

DOI: <https://doi.org/10.17816/EID683070>

EDN: VUSTLH

Роль факторов риска в развитии внутрибольничной инфекции после кардиохирургических операций: обзор

Т.И. Хомякова^{1,2}, Ю.Н. Хомяков², В.А. Мхитаров¹, Е.А. Пономаренко¹, Л.В. Озерецкая¹

¹ Российский научный центр хирургии им. акад. Б.В. Петровского, Москва, Россия;

² Московский университет «Синергия», Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Профилактика внутрибольничных инфекций у кардиохирургических пациентов в послеоперационном периоде представляет собой важнейшую задачу как с экономической точки зрения, так и для улучшения качества и продолжительности жизни пациентов с заболеваниями сердечно-сосудистой системы. Актуальность оценки риска развития инфекционных осложнений у таких больных подтверждают многочисленные публикации в отечественных и в зарубежных изданиях. Анализ оригинальных исследований и обзоров в базах данных Embase.com, PubMed, ResearchGate, eLibrary и Google Scholar показал, что для эффективного прогнозирования внутрибольничных инфекций у пациентов кардиохирургического профиля необходимо учитывать совокупность параметров, оказывающих синергичное влияние на риск развития заболевания. К наиболее значимым дооперационным факторам риска относят: возраст старше 60 лет; индекс массы тела более 24 кг/м²; курение; артериальную гипертензию; сахарный диабет; хроническую обструктивную болезнь лёгких; хроническую сердечную недостаточность высокой степени; заболевания периферических сосудов; ранее перенесённые операции на сердце в анамнезе. Непосредственно при госпитализации пациента на вероятность развития внутрибольничных инфекций могут влиять выраженная предоперационная гипоальбуминемия, анемия, низкий гематокрит, высокое содержание креатинина в сыворотке крови. Во время хирургического вмешательства ключевыми факторами риска выступают длительность искусственного кровообращения более 120 мин, интраоперационная кровопотеря более 2000 мл, инфузия больших объёмов кровезамещающих жидкостей. В перспективе для разработки шкалы оценки риска можно использовать искусственный интеллект.

Роль патобиома и хронических инфекционных очагов в развитии внутрибольничных осложнений у пациентов кардиохирургического профиля недостаточно изучена и требует дополнительных исследований. Эндогенный источник заражения может играть более серьёзную роль в развитии внутрибольничной инфекции, чем экзогенное инфицирование.

Ключевые слова: кардиохирургические пациенты; внутрибольничные инфекции; инфекции области хирургического вмешательства; инфекции мочевыводящих путей; инфекции кровотока; обзор.

Как цитировать:

Хомякова Т.И., Хомяков Ю.Н., Мхитаров В.А., Пономаренко Е.А., Озерецкая Л.В. Роль факторов риска в развитии внутрибольничной инфекции после кардиохирургических операций: обзор // Эпидемиология и инфекционные болезни. 2025. Т. 30, № 2. С. 116–128.

DOI: 10.17816/EID683070 EDN: VUSTLH

DOI: <https://doi.org/10.17816/EID683070>

EDN: VUSTLH

Role of Risk Factors in the Development of Nosocomial Infections After Cardiac Surgery: A Review

Tatiana I. Khomyakova^{1,2}, Yuri N. Khomyakov², Vladimir A. Mkhitarov¹, Elena A. Ponomarenko¹, Liubov V. Ozeretskaya¹

¹ Russian Scientific Center of Surgery named after academician B.V. Petrovsky, Moscow, Russia;

² Synergy University, Moscow, Russia

ABSTRACT

Prevention of nosocomial infections in cardiac surgery patients during the postoperative period is a critical task, both from an economic perspective and for improving the quality and longevity of life in patients with cardiovascular diseases. The relevance of assessing the risk of infectious complications in this population is confirmed by numerous publications in both Russian and international journals. An analysis of original studies and reviews in Embase, PubMed, ResearchGate, eLibrary, and Google Scholar indicated that effective prediction of nosocomial infections in cardiac surgery patients requires consideration of a combination of parameters that exert a synergistic influence on infection risk. Key preoperative risk factors include age over 60 years, body mass index >24 kg/m², smoking, hypertension, diabetes mellitus, chronic obstructive pulmonary disease, severe chronic heart failure, peripheral vascular disease, and previous cardiac surgery. Upon hospital admission, the likelihood of developing nosocomial infections may be influenced by pronounced preoperative hypoalbuminemia, anemia, low hematocrit, and elevated serum creatinine. Intraoperative risk factors include cardiopulmonary bypass duration exceeding 120 minutes, intraoperative blood loss > 2000 mL, and infusion of large volumes of replacement fluids. In the future, artificial intelligence could be utilized to develop a risk assessment scoring system.

The role of the pathobiome and chronic infectious foci in the development of nosocomial complications in cardiac surgery patients remains insufficiently studied and requires further research. Endogenous sources of infection may play a more significant role in the development of nosocomial infections than exogenous contamination.

Keywords: cardiac surgery patients; nosocomial infections; surgical wound infections; urinary tract infections; bloodstream infections; review.

To cite this article:

Khomyakova TI, Khomyakov YuN, Mkhitarov VA, Ponomarenko EA, Ozeretskaya LV. Role of Risk Factors in the Development of Nosocomial Infections After Cardiac Surgery: A Review. *Epidemiology and Infectious Diseases*. 2025;30(2):116–128. DOI: 10.17816/EID683070 EDN: VUSTLH

ВВЕДЕНИЕ

Внутрибольничные инфекции (ВБИ) представляют собой глобальную проблему для общественного здравоохранения, поскольку ежегодно погибает более 140 000 пациентов во всём мире [1]. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), ВБИ поражают примерно 15% всех госпитализированных пациентов и часто становятся причиной смерти в развитых (7%) и в развивающихся (10%) странах [2]. Эти инфекции увеличивают срок пребывания в стационаре, способствуют развитию инвалидности и повышают экономические расходы государства. Этиологическими агентами ВБИ могут выступать бактерии, вирусы и грибы. Они попадают в организм пациента экзогенным (окружающая среда, медицинский персонал, другие пациенты) и эндогенным (очаги инфекции в самом организме) способами. Множественная лекарственная устойчивость (МЛУ) микроорганизмов существенно осложняет лечение ВБИ и увеличивает продолжительность терапии.

Влияние ВБИ на состояние пациентов после кардиохирургических операций остаётся неоднозначным. Согласно результатам мультицентрового исследования, проведённого в Нидерландах в 2015–2019 гг., ВБИ не оказывают достоверного влияния на отдалённые последствия у пациентов, перенёвших кардиоторакальную операцию. Госпитальные инфекции повышают риск неблагоприятного исхода и развития осложнений в раннем послеоперационном периоде, однако анализ с учётом предрасположенности пациентов не выявил значимой связи между инфекциями и выздоровлением, а также качеством жизни через год после операции ($p=0,077$). Контроль факторов риска и дооперационная подготовка снижают частоту ВБИ после кардиохирургических вмешательств [3]. Другие исследования показывают, что после операций на сердце риск ВБИ составляет от 3 до 8,2% в течение 30–60 дней, при этом смертность возрастает в 10–17 раз, а общая госпитальная смертность увеличивается с 5,7 до 15,4% ($p < 0,001$) [1].

Прогноз, профилактика и лечение ВБИ после кардиохирургических операций представляют значительный научный интерес, поскольку их распространённость достигает 5–7% общего числа пациентов. У кардиохирургических пациентов старше 60 лет риск заражения из внешних источников лежит в диапазоне 5,9–20% [4]. Данные о риске эндогенного инфицирования пациентов кардиохирургического профиля противоречивы и требуют дальнейшего изучения [5]. Обнаружению факторов риска ВБИ у кардиохирургических пациентов посвящено множество исследований. По запросу «risk factor AND infection AND cardio surgery» в базе данных PubMed обнаружено более 7000 публикаций, из них почти 2500 статей опубликованы за последние 5 лет.

В представленном обзоре проведён сравнительный анализ и обобщение литературных данных за 2020–2025 гг., касающихся факторов риска ВБИ у кардиохирургических пациентов в послеоперационном периоде.

МЕТОДОЛОГИЯ ПОИСКА ДАННЫХ

Поиск литературы проводили с использованием общедоступных интернет-ресурсов: PubMed, Embase.com., ResearchGate, eLibrary, Google Scholar за 2020–2025 гг. Для поиска использовали ключевые слова: «факторы риска», «кардиохирургическое вмешательство», «инфекционное осложнение», «внутрибольничная инфекция», «инфекции, связанные с оказанием медицинской помощи»; «risk factors», «cardiac surgery», «infectious complication», «nosocomial infection», «infections related to medical care». Дополнительно применили поисковый запрос «risk factors AND cardiac surgery AND nosocomial infection NOT COVID–19», чтобы исключить исследования, связанные с коронавирусной инфекцией COVID–19. Также намеренно исключили материалы, посвящённые узкоспециализированным патологиям (отравление, острая печёночная недостаточность, зуд, системные заболевания и т.д.), поскольку они требуют отдельного рассмотрения. Рассматривали источники на русском и английском языках, содержащие информацию о дооперационных и периоперационных факторах риска развития ВБИ. В анализ вошли клинические рекомендации; обзорные статьи; клинические наблюдения; ретроспективные и проспективные исследования; статьи, содержащие информацию о частоте, этиологии ВБИ и факторах риска их развития у пациентов после кардиохирургических вмешательств. При первоначальном поиске в указанных базах данных за 2020–2025 гг. было обнаружено 154 статьи. После анализа аннотаций исключили работы, относящиеся к сепсису (20 статей); инфекционно-воспалительным осложнениям у детей (18 статей); инфекционным осложнениям в торакальной хирургии (15 статей); статьи, касающиеся эпидемиологии и характеристики возбудителей ВБИ с точки зрения микробиологии и инфекционной патологии (33 статьи); работы, связанные с инфицированием имплантированных внутрисердечных устройств в отдалённом послеоперационном периоде (18 статей), так как данные исследования требуют отдельного рассмотрения или не соответствуют критериям ВБИ (рис. 1).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ВНУТРИБОЛЬНИЧНЫХ ИНФЕКЦИЙ

Согласно п. 3395 СанПиН 3.3686–21 «Санитарно-эпидемиологические требования по профилактике инфекционных болезней», ВБИ представляют собой любые инфекционные заболевания (состояния), которые возникли в медицинской организации (МО) (при отсутствии таких заболеваний до обращения за медицинской помощью, в том числе в инкубационном периоде) и проявились в условиях МО или вне её в течение периода инкубации. К ВБИ также относят инфекционное заболевание (состояние) сотрудника МО, развившееся вследствие заражения при выполнении трудовых обязанностей [6].

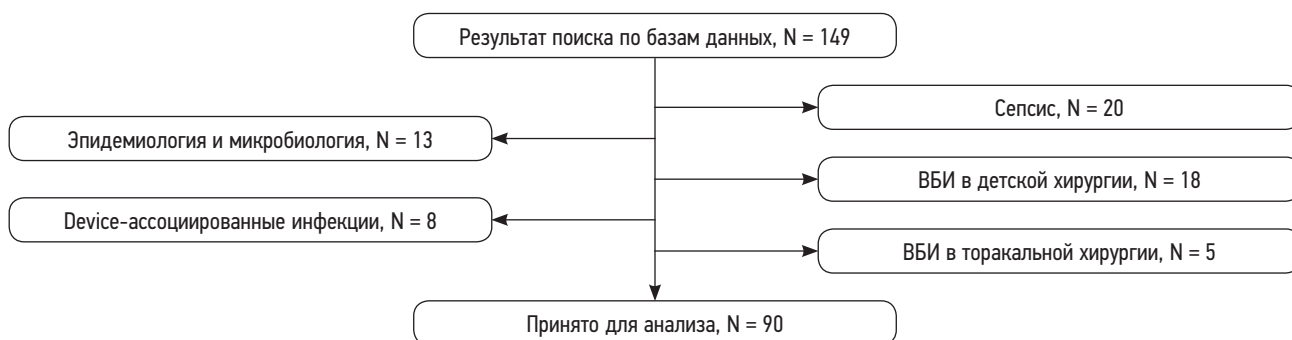


Рис. 1. Алгоритм поиска литературы для аналитического обзора. ВБИ — внутрибольничные инфекции.

В данном обзоре мы рассмотрели ВБИ, которые возникают только у пациентов кардиохирургических отделений в послеоперационном периоде. Согласно классификации Европейского Центра контроля и профилактики заболеваний (European Centre for Disease Prevention and Control, ECDC), к ВБИ относят следующие инфекции: инфекция кровотока (ИК); сепсис; пневмония; пневмония, связанная с искусственной вентиляцией лёгких (вентилятор-ассоциированная пневмония, ВАП), которую некоторые авторы выделяют как частный случай внутрибольничной пневмонии; инфекция в месте хирургического вмешательства (ИОХВ). В Российской Федерации среди инфекционных осложнений у пациентов после кардиохирургических вмешательств выделяют ИОХВ; внутрибольничную пневмонию; инфекцию мочевыводящих путей (ИМП); сепсис [7,8]. Отдельную нозологию представляет инфекционный эндокардит — серьёзное осложнение с высокой смертностью, например, после имплантации искусственного механического или биологического клапана. Это состояние также требует отдельного рассмотрения. ИК чаще всего вызывает установка центральных артериальных и венозных катетеров. В российской клинической практике обычно используют термин «бактериемия», хотя он не является синонимом термина «инфекция кровотока». Некоторые клиницисты расценивают наличие патогенов в крови как сепсис, однако наличие ИК не относят к критериям быстрой оценки сепсиса (quick Sequential Organ Failure Assessment, qSOFA) или синдрома системной воспалительной реакции (Systemic Inflammatory Response Syndrome, SIRS) [9]. По данным литературы, частота развития ВБИ у кардиохирургических пациентов зависит от пола, возраста, индивидуальных особенностей состояния пациента и других факторов: технические возможности и опыт кардиохирургов и анестезиологов; продолжительность искусственной вентиляции лёгких (ИВЛ); длительность пребывания в стационаре до операции и в отделении послеоперационного наблюдения [7]. В исследованиях, включённых в обзор, расчёт отношения шансов (вероятности развития) инфекционного осложнения после кардиохирургической операции обычно проводят на основе ретроспективного анализа данных из медицинских карт пациентов.

Результаты таких исследований варьируют в зависимости от страны. Например, в ретроспективном когортном исследовании, проведённом в Саудовской Аравии в 2023 г. среди 364 пациентов, перенёвших операцию на сердце, общая частота ВБИ составила 32,7%. У большинства пациентов до операции выявили следующие факторы риска сердечно-сосудистых заболеваний: сахарный диабет (67%); артериальная гипертензия (63%); дислипидемия (40%); курение (22%); сердечная недостаточность (11%); хроническая обструктивная болезнь лёгких (ХОБЛ) (1,6%) [10]. В послеоперационном периоде частота внутрибольничной пневмонии составила 6,6%, ИК — 1,4%, ИОХВ — 20,7%, ИМП — 3,3%. Многофакторный анализ выявил значимую связь между послеоперационными инфекциями и следующими факторами: гипертоническая болезнь; сахарный диабет; увеличение предоперационного активированного частичного тромбопластинового времени; повышение уровня гликированного гемоглобина.

В исследовании испанских исследователей частота ВБИ оказалась в 2 раза ниже: инфекции развились у 124 из 800 участников (15,5%). Условия ухода почти не повлияли на частоту инфекций: в отделении интенсивной терапии ВБИ выявили у 54,8% пациентов; в общей палате после отделения интенсивной терапии — у 40,3%. Наиболее распространёнными инфекциями были пневмония, ИОХВ и ИК. Смертность от инфекционного осложнения составила 1,1% пациентов, участвовавших в исследовании, и 13,7% в группе пациентов с ВБИ [4].

По данным американских исследователей факторы риска развития ИОХВ включают: возраст; метаболические нарушения; иммунодефицитные состояния разной этиологии; хронические очаги инфекции. К периоперационным факторам риска относят: неоправданную антибиотикопрофилактику; нарушение асептики и антисептики; длительность операции (особенно превышающая стандартный протокол); значительную кровопотерю; переливание эритроцитарной массы и больших объёмов плазмозамещающих растворов; количество дренажей и длительность их использования; продолжительная ИВЛ и связанная с ней гипоксия тканей [11].

Тем не менее, большинство исследователей считают, что при оценке риска ВБИ следует учитывать содержание общего белка и глюкозы в крови и продолжительность стационарного лечения до операции [10, 11]. К дооперационным мероприятиям, которые способны снизить частоту ВБИ, относят: гигиенический душ, депиляцию; обработку операционной области антисептиками. Периперационные факторы, снижающие риск ВБИ включают: использование стерильной хирургической одежды и одноразового оборудования; строгий контроль дезинфекции помещений и стерилизации инструментов. Большинство профилактических мер основаны на стандартных протоколах дооперационной подготовки пациентов и области хирургического вмешательства и соблюдении санитарно-эпидемических правил.

Согласно литературным данным, факторы риска для ИОХВ, пневмоний, ИМП и ИК различны, и мы рассмотрим их ниже.

ФАКТОРЫ РИСКА РАЗВИТИЯ ИНФЕКЦИИ ОБЛАСТИ ХИРУРГИЧЕСКОГО ВМЕШАТЕЛЬСТВА

К ИОХВ относят инфекции раны грудины и инфекции в области венозного катетера. Инфекции раны грудины делят на поверхностные и глубокие, к которым относят медиастинит. Для постановки диагноза «медиастинит» необходимо обнаружить микроорганизмы в тканях/жидкостях средостения или обнаружить инфекцию в ране грудины во время операции в сочетании с характерными симптомами, включая боль в груди, лихорадку и гнойные выделения из средостения. Уровень госпитальной смертности у пациентов с глубокой инфекцией грудины значительно выше, чем у пациентов без ИОХВ (6,9 и 2,8% соответственно, $p=0,0002$) [11].

Несмотря на преобладание послеоперационных ран с низкой степенью контаминации и широкое применение антимикробной профилактики (цефалоспорины; β -лактамы; антибиототики; гликопептиды) частота ИОХВ в кардиохирургических клиниках составляет от 0,9 до 20% [12]. По данным 2022 г., в США ИОХВ диагностировали у 1,7% кардиохирургических пациентов, при этом у 67,3% пациентов осложнения проявились уже после выписки [13]. В Российской Федерации средняя частота ИОХВ составляет 1,84% (0–4,5%) [8].

В ретроспективном исследовании 1992 пациентов кардиохирургического профиля оценивали влияние до- и периперационных факторов риска ИОХВ. Исследователи сравнили частоту встречаемости факторов риска в группах с осложнениями и без. В группе пациентов с инфекционными осложнениями чаще встречали следующие факторы риска: мужской пол (82,50 против 70,95% в группе без инфекции); ожирение (43,3 против 30,3%); ХОБЛ (24,7 против 13,3%); использование

двух внутренних грудных артерий во время операции (29,9 против 17,3%); перекрёстный вариант использования двух внутренних грудных артерий (55,2 против 34,1%). Мужской пол и ХОБЛ повышают риск ИОХВ почти в 2 раза, ожирение — в 1,76. Использование одной внутренней грудной артерии повышает вероятность осложнений в 1,67 раза, двух — в 3,27. Каждый дополнительный фактор риска увеличивает риск осложнений в 1,31 раза [14]. К другим значимым факторам риска относят нарушения иммунной защиты, включая выраженное ослабление гуморального и клеточно-опосредованного иммунитета. Своевременная оценка риска ИОХВ, ранняя диагностика, правильно подобранная антибиотикотерапия, агрессивная хирургическая обработка раны и использование регионарных мышечных лоскутов значительно улучшают результаты лечения ИОХВ [12, 13].

ФАКТОРЫ РИСКА РАЗВИТИЯ ВНУТРИБОЛЬНИЧНОЙ ПНЕВМОНИИ

Внутрибольничную пневмонию в кардиохирургии выявляют с частотой до 10% [15]. Согласно другим исследованиям, частота развития этого осложнения составляет 9,96%, при этом в 87% случаев пневмония развивается в первую неделю после операции, в среднем на четвёртые сут (от 2 до 5 сут). Общая частота лежит в диапазоне 7–26%, а летальность — 20–70% [16]. При этом смертность у пациентов с пневмонией значительно выше, чем у пациентов после аналогичных по типу и сложности кардиохирургических операций, но без пневмонии (25,66 против 0,65%) [15]. В целом, после хирургических операций частота внутрибольничной пневмонии варьирует от 5 до 40% в зависимости от условий и диагностических критериев [17].

Пневмония, связанная с ИВЛ, или ВАП развивается через 48 ч после начала ИВЛ и является частым осложнением у пациентов в критическом состоянии после интубации трахеи [18]. Риск ВАП возрастает при длительной ИВЛ и пребывании в отделении реанимации и интенсивной терапии (ОРИТ), а также коррелирует с вероятностью развития пневмонии и эмпиемы плевры. Предполагаемая летальность, связанная с ВАП, составляет около 10%, при этом более высокие показатели летальности наблюдают у пациентов хирургического ОРИТ и у пациентов со средней степенью тяжести при поступлении [18]. Пациентам с послеоперационной пневмонией требуется более длительное пребывание в ОРИТ и стационаре, их смертность значительно выше (25,66 против 0,65%). Многофакторный анализ выявил 13 независимых факторов риска внутрибольничной пневмонии у кардиохирургических пациентов: возраст >60 лет; артериальная гипертензия; сахарный диабет; курение; ХОБЛ, индекс массы тела (ИМТ) ≥ 24 кг/м²; почечная недостаточность; перенесённые операции

на сердце; хроническая сердечная недостаточность (ХСН) III–IV класса по классификации Нью-Йоркской кардиологической ассоциации (New York Heart Association, NYHA); предоперационная анемия; гипоальбуминемия; продолжительность искусственного кровообращения >120 мин [16].

Пневмония, ассоциированная с ИВЛ, служит независимым фактором риска повышенной смертности у госпитализированных пациентов. Среди основных причин послеоперационного острого повреждения лёгких после кардиохирургического вмешательства [16] выделяют: воспалительную реакцию, активацию системы комплемента и ишемически-реперфузионное повреждение лёгких. Различные гуморальные факторы взаимодействуют с лейкоцитами и тромбоцитами, что приводит к изменению проницаемости лёгочных сосудов и нарушает послеоперационную функцию лёгких. При более длительном пребывании в реанимации повреждение лёгких усугубляется, что увеличивает продолжительность ИВЛ, снижает индекс оксигенации и повышает риск пневмонии. К факторам риска ВАП также относят сердечную недостаточность, длительный застой в лёгких, гиперемию и отёк слизистой оболочки бронхов, а также снижение устойчивости к патогенам. ИВЛ более 48 ч ($p < 0,001$) и повторная интубация ($p = 0,009$) увеличивают риск пневмонии. Кроме того, у пациентов после кардиохирургических вмешательств, получивших более 800 мл перелитой крови, риск пневмонии возрастает [16].

В метаанализе, включавшем 5323 случая послеоперационной пневмонии, препараты крови использовали в 83% случаев (4401 пациент), а средняя продолжительность ИВЛ составила 105 мин (78–142 мин). Участники исследования имели различный анамнез и сопутствующие заболевания: 16% (876 пациентов) относились к III–IV функциональному классу по NYHA; курили 29% (1548 пациентов); употребляли алкоголь 22% (1174 пациента). 7% (376 пациентов) перенесли операции на сердце; 30% (1604 пациента) страдали артериальной гипертензией, 8% (438 пациентов) — сахарным диабетом, 10% (557 пациентов) — ХОБЛ, 26% (1390 пациентов) — лёгочной гипертензией, 10% (524 пациента) — почечной недостаточностью. Нарушение ритма в виде фибрилляции предсердий были у 17% (912 пациентов). Статистический анализ выявил значимые независимые факторы риска пневмонии: застойная сердечная недостаточность, дооперационная лёгочная гипертензия, повышенный уровень глюкозы до операции, интраоперационное переливание эритроцитарной массы, хирургическая ревизия грудной клетки в ОРИТ [16].

У пациентов, получающих экстракорпоральную мембранную оксигенацию (ЭКМО), часто возникают ВБИ [17], включая пневмонию, связанную с ИВЛ (57,6%), ИК (9,1%), ИОХВ (9,1%) [18]. Из-за высокой частоты осложнений ЭКМО относят к факторам риска развития ВАП.

ФАКТОРЫ РИСКА РАЗВИТИЯ ИНФЕКЦИИ МОЧЕВЫВОДЯЩИХ ПУТЕЙ

Использование мочевых катетеров и инструментальные вмешательства на мочеполовых путях в кардиохирургии часто приводит к ИМП [19]. Частота ИМП достигает 11 случаев на 1000 пациентов [20]. Катетеризация мочевого пузыря неизбежно повреждает эпителий, что повышает риск развития ИМП. При этом если катетер используется более 48 ч, вероятность осложнений у кардиохирургических пациентов значительно возрастает ($p < 0,0001$). Хроническая болезнь почек (ХБП) 3 стадии и выше также увеличивает риск ИМП ($p < 0,0001$). У женщин вероятность мочевой инфекции выше, чем у мужчин ($p < 0,0001$). Дополнительным фактором риска служит пребывание кардиохирургических пациентов в стационаре в течение последних 3 месяцев ($p = 0,0016$). Наличие у пациентов сахарного диабета 2 типа (СД2) повышает вероятность ИМП в 2,5 раза ($p = 0,006$), а избыточной массы тела — в 2 раза ($p = 0,02$) [21]. СД2 относят к модифицируемым факторам риска ИМП у хирургических пациентов [22]. Зависимость между ИМП и СД2, обусловленная диабетической нефропатией, нарушающей почечную фильтрацию, способствует развитию почечной недостаточности. Кроме того, нейропатия мочевого пузыря снижает позывы к мочеиспусканию, что приводит к застою мочи и глюкозурии, которая, в свою очередь, создаёт благоприятную среду для роста микроорганизмов, дополнительно увеличивая риск ИМП [23].

ФАКТОРЫ РИСКА РАЗВИТИЯ ИНФЕКЦИЙ КРОВотоКА

Инфекции кровотока (ИК) встречаются у 15% пациентов с ВБИ и у 1% всех госпитализированных пациентов. ИК определяют по положительным посевам крови у пациента с системными признаками инфекции [24]. ИК может быть как вторичной при подтверждённом источнике, так и первичной без определённого источника [25]. При мониторинге инфекций первичные ИК характеризуют как «микробиологически подтверждённые инфекции», в отличие от сепсиса, который диагностируют по клинико-лабораторным параметрам, при этом не всегда удаётся выявить возбудителя. Согласно современному определению, сепсис — нарушение регуляции иммунного ответа на инфекцию, которое приводит к опасной для жизни острой дисфункции органов [26]. Таким образом, ИК может служить одним из вероятных признаков последующего развития сепсиса.

Около 30% первичных ИК у пациентов кардиохирургического и торакального профилей связаны с использованием венозных и артериальных катетеров (катетер-ассоциированные инфекции кровотока, КАИК). Эти инфекции приводят к ВБИ как местного, так и системного характера [26]. Наличие катетеров и их количество относят

к независимым факторам риска, которые резко повышают вероятность ВБИ вследствие интерференции с существующими предрасполагающими факторами. Согласно литературным данным, при установке катетера микробная колонизация происходит примерно в 24% случаев [27].

ИК составляют приблизительно 2,6–3,4% всех ВБИ, занимая четвертое место по распространённости, с общей летальностью 33,3% [28]. В группу риска послеоперационной бактериемии входят пациенты с ослабленным иммунитетом, нарушениями питания. Инфекционные осложнения у кардиохирургических пациентов с имплантированными устройствами (девайс-ассоциированные инфекции, device-associated infection) широко описаны в научных публикациях, требующих отдельного анализа.

В 27,6% случаев ИК у кардиохирургических пациентов был выявлен хронический очаг, а в 16,4% случаев инфекция развилась вследствие КАИК. Для 56% случаев источник не был установлен. Частота инфицирования кровотока *Staphylococcus aureus* у пациентов, перенёсших операцию на сердце, составила 0,57%, что выше, чем после ортопедических, неврологических и пластических операций [28]. Частота развития инфекций варьирует в зависимости от типа операции: 2,6% — лечение врождённых пороков сердца, 5,5% — замена клапана, 13,6% — аортокоронарное шунтирование, 16,8% — операции при аневризме и расслоении аорты [22].

ОСНОВНЫЕ ВОЗБУДИТЕЛИ ВНУТРИБОЛЬНИЧНЫХ ИНФЕКЦИЙ У КАРДИОХИРУРГИЧЕСКИХ ПАЦИЕНТОВ

Послеоперационные ВБИ могут иметь мономикробное или полимикробное происхождение, при этом последние встречаются более чем в 27% случаев [29]. Данные об этиологии ВБИ различаются, что, вероятно, связано с регионом проведения исследования, уровнем оснащённости кардиохирургического стационара и соблюдением методических рекомендаций по снижению риска ВБИ.

В одноцентровом исследовании, проведённом в кардиохирургическом стационаре Саудовской Аравии, грамотрицательные бактерии были выделены в 42,4% случаев всех ВБИ, грамположительные бактерии — в 29%, грибы — в 28% [29]. В многоцентровом исследовании M.J. Pérez-Granda и соавт. [4], включавшем 14 клиник Испании, выявили 193 возбудителя: грамотрицательные бациллы (54,4%), грамположительные кокки (30%), вирусы (4,6%) и грибы (1,5%) [4]. Среди грамотрицательных бактерий чаще встречались: *Acinetobacter baumannii* (8,8%), *Pseudomonas aeruginosa* (8%), *Escherichia coli* (5,6%) и *Klebsiella pneumoniae* (4,8%). Среди грамположительных кокков преобладали стафилококки. *S. epidermidis* чаще служил причиной развития ИОХВ, а *S. aureus* вызывал инфекции дыхательной системы и области хирургического

вмешательства примерно с равной частотой [4]. Грибы рода *Candida spp.* обнаружили в двух случаях катетер-ассоциированной инфекции, *Aspergillus* — в одном случае инвазивного аспергиллёза как проявление снижения иммунитета после операции. По данным исследователей из провинции Шаньдун (Китай) [28], грамотрицательные бактерии выделили в 78,36% случаев. Чаще всего встречали грамотрицательные *A. baumannii* (37,31%) и *K. pneumoniae* (14,18%). Грамположительные бактерии обнаружили в 14,93%, из них основную долю составили *S. epidermidis* (6,72%), *Enterococcus faecium* (4,48%) и *S. aureus* (2,24%).

Согласно обзору [22], основными причинами летальных исходов у кардиохирургических пациентов с ВБИ рассматривают грамотрицательные бактерии и *S. aureus*, которые независимо друг от друга ассоциированы с 30-дневной смертностью. В то же время коагулазонегативные стафилококки, несмотря на частоту выделения, не приводили к гибели пациентов. В ретроспективном исследовании итальянских исследователей [30] преобладающим возбудителем оказались *Pseudomonas spp.*, при этом выделение *P. aeruginosa* достоверно повышало смертность от ВБИ ($p=0,005$) [30].

Прогноз состояния пациента значительно ухудшается при наличии антибиотикорезистентности возбудителей. При анализе частоты МЛУ у возбудителей ВАП при трансплантации сердца в 55,7% случаев (34 из 61) выделили МЛУ-бактерии [31].

Многофакторный логистический регрессионный анализ при кардиохирургических операциях в целом выявил следующие независимые факторы риска: клиренс креатинина до операции (ККК) $\geq 86,6$ мл; длительность интраоперационного искусственного кровообращения >150 мин; послеоперационное острое повреждение почек; зондовое (трансназальное) питание. Основными возбудителями оказались грамотрицательные бактерии (90,0%; $n=54$), среди которых чаще всего встречались антибиотикорезистентные штаммы *A. baumannii* (40,0%; $n=24$) [32].

Персистенция или носительство условно-патогенных микроорганизмов значительно повышает риск ВБИ, а наличие полирезистентных штаммов в микробиоме желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) также относят к независимым факторам риска. К ключевым факторам, повышающим вероятность ВБИ, относят носительство *S. aureus*, дисбактериоз толстой кишки [5], нарушение барьерной функции слизистой оболочки и замещение нормальной микрофлоры пациента госпитальными резистентными штаммами.

Полирезистентность возбудителей снижает эффективность стандартной периоперационной антибиотикопрофилактики и повышает вероятность послеоперационных ВБИ. Предполагают, что высокая частота грамотрицательной бактериальной пневмонии у госпитализированных пациентов связана с факторами,

способствующих проникновению этих микроорганизмов в нижние дыхательные пути из носоглотки, а также с гематогенным и лимфогенным заносом. Хотя аэробные грамотрицательные бактерии редко обнаруживают или выявляют в небольшом количестве в посевах из глотки здоровых людей, колонизация резко возрастает у пациентов с ацидозом, алкоголизмом, азотемией, комой, сахарным диабетом, артериальной гипотензией, лейкоцитозом, лейкопенией, заболеваниями лёгких, а также у пациентов, получающих противомикробные препараты [33]. Изучение структуры резистентности микроорганизмов играет важную роль в мультифакторном анализе этиологии ВБИ для дальнейшей профилактики и лечения этих инфекций. При ИОХВ, согласно исследованию А.В. Степина [34], проведённого в 2022 г., основными патогенами являются стафилококки (19,5%). Среди них преобладали коагулазонегативные стафилококки, выделенные в 15,9% случаев. Устойчивость к антибиотикам выявили в 34% всех положительных культур. Метициллин-резистентные *S. epidermidis* (methicillin-resistant *Staphylococcus epidermidis*, MRSE) проявили чувствительность к цефтаролину, даптомицину, ванкомицину, линезолиду и тигециклину. Продуценты β -лактамаз расширенного спектра включали *E. coli* и *E. cloacae*, и сохраняли чувствительность к имипенему, тигециклину, цефтазидиму (авибактаму), цефепиму. Наиболее распространёнными возбудителями послеоперационной пневмонии оказались *A. baumannii* и *K. pneumoniae*, за которыми следовали *S. aureus* и *P. aeruginosa*. Также исследователи выделили значительное количество грибов. Полимикробная пневмония (воспаление лёгких, вызванное двумя или более возбудителями) развивалась у 34,34% пациентов [34].

Антибиотик-ассоциированную диарею и нарушение функции кишечника у кардиохирургических пациентов часто недооценивают, несмотря на высокую распространённость этого заболевания. Поражение кишечника с развитием кишечной недостаточности, нарушением всасывающей функции и моторики ухудшает состояние пациента, увеличивает продолжительность госпитализации и повышает риск системной ВБИ. Несмотря на то, что диарею обычно не относят к послеоперационным инфекционным осложнениям, однако *Clostridioides difficile*-ассоциированная диарея (КДАИ), которая часто развивается на фоне антибиотикотерапии у кардиохирургических пациентов, может протекать тяжело, включая колит с летальным исходом [35]. Заболеваемость и тяжесть внутрибольничной КДАИ во всём мире продолжают расти. К факторам риска относят: пожилой возраст, женский пол, приём антибиотиков широкого спектра действия, длительное использование ингибиторов протонной помпы, хронические сопутствующие заболевания, иммуносупрессивные состояния и продолжительную госпитализацию. Пациенты, перенёвшие хирургическое вмешательство, имеют дополнительные риски развития КДАИ, связанные с использованием катетера и общей гипоксией во время операции.

Кардиохирургические пациенты с КДАИ были значительно старше, чем пациенты контрольной группы (средний возраст 73 против 67 лет, $p=0,005$). Кроме того, такие пациенты чаще получали до операции ингибиторы протонной помпы, статины, β -адреноблокаторы и ацетилсалициловую кислоту ($p=0,008$; $p=0,012$; $p=0,004$ и $p=0,001$ соответственно). Кроме того, наличие атеросклероза, ишемической болезни сердца (ИБС) и злокачественных новообразований в анамнезе коррелировало с развитием КДАИ ($p=0,012$; $p=0,036$ и $p=0,05$ соответственно) [35]. Между исследуемыми группами не обнаружили различий в типе или сроках операций, времени пережатия аорты и искусственного кровообращения, объёме послеоперационного дренажа и трансфузии препаратов крови. Рецидивы КДАИ чаще наблюдали у пациентов с избыточной массой тела, высоким содержанием глюкозы в послеоперационном периоде, повышенной концентрацией С-реактивного белка во время первого эпизода КДАИ, а также у пациентов с ИБС или сахарным диабетом в анамнезе ($p=0,005$; $p=0,030$; $p=0,009$; $p=0,049$ и $p=0,025$) [35].

Установлено, что причиной развития ВБИ у кардиохирургических пациентов может быть эндогенное инфицирование, вызванное транслокацией микроорганизмов из кишечника или хронических очагов инфекции. Эндогенное инфицирование усложняет течение неинфекционных лёгочных осложнений в кардиохирургии [36, 37]. При развитии ИОХВ наибольший потенциал имеют *S. aureus* (30%) и коагулазонегативные виды *Staphylococcus spp.* Доля других грамположительных возбудителей, таких как стрептококки и энтерококки, в этиологической структуре составляет в среднем 10%. Бактерии рода *Enterococcus* обладают полирезистентностью к антимикробным препаратам, что значительно затрудняет лечение глубоких ИОХВ энтерококковой этиологии. В смывах с гнойных ран чаще всего обнаруживают аэробные бактерии семейств *Enterobacteriaceae*: *E. coli*, *Klebsiella spp.*, *Proteus spp.*, а также анаэробы *Bacteroides spp.*, *Peptostreptococcus spp.* Неферментирующие грамотрицательные бактерии *P. aeruginosa*, *A. baumannii* вызывают тяжёлые процессы с генерализацией в виде системного воспалительного ответа и сепсиса [38]. Практически все перечисленные возбудители входят в состав микробиома кишечника, что косвенно подтверждает эндогенную природу ВБИ. Наличие в толстой кишке микроорганизмов с МЛУ рассматривают как независимый фактор риска развития ИОХВ (отношение рисков (ОР): 3,95; 95% доверительный интервал (ДИ): 2,79–5,60).

Метициллин-резистентные штаммы *S. aureus* (methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*, MRSA) и MRSE обладают высоким эпидемическим потенциалом и вызывают тяжёлые, трудно поддающиеся лечению ИК и ВАП. В 48% случаев ИОХВ, вызванных микроорганизмами с МЛУ (преимущественно карбапенем-устойчивыми энтеробактериями), исследователи выявили совпадение возбудителя между ректальной контрольной культурой и клиническим образцом. Многофакторный

логистический регрессионный анализ показал, что наличие микроорганизмов с МЛУ в ректальном мазке является независимым фактором риска развития острых кишечных инфекций (ОР: 3,95; 95% ДИ: 2,79–5,60). К другим независимым факторам риска относят женский пол, хронический диализ, сахарный диабет, перенесённые ранее кардиохирургические операции, инфаркт миокарда в анамнезе, избыточный масса тела/ожирение, длительная интубация. Колонизацию кишечника микроорганизмами с МЛУ чаще наблюдали у пациентов с ИОХВ (69,6 против 33,3%; $p < 0,001$). Около половины случаев ИОХВ вызвали грамотрицательные бактерии (52,7%; $n=97$). Более четверти случаев ИОХВ были обусловлены микроорганизмами с МЛУ (27,1%), а именно энтеробактериями, продуцирующими бета-лактамазу широкого спектра действия (8,7%; $n=16$), и энтеробактериями, устойчивыми к карбапенемам (14,1%; $n=26$) [38]. У иммунокомпрометированных пациентов, более склонных к развитию инфекционных осложнений, к факторам риска ИК относят персистенцию условно-патогенных бактерий в дыхательной системе. Источником инфекции у 28 из 97 пациентов (35%) с инфекцией *Stenotrophomonas maltophilia* стали дыхательные пути. У 75% пациентов в этом исследовании использовали центральный венозный катетер (ЦВК), который у 23 пациентов потребовал замены в течение пяти дней после выявления бактериемии, вызванной *S. maltophilia* [39]. При тестировании на чувствительность к противомикробным препаратам выделили 71 штамм *S. maltophilia*, из которых 9 (11,3%) оказались устойчивыми к триметоприму-сульфаметоксазолу. Тридцатидневная смертность составила 33,8%. Пациенты, не пережившие операцию, значительно отличались от выживших по следующим показателям: использование ЦВК ($p=0,020$), ИВЛ ($p=0,006$), наличие мочевых катетеров ($p=0,021$), гипоальбуминемия ($p=0,026$), тромбоцитопения ($p=0,039$). Бактериemia, вызванная *S. maltophilia*, независимо ассоциировалась со смертностью у пациентов с гипоальбуминемией, а замена ЦВК снижала летальность [39]. Длительное использование антибиотиков в послеоперационном периоде не только не снижает риск ВБИ, но и повышает токсичность, способствует развитию бактериальных суперинфекций и формированию устойчивости возбудителей к антибиотикам [40].

Грибковые возбудители рода *Candida* служат значимой причиной инфекции кровотока, связанной с оказанием медицинской помощи. В исследовании методом «случай–контроль» оценили предикторы кандидемии после операции на открытом сердце. Для пациентов, у которых в среднем через 23 дня (диапазон: 14–36) после операции развивалась кандидемия, многофакторный анализ подтвердил роль независимых предикторов: ХСН III или IV класса по классификации NYHA ($p < 0,001$), предшествующая терапия карбапенемами ($p=0,001$) или фторхинолонами ($p=0,007$). Общая 30-дневная смертность от кандидемии составила 53% (39 из 74 случаев).

Исследование не выявило связи между продолжительностью искусственного кровообращения и развитием кандидемией [41]. Частота кандидемии у этих пациентов составила 0,2%. В 65% случаев возбудителем была *C. albicans*. Частота выделения *C. parapsilosis* и *C. glabrata* составила 14 и 9% случаев, соответственно [41].

Таким образом, при оценке риска развития ВБИ у конкретного кардиохирургического пациента необходимо учитывать несколько ключевых критериев:

- микробиологический статус пациента:
 - персистенция условно-патогенных бактерий и грибов;
 - наличие очагов хронической инфекции;
 - транзитный дисбиоз;
 - наличие стабильного патобиома в кишечнике;
- иммунный статус пациента:
 - первичный или вторичный иммунодефицит;
 - наличие фармакологической иммуносупрессии;
- анамнез и периоперационные факторы, повышающие риск развития ВБИ.

РОЛЬ АНАМНЕСТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ РИСКА

Предоперационные факторы риска оказывают значительное влияние на тяжесть ВБИ у пациентов после кардиохирургических операций, что существенно увеличивает срок госпитализации и уровень смертности в первые два месяца после операции.

Помимо основной патологии, требующей хирургического вмешательства, у кардиохирургических пациентов обычно присутствуют сопутствующие сердечно-сосудистые заболевания, включая нарушения ритма и проводимости, а также ИБС. В ряде случаев эти состояния сочетаются с патологией ЖКТ и метаболическими нарушениями. Согласно исследованию M.J. Pérez-Granda и соавт. (2024 г.), наиболее частым основным заболеванием, выявленным у 24,9% пациентов, диагностировали СД2. Далее по частоте встречаемости следовали ХСН (22,6%), перенесённая ИБС (13,5%) и ХОБЛ (13,1%) [4].

При оценке риска развития послеоперационных ВБИ врачи часто недооценивают значение анамнестических факторов. Между тем, доля кардиохирургических пациентов с коморбидной патологией неуклонно растёт. Во многом это связано со старением популяции, распространением инсулинорезистентности, а также высокой частотой постковидных осложнений со стороны сердечно-сосудистой и дыхательной систем. Кроме того, увеличивается доля пациентов со злокачественным течением артериальной гипертензии, сопровождающимся поражением органов-мишеней, мультифокальным атеросклерозом, цереброваскулярной болезнью и почечной недостаточностью [5].

Сочетание кардиопатологии с бронхолегочными заболеваниями, а также исходное состояние респираторной

системы служат важными прогностическими факторами, определяющими ближайший и отдалённый послеоперационные прогнозы. К факторам повышенного риска ВБИ причисляют предоперационную терапию кортикостероидами, иммуносупрессорами, антибиотиками и противоопухолевыми препаратами [42], а также наличие сахарного диабета 2 типа [15] и послеоперационной гипергликемии при пороговой концентрации глюкозы выше 10,1 ммоль/л в течение 48 ч [33]. Курение ассоциировано с повышенным риском послеоперационных осложнений, включая дыхательную недостаточность, инфекционные процессы и необходимость госпитализации в отделение интенсивной терапии [43].

В неотложной хирургии за рубежом при подсчёте риска послеоперационной смертности рассматривают с большей или меньшей степенью влияния до 22 анамнестических параметров, включая возраст пациента на момент операции, пол, вес, рост и ИМТ, общее количество лейкоцитов, абсолютное количество нейтрофилов и тромбоцитов, концентрацию гемоглобина и С-реактивного белка, уровень прокальцитонина, альбумина, АЛТ, АСТ и глюкозы в крови и другие показатели [44].

В большинстве цитируемых исследований авторы не анализируют частоту сочетания нескольких факторов риска. Анализ уже имеющихся статистически обработанных данных показал, что у пациентов в исследуемых когортах в анамнезе обычно присутствует более трёх факторов риска. Можно предположить, что комбинация предсуществующих и периоперационных факторов провоцирует развитие ВБИ не аддитивно, а в значительно большей степени.

Использование искусственного интеллекта (ИИ) позволяет прогнозировать риск инфекционных осложнений после хирургических операций. Так, N. Zhang и соавт. разработали алгоритм на основе методов машинного обучения для прогнозирования риска инфекций и осложнений у пациентов после операций на митральном клапане. Учёные проанализировали 91 демографический и периоперационный параметр и выделили ключевые переменные: возраст, вес, длительность госпитализации, концентрация эритроцитов, тромбоцитов, лейкоцитов, объём инфузионных жидкостей, объём интраоперационной аутологичной крови, степень ХСН по шкале NYHA, предоперационное содержание креатинина, фракция выброса левого желудочка, протромбиновое время, общий объём кровопотери, время пережатия аорты, послеоперационная концентрация лейкоцитов, уровень АСТ и АЛТ. На основе этих данных авторы создали модели прогнозирования развития инфекции после операции на митральном клапане, которые показали хорошую точность ($AUC > 0,79$) [45]. Недавно опубликованные обзоры [46, 47] описывают применение машинного обучения для ведения пациентов с высоким сердечно-сосудистым риском. Модели ИИ показали себя многообещающими в интеграции данных визуализации, таких как данные коронарной компьютерной

томографической ангиографии и магнитно-резонансной томографии сердца, для выявления ранних признаков субклинического атеросклероза и стабильности бляшек, обеспечивая более точные прогнозы будущих сердечно-сосудистых событий. Кроме того, включение генетической информации через модели ИИ позволяет идентифицировать полигенные оценки риска, которые могут стратифицировать людей с высоким генетическим риском сердечно-сосудистых заболеваний [46]. Профили биомаркёров, таких как уровни воспалительных маркёров или сердечно-специфических белков, таких как тропонины, также могут быть интегрированы для повышения точности модели прогнозирования риска сердечно-сосудистых заболеваний на основе машинного обучения, что со временем может изменить подход к ведению кардиохирургических пациентов, предлагая персонализированные решения для предупреждения и лечения ряда патологий, в том числе развития ВБИ. Однако в настоящее время использование ИИ как в России, так и в мире ограничено нормативно-правовой базой и нерешёнными техническими недостатками, поэтому его применяют только в качестве системы поддержки принятия врачебных решений.

Разработка новых подходов на основе ИИ требует доказательства их эффективности и безопасности, что позволит улучшить раннюю диагностику, точность оценки риска и своевременное выявление ВБИ у кардиохирургических пациентов. Пока нет данных о том, что инвестиции в ИИ повысили эффективность и безопасность лечения. Возможно, в будущем появятся методы, которые оптимизируют и персонализируют подготовку пациентов к кардиохирургической операции, послеоперационное ведение и раннюю реабилитацию. Однако окончательное решение о ведении пациента всегда останется за врачом, который несёт ответственность за жизнь и здоровье пациента.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ литературы подтвердил значимость факторов риска, которые преимущественно присутствуют у пациентов до операции. Исследования показывают, что накопление значимых факторов риска у кардиохирургических пациентов резко повышает вероятность развития ВБИ в послеоперационном периоде.

После кардиохирургического вмешательства врачи чаще уделяют внимание сердечным осложнениям, чем другим нарушениям. При этом специалисты могут недооценивать риск ВБИ до тех пор, пока их клинические проявления не станут жизнеугрожающими, увеличивая сроки госпитализации, усугубляя состояние пациентов и ухудшая прогноз. Существует необходимость в разработке эффективного инструмента для оценки риска и прогноза ВБИ у кардиохирургических пациентов, а также для последующего наблюдения пациентов с высоким риском. Такой инструмент позволит врачам обоснованно подбирать

оптимальный антибиотик, его дозу и продолжительность лечения. На основе проведённого анализа литературы можно выделить наиболее значимые факторы риска развития ВБИ после кардиохирургических операций: возраст старше 60 лет, ИМТ более 24 кг/м², курение, артериальная гипертензия, сахарный диабет, ХОБЛ, ХСН III–IV класса по шкале NYHA, заболевания периферических сосудов, операция на сердце в анамнезе.

Непосредственно при госпитализации на вероятность развития ВБИ могут влиять: выраженная гипоальбуминемия, анемия, низкий гематокрит, высокое содержание креатинина в сыворотке крови. Во время операции на риск развития ВБИ влияют длительность искусственного кровообращения более 120 мин, интраоперационная кровопотеря более 2000 мл, инфузии больших объёмов кровезамещающей жидкости, эритроцитарной массы и донорской крови.

Необходимы дополнительные исследования для оценки роли в развитии ВБИ эндогенных источников инфицирования: исходного состояния микробиома кишечника, бактериальной колонизации и наличия очагов хронической инфекции, особенно при наличии множественной антибиотикорезистентности у колонизирующих слизистые оболочки условно-патогенных возбудителей.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Т.И. Хомякова — написание текста рукописи; Ю.Н. Хомяков — научное редактирование рукописи; Е.А. Пономаренко — методология сбора литературных данных; В.А. Мхитаров — сбор и анализ литературных данных; Л.В. Озеретская — редактирование текста рукописи. Все авторы одобрили рукопись (версию для публикации), а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой её части.

Благодарности. Авторы выражают благодарность зав. лабораторией иммуноморфологии воспаления НИИ морфологии человека им. А.П. Авцына профессору, д.м.н. Макаровой О.В. за научное консультирование и ценные замечания.

Этическая экспертиза. Неприменимо.

Источники финансирования. Работа проведена в рамках выполнения государственного задания FURG-2023-038 «Поиск новых биомаркеров

для прогнозирования индивидуального риска полиорганной дисфункции у пациентов кардиохирургического профиля».

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием данного обзора.

Оригинальность. При создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации)

Доступ к данным. Редакционная политика в отношении совместного использования данных к настоящей работе не применима.

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

Рассмотрение и рецензирование. Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали два члена редакционной коллегии журнала.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: T.I. Khomyakova: writing—original draft; Yu.N. Khomyakov: writing—review & editing; E.A. Ponomarenko: methodology; V.A. Mkhitarov: resources; L.V. Ozeretskaya: writing—review & editing. All the authors approved the version of the manuscript to be published and agreed to be accountable for all aspects of the work, ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.

Acknowledgments: The authors express their gratitude to Prof. O.V. Makarova, Dr. Sci. (Medicine), Head of the Laboratory of Inflammation Immunomorphology at the A.P. Avtsyn Research Institute of Human Morphology, for her scientific guidance and valuable comments.

Ethics approval: Not applicable.

Funding sources: This work was part of state assignment FURG-2023-038, Search for Novel Biomarkers to Predict Individual Risk of Multiple Organ Dysfunction in Cardiac Surgery Patients.

Disclosure of interests: The authors have no relationships, activities, or interests for the last three years related to for-profit or not-for-profit third parties whose interests may be affected by the content of the article.

Statement of originality: No previously published material (text or images) was used in this work.

Data availability statement: The editorial policy regarding data sharing does not apply to this work.

Generative AI: No generative artificial intelligence technologies were used to prepare this article.

Provenance and peer review: This paper was submitted unsolicited and reviewed following the standard procedure. The peer review process involved two members of the editorial board.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Massart N, Mansour A, Ross JT, et al. Mortality due to hospital-acquired infection after cardiac surgery. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2022;163(6):2131–2140.e3. doi: 10.1016/j.jtcvs.2020.08.094 EDN: DRBZIJ
2. Liu JY, Dickter JK. Nosocomial infections: a history of hospital-acquired infections. *Gastrointest. Endosc. Clin. N. Am.* 2020;30(4):637–652. doi: 10.1016/j.giec.2020.06.001 EDN: BKMQTT
3. Rijnhart-de Jong HG, Haenen J, Porta F, et al. Hospital infections and health-related quality of life after cardiac surgery: a multicenter survey. *J. Cardiothorac. Surg.* 2024;19(1):84. doi: 10.1186/s13019-024-02559-4 EDN: WNVYGF
4. Pérez-Granda MJ, Barrio JM, Cuerpo G, et al. Infectious complications following major heart surgery from the day of the surgery to hospital discharge. *BMC Infect. Dis.* 2024;24(1):73. doi: 10.1186/s12879-023-08972-9 EDN: RXDMRE

5. Hoyoju S, Machutta K, Krezalek MA, Alverdy JC. What is the role of the gut in wound infections? *Adv. Surg.* 2023;57(1):31–46. doi: 10.1016/j.yasu.2023.05.002 EDN: STLROH
6. Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation No. 4 of January 28, 2021 "On approval of sanitary Rules and Regulations SanPiN 3.3686-21 «Sanitary and epidemiological requirements for the prevention of infectious diseases». 2021. (In Russ.) Available from: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202102180019>
7. Damavandi DS, Javan M, Moshashaei H, et al. Microbial contamination after cardiac surgery in a hospital cardiac surgery ward. *J. Med. Life.* 2020;13(3):342–348. doi: 10.25122/jml-2019-0071 EDN: GFUVBK
8. Stepin AV. Preoperative and intraoperative risk factors for infection in the field of surgical intervention in a cardiac surgical hospital: a retrospective study. *Pathology of blood circulation and cardiac*

- surgery. 2023;27(1):30–37. doi: 10.21688/1681-3472-2023-1-30-37 EDN: KDYLNV
9. Napoli F, Aleman R, Zadneulitca N, et al. Sepsis in cardiothoracic surgery. *Surgery*. 2024;175(2):556–558. doi: 10.1016/j.surg.2023.10.015 EDN: ARIRGP
 10. Abukhodair A, Alqarni MS, Alzahrani A, et al. Risk factors for postoperative infections in cardiac surgery patients: a retrospective study. *Cureus*. 2023;15(8):e43614. doi: 10.7759/cureus.43614 EDN: CECFMQ
 11. Cutrell JB, Barros N, McBroom M, et al. Risk factors for deep sternal wound infection after cardiac surgery: Influence of red blood cell transfusions and chronic infection. *Am. J. Infect. Control*. 2016;44(11):1302–1309. doi: 10.1016/j.ajic.2016.03.027
 12. Williamson KC, Fabbri D. Classifying infection risk following pediatric cardiac surgery. *AMIA Annu. Symp. Proc.* 2023;2022:1153–1162
 13. Chernyavsky AM, Turkova AR, Ruzmatov TM, et al. Infections in cardiac surgery. *Pirogov Russian Journal of Surgery*. 2016;5(5):64–68. doi: 10.17116/hirurgia2016564-68 EDN: WANFAT
 14. Phoon PHY, Hwang NC. Deep sternal wound infection: diagnosis, treatment and prevention. *J. Cardiothorac. Vasc. Anesth*. 2020;34(6):1602–1613. doi: 10.1053/j.jvca.2019.09.019 EDN: KDZG00
 15. Wang D, Huang X, Wang H, et al. Risk factors for postoperative pneumonia after cardiac surgery: a prediction model. *J. Thorac. Dis*. 2021;13(4):2351–2362. doi: 10.21037/jtd-20-3586 EDN: XUTFEM
 16. Song Y, Gu J, Yang J. Risk factors for ventilator-associated pneumonia after cardiac surgery with cardiopulmonary bypass. *Asian J. Surg*. 2024;47(2):1279–1280. doi: 10.1016/j.asjsur.2023.11.064 EDN: OMUEKB
 17. Papazian L, Klompas M, Luyt CE. Ventilator-associated pneumonia in adults: a narrative review. *Intensive Care Med*. 2020;46(5):888–906. doi: 10.1007/s00134-020-05980-0 EDN: KVUBDY
 18. Lv X, Han Y, Liu D, et al. Risk factors for nosocomial infection in patients undergoing extracorporeal membrane oxygenation support treatment: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One*. 2024;19(11):e0308078. doi: 10.1371/journal.pone.0308078 EDN: FNVMTX
 19. Charlwood KV, Jackson J, Vaja R, et al. Identifying potential predictors of the risk of surgical site infection following cardiac surgery: a scoping review. *J. Hosp. Infect.* 2025;157:29–39. doi: 10.1016/j.jhin.2024.12.002 EDN: QGWNQG
 20. Gillen JR, Isbell JM, Michaels AD, et al. Risk factors for urinary tract infections in cardiac surgical patients. *Surg. Infect. (New Rochelle, NY, U. S.)*. 2015;16(5):504–8. doi: 10.1089/sur.2013.115
 21. Sadovnikov EE, Gridina EE, Brusina EB. Risk factors for urinary tract infections in cardiac and neurosurgery patients. In: Rubnikovich SP, Gindyuk AV, Borisova TS, editors. *Modern Aspects of Health Preservation: Proceedings of the Anniversary Scientific and Practical Conference with International Participation Dedicated to the 60th Anniversary of the Faculty of Preventive Medicine of the Educational Establishment "Belarusian State Medical University"*, 2024 Oct 24–25; Minsk, Belarus. Minsk; 2024. P:413–418. EDN: UDUGYT
 22. Zardi EM, Chello M, Zardi DM, et al. Nosocomial extracardiac infections after cardiac surgery. *Curr. Infect. Dis. Rep.* 2022;24(11):159–171. doi: 10.1007/s11908-022-00787-0 EDN: BKLITV
 23. Seo SH, Jeong IS, Lee EJ. Impact of obesity on urinary tract infections in Korean adults: secondary data analysis using community-based cohort study. *J. Korean Acad. Nurs.* 2021;51(2):150–161. doi: 10.4040/jkan.20228 EDN: AYZJJE
 24. *Epidemiology and prevention of catheter-associated bloodstream infections and central venous catheter care: clinical guidelines* [Internet]. 2023. (In Russ.) Available from: <https://docs.cntd.ru/document/1200133000>
 25. Timsit JF, Ruppé E, Barbier F, et al. Bloodstream infections in critically ill patients: an expert statement. *Intensive Care Med*. 2020;46(2):266–284. doi: 10.1007/s00134-020-05950-6 EDN: MUNRKL
 26. DeMerle KM, Angus DC, Baillie JK, et al. Sepsis subclasses: a framework for development and interpretation. *Crit. Care Med*. 2021;49(5):748–759. doi: 10.1097/CCM.0000000000004842 EDN: AEVYRP
 27. Liu Z, Zhang X, Zhai Q. Clinical investigation of nosocomial infections in adult patients after cardiac surgery. *Medicine (Baltimore)*. 2021;100(4):e24162. doi: 10.1097/MD.00000000000024162 EDN: UZTQWE
 28. de la Varga-Martínez O, Gómez-Sánchez E, Muñoz MF, et al. Impact of nosocomial infections on patient mortality following cardiac surgery. *J. Clin. Anesth*. 2021; 69:110104. doi: 10.1016/j.jclinane.2020.110104 EDN: WSGWLU
 29. Alsulami OA, Konkar AE, Alalayani AA, et al. Postoperative pneumonia following open heart surgery. *Cureus*. 2020;12(9):e10320. doi: 10.7759/cureus.10320 EDN: TLGSNZ
 30. Karruli A, de Cristofaro J, Andini R, et al. Risk factors and outcome of multidrug-resistant infections after heart transplant: a contemporary single center experience. *Microorganisms*. 2021;9(6):1210. doi: 10.3390/microorganisms9061210 EDN: EUHTDB
 31. Hamidi AA, Kescioglu S. Identification of factors affecting mortality in late-onset ventilator-associated pneumonia. *Eurasian. J. Med*. 2020;52(3):254–258. doi: 10.5152/eurasianjmed.2020.20005 EDN: YZATON
 32. Wang M, Xu X, Wu S, et al. Risk factors for ventilator-associated pneumonia due to multi-drug resistant organisms after cardiac surgery in adults. *BMC Cardiovasc. Disord*. 2022;22(1):465. doi: 10.1186/s12872-022-02890-5 EDN: PRUNFX
 33. Cappe M, Laterre PF, Dechamps M. Preoperative frailty screening, assessment and management. *Curr. Opin. Anaesthesiol*. 2023;36(1):83–88. doi: 10.1097/ACO.0000000000001221 EDN: KTKEHH
 34. Stepin AV. Local infectious complications in cardiac surgery: etiology and the role of antimicrobial prophylaxis. *Pirogov Russian Journal of Surgery*. 2022;6(4):40–47. doi: 10.17116/hirurgia202206140 EDN: JHRSZT
 35. Rzućidło-Hymczak A, Hymczak H, Olechowska-Jarząb A, et al. *Clostridioides difficile* infection after cardiac surgery: assessment of prevalence, risk factors and clinical outcomes-retrospective study. *Peer J*. 2020;8:e9972. doi: 10.7717/peerj.9972 EDN: CRWKCL
 36. Madrasova AT, Lukashkin MA, Golukhova EZ, et al. Postoperative pulmonary complications in cardiac surgery patients. *Creative cardiology*. 2010;1:5–16. EDN: FNTZBT
 37. Shevchenko YuL, Suslov RP. Postoperative infectious and inflammatory complications in cardiothoracic surgery. *Bulletin of the National Medical and Surgical Center named after N.I. Pirogov*. 2022;17(1):84–89. doi: 10.25881/20728255_2022_17_1_84 EDN: OPSPHH
 38. O'Boyle CJ, MacFie CJ, Mitchell CJ, et al. Microbiology of bacterial translocation in humans. *Gut*. 1998;42(1):29–35. doi: 10.1136/gut.42.1.29
 39. Menekşe Ş, Altınay E, Oğuş H, et al. Risk factors for mortality in patients with *Stenotrophomonas maltophilia* bloodstream infections in immunocompetent patients. *Infect. Dis. Clin. Microbiol*. 2022;4(3):178–184. doi: 10.36519/idcm.2022.173 EDN: KCNHRN
 40. Eckmann C, Aghdassi SJS, Brinkmann A, et al. Perioperative antibiotic prophylaxis—indications and modalities for the prevention of postoperative wound infection. *Dtsch. Arztebl. Int*. 2024;121(7):233–242. doi: 10.3238/arztebl.m2024.0037 EDN: UYBWAD
 41. Giacobbe DR, Salsano A, Del Puente F, et al. Risk factors for candidemia after open heart surgery: results from a multicenter case-control study. *Open Forum Infect. Dis*. 2020;7(8):ofaa233. doi: 10.1093/ofid/ofaa233 EDN: UYGK0Y
 42. Branch-Elliman W, O'Brien W, Strymish J, et al. Association of duration and type of surgical prophylaxis with antimicrobial-associated adverse events. *JAMA Surg*. 2019;154(7):590–598. doi: 10.1001/jamasurg.2019.0569
 43. Cho BH, Aziz KT, Giladi AM. The impact of smoking on early postoperative complications in hand surgery. *J. Hand. Surg. Am*. 2021;46(4):336.e1–336.e11. doi: 10.1016/j.jhsa.2020.07.014 EDN: TKRWYD
 44. Palermo J, Tingey S, Khanna AK, Segal S. Evaluation and prevention of perioperative respiratory failure. *J. Clin. Med*. 2024;13(17):5083. doi: 10.3390/jcm13175083
 45. Zhang N, Fan K, Ji H, et al. Identification of risk factors for infection after mitral valve surgery through machine learning approaches. *Front. Cardiovasc. Med*. 2023;10:1050698. doi: 10.3389/fcvm.2023.1050698 EDN: TFFAFW
 46. Wang Y, Aivalioti E, Stamatelopoulou K, et al. Machine learning in cardiovascular risk assessment: Towards a precision medicine approach. *Eur. J. Clin. Invest*. 2025;55(S1):e70017. doi: 10.1111/eci.70017
 47. Kasartzian DI, Tsiampalis T. Transforming cardiovascular risk prediction: a review of machine learning and artificial intelligence innovations. *Life (Basel)*. 2025;15(1):94. doi: 10.3390/life15010094 EDN: UGKTWT

ОБ АВТОРАХ

* **Хомякова Татьяна Ивановна**, канд. мед. наук;
адрес: Россия, 117418, Москва, ул Цюрупы, 3;
ORCID: 0000-0003-3451-1952;
eLibrary SPIN: 5059-1414;
e-mail: tatkhom@yandex.ru

Хомяков Юрий Николаевич, д-р биол. наук, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0003-0540-252X;
eLibrary SPIN: 2405-6712;
e-mail: khomyakovyuri@yandex.ru

Мхитаров Владимир Аршакович, канд. биол. наук;
ORCID: 0000-0002-4427-1991;
eLibrary SPIN: 3998-2748;
e-mail: mkhitarov@mail.ru

Пономаренко Елена Алексеевна, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0002-9672-7145;
eLibrary SPIN: 7193-7254;
e-mail: ponomarenkoea75@mail.ru

Озерецкая Любовь Владимировна;
ORCID: 0009-0007-8646-3952;
eLibrary SPIN: 6376-3060;
e-mail: lozloz.o@yandex.ru

AUTHORS' INFO

* **Tatiana I. Khomyakova**, MD, Cand Sci. (Medicine);
address: 3 Tsyurupa st, Moscow, Russia, 117418;
ORCID: 0000-0003-3451-1952;
eLibrary SPIN: 5059-1414;
e-mail: tatkhom@yandex.ru

Yuri N. Khomyakov, MD, Dr. Sci. (Biology), Cand Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0003-0540-252X;
eLibrary SPIN: 2405-6712;
e-mail: khomyakovyuri@yandex.ru

Vladimir A. Mkhitarov, Cand. Sci. (Biology);
ORCID: 0000-0002-4427-1991;
eLibrary SPIN: 3998-2748;
e-mail: mkhitarov@mail.ru

Elena A. Ponomarenko, MD, Cand Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0002-9672-7145;
eLibrary SPIN: 7193-7254;
e-mail: ponomarenkoea75@mail.ru

Liubov V. Ozeretskaya;
ORCID: 0009-0007-8646-3952;
eLibrary SPIN: 6376-3060;
e-mail: lozloz.o@yandex.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author