



<https://doi.org/10.34883/PI.2025.17.6.003>



Попель Г.А.<sup>1</sup>, Моисеенко И.А.<sup>1</sup> ✉, Попель К.Г.<sup>2</sup>, Островский Ю.П.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Республиканский научно-практический центр «Кардиология», Минск, Беларусь

<sup>2</sup> Белорусский государственный медицинский университет, Минск, Беларусь

## CalRiVaGI-2: система оценки риска развития инфекционных осложнений в реконструктивной хирургии аорты

**Конфликт интересов:** не заявлен.

**Вклад авторов:** Попель Г.А. – концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, создание программы, редактирование статьи; Моисеенко И.А. – сбор и обработка материала, написание текста, создание программы; Попель К.Г. – сбор и обработка материала; Островский Ю.П. – редактирование статьи.

**Финансирование:** исследование не имело спонсорской поддержки.

Подана: 10.07.2025

Принята: 15.10.2025

Контакты: i.mois\_19@mail.ru

### Резюме

**Цель.** Разработать систему оценки риска развития инфекционных осложнений при выполнении реконструктивных оперативных вмешательств на аорто-бедренном сегменте.

**Материалы и методы.** В исследование включено 300 пациентов после реконструктивных операций на аорто-бедренном сегменте, у 177 из которых были диагностированы инфекционные осложнения. Для разработки модели оценки риска использована бинарная логистическая регрессия с функцией пошагового включения и исключения на основании значения информационного критерия Akaike. Результаты регрессионного анализа представлены в виде  $\beta$ -коэффициента, отношения шансов с 95%-м доверительным интервалом. Оценку мультиколлинеарности проводили с помощью коэффициента инфляции дисперсии. Для оценки прогностической способности модели выполняли ROC-анализ.

**Результаты.** Пороговое значение для стратификации пациентов по группам риска развития инфекционных осложнений составило 55,0%. Точность модели при этом равна 93,17%, чувствительность – 93,22%, специфичность – 93,07%. Площадь под ROC-кривой составила 0,981.

**Заключение.** В ходе исследования разработана оригинальная модель оценки риска развития инфекционных осложнений у пациентов, которым предстоит выполнение реконструктивных оперативных вмешательств на аорто-бедренном сегменте.

**Ключевые слова:** аорта, инфицирование сосудистого протеза, биологический сосудистый протез, язык программирования Python, оценка риска

Popel H.<sup>1</sup>, Maiseyenko I.<sup>1</sup> ✉, Popel K.<sup>2</sup>, Ostrovsky Yu.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Republican Scientific and Practical Centre "Cardiology", Minsk, Belarus

<sup>2</sup> Belarusian State Medical University, Minsk, Belarus

## CalRiVaGI-2: A Risk Assessment System for Infectious Complications in Reconstructive Aortic Surgery

**Conflict of interest:** nothing to declare.

**Authors' contribution:** Popel H. – study concept and design, materials processing, program creating, editing; Maiseyenko I. – materials processing, text writing, program creating; Popel K. – material processing; Ostrovsky Yu. – editing.

**Funding:** the study had no sponsorship.

Submitted: 10.07.2025

Accepted: 15.10.2025

Contacts: i.mois\_19@mail.ru

---

### Abstract

---

**Purpose.** To elaborate a system for assessing the risk of infectious complications after reconstructive surgery of the aorto-femoral segment.

**Materials and methods.** The study included 300 patients after reconstructive surgery on the aorto-femoral segment, 177 of whom were diagnosed with infectious complications. Binary logistic regression with a stepwise inclusion/exclusion function based on the Akaike Information Criterion values was used to construct a predictive model. The results of the regression analysis are presented as beta coefficients and odds ratios with 95 % confidence interval (95% CI). Multicollinearity was estimated using variance inflation factor. ROC analysis was performed to measure the predictive ability of the model.

**Results.** The cut-off value for stratification of patients by risk group for infectious complications was 55.0%. The accuracy of the model was 93.17%, sensitivity 93.22%, and specificity 93.07%; the area under the ROC curve was 0.981.

**Conclusion.** A unique model was created to assess the risk of infection in patients after reconstructive surgery of the aorto-femoral segment.

**Keywords:** aorta, vascular graft infection, biological vascular graft, Python, risk assessment

---

### ■ ВВЕДЕНИЕ

Одной из глобальных проблем в современной хирургии по-прежнему остается развитие инфекционных осложнений. Во всех областях хирургии эти осложнения являются причиной неудач оперативного лечения и летального исхода [1–3]. Инфицирование сосудистых протезов и эндопротезов является одной из наиболее значимых причин высокой летальности пациентов, которым выполнены реконструктивные оперативные вмешательства на магистральных сосудах, и влечет за собой значительные финансовые расходы в системе здравоохранения [4]. Частота развития инфекционных осложнений после реконструктивных оперативных вмешательств на терминальном отделе аорты и магистральных артериях нижних конечностей с применением синтетических сосудистых протезов составляет от 1 до 6% [5, 6].

Установить причинно-следственную связь инфицирования сосудистого протеза не всегда представляется возможным, так как в большинстве случаев она имеет



многофакторный характер. По имеющимся литературным данным, контаминация сосудистого протеза микроорганизмами может происходить как экзогенным, так и эндогенным путем [7]. Периоперационные риски развития инфекционных осложнений за последние годы заметно снизились благодаря совершенствованию техники хирургических вмешательств и широкому внедрению эндоваскулярных методов лечения. Однако, несмотря на значительные усилия, которые предпринимаются в данном направлении, все же существует определенный риск развития периоперационных инфекционных осложнений, который может быть связан с сопутствующими заболеваниями пациента и другими факторами [8, 9].

## ■ ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Разработать систему оценки риска развития инфекционных осложнений при выполнении реконструктивных оперативных вмешательств на аорто-бедренном сегменте.

## ■ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследование включены 300 пациентов, которым были выполнены реконструктивные оперативные вмешательства на аорто-бедренном сегменте. В основную группу вошли 177 пациентов с инфекционными осложнениями, в группу контроля – 123 пациента без признаков инфекционных осложнений после проведенных первичных реконструкций. Для выявления потенциальных предикторов развития инфекционных осложнений использовали бинарную логистическую регрессию с функцией пошагового включения и исключения на основании значения информационного критерия Akaike (AIC) [10, 11]. Результаты регрессионного анализа представлены в виде  $\beta$ -коэффициента, отношения шансов (ОШ) с 95%-м доверительным интервалом (95% ДИ).

Для включения в модель были отобраны следующие факторы: мужской пол, возраст пациента, концентрация гемоглобина, общее количество лейкоцитов в периферической крови, активность аланинаминотрансферазы (АЛТ), скорость клубочковой фильтрации (СКФ), концентрация С-реактивного белка в плазме крови, взятой перед операцией, хронические инфекции мочевыводящих путей, язвы желудочно-кишечного тракта в анамнезе, воспалительные изменения кожных покровов в зоне планируемого доступа, периоперационная гипергликемия более 8 ммоль/л, экстренная операция, предшествующая ампутация нижней конечности, хроническая артериальная недостаточность нижних конечностей III/IV степени, артериальная гипертензия и паховый доступ. Оценку мультиколлинеарности проводили с помощью коэффициента инфляции дисперсии (VIF – variance inflation factor).

Для оценки прогностической способности модели выполнили ROC-анализ, в результате которого с учетом индекса Youden было установлено оптимальное пороговое значение вероятности возникновения инфекционных осложнений для распределения пациентов в группы умеренного и высокого риска;  $\alpha$ -уровень статистической значимости равен 5%. Статистический анализ выполнен с использованием языка программирования R (версия 4.2.1 для ОС Windows). Программное обеспечение разработано с использованием языка программирования Python (версия 3.12.7 для ОС Windows).

## ■ РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты регрессионного анализа и проверки мультиколлинеарности представлены в таблице.

Мультиколлинеарность в регрессионной модели не зарегистрирована. AIC=127,9;  $R^2_{McFadden}=0,742$ ;  $R^2_{Nagelkerke}=0,851$ ;  $\chi^2=270,4$ ;  $p<0,001$ . Максимальное значение индекса Youden, равное 0,863, соответствует значению cut-off 55,0%. Точность модели при этом составила 93,17%, чувствительность – 93,22%, специфичность – 93,07%. Площадь под ROC-кривой – 0,981.

Интерфейс программы при запуске представлен на рис. 1.

Уравнение логистической регрессии, по которому выполняется расчет вероятности инфекционных осложнений:  $z = -5,06296 + 1,01979 * \text{мужской пол} - 0,51426 * \text{артериальная гипертензия} + 0,49731 * \text{хроническая артериальная недостаточность III/IV степени} + 0,72478 * \text{язвы ЖКТ в анамнезе} + 1,53223 * \text{периоперационная гипергликемия более 8 ммоль/л} + 1,27777 * \text{хронические инфекции мочевыводящих путей} + 0,98561 * \text{воспалительные изменения кожных покровов в зоне планируемого доступа} - 0,25562 * \text{предшествующая ампутация нижней конечности} + 2,45037 * \text{экстренная операция} + 1,36966 * \text{паховый доступ} + 0,00729 * \text{возраст (лет)} - 0,00378 * \text{концентрация гемоглобина (г/л)} - 0,17242 * \text{количество лейкоцитов в периферической крови} + 0,05996 * \text{активность АЛТ (Ед/л)} - 0,01428 * \text{скорость клубочковой фильтрации (мл/мин/1,73 м}^2\text{)} + 0,13738 * \text{концентрация С-реактивного белка (мг/л)}$ . При наличии качественного признака коэффициент в уравнении умножается на 1, при отсутствии – на 0.

### Результаты бинарной логистической регрессии Results of binomial logistic regression

Предиктор	VIF	$\beta$	ОШ (95% ДИ)	P
Возраст	1,765	0,00729	1,01 (0,92–1,10)	0,869
Мужской пол	1,490	1,01979	2,77 (0,35–21,94)	0,334
Концентрация гемоглобина, г/л	1,321	-0,00378	0,99 (0,97–1,02)	0,774
Количество лейкоцитов в периферической крови, $\times 10^9$ клеток/л	1,354	-0,17242	0,84 (0,70–1,01)	0,066
Активность АЛТ, Ед/л	1,668	0,05996	1,06 (1,01–1,11)	<b>0,009</b>
Скорость клубочковой фильтрации, мл/мин/1,73 м <sup>2</sup>	1,863	-0,01428	0,99 (0,95–1,02)	0,417
Концентрация С-реактивного белка в плазме крови перед операцией, мг/л	1,680	0,13738	1,15 (1,09–1,21)	<b>&lt;0,001</b>
Хронические инфекции мочевыводящих путей	1,254	1,27777	3,59 (0,67–18,56)	0,127
Язвы ЖКТ в анамнезе	1,124	0,72478	2,06 (0,43–9,85)	0,363
Воспалительные изменения кожных покровов в зоне доступа	1,268	0,98561	2,68 (0,72–9,95)	0,141
Периоперационная гипергликемия $\geq 8$ ммоль/л	1,235	1,53223	4,63 (1,31–16,38)	<b>0,017</b>
Экстренная операция	1,422	2,45037	11,59 (2,68–50,11)	<b>0,001</b>
Предшествующая ампутация нижней конечности	1,378	-0,25562	0,77 (0,05–12,29)	0,856
Хроническая артериальная недостаточность нижних конечностей III/IV степени	1,279	0,49731	1,64 (0,51–5,38)	0,408
Артериальная гипертензия	1,259	-0,51426	0,60 (0,16–2,22)	0,442
Паховый доступ	1,509	1,36966	3,93 (0,85–18,29)	0,081

СaRMMG-2: оценка риска развития инфекционных осложнений в реконструктивной хирургии аорты

Ф.И.О. пациента: \_\_\_\_\_ № медицинской карты: \_\_\_\_\_

Организация здравоохранения: \_\_\_\_\_

**Факторы риска**

- Мужской пол
- Артериальная гипертензия
- ХАН нижних конечностей III - IV степени
- Языки желудочно-кишечного тракта в анализе
- Предыдущая ампутация нижней конечности
- Хронические инфекции нечлыводящих путей
- Воспалительные изменения кожных покровов в зоне доступа
- Периперационная гипергликемия  $\geq 8$  ммоль/л
- Экстренная операция
- Плаховый доступ

Возраст, лет: 55

Концентрация гемоглобина перед операцией, г/л: 130

Содержание лейкоцитов в периферической крови,  $\times 10^9/\text{л}$ : 10,0

Активность АЛТ перед операцией, Ед/л: 15

Скорость клубочковой фильтрации (СКД-EP1), мл/мин/1,73 м2: 70

Концентрация С-реактивного белка в крови перед операцией, мг/л: 8,0

Рекомендации по периперационному ведению:

1. Назначение антибактериальных лекарственных средств в профилактической дозе.
2. Использование всех типов сосудистых протезов.

Вероятность инфекционных осложнений, %: 0.279

Риск инфекционных осложнений: Низкий

Генерация протокола      Запись в БД      Открыть БД

© 2024. Лаборатория хирургии сосудов. Все права защищены.  
Государственное учреждение "Республиканский научно-практический центр "Кардиология" Министерства здравоохранения Республики Беларусь.

**Рис. 1. Вид окна программы после запуска**  
**Fig. 1. Program window after startup**

Для расчета вероятности возникновения инфекционных осложнений применяли следующую формулу:

$$P = \frac{1}{1 + e^{-z}} \times 100\%,$$

где P – вероятность инфекционных осложнений (%), z – значение, рассчитанное по уравнению регрессии; e – основание натурального логарифма.

При вероятности инфекционных осложнений менее 55% рекомендовано назначение антибактериальных лекарственных средств в профилактической дозе. В качестве пластического материала можно использовать все имеющиеся в наличии и зарегистрированные в установленном порядке типы сосудистых протезов (рис. 2).

СaRMMG-2: оценка риска развития инфекционных осложнений в реконструктивной хирургии аорты

Ф.И.О. пациента: Иванов Иван Иванович № медицинской карты: 36527/851

Организация здравоохранения: РНПЦ "Кардиология"

**Факторы риска**

- Мужской пол
- Артериальная гипертензия
- ХАН нижних конечностей III - IV степени
- Языки желудочно-кишечного тракта в анализе
- Предыдущая ампутация нижней конечности
- Хронические инфекции нечлыводящих путей
- Воспалительные изменения кожных покровов в зоне доступа
- Периперационная гипергликемия  $\geq 8$  ммоль/л
- Экстренная операция
- Плаховый доступ

Возраст, лет: 61

Концентрация гемоглобина перед операцией, г/л: 130

Содержание лейкоцитов в периферической крови,  $\times 10^9/\text{л}$ : 10,0

Активность АЛТ перед операцией, Ед/л: 15

Скорость клубочковой фильтрации (СКД-EP1), мл/мин/1,73 м2: 70

Концентрация С-реактивного белка в крови перед операцией, мг/л: 4,6

Рекомендации по периперационному ведению:

1. Назначение антибактериальных лекарственных средств в профилактической дозе.
2. Использование всех типов сосудистых протезов.

Вероятность инфекционных осложнений, %: 2.201

Риск инфекционных осложнений: Умеренный

Генерация протокола      Запись в БД      Открыть БД

© 2024. Лаборатория хирургии сосудов. Все права защищены.  
Государственное учреждение "Республиканский научно-практический центр "Кардиология" Министерства здравоохранения Республики Беларусь.

**Рис. 2. Умеренный риск инфекционных осложнений**  
**Fig. 2. Moderate risk of infectious complications**

Ф.И.О. пациента: Иванов Иван Иванович | NO медицинской карты: 36527/851  
 Организация здравоохранения: РНПЦ "Кардиология"

**Факторы риска:**  
 Мужской пол | Возраст, лет: 61  
 Артериальная гипертензия | Концентрация гемоглобина перед операцией, г/л: 90  
 ХАН нижних конечностей III - IV степени | Содержание лейкоцитов в периферической крови,  $\times 10^9/\text{л}$ : 7.2  
 Язвы желудочно-кишечного тракта в анамнезе  
 Предшествующая ампутация нижней конечности  
 Хронические инфекции мочевыводящих путей | Активность АЛТ перед операцией, Ед/л: 15  
 Воспалительные изменения кожных покровов в зоне доступа | Скорость клубочковой фильтрации (СКД-EP1), мл/мин/1.73 м2: 58  
 Периперационная гипергликемия  $\geq 8$  ммоль/л | Концентрация С-реактивного белка в крови перед операцией, мг/л: 14.9  
 Экстренная операция  
 Паховый доступ

Рекомендации по периперационному ведению:  
 1. Антибактериальная терапия.  
 2. Использование биологического сосудистого протеза.

Вероятность инфекционных осложнений, %: 55 | Сброс  
 Риск инфекционных осложнений: Высокий

Генерация протокола | Запись в БД | Открыть БД

© 2024. Лаборатория хирургии сосудов. Все права защищены. Государственное учреждение "Республиканский научно-практический центр "Кардиология" Министерства здравоохранения Республики Беларусь.

**Рис. 3. Высокий риск инфекционных осложнений**  
**Fig. 3. High risk of infectious complications**

При вероятности инфекционных осложнений 55% и более рекомендовано назначение дифференцированной антибактериальной терапии. При выборе пластического материала для реконструкции предпочтение следует отдать биологическому сосудистому протезу (рис. 3).

Лаборатория хирургии сосудов  
 Республиканский научно-практический центр "Кардиология"  
 220036, г. Минск, ул. Розы Люксембург, д. 110 Б  
 Официальный сайт: vascularresearch.by  
 Перисит: registry.vascularresearch.by  
 Email: laboratory@vascularresearch.by

Протокол оценки риска развития инфекционных осложнений

Фамилия, имя, отчество: Иванов Иван Иванович  
 Номер медицинской карты: 36527/851  
 Организация здравоохранения: РНПЦ "Кардиология"

Возраст, лет	61
Концентрация гемоглобина перед операцией, г/л	130
Содержание лейкоцитов в периферической крови, $\times 10^{12}$ клеток/л	10.0
Активность аланинаминотрансферазы перед операцией, Ед/л	15
Расчетная скорость клубочковой фильтрации (СКД-EP1), мл/мин/1.73 м2	70
Концентрация С-реактивного белка в крови перед операцией, мг/л	4.6
Мужской пол	Да
Артериальная гипертензия	Да
ХАН нижних конечностей III-IV степени	Нет
Язвы желудочно-кишечного тракта в анамнезе	Да
Предшествующая ампутация нижней конечности	Нет
Хронические инфекции мочевыводящих путей	Да
Воспалительные изменения кожных покровов в зоне доступа	Нет
Периперационная гипергликемия $\geq 8$ ммоль/л	Нет
Экстренная операция	Нет
Паховый доступ	Нет

Рекомендации по периперационному ведению:  
 1. Назначение антибактериальных лекарственных средств в профилактической дозе.  
 2. Использование всех типов сосудистых протезов.

**2.20**

Создание протокола: 22/11/2024 11:05:09

Лаборатория хирургии сосудов  
 Республиканский научно-практический центр "Кардиология"  
 220036, г. Минск, ул. Розы Люксембург, д. 110 Б  
 Официальный сайт: vascularresearch.by  
 Перисит: registry.vascularresearch.by  
 Email: laboratory@vascularresearch.by

Протокол оценки риска развития инфекционных осложнений

Фамилия, имя, отчество: Иванов Иван Иванович  
 Номер медицинской карты: 36527/851  
 Организация здравоохранения: РНПЦ "Кардиология"

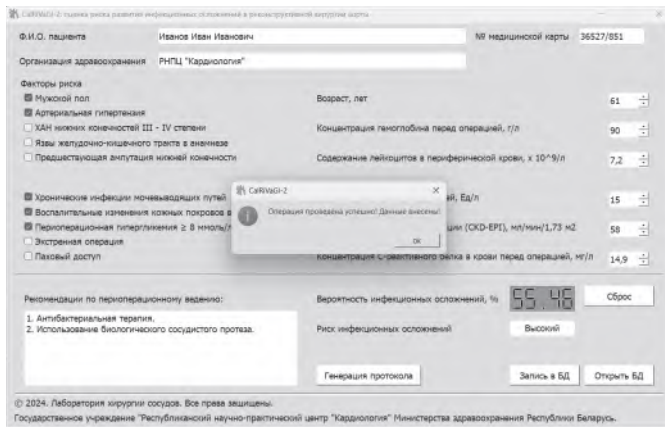
Возраст, лет	61
Концентрация гемоглобина перед операцией, г/л	90
Содержание лейкоцитов в периферической крови, $\times 10^{12}$ клеток/л	7.2
Активность аланинаминотрансферазы перед операцией, Ед/л	15
Расчетная скорость клубочковой фильтрации (СКД-EP1), мл/мин/1.73 м2	58
Концентрация С-реактивного белка в крови перед операцией, мг/л	14.9
Мужской пол	Да
Артериальная гипертензия	Да
ХАН нижних конечностей III-IV степени	Нет
Язвы желудочно-кишечного тракта в анамнезе	Нет
Предшествующая ампутация нижней конечности	Нет
Хронические инфекции мочевыводящих путей	Да
Воспалительные изменения кожных покровов в зоне доступа	Да
Периперационная гипергликемия $\geq 8$ ммоль/л	Да
Экстренная операция	Нет
Паховый доступ	Нет

Рекомендации по периперационному ведению:  
 1. Антибактериальная терапия.  
 2. Использование биологического сосудистого протеза.

**55.46**

Создание протокола: 22/11/2024 11:07:28

**Рис. 4. Протоколы оценки риска развития инфекционных осложнений**  
**Fig. 4. Protocols for assessing the risk of infectious complications**



**Рис. 5. Сохранение данных оценки риска в локальной базе данных**  
**Fig. 5. Storing risk assessment data in a local database**

При нажатии на кнопку «Генерация протокола» на основании введенных данных происходит создание протокола оценки риска развития инфекционных осложнений, который сохраняется в корневой папке в виде файла temp.pdf. (рис. 4).

При необходимости результаты расчета могут быть сохранены в локальной базе данных (рис. 5).

## ■ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная оригинальная модель оценки риска развития инфекционных осложнений у пациентов, которым планируется выполнение реконструктивных операций на аорто-бедренном сегменте, позволит снизить количество послеоперационных инфекционных осложнений за счет дифференцированного подхода к выбору сосудистых протезов.

## ■ ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Colacchio E.C., D'Orta M., Grando B., et al. A Systematic Review of In-situ Aortic Reconstructions for Abdominal Aortic Graft and Endograft Infections: Outcomes of Currently Available Options for Surgical Replacement. *Ann. Vasc. Surg.* 2023;95:307–316. doi: 10.1016/j.avsg.2023.03.005
- Wouthuyzen-Bakker M., van Oosten M., Bierman W., et al. Diagnosis and treatment of vascular graft and endograft infections: a structured clinical approach. *Int. J. Infect. Dis.* 2023;126:22–27. doi: 10.1016/j.ijid.2022.11.011
- Duarte A., Gouveia E. Melo R., Mendes Pedro D., et al. Predictive Factors for Aortic Graft Infection: A Case-Control Study. *Ann. Vasc. Surg.* 2022;87:402–410. doi: 10.1016/j.avsg.2022.05.015
- Chong J.H., Zhang Y., Harky A., Field M. Management and Outcomes of Proximal Aortic Graft Infection: A Systematic Review. *Heart Lung Circ.* 2022;31:49–58. doi: 10.1016/j.hlc.2021.07.026
- Gavali H., Mani K., Furebring M., et al. Semi-Conservative Treatment Versus Radical Surgery in Abdominal Aortic Graft and Endograft Infections. *Eur. J. Vasc. Endovasc. Surg.* 2023;3:397–406. doi: 10.1016/j.ejvs.2023.06.019
- Dominguez-Cainzos J., Rodrigo-Manjon A., Rodriguez-Chinesta J.M., et al. Abdominal aortic endograft infection. A decade of experience and literature review. *Enferm. Infecc. Microbiol. Clin. (Engl Ed)* 2023;3:155–161. doi: 10.1016/j.eimce.2022.07.002
- Tabaja H., Chesdachai S., Shah A.S., et al. Fostering Collaborative Teamwork-A Comprehensive Approach to Vascular Graft Infection Following Arterial Reconstructive Surgery. *Clin. Infect. Dis.* 2024;6:69–80. doi: 10.1093/cid/ciae150
- Adlouni M., Sheikh D., Dang V., et al. Diagnosis of prosthetic vascular graft infection using the management aortic graft infection collaboration (MAGIC) criteria. *Vascular.* 2025;13:17085381251326995. doi: 10.1177/17085381251326995
- Abdul Halim R., Challita C., Omeirat N., Kanafani Z.A. Vascular Graft Infections: Updates on a Challenging Problem. *Infect. Dis. Clin. North. Am.* 2024;4:657–671. doi: 10.1016/j.idc.2024.07.003
- Popel H.A., Maiseyken I.A. CalRiVaGI Program: Calculating the Risk of Infectious Complications in Reconstructive Vascular Surgery. *Surg. Eastern Europe.* 2024;13(2):167–174. doi: 10.34883/PE.2024.13.2.028 (in Russian).
- Ewout W. Steyerberg. *Clinical Prediction Models: A Practical Approach to Development, Validation, and Updating.* 2<sup>nd</sup> Edition. Cham: Springer; 2019; 558p.