

УДК 616-089.1

DOI 10.34014/2227-1848-2024-4-99-111

ПРОГНОСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ИНФЕКЦИИ ОБЛАСТИ ХИРУРГИЧЕСКОГО ВМЕШАТЕЛЬСТВА

С.Н. Тонеева¹, С.Ю. Клинышева², Е.А. Тонеев^{2, 3}, О.В. Мидленко²,
Р.Ф. Шагдалеев², Д.С. Костяев⁴

¹ ГУЗ Ульяновская областная клиническая больница, г. Ульяновск, Россия;

² ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет», г. Ульяновск, Россия;

³ ГУЗ Областной клинический онкологический диспансер, г. Ульяновск, Россия;

⁴ ГБУЗ «Городская клиническая больница № 15 им. О.М. Филатова

Департамента здравоохранения г. Москвы», г. Москва, Россия

Цель – определить частоту встречаемости инфекции области хирургического вмешательства (ИОХВ), факторы риска ее развития и разработать прогностическую модель для стратификации пациентов по его уровню.

Материалы и методы. Исследование проводилось на базе ГУЗ Ульяновская областная клиническая больница и ГУЗ Областной клинический онкологический диспансер г. Ульяновска. Было выполнено 1500 плановых операций с лапаротомным доступом (свидетельство о регистрации базы данных № 2024623300): 190 гастрэктомий с лимфодиссекцией D2, 882 резекции толстой кишки и 428 тотальных гистерэктомий. Ретроспективный анализ результатов проведен в послеоперационный период по единому протоколу. Статистический анализ результатов исследования выполнен с использованием программ StatTech v. 4.5.0 («Статтех», Россия) и SPSS 26 for Mac (IBM Corp.), R Statistics версия 3.6.1

Результаты. Частота встречаемости ИОХВ составила 4,93 % (74/1500). Летальных исходов в группе с ИОХВ было 12 (16,2 %), в группе без ИОХВ – 15 (1,1 %). Наиболее значимыми факторами, влияющими на развитие послеоперационных инфекционных осложнений в области хирургического вмешательства, являются: возраст ($p=0,007$), наличие сахарного диабета ($p<0,001$), толщина подкожно-жировой клетчатки ($p<0,001$), нейтрофильно-лимфоцитарный индекс ($p<0,001$), индекс массы тела ($p<0,001$), продолжительность операции ($p<0,001$). При проведении многофакторного анализа было установлено, что только следующие параметры влияют на развитие ИОХВ после лапаротомного доступа: операция на толстой кишке (ОШ 8,66 (95 % ДИ 3,74–21,7)); наличие сахарного диабета (ОШ 9,36 (95 % ДИ 4,22–21,65)); ИМТ (ОШ 1,55 (95 % ДИ 1,42–1,71) и НЛИ (ОШ 0,07 (95 % ДИ 0,03–0,13)). Была создана прогностическая модель риска развития ИОХВ, запрограммированная в виде HTML-приложения с использованием языка программирования JavaScript.

Выводы. Частота встречаемости послеоперационных инфекционных осложнений в области хирургического вмешательства при использовании стандартной срединной лапаротомии при плановых вмешательствах составила 4,93 % (74/1500). Создана модель прогнозирования, которая стратифицирует пациентов в зависимости от степени риска развития ИОХВ.

Ключевые слова: лапаротомия, инфекции области хирургического вмешательства, инфекционные раневые осложнения, прогностическая модель, машинное обучение, бутстреп данных.

Введение. Инфекции, связанные с оказанием медицинской помощи (ИСМП), в настоящее время являются одним из наиболее частых послеоперационных осложнений [1]. В структуре ИСМП значимое место занимают инфекции области хирургического вмешательства (ИОХВ). ИОХВ – это осложнение, которое возникает в результате роста микроорганизмов в области послеоперационной раны, приводит к замедлению репаративных

процессов, ухудшает течение послеоперационного периода, значимо влияет на результат хирургического лечения и, следовательно, увеличение сроков госпитализации, что негативно влияет на систему здравоохранения [2].

При анализе отечественной и зарубежной литературы выявлено множество исследований, касающихся факторов риска возникновения ИОХВ. Своевременное выявление пациентов с высоким риском позволяет проводить

целенаправленную профилактику данного осложнения и тем самым улучшать результаты хирургического вмешательства [3, 4].

В настоящее время в клинической практике широко применяются модели прогнозирования: они лаконичны, ясны и всегда включают более одного фактора для расчета риска. Их использование в повседневной клинической практике позволяет эффективно и своевременно стратифицировать пациентов по риску развития негативного события [5].

Цель исследования. Определить частоту встречаемости ИОХВ, факторы риска ее развития и разработать прогностическую модель для стратификации пациентов по его уровню.

Материалы и методы. Ретроспективное исследование проводилось на базе двух учреждений г. Ульяновска: ГУЗ Ульяновская областная клиническая больница и ГУЗ Област-

ной клинический онкологический диспансер [6] – и включало пациентов, которым была выполнена плановая срединная лапаротомия по поводу патологии органов брюшной полости трех локализаций: заболевания желудка (гастрэктомия с лимфодиссекцией D2), заболевания толстой кишки (правосторонняя и левосторонняя гемиколэктомия, резекция сигмовидной кишки, резекция прямой кишки), заболевания матки (тотальная гистерэктомия). Критериями исключения явились: экстренные вмешательства на органах брюшной полости, развитие инфекционных осложнений, не связанных с раневым процессом (пневмония, абсцесс брюшной полости и т.п.), мультивисцеральные резекции, отсутствие полных клинических данных в медицинской документации.

Всего для окончательного анализа были отобраны данные 1500 пациентов. Дизайн исследования представлен на рис. 1.

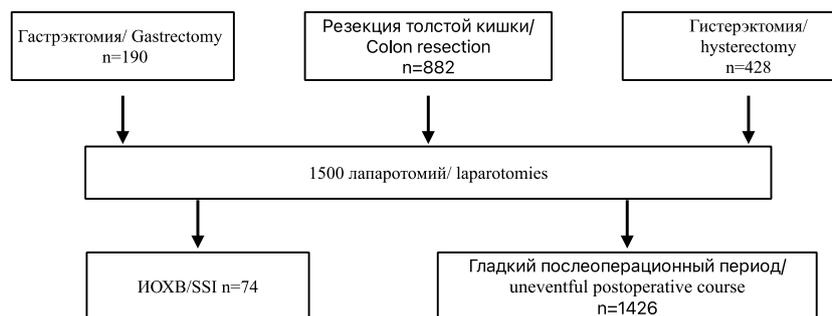


Рис. 1. Дизайн ретроспективного исследования

Fig. 1. Study design (* SSI – surgical site infection)

Сбор данных проводился по единому разработанному протоколу. Оценка ИОХВ осуществлялась согласно классификации CDC

(Centers for Disease Control and Prevention). Распределение пациентов по видам ИОХВ представлено в табл. 1.

Таблица 1
Table 1

Виды ИОХВ согласно классификации CDC
Structure of SSI according to CDC classification

Вид ИОХВ Types of SSI	Количество пациентов, абс. (%) Number of patients, abs. (%)
Поверхностная Superficial incisional SSI	25 (33,8)
Глубокая Deep incisional SSI	10 (13,5)
Органо-пространственная Organ or space SSI	39 (52,7)

По данным мультиспиральной компьютерной томографии, полученным из архива, оценивалась толщина подкожно-жировой клетчатки (ПЖК). С помощью общего анализа крови, выполнявшегося за сутки до оперативного вмешательства, определялись нейтрофильно-лимфоцитарный (НЛИ), тромбоцитарно-лимфоцитарный индексы (ТЛИ), а также лейкоцитарный индекс интоксикации (ЛИИ) по В.К. Островскому [7].

НЛИ и ТЛИ рассчитывались как отношения абсолютного числа нейтрофилов к абсолютному количеству лимфоцитов и абсолютного количества тромбоцитов к абсолютному количеству лимфоцитов соответственно. ЛИИ по В.К. Островскому определяли по формуле автора [7].

Количественные показатели оценивались на предмет соответствия нормальному распределению с помощью критерия Шапиро – Уилка (при числе исследуемых менее 50) или критерия Колмогорова – Смирнова (при числе исследуемых более 50).

В случае отсутствия нормального распределения количественные данные описывались с помощью медианы (Me) и нижнего и верхнего квартилей (Q1–Q3).

Категориальные данные описывались с указанием абсолютных значений и процентных долей. 95 % доверительные интервалы рассчитывались по методу Клоппера – Пирсона.

Сравнение двух групп по количественному показателю, распределение которого отличалось от нормального, выполнялось с помощью U-критерия Манна – Уитни.

Сравнение процентных долей при анализе четырехпольных таблиц сопряженности выполнялось с помощью критерия χ^2 Пирсона (при значениях ожидаемого явления более 10), точного критерия Фишера (при значениях ожидаемого явления менее 10)

В качестве количественной меры эффекта при сравнении относительных показателей использовалось отношение шансов с 95 % доверительным интервалом (ОШ; 95 % ДИ). В случае нулевых значений числа наблюдений в ячейках таблицы сопряженности расчет отношения шансов выполнялся с поправкой Холдейн – Энскомб.

Оценка силы связи между категориальными показателями выполнялась с помощью V Крамера, значения которого интерпретировались согласно рекомендациям [8].

Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$. Статистический анализ проводился с использованием StatTech v. 4.5.0 (ООО «Статтех», Россия), SPSS 26 for Mac (IBM Corp.), R Statistics v. 3.6.1.

Результаты. Характеристика исследуемых пациентов представлена в табл. 2.

Таблица 2
Table 2

Клинико-лабораторные показатели исследуемых пациентов
Clinical and laboratory parameters of study subjects

Показатель Parameter	Категория Category	ИОХВ SSI		P
		Нет, n=1426 No, n=1426	Да, n=74 Yes, n=74	
Возраст, лет (Me (Q1–Q3)) Age, years old (Me (Q1–Q3))		62 (49,00–70,00)	65 (57,25–72,00)	0,007
Пол, абс. (%) Sex, abs. (%)	Женский Female	905 (63,5)	54 (73,0)	0,098
	Мужской Male	520 (36,5)	20 (27,0)	
Сахарный диабет абс. (%) Diabetes mellitus, abs. (%)	Нет No	1295 (90,8)	44 (59,5)	<0,001
	Да Yes	131 (9,2)	30 (40,5)	

Толщина ПЖК, см (Me (Q1–Q3)) Subcutaneous fat, sm (Me (Q1–Q3))	5,80 (3,5–7,10)	10,20 (9,22–11,10)	<0,001
ИМТ, кг/м ² (Me (Q1–Q3)) BMI, kg/m ² (Me (Q1–Q3))	26,5 (23,75–29,30)	34,60 (32,93–37,65)	<0,001
Общий белок, г/л (Me (Q1–Q3)) Total protein, g/l (Me (Q1–Q3))	69,20 (64,35–72,50)	71,35 (68,72–74,10)	<0,001
НЛИ (Me (Q1–Q3)) Neutrophil-to-Lymphocyte Ratio (Me (Q1–Q3))	3,24 (2,08–5,20)	1,33 (1,20–1,71)	<0,001
ТЛИ (Me (Q1–Q3)) Platelet-to-Lymphocyte Ratio (Me (Q1–Q3))	144,1 (104,5–201,9)	167,3 (110,2–274,3)	0,287
ЛИИ (Me (Q1–Q3)) Leukocyte intoxication index (Me (Q1–Q3))	1,33 (0,64–2,36)	2,16 (1,57–2,94)	0,103
Продолжительность операции, мин (Me (Q1–Q3)) Surgery duration, min (Me (Q1–Q3))	90,00 (60,00–140,00)	120,00 (90,00–150,00)	<0,001
Кровопотеря, мл (Me (Q1–Q3)) Blood loss, ml (Me (Q1–Q3))	150,00 (100,00–300,00)	175,00 (100,00–300,00)	0,606

Исследование показало наличие статистически значимых различий между пациентами с осложнениями и пациентами с гладким послеоперационным течением по нескольким параметрам. Так, в более старшем возрасте инфекционные осложнения развивались чаще ($p=0,007$). Сахарный диабет (СД) и ожирение также увеличивают вероятность развития ИОХВ ($p<0,001$). Кроме того, развитие инфекционных осложнений напрямую связано с уровнем общего белка до операции ($p<0,001$). Однако обращает на себя внимание тот факт, что содержание общего белка в группе с ИОХВ хоть и выше, чем в группе без осложнений, но все еще находится в пределах общепринятых норм (65–85 г/л), в связи с чем требуются дальнейшие исследования по данному направлению. Из воспалительных индикаторов только НЛИ в группе с ИОХВ был статистически значимо ниже ($p\leq 0,001$). Отметим также, что на риск развития ИОХВ влияет и продолжительность оперативного вмешательства ($p\leq 0,001$).

Подготовка данных. Исходный набор данных включал 1500 наблюдений, 11 ковариат: область вмешательства (V1), пол (V2), возраст (V3), СД (V4), ИМТ (V5), ожирение (V6), толщина ПЖК (V7), время операции (V8), объем кровопотери (V9), общий белок до операции (V10), НЛИ до операции (V11). Категориальная переменная (V1) с 3 значениями превращена в фиктивные (dummy) переменные со значениями 1/0: V1 (операция на толстой кишке) и V1 (операция на желудке). Датасет содержит 0,1 % пропущенных значений.

Выполнено множественное вменение данных по методу MICE (многомерное вменение с помощью цепных уравнений).

Частота прогнозируемого исхода (Outcome) – 74 из 1500 (5 %).

Проводилась проверка на мультиколлинеарность для числовых переменных с использованием коэффициента Спирмена (рис. 2). Коллинеарные переменные – абсолютное значение коэффициента корреляции более 0,75.

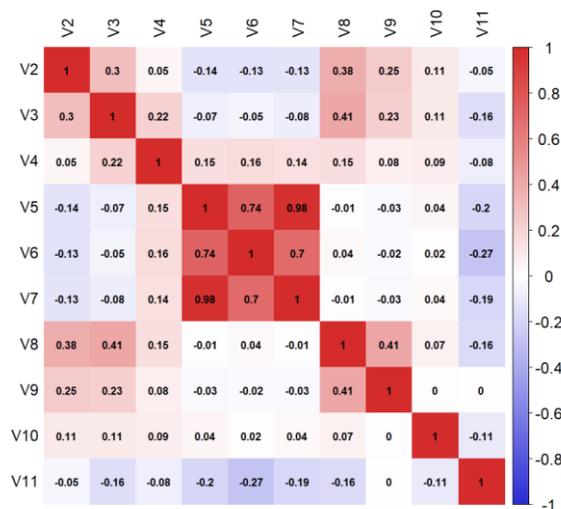


Рис. 2. Тепловая карта мультиколлинеарности

Fig. 2. Multicollinearity Heat Map

Имеется корреляция между V5 и V7. Искусственно удаляем ковариату V7 (толщина ПЖК), оставляем ИМТ. Также удаляем ковариату V6 (ожирение), так как это суррогатная характеристика ИМТ (коэффициент корреляции 0,74).

Итоговый датасет включает в себя 1500 наблюдений и 10 ковариат: V2–V5, V8–V11, V1 (операция на толстой кишке), V1 (операция на желудке).

Моделирование. В качестве метода использовали бинарную (биномиальную) многофакторную логистическую регрессию с обратным пошаговым выбором предикторов по наименьшему критерию Акаике (библиотека

R «rms»). За обучающую выборку взяли весь набор данных – 1500 наблюдений. Строгую внутреннюю валидацию проводили с помощью метода бутстрепа (5000 итераций). В результате такого подхода модель тестируется 5000 раз на повторных случайных выборках с вычислением скорректированных значений метрик ее эффективности, которые становятся наиболее приближены к истине.

Формула итоговой модели, включающая 4 фактора (табл. 3), выглядит следующим образом:

$$\text{logit}(P) = V4 + V5 + V11 + V1 \text{ (операция на толстой кишке).}$$

Таблица 3

Table 3

Коэффициент шансов

Odds Ratio

Фактор Factor	Оценка шансов Odds ratio	95 % доверительный интервал 95 % confidence interval
Операция на толстой кишке Colon surgery	8,66	3,74–21,7
Сахарный диабет Diabetes mellitus	9,36	4,22–21,65
ИМТ BMI	1,55	1,42–1,71
НЛИ Neutrophil-to-Lymphocyte Ratio	0,07	0,03–0,13

Характеристика модели. Скорректированные характеристики модели, полученные в результате строгой внутренней валидации, выглядят следующим образом:

- коэффициент детерминации Негеллерке – 0,654;
- С-индекс (равнозначен AUC-ROC) – 0,981; 95 % ДИ: 0,9768–0,989 (DeLong);
- средняя абсолютная ошибка калибровки – 1,3 (средняя ошибка прогноза между предсказанными и истинными вероятностями);
- наклон (slope) калибровочной кривой – 0,9599 (у идеальной – 1);
- интерсепт калибровочной кривой – -0,0424.

Согласно калибровочной кривой прогнозируемые и истинные значения вероятностей

исхода визуально совпадают на всем протяжении, лишь в диапазоне более 0,8 отмечается наибольшее, но незначительное расхождение кривых (рис. 3). Непараметрическая калибровочная кривая близка к диагонали (slope>0,95, в идеале – 1), т.е. прогнозируемые риски хорошо соответствуют наблюдаемым. Отрицательное значение интерсепта указывает на переоцененность модельных прогнозов, положительное – на их недооцененность. Вероятности, предсказанные моделью до значения 0,5, несколько ниже истинных значений, в то время как после отсечки 0,5 – более завышенные. Поэтому калибровочная кривая отклоняется на графике выше и ниже от идеальной линии соответственно. В целом калибровочную кривую модели следует считать удовлетворительной.

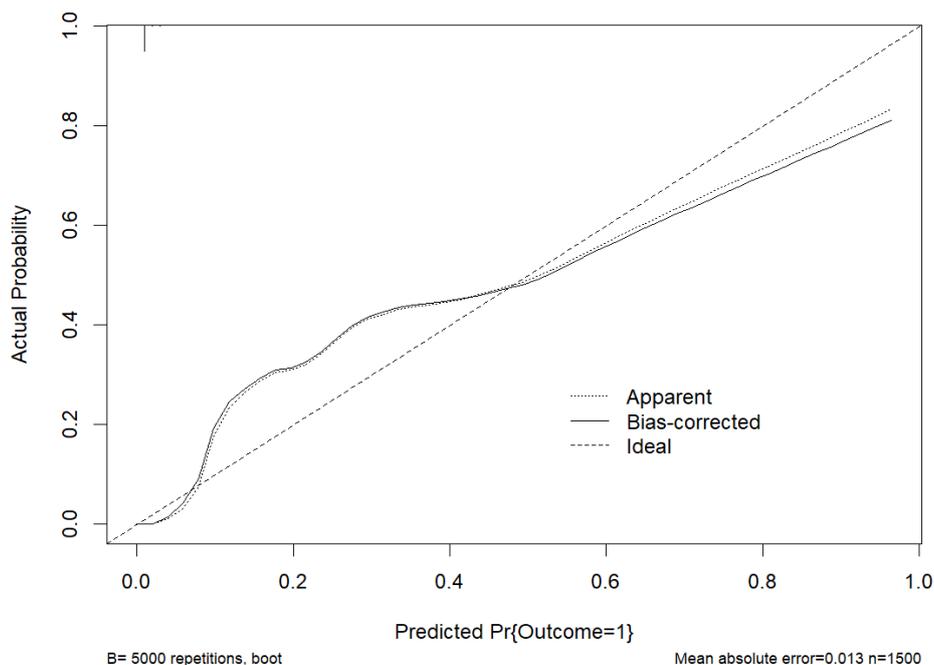


Рис. 3. Калибровочная кривая для модели прогнозирования риска развития инфекции области хирургического вмешательства после лапаротомии

Fig. 3. Calibration curve for the risk prediction model of surgical site infection development after laparotomy

Разработанная модель была запрограммирована в виде HTML-приложения с использованием языка программирования JavaScript и позволяет рассчитать вероятность инфекци-

онных осложнений. Категории риска (низкий, средний, высокий) выделены условно по порогам вероятности: <25 %, 25–85 % и >85 % (рис. 4).

Модель оценки риска развития инфекции области хирургического вмешательства после лапаротомии

У пациента есть сахарный диабет? Да Нет
Операция будет выполняться на толстой кишке? Да Нет

Укажите индекс массы тела пациента:
32,9

Укажите соотношение нейтрофилов и лимфоцитов до операции:
1,6

Рассчитать

ВЕРОЯТНОСТЬ ОСЛОЖНЕНИЙ в % 88.7 **РИСК ИНФЕКЦИИ ВЫСОКИЙ**

Сбросить

Модель оценки риска развития инфекции области хирургического вмешательства после лапаротомии

У пациента есть сахарный диабет? Да Нет
Операция будет выполняться на толстой кишке? Да Нет

Укажите индекс массы тела пациента:
30,6

Укажите соотношение нейтрофилов и лимфоцитов до операции:
1,8

Рассчитать

ВЕРОЯТНОСТЬ ОСЛОЖНЕНИЙ в % 76.5 РИСК ИНФЕКЦИИ СРЕДНИЙ

Сбросить

Модель оценки риска развития инфекции области хирургического вмешательства после лапаротомии

У пациента есть сахарный диабет? Да Нет
Операция будет выполняться на толстой кишке? Да Нет

Укажите индекс массы тела пациента:
30

Укажите соотношение нейтрофилов и лимфоцитов до операции:
2

Рассчитать

ВЕРОЯТНОСТЬ ОСЛОЖНЕНИЙ в % 0.27 **РИСК ИНФЕКЦИИ НИЗКИЙ**

Сбросить

Рис. 4. Расчет вероятности инфекционных осложнений в HTML-приложении (интерфейс приложения представлен исключительно на русском языке)

Fig. 4. Calculation of probability of infectious complications in the HTML application (the application interface is presented only in Russian)

Интерактивное HTML-приложение на основе созданной прогностической модели представляет собой удобное решение для прогноза риска развития инфекций области хирургического вмешательства. Предложенная модель показала высокую степень точности и надежности, что подтверждается калибровочной кривой и картой мультиколлинеарности.

Обсуждение. ИОХВ является наиболее распространенной среди инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи. При этом ее развитие может стать достаточно хорошо прогнозируемым даже у одного конкретного пациента, если вовремя выявить и оценить факторы риска, которые в настоящее время активно изучаются в ходе многочисленных исследований [9, 10].

В нашей работе была проведена ретроспективная оценка риска развития ИОХВ с последующим построением прогностической модели.

Общая совокупная частота инфекций области хирургического вмешательства составила около 5 %, что сопоставимо с данными многих предыдущих исследований [11, 12]. Было определено, что из 11 показателей 7 оказались статистически значимыми для прогнозирования риска, однако при построении логистической регрессии лишь 3 из них были включены в модель: сахарный диабет, индекс массы тела, нейтрофильно-лимфоцитарный индекс. Также с учетом локализации оперативного вмешательства была проведена стратификация пациентов путем создания фиктивных (dummy) переменных со значениями 1/0: V1 (операция на толстой кишке) и V1 (операция на желудке). Данный подход позволил более точно провести оценку риска развития ИОХВ.

Многие исследования отмечают наличие сахарного диабета как независимый фактор риска развития ИОХВ при различных типах вмешательств [13, 14]. Отрицательное влияние гипергликемии на вероятность развития инфекций у больных сахарным диабетом объясняется угнетением клеточного и гуморального звеньев иммунитета, а также усилением вирулентности некоторых микроорганизмов. Кроме того, ИОХВ могут быть связаны и с сосудистыми изменениями или дисфункцией лейкоцитов, развившимися на фоне сахарного диабета.

Ожирение негативно сказывается на иммунной функции, а также на иммунологических защитных механизмах. Одна из причин заключается в том, что ожирение является воспалительным состоянием, связанным с хронической активацией иммунной системы [15, 16]. Отметим и тот факт, что послеоперационная рана при ожирении глубже, следовательно, область входных ворот – обширнее, а это в свою очередь также увеличивает риск развития инфекционных осложнений. Особый

интерес вызывает исследование Christopher John Wilson и соавт., в котором оценивается зависимость распространенности инфекционного поражения в области хирургического вмешательства от степени ожирения [17–19].

Нейтрофильно-лимфоцитарный индекс отражает соотношение неспецифической и специфической защиты организма. Данный маркер является простым в использовании и недорогим, но его значимость часто недооценивается. Анализ существующих исследований показал, что риск развития ИОХВ увеличивается с возрастанием значения нейтрофильно-лимфоцитарного соотношения в послеоперационном периоде [20–23]. Однако нами исследовался НЛИ до операции, и наши результаты говорят о том, что риск развития ИОХВ выше у тех пациентов, чей НЛИ до операции был низким. Вероятно, это связано с тем, что низкий НЛИ отображает ослабление иммунной системы, а соответственно, риск развития инфекции, особенно бактериальной природы, у таких пациентов выше.

В настоящем исследовании нами была построена модель прогнозирования риска развития инфекции области хирургического вмешательства после лапаротомии. Также разработано HTML-приложение и выделены категории риска по порогам вероятности, что позволит облегчить задачу практикующего врача при сборе данных анамнеза и разработке плана лечения. Выявление факторов риска и определение его степени способствуют ранней профилактике и тщательному контролю пациентов группы высокого риска в последствии.

Выводы:

1. Частота встречаемости послеоперационных инфекционных осложнений в области хирургического вмешательства при использовании стандартной срединной лапаротомии при плановых вмешательствах составила 4,93 % (74/1500).

2. Создана модель прогнозирования, которая стратифицирует пациентов в зависимости от степени риска развития ИОХВ.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов

Концепция и дизайн исследования: Тонеева С.Н., Клинышева С.Ю.

Литературный поиск, участие в исследовании, обработка материала: Тонеев Е.А., Мидленко О.В.

Статистическая обработка данных: Шагдалеев Р.Ф., Костяев Д.С.

Литература

1. *Strobel R.M., Leonhardt M., Förster F.* The impact of surgical site infection—a cost analysis. *Langenbecks Arch Surg.* 2022; 407 (2): 819–828. DOI: 10.1007/s00423-021-02346-y.
2. Глобальное руководство по профилактике инфекций в области хирургического вмешательства. 2-е изд. URL: <https://iris.who.int/handle/10665/371536> (дата обращения: 25.09.2024).
3. *Морозов А.М., Сергеев А.Н., Червинец В.М.* О методах профилактики инфекций области хирургического вмешательства. *Амбулаторная хирургия.* 2024; 21 (1): 168–176. DOI: 10.21518/akh2024-013.
4. *Seidelman J.L., Mantyh C.R., Anderson D.J.* Surgical Site Infection Prevention: A Review. *JAMA.* 2023; 329 (3): 244–252. DOI: 10.1001/jama.2022.24075.
5. *Grant S.W., Collins G.S., Nashef S.A.M.* Statistical Primer: developing and validating a risk prediction model. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2018; 54 (2): 203–208. DOI: 10.1093/ejcts/ezy180.
6. *Тонеев Е.А., Тонеева С.Н., Куликов В.Д., Данилова Л.А., Жинов А.В., Мартынов А.А., Мидленко О.В., Мухутдинова А.Н., Клинышева С.Ю., Павлов М.О., Шагдалеев Р.Ф., Прохоров Д.Д., Муртазин А.Р., Мартынова Е.В., Белова М.А., Терягова А.Д.* Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024623300 Российская Федерация. Частота развития и факторы риска ИОХВ после плановых срединных лапаротомий: заявка № 2024623044 от 11.07.2024; опубликовано 25.07.2024.
7. *Островский В.К., Свитич Ю.М., Вебер В.Р.* Лейкоцитарный индекс интоксикации при острых гнойных и воспалительных заболеваниях легких. *Вестн. хир. им. И.И. Грекова.* 1983; 131 (11): 21–24.
8. *Rea L.M., Parker R.A.* Designing and conducting survey research. San Francisco: Jossey-Bass, Inc.; 2014.
9. *Wen J., Pan T., Yuan Y.C.* Nomogram to predict postoperative infectious complications after surgery for colorectal cancer: a retrospective cohort study in China. *World J Surg Onc.* 2021; 19: 204. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12957-021-02323-1>.
10. *Alkaaki A., Al-Radi O.O., Khoja A.* Surgical site infection following abdominal surgery: a prospective cohort study. *Can J Surg.* 2019; 62 (2): 111–117. DOI: 10.1503/cjs.004818.
11. *Mengistu D.A., Alemu A., Abdulkadir A.A.* Global Incidence of Surgical Site Infection Among Patients: Systematic Review and Meta-Analysis. *Inquiry.* 2023; 60: 469580231162549. DOI: 10.1177/00469580231162549.
12. *Taylor J.S., Marten C.A., Potts K.A.* What Is the Real Rate of Surgical Site Infection? *J Oncol Pract.* 2016; 12 (10). DOI: 10.1200/JOP.2016.011759.
13. *Martin E.T., Kaye K.S., Knott C.* Diabetes and Risk of Surgical Site Infection: A Systematic Review and Meta-analysis. *Infect Control Hosp Epidemiol.* 2016; 37 (1): 88–99. DOI: 10.1017/ice.2015.249.
14. *Zhao D., Liang G.H., Pan J.K.* Risk factors for postoperative surgical site infections after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med.* 2023; 57 (2): 118–128. DOI: 10.1136/bjsports-2022-105448.
15. *Das U.N.* Is obesity an inflammatory condition? *Nutrition.* 2001; 17 (11-12): 953-966. DOI: 10.1016/s0899-9007(01)00672-4.
16. *Monteiro R., Azevedo I.* Chronic inflammation in obesity and the metabolic syndrome. *Mediators Inflamm.* 2010; 2010: 289645. DOI: 10.1155/2010/289645.
17. *Wilson C.J., Georgiou K.R., Oburu E.* Surgical site infection in overweight and obese Total Knee Arthroplasty patients. *J Orthop.* 2018; 15 (2): 328–332. DOI: 10.1016/j.jor.2018.02.009.
18. *Zhai W., Yang Y., Zhang K., Sun L., Luo M., Han X., Wang M., Wang Z., Gao F.* Impact of visceral obesity on infectious complications after resection for colorectal cancer: a retrospective cohort study. *Lipids Health Dis.* 2023; 22 (1): 139. DOI: 10.1186/s12944-023-01890-4.
19. *Khanna D., Welch B.S., Rehman A.* Pathophysiology of Obesity. In: *StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024.*

20. Шелыгин Ю.А., Сухина М.А., Набиев Э.Н., Пономаренко А.А., Нагудов М.А., Сушков О.И., Москалев А.И., Ачкасов С.И. Нейтрофильно-лимфоцитарное отношение как биомаркер инфекционных осложнений в колоректальной хирургии (собственные данные, систематический обзор и метаанализ). Колопроктология. 2020; 19 (4): 71-92. DOI: <https://doi.org/10.33878/2073-7556-2020-19-4-71-92>.
21. Inose H., Kobayashi Y., Morishita S. Application of an index derived from the area under a neutrophil curve as a predictor of surgical site infection after spinal surgery. BMC Surg. 2021; 21 (1): 354. DOI: [10.1186/s12893-021-01345-6](https://doi.org/10.1186/s12893-021-01345-6).
22. Erciyestepe S.G., Boran A.B., Yildirim M.S., Erciyestepe M. Is it possible to predict Surgical Site Infection? Malawi Med J. 2023; 35 (3): 190–195. DOI: [10.4314/mmj.v35i3](https://doi.org/10.4314/mmj.v35i3).
23. Xi X., Yang M.X., Wang X.Y., Shen D.J. Predictive value of prognostic nutritional index on infection after radical gastrectomy: a retrospective study. J Gastrointest Oncol. 2022; 13 (2): 569–580. DOI: [10.21037/jgo-22-192](https://doi.org/10.21037/jgo-22-192).

Поступила в редакцию 07.10.2024; принята 18.11.2024.

Авторский коллектив

Тонеева Светлана Николаевна – врач акушер-гинеколог гинекологического отделения, ГУЗ Ульяновская областная клиническая больница. 432017, Россия, г. Ульяновск, ул. Третьего Интернационала, 7; e-mail: s.toneeva@inbox.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-3101-881X>.

Клинышева Светлана Юрьевна – ординатор факультета последипломного медицинского и фармацевтического образования, ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет». 432017, Россия, г. Ульяновск, ул. Л. Толстого, 42, e-mail: klinyshevazs99@list.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-7686-8593>.

Тонеев Евгений Александрович – кандидат медицинских наук, врач торакальный хирург хирургического отделения торакальной онкологии, ГУЗ Областной клинической онкологической диспансер. 432017, Россия, г. Ульяновск, ул. 12 Сентября, 90; доцент кафедры факультетской хирургии медицинского факультета им Т.З. Биктимирова Института медицины, экологии и физической культуры, ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет». 432017, Россия, г. Ульяновск, ул. Л. Толстого, 42, e-mail: e.toneev@inbox.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8590-2350>.

Мидленко Олег Владимирович – доктор медицинских наук, профессор кафедры госпитальной хирургии, ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет». 432017, Россия, г. Ульяновск, ул. Л. Толстого, 42; e-mail: 953151@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8076-7145>.

Шагдалеев Роман Фатыхович – ординатор кафедры госпитальной хирургии, анестезиологии, реаниматологии, урологии, травматологии и ортопедии факультет стоматологии, фармации и последипломного медицинского образования Института медицины, экологии и физической культуры, ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет». 432017, Россия, г. Ульяновск, ул. Л. Толстого, 42, e-mail: roman2000shagdaleev@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0004-0218-666X>.

Костяев Дмитрий Сергеевич – врач хирургического отделения, ГБУЗ «Городская клиническая больница № 15 им. О.М. Филатова Департамента здравоохранения г. Москвы». 111539, Россия, г. Москва, ул. Вешняковская, 23; e-mail: traider25@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-9147-5421>.

Образец цитирования

Тонеева С.Н., Клинышева С.Ю., Тонеев Е.А., Мидленко О.В., Шагдалеев Р.Ф., Костяев Д.С. Прогностическая модель возникновения инфекции области хирургического вмешательства. Ульяновский медико-биологический журнал. 2024; 4: 99–111. DOI: [10.34014/2227-1848-2024-4-99-111](https://doi.org/10.34014/2227-1848-2024-4-99-111).

A PROGNOSTIC MODEL FOR SURGICAL SITE INFECTION

S.N. Toneeva¹, S.Yu. Klinysheva², E.A. Toneev^{2, 3}, O.V. Midlenko²,
R.F. Shagdaleev², D.S. Kostyaev⁴

¹ Ulyanovsk Regional Clinical Hospital, Ulyanovsk, Russia;

² Ulyanovsk State University, Ulyanovsk, Russia;

³ Regional Clinical Oncology Center, Ulyanovsk, Russia;

⁴ City Clinical Hospital No. 15 named after O.M. Filatov, Moscow City Health Department, Moscow, Russia

The aim of the study is to determine the incidence of surgical site infection (SSI), risk factors for its development and to evolve a prognostic model for stratifying patients according to its level.

Materials and Methods. The study was conducted at Ulyanovsk Regional Clinical Hospital and Ulyanovsk Regional Clinical Oncology Center. A total of 1,500 planned laparotomies were performed (database registration certificate No. 2024623300) including 190 gastrectomies with D2 lymph node dissection, 882 colon resections, and 428 total hysterectomies. A retrospective analysis of the results was carried out during the postoperative period according to a single protocol. StatTech v. 4.5.0 (Stattech, Russia) and SPSS 26 for Mac (IBM Corp.), R Statistics 3.6.1 were used for statistical analysis of the study results.

Results. The incidence of SSI was 4.93 % (74/1500). There were 12 fatal outcomes (16.2 %) in the group with SSI and 15 ones (1.1 %) in the group without SSI. The most significant factors influencing the development of postoperative infectious complications in the surgical site are age ($p=0.007$), diabetes mellitus ($p<0.001$), subcutaneous fat thickness ($p<0.001$), neutrophil-to-lymphocyte ratio ($p<0.001$), body mass index ($p<0.001$), and surgery duration ($p<0.001$). Multivariate analysis showed that only the following parameters influence the SSI development after laparotomy: colon surgery (OR 8.66 (95 % CI 3.74–21.7); diabetes mellitus (OR 9.36 (95 % CI 4.22–21.65); BMI (OR 1.55 (95 % CI 1.42–1.71) and neutrophil-to-lymphocyte ratio (OR 0.07 (95 % CI 0.03–0.13). A prognostic model for the risk of SSI development was created and programmed as an HTML application using the JavaScript programming language.

Conclusion. The incidence of postoperative infectious complications in the surgical site after standard mid-line laparotomy for elective surgery was 4.93 % (74/1500). The authors created a prediction model to stratify patients according to the risk of SSI development.

Key words: laparotomy, surgical site infections, infectious wound complications, predictive model, machine learning, bootstrapping.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Author contributions

Research concept and design: Toneeva S.N., Klinysheva S.Yu.

Literature search, participation in the study, data processing: Toneev E.A., Midlenko O.V.

Statistical data processing: Shagdaleev R.F., Kostyaev D.S.

References

1. Strobel R.M., Leonhardt M., Förster F. The impact of surgical site infection—a cost analysis. *Langenbecks Arch Surg.* 2022; 407 (2): 819–828. DOI: 10.1007/s00423-021-02346-y.
2. *Global'noe rukovodstvo po profilaktike infektsiy v oblasti khirurgicheskogo vmeshatel'stva* [Global guidelines for the prevention of surgical site infections]. 2-e izd. Available at: <https://iris.who.int/handle/10665/371536> (accessed: September 25, 2024) (in Russian).
3. Morozov A.M., Sergeev A.N., Chervinets V.M. O metodakh profilaktiki infektsiy oblasti khirurgicheskogo vmeshatel'stva [Methods of preventing surgical site infections]. *Ambulatornaya khirurgiya.* 2024; 21 (1): 168–176. DOI: 10.21518/akh2024-013 (in Russian).
4. Seidelman J.L., Mantyh C.R., Anderson D.J. Surgical Site Infection Prevention: A Review. *JAMA.* 2023; 329 (3): 244–252. DOI: 10.1001/jama.2022.24075.
5. Grant S.W., Collins G.S., Nashef S.A.M. Statistical Primer: developing and validating a risk prediction model. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2018; 54 (2): 203–208. DOI:10.1093/ejcts/ezy180.

6. Toneev E.A., Toneeva S.N., Kulikov V.D., Danilova L.A., Zhinov A.V., Martynov A.A., Midlenko O.V., Mukhutdinova A.N., Klinysheva S.Yu., Pavlov M.O., Shagdaleev R.F., Prokhorov D.D., Murtazin A.R., Martynova E.V., Belova M.A., Teryagova A.D. *Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii bazy dannyykh № 2024623300 Rossiyskaya Federatsiya. Chastota razvitiya i faktory riska IOKhV posle planovykh sredinnykh laparotomiy* [Certificate of state registration of the database No. 2024623300 Russian Federation. Incidence and risk factors for SSI after planned midline laparotomy]: zayavka № 2024623044 ot 11.07.2024; opublikovano 25.07.2024 [application No. 2024623044, July 11, 2024; published July 25, 2024.]. (in Russian).
7. Ostrovskiy V.K., Svitich Yu.M., Veber V.R. Leykotsitarnyy indeks intoksikatsii pri ostrykh gnoynnykh i vospalitel'nykh zabolevaniyakh legkikh [Leukocyte intoxication index in acute purulent and inflammatory lung diseases]. *Vestn. khir. im. I.I. Grekova*. 1983; 131 (11): 21–24 (in Russian).
8. Rea L.M., Parker R.A. *Designing and conducting survey research*. San Francisco: Jossey-Bass, Inc.; 2014.
9. Wen J., Pan T., Yuan Y.C. Nomogram to predict postoperative infectious complications after surgery for colorectal cancer: a retrospective cohort study in China. *World J Surg Onc*. 2021; 19: 204. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12957-021-02323-1>.
10. Alkaaki A., Al-Radi O.O., Khoja A. Surgical site infection following abdominal surgery: a prospective cohort study. *Can J Surg*. 2019; 62 (2): 111–117. DOI: 10.1503/cjs.004818.
11. Mengistu D.A., Alemu A., Abdukadir A.A. Global Incidence of Surgical Site Infection Among Patients: Systematic Review and Meta-Analysis. *Inquiry*. 2023; 60: 469580231162549. DOI: 10.1177/00469580231162549.
12. Taylor J.S., Marten C.A., Potts K.A. What Is the Real Rate of Surgical Site Infection? *J Oncol Pract*. 2016; 12 (10). DOI: 10.1200/JOP.2016.011759.
13. Martin E.T., Kaye K.S., Knott C. Diabetes and Risk of Surgical Site Infection: A Systematic Review and Meta-analysis. *Infect Control Hosp Epidemiol*. 2016; 37 (1): 88–99. DOI: 10.1017/ice.2015.249.
14. Zhao D., Liang G.H., Pan J.K. Risk factors for postoperative surgical site infections after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med*. 2023; 57 (2): 118–128. DOI: 10.1136/bjsports-2022-105448.
15. Das U.N. Is obesity an inflammatory condition? *Nutrition*. 2001; 17 (11-12): 953-966. DOI: 10.1016/s0899-9007(01)00672-4.
16. Monteiro R., Azevedo I. Chronic inflammation in obesity and the metabolic syndrome. *Mediators Inflamm*. 2010; 2010: 289645. DOI: 10.1155/2010/289645.
17. Wilson C.J., Georgiou K.R., Oburu E. Surgical site infection in overweight and obese Total Knee Arthroplasty patients. *J Orthop*. 2018; 15 (2): 328–332. DOI: 10.1016/j.jor.2018.02.009.
18. Zhai W., Yang Y., Zhang K., Sun L., Luo M., Han X., Wang M., Wang Z., Gao F. Impact of visceral obesity on infectious complications after resection for colorectal cancer: a retrospective cohort study. *Lipids Health Dis*. 2023; 22 (1): 139. DOI: 10.1186/s12944-023-01890-4.
19. Khanna D., Welch B.S., Rehman A. Pathophysiology of Obesity. In: *StatPearls* [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024.
20. Shelygin Yu.A., Sukhina M.A., Nabiev E.N., Ponomarenko A.A., Nagudov M.A., Sushkov O.I., Moskalev A.I., Achkasov S.I. Neytrofil'no-limfotsitarnoe otnoshenie kak biomarker infektsionnykh oslozhneniy v kolorektal'noy khirurgii (sobstvennye dannye, sistemicheskiy obzor i metaanaliz) [Neutrophil-to-lymphocyte ratio as an infectious complications biomarker in colorectal surgery (own data, systematic review and meta-analysis)]. *Koloproktologiya*. 2020; 19 (4): 71-92. DOI: <https://doi.org/10.33878/2073-7556-2020-19-4-71-92> (in Russian).
21. Inose H., Kobayashi Y., Morishita S. Application of an index derived from the area under a neutrophil curve as a predictor of surgical site infection after spinal surgery. *BMC Surg*. 2021; 21 (1): 354. DOI: 10.1186/s12893-021-01345-6.
22. Erciyestepe S.G., Boran A.B., Yildirim M.S., Erciyestepe M. Is it possible to predict Surgical Site Infection? *Malawi Med J*. 2023; 35 (3): 190–195. DOI: 10.4314/mmj.v35i3.
23. Xi X., Yang M.X., Wang X.Y., Shen D.J. Predictive value of prognostic nutritional index on infection after radical gastrectomy: a retrospective study. *J Gastrointest Oncol*. 2022; 13 (2): 569–580. DOI: 10.21037/jgo-22-192.

Received October 07, 2024; accepted November 18, 2024.

Information about the authors

Toneeva Svetlana Nikolaevna, Obstetrician-Gynecologist, Gynecological Department, Ulyanovsk Regional Clinical Hospital. 432017, Russia, Ulyanovsk, Tret'ego Internatsionala St., 7; e-mail: s.toneeva@inbox.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-3101-881X>.

Klinysheva Svetlana Yur'evna, Resident, Department of Postgraduate Medical and Pharmaceutical Education, Ulyanovsk State University. 432017, Russia, Ulyanovsk, L. Tolstoy St., 42, e-mail: klinyshevazs99@list.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-7686-8593>.

Toneev Evgeniy Aleksandrovich, Candidate of Sciences (Medicine), Thoracic Surgeon, Surgery, Department of Thoracic Oncology, Regional Clinical Oncology Center. 432017, Russia, Ulyanovsk, 12 Sentyabrya St., 90; Associate Professor, Chair of Faculty Surgery, Department of Medicine named after T.Z. Biktimirov, Institute of Medicine, Ecology and Physical Education, Ulyanovsk State University. 432017, Russia, Ulyanovsk, L. Tolstoy St., 42, e-mail: e.toneev@inbox.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8590-2350>.

Midlenko Oleg Vladimirovich, Doctor of Science (Medicine), Professor, Chair of Hospital Surgery, Ulyanovsk State University. 432017, Russia, Ulyanovsk, L. Tolstoy St., 42; e-mail: 953151@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8076-7145>.

Shagdaleev Roman Fatykhovich, Resident, Chair of Hospital Surgery, Anesthesiology, Resuscitation, Urology, Traumatology and Orthopedics, Department of Dentistry, Pharmacy and Postgraduate Medical Education, Institute of Medicine, Ecology and Physical Education, Ulyanovsk State University. 432017, Russia, Ulyanovsk, L. Tolstoy St., 42, e-mail: roman2000shagdaleev@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0004-0218-666X>.

Kostyaev Dmitriy Sergeevich, Physician, Surgical Department, City Clinical Hospital No. 15 named after O.M. Filatov, Moscow City Health Department. 111539, Russia, Moscow, Veshnyakovskaya st., 23; e-mail: traider25@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-9147-5421>.

For citation

Toneeva S.N., Klinysheva S.Yu., Toneev E.A., Midlenko O.V., Shagdaleev R.F., Kostyaev D.S. Prognosticheskaya model' vzniknoveniya infektsii oblasti khirurgicheskogo vmeshatel'stva [A prognostic model for surgical site infection]. *Ulyanovskiy mediko-biologicheskij zhurnal*. 2024; 4: 99–111. DOI: 10.34014/2227-1848-2024-4-99-111 (in Russian).