



<https://doi.org/10.29001/2073-8552-2020-35-4-128-136>  
УДК 616.12-005.4-06:616.12-008.313.2]-089.168.1-037:004.9

# Оценка предиктивного потенциала дооперационных факторов риска фибрилляции предсердий у больных ишемической болезнью сердца после коронарного шунтирования

К.И. Шахгельдян<sup>1,2</sup>, В.Ю. Рублев<sup>1</sup>, Б.И. Гельцер<sup>1</sup>, Б.О. Щеглов<sup>1</sup>,  
В.Г. Широбоков<sup>3</sup>, М.К. Духтаева<sup>1</sup>, К.В. Чернышева<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Дальневосточный федеральный университет, Школа биомедицины, 690920, Российская Федерация, Владивосток, пос. Аякс 10, корпус 25

<sup>2</sup> Владивостокский государственный университет экономики и сервиса, Институт информационных технологий, 690014, Российская Федерация, Владивосток, ул. Гоголя, 41

<sup>3</sup> Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Институт информационных бизнес-систем, 119049, Российская Федерация, Москва, Ленинский пр-т, 4

## Аннотация

Послеоперационная фибрилляция предсердий (ПоФП) является одним из наиболее частых осложнений коронарного шунтирования (КШ) и встречается у 25–65% больных.

**Цель исследования:** оценка предиктивного потенциала дооперационных факторов риска ПоФП у больных ишемической болезнью сердца (ИБС) после КШ на основе методов машинного обучения (МО).

**Материал и методы.** Проведено наблюдательное ретроспективное исследование по данным 866 электронных историй болезни (ЭИБ) больных ИБС с медианой возраста (*Me*) 63 года и 95%-м доверительным интервалом (ДИ) [63; 64], которым выполнялось изолированное КШ в условиях искусственного кровообращения (ИК). Было выделено 2 группы лиц, первую из которых составили 147 (18%) больных с впервые зарегистрированными пароксизмами ФП, вторую – 648 (81,3%) пациентов без нарушения сердечного ритма. Дооперационный клинико-функциональный статус оценивали с помощью 100 факторов. Для обработки и анализа данных использовали методы статистического анализа (тесты хи-квадрат, Фишера, Манна – Уитни, однофакторной логистической регрессии (ЛР)) и МО (многофакторной ЛР и стохастического градиентного бустинга (СГБ)). Точность моделей оценивали по трем метрикам качества: площадь под ROC-кривой (AUC), чувствительность и специфичность. Процедура кросс-валидации выполнялась не менее 1000 раз по случайно выбранным данным.

**Результаты.** Обработка и анализ показателей дооперационного статуса больных с помощью методов МО позволили выделить 10 предикторов, линейно и нелинейно связанных с развитием ПоФП. К наиболее значимым из них относились передне-задний размер левого предсердия (ЛП), недостаточность трикуспидального клапана (НТК), фракция выброса (ФВ) <40%, длительность интервала P–R и хроническая сердечная недостаточность (ХСН) III–IV функционального класса (ФК). Точность лучшей прогностической многофакторной модели ЛР составила по AUC 0,61, специфичности – 0,49, чувствительности – 0,72. Значения аналогичных метрик качества лучшей модели на основе СГБ составили 0,64; 0,6 и 0,68 соответственно.

**Заключение.** Применение СГБ позволило верифицировать нелинейно связанные предикторы ПоФП. Перспектива дальнейших исследований по данной проблеме связана с использованием современных методов МО, позволяющих учитывать индивидуальные особенности пациентов при разработке прогнозных моделей.

<b>Ключевые слова:</b>	методы машинного обучения, стохастический градиентный бустинг, послеоперационная фибрилляция предсердий, коронарное шунтирование.
<b>Конфликт интересов:</b>	авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
<b>Прозрачность финансовой деятельности:</b>	работа выполнена при поддержке грантов РФФИ в рамках научных проектов № 18-29-03131 и № 19-29-01077.

Рублев Владислав Юрьевич, e-mail: dr.rublev.v@gmail.com.

<b>Соответствие принципам этики:</b>	исследование одобрено этическим комитетом Дальневосточного федерального университета (протокол № 1 от 19.03.2018 г.).
<b>Для цитирования:</b>	Шахгельдян К.И., Рублев В.Ю., Гельцер Б.И., Щеглов Б.О., Ширококов В.Г., Духтаева М.К., Чернышева К.В. Оценка предиктивного потенциала дооперационных факторов риска фибрилляции предсердий у больных ишемической болезнью сердца после коронарного шунтирования. <i>Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины</i> . 2020;35(4):128–136. <a href="https://doi.org/10.29001/2073-8552-2020-35-4-128-136">https://doi.org/10.29001/2073-8552-2020-35-4-128-136</a> .

## Predictive potential assessment of preoperative risk factors for atrial fibrillation in patients with coronary artery disease after coronary artery bypass grafting

Karina I. Shakhgelyan<sup>1,2</sup>, Vladislav Y. Rublev<sup>1</sup>, Boris I. Geltser<sup>1</sup>,  
Bogdan O. Shcheglov<sup>1</sup>, Vasilii G. Shirobokov<sup>3</sup>, Malika K. Dukhtaeva<sup>1</sup>,  
Ksenia V. Chernysheva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Far Eastern Federal University, School of Biomedicine,  
10, Ajax Bay, build. 25, Vladivostok, 690920, Russian Federation

<sup>2</sup> Vladivostok State University of Economics and Service, Institute of Information Technologies,  
41, Gogol str., Vladivostok, 690014, Russian Federation

<sup>3</sup> National University of Science and Technology MISiS,  
4, Leninskiy pr., Moscow, 119049, Russian Federation

### Abstract

**Introduction.** Postoperative atrial fibrillation (POAF) is one of the most common complications of coronary artery bypass grafting (CABG) and occurs in 25–65% of patients.

**Aim.** The study aimed to assess the predictive potential of preoperative risk factors for POAF in patients with coronary artery disease (CAD) after CABG based on machine learning (ML) methods.

**Material and Methods.** An observational retrospective study was carried out based on data from 866 electronic case histories of CAD patients with a median age of 63 years and a 95% confidence interval [63; 64], who underwent isolated CABG on cardiopulmonary bypass. Patients were assigned to two groups: group 1 comprised 147 (18%) patients with newly registered atrial fibrillation (AF) paroxysms; group 2 included 648 (81.3%) patients without cardiac arrhythmia. The preoperative clinical and functional status was assessed using 100 factors. We used statistical analysis methods (Chi-square, Fisher, Mann – Whitney, and univariate logistic regression (LR) tests) and ML tests (multivariate LR and stochastic gradient boosting (SGB)) for data processing and analysis. The models' accuracy was assessed by three quality metrics: area under the ROC-curve (AUC), sensitivity, and specificity. The cross-validation procedure was performed at least 1000 times on randomly selected data.

**Results.** The processing and analysis of preoperative patient status indicators using ML methods allowed to identify 10 predictors that were linearly and nonlinearly related to the development of POAF. The most significant predictors were the anteroposterior dimension of the left atrium, tricuspid valve insufficiency, ejection fraction <40%, duration of the P–R interval, and chronic heart failure of functional class III–IV. The accuracy of the best predictive multifactorial model of LR was 0.61 in AUC, 0.49 in specificity, and 0.72 in sensitivity. The values of similar quality metrics for the best model based on SGB were 0.64, 0.6, and 0.68, respectively.

**Conclusion.** The use of SGB made it possible to verify the nonlinearly related predictors of POAF. The prospects for further research on this problem require the use of modern medical care methods that allow taking into account the individual characteristics of patients when developing predictive models.

<b>Keywords:</b>	machine learning methods, stochastic gradient boosting, postoperative atrial fibrillation, coronary artery bypass grafting.
<b>Conflict of interest:</b>	the authors do not declare a conflict of interest.

<b>Financial disclosure:</b>	this work was supported by RFBR grants in the framework of scientific projects No. 18-29-03131 and No. 19-29-01077.
<b>Adherence to ethical standards:</b>	the study was approved by the Ethics Committee of Far Eastern Federal University (protocol No. 1 from 19.03.2018).
<b>For citation:</b>	Shakhgeldyan K.I., Rublev V.Y., Geltser B.I., Shcheglov B.O., Shirobokov V.G., Dukhteva M.K., Chernysheva K.V. Predictive potential assessment of preoperative risk factors for atrial fibrillation in patients with coronary artery disease after coronary artery bypass grafting. <i>The Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine</i> . 2020;35(4):128–136. <a href="https://doi.org/10.29001/2073-8552-2020-35-4-128-136">https://doi.org/10.29001/2073-8552-2020-35-4-128-136</a> .

## Введение

Ишемическая болезнь сердца (ИБС) является одной из основных причин инвалидизации и смертности населения в большинстве стран мира [1]. В Российской Федерации смертность от сердечно-сосудистой патологии составляет 599 человек на 100 тыс. населения, из них умерших по причине ИБС – 53% [2, 3]. По данным Американской ассоциации сердца, в 2019 г. в США было зафиксировано 18,2 млн человек, страдающих ИБС, а ежегодная смертность от этого заболевания составляет более 3 млн человек [4, 5].

Коронарное шунтирование (КШ) относится к одному из наиболее эффективных методов лечения ИБС, широкое применение которого существенно увеличивает продолжительность и качество жизни больных [6]. Вместе с тем высокая результативность КШ может ограничиваться за счет различных осложнений в ближайшем послеоперационном периоде. К наиболее частым из них относят послеоперационную фибрилляцию предсердий (ПоФП), которая регистрируется у 25–65% больных после КШ [7]. Пароксизмы ПоФП чаще всего развиваются на 2–4-е сут после хирургического вмешательства, что увеличивает риск тромбозомболических событий и внутригоспитальной летальности. В ряде работ показана высокая информативность таких предикторов ПоФП, как объем левого предсердия (ЛП) – более 32 мл/м<sup>2</sup>, давление заклинивания легочной артерии – более 4,4 мм рт. ст., систолическое давление в легочной артерии – более 36 мм рт. ст., электрокардиографические признаки гипертрофии миокарда левого желудочка (ЛЖ), альтерация зубца Р, удлинение интервала P–R и другие [7–10]. Учитывая высокую частоту выявления ПоФП, научным сообществом разработан ряд прогностических шкал, основанных на оценке факторов, характеризующих предоперационный статус больных. Часть из них была реализована путем адаптации «классических» скрининговых алгоритмов STS II и Euroscore II [11]. Другими авторами разработаны специализированные шкалы прогнозирования ПоФП, например, POAF (Post-operative atrial fibrillation), Koles и RAFAC (Predictors of AF After CABG) [12–14]. Кроме того, в ряде работ риск развития ПоФП оценивался по шкалам CHA2DS2-VASc и HAS-BLED, клинические показатели которых (женский пол, возраст, артериальная гипертензия (АГ) и др.) были линейно ассоциированы с вероятностью возникновения ФП [15]. Несмотря на значительное количество работ по анализу предиктивного потенциала факторов риска ПоФП, до настоящего времени не разработаны унифицированные клинические шкалы для ее прогнозирования. Использование для реализации этих задач современных технологий машинного обучения (МО) позволяет автоматизировать обработку и анализ

больших данных, выявлять на этой основе скрытые или неочевидные закономерности и извлекать новые знания, необходимые для стратификации рисков данного осложнения.

Цель настоящего исследования: оценка предиктивного потенциала дооперационных факторов риска ФП у больных ИБС после КШ на основе методов МО.

## Материал и методы

Выполнено наблюдательное ретроспективное исследование, для реализации которого были получены данные из 866 электронных историй болезни (ЭИБ) больных ИБС (181 женщина и 685 мужчин) в возрасте от 35 до 81 года с медианой (*Me*) 63 года и 95% доверительным интервалом (ДИ) [63; 64], которым выполнялось изолированное КШ в условиях искусственного кровообращения (ИК) в период с 2008 по 2019 г. на базе кардиохирургического отделения ГБУЗ «Приморская краевая клиническая больница № 1» (Владивосток). Из исследования исключались больные с любой формой ФП в анамнезе. Общее количество этих больных составило 81 человек, у 25 из которых до проведения КШ фиксировалась пароксизмальная, у 17 – персистирующая, у 39 – хроническая форма ФП. Таким образом, датасет был представлен результатами обследования 785 больных ИБС. Верификация ПоФП осуществлялась по результатам мониторинга ЭКГ в течение не менее 96 ч после КШ. Среди обследованной когорты было выделено 2 группы лиц. В первую из них вошли 147 (18,7%) больных, у которых в послеоперационном периоде были зарегистрированы пароксизмы ФП, во вторую – 638 (81,3%) пациентов без нарушений сердечного ритма. Среди первой группы госпитальная летальность составила 6,1% (9 пациентов), во второй группе – 3,1% (20 пациентов). Причиной смерти у 21 больного был интра- и послеоперационный инфаркт миокарда (ИМ), у 5 – послеоперационная острая почечная недостаточность. В остальных случаях летальные исходы были обусловлены развитием панкреонекроза (1), субарахноидального кровоизлияния (1) и медиастинита (1).

Дооперационный клинико-функциональный статус больных оценивали с помощью 100 факторов, основные из них представлены в таблице 1. Для обработки и анализа данных ЭИБ были преобразованы в датасет. Отсутствующие в ЭИБ значения отдельных показателей дополнялись информацией, полученной из архива историй болезни на бумажных носителях. Эхокардиографические измерения проводились на аппарате GE Vivid-7 согласно стандартному протоколу [16]. Дополнительно определяли объем ЛП методом PE (prolate ellipse) по формуле  $(LA1 \times LA2 \times LA3) \times 0,523$ , где LA1 – его медиально-латеральный размер, LA2 – передне-задний, LA3 – верхне-нижний,

0,523 – константа [17]. В процессе статистической обработки данных у всех больных рассчитывали индекс массы тела (ИМТ), индекс коморбидности по шкале Чарлсона [18], а также эхокардиографические индикаторы гипертрофии ЛЖ: индекс относительной толщины (ИОТ) задней стенки ЛЖ и индекс массы миокарда ЛЖ (ИММЛЖ). Для исключения влияния гендерного фактора ИММЛЖ нормировали на верхнюю границу его референсных значений, ассоциированных с полом: 115 г/м<sup>2</sup> – для мужчин и 95 г/м<sup>2</sup> – для женщин с вычислением относительного ИММЛЖ (ОИММЛЖ).

Конечная точка исследования была представлена ПоФП в форме категориального бинарного признака («отсутствие» или «развитие»). Входные признаки – подгруппа потенциальных предикторов выражалась в форме непрерывных и категориальных переменных. Для обработки и анализа данных использовали методы статистического

анализа и МО. Первые из них были представлены тестами хи-квадрат, Фишера, Манна – Уитни и однофакторной логистической регрессией (ЛР) с расчетом весовых коэффициентов, вторые – методами МО: многофакторной ЛР и стохастическим градиентным бустингом (СГБ). Достоверность признаков и проверка гипотез подтверждалась значением  $p$ -value < 0,05. Разработка многофакторных моделей ЛР выполнялась с использованием в их структуре только одной из коррелируемых переменных для устранения проблемы мультиколлинеарности. Точность моделей оценивалась по трем метрикам качества: площадь под ROC-кривой (AUC), чувствительность и специфичность. Модели были разработаны на обучающей выборке (¼ пациентов) и верифицированы на тестовой (¼). Процедура кросс-валидации выполнялась с усреднением метрик качества не менее 1000 раз по случайно выбранным данным.

**Таблица 1.** Клинико-функциональная характеристика больных

**Table 1.** Clinical and functional characteristics of patients

Показатели Parameters	Первая группа, $n = 147$ Group 1, $n = 147$	Вторая группа, $n = 638$ Group 2, $n = 638$	ОШ, 95% ДИ OR, 95% CI	$p$ -value
Возраст, лет, $Me [Q_{25}; Q_{75}]$ Age, years, $Me [Q_{25}; Q_{75}]$	64 [63; 66]	63 [62; 64]	–	0,00076
Мужской пол, абс. (%) Male, abs. (%)	114 (74,5)	514 (79,3)	0,76 [0,51; 1,16]	0,23
ИМТ, кг/м <sup>2</sup> , $Me [Q_{25}; Q_{75}]$ BMI, kg/m <sup>2</sup> , $Me [Q_{25}; Q_{75}]$	27,7 [26,8; 29,1]	28,2 [27,7; 28,7]	–	0,64
Стенокардия III–IV ФК, абс. (%) Stable angina FC III–IV, abs. (%)	67 (43,8)	242 (37,3)	1,3 [0,9; 1,8]	0,18
ХБН, абс. (%) CKD, abs. (%)	17 (11,1)	62 (9,6)	0,84 [0,5; 1,5]	0,67
ХОБЛ, абс. (%) COPD, abs. (%)	18 (11,8)	68 (10,6)	1,13 [0,63; 1,92]	0,8
ХСН III–IV ФК, абс. (%) CHD FC III–IV, abs. (%)	38 (24,8)	91 (14)	2 [1,3; 3]	0,0023
Индекс коморбидности Comorbidity index	5 [4; 5]	4 [4; 5]	–	0,014
ИМ, абс. (%) MI, abs. (%)	30 (19,6)	122 (18,8)	1 [0,66; 1,61]	0,96
АГ, абс. (%) HTN, abs. (%)	146 (95,4)	589 (90,9)	1,88 [0,89; 4,6]	0,15
САД, $Me [Q_{25}; Q_{75}]$ SBP, $Me [Q_{25}; Q_{75}]$	130 [130; 130]	130 [130; 130]	–	0,43
ДАД, $Me [Q_{25}; Q_{75}]$ DBP, $Me [Q_{25}; Q_{75}]$	79,7 [78,5; 80,87]	79,1 [78,5; 79,7]	–	0,38
ФВ, %, $Me [Q_{25}; Q_{75}]$ EF, %, $Me [Q_{25}; Q_{75}]$	59 [56; 60]	60 [60; 60]	–	0,024
Клиренс креатинина, мкмоль/л, $Me [Q_{25}; Q_{75}]$ Creatinine clearance, $\mu\text{mol/L}$ , $Me [Q_{25}; Q_{75}]$	73,1 [67,2; 78,1]	74 [71,7; 76,6]	–	0,49
Сахарный диабет, абс. (%) Diabetes, abs. (%)	37 (24,2)	153 (23,6)	1 [0,7; 1,6]	0,96
ОИММЛЖ, %, $Me [Q_{25}; Q_{75}]$ RLVMMI, %, $Me [Q_{25}; Q_{75}]$	104 [0,996; 1,11]	101 [0,989; 1,03]	–	0,07
ИОТ, отн. ед., $Me [Q_{25}; Q_{75}]$ RTI, relative units, $Me [Q_{25}; Q_{75}]$	0,42 [0,4; 0,43]	0,42 [0,41; 0,42]	–	0,91
Среднее давление в легочной артерии, мм рт. ст., $Me [Q_{25}; Q_{75}]$ Mean pulmonary arterial pressure, mmHg, $Me [Q_{25}; Q_{75}]$	25 [24; 25]	25 [24; 25]	–	0,68
Объем ЛП, мл/м <sup>2</sup> , $Me [Q_{25}; Q_{75}]$ LA volume, ml/m <sup>2</sup> , $Me [Q_{25}; Q_{75}]$	33,8 [31,1; 35,5]	30,8 [29,4; 31,7]	–	0,039

Окончание табл. 1  
End of table 1

Показатели Parameters	Первая группа, n = 147 Group 1, n = 147	Вторая группа, n = 638 Group 2, n = 638	ОШ, 95% ДИ OR, 95% CI	p-value
НТК, абс. (%) TVI, abs. (%)	34 (22,2)	79 (12,2)	2 [1,3; 3,2]	0,002
Длительность зубца P, с, Me [Q <sub>25'</sub> ; Q <sub>75'</sub> ] P wave duration, s, Me [Q <sub>25'</sub> ; Q <sub>75'</sub> ]	0,1 [0,1; 0,1]	0,1 [0,1; 0,1]	–	0,11
Длительность интервала P–R, с, Me [Q <sub>25'</sub> ; Q <sub>75'</sub> ] P–R interval duration, s, Me [Q <sub>25'</sub> ; Q <sub>75'</sub> ]	0,158 [0,153; 0,163]	0,156 [0,152; 0,158]	–	0,1

Примечание: отношения шансов (ОШ) рассчитывались только для категориальных признаков. ИМТ – индекс массы тела, ХБП – хроническая болезнь почек, ХОБЛ – хроническая обструктивная болезнь легких, ХСН – хроническая сердечная недостаточность, ИМ – инфаркт миокарда, АГ – артериальная гипертензия (3-я стадия, 4-я степень риска), САД – систолическое артериальное давление, ДАД – диастолическое артериальное давление, ФВ – фракция выброса, ОИММЛЖ – относительный индекс массы миокарда левого желудочка, ИОТ – индекс относительной толщины задней стенки левого желудочка, ЛП – левое предсердие, НТК – недостаточность трикуспидального клапана.

Note: odds ratios (OR) were calculated only for categorical features. BMI – body mass index, CKD – chronic kidney disease, COPD – chronic obstructive pulmonary disease, CHF – chronic heart failure, FC – functional class, MI – myocardial infarction, HTN – hypertension (stage 3<sup>rd</sup>, 4<sup>th</sup> degree of risk), SBP – systolic blood pressure, DBP – diastolic blood pressure, EF – ejection fraction, RLVMI – relative left ventricular mass index, RTI – relative thickness index of left ventricular posterior wall, LA – left atrial, TVI – tricuspid valve insufficiency.

Дизайн исследования включал 3 этапа. На первом из них применяли статистический анализ, с помощью которого проводили межгрупповые сравнения факторов риска ПоФП. Для непрерывных переменных использовали тест Манна – Уитни, так как предварительная оценка близости данных к нормальному распределению методом Шапиро – Уилка показала отрицательный результат. Для сравнения категориальных переменных применяли критерий хи-квадрат, а для оценки отношения шансов (ОШ) и их доверительных интервалов (ДИ) – точный тест Фишера.

На втором этапе исследования по нормированным признакам с помощью однофакторной ЛР определяли весовые коэффициенты, соответствующие значимости их влияния на развитие ПоФП.

На третьем этапе были разработаны многофакторные модели на основе ЛР и СГБ, структура которых пошагово дополнялась потенциальными факторами риска ПоФП с использованием метрики качества. При увеличении значенй последних считали, что включенный в модель фактор риска может рассматриваться в качестве предиктора ПоФП. Обработка и анализ данных выполнялись на языке R в среде R-studio и языке Python с помощью пакетов xgboost и keras.

## Результаты

Сравнительный анализ факторов, характеризующих дооперационный клинико-функциональный статус больных с ПоФП и без нарушений сердечного ритма после КШ, показал, что статистически значимые межгрупповые различия фиксировались только по 6 параметрам, к которым относились возраст пациентов, хроническая сердечная недостаточность (ХСН) III–IV функционального класса (ФК), фракция выброса (ФВ), объем ЛП, недостаточность трикуспидального клапана (НТК) и индекс коморбидности (см. табл. 1). При этом наибольшие значения ОШ были ассоциированы с ХСН III–IV ФК и НТК, что свидетельствовало о более заметном влиянии этих факторов на развитие ПоФП.

Для верификации возможных взаимосвязей факторов риска с частотой развития ПоФП нами были построены однофакторные модели ЛР с расчетом весовых коэф-

фициентов, позволяющих уточнить предсказательную ценность анализируемых показателей. Данный подход существенно расширяет возможности для обработки и анализа информации за счет более детальной оценки влияния потенциальных предикторов на результирующую переменную (табл. 2).

**Таблица 2.** Весовые коэффициенты однофакторных моделей логистической регрессии для оценки риска послеоперационной фибрилляции предсердий

**Table 2.** Weighted coefficients of univariate logistic regression models for assessing the risk of postoperative atrial fibrillation

Показатели Indicators	Коэффициент Coefficient	p-value
Возраст Age	1,9	0,00096
Возраст ≥ 60 лет Age ≥ 60 years	0,75	0,0004
Мужской пол Male gender	–0,27	0,19
ФВ EF	–1,17	0,08
ХСН III–IV ФК CHD III–IV FC	0,68	0,00175
Медиально-латеральный размер ЛП Medial-lateral dimension LA	–0,76	0,17
Передне-задний размер ЛП LA anterior-posterior size	1,7	0,021
Верхне-нижний размер ЛП LA top-bottom size	1,3	0,12
Объем ЛП LA volume	0,95	0,36
НТК TVI	0,72	0,0016
ОИММЛЖ RLVMI	1,64	0,04



Окончание табл. 2  
End of table 2

Показатели Indicators	Коэффициент Coefficient	p-value
ИОТ RTI	0,11	0,95
Длительность P–R P–R interval duration	2,7	0,29
Индекс коморбидности Comorbidity index	0,14	0,008

Примечание: ФВ – фракция выброса, ХСН – хроническая сердечная недостаточность, ЛП – левое предсердие, НТК – недостаточность трикуспидального клапана, ИМТ – индекс массы тела, ОИММЛЖ – относительный индекс массы миокарда левого желудочка, ИОТ – индекс относительной толщины задней стенки левого желудочка.

Note: EF – ejection fraction, CHF – chronic heart failure, FC – functional class, LA – left atrial, TVI – tricuspid valve insufficiency, BMI – body mass index, RLVMI – relative left ventricular mass index, RTI – relative thickness index of left ventricular posterior wall.

По результатам анализа установлено, что достоверные значения весовых коэффициентов имели место только у 7 переменных: возраст больных (в категориальной и непрерывной форме), ХСН III–IV ФК, передне-задний размер ЛП (LA2), НТК, ОИММЛЖ и индекс ко-

морбидности. При этом максимальный уровень весового коэффициента (1,9) был ассоциирован с показателем возраста в непрерывной форме ( $p = 0,00096$ ). Меньшими по величине, но сопоставимыми по уровню достоверности были показатели передне-заднего размера ЛП (1,7), ОИММЛЖ (1,64), НТК (0,72), ХСН III–IV ФК (0,68) и индекса коморбидности (0,14). При этом такие факторы, как длительность интервала P–R, объем ЛП, медиально-латеральный и верхне-нижний размер ЛП, мужской пол и ФВ были статистически недостоверными.

В разработанных однофакторных моделях большинство весовых коэффициентов имели положительное значение, что указывало на увеличение риска ПоФП при наличии этих признаков или повышении их уровня. Так, например, увеличение передне-заднего размера ЛП, возраста больных и наличие НТК ассоциируются с возрастающей вероятностью ПоФП. Напротив, отрицательное значение весовых коэффициентов факторов мужского пола, ФВ и медиально-латерального размера ЛП указывали на снижение риска данного осложнения при наличии или снижении их значений. На следующем этапе исследования поиск и валидацию предикторов осуществляли, используя методы МО (многофакторную ЛР и СГБ), с помощью которых были построены прогностические модели развития ПоФП. Для оценки точности прогноза проводили процедуры кросс-валидации на тестовых выборках с усреднением метрик качества (табл. 3).

**Таблица 3.** Оценка точности прогностических моделей послеоперационной фибрилляции предсердий на тестовых выборках

**Table 3.** Evaluation of postoperative atrial fibrillation predictive model accuracy in test samples

N	Предикторы Predictors	Логистическая регрессия Logistic regression			Стохастический градиентный бустинг Stochastic gradient boosting		
		Чувствительность Sensitivity	Специфичность Specificity	AUC	Чувствительность Sensitivity	Специфичность Specificity	AUC
1	Возраст Age	0,61	0,49	0,55	0,46	0,58	0,52
2	Возраст, ФВ Age, EF	0,71	0,41	0,56	0,44	0,56	0,5
3	Возраст, ХСН III–IV ФК Age, CHF FC III–IV	0,65	0,5	0,57	0,49	0,61	0,55
4	Возраст, ХСН III–IV ФК, LA2 Age, CHF FC III–IV, LA2	0,68	0,47	0,57	0,44	0,65	0,55
5	Возраст, ХСН III–IV ФК, LA2, НТК Age, CHF FC III–IV, LA2, TVI	0,72	0,49	0,61	0,59	0,52	0,56
6	Возраст, ХСН III–IV ФК, LA2, НТК, ФВ < 40, АГ Age, CHF FC II–IV, LA2, TVI, EF < 40, HTN	0,71	0,48	0,59	0,6	0,53	0,57
7	Возраст, ХСН III–IV ФК, LA2, НТК, ФВ < 40, АГ, ИМТ > 30, ХОБЛ, ЧСС Age, CHF FC III–IV, LA2, TVI, EF < 40, HTN, BMI > 30, COPD, HR	0,65	0,55	0,6	0,63	0,58	0,6
8	Возраст, ХСН III–IV ФК, LA2, НТК, ФВ < 40, АГ, P–R Age, CHF FC III–IV, LA2, TVI, EF < 40, HTN, P–R	0,72	0,47	0,59	0,68	0,6	0,64

Примечание: ФВ – фракция выброса, ХСН – хроническая сердечная недостаточность, LA2 – передне-задний размер левого предсердия, НТК – недостаточность трикуспидального клапана, АГ – артериальная гипертензия (3-я стадия, 4-я степень риска), ИМТ – индекс массы тела, ХОБЛ – хроническая обструктивная болезнь легких, ЧСС – частота сердечных сокращений до операции, P–R – длительность интервала, с.

Note: EF – ejection fraction, CHF – chronic heart failure, FC – functional class, LA2 – anteroposterior dimension of the left atrium, TVI – tricuspid valve insufficiency, HTN – hypertension (stage 3, 4<sup>th</sup> degree of risk), BMI – body mass index, COPD – chronic obstructive pulmonary disease, HR – heart rate before surgery, P–R – P-R interval duration, s.

В качестве базового предиктора для всех моделей использовали возраст пациентов, так как данный показатель имел наиболее высокие параметры значимости (см. табл. 2). Показатель ФВ в непрерывной форме улучшал качество модели ЛР на фоне небольшого снижения точности модели СГБ. Пошаговое включение в структуру моделей факторов ХСН III–IV ФК, передне-заднего размера ЛП (LA2) и НТК приводило к последовательному увеличению метрик качества. Использование методов ЛР и СГБ для дальнейшего тестирования предиктивного потенциала показателей, характеризующих дооперационный статус больных, позволило выделить несколько факторов, увеличивающих точность модели (7) и модели (8) на основе СГБ (см. табл. 3). К ним относились категориальные факторы: ИМТ > 30 кг/м<sup>2</sup>, АГ и ЧСС. Влияние ФВ на точность прогноза в модели СГБ фиксировалось только при комбинации ее категориальной формы (ФВ < 40%) с АГ. Такие факторы, как индекс коморбидности и ОИММЛЖ, несмотря на статистически значимые значения весовых коэффициентов, не вошли в структуру результирующих моделей. Первый из них в комбинации с коррелируемым показателем возраста создавал проблему мультиколлинеарности и ухудшал качество моделей, а включение второго не приводило к повышению их точности. Проведенный анализ подтверждал предиктивный потенциал ранее известных факторов риска ПоФП (возраста, ФВ и ХСН III–IV ФК).

В нашем исследовании фактор риска, ассоциированный с объемом ЛП, не обладал достаточной информативностью в отличие от его передне-заднего размера (LA2), который имел высокий предиктивный потенциал. Рассмотренные 5 показателей увеличивали точность моделей ЛР, что свидетельствует об их линейной взаимосвязи с ПоФП. В то же время такие предикторы ПоФП, как ЧСС, ХОБЛ, PR, АГ III–IV ст., ИМТ > 30 кг/м<sup>2</sup> и ФВ < 40% обеспечивали повышение точности только моделей на основе СГБ, что указывало на их нелинейную ассоциацию с результирующей переменной.

## Обсуждение

ПоФП относится к наиболее частым осложнениям у больных после кардиохирургических вмешательств [7–9]. Возникновение этой аритмии может приводить к нарушению гемодинамики, увеличению продолжительности госпитализации, стоимости лечения и риска тромбэмболических событий и летальности. В нашем исследовании клиническое значение ПоФП подтверждалось высоким уровнем госпитальной летальности, который составлял 6,1%, что в 2 раза превышало аналогичный показатель у больных без данного осложнения. За последнее десятилетие информативность периоперационных предикторов ПоФП, ассоциированной с КШ, анализировалась в многочисленных исследованиях. В большинстве работ к ним относили возраст больных, мужской пол, ИМТ > 30 кг/м<sup>2</sup>, стенокардию III–IV ФК, АГ, сахарный диабет, ХБП, ХОБЛ и ХСН, ИМ в анамнезе и наличие клапанных пороков сердца [8–14].

Ряд авторов выделяют интраоперационные факторы риска ПоФП: длительность ИК, время пережатия аорты, тип кондуитов и количество шунтов [7]. В отдельных работах в качестве предикторов ПоФП верифицированы индикаторы системного воспаления (уровень провоспалительных цитокинов, скорости оседания эритроцитов (СОЭ), лейкоцитарных индексов и др.), что иллюстриро-

валось наличием их взаимосвязей с вероятностью развития аритмии [19, 20]. Патологические механизмы ПоФП имеют сложный характер и до конца не изучены, что обусловлено наличием значительного количества факторов, влияющих на возникновение аритмии [8]. К типовым патологическим процессам, инициирующим развитие ПоФП, относят оксидативный и нитрозативный стресс, избыточный протеолиз, деградацию внеклеточного матрикса, системный воспалительный ответ, электролитный дисбаланс с нарушением волемиического статуса и другие [9]. Вместе с тем сложные причинно-следственные взаимосвязи патогенетических факторов ПоФП ограничивают возможность для персонализированного прогноза ее развития у конкретных пациентов. Именно поэтому многочисленные попытки создания прогностических шкал, стратифицирующих риск развития данного осложнения после КШ, не привели к созданию унифицированных инструментов, востребованных в повседневной клинической практике.

В настоящей работе выделение предикторов ПоФП проводилось на основе обработки и анализа показателей клинико-функционального статуса больных до операции КШ, что соответствует концепции скрининговой системы EUROSCORE II [21]. С помощью многоступенчатой процедуры отбора предикторов ПоФП и их последующей валидации на тестовых выборках была подтверждена гипотеза о наличии нелинейных взаимосвязей отдельных факторов (ЧСС, ХОБЛ, P–R, АГ, ИМТ > 30 кг/м<sup>2</sup>, ФВ < 40%) с результирующей переменной.

Верификация этих факторов обеспечивалась применением метода СГБ с пошаговым включением анализируемых параметров в архитектуру моделей. Качество отбора предикторов в этих случаях подтверждалось результатами сравнительного анализа значений показателей AUC, чувствительности и специфичности, характеризующих точность моделей ЛР и СГБ. Вместе с тем необходимо отметить, что предсказательная ценность разработанных моделей была недостаточной для применения в клинической практике, но сопоставимой по точности с данными других авторов, использующих аналогичные методы МО [11–14]. Результаты исследования указывают на необходимость совершенствования технологий поиска персонализированных предикторов ПоФП и их оптимальных комбинаций на основе современных методов глубокого обучения. Кроме того, повышение предсказательной ценности моделей может обеспечиваться за счет включения в их структуру интраоперационных параметров, определяющих особенности оперативного вмешательства, его анестезиологического обеспечения и клинического течения раннего послеоперационного периода.

## Заключение

Использование методов МО позволяет осуществлять поиск и валидацию предикторов, линейно и нелинейно связанных с развитием ПоФП. Наиболее значимыми из них были возраст больных, ФВ < 40%, передне-задний размер ЛП, НТК, ХОБЛ, ИМТ > 30 кг/м<sup>2</sup>, длительность P–R, АГ 3–4-й стадии, ЧСС. Модели на основе многофакторной ЛР и СГБ существенно не отличались по точности прогноза. Перспектива дальнейших исследований по данной проблеме связана с применением методов глубокого обучения, позволяющих учитывать индивидуальные особенности пациентов при разработке прогнозных моделей.

## Литература

1. The World Health Organization the top ten causes of death. URL: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs310/en/> (available from: 28.05.2018).
2. Щербакова Е.М. Демографические итоги I полугодия 2019 года в России (часть II). Демоскоп *Weekly*. 2019;(823–824):1–40. URL: <http://demoscope.ru/weekly/2019/0823/barom01.php>.
3. Бойцов С.А., Шальнова С.А., Деев А.Д. Эпидемиологическая ситуация как фактор, определяющий стратегию действий по снижению смертности в Российской Федерации. *Терапевтический архив*. 2020;92(1):4–9. DOI: 10.26442/00403660.2020.01.000510.
4. Arnett D.K., Blumenthal R.S., Albert M.A., Buroker A.B., Goldberger Z.D., Hahn E.J. et al. 2019 ACC/AHA Guideline on the Primary Prevention of Cardiovascular Disease: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines. *Circulation*. 2019;140(11):e596–e646. DOI: 10.1161/CIR.0000000000000678.
5. Benjamin E.J., Muntner P., Alonso A., Bittencourt M.S., Callaway C.W., Carson A.P. et al. Heart Disease and Stroke Statistics – 2019 Update: A Report From the American Heart Association. *Circulation*. 2019;139(10):e56–e528. DOI: 10.1161/CIR.0000000000000659.
6. Рекомендации ESC/EACTS по реваскуляризации миокарда 2018. *Российский кардиологический журнал*. 2019;24(8):151–226. DOI: 10.15829/1560-4071-2019-8-151-226.
7. Бокерия Л.А., Сокольская Н.О., Копылова Н.С., Алшибая М.М. Эхокардиографические предикторы тяжести течения раннего послеоперационного периода у больных после хирургической реваскуляризации миокарда. *Анестезиология и реаниматология*. 2015;60(5):8–11.
8. Ревившвили А.Ш., Попов В.А., Коростелев А.Н., Плотников Г.П., Малышенко Е.С., Анищенко М.М. Предикторы развития фибрилляции предсердий после операции аортокоронарного шунтирования. *Вестник аритмологии*. 2018;(94):11–16. DOI: 10.25760/VA-2018-94-11-16.
9. Ломиворотов В.В., Ефремов С.М., Покушалов Е.А., Бобосхо В.А. Фибрилляция предсердий после кардиохирургических операций: патофизиология и методы профилактики. *Вестник анестезиологии и реаниматологии*. 2017;14(1):58–66. DOI: 10.21292/2078-5658-2017-14-1-58-66.
10. Thorén E., Wernroth M., Christersson C., Grinnemo K.-H., Jidéus L., Ståhle E. Compared with matched controls, patients with postoperative atrial fibrillation (POAF) have increased long-term AF after CABG, and POAF is further associated with increased ischemic stroke, heart failure and mortality even after adjustment for AF. *Clin. Res. Cardiol.* 2020;109:1232–1242. DOI: 10.1007/s00392-020-01614-z.
11. Dogan A., Gunesdogdu F., Sever K., Kahraman S., Mansuroglu D., Yolu M. et al. Atrial fibrillation prediction by surgical risk scores following isolated coronary artery bypass grafting surgery. *J. Coll. Physician. Surg. Pak.* 2019;29(11):1038–1042. DOI: 10.29271/jcpsp.2019.11.1038.
12. Kolek M.J., Muehlschlegel J.D., Bush W.S., Parvez B., Murray K.T., Stein C.M. et al. Genetic and clinical risk prediction model for postoperative atrial fibrillation. *Circ. Arrhythm. Electrophysiol.* 2015;8(1):25–31. DOI: 10.1161/CIRCEP.114.002300.
13. Lin S.Z., Crawford T.C., Suarez-Pierre A., Magruder J.T., Carter M.V., Cameron D.E. et al. A novel risk score to predict new onset atrial fibrillation in patients undergoing isolated coronary artery bypass grafting. *Heart Surg. Forum*. 2018;21(6):E489–E496. DOI: 10.1532/hhf.2151.
14. Mariscalco G., Biancari F., Zanobini M., Cottini M., Piffaretti G., Sacconi M. et al. Bedside tool for predicting the risk of postoperative atrial fibrillation after cardiac surgery: the POAF score. *J. Am. Heart Assoc.* 2014;3(2):e000752. DOI: 10.1161/JAHA.113.000752.
15. Burgos L.M., Seoane L., Parodi J.B., Brito V.G., Benzaón M., Navia D. et al. Postoperative atrial fibrillation is associated with higher scores on predictive indices. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2019;157(6):2279–2286. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2018.10.091.
16. Galderisi M., Cosyns B., Edvardsen T., Cardim N., Delgado V., Di Salvo G. et al. Standardization of adult transthoracic echocardiography reporting in agreement with recent chamber quantification, diastolic function, and heart valve disease recommendations: An expert consensus document of the European Association of Cardiovascular Imaging. *European Heart Journal – Cardiovascular Imaging*. 2017;18(12):1301–1310. DOI: 10.1093/ehjci/ehx244.
17. Jiamsripong P., Honda T., Reuss C.S., Hurst R.T., Chaliki H.P., Grill D.E. et al. Three methods for evaluation of left atrial volume. *Eur. J. Echocardiogr.* 2008;9(3):351–355. DOI: 10.1016/j.euje.2007.05.004.
18. Charlson M.E., Pompei P., Ales K.L., McKenzie C.R. A new method of classifying prognostic comorbidity in longitudinal studies: Development and validation. *J. Chronic. Dis.* 1987;40(5): 373–383. DOI: 10.1016/0021-9681(87)90171-8.
19. Xiong F., Yin Y., Dubé B., Pagé P., Vinet A. Electrophysiological changes preceding the onset of atrial fibrillation after coronary bypass grafting surgery. *PLoS One*. 2014;9(9):e107919. DOI: 10.1371/journal.pone.0107919.
20. Weymann A., Ali-Hasan-Al-Saegh S., Popov A.F., Sabashnikov A., Mirhosseini S.J., Liu T. et al. Haematological indices as predictors of atrial fibrillation following isolated coronary artery bypass grafting, valvular surgery, or combined procedures: A systematic review with meta-analysis. *Kardiol. Pol.* 2018;76(1):107–118. DOI: 10.5603/KP.a2017.0179.
21. Ad N., Holmes S.D., Patel J., Pritchard G., Shuman D.J., Halpin L. Comparison of EuroSCORE II, Original EuroSCORE, and The Society of Thoracic Surgeons Risk Score in Cardiac Surgery Patients. *Ann. Thorac. Surg.* 2016;102(2):573–579. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2016.01.105.

## References

1. The World Health Organization the top ten causes of death. URL: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs310/en/> (available from: 28.05.2018).
2. Sherbakova E.M. Demographic results of the first half of 2019 in Russia (part II). *Demoscope Weekly*. 2019;(823–824):1–40 (In Russ.). URL: <http://demoscope.ru/weekly/2019/0823/barom01.php>.
3. Boytsov S.A., Shalnova S.A., Deev A.D. The epidemiological situation as a factor determining the strategy for reducing mortality in the Russian Federation. *Therapeutic Archive*. 2020;92(1):4–9 (In Russ.). DOI: 10.26442/00403660.2020.01.000510.
4. Arnett D.K., Blumenthal R.S., Albert M.A., Buroker A.B., Goldberger Z.D., Hahn E.J. et al. 2019 ACC/AHA Guideline on the Primary Prevention of Cardiovascular Disease: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines. *Circulation*. 2019;140(11):e596–e646. DOI: 10.1161/CIR.0000000000000678.
5. Benjamin E.J., Muntner P., Alonso A., Bittencourt M.S., Callaway C.W., Carson A.P. et al. Heart Disease and Stroke Statistics – 2019 Update: A Report From the American Heart Association. *Circulation*. 2019;139(10):e56–e528. DOI: 10.1161/CIR.0000000000000659.
6. 2018 ESC/EACTS guidelines on myocardial revascularization. *Russian Journal of Cardiology*. 2019;24(8):151–226 (In Russ.). DOI: 10.15829/1560-4071-2019-8-151-226.
7. Bockeria L.A., Sokolskaya N.O., Kopylova N.S., Alshibaya M.M. Echocardiographic predictors of the severity of the early postoperative period in patients after surgical myocardial revascularization. *Anesteziologya i Reanimatologiya*. 2015;60(5):8–11 (In Russ.).
8. Revishvili A.S., Popov V.A., Korostelev A.N., Plotnikov G.P., Malysheva E.S., Anishchenko M.M. Predictors of new onset of atrial fibrillation after coronary artery bypass grafting surgery. *Journal of Arrhythmology*. 2018;(94):11–16 (In Russ.). DOI: 10.25760/VA-2018-94-11-16.
9. Lomivorotov V.V., Efremov S.M., Pokushalov E.A., Boboshko V.A. Atrial fibrillation after cardiac surgery: Pathophysiology and prevention techniques. *Messenger of Anesthesiology and Resuscitation*. 2017;14(1):58–66 (In Russ.). DOI: 10.21292/2078-5658-2017-14-1-58-66.
10. Thorén E., Wernroth M., Christersson C., Grinnemo K.-H., Jidéus L., Ståhle E. Compared with matched controls, patients with postoperative atrial fibrillation (POAF) have increased long-term AF after CABG, and POAF is further associated with increased ischemic stroke, heart failure and mortality even after adjustment for AF. *Clin. Res. Cardiol.* 2020;109:1232–1242. DOI: 10.1007/s00392-020-01614-z.
11. Dogan A., Gunesdogdu F., Sever K., Kahraman S., Mansuroglu D., Yolu M. et al. Atrial fibrillation prediction by surgical risk scores following isolated coronary artery bypass grafting surgery. *J. Coll. Physician. Surg. Pak.* 2019;29(11):1038–1042. DOI: 10.29271/jcpsp.2019.11.1038.
12. Kolek M.J., Muehlschlegel J.D., Bush W.S., Parvez B., Murray K.T., Stein C.M. et al. Genetic and clinical risk prediction model for postoperative atrial fibrillation. *Circ. Arrhythm. Electrophysiol.* 2015;8(1):25–31. DOI: 10.1161/CIRCEP.114.002300.
13. Lin S.Z., Crawford T.C., Suarez-Pierre A., Magruder J.T., Carter M.V., Cameron D.E. et al. A novel risk score to predict new onset atrial fibrillation in patients undergoing isolated coronary artery bypass grafting. *Heart Surg. Forum*. 2018;21(6):E489–E496. DOI: 10.1532/hhf.2151.
14. Mariscalco G., Biancari F., Zanobini M., Cottini M., Piffaretti G., Sacconi M. et al. Bedside tool for predicting the risk of postoperative atrial fibrillation after cardiac surgery: the POAF score. *J. Am. Heart Assoc.* 2014;3(2):e000752. DOI: 10.1161/JAHA.113.000752.



15. Burgos L.M., Seoane L., Parodi J.B., Brito V.G., Benzaón M., Navia D. et al. Postoperative atrial fibrillation is associated with higher scores on predictive indices. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2019;157(6):2279–2286. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2018.10.091.
16. Galderisi M., Cosyns B., Edvardsen T., Cardim N., Delgado V., Di Salvo G. et al. Standardization of adult transthoracic echocardiography reporting in agreement with recent chamber quantification, diastolic function, and heart valve disease recommendations: an expert consensus document of the European Association of Cardiovascular Imaging. *European Heart Journal – Cardiovascular Imaging.* 2017;18(12):1301–1310. DOI: 10.1093/ehjci/jex244.
17. Jiamsripong P., Honda T., Reuss C.S., Hurst R.T., Chaliki H.P., Grill D.E. et al. Three methods for evaluation of left atrial volume. *Eur. J. Echocardiogr.* 2008;9(3):351–355. DOI: 10.1016/j.euje.2007.05.004.
18. Charlson M.E., Pompei P., Ales K.L., McKenzie C.R. A new method of classifying prognostic comorbidity in longitudinal studies: Development and validation. *J. Chronic. Dis.* 1987;40(5): 373–383. DOI: 10.1016/0021-9681(87)90171-8.
19. Xiong F., Yin Y., Dubé B., Pagé P., Vinet A. Electrophysiological changes preceding the onset of atrial fibrillation after coronary bypass grafting surgery. *PLoS One.* 2014;9(9):e107919. DOI: 10.1371/journal.pone.0107919.
20. Weymann A., Ali-Hasan-AI-Saegh S., Popov A.F., Sabashnikov A., Mirhosseini S.J., Liu T. et al. Haematological indices as predictors of atrial fibrillation following isolated coronary artery bypass grafting, valvular surgery, or combined procedures: a systematic review with meta-analysis. *Kardiol. Pol.* 2018;76(1):107–118. DOI: 10.5603/KP.a2017.0179.
21. Ad N., Holmes S.D., Patel J., Pritchard G., Shuman D.J., Halpin L. Comparison of EuroSCORE II, Original EuroSCORE, and The Society of Thoracic Surgeons Risk Score in Cardiac Surgery Patients. *Ann. Thorac. Surg.* 2016;102(2):573–579. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2016.01.105.

## Информация о вкладе авторов

Шахгельдян К.И. разрабатывала дизайн исследования, анализировала данные и готовила текст публикации.

Рублев В.Ю. принимал участие в операциях коронарного шунтирования, отвечал за сбор данных, интерпретацию результатов, готовил текст рукописи.

Гельцер Б.И. предложил концепцию исследования, руководил им и подготовкой рукописи.

Щеглов Б.О., Широбоков В.Г. выполняли анализ данных и участвовали в подготовке рукописи.

Духтаева М.К., Чернышева К.В. обеспечивали сбор и проверку данных.

Все авторы дали окончательное согласие на подачу рукописи и согласились нести ответственность за все аспекты работы, ручаясь за их точность и безупречность.

## Сведения об авторах

**Шахгельдян Карина Иосифовна**, д-р техн. наук, профессор, заведующий лабораторией анализа больших данных в биомедицине и здравоохранении, Дальневосточный федеральный университет, Школа биомедицины. ORCID 0000-0002-4539-685X.

E-mail: [carinash@vvsu.ru](mailto:carinash@vvsu.ru).

**Рублев Владислав Юрьевич**, врач сердечно-сосудистый хирург, аспирант, Дальневосточный федеральный университет, Школа биомедицины. ORCID 0000-0001-7620-4454.

E-mail: [dr.rublev.v@gmail.com](mailto:dr.rublev.v@gmail.com).

**Гельцер Борис Израйлевич**, д-р мед. наук, профессор, чл.-корр. РАН, директор департамента клинической медицины, Дальневосточный федеральный университет, Школа биомедицины. ORCID 0000-0002-9250-557X.

E-mail: [boris.geltser@vvsu.ru](mailto:boris.geltser@vvsu.ru).

**Щеглов Богдан Олегович**, лаборант, Дальневосточный федеральный университет, Школа биомедицины. ORCID 0000-0002-2262-1831.

E-mail: [b.schegloff@gmail.com](mailto:b.schegloff@gmail.com).

**Широбоков Василий Глебович**, магистрант, Институт информационных бизнес-систем, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС». ORCID 0000-0001-5531-9519.

E-mail: [wpn@inbox.ru](mailto:wpn@inbox.ru).

**Духтаева Малика Казбековна**, ординатор, Дальневосточный федеральный университет, Школа биомедицины. ORCID 0000-0001-9332-9435.

E-mail: [malikadukhtaeva@gmail.com](mailto:malikadukhtaeva@gmail.com).

**Чернышева Ксения Вячеславовна**, ординатор, Дальневосточный федеральный университет, Школа биомедицины. ORCID 0000-0002-1110-0264.

E-mail: [chernysheva.ksenia96@gmail.com](mailto:chernysheva.ksenia96@gmail.com).

**Рублев Владислав Юрьевич**, e-mail: [dr.rublev.v@gmail.com](mailto:dr.rublev.v@gmail.com).

## Information on author contributions

Shakhgelydyan K.I. designed the study, analyzed the data and prepared the publication text.

Rublev V.Y. took part in coronary artery bypass surgeries, was responsible for data collection and interpretation of results, and prepared the text of the manuscript.

Geltser B.I. proposed the concept of the study and supervised the preparation of the manuscript.

Shcheglov B.O. and Shirobokov V.G. performed data analysis and participated in the manuscript preparation.

Dukhtaeva M.K. and Chernysheva K.V. provided data collection and verification.

## Information about the authors

**Karina I. Shakhgelydyan**, Dr. Sci. (Tech.), Professor, Head of the Laboratory of Big Data Analysis in Biomedicine and Health Care, School of Biomedicine, Far Eastern Federal University. ORCID 0000-0002-4539-685X. E-mail: [carinash@vvsu.ru](mailto:carinash@vvsu.ru).

**Vladislav Y. Rublev**, Cardiovascular Surgeon, Postgraduate Student, School of Biomedicine, Far Eastern Federal University. ORCID 0000-0001-7620-4454.

E-mail: [dr.rublev.v@gmail.com](mailto:dr.rublev.v@gmail.com).

**Boris I. Geltser**, Dr. Sci. (Med.), Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director of the Clinical Medicine Department, School of Biomedicine, Far Eastern Federal University. ORCID 0000-0002-9250-557X.

E-mail: [boris.geltser@vvsu.ru](mailto:boris.geltser@vvsu.ru).

**Bogdan O. Shcheglov**, Laboratory Assistant, School of Biomedicine, Far Eastern Federal University. ORCID 0000-0002-2262-1831.

E-mail: [b.schegloff@gmail.com](mailto:b.schegloff@gmail.com).

**Vasiliy G. Shirobokov**, Master's Student, Institute of Information Business Systems, National University of Science and Technology MISiS. ORCID 0000-0001-5531-9519.

E-mail: [wpn@inbox.ru](mailto:wpn@inbox.ru).

**Malika K. Dukhtaeva**, Resident Physician, School of Biomedicine, Far Eastern Federal University. ORCID 0000-0001-9332-9435.

E-mail: [malikadukhtaeva@gmail.com](mailto:malikadukhtaeva@gmail.com).

**Ksenia V. Chernysheva**, Resident Physician, School of Biomedicine, Far Eastern Federal University. ORCID 0000-0002-1110-0264.

E-mail: [chernysheva.ksenia96@gmail.com](mailto:chernysheva.ksenia96@gmail.com).

**Vladislav Y. Rublev**, e-mail: [dr.rublev.v@gmail.com](mailto:dr.rublev.v@gmail.com).

Received October 02, 2020

Поступила 02.10.2020