



Индексы системного воспаления в прогнозировании ранних инфекций после эндопротезирования крупных суставов

Л.В. Любимова¹, Е.А. Микишанина^{1,2}, Н.С. Николаев^{1,2}, Е.А. Любимов¹,
Е.В. Преображенская¹

¹ ФГБУ «Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования» Минздрава России (г. Чебоксары),
г. Чебоксары, Россия

² ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова», г. Чебоксары, Россия

Реферат

Актуальность. Развитие инфекционных осложнений после эндопротезирования — серьезная проблема как для пациента, так и для лечебного учреждения, в связи с чем их прогнозирование имеет важное клиническое значение.

Цель исследования — определить возможность использования индексов системного воспаления (SII, SIRI, AISI) для прогноза развития ранней перипротезной инфекции на этапе планирования эндопротезирования крупных суставов.

Материал и методы. Проведено одноцентровое ретроспективное нерандомизированное сравнительное исследование случаев первичного эндопротезирования тазобедренного или коленного сустава ($n = 6036$): группа 1 — пациенты без последующего развития инфекции на сроке ≤ 4 нед. после операции ($n = 5843$); группа 2 — с последующим развитием перипротезной инфекции ($n = 193$). Рассчитаны пороговые значения количественных показателей (ИМТ, возраста, индексов воспаления SII, SIRI, AISI). Определен вклад признаков (в т. ч. категориальных — пол, сустав) в риск развития ранней инфекции методом машинного обучения с помощью искусственного интеллекта на основе многофакторной логистической регрессии.

Результаты. Группы исследования были сопоставимы по полу, ИМТ, оперированным суставам, различаясь по возрасту ($p = 0,0067$). Показатели индексов системного воспаления SIRI, SII, AISI у пациентов из группы 2 были статистически значимо выше. Наиболее значимым фактором в прогнозе развития инфекции является индекс SII с коэффициентом логистической регрессии 0,2108. Полученные пороговые значения SII и SIRI составляли 498,9 и 0,8 соответственно, AUC = 0,55 (95% ДИ: 0,54–0,56). Построенная модель прогноза развития ранней инфекции после эндопротезирования на основе многофакторной логистической регрессии показала средний уровень точности AUC = 0,62 (95% ДИ: 0,30–0,72), определив низкий риск инфекции при коэффициенте от 0,30 до 0,50, высокий — в пределах 0,51–0,72.

Заключение. Использование индексов системного воспаления (SII, SIRI, AISI) в математической модели прогноза развития ранней перипротезной инфекции может помочь принять необходимые меры по предоперационной подготовке пациента к первичному эндопротезированию и снизить частоту ее возникновения.

Ключевые слова: индексы системного воспаления; SIRI; SII; AISI; ранняя инфекция; прогноз риска инфекций; эндопротезирование.

Для цитирования: Любимова Л.В., Микишанина Е.А., Николаев Н.С., Любимов Е.А., Преображенская Е.В. Индексы системного воспаления в прогнозировании ранних инфекций после эндопротезирования крупных суставов. *Травматология и ортопедия России*. 2025;31(4):41–52. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17754>.

Любимова Людмила Валентиновна; e-mail: borisova-80@mail.ru

Рукопись получена: 07.08.2025. Рукопись одобрена: 01.09.2025. Статья опубликована онлайн: 22.09.2025.

© Эко-Вектор, 2025



Indices of Systemic Inflammation for Predicting Early Infections After Major Joint Arthroplasty

Lyudmila V. Lyubimova¹, Evgeniya A. Mikishanina^{1,2}, Nikolay S. Nikolaev^{1,2},
Evgeniy A. Lyubimov¹, Elena V. Preobrazhenskaya¹

¹ Federal Center of Traumatology, Orthopedics and Arthroplasty (Cheboksary), Cheboksary, Russia

² I.N. Ulyanov Chuvash State University, Cheboksary, Russia

Abstract

Background. Infectious complications after arthroplasty pose a serious problem for both the patient and the health facility. Therefore, their prognosis is of great clinical importance.

The aim of the study — to determine the feasibility of using systemic inflammation indices (SII, SIRI, AISI) to predict the development of early periprosthetic joint infection at the stage of planning major joint arthroplasty.

Methods. A single-center retrospective non-randomized comparative study of cases of primary hip or knee arthroplasty (n = 6036) was conducted: Group 1 — patients without subsequent development of infection at a period of ≤ 4 weeks after surgery (n = 5843); Group 2 — with subsequent development of periprosthetic joint infection (n = 193). Threshold values of quantitative indicators (BMI, age, inflammation indices SII, SIRI, and AISI) were calculated. The contribution of variables (including categorical ones such as sex and joint) to the risk of developing early infection was determined using AI-driven machine learning based on multivariate logistic regression.

Results. The study groups were comparable in terms of sex, BMI, and operated joints, but differed in terms of age (p = 0.0067). The values of SIRI, SII, and AISI were statistically significantly higher in Group 2. SII (with a logistic regression coefficient of 0.2108) was the most significant factor in predicting the development of infection. The obtained SII and SIRI threshold values were 498.9 and 0.8 (respectively), with an AUC of 0.55 (95% CI: 0.54-0.56). The constructed model for predicting the risk of early infection after arthroplasty based on multivariate logistic regression showed an average accuracy level of AUC = 0.62 (95% CI: 0.30-0.72), indicating a low risk of infection with a coefficient between 0.30 and 0.50, and a high risk with a coefficient between 0.51 and 0.72.

Conclusion. The use of systemic inflammation indices (SII, SIRI, AISI) in a mathematical model for predicting early periprosthetic infection can help in taking necessary measures for preoperative preparation of the patient before primary arthroplasty to reduce the incidence of this infectious complication.

Keywords: systemic inflammation indices; SIRI; SII; AISI; early infection; infection risk prediction; arthroplasty.

Cite as: Lyubimova L.V., Mikishanina E.A., Nikolaev N.S., Lyubimov E.A., Preobrazhenskaya E.V. Indices of Systemic Inflammation for Predicting Early Infections After Major Joint Arthroplasty. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2025;31(4):41-52. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17754>.

✉ Lyudmila V. Lyubimova; e-mail: borisova-80@mail.ru

Submitted: 07.08.2025. Accepted: 01.09.2025. Published online: 22.09.2025.

© Eco-Vector, 2025

ВВЕДЕНИЕ

Инфекционные осложнения после эндопротезирования являются серьезной проблемой как для пациента, так и для лечебного учреждения, в связи с чем прогнозирование таких осложнений имеет важное клиническое значение [1]. Среди сывороточных маркеров воспаления важно найти наиболее информативные, чтобы разработать простой и эффективный метод выявления риска инфекций на этапе подготовки пациента к эндопротезированию.

Общий анализ крови (ОАК) является простым, общедоступным, недорогим и информативным методом исследования, используемым врачами в повседневной практике для диагностики различных заболеваний, в том числе инфекционных. Однако информативность результатов ОАК касаясь отдельных форменных элементов крови ограничена.

В последние годы в разных областях медицины все чаще стали использовать комбинацию отдельных параметров ОАК для оценки прогноза тяжести течения заболеваний, которые получили название «новые интегральные маркеры воспаления». К ним относятся SII (Systemic Immune-Inflammation Index) — индекс системного воспаления, SIRI (Systemic Inflammation Response Index) — индекс системного воспалительного ответа и AISI (Aggregate Index of Systemic Inflammation) — совокупный системный индекс воспаления. Эти индексы объединяют несколько параметров крови, что повышает их информативность по сравнению с отдельными маркерами. Они комплексно отражают активность лейкоцитов, нейтрофилов, моноцитов и тромбоцитов, играющих ключевую роль в инфекционном процессе [2, 3, 4].

Показатель SII математически соотносит тромбоциты, нейтрофилы и лимфоциты и, как было показано, является хорошим предиктором развития синдрома системного воспалительного ответа и сепсиса у пациентов с одонтогенным абсцессом [2].

При расчете показателя SIRI используются данные о количестве нейтрофилов, моноцитов и лимфоцитов. Показатель доказал свою полезность в прогнозировании успешной реимплантации протеза после двухэтапных ревизионных операций («1,5-этапные ревизионные артропластики») в хронических случаях перипротезной инфекции (ППИ) [3].

Показатель AISI, отражающий соотношение нейтрофилов, лимфоцитов, моноцитов и тромбоцитов, является инструментом прогнозирования тяжести течения заболевания и смертности при различных воспалительных процессах [4]. Индекс

AISI является более точным предиктором тяжести одонтогенного абсцесса по сравнению с другими системными воспалительными маркерами и СРБ. Его внедрение в клиническую практику может улучшить раннее выявление пациентов с высоким риском, что приведет к улучшению результатов лечения и снижению вероятности развития осложнений [5].

В области ортопедии и травматологии эти биомаркеры полезны для количественной оценки тяжести хирургической травмы и выработки рекомендаций для различных протоколов остеосинтеза [6, 7].

Мы предположили, что индексы воспаления SIRI, SII и AISI благодаря своей способности отражать системное воспаление и иммунный дисбаланс могут быть полезны для прогнозирования ранних инфекционных осложнений в области проведенного хирургического вмешательства (эндопротезирования). Гипотеза данного исследования заключается в том, что названные индексы могут указывать на скрытое воспаление, ранее произошедшую колонизацию носоглотки, кишечника, мочевыводящих путей и других органов патогенными микроорганизмами, способствующие развитию ранней ППИ.

Цель исследования — определить возможность использования индексов системного воспаления (SII, SIRI, AISI) для прогноза развития ранней перипротезной инфекции на этапе планирования эндопротезирования крупных суставов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Одноцентровое ретроспективное нерандомизированное сравнительное исследование проведено в условиях Федерального центра травматологии, ортопедии и эндопротезирования (г. Чебоксары), далее — Центр.

Выборка включала случаи первичного эндопротезирования тазобедренного или коленного сустава ($n = 6036$), выполненного в Центре, с изучением данных медицинской информационной системы «Медиалог» (МИС).

Критерии включения: возраст пациента — 18 лет и старше, шифры заболеваний M17.0-M17.9 и M16.0-M16.9 согласно МКБ-10.

Критерии исключения: ревизионные вмешательства, инфекционный артрит, системные заболевания.

В группу 1 вошли пациенты без последующего развития инфекции на сроке 4 нед. и менее после первичного эндопротезирования, проведенного в 2023 г. ($n = 5843$); в группу 2 — пациенты с ранней ППИ ($n = 193$), оперированные в период с 2015 по 2023 г. (ввиду крайне небольшого числа наблюдаемых случаев ранней ППИ) (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика групп исследования

Показатель		Группа 1	Группа 2	<i>p</i>
Пол	мужской, <i>n</i>	2102	78	0,2350
	женский, <i>n</i>	3741	115	
Сустав	коленный, <i>n</i>	2895	99	0,6860
	тазобедренный, <i>n</i>	2948	94	
Возраст, лет, Ме [Q_1 ; Q_3]		64 [57; 70]	62 [54; 68]	0,0067
ИМТ, кг/м ² , Ме [Q_1 ; Q_3]		30,5 [27,2; 34,1]	31,0 [26,7; 34,5]	0,6153

Катамнез собран по данным МИС. Средний срок наблюдения за пациентами обеих групп составил 3,6 года.

Группы исследования были сопоставимы по полу, ИМТ и соотношению оперированных коленных и тазобедренных суставов. Группа 2 статистически значимо отличалась от группы 1 по возрасту с преобладанием более молодых пациентов.

Помимо демографических характеристик (пол, возраст) и ИМТ, оценивались: лабораторные данные (ОАК с подсчетом форменных элементов — нейтрофилов, моноцитов, лимфоцитов, тромбоцитов) при поступлении пациентов в стационар перед первичной имплантацией эндопротеза коленного или тазобедренного сустава; диагноз при поступлении (МКБ-10). Индексы системного воспаления рассчитывались по следующим формулам:

$SIRI$ = количество нейтрофилов \times количество моноцитов \div количество лимфоцитов;

SII = количество нейтрофилов \times количество тромбоцитов \div количество лимфоцитов;

$AISI$ = количество нейтрофилов \times количество моноцитов \times количество тромбоцитов \div количество лимфоцитов.

Все форменные элементы крови при расчетах представлены в абсолютных числах.

На первом этапе исследования был проведен расчет количественных показателей, в том числе индексов системного воспаления, с оценкой чувствительности и специфичности каждого из факторов, а также и их пороговых значений. С целью улучшения точности прогноза инфекции показатели были объединены с построением многофакторной регрессионной модели. Вклад категориальных признаков (пол, сустав) в развитие ранних инфекционных осложнений определяли методом логистической регрессии.

На втором этапе многофакторная модель риска ранних инфекционных осложнений после эндопротезирования коленного и тазобедренного суставов тестировалась с использованием машинного обучения на основе искусственного интел-

лекта, позволяющего оценить достоверность полученных на первом этапе результатов. В качестве модели для тестирования предложенного алгоритма прогноза ранних инфекционных осложнений была выбрана взвешенная логистическая регрессия (ввиду наличия категориальных данных, бинарной классификации, несбалансированности данных по причине редкости возникновения ранней инфекции). Эта модель эффективно борется с дисбалансом классов, улучшает калибровку предсказанных вероятностей, автоматически оцифровывает категориальные данные.

Статистический анализ

Статистический анализ выполнен с использованием программного пакета MedCalc и встроенной библиотеки описательной статистики Python statistics для программ на языке Python. Оценка нормальности распределения непрерывных переменных проводилась с использованием тестов Колмогорова–Смирнова и Шапиро–Уилка (для выборки объемом $n = 193$). Для количественных показателей с распределением, отличным от нормального, рассчитывали медиану (Ме) и межквартильный интервал [Q_1 ; Q_3]. Для категориальных переменных межгрупповая значимость исследовалась с помощью χ^2 или точного критерия Фишера. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$. Для определения диагностической мощности предлагаемых сывороточных биомаркеров (пороговые значения, AUC, 95% ДИ, чувствительность и специфичность) была построена кривая рабочей характеристики приемника (ROC). Для определения оптимального порогового значения для каждого из биомаркеров использовался индекс Юдена (индекс Юдена = чувствительность + специфичность — 1, диапазон от 0 до 1). Многофакторный анализ проведен с помощью построения многофакторной регрессионной модели на основе взвешенной логистической регрессии. Для оценки влияния данных на результативный признак (возникновение инфекции) использован коэффициент Крамера.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Индексы системного воспаления SIRI, SII, AISI у пациентов группы 2 были статистически значимо выше, чем в группе 1 (табл. 2).

На основе программного анализа всех исследованных случаев получены пороговые значения возраста, ИМТ, SIRI, SII, AISI, сопряженные с ранней инфекцией. Среди изучаемых параметров AISI имел наиболее значимую диагностическую ценность (AUC = 0,56 с чувствительностью 54,4% и специфичностью 56,8%) (табл. 3).

На рисунке 1 представлены ROC-кривые значимости количественных факторов (индексов системного воспаления SIRI, SII и AISI, ИМТ, возраста) в качестве предикторов ранней инфекции после эндопротезирования крупных суставов. Площадь AUC под ROC-кривой графика чувствительности и специфичности варьирует от 0 до 1, показывая корреляцию исследуемого показателя с наличием инфекции. Чем ближе результат AUC к 1, тем выше информативность интегрального показателя.

Для повышения точности прогноза инфекционных осложнений мы решили провести анализ совокупности нескольких факторов со стороны пациента, которые являются независимыми и

объективными: пол, ИМТ, возраст, сустав, SII, SIRI. Показатель AISI был исключен из анализа в силу его высокой корреляции с другими показателями системного воспаления (SII и SIRI).

В ходе тестирования модели было выбрано оптимальное соотношение при разделении данных на обучающую и тестовую выборки: 80% данных выбрано для обучения ($n_1 = 4828$), 20% — для тестирования ($n_2 = 1208$).

В основе модели лежит логистическая (сигмоидная) функция:

$$p = \frac{1}{1 + e^{-z}},$$

где $z = a_1X_1 + a_2X_2 + \dots$, $X_1, X_2 + \dots$ — факторы; a_1, a_2 — найденные коэффициенты, e — постоянная величина; p — вероятность попадания в тот или иной класс (класс «без инфекции», класс «с инфекцией»).

Для удобства построения модели в ходе машинного обучения мы оцифровали категориальные признаки (пол, сустав). Количественные данные также были оцифрованы: если фактическое значение признака соответствовало вычисленному пороговому значению, оно принималось за «1» (риск инфекции высокий); при меньших значениях — за «0» (риск инфекции низкий) (табл. 4).

Таблица 2

Сравнение показателей системного воспаления в группах исследования, Me [Q₁; Q₃]

Индекс системного воспаления	Группа 1	Группа 2	<i>p</i>
SIRI	1,1 [0,8; 1,6]	1,2 [0,9; 1,8]	0,0195
SII	484,0 [349,8; 676,2]	533,9 [363,6; 770,7]	0,0191
AISI	280,1 [185,7; 427,4]	326,6 [201,2; 489,3]	0,0054

Таблица 3

ROC-анализ индексов системного воспаления, возраста и ИМТ

Параметр	Возраст, лет	ИМТ, кг/м ²	SIRI	SII	AISI
Пороговые значения	≤ 61	> 32,5	> 0,8	> 498,9	> 312,2
AUC (95% ДИ)	0,56 (0,55–0,57)	0,51 (0,50–0,52)	0,55 (0,54–0,56)	0,55 (0,54–0,56)	0,56 (0,55–0,57)
Чувствительность (95% ДИ)	48,2 (41,0–55,5)	40,9 (33,9–48,2)	86,5 (80,9–91,0)	58,0 (50,7–65,1)	54,4 (47,1–61,6)
Специфичность (95% ДИ)	61,4 (60,2–62,7)	64,7 (63,5–66,0)	22,1 (21,0–23,2)	52,7 (51,4–54,0)	56,8 (55,5–58,0)
Положительная прогностическая ценность, %	4,0	3,7	3,5	3,9	4,0
Отрицательная прогностическая ценность, %	97,3	97,1	98,0	97,4	97,4
Точность, %	61,0	64,0	24,1	52,9	56,7

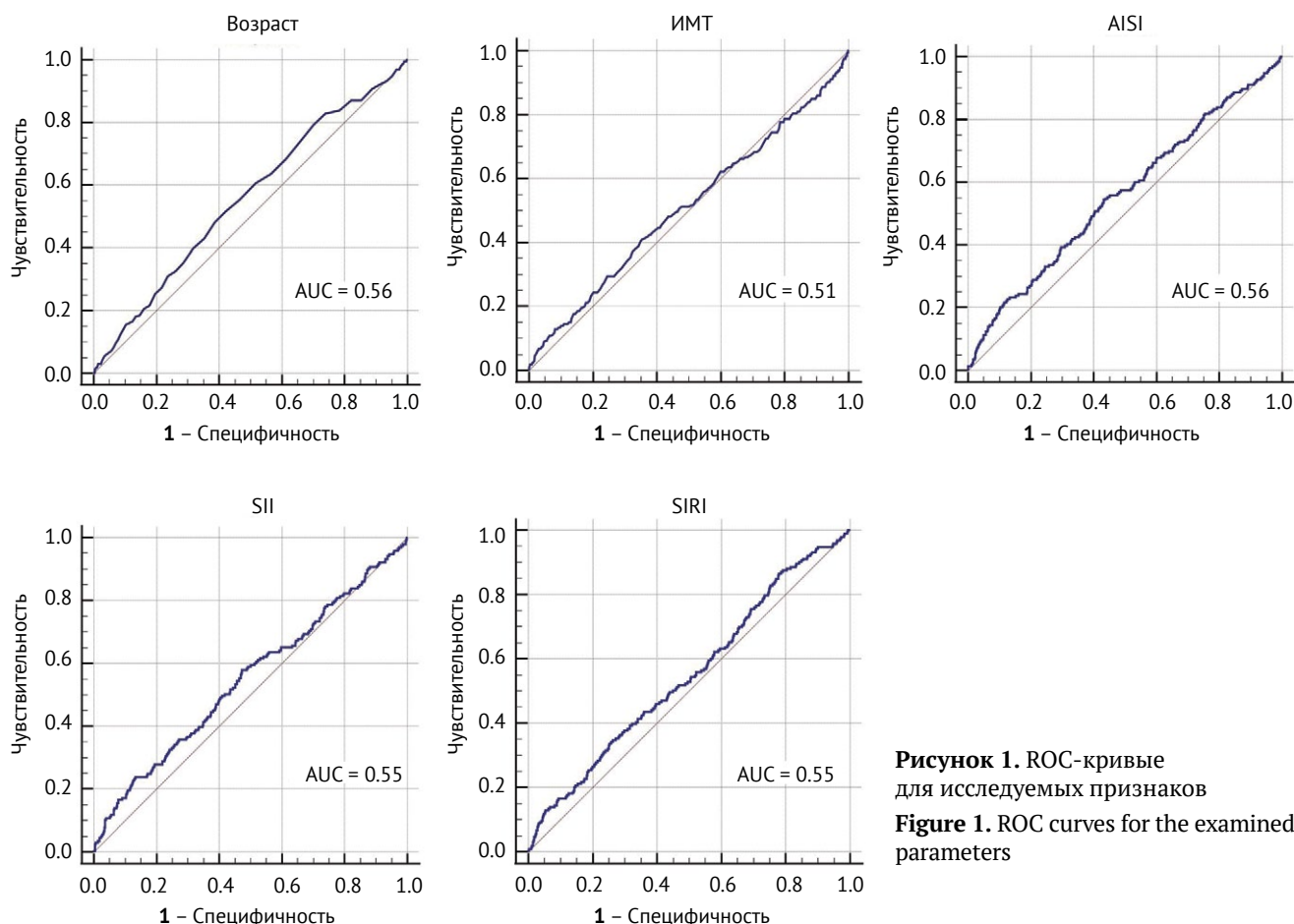


Рисунок 1. ROC-кривые для исследуемых признаков
Figure 1. ROC curves for the examined parameters

Таблица 4
Модель прогноза риска ранней инфекции после эндопротезирования на основе многофакторной логистической регрессии

Признак	Коэффициент	Значение признака	
Количественные признаки			
		0	1
Возраст	0,1827	> 61	≤ 61
ИМТ	0,1263	≤ 32,5	> 32,5
SIRI	0,1532	≤ 0,8	> 0,8
SII	0,2108	≤ 498,9	> 498,9
Категориальные признаки			
Пол	-0,1365	Женский	Мужской
	0,1260		
Сустав	-0,1712	Тазобедренный	Коленный
	0,1607		

На рисунке 2 графически представлены значения коэффициентов модели, характеризующие важность признаков. Положительное значение коэффициента говорит о положительном «весе» данного признака в возникновении нежелательного события, отрицательное значение коэффициента — о снижении вероятности появления нежелатель-

ного события (риска возникновения инфекции). Таким образом, «женский пол» и «тазобедренный сустав» не увеличивают риск возникновения ранней инфекции, в то время как все остальные факторы его повышают. Наиболее значимым фактором в прогнозе развития инфекции является индекс SII с коэффициентом логистической регрессии 0,2108.

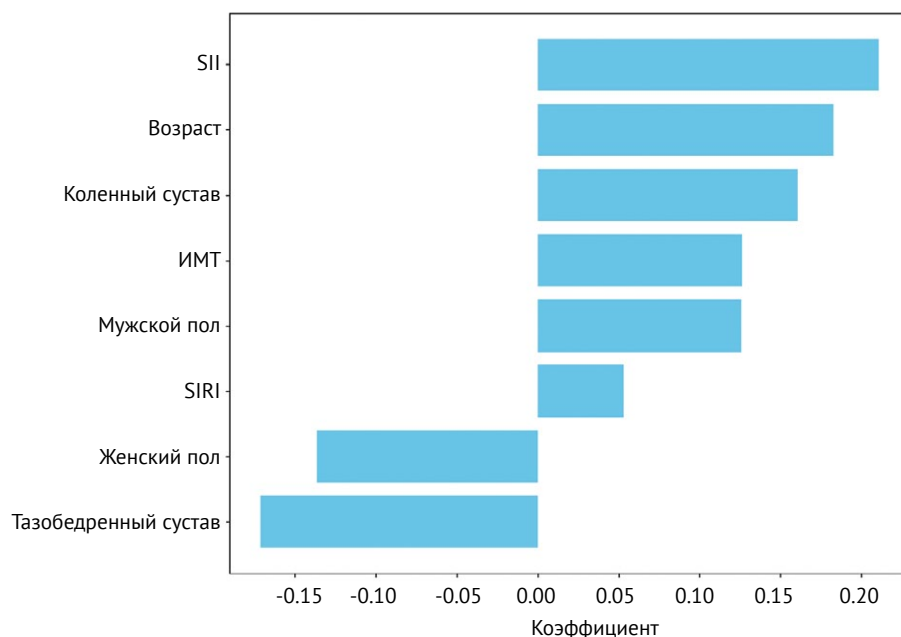


Рисунок 2. Графическое распределение степени влияния признаков на риск развития ранних инфекционных осложнений
Figure 2. Representation of the impact of variables on the risk of early infectious complications

На основании найденных коэффициентов логистической функции построена ROC-кривая для многофакторного анализа: AUC = 0,62 (95% ДИ: 0,30–0,72) с чувствительностью 55,2% и специфичностью 65,6%. Результатом построения модели является вероятность попадания пациента с совокупностью изучаемых признаков в группу «с инфекцией» или в группу «без инфекции». Эта вероятность находится в интервале от 0,30 до 0,72. Границей разделения вероятности для двух групп выбран уровень 0,5 (рис. 3).

По результатам тестирования алгоритма прогноза ранних инфекционных осложнений получена матрица ошибок для тестируемых данных ($n_2 = 1208$) (табл. 5).

Модель тестировали на 1208 случаях первичного эндопротезирования, из которых 41 фактически закончился развитием ранней инфекции. Предсказанные моделью данные о количестве последующих инфекций совпали с фактическими ($n = 41$) в 23 случаях, 18 случаев были ошибочно отнесены моделью к группе «без инфекции». Модель верно спрогнозировала случаи «без инфекции» в количестве 681, тогда как по факту их было 1167.

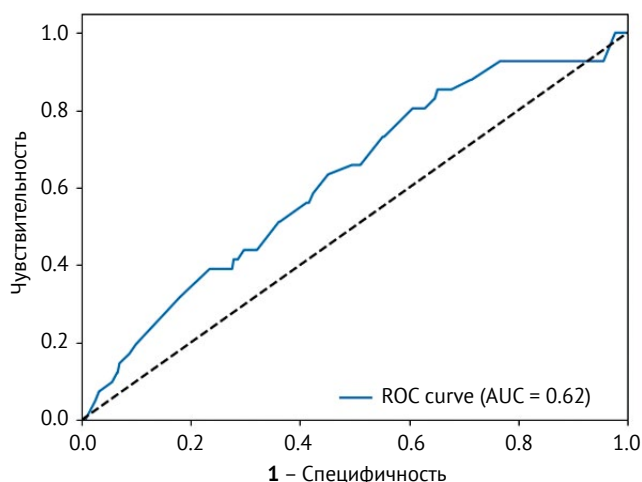


Рисунок 3. Roc-кривая для многофакторного анализа
Figure 3. ROC curve for multivariate analysis

Таблица 5

Матрица ошибок для тестируемых данных

Предсказанные данные	Группа пациентов	Фактические тестовые данные		
		с инфекцией	без инфекции	всего
	Группа 2 (с инфекцией)	23	486	509
	Группа 1 (без инфекции)	18	681	699
	Всего	41	1167	1208

Дополнительно проведен анализ сопряженности матрицы ошибок с пораженным суставом (табл. 6).

Чувствительность метода для тазобедренного сустава составила 57,9%, для коленного — 54,5%, специфичность метода была равной (58,4%). Модель демонстрирует схожие чувствительность и специфичность для обоих суставов. Влияние ка-

тегориального признака (пораженный сустав) на возникновение инфекции анализировали с помощью коэффициента сопряженности Крамера, который выявил слабую связь между переменными ($p = 0,16$). Полученная математическая модель обладает средней точностью прогноза (в интервале от 0,6 до 0,7).

Таблица 6

Расширенная матрица сопряженности с пораженным суставом

Предсказанные данные	Группа пациентов		Фактические тестовые данные		
			с инфекцией	без инфекции	всего
	Группа 2 (с инфекцией)	коленный сустав тазобедренный сустав	13 10	278 208	291 218
	Группа 1 (без инфекции)	коленный сустав тазобедренный сустав	9 9	279 402	288 411
		Всего	41	1167	1208

ОБСУЖДЕНИЕ

Прогноз риска инфекционных осложнений имеет огромное значение в клинической практике, поскольку количество операций эндопротезирования растет с каждым годом, что, в свою очередь, увеличивает частоту инфекций [1, 8].

Ученые, стремясь найти механизмы, способствующие снижению числа инфекций после оперативных вмешательств, исследовали различные факторы со стороны пациента. Так, было выявлено, что к модифицируемым факторам риска развития ППИ относятся анемия, сахарный диабет, ожирение, в то время как пожилой возраст и мужской пол представляют собой немодифицируемые факторы риска инфекции [9, 10, 11, 12]. В своем исследовании с помощью математической модели мы подтвердили выводы коллег о том, что мужской пол, возраст (старше 61 года) и ожирение (ИМТ более 32,5 кг/м²) являются факторами риска развития ранней инфекции после эндопротезирования.

Американская коллегия хирургов (ACS-NSQIP) разработала «Калькулятор хирургического риска» для прогноза развития послеоперационных осложнений (в том числе и инфекционных), однако исследователи пришли к заключению, что данный инструмент не позволяет точно прогнозировать осложнения у пациентов, нуждающихся в эндопротезировании [13, 14].

Российские исследователи предложили модель прогноза инфекции после эндопротезирования на основе анализа 14 факторов, которая позволила снизить частоту последующих инфекций с 7,5% (в группе ретроспективных исследований) до 4,1% в группе проспективных исследований [15]. Этот факт побуждает ученых к дальнейшим исследованиям в области поиска факторов риска со стороны

пациента, которые можно использовать для прогнозирования риска инфекции.

Отдельные параметры лейкоцитарной формулы не всегда специфичны и могут быть повышены из-за причин, не связанных с инфекцией (например, послеоперационный стресс), но в комбинации дают более точную оценку. Известно, что определение количества отдельных форменных элементов крови — в частности лейкоцитов — не обладает высокой диагностической ценностью при рутинной верификации ППИ из-за низких чувствительности (55%) и специфичности (66%), хотя некоторые клиницисты все еще используют ОАК из-за легкой доступности [16].

Количество нейтрофилов в сыворотке увеличивается при многих инфекционных заболеваниях и является важным параметром в диагностике инфекции, однако данный показатель используется только в сочетании с другими диагностическими инструментами для идентификации ППИ [17].

S. Zareifar с соавторами продемонстрировали роль тромбоцитов в инфекционном процессе, показав, что с увеличением их количества происходит снижение их среднего объема при активных инфекционных заболеваниях по сравнению с здоровевшими пациентами [18].

Моноциты после миграции к месту инфекции дифференцируются в макрофаги и дендритные клетки, которые необходимы для фагоцитоза патогенов и устранения поврежденных клеток, однако большее значение они имеют в контроле и устранении грибковых, вирусных и протозойных инфекций [19].

Лимфоциты отвечают за специфический иммунный ответ, и снижение их уровня может указывать на подавленную функцию адаптивного иммуните-

та, что может привести к более тяжелой инфекции. Более того, было продемонстрировано, что стойкая лимфопения, сохраняющаяся через четыре дня после диагностики сепсиса, может предсказывать преждевременную и отсроченную смертность и может использоваться в качестве биомаркера иммуносупрессии, вызванной сепсисом [20].

В 2014 г. В. Ну с соавторами предложили показатель, получивший название «системный индекс иммунного воспаления» (SII), для прогноза течения заболевания у пациентов после радикальной резекции гепатоцеллюлярной карциномы [21]. В последующем SII показал себя многообещающим прогностическим показателем при различных воспалительных заболеваниях, включая злокачественные опухоли, ишемическую болезнь сердца, острый ишемический инсульт и ряд хронических системных заболеваний [22], в связи с чем возможность его применения при инфекционных заболеваниях в настоящее время активно изучается. Полезность SII для выявления пациентов с повышенным риском развития тяжелых инфекций определяется различной ролью, которую элементы крови — лимфоциты, нейтрофилы и тромбоциты — играют в формировании иммунного ответа. Лимфоциты — единственные клетки организма, способные точно распознавать и воспринимать различные антигены. Они играют ключевую роль в большинстве хронических воспалительных поражений, особенно при аутоиммунных заболеваниях и заболеваниях с персистирующими антигенами. Нейтрофилы играют ключевую роль в борьбе с инфекциями, в то время как тромбоциты отвечают за свертывание крови и также вовлечены в воспалительные и защитные процессы [23]. Включение в расчет индекса нескольких форменных элементов крови (лимфоциты, нейтрофилы, тромбоциты) позволяет SII более широко отражать баланс воспалительного и иммунного статуса организма. В нашем исследовании была подтверждена роль индекса SII как наиболее значимого фактора в прогнозе развития инфекции после эндопротезирования.

В сравнении с традиционными маркерами (СРБ и СОЭ), которые часто повышены при хронических заболеваниях, но не всегда предсказывают раннюю инфекцию, индексы системного воспаления учитывают значения нескольких форменных элементов крови, что может быть более специфичным для скрытого воспаления. Так, в 2024 г. было опубликовано исследование F. Moldovan о роли сывороточных маркеров в дифференциальной диагностике ППИ и асептической нестабильности сустава, в котором на основе ROC-анализа были получены пороговые значения и AUC для индек-

сов SII (605,31; AUC = 0,851; 95% ДИ 0,758–0,943), SII (83,34; AUC = 0,810; 95% ДИ 0,712–0,909) и AISI (834,86; AUC = 0,822; 95% ДИ 0,726–0,917), демонстрирующие высокую значимость исследуемых показателей в диагностике инфекции [4].

Для прогноза развития поздних осложнений у пациентов с травмами и другими заболеваниями предлагалось оценивать индекс CAR (соотношение уровня С-реактивного белка к уровню альбумина), повышение которого было связано с риском инфекции, сепсиса и смерти [24]. Мы не смогли оценить этот показатель для прогноза ранних инфекций после эндопротезирования, поскольку исследования на СРБ и альбумин не входили в перечень стандартного предоперационного исследования.

Полученные нами статистически значимые различия показателей интегральных маркеров воспаления в группах исследования послужили основанием для использования их в многофакторной модели прогноза инфекционных осложнений при планировании эндопротезирования крупных суставов. Нами отмечено, что индекс AISI имеет высокую корреляцию с другими показателями системного воспаления (SII и SII), вследствие чего и был исключен из многофакторной прогностической модели. Полученные нами пороговые значения SII и SII отличались от представленных значений в исследовании F. Moldovan [4] и составляли 498,9 и 0,8 соответственно, AUC = 0,55 (95% ДИ: 0,54–0,56).

Примененная нами многофакторная модель предложена для предоперационного скрининга предрасположенности пациента к ранней ППИ. При отклонении коэффициента от принятой нами эмпирически границы, равной 0,5, в меньшую сторону (от 0,30 до 0,50) — риск инфекции низкий, при ее превышении (0,51–0,72) — риск инфекции высокий. Определить реальную границу можно только опытным путем, проспективно тестируя модель на практике. При получении расчетных показателей от 0,51 до 0,72 перед операцией необходимо привести в норму корректируемые факторы пациента для снижения риска ранней ППИ.

Практическое применение математической модели заключается в оценке индивидуального риска послеоперационной инфекции. На основании этой оценки реализуется комплекс мер: перед операцией — коррекция гликемии у пациентов с диабетом, санация хронических очагов инфекции (ротовой полости, мочевыводящих путей), отказ от курения; в послеоперационном периоде — нутритивная поддержка, продленная антибиотикопрофилактика (до 72 ч.) и пристальное наблюдение за областью проведенного хирургического вмешательства.

Ограничения исследования

Исследование носит моноцентровый характер. Для внедрения в клиническую практику необходимы проспективные исследования, доказывающие ценность индексов системного воспаления для прогноза ранней инфекции в области эндопротеза. В работе не учитывались сопутствующие заболевания пациента (аутоиммунные, онкологические), которые могли бы повлиять на результаты исследования.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Заявленный вклад авторов

Любимова Л.В. — концепция исследования, анализ и интерпретация данных, написание текста рукописи.

Микишанина Е.А. — построение математической модели, редактирование текста рукописи.

Николаев Н.С. — концепция исследования, научное руководство.

Любимов Е.А. — сбор, анализ и интерпретация данных.

Преображенская Е.В. — статистическая обработка данных, редактирование текста рукописи.

Все авторы прочли и одобрили финальную версию рукописи статьи. Все авторы согласны нести ответственность за все аспекты работы, чтобы обеспечить надлежащее рассмотрение и решение всех возможных вопросов, связанных с корректностью и надежностью любой части работы.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Возможный конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Этическая экспертиза. Исследование одобрено локальным этическим комитетом ФГБУ «Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования» Минздрава России (г. Чебоксары), протокол № 14 от 01.07.2025.

Информированное согласие на публикацию. Не требуется.

Генеративный искусственный интеллект. При создании статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

1. Божкова С.А., Тихилов Р.М., Артюх В.А. Перипротезная инфекция суставов как социально-экономическая проблема современной ортопедии. *Вестник Российской академии медицинских наук*. 2023;78(6):601-608. doi: 10.15690/vramn8370. Bozhkova S.A., Tikhilov R.M., Artyukh V.A. Periprosthetic Joint Infection as a Socio-Economic Problem of Modern Orthopedics. *Annals of the Russian Academy of Medical Sciences*. 2023;78(6):601-608. (In Russian). doi: 10.15690/vramn8370.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование индексов системного воспаления (SII, SIRI, AISI) в математической модели прогноза развития ранней перипротезной инфекции и применение комплекса профилактических мер у пациентов на этапе подготовки к первичному эндопротезированию может снизить частоту ее возникновения. С учетом недостаточно высокой точности прогностической модели необходим поиск других факторов, влияющих на риск развития инфекционных осложнений в раннем послеоперационном периоде.

DISCLAIMERS

Author contribution

Lyubimova L.V. — study concept, data analysis and interpretation, drafting the manuscript.

Mikishanina E.A. — mathematical modelling, editing the manuscript.

Nikolaev N.S. — study concept, scientific guidance.

Lyubimov E.A. — data acquisition, analysis and interpretation.

Preobrazhenskaya E.V. — statistical data processing, drafting the manuscript.

All authors have read and approved the final version of the manuscript of the article. All authors agree to bear responsibility for all aspects of the study to ensure proper consideration and resolution of all possible issues related to the correctness and reliability of any part of the work.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Disclosure competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Ethics approval. The study was approved by the local ethics committee of Federal Center of Traumatology, Orthopedics and Arthroplasty (Cheboksary), protocol No 14, 01.07.2025.

Consent for publication. Not required.

Use of artificial intelligence. No generative artificial intelligence technologies were used in the preparation of this manuscript.

2. Pricop M., Ancusa O., Talpos S., Urechescu H., Bumbu B.A. The Predictive Value of Systemic Immune-Inflammation Index and Symptom Severity Score for Sepsis and Systemic Inflammatory Response Syndrome in Odontogenic Infections. *J Pers Med*. 2022;12(12):2026. doi: 10.3390/jpm12122026.

3. Vitiello R., Smimmo A., Matteini E., Micheli G., Fantoni M., Ziranu A. et al. Systemic Inflammation Response Index (SIRI) and Monocyte-to-Lymphocyte Ratio (MLR) Are Predictors of Good Outcomes in Surgical Treatment of Periprosthetic Joint Infections of Lower Limbs: A Single-Center Retrospective Analysis. *Healthcare (Basel)*. 2024;12(9):867. doi: 10.3390/healthcare12090867.
4. Moldovan F. Role of Serum Biomarkers in Differentiating Periprosthetic Joint Infections from Aseptic Failures after Total Hip Arthroplasties. *J Clin Med*. 2024; 13(19):5716. doi: 10.3390/jcm13195716.
5. Tarle M., Raguž M., Lukšić I. A Comparative Study of the Aggregate Index of Systemic Inflammation (AISi) and C-Reactive Protein (CRP) in Predicting Odontogenic Abscesses Severity: A Novel Approach to Assessing Immunoinflammatory Response. *Diagnostics (Basel)*. 2024;14(19):2163. doi: 10.3390/diagnostics14192163.
6. Moldovan F. Correlation between Peripheral Blood Markers and Surgical Invasiveness during Humeral Shaft Fracture Osteosynthesis in Young and Middle-Aged Patients. *Diagnostics (Basel)*. 2024;14(11):1112. doi: 10.3390/diagnostics14111112.
7. Moldovan F. Sterile Inflammatory Response and Surgery-Related Trauma in Elderly Patients with Subtrochanteric Fractures. *Biomedicines*. 2024;12(2):354. doi: 10.3390/biomedicines12020354.
8. Hauer G., Rasic L., Klim S., Leitner L., Leithner A., Sadoghi P. Septic complications are on the rise and aseptic loosening has decreased in total joint arthroplasty: an updated complication based analysis using worldwide arthroplasty registers. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2024;144(12):5199-5204. doi: 10.1007/s00402-024-05379-2.
9. Lespasio M., Mont M., Guarino A. Identifying risk factors associated with postoperative infection following elective lower-extremity total joint arthroplasty. *Perm J*. 2020;24:1-3. doi: 10.7812/TPP/20.013.
10. Ren X., Ling L., Qi L., Liu Z., Zhang W., Yang Z. et al. Patients' risk factors for periprosthetic joint infection in primary total hip arthroplasty: a meta-analysis of 40 studies. *BMC Musculoskelet Disord*. 2021;22(1):776. doi: 10.1186/s12891-021-04647-1.
11. Resende V.A.C., Neto A.C., Nunes C., Andrade R., Espregueira-Mendes J., Lopes S. Higher age, female gender, osteoarthritis and blood transfusion protect against periprosthetic joint infection in total hip or knee arthroplasties: a systematic review and meta-analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2021;29(1):8-43. doi: 10.1007/s00167-018-5231-9.
12. Мясоедов А.А., Торопов С.С., Березин Г.В., Карелкин В.В., Тотоев З.А., Шубняков И.И. и др. Факторы риска развития перипротезной инфекции после первичного эндопротезирования тазобедренного сустава. *Травматология и ортопедия России*. 2020;26(1):40-47. doi: 10.21823/2311-2905-2020-26-1-40-47.
13. Мясоедов А.А., Торопов С.С., Березин Г.В., Карелкин В.В., Тотоев З.А., Шубняков И.И. et al. Risk Factors for Prosthetic Joint Infection after Primary Hip Arthroplasty. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2020;26(1):40-47. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2020-26-1-40-47.
14. Edelman A.I., Kwasny M.J., Suleiman L.I., Khakhkhar R.H., Moore M.A., Beal M.D. et al. Can the American college of surgeons risk calculator predict 30-day complications after knee and hip arthroplasty? *J Arthroplasty*. 2015;30(9 Suppl):5-10. doi: 10.1016/j.arth.2015.01.057.
15. Wingert N.C., Gotoff J., Parrilla E., Gotoff R., Hou L., Ghanem E. The ACS NSQIP risk calculator is a fair predictor of acute periprosthetic joint infection. *Clin Orthop Relat Res*. 2016;474(7):1643-1648. doi: 10.1007/s11999-016-4717-3.
16. Вороков А.А., Фадеев Е.М., Спичко А.А., Алиев Б.Г., Мурзин Е.А., Хайдаров В.М. и др. Возможности прогноза местных инфекционных осложнений при артропластике тазобедренного и коленного суставов. *Медико-фармацевтический журнал «Пульс»*. 2020;22(12):106-111. doi: 10.26787/nydha-2686-6838-2020-22-12-106-111.
17. Vorokov A.A., Fadeev E.M., Spichko A.A., Aliev B.G., Murzin E.A., Khaidarov V.M. et al. Possibilities of forecasting surgical site infection after hip and knee replacement. *Medical & Pharmaceutical Journal "Pulse"*. 2020;22(12):106-111. (In Russian). doi: 10.26787/nydha-2686-6838-2020-22-12-106-111.
18. Toossi N., Adeli B., Rasouli M.R., Huang R., Parvizi J. Serum white blood cell count and differential do not have a role in the diagnosis of periprosthetic joint infection. *J Arthroplasty*. 2012;27(8 Suppl):51-54.e1. doi: 10.1016/j.arth.2012.03.021.
19. Thachil J., Bates I. Approach to the Diagnosis and Classification of Blood Cell Disorders. In: Bain B.J., Bates I., Laffan M.A. (eds.) *Dacie and Lewis Practical Haematology*. 12th ed. Elsevier; 2017. p. 497-510. doi: 10.1016/B978-0-7020-6696-2.00023-0.
20. Zareifar S., Farahmand Far M.R., Golfeshan F., Cohan N. Changes in platelet count and mean platelet volume during infectious and inflammatory disease and their correlation with ESR and CRP. *J Clin Lab Anal*. 2014;28(3):245-248. doi: 10.1002/jcla.21673.
21. Shi C., Pamer E.G. Monocyte recruitment during infection and inflammation. *Nat Rev Immunol*. 2011;11(11):762-774. doi: 10.1038/nri3070.
22. Drewry A.M., Samra N., Skrupky L.P., Fuller B.M., Compton S.M., Hotchkiss R.S. Persistent lymphopenia after diagnosis of sepsis predicts mortality. *Shock*. 2014;42(5):383-391. doi: 10.1097/SHK.0000000000000234.
23. Hu B., Yang X.R., Xu Y., Sun Y.F., Sun C., Guo W. et al. Systemic Immune-Inflammation Index Predicts Prognosis of Patients after Curative Resection for Hepatocellular Carcinoma. *Clin Cancer Res*. 2014;20(23):6212-6222. doi: 10.1158/1078-0432.CCR-14-0442.
24. Li C., Tian W., Zhao F., Li M., Ye Q., Wei Y. et al. Systemic immune-inflammation index, SII, for prognosis of elderly patients with newly diagnosed tumors. *Oncotarget*. 2018;9(82):35293-35299. doi: 10.18632/oncotarget.24293.
25. Mikhak Z., Agace W.W., Luster A.D. Lymphocyte Trafficking to Mucosal Tissues. In: Mestecky J., Strober W., Russell M.W., Cheroute H., Lambrecht B.N., Kelsall B.L. (eds.) *Mucosal Immunology*. 4th ed. Academic Press; 2015. p. 805-830. doi: 10.1016/B978-0-12-415847-4.00040-9.
26. Егiazарян К.А., Ершов Д.С., Лыско А.М., Юдаев Н.Д. Индекс CAR как предиктор поздних осложнений у пациентов с политравмой и другими патологиями. *Политравма*. 2024;4:85-91. doi: 10.24412/1819-1495-2024-4-85-91.
27. Egiazyaryan K.A., Ershov D.S., Lysko A.M., Yudaev N.D. CAR index as a predictor of late complications in patients with polytrauma and other pathologies. *Polytrauma*. 2024;4:85-91. (In Russian). doi: 10.24412/1819-1495-2024-4-85-91.

Сведения об авторах

✉ Любимова Людмила Валентиновна

Адрес: Россия, 428020, г. Чебоксары,
ул. Федора Гладкова, д. 33

<https://orcid.org/0000-0002-5750-4459>

eLibrary SPIN: 5462-6973

e-mail: borisova-80@mail.ru

Микишанина Евгения Арифжановна — канд. физ.-мат. наук

<https://orcid.org/0000-0003-4408-1888>

eLibrary SPIN: 3727-5392

e-mail: evaeva_84@mail.ru

Николаев Николай Станиславович — д-р мед. наук,
профессор

<https://orcid.org/0000-0002-1560-470X>

eLibrary SPIN: 8723-9840

e-mail: nikolaevns@mail.ru

Любимов Евгений Александрович

<https://orcid.org/0000-0001-5262-0197>

eLibrary SPIN: 7759-8083

e-mail: elyubimov@mail.ru

Преображенская Елена Васильевна

<https://orcid.org/0000-0003-3556-145X>

eLibrary SPIN: 1525-3912

e-mail: alenka_22@bk.ru

Authors' information

✉ Lyudmila V. Lyubimova

Address: 33, Fedor Gladkov st., Cheboksary,
428020, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-5750-4459>

eLibrary SPIN: 5462-6973

e-mail: borisova-80@mail.ru

Evgeniya A. Mikishanina — Cand. Sci. (Phys.-Math.)

<https://orcid.org/0000-0003-4408-1888>

eLibrary SPIN: 3727-5392

e-mail: evaeva_84@mail.ru

Nikolay S. Nikolaev — Dr. Sci. (Med.), Professor

<https://orcid.org/0000-0002-1560-470X>

eLibrary SPIN: 8723-9840

e-mail: nikolaevns@mail.ru

Evgeniy A. Lyubimov

<https://orcid.org/0000-0001-5262-0197>

eLibrary SPIN: 7759-8083

e-mail: elyubimov@mail.ru

Elena V. Preobrazhenskaya

<https://orcid.org/0000-0003-3556-145X>

eLibrary SPIN: 1525-3912

e-mail: alenka_22@bk.ru