помощью ROC-кривой позволяет в дальнейшем изменять границу в зависимости от требуемой чувствительности и специфичности. В настоящее время была выбрана максимально сбалансированная граница, генерирующая наименьшее количество ложноположительных и ложноотрицательных значений.

Что касается факторов, ассоциированных с летальным исходом АКШ, то многие из выявленных в ходе настоящего исследования упоминаются в работах других авторов [7, 8]. Такие факторы, как факт нестабильной стенокардии в предшествующий месяц, недавний ИМ, мультифокальный атеросклероз, показатель по шкале EuroSCORE II, высокий ФК стабильной стенокардии напряжения прямо или косвенно свидетельствуют о распространённости и остроте ишемических изменений, в т.ч. коронарных артерий.

Это становится ведущим фактором риска периоперационного ИМ, который стал причиной летального исхода после АКШ в выборке пациентов.

Была выявлена взаимосвязь легочной гипертензии и летального исхода АКШ. В отличие от других факторов риска данному показателю уделяется меньше внимания при определении стратегии реваскуляризации [9].

Были выявлены факторы, наличие которых не ассоциировалось с летальным исходом по результатам логистического регрессионного анализа: возраст, факт повторного ИМ, факт стентирования, давность стентирования, факт повторного стентирования, сахарный диабет 1 и 2 типов, ХБП, хроническая обструктивная болезнь лёгких, бронхиальная астма, инсульт в анамнезе, злокачественные новообразования, фибрилляция предсердий в анамнезе, ожирение [10]. В следующих работах планируем оценить связь данных факторов с возникновением различных видов послеоперационных осложнений.

Ограничения исследования. Представленное исследование является ретроспективным, что несёт некоторые ограничения для формирования прогноза на основании данной модели. Сведения в исследованиях такого дизайна могут быть неточными из-за неполноты имеющихся данных, а также подвержены влиянию искажающих факторов, однако проведенная работа станет основой для дальнейшего проспективного наблюдения за пациентами. Определение вероятности летального исхода для будущих пациентов и соотнесение её с реальным исходом АКШ позволит модифицировать данную модель и добиться её наибольшей объективности.

Кроме предоперационной характеристики пациента на исход АКШ оказывают влияние особенности проведения оперативного вмешательства: использование искусственного кровообращения, вид кардиоплегического раствора, вид и количество графтов. В представленном исследовании эти особенности не учитывались.

Заключение

На основании проделанной работы удалось выявить факторы, ассоциированные с летальным исходом, и создать модель, определяющую вероятность летального исхода в ходе АКШ и в ранний послеоперационный период. Модель позволяет на основании параметров пациента, которые можно получить даже на амбулаторном этапе, вычислить вероятность летального исхода, оценить параметры здоровья пациента, нуждающиеся в дополнительной коррекции, и дать основу для определения стратегии реваскуляризации миокарда на врачебном консилиуме.

Отношения и деятельность: все авторы заявляют об отсутствии потенциального конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Литература/References

1. Liga R, Colli A, Taggart DP, et al. Myocardial Revascularization in Patients With Ischemic Cardiomyopathy: For Whom and How. *J Am Heart Assoc.* 2023;21;12(6):e026943. doi:10.1161/JAHA.122.026943.
2. Saito Y, Oyama K, Tsujita K, et al. Treatment strategies of acute myocardial infarction: updates on revascularization, pharmacological therapy, and beyond. *J Cardiol.* 2023;81(2):168-78. doi:10.1016/j.jjcc.2022.07.003.
3. Alekryan BG, Karapetyan NG, Kishmiryan DO, et al. Current views on the use of anatomical and clinical anatomical scales based on the SYNTAX study data when choosing a strategy for myocardial revascularization. *Complex problems of cardiovascular diseases.* 2022;11(2):116-24. (In Russ.) Алекян Б.Г., Карапетян Н.Г., Кишмирян Д.О. и др. Современные взгляды на использование анатомических и клинико-анатомических шкал, основанных на данных исследования SYNTAX, при выборе стратегии реваскуляризации миокарда. *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний.* 2022;11(2):116-24. doi:10.17802/2306-1278-2022-11-2-116-124.
4. Bokeriya LA, Donakanyan SA, Biniashvili MB, et al. The results of a randomized clinical trial of alternative strategies for surgical treatment of patients with coronary artery disease when complete myocardial revascularization is impossible. *Thoracic and cardiovascular surgery.* 2024;66(6):801-9. (In Russ.) Бокерия Л.А., Донаканян С.А., Биниашвили М.Б. и др. Результаты рандомизированного клинического исследования альтернативных стратегий хирургического лечения больных ишемической болезнью сердца при невозможности полной реваскуляризации миокарда. *Грудная и сердечно-сосудистая хирургия.* 2024;66(6):801-9. doi:10.24022/0236-2791-2024-66-6-801-809.
5. Ganyukov VI, Kochergin NA, Shilov AA, et al. Randomized trial of hybrid coronary revascularization versus standard coronary artery bypass grafting and multivessel stenting: 5-year results of the HREVS study. *Cardiologia.* 2023;63(11):57-63. (In Russ.) Ганюков В.И., Кочергин Н.А., Шилов А.А. и др. Рандомизированное исследование гибридной коронарной реваскуляризации в сравнении со стандартными аортокоронарным шунтированием и многососудистым стентированием: 5-летние результаты исследования HREVS. *Кардиология.* 2023;63(11):57-63. doi:10.18087/cardio.2023.11.n2475.
6. Wu Z, Guo D, Chen S, et al. Combination of the triglyceride-glucose index and EuroSCORE II improves the prediction of long-term adverse outcomes in patients undergoing coronary artery bypass grafting. *Diabetes Metab Res Rev.* 2023;39(8):e3710. doi:10.1002/dmrr.3710.
7. Bazilevich AV, Sidorov RV, Kaplunovskaya MA, et al. The choice of the method of coronary revascularization depending on the comorbid pathology. *South-Russian Journal of Therapeutic Practice.* 2023;4(4):14-21. (In Russ.) Базилевич А.В., Сидоров Р.В., Каплуновская М.А. и др. Выбор метода коронарной реваскуляризации в зависимости от коморбидной патологии. *Южно-Российский журнал терапевтической практики.* 2023;4(4):14-21. doi:10.21886/2712-8156-2023-4-4-14-21.
8. Grishenok AV, Golubev EP, Buziashvili VYu, et al. Prediction of mortality after coronary artery bypass grafting in patients over 75 years of age based on the EuroSCORE II scale. *Bulletin of the A. N. Bakulev National Research Center of the Russian Academy of Medical Sciences. Cardiovascular diseases.* 2024;25(S3):54. (In Russ.) Гришенюк А.В., Голубев Е.П., Бузиашвили В.Ю. и др. Прогнозирование смертности после аортокоронарного шунтирования у пациентов старше 75 лет на основании шкалы EuroSCORE II. *Бюллетень НЦССХ им. А.Н. Бакулева РАМН. Сердечно-сосудистые заболевания.* 2024;25(S3):54.
9. Loginova IYu, Klinkova AS, Kamenskaya OV. The effect of rhythm disturbances on the results of combined pulmonary endarterectomy and coronary bypass surgery in patients with chronic thromboembolic pulmonary hypertension and coronary heart disease. *Eurasian Journal of Cardiology.* 2024;4(4):68-73. (In Russ.) Логинова И.Ю., Климова А.С., Каменская О.В. Влияние нарушений ритма на результаты сочетанных операций легочной эндартерэктомии и коронарного шунтирования у пациентов с хронической тромбоэмболической легочной гипертензией и ишемической болезнью сердца. *Евразийский кардиологический журнал.* 2024;4(4):68-73. doi:10.38109/2225-1685-2024-4-68-73.
10. Klester EB, Elykomov VA, Klester KV. Analysis of the frequency and nature of concomitant diseases as a risk factor for complications and adverse outcome during coronary artery bypass grafting in elderly and senile patients. *Pulse Medical and Pharmaceutical Magazine.* 2022;24(4):10-5. (In Russ.) Клестер Е.Б., Елыкомов В.А., Клестер К.В. Анализ частоты встречаемости и характера сопутствующих заболеваний как фактора риска развития осложнений и неблагоприятного исхода при аортокоронарном шунтировании у пациентов пожилого и старческого возраста. *Медико-фармацевтический журнал Пульс.* 2022;24(4):10-5. doi:10.26787/nydha-2686-6838-2022-24-4-10-15.