



<https://doi.org/10.34883/PI.2026.12.2.003>



Зюзин В.С.

Федеральный центр высоких медицинских технологий, Калининград, Россия

Оценка прогностической эффективности модели стратификации риска трансфузионной терапии в кардиохирургии

Конфликт интересов: не заявлен.

Благодарность: автор выражает благодарность д.м.н., заведующему кардиохирургическим отделением № 2 ФГБУ «ФЦВМТ» Антипову Георгию Николаевичу за помощь в статистической обработке данных.

Финансирование: у исследования не было спонсорской поддержки.

Подана: 27.01.2026

Принята: 21.03.2026

Контакты: zuruss@mail.ru

Резюме

Введение. В кардиохирургии частота периоперационных гемотрансфузий варьируется в диапазоне 40–90%. Использование аллогенной крови сопряжено с повышенным риском осложнений и само по себе может являться независимым фактором неблагоприятного исхода. Одним из подходов к сокращению избыточных трансфузий служит внедрение моделей стратификации риска, позволяющих на основе клинических данных прогнозировать потребность конкретного пациента в компонентах крови. При этом критически важно регулярно оценивать точность и прогностическую ценность таких моделей в различных клинических условиях и группах пациентов.

Цель. Оценить дискриминативную и калибровочную способность модели TRACK для прогнозирования трансфузии компонентов донорской крови у взрослых кардиохирургических пациентов ФГБУ «Федеральный центр высоких медицинских технологий» Минздрава РФ, г. Калининград (далее – Центр).

Материалы и методы. Настоящее исследование включало пациентов старше 18 лет, подвергшихся экстренным или плановым оперативным вмешательствам на открытом сердце в хронологических рамках с 1 января 2025 года по 31 декабря 2025 года. В качестве конечной точки рассматривалась трансфузия аллогенной крови, под которой подразумевалось клиническое использование одной или более единицы эритроцитсодержащих компонентов, любого типа плазмы либо концентрата в период госпитализации. Оценка дискриминативной способности осуществлялась методом AUC-ROC, калибровка модели проверялась посредством теста Хосмера – Лемешова. При проведении описательного анализа категориальные переменные представлялись в виде абсолютных значений и процентных долей, количественные – в форме средних значений и стандартных отклонений. Статистическая обработка данных выполнена с использованием программного обеспечения Microsoft Excel 2010.

Результаты. После удаления пациентов, попавших под критерии исключения, в моноцентрическое наблюдательное ретроспективное исследование были включены 211 пациентов. Точность прогнозирования трансфузий составила 0,88. Тест Хосмера – Лемешова продемонстрировал систематические ошибки калибровки. В зонах низкого риска модель завышала вероятность трансфузии, в зонах высокого риска – занижала.

Заключение. Модель TRACK продемонстрировала удовлетворительную дискриминативную, но неприемлемую калибровочную способность в условиях Центра. Ее можно использовать для выделения различных групп риска пациентов по вероятности применения трансфузионной терапии, а также с целью внедрения стратегий менеджмента крови пациентов и планирования ресурсов компонентов донорской крови.

Ключевые слова: минимизация необоснованных трансфузий в кардиохирургии, менеджмент крови пациентов, модель TRACK

Zyuzin V.

Federal Center for High Medical Technologies, Kaliningrad, Russia

Evaluation of the Prognostic Effectiveness of the Risk Stratification Model of Transfusion Therapy in Cardiac Surgery

Conflict of interest: nothing to declare.

Gratitude: the author would like to thank Georgy Nikolaevich Antipov, MD, Head of the Cardiac Surgery Department No. 2 of the Federal State Budgetary Institution "FTSVMT" for his help in statistical data processing.

Financing: the study had no sponsorship.

Submitted: 27.01.2026

Accepted: 21.03.2026

Contacts: zuruss@mail.ru

Abstract

Introduction. In cardiac surgery, the frequency of perioperative hemotransfusions varies in the range of 40–90%. The use of allogeneic blood is associated with an increased risk of complications and may itself be an independent factor in an unfavorable outcome. One of the approaches to reducing excessive transfusions is the introduction of risk stratification models that allow predicting the need for blood components of a particular patient based on clinical data. At the same time, it is critically important to regularly evaluate the accuracy and prognostic value of such models in various clinical settings and patient groups.

Purpose. To evaluate the discriminative and calibration ability of the TRACK model for predicting transfusion of donated blood components in adult cardiac surgery patients of the Federal State Budgetary Institution Federal Center for High Medical Technologies of the Ministry of Health of the Russian Federation Kaliningrad (hereinafter referred to as the Center).

Materials and methods. The present study included patients over the age of eighteen who underwent emergency or planned open-heart surgery chronologically from January 1, 2025 to December 31, 2025 inclusive. Transfusion of allogeneic blood was considered as the endpoint, which meant the clinical use of one or more units of erythrocyte-containing components, any type of plasma or concentrate during hospitalization. The discrimination capability was assessed using the AUC ROC method, and the calibration of the model was verified using the Hosmer – Lemeshov test. During the descriptive analysis, categorical



variables were presented in the form of absolute values and percentages, quantitative in the form of averages and standard deviations. Statistical data processing was performed using Microsoft Excel 2010 software.

Results. After removing the patients who fell under the exclusion criteria, 211 patients were included in a monocentric, observational retrospective study. The accuracy of transfusion prediction was 0.88. The Hosmer – Lemeshov test demonstrated systematic calibration errors. In low-risk areas, the model overestimated the probability of transfusion, while in high-risk areas it underestimated it.

Conclusion. The TRACK model has demonstrated satisfactory discriminatory but unacceptable calibration capability in a Center setting. It can be used to identify different risk groups of patients based on the likelihood of using transfusion therapy, as well as to implement patient blood management strategies and resource planning for donated blood components.

Keywords: minimizing unjustified transfusions in cardiac surgery, patient blood management, TRACK model

■ ВВЕДЕНИЕ

В кардиохирургической практике частота периоперационных гемотрансфузий демонстрирует значительную вариабельность, составляя от 40 до 90% случаев. Такой разброс обусловлен как особенностями кардиохирургического вмешательства, так и исходной тяжестью состояния пациента [1, 2].

Несмотря на то что трансфузионная терапия в отдельных клинических ситуациях остается жизненноспасающей процедурой, применение аллогенной крови ассоциировано с ростом долгосрочной летальности и может выступать самостоятельным фактором риска развития послеоперационных осложнений [3–5]. В связи с этим рациональное использование аллогенных компонентов крови рассматривается как один из ключевых критериев качества кардиохирургической помощи. Для оптимизации принятия решений о трансфузии разработаны модели стратификации риска, позволяющие прогнозировать применение компонентов донорской крови в интра- и послеоперационном периоде. Однако их внедрение требует регулярной проверки качества и прогностической эффективности в различных клинических когортах.

Согласно недавнему систематическому обзору и метаанализу, к настоящему моменту опубликовано 9 исследований по разработке подобных моделей и проведено 27 исследований по их внешней валидации. Лишь 2 модели прошли внешнюю валидацию не менее 5 раз: Transfusion Risk Understanding Scoring Tool (TRUST) и Transfusion Risk and Clinical Knowledge (TRACK) [6].

Ранее уже предпринимались попытки оценить применимость модели TRUST в когорте кардиохирургических пациентов нашего Центра [7].

■ ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Оценить дискриминативную и калибровочную способность модели TRACK для прогнозирования трансфузии компонентов донорской крови у взрослых кардиохирургических пациентов ФГБУ «Федеральный центр высоких медицинских технологий» Минздрава РФ, г. Калининград (далее – Центр).

■ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для каждого пациента рассчитывался балл по шкале TRACK. Возраст старше 65 лет давал 6 баллов, женский пол – 4 балла, масса тела менее 60 кг для женщин и менее 85 кг для мужчин – по 2 балла соответственно, предоперационный гематокрит – по 1 баллу за каждое значение менее 40 г/л, комбинированная операция – 7 баллов. Соотношение баллов и риска трансфузии приведено в табл. 1.

Точка отсечения 13 баллов: традиционно используется для разделения пациентов на группы низкого и высокого риска. При достижении этого порога вероятность трансфузии составляет 60%.

Точка отсечения 22 балла: считается наиболее специфичным индикатором критической потребности в крови. Пациенты с таким баллом почти гарантированно (92%) потребуют трансфузии [8].

Критериям включения в исследование соответствовали пациенты старше 18 лет, перенесшие экстренные и плановые оперативные вмешательства на открытом сердце, которые были проведены в период с 1 января 2025 по 31 декабря 2025 года. К таким вмешательствам относили как изолированные, так и различное сочетание аортокоронарных шунтирований, пластики и/или протезирования клапанов сердца, хирургию аорты. Под критерии исключения попадали пациенты с массивной кровопотерей, кровотечением по внесердечным причинам, неполными данными, педиатрические пациенты. Демографические, клинические и лабораторные данные, а также информация о трансфузиях извлекались из медицинской информационной системы (МИС), действующей в Центре с января 2024 года. Конечной точкой считалась трансфузия аллогенной крови. Под трансфузией аллогенной крови понималось клиническое применение одной или более единицы эритроцитсодержащих компонентов, любого вида плазмы или концентрата на протяжении всей длительности госпитализации. Протокол исследования приведен в табл. 2.

Статистическая обработка данных. Показатели с нормальным распределением представлены в виде среднего значения по выборке и его стандартного отклонения ($X \pm sd$). При распределении, отличающемся от нормального, для оценки статистически достоверной разницы между номинативными показателями использовали метод X^2 (Chi square). Для оценки диагностической значимости показателя использовали AUC (Area Under Curve). При интервале AUC в диапазоне 0,9–1,0 значимость рассматривалась как «отличная», 0,8–0,9 – «очень хорошая», 0,7–0,8 – «хорошая», 0,6–0,7 – «средняя», 0,5–0,6 – «неудовлетворительная».

Таблица 1
Соотношение баллов шкалы TRACK и риска трансфузии
Table 1
Ratio of TRACK scale scores and transfusion risk

Баллы по шкале TRACK	Группа риска	Вероятность трансфузии
0	Минимальный риск	~21%
<6	Низкий риск	31%
1–12	Низкий/умеренный риск	<60%
≥13	Высокий риск	~60%
≥22	Очень высокий риск	92%



Таблица 2

Протокол исследования «Оценка прогностической эффективности инструмента стратификации риска трансфузионной терапии в кардиохирургии»

Table 2

Protocol of the study "Evaluation of the prognostic effectiveness of a risk stratification tool for transfusion therapy in cardiac surgery"

Цель исследования	Изучить и оценить дискриминативную и калибровочную способность данной модели для пациентов Центра
Актуальность исследования	Внешняя валидация различных моделей показала противоречивые результаты
Дизайн	Моноцентрическое наблюдательное ретроспективное исследование
Критерии включения	■ Пациенты старше 18 лет; ■ экстренные и плановые оперативные вмешательства на открытом сердце за 2025 год; ■ изолированные и различное сочетание аортокоронарных шунтирований, пластик и/или протезирований клапанов сердца, хирургия аорты
Критерии исключения	Пациенты: ■ с массивной кровопотерей; ■ с изначальной патологией гемостаза; ■ с кровотечением по внесердечным причинам; ■ с неполными данными
Исследуемые группы	Пациенты, соответствующие критериям включения, оставшиеся после удаления попавших под критерии исключения
Измерения (переменные)	■ Возраст; ■ пол; ■ масса тела; ■ уровень предоперационного гематокрита; ■ наличие либо отсутствие комбинированного оперативного вмешательства
Статистические вопросы	Обладает ли данная модель прогностической точностью для пациентов Центра?

Оценка калибровки проводилась с помощью теста Хосмера – Лемешова. Различия показателей между группами определялись как статистически значимые при $p < 0,05$. Статистический анализ выполнен с использованием Microsoft Excel 2010.

■ РЕЗУЛЬТАТЫ

В течение периода исследования было выполнено 827 кардиохирургических вмешательств. После удаления пациентов, попавших под критерии исключения, в моноцентрическое наблюдательное ретроспективное исследование были включены 211 пациентов. Дизайн исследования представлен на рис. 1.

Антропометрические, демографические и клинические данные целевой популяции представлены в табл. 3.

Наличие трансфузии кодировалось цифрой «1», отсутствие – «0». Все пациенты были разделены на 5 групп (квинтили). Пациенты были отсортированы по возрастанию прогностических баллов, затем разделены на 5 групп, для каждой из которых была вычислена наблюдаемая и прогнозируемая вероятность трансфузии в % (табл. 4).

На основе вычисленных данных построен калибровочный график, отображающий связь между прогнозируемыми и фактическими трансфузиями (рис. 2).

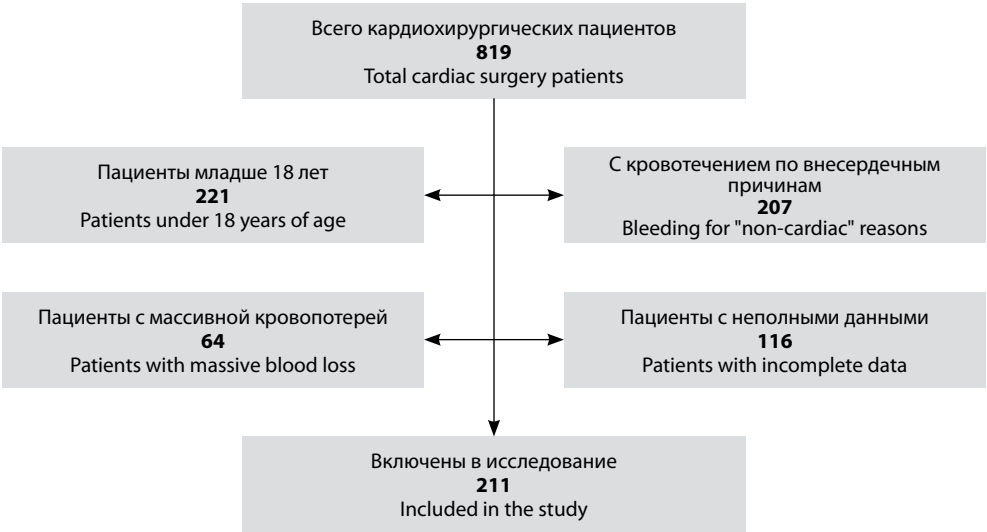


Рис. 1. Дизайн исследования
Fig. 1. Research design

Таблица 3
Антропометрические, демографические и клинические данные целевой популяции
Table 3
Anthropometric, demographic, and clinical data of the target population

Показатели	Значения
Возраст	63±7
Рост	174±10
ИМТ (кг/м²)	24,7±11
Мужской пол	136 (65%)
Женский пол	75 (35%)
Сочетанное вмешательство	54

Примечание: категориальные значения выражены в виде абсолютных чисел или процентов, переменные – в виде среднего ± стандартное отклонение.

Таблица 4
Наблюдаемая частота и прогнозируемая вероятность трансфузий по шкале TRACK
Table 4
The observed frequency, the predicted probability of transfusions of the TRACK scale

Группа риска (квинтиль)	Кол-во пациентов	Пациенты с трансфузией	Наблюдаемая частота трансфузии, %	Прогнозируемый риск, %
1	42	2	4,76	26,24
2	43	4	9,3	57,98
3	42	6	14,29	60
4	42	19	45,24	72,45
5	42	25	59,52	76,76

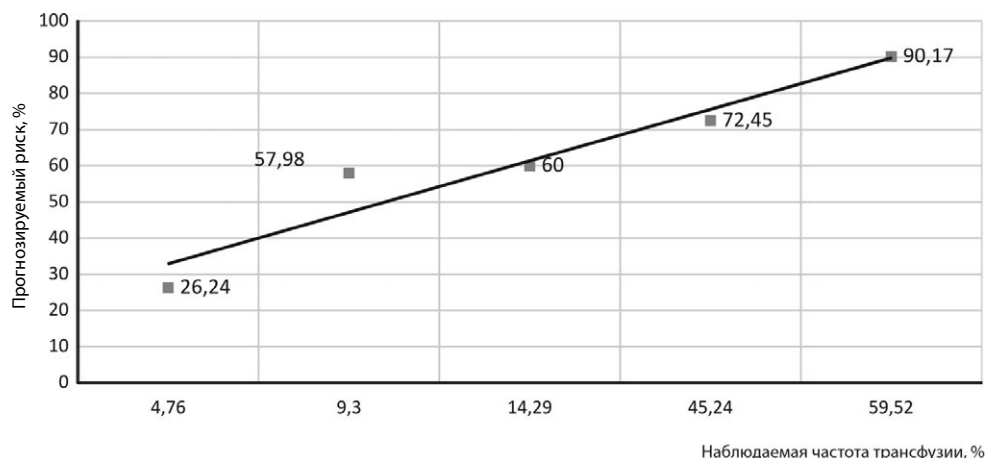


Рис. 2. Калибровочный график, отображающий связь между прогнозируемыми и фактическими трансфузиями. Точки выше и ниже линии указывают на занижение и завышение риска соответственно

Fig. 2. Calibration graph showing the relationship between predicted and actual transfusions. Points above and below the line indicate underestimation and overestimation of risk, respectively

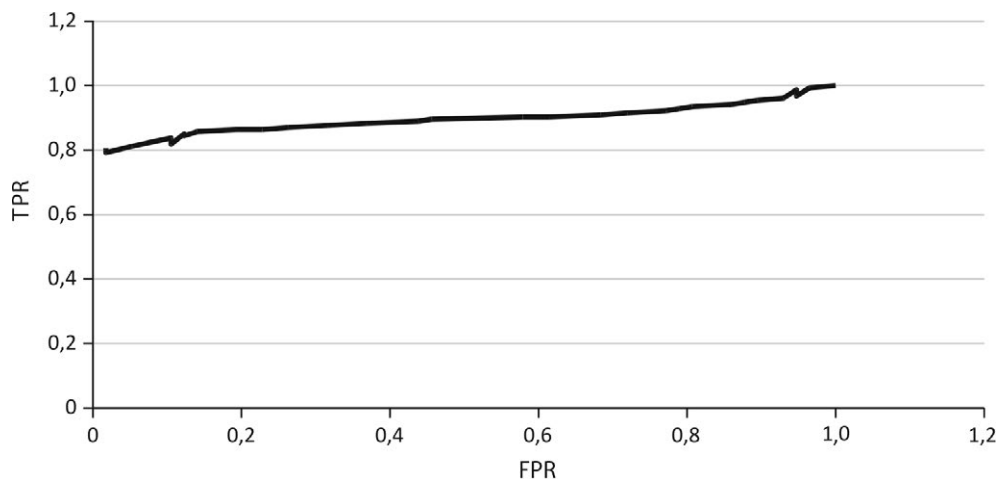


Рис. 3. ROC-кривая для шкалы TRACK. По оси x отложены значения FPR, по оси y – TPR

Fig. 3. ROC curve for the TRACK scale. The x-axis shows the FPR values, the y-axis shows the TPR values

Для каждого прогностического балла были рассчитаны показатели, когда трансфузия была спрогнозирована и потребовалась, – True positive rate (TPR), а также когда трансфузия не понадобилась, но была спрогнозирована – False positive rate (FPR). На основе значений FPR и TPR построена ROC-кривая (рис. 3) и рассчитана площадь под кривой (AUC-ROC).

Вычисленная суммарная статистика хи-квадрата составила 110,98.

■ ОБСУЖДЕНИЕ

Ключевой этап валидации – это оценка дискриминативной способности модели с помощью вычисления площади под ROC-кривой (AUC-ROC). ROC-кривая графически показывает изменение соотношений между пациентами, которым трансфузия была спрогнозирована и потребовалась (TPR), и пациентами, которым трансфузия не понадобилась, но была спрогнозирована (FPR). Значение AUC-ROC отражает, насколько удовлетворительно модель отличает эти группы пациентов между собой. В оригинальной статье AUC-ROC составила 0,81 (95% ДИ 0,78; 0,83), в нашем исследовании AUC-ROC – 0,88. Полученное значение может интерпретироваться как очень хорошая способность ранжировать пациентов по риску трансфузии. На самом деле наблюдаемая частота трансфузий возрастает от первого (4,76%) к пятому (59,52%) квинтилю. Пациенты, отнесенные к высшим квинтилям, получали трансфузии чаще (табл. 4).

Тест Хосмера – Лемешова выявил значимое несоответствие между прогнозируемыми и наблюдаемыми частотами трансфузии ($HL=110,98$, $df=3$, $p<0,001$). Это указывает на плохую калибровку модели TRACK в исследуемой популяции. Калибровочный график визуализирует локальные отклонения, которые могут быть в целом статистически незначимыми, но иметь клиническое значение. В идеале все точки должны лежать на прямой данного графика. В нашем случае точки лежат выше и ниже (рис. 2). Это означает, что модель продемонстрировала систематические ошибки калибровки. Наибольшее завышение наблюдалось в зоне умеренного прогнозируемого риска (второй и третий квинтили), где модель наиболее значительно завышала риск (примерно в 6 раз). В зоне очень высокого прогнозируемого риска (пятый квинтиль) расхождение между наблюдаемой и прогнозируемой частотой трансфузий также велико, но относительное завышение меньше (в 1,28 раза). Таким образом, несмотря на неудовлетворительную калибровку, модель хорошо справляется как ранжирующий инструмент.

Это может быть обусловлено рестриктивной трансфузионной тактикой, различиями в хирургической и анестезиологической практике Центра, современными стандартами оказания кардиохирургической помощи по сравнению с исторической когортой модели.

К сильным сторонам выполненной работы можно отнести то, что учитывались трансфузии не только эритроцитсодержащих компонентов, но и всех видов плазмы и концентрата тромбоцитов. К ограничениям данного исследования можно отнести ретроспективный характер и одноцентровой дизайн.

■ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Модель TRACK продемонстрировала удовлетворительную дискриминативную способность, но неприемлемую калибровку. Систематическое завышение риска трансфузий делает невозможным ее прямое использование для прогнозирования абсолютного риска трансфузий в условиях Центра. Однако она может быть полезна для стратификации пациентов по относительному риску. Ее можно использовать для выделения различных групп риска применения аллогенной крови с целью внедрения стратегий менеджмента крови пациентов и планирования ресурсов компонентов донорской крови.



■ ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Raphael J., Mazer C.D., Wilkey A., et al. Corrigendum to 'Society of Cardiovascular Anesthesiologists (SCA) Clinical Practice Improvement (CPI) Advisory for Management of Perioperative Bleeding and Hemostasis in Cardiac Surgery Patients. *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*. 2019;33:840–841.
2. Zhang Q., Zhao W., Gao S., et al. Quality Management of a Comprehensive Blood Conservation Program During Cardiopulmonary Bypass. *The Annals of thoracic surgery*. 2022;114(1):142–150.
3. Shi J., Meng M., Sa R., et al. Blood transfusion is correlated with elevated adult all-cause mortality and cardiovascular mortality in the United States: NHANES 1999 to 2018 population-based matched propensity score study. *Clinics*. 2024;79:370–379.
4. Applefeld W.N., Ford V.J., Cortes-Puch I., et al. Risks of Restrictive Versus Liberal Red Blood Cell Transfusion Strategies in Patients With Cardiovascular Disease: An Updated Meta-Analysis. *Circulation. Cardiovascular quality and outcomes*. 2024;17(6):010957.
5. Carson J.L., Brooks M.M., Hébert P.C., et al. Restrictive or Liberal Transfusion Strategy in Myocardial Infarction and Anemia. *New Engl. J. Med*. 2023;389(26):2446–2456. doi:10.1056/NEJMoa2307983
6. Van den Eynde R., Vrancken A., Foubert R., et al. Prognostic models for prediction of perioperative allogeneic red blood cell transfusion in adult cardiac surgery: A systematic review and meta-analysis. *Transfusion*. 2025;65(2):397–409.
7. Zyuzin V.S. Validation of the prognostic effectiveness of risk stratification tools for transfusion therapy in cardiac surgery. *Transfusiology*. 2025;2:144–154. (in Russ.)
8. Ranucci M., Castelvechio S., Frigiola A., et al. Predicting transfusions in cardiac surgery: the easier, the better: the Transfusion Risk and Clinical Knowledge score. *Vox sanguinis*. 2009;96(4):324–332. <https://doi.org/10.1111/j.1423-0410.2009.01160.x>