



Бедренно-большеберцовое синостозирование при перипротезной инфекции: анализ факторов, влияющих на неблагоприятный исход

Г.А. Бугаев^{2✉}, А.Е. Виноградский^{1,2}, Д.Ю. Борзунов^{1,2}

¹ Уральский государственный медицинский университет, Екатеринбург, Россия

² Свердловский областной клинический психоневрологический госпиталь для ветеранов войн, Екатеринбург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Глеб Александрович Бугаев, glebbugaev97@gmail.com

Аннотация

Введение. Бедренно-большеберцовое синостозирование (ББС) является одной из основных спасательных хирургических процедур при неудачных исходах тотальной артропластики коленного сустава, осложненных перипротезной инфекцией (ППИ). Несмотря на широкое применение данной методики, клинические результаты ББС характеризуются высокой вариабельностью, что указывает на значимую роль совокупности пациент-ассоциированных, инфекционных и хирургических факторов в формировании исходов лечения. Анализ предикторов неблагоприятного исхода синостозирования представляет практический интерес для оптимизации технологии хирургического лечения и прогнозирования результатов.

Цель работы — оценить факторы, ассоциированные с неблагоприятным течением и исходами ББС, как варианта восстановления опороспособности конечности, у пациентов с ППИ.

Материалы и методы. В ретроспективное исследование включены 46 пациентов, перенесших ББС по поводу ППИ. Проанализировано влияние пациент-ассоциированных (пол, возраст, индекс массы тела, сопутствующие заболевания), инфекционных (тип ППИ по D.T. Tsukayama, микробиологический профиль) и хирургических факторов (число предшествующих санирующих операций, анатомо-функциональные особенности костных дефектов по AORI, метод фиксации) на развитие неблагоприятных исходов. Использован однофакторный бинарный логистический регрессионный анализ с расчетом отношения шансов (ОШ) и 95 % доверительного интервала (95 % ДИ). Прогностическую значимость модели оценивали с применением дискриминантного анализа.

Результаты. Неблагоприятные исходы ББС статистически значимо ассоциировались с наличием ревматоидного артрита (ОШ = 6,89; 95 % ДИ 3,78–12,35; $p = 0,002$), иммунодефицитных состояний (ОШ = 2,7; 95 % ДИ 0,44–8,24; $p = 0,02$) и преобладанием грамотрицательной микрофлоры (ОШ = 7,1; 95 % ДИ 1,23–35,77; $p = 0,028$). Существенное влияние на функциональные результаты и остаточное укорочение конечности оказывали крупные по протяженности костные дефекты (III тип по AORI) и проведение пяти и более санирующих операций. Применение интрамедуллярного стержня для фиксации коррелировалось с повышением риска системных осложнений (ОШ = 6,69; 95 % ДИ 1,33–9,9; $p = 0,035$) и выраженных функциональных ограничений (ОШ = 10,67; 95 % ДИ 1,201–15,72; $p = 0,034$). Установлена прямая зависимость между числом факторов риска и вероятностью неблагоприятного исхода ($p < 0,001$). Построенная прогностическая модель обладала чувствительностью (77,8 %) и специфичностью (85,7 %).

Обсуждение. Полученные данные говорят о гетерогенной природе неблагоприятных исходов ББС. Важным является не изолированное наличие отдельных факторов, а их кумулятивный эффект. Такой характер взаимосвязей объясняет высокую вариабельность клинических результатов, что создает потребность в интегральной оценке риска и разработке хирургического алгоритма лечения пациентов.

Заключение. Неблагоприятные исходы ББС при ППИ обусловлены совокупным влиянием пациент-ассоциированных, инфекционных и хирургических факторов. Наибольшее значение имеют коморбидный фон пациента, микробиологический профиль инфекции, сложность сформированных анатомо-функциональных изменений конечности при костных дефектах и выбранный метод фиксации. Комплексная оценка факторов риска позволяет повысить точность прогнозирования исходов лечения.

Ключевые слова: бедренно-большеберцовое синостозирование, артродез коленного сустава, перипротезная инфекция, факторы риска, неблагоприятный исход

Для цитирования: Бугаев Г.А., Виноградский А.Е., Борзунов Д.Ю. Бедренно-большеберцовое синостозирование при перипротезной инфекции: анализ факторов, влияющих на неблагоприятный исход. *Гений ортопедии*. 2026;32(3):296–307. doi: 10.18019/1028-4427-2026-32-3-296-307.



Femorotibial synostosis in the management of periprosthetic infection: analysis of the factors associated with adverse outcome

G.A. Bugaev^{2✉}, A.E. Vinogradsky^{1,2}, D.Yu. Borzunov^{1,2}

¹ Ural State Medical University, Ekaterinburg, Russian Federation

² Sverdlovsk Regional Clinical Psychoneurological Hospital for war veterans, Ekaterinburg, Russian Federation

Corresponding author: Gleb A. Bugaev, glebbugaev97@gmail.com

Abstract

Introduction Femorotibial synostosis (FTS) is a primary salvage surgical procedure for failed total knee arthroplasty complicated by periprosthetic joint infection (PJI). Despite its widespread use, clinical outcomes with FTS are highly variable, indicating the significant role of a combination of patient-related, infectious, and surgical factors in shaping treatment outcomes. Analysis of the factors that lead to failed synostosis outcomes is of practical interest for optimizing surgical treatment techniques and predicting outcomes.

The **purpose** of the study was to evaluate factors associated with an FTS adverse course and outcomes as an option for restoring limb weight-bearing ability in patients with PJI.

Materials and methods A retrospective study included 46 patients who underwent FTS for PJI. The influence of patient-related (gender, age, body mass index, comorbidities), infectious (PJI type according to D.T. Tsukayama, microbiological profile), and surgical factors (number of previous debridement surgeries, anatomical and functional features of bone defects according to AORI, fixation method) associated with poor outcomes was analyzed. Univariate binary logistic regression analysis was used with calculation of odds ratio (OR) and 95 % confidence interval (95 % CI). The prognostic significance of the model was assessed using discriminant analysis.

Results Adverse FTS outcomes were statistically significantly associated with rheumatoid arthritis (OR = 6.89; 95 % CI 3.78–12.35; $p = 0.002$), immunodeficiency states (OR = 2.7; 95 % CI 0.44–8.24; $p = 0.02$) and the predominance of gram-negative microflora (OR = 7.1; 95 % CI 1.23–35.77; $p = 0.028$). Large bone defects (AORI type III) and five or more debridement surgeries had a significant impact on functional results and residual limb shortening. The use of an intramedullary nail for fixation correlated with an increased risk of systemic complications (OR = 6.69; 95 % CI 1.33–9.9; $p = 0.035$) and severe functional limitations (OR = 10.67; 95 % CI 1.201–15.72; $p = 0.034$). A direct relationship was established between the number of risk factors and the probability of adverse outcome ($p < 0.001$). The constructed prognostic model had sensitivity (77.8 %) and specificity (85.7 %).

Discussion The findings obtained indicate the heterogeneous nature of adverse FTS outcomes. The cumulative effect of individual factors, rather than their isolated presence, is important. This nature of the relationships explains the high variability of clinical outcomes, creating the need for an integrated risk assessment and the development of a surgical treatment algorithm for patients.

Conclusion Adverse FTS outcomes in PJI results from the combined impact of patient-related, infectious, and surgical factors. The most significant factors are the patient's comorbidity, the microbiological profile of the infection, the complexity of the anatomical and functional changes in the limb due to bone defects, and the chosen fixation method. A comprehensive assessment of risk factors allows for more accurate prediction of treatment outcomes.

Keywords: femorotibial synostosis, knee arthrodesis, periprosthetic infection, risk factors, adverse outcome

For citation: Bugaev GA, Vinogradsky AE, Borzunov DYU. Femorotibial synostosis in the management of periprosthetic infection: analysis of the factors associated with adverse outcome. *Genij Ortopedii*. 2026;32(3):296-307. doi: 10.18019/1028-4427-2026-32-3-296-307.

ВВЕДЕНИЕ

Бедренно-большеберцовое синостозирование (ББС), более известное в литературе и повседневной клинической практике как артродез коленного сустава (АКС), в настоящее время является операцией выбора в ряду спасательных вмешательств, выполняемых при крайне неблагоприятных исходах тотальной артропластики коленного сустава, осложненных перипротезной инфекцией (ППИ). Достижение стабильного синостоза между бедренной и большеберцовой костями позволяет сохранить целостность нижней конечности и обеспечить пациенту приемлемое качество жизни, однако исход подобных вмешательств далеко не всегда предсказуем [1]. Ряд авторов указывают на ограниченность функциональных возможностей и сохранение болевого синдрома у 21–73 % пациентов после ББС [2, 3, 4]. Кроме того, существует риск (почти 20 %) несращения или замедленного сращения в зоне ББС [5]. При этом существующая альтернатива, ампутация конечности (АК), сопряжена с летальностью 30 % в течение двух лет после операции [6], а больше половины пациентов после ампутации не способны к самостоятельному передвижению [7]. Обращаясь к проблеме имплант-ассоциированной инфекции коленного сустава, зарубежные коллеги приводят данные о 11,1–21,8 % случаев рецидива [8, 9]. В отечественных публикациях вероятность рецидива инфекционного процесса после АКС варьирует в пределах 14–27 % [10, 11].

Несмотря на наличие подобных сведений, большинство публикаций сосредоточено преимущественно на сравнении методов фиксации [12, 13]. Следует отметить, что исследования, посвященные анализу факторов, ассоциированных с неблагоприятными исходами, остаются крайне немногочисленными. Большинство из них основано на наблюдениях ограниченных клинических серий и принятых во внимание пулах пациентов [14, 15, 16]. Более того, в отечественной литературе публикации по данной проблеме не встречаются, что создает дефицит доказательных сведений, необходимых для планирования хирургической тактики и прогнозирования результатов лечения пациентов с ППИ. Приведенный анализ мировой литературы убедительно свидетельствует, что даже при технически успешном выполнении спасательных оперативных вмешательств результаты лечения могут существенно различаться и в значительной мере зависят от целого ряда факторов (поло-возрастных, соматических, клинических и микробиологических).

Выявление предикторов неблагоприятного исхода ББС имеет важное клиническое значение, поскольку позволяет заранее оценить вероятность развития осложнений, определить оптимальную стратегию хирургического вмешательства и скорректировать послеоперационное ведение пациента. Кроме того, системный анализ таких факторов повышает объективную оценку травматологом-ортопедом тяжести соматического и ортопедического статусов, что, в свою очередь, обеспечивает информированность больных о возможных рисках осложнений и ожидаемых результатах лечения, увеличивает комплаенс и успех хирургической реабилитации.

Цель работы — оценить факторы, ассоциированные с неблагоприятным течением и исходами бедренно-большеберцового синостозирования, как варианта восстановления опороспособности конечности, у пациентов с перипротезной инфекцией.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Ретроспективное одноцентровое исследование проведено на базе травматолого-ортопедического отделения СОКП госпиталя для ветеранов войн. На основании данных историй болезни и протоколов контрольных осмотров проанализированы результаты лечения 46 пациентов с ППИ после неудачного исхода первичного эндопротезирования коленного сустава (ТЭКС). Данное исследование базируется на клинической выборке пациентов, включенных в ранее опубликованную работу авторов и посвященную сравнению эффективности методов ББС [17]. В предшествующем исследовании описаны хирургические технологии и протоколы послеоперационного ведения при выполнении ББС, дан сравнительный анализ эффективности формирования костного блока с использованием интрамедуллярного стержня и аппарата Илизарова. В настоящем исследовании акцент сделан на анализе неблагоприятных факторов, влияющих на исход лечения.

С учетом цели исследования, анализ проводили в рамках единой когорты пациентов ($n = 46$) без предварительного деления выборки на группы. Доля мужчин в исследуемой выборке составила 32,6 % ($n = 15$), женщин — 67,4 % ($n = 31$). Возраст пациентов — $(68,0 \pm 11,6)$ года. Индекс массы тела (ИМТ) — $(28,7 \pm 3,99)$ кг/м². Деление на благоприятный и неблагоприятный исход применяли только на этапе описательной статистики для первичной характеристики пациентов и распределения клинических проявлений.

В качестве рассматриваемых независимых переменных (факторов) учитывали следующие: пол, возраст, ИМТ, сопутствующие заболевания, тип перипротезной инфекции по D.T. Tsukayama [18], характер костных дефектов по AORI [19], количество предшествующих операций, метод фиксации (ИС/АИ) и микробный спектр возбудителей инфекции.

Зависимыми переменными выступали показатели, отражающие исходы лечения: продолжительность синостозирования (мес.), величина остаточного укорочения конечности (см), функциональный результат (шкала LEFS, %) [20], рецидив инфекции и послеоперационные осложнения.

Описательные данные независимых (факторов) и зависимых переменных представлены в ранее опубликованной работе авторов [17], выполненной на той же клинической выборке пациентов, и в настоящей статье повторно не приводятся.

Под неблагоприятными исходами в исследовании понимали совокупность клинических событий:

- отсутствие формирования стабильного костного блока или несостоятельность синостоза (ложный сустав, перелом в зоне консолидации);
- выраженные функциональные ограничения (результат по LEFS менее 30);
- остаточное укорочение конечности 6 см и более;
- рецидив гнойно-инфекционного процесса;
- системные осложнения и летальные исходы в раннем послеоперационном периоде.

Благоприятный исход зарегистрирован у 28 из 46 пациентов (60,9 %), неблагоприятный — у 18 пациентов (39,1 %). Среди пациентов с неблагоприятным исходом у 12 больных (26,1 %) отмечено по одному неблагоприятному проявлению, включая два клинических случая (4,3 %) летального исхода в раннем послеоперационном периоде. У шести больных (13 %) зарегистрировано сочетание двух и более неблагоприятных исходов хирургического лечения.

Критерии включения:

- проведение ББС при невозможности ревизионного эндопротезирования по причине ППИ;
- длительность последующего наблюдения пациентов не менее двух лет после операции с целью объективной оценки клинических исходов, рецидива инфекции и осложнений;
- зафиксированные случаи возникающих системных осложнений и летальных исходов в раннем послеоперационном периоде;
- доступность полной медицинской документации, позволяющей оценить независимые переменные (половозрастные, соматические, клинические и микробиологические характеристики) и провести анализ исходов лечения.

Критерий не включения — неполные сведения медицинской документации, делающие невозможными статистическую обработку и сопоставление данных.

Критерий исключения — отказ пациента от участия в исследовании или потеря связи при последующем наблюдении.

Все пациенты представили письменное информированное согласие на участие в исследовании и публикацию обезличенных данных. Протокол исследования одобрен локальным этическим комитетом СОКП госпиталя для ветеранов войн, г. Екатеринбург (протокол от 25.02.2025 № 2/2025).

Формирование исходной базы данных, составление описательных и сводных таблиц выполняли в программе Microsoft Excel (версия 16.75.2, США). Количественные переменные с нормальным распределением описывали в виде среднего значения и стандартного отклонения ($M \pm SD$), при распределении, отличном от нормального, — как медиану и межквартильный интервал ($Me [Q1; Q3]$). Проверку нормальности распределения данных проводили с использованием критерия Шапиро – Уилка. Категориальные переменные описывали с указанием абсолютных значений и процентных долей ($n, \%$). Основным методом анализа при оценке влияния независимых переменных (факторов) на вероятность развития неблагоприятных исходов являлся однофакторный бинарный логистический регрессионный анализ. Результаты представляли в виде отношения шансов (ОШ) с доверительным интервалом (ДИ) 95 % и p -значением. Статистическую значимость устанавливали при $p < 0,05$. Для оценки прогностической точности (AUC), чувствительности (Se) и специфичности (Sp) модели использовали дискриминантный анализ. Для обработки данных и визуализации статистически значимых предикторов (графики *forest-plot*) применяли пакет программного обеспечения Jamovi (версия 2.6.17, Австралия), дополненный R-модулями (Rj Editor).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Несостоятельность синостоза

Частота несостоятельности костного блока зарегистрирована у четырех из 46 пациентов (8,7 %). По данным однофакторного логистического анализа, развитие несостоятельности ББС статистически значимо ассоциировалось с пожилым возрастом, наличием ревматоидного артрита (РА) и значительными по протяженности костными дефектами в области коленного сустава (рис. 1). У пациентов возрастной категории от 75 до 84 лет

отмечена тенденция к повышенному риску несостоятельности синостоза (ОШ = 7,71; 95 % ДИ 0,68–87,25; $p = 0,041$). Наличие РА являлось значимым фактором риска: вероятность формирования ложного сустава у таких пациентов была практически в семь раз выше (ОШ = 6,89; 95 % ДИ 3,78–12,35; $p = 0,002$). Также статистически значимую ассоциацию с несостоятельностью костного блока продемонстрировали дефекты III типа по AORI (ОШ = 6,9; 95 % ДИ 2,54–10,4; $p = 0,0005$). Остальные факторы, включенные в анализ, не оказывали достоверного влияния на развитие данного исхода ($p > 0,05$).

Функциональные ограничения (LEFS ≤ 30)

Выраженные функциональные ограничения (LEFS ≤ 30) отмечены у девяти из 46 пациентов (19,6 %). Значимое снижение функциональных показателей ассоциировано с наличием сопутствующих заболеваний, большим числом предшествующих санирующих операций, методом фиксации и костными дефектами с их анатомо-функциональным влиянием на ортопедический статус пациента (рис. 2).

Наличие сахарного диабета увеличивало риск функциональных ограничений в 8,5 раз (ОШ = 8,5; 95 % ДИ 1,455–50,05; $p = 0,018$), а наличие сердечно-сосудистых заболеваний — в 4,1 раза (ОШ = 4,1; 95 % ДИ 2,24–64,28; $p = 0,004$).

Проведение пяти и более санирующих операций также ассоциировалось с повышением вероятности неудовлетворительных функциональных исходов (ОШ = 5,75; 95 % ДИ 1,003–32,95; $p = 0,05$).

Использование интрамедуллярного стержня в качестве метода фиксации являлось значимым предиктором выраженных функциональных ограничений (ОШ = 10,67; 95 % ДИ 1,201–15,72; $p = 0,034$) по сравнению с фиксацией конечности аппаратом Илизарова.

Кроме того, выявлена четкая взаимосвязь между объемом костных дефектов и снижением функциональных результатов после БС. Так, при дефектах II типа (F2A/T2A) вероятность неблагоприятного исхода возрастала в 4,4 раза (ОШ = 4,4; 95 % ДИ 0,564–9,9; $p = 0,0137$), при F2B/T2B — в 10,9 раза (ОШ = 10,9; 95 % ДИ 0,963–15,4; $p = 0,0001$), а при III типе (F3/T3) — в 16,7 раза (ОШ = 16,7; 95 % ДИ 1,35–23,4; $p = 0,0001$) по сравнению с I типом дефектов (F1/T1).

Остаточное укорочение (≥ 6 см)

Данный исход отмечен у шести из 46 пациентов (13,0 %). Развитие клинически значимого остаточного укорочения конечности ассоциировалось с количеством предшествующих операций и выраженностью костных дефектов в области коленного сустава (рис. 3).

Проведение пяти и более санирующих операций практически в пять раз увеличивало риск укорочения конечности более чем на 6 см (ОШ = 4,6; 95 % ДИ 0,904–8,325; $p = 0,003$).

Кроме того, наличие костных дефектов III типа (F3/T3) значимо повышало вероятность наступления данного неблагоприятного исхода в 3,65 раза (ОШ = 3,65; 95 % ДИ 1,21–8,45; $p = 0,0001$).

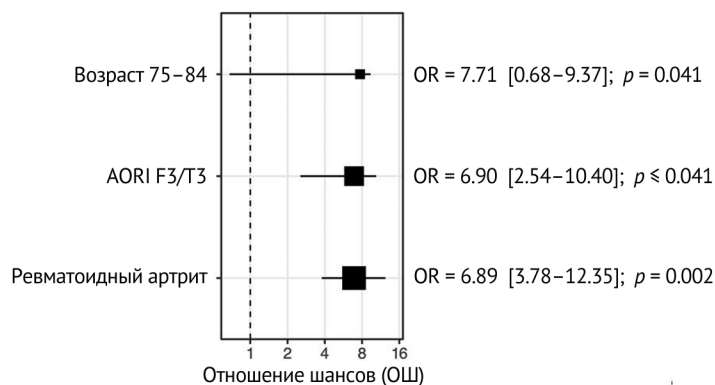


Рис. 1. Значимые факторы, ассоциированные с несостоятельностью БС

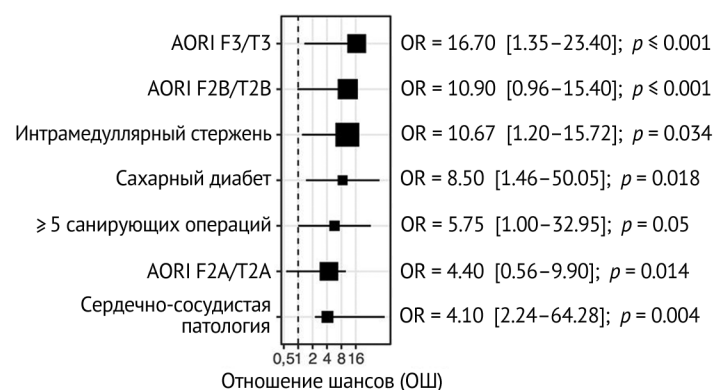


Рис. 2. Значимые факторы, ассоциированные с выраженными функциональными ограничениями (LEFS ≤ 30)

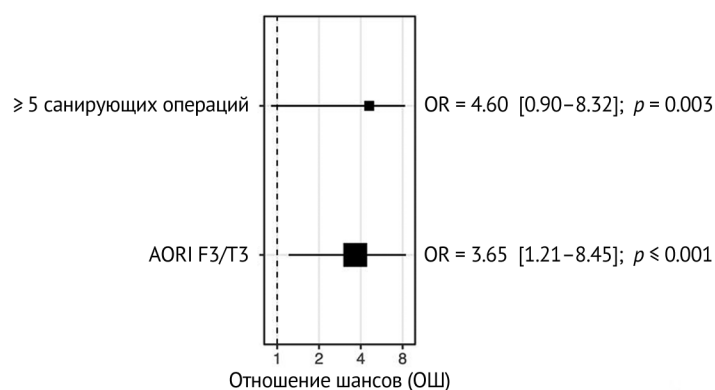


Рис. 3. Значимые факторы, ассоциированные с укорочением конечности более 6 см

По сравнению с I типом (F1/T1) дефекты II типа (IIA и IIB) и III типов ассоциированы с увеличением величины укорочения конечности на 0,81 см ($p = 0,095$), 1,48 см ($p = 0,063$) и 3,65 см ($p = 0,0001$) соответственно (рис. 4).

Рецидив инфекции

Рецидив перипротезной инфекции после ББС зарегистрирован у четырех из 46 пациентов (8,7 %). По данным однофакторного логистического анализа, развитие рецидива достоверно ассоциировалось с наличием РА, иммунодефицитных состояний и преобладанием грамотрицательной микрофлоры (рис. 5).

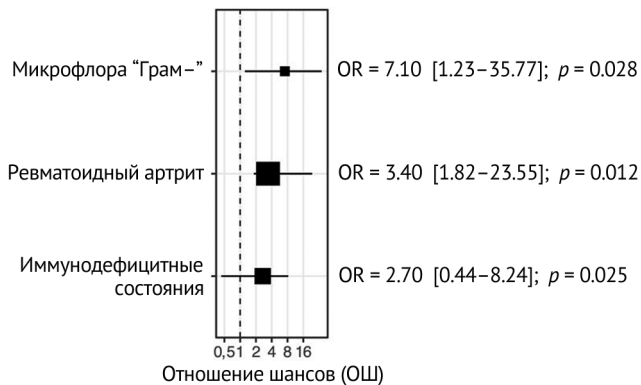


Рис. 5. Значимые факторы, ассоциированные с рецидивом инфекции

$p = 0,028$). Грамотрицательные возбудители идентифицированы в общей сложности у 37,0 % ($n = 17$) больных в качестве монокультуры и у 8,7 % ($n = 4$) в составе микробных ассоциаций.

Системные осложнения и летальный исход

Системные осложнения были зарегистрированы у трех из 46 пациентов (6,5 %). Развитие системных осложнений статистически значимо ассоциировалось с наличием сердечно-сосудистой патологии и применением интрамедуллярного стержня в качестве метода фиксации (рис. 6).

Наличие сердечно-сосудистых заболеваний повышало риск развития системных осложнений в 2,6 раза (ОШ = 2,6; 95 % ДИ 0,305–7,52; $p = 0,015$). Данная категория представлена 13 пациентами (28,3 %) с хронической сердечной недостаточностью в стадии суб- и декомпенсации. В структуре осложнений отмечено два случая массивной тромбозмболии легочной артерии, завершившихся летальным исходом и один случай острого нарушения мозгового кровообращения. Во всех случаях развития критических событий пациенты находились в состоянии субкомпенсации накануне оперативного вмешательства и наблюдались у врача-кардиолога/аритмолога, при этом все имели постоянную форму фибрилляции предсердий, зарегистрированную в анамнезе.

Применение интрамедуллярного стержня для фиксации ассоциировалось с повышением вероятности развития системных осложнений в 6,7 раза по сравнению с использованием аппарата Илизарова (ОШ = 6,69; 95 % ДИ 1,33–9,9; $p = 0,035$). Все случаи системных осложнений и летальных исходов были зарегистрированы только у пациентов, прооперированных с использованием интрамедуллярного стержня. Среди пациентов, у которых установлен аппарат Илизарова, подобных осложнений не наблюдали.

Оценка совокупного влияния факторов риска

Распределение исходов ББС в зависимости от совокупного числа факторов достоверно свидетельствует о вероятности наступления неблагоприятных исходов по мере увеличения количества предикторов (табл. 1). У пациентов, имеющих не более одного фактора риска, неблагоприятный исход отмечен лишь

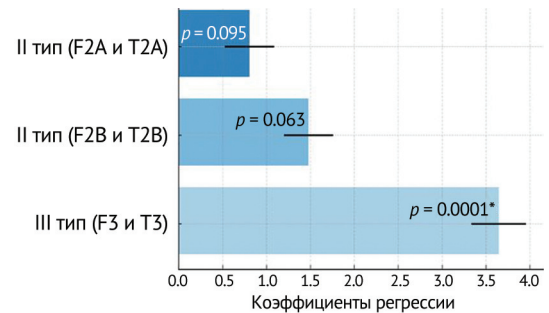


Рис. 4. Влияние типа дефекта по AORI на укорочение конечности

У пациентов с РА риск рецидива инфекционно-го процесса был повышен более чем в три раза (ОШ = 3,4; 95 % ДИ 1,82–23,55; $p = 0,012$).

Наличие иммунодефицитных состояний также продемонстрировало статистически значимое влияние на риск рецидива инфекции (ОШ = 2,7; 95 % ДИ 0,44–8,24; $p = 0,025$). Следует отметить, что данная подгруппа была представлена преимущественно пациентами с ВИЧ-инфекцией ($n = 8$; 17,4 %), у пяти из которых (10,9 %) заболевание находилось в стадии 4А, а у трех (6,5 %) — в стадии 4Б.

Кроме того, выявлено существенное влияние грамотрицательной микрофлоры на риск рецидива ППИ в 7,1 раза (ОШ = 7,1; 95 % ДИ 1,23–35,77;

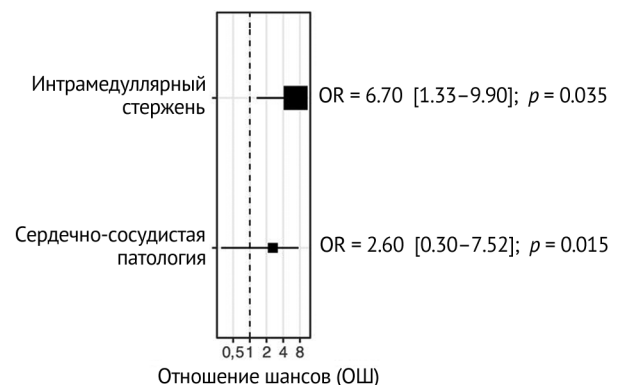


Рис. 6. Значимые факторы, ассоциированные с развитием системных осложнений

в одном случае из 10 (10 %). При наличии двух–трех факторов риска частота неблагоприятных событий увеличивалась практически в два раза (22,2 %, $n = 4/18$). Наибольшая частота неблагоприятных исходов лечения отмечена у больных с четырьмя и более предикторами (72,2 %, $n = 13/18$). Полученные результаты указывают на существенное влияние совокупного отягощающего фона на прогноз лечения и подтверждают роль комплексной оценки факторов риска при планировании ББС.

Таблица 1

Распределение пациентов по числу факторов риска и исходу ББС

Количество факторов риска	Количество пациентов			
	Благоприятный исход ($n = 28$)		Неблагоприятный исход ($n = 18$)	
	абс.	%	абс.	%
0–1	9	90	1	10
2–3	14	77,8	4	22,2
4 и более	5	27,8	13	72,2

В результате проведения дискриминантного анализа установлена статистически значимая прямая зависимость между количеством выявленных факторов риска и вероятностью неблагоприятного исхода ББС ($p < 0,001$). Построенная модель продемонстрировала высокую прогностическую точность ($AUC = 0,919$): чувствительность составила 77,8 %, специфичность — 85,7 %.

ОБСУЖДЕНИЕ

ББС при перипротезной инфекции является вынужденной спасательной операцией, направленной на купирование инфекционного процесса и восстановление опороспособности конечности ценой утраты функции коленного сустава. Несмотря на формальную однотипность конечной цели хирургического вмешательства, клинические исходы данного мероприятия характеризуются выраженной вариабельностью, что отражает сложное взаимодействие анатомических, соматических, инфекционных и хирургических факторов. В этом контексте ББС при ППИ следует рассматривать не как изолированное хирургическое вмешательство, а как многофакторный клиничко-хирургический процесс, исход которого формируется на разных этапах лечения. Полученные в настоящем исследовании результаты подтверждают, что неблагоприятный исход не определяется исключительно фактом выполнения индексной операции, а обусловлен совокупным влиянием независимых переменных на всех этапах настоящего клиничко-хирургического процесса.

Для более целостной интерпретации полученных данных считаем целесообразным рассматривать предикторы в составе следующих клинически значимых групп: пациент-ассоциированная, инфекционная и хирургическая. Подобный подход позволит отойти от формального анализа отдельных переменных, поскольку изолированные параметры не являются полностью автономными, а формируются во взаимосвязи друг с другом. К примеру, количество предшествующих санирующих вмешательств может определять степень костного дефекта и, как следствие, тяжесть формируемого патологического ортопедического статуса пациента, что в свою очередь влияет на выбор хирургической и реабилитационной технологии.

К пациент-ассоциированной группе факторов в настоящем исследовании отнесены пол, возраст, ИМТ и сопутствующие заболевания, отражающие общий соматический и иммунный статус пациента. Авторы публикаций рассматривают мужской пол, курение и морбидное ожирение ($ИМТ > 40 \text{ кг/м}^2$) как социально-демографические факторы неблагоприятных исходов, при этом возраст не оказывает значимого влияния на них [21, 22, 23]. В нашей работе обнаружена тенденция старшей возрастной категории пациентов (от 75 до 84 лет) к несостоятельности синостоза ($ОШ = 7,71$; 95 % ДИ 0,68–87,25; $p = 0,041$), что может быть объяснено уменьшением биологического потенциала репарации костной ткани. Отсутствие влияния ИМТ на исходы мы связываем с тем фактом, что показатели ИМТ в исследуемой когорте пациентов находились в пограничной зоне ($28,7 \pm 3,99$) кг/м^2 . Рассматривая влияние фоновых заболеваний на функциональные результаты, мы выявили, что сахарный диабет и сердечно-сосудистые заболевания достоверно снижали данные показатели (по LEFS, %), что отражалось на реабилитационном периоде и качестве жизни пациентов.

Сердечно-сосудистые заболевания значимо влияли на развитие системных осложнений и летальных исходов ($ОШ = 2,6$; 95 % ДИ 0,305–7,52; $p = 0,015$). При мультидисциплинарном подходе наличие даже субкомпенсированных форм хронической сердечной недостаточности исходно определяет функциональные ограничения пациентов за счет сниженных функциональных резервов до операции и ограничивает возможности ранней активизации и послеоперационной адаптации. Представленные данные согласуются с результатами В. Podmore et al., которые показали отрицательное влияние сахарного диабета ($ОШ 1,14$; 95 % ДИ 0,96–1,35) и сердечно-сосудистых заболеваний ($ОШ 1,24$; 95 % ДИ 1,01–1,52)

на функциональные исходы после артропластики. Авторы указывают и на трехкратное увеличение риска ранней летальности у пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями (ОШ 2,96; 95 % ДИ 1,95–4,48) [24].

Иммунологический статус пациента во многом предопределяет возможность контроля инфекционного процесса. Так, в систематическом обзоре D. Dimitriou et al. прослеживается ассоциация ВИЧ-инфекции с более чем двукратным риском развития ППИ (ОШ 2,28; 95 % ДИ 2,14–2,43) [25]. S.L. Ferraro et al. отмечают трехкратное увеличение риска ревизионной операции в течение 2–10 лет (ОШ 2,74; 95 % ДИ 1,51–4,99; $p < 0,001$) [26]. По нашим данным, вероятность рецидива ППИ у ВИЧ-инфицированных пациентов была выше в 2,7 раза (ОШ = 2,7; 95 % ДИ 0,44–8,24; $p = 0,025$). Уровень CD4-клеток отражает выраженность иммунодефицита и играет ключевую роль в присоединении вторичной инфекции или реинфекции [27]. Оптимальным уровнем поддержания иммунологической компенсации таких пациентов принято считать 500–1500 клеток/мм³ [28].

Прямые данные о влиянии РА на исходы ББС в рассмотренной нами литературе отсутствуют. В нашем исследовании наличие РА сопровождалось значительным увеличением риска несостоятельности синостоза (ОШ = 6,89; 95 % ДИ 3,78–12,35; $p = 0,002$) и рецидива инфекции (ОШ = 3,4; 95 % ДИ 1,82–23,55; $p = 0,012$). По мнению E. Lenguerrand et al., РА в 2,5 раза увеличивает риск развития ППИ, являющейся причиной ревизии эндопротеза (ОШ 2,52; 95 % ДИ 1,51–3,93) [29]. Систематические обзоры прогностических факторов при костно-суставной инфекции также указывают на ключевую роль коморбидных состояний в развитии рецидива инфекции и неудач лечения [30].

В последние годы увеличивается интерес исследователей к интегральной оценке соматического статуса пациента с использованием шкал, индексов и калькуляторов коморбидности, позволяющих учитывать влияние накопительного эффекта сопутствующих заболеваний на риск неблагоприятных исходов. Существуют универсальные шкалы, такие как общеизвестный индекс десятилетней выживаемости Charlson [31], а также более узкоспециализированные инструменты, например калькулятор риска реинфекции, предложенный С. Klemm et al. [32]. Разработка и внедрение интегрального индекса риска неблагоприятных исходов ББС представляется перспективной точкой приложения к выстраиванию алгоритма лечения. При этом комплексный анализ факторов, влияющих на исход, создает предпосылки для формирования подобного инструмента.

К инфекционной группе факторов мы отнесли тип перипротезной инфекции (по D.T. Tsukayama) и микробиологический профиль возбудителя. Традиционно при анализе перипротезной инфекции значительное внимание уделяется клинической классификации процесса по D.T. Tsukayama, отражающей преимущественно временные и патогенетические особенности дебюта инфекции. В клинической практике предполагается, что хронические поздние и острые гематогенные формы ассоциированы с менее благоприятными исходами лечения. Несмотря на преобладание именно этих форм инфекции (71,7 % наблюдений) в настоящем исследовании, тип инфекции не продемонстрировал достоверного влияния на исходы ББС. Полученные данные позволяют предположить, что решающую роль может играть не столько клинический сценарий манифестации инфекции, сколько биологические и культуральные характеристики возбудителя. Как показано в работе D.W. Lee et al., при анализе случаев рецидива ППИ после реэндопротезирования именно микробиологический профиль обладает наибольшей прогностической значимостью [33].

Углубленным изучением микробного спектра и оценкой его влияния на исходы ортопедических операций занимаются отечественные коллеги [34]. Авторы рассматривают высокорезистентные грамотрицательные возбудители в качестве независимых факторов развития рецидива инфекции и включают их в суммарные шкалы риска, определяющие целесообразность отказа от повторного реэндопротезирования в пользу артродеза. В настоящей работе наличие грам(–) возбудителей увеличивало риск рецидива инфекции практически в семь раз (ОШ = 7,1; 95 % ДИ 1,23–35,77; $p = 0,028$). При этом грамотрицательную микрофлору выявляли у 37,0 % пациентов в виде монокультуры и в 8,7 % — в составе микробных ассоциаций. Сопоставимые данные приводят S.W. Jhan et al., отмечая более чем пятикратное увеличение риска рецидива ППИ при выявлении грамотрицательных возбудителей (ОШ = 5,68; 95 % ДИ 1,18–27,4; $p = 0,0303$) [35]. Выявленная роль грамотрицательной микробиологической флоры в реализации рецидива инфекции подчеркивает значение таргетной антибактериальной терапии, что приобретает не только прогностическое, но и практическое значение, определяя эффективность контроля над инфекционным процессом на всех этапах ББС.

К хирургической группе факторов отнесены количество предшествующих санирующих операций, особенности утраты костной ткани после первичной артропластики (по AORI) и метод фиксации. «Золотым стандартом» лечения пациентов с перипротезной инфекцией после первичной артропластики принято считать двухэтапное ревизионное эндопротезирование [36]. Отсутствие клинко-лабораторной ремиссии инфекционного процесса является показанием к проведению промежуточной

санирующей операции и переустановке цементного спейсера. M.S. Son et al. показали, что выполнение более двух инфекционно-ассоциированных ревизий в 1,36 раза (95 % ДИ 1,13–1,64; $p < 0,001$) повышает вероятность смены хирургической тактики на артродез, как одну из спасательных операций [37].

С этой позиции множественные ревизионно-санирующие операции трактуются как маркер тяжести и рефрактерности инфекционного процесса. Попытки такого хирургического контроля инфекции имеют еще одно стратегическое значение. Проведение одной санирующей операции ассоциируется с 27 % (ОШ 0,73; 95 % ДИ 0,7–0,75; $p < 0,001$), а двух и более — с 34 % (ОШ 0,66; 95 % ДИ 0,61–0,7; $p < 0,001$) снижения летальности [37]. Многократное проведение промежуточных этапов контроля инфекции имеет ортопедические последствия и не может быть бесконечным, поскольку каждая секвестрнекрэктомия сопровождается удалением инфицированных нежизнеспособных тканей, а, соответственно, ведет к еще большей потере костного остова бедренной и большеберцовой костей. Объем костного дефекта в последующем сказывается на величине остаточного укорочения конечности и функциональных результатах лечения пациента в исходе ББС. Исследование нашей когорты пациентов подтверждает данные заключения. Так, проведение пяти и более санирующих операций ассоциировалось с пятикратным увеличением клинически значимого остаточного укорочения конечности (ОШ 4,6; 95 % ДИ 0,904–8,325; $p = 0,003$) и неудовлетворительными функциональными исходами (ОШ 5,75; 95 % ДИ 1,003–32,95; $p = 0,05$). При этом тяжесть костных дефектов по AORI оказывала сопоставимое, а в ряде случаев и более выраженное, влияние на данные исходы. Именно выраженность костных дефектов, опосредованная количеством санирующих операций, является ключевым звеном неблагоприятных исходов ББС.

В настоящей работе отмечено еще одно ассоциативное влияние крупных по протяженности дефектов (AORI III тип) на повышение риска несостоятельности костного блока в семь раз (ОШ 6,9; 95 % ДИ 2,54–10,4; $p = 0,0005$). Похожие результаты наблюдений представлены T.W. Parcel et al., которые рассматривали наличие обширных костных дефектов в качестве фактора, достоверно снижающего вероятность успешного формирования анкилоза после артродеза коленного сустава ($p < 0,05$) [38]. Вместе с тем С.М. Yeung et al. не обнаружили влияния III типа костных дефектов по AORI на замедленное сращение или несостоятельность анкилоза ($p > 0,05$) [5].

Интрамедуллярные конструкции для артродезирования коленного сустава после неудачной артропластики зарубежные коллеги стали применять с конца 1980-х годов [39]. Обозримая перспективность метода повлияла и на полученные авторами ранние результаты как изолированно [40, 41], так и в сравнении с другими методами фиксации [16]. Функциональные результаты и удовлетворенность пациентов после перенесенной операции методом интрамедуллярного остеосинтеза значительно превышали эффективность использования аппарата Илизарова ($p > 0,05$). Анализ более свежих литературных источников позволяет сделать вывод об отсутствии между методами значимых различий в повседневном функционировании и качестве жизни пациентов [42]. Мы пришли к аналогичному выводу в наших первоначальных исследованиях [17]. Однако, включив в анализ функциональных результатов категориальную переменную дефектов по AORI, выявили преимущество применения аппарата Илизарова при III типе костных дефектов ($p = 0,018$). Это позволило нам детально углубиться в изучение данного фактора и прийти к выводу, что интрамедуллярный стержень является предиктором функциональных ограничений ББС (ОШ = 10,67; 95 % ДИ 1,201–15,72; $p = 0,034$). Подобных результатов и выводов в доступной литературе мы не встретили.

Вероятная причина такого влияния на функциональные показатели пациентов с интрамедуллярным стержнем заключается в невозможности создания биомеханически правильного положения оперируемой конечности. Технические характеристики длинного стержня для артродеза коленного сустава не предусматривают его вальгусного отклонения около 5° во фронтальной плоскости на уровне коленного сустава, а имеют лишь антекурвационный изгиб. Интересна идея Л.Н. Соломина с соавт. обернуть технический недостаток данной конструкции в достоинство путем разворота стержня вовнутрь на 45° [43]. На практике использование данного приема открыло для нашего коллектива авторов некоторый спектр проблем, связанных с блокированием, конфликтом дистального конца стержня с задней кортикальной стенкой большеберцовой кости и риском ее раскалывания при дальнейшем продвижении штифта, порочной установкой стопы во внутренней ротации при заклинивании штифта в канале большеберцовой кости. Учитывая вышесказанное, достижение оптимальной механической оси, а значит и правильного осевого распределения нагрузки, становится труднодостижимой задачей. Существующие биомеханические исследования походки подтверждают отрицательное влияние анкилозированного коленного сустава на «выживаемость» смежных суставов [44]. Итоговая, пусть даже незначительная, варусная деформация конечности на уровне коленного сустава ведет к нарушению биомеханической оси нижней конечности, патологической перегрузке голеностопного и тазобедренного суставов, прогрессированию деформирующего артроза, хроническому болевому синдрому, ограничению качества жизни и повседневной активности пациентов. Немаловажно учитывать величину

истинного костного дефекта, который напрямую влияет на остаточное укорочение конечности. В свою очередь, разница в длине ног сказывается как на функционировании пациента, так и на его ментальном состоянии. Для устранения или нивелирования этой разницы и биомеханического выравнивания оси конечности более «гибким» является метод Илизарова [45].

В мировой литературе наиболее масштабно и структурно возникающие осложнения после артродезирования коленного сустава проанализировали J.B. Carr et al. на основе национальной базы данных Соединенных Штатов [46]. Авторы указывают уровень системных осложнений 25,9 % ($n = 683/2634$) и внутригоспитальную летальность 2,1 % ($n = 55/2634$). Стоит отметить тот факт, что коллеги не рассматривают влияние метода фиксации на полученные результаты. Наше исследование показало семикратное влияние интрамедуллярного стержня для фиксации на развитие системных осложнений и внутригоспитальной летальности (ОШ = 6,69; 95 % ДИ 1,33–9,9; $p = 0,035$). Упоминание о критических событиях, связанных с применением длинного штифта для АКС, встречается в работе N.M. Brown et al. на небольшой выборке пациентов. Авторы представляют данные о двухлетней летальности в 33 % случаев ($n = 6/18$), в том числе один случай (5,5 %) летального исхода в раннем послеоперационном периоде [2].

Патогенез системных осложнений связан с образованием множества свободных жирных кислот во время рассверливания (римирования) костномозгового канала бедра и голени и их попаданием в кровеносное русло при введении интрамедуллярной конструкции вследствие резкого повышения внутриканального давления. Содержимое костномозгового канала обладает прямым цитотоксическим действием на эндотелий сосудов, что приводит к системной воспалительной реакции. Дополнительное высвобождение тромбопластических факторов формирует протромботическое состояние, клинически проявляющееся в виде ТЭЛА, дыхательной и полиорганной недостаточности [47].

Дискриминантный анализ показал, что наступление неблагоприятного исхода ББС статистически значимо ($p < 0,001$) зависит от факторов риска у пациента, особенно от их суммарного накопления. Среди пациентов исследуемой когорты при наличии четырех и более факторов риска неблагоприятный исход наблюдали в 72,2 % случаев, с двумя–тремя факторами риска — в 22,2 % клинических наблюдений. У пациентов с одним фактором риска неблагоприятный исход наблюдали в 10 % случаев.

Ограничения исследования

Небольшой объем выборки ограничивает статистическую мощность исследования и повышает риск широких доверительных интервалов для ряда факторов. В работе применяли однофакторный регрессионный анализ, что не исключает потенциального влияния скрытых сопутствующих переменных, — конфаундеров. Для минимизации искажения результатов в будущем необходим многофакторный регрессионный анализ с учетом потенциальных конфаундеров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование показало статистически значимую прямую связь неблагоприятных исходов бедренно-большеберцового синостозирования при перипротезной инфекции с коморбидным фоном пациента, грамотрицательным микробиологическим профилем инфекции, значительными по площади костными дефектами, выполнением пяти и более предшествующих санирующих операций и выбранным методом фиксации. С увеличением количества выявленных факторов риска у пациента значительно возросла вероятность наступления неблагоприятного исхода.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с проведенным исследованием и публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования и подготовке публикации.

Этическая экспертиза. Исследование одобрено локальным этическим комитетом СОКП госпиталя для ветеранов войн, Екатеринбург (протокол от 25.02.2025 № 2/2025).

Информированное согласие. Все пациенты дали письменное информированное согласие на участие и публикацию данных. Детализирующая информация, способствующая персонификации включенных в исследование пациентов, отсутствует.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Mabry TM, Jacofsky DJ, Haidukewych GJ, Hanssen AD. Comparison of intramedullary nailing and external fixation knee arthrodesis for the infected knee replacement. *Clin Orthop Relat Res.* 2007;464:11–15. doi: 10.1097/BLO.0b013e31806a9191.
2. Brown NM, Balkissoon R, Saltzman BM, et al. Knee Arthrodesis With an Intramedullary Antegrade Rod as a Salvage Procedure for the Chronically Infected Total Knee Arthroplasty. *J Am Acad Orthop Surg Glob Res Rev.* 2020;4(9):e20.00082–6. doi: 10.5435/JAAOSGlobal-D-20-00082.
3. Röhner E, Windisch C, Nuetzmann K, et al. Unsatisfactory outcome of arthrodesis performed after septic failure of revision total knee arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am.* 2015;97(4):298–301. doi: 10.2106/JBJS.N.00834.

4. Robinson M, Pignonov HI, Ormseth A, et al. Knee Arthrodesis Outcomes After Infected Total Knee Arthroplasty and Failure of Two-stage Revision With an Antibiotic Cement Spacer. *J Am Acad Orthop Surg Glob Res Rev.* 2018;2(1):e077. doi: 10.5435/JAAOSGlobal-D-17-00077.
5. Yeung CM, Lichstein PM, Varady NH, et al. Knee Arthrodesis Is a Durable Option for the Salvage of Infected Total Knee Arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2020;35(11):3261-3268. doi: 10.1016/j.arth.2020.06.034.
6. Schnetz M, Maluki R, Ewald L, et al. Above-knee amputation shows higher complication and mortality rates in line with lower functional outcome compared to knee arthrodesis in severe periprosthetic joint infection. *Bone Joint J.* 2024;106-B(7):669-679. doi: 10.1302/0301-620X.106B7.BJJ-2023-0978.R2.
7. Fedorka CJ, Chen AF, McGarry WM, et al. Functional ability after above-the-knee amputation for infected total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 2011;469(4):1024-1032. doi: 10.1007/s11999-010-1577-0.
8. Benvenuti L, Digennaro V, Panciera A, et al. Knee arthrodesis with intramedullary nail in end-stage periprosthetic joint infection with extensor mechanism failure: a retrospective outcome and reinfection rate analysis of a case series. *Musculoskelet Surg.* 2025;109(4):455-461. doi: 10.1007/s12306-025-00896-8.
9. Trouilleux T, Faure PA, Martinot P, et al. Above-the-knee amputation versus knee arthrodesis for revision of infected total knee arthroplasty: Recurrent infection rates and functional outcomes of 43 patients at a mean follow-up of 6.7 years. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2021;107(4):102914. doi: 10.1016/j.otsr.2021.102914.
10. Прохоренко В.М., Злобин А.В., Мамедов А.А., Байтов В.С. Лечение парапротезной инфекции коленного сустава. *Современные проблемы науки и образования.* 2015;(6). URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=23231> (дата обращения: 15.01.2026).
11. Ключин Н.М., Ермаков А.М., Абабков Ю.В., Коюшков А.Н. Истинная эффективность методики артродезирования при лечении перипротезной инфекции коленного сустава. *Гений ортопедии.* 2019;25(2):156-161. doi: 10.18019/1028-4427-2019-25-2-156-161.
12. Mercurio M, Gasparini G, Cofano E, et al. Knee Arthrodesis for Periprosthetic Knee Infection: Fusion Rate, Complications, and Limb Salvage-A Systematic Review. *Healthcare (Basel).* 2024;12(7):804. doi: 10.3390/healthcare12070804.
13. White CJ, Palmer AJR, Rodriguez-Merchan EC. External Fixation vs Intramedullary Nailing for Knee Arthrodesis After Failed Infected Total Knee Arthroplasty: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Arthroplasty.* 2018;33(4):1288-1295. doi: 10.1016/j.arth.2017.10.055.
14. Corona PS, Jurado M, Scott-Tennent A, et al. Uniplanar versus biplanar monolateral external fixator knee arthrodesis after end-stage failed infected total knee arthroplasty: a comparative study. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2020;30(5):815-825. doi: 10.1007/s00590-020-02633-2.
15. Aparicio G, Otero J, Bru S. High Rate of Fusion but High Complication Rate After Knee Arthrodesis for Infected Revision Total Knee Replacement. *Indian J Orthop.* 2020;54(5):616-623. doi: 10.1007/s43465-020-00163-x.
16. Iacono F, Raspugli GF, Bruni D, et al. Arthrodesis After Infected Revision TKA: Retrospective Comparison of Intramedullary Nailing and External Fixation. *HSS J.* 2013;9(3):229-235. doi: 10.1007/s11420-013-9349-5.
17. Бугаев Г.А., Виноградский А.Е., Прокопьев Д.С., Борзунов Д.Ю. Сравнительный анализ результатов бедренно-большеберцового синостозирования при перипротезной инфекции. *Гений ортопедии.* 2025;31(5):574-586. doi: 10.18019/1028-4427-2025-31-5-574-586.
18. Tsukayama DT, Estrada R, Gustilo RB. Infection after total hip arthroplasty. A study of the treatment of one hundred and six infections. *J Bone Joint Surg Am.* 1996;78(4):512-523. doi: 10.2106/00004623-199604000-00005.
19. Khan Y, Arora S, Kashyap A, et al. Bone defect classifications in revision total knee arthroplasty, their reliability and utility: a systematic review. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2023;143(1):453-468. doi: 10.1007/s00402-022-04517-y.
20. Ratter J, Pellekooren S, Wiertsema S, et al. Content validity and measurement properties of the Lower Extremity Functional Scale in patients with fractures of the lower extremities: a systematic review. *J Patient Rep Outcomes.* 2022;6(1):11. doi: 10.1186/s41687-022-00417-2.
21. Denyer S, Hoyt AK, Schneider AM, Brown NM. Knee Arthrodesis: An Analysis of Surgical Risk Factors and Complications Using a National Database. *Arthroplast Today.* 2023;20:101098. doi: 10.1016/j.artd.2023.101098.
22. Yue C, Cui G, Ma M, et al. Associations between smoking and clinical outcomes after total hip and knee arthroplasty: A systematic review and meta-analysis. *Front Surg.* 2022;9:970537. doi: 10.3389/fsurg.2022.970537.
23. Boyce L, Prasad A, Barrett M, et al. The outcomes of total knee arthroplasty in morbidly obese patients: a systematic review of the literature. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2019;139(4):553-560. doi: 10.1007/s00402-019-03127-5.
24. Podmore B, Hutchings A, van der Meulen J, et al. Impact of comorbid conditions on outcomes of hip and knee replacement surgery: a systematic review and meta-analysis. *BMJ Open.* 2018 Jul 11;8(7):e021784. doi: 10.1136/bmjopen-2018-021784.
25. Dimitriou D, Ramokgopa M, Pietrzak JRT, et al. Human Immunodeficiency Virus Infection and Hip and Knee Arthroplasty. *JBJS Rev.* 2017;5(9):e8. doi: 10.2106/JBJS.RVW.17.00029.
26. Ferraro SL, Zhao AY, Mahindroo S, et al. AIDS but not asymptomatic HIV is associated with lower 2-10-year implant survivorship following total knee arthroplasty. *Knee.* 2024;48:76-82. doi: 10.1016/j.knee.2024.02.012.
27. Тряпичников А.С., Ермаков А.М., Ключин Н.М. и др. Результаты лечения перипротезной инфекции крупных суставов у ВИЧ-позитивных больных. *Травматология и ортопедия России.* 2019;25(4):117-125. doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-4-117-125.
28. Opportunistic Infections Project Team of the Collaboration of Observational HIV Epidemiological Research in Europe (COHERE) in EuroCoord; Young J, Psychogiou M, Meyer L, et al. CD4 cell count and the risk of AIDS or death in HIV-Infected adults on combination antiretroviral therapy with a suppressed viral load: a longitudinal cohort study from COHERE. *PLoS Med.* 2012;9(3):e1001194. doi: 10.1371/journal.pmed.1001194.
29. Lenguerrand E, Whitehouse MR, Beswick AD, et al. Risk factors associated with revision for prosthetic joint infection following knee replacement: an observational cohort study from England and Wales. *Lancet Infect Dis.* 2019;19(6):589-600. doi: 10.1016/S1473-3099(18)30755-2.
30. Dudareva M, Hotchen A, McNally MA, et al. Systematic review of risk prediction studies in bone and joint infection: are modifiable prognostic factors useful in predicting recurrence? *J Bone Jt Infect.* 2021;6(7):257-271. doi: 10.5194/jbji-6-257-2021.
31. Charlson ME, Pompei P, Ales KL, MacKenzie CR. A new method of classifying prognostic comorbidity in longitudinal studies: development and validation. *J Chronic Dis.* 1987;40(5):373-383. doi: 10.1016/0021-9681(87)90171-8.
32. Klemm C, Tirumala V, Smith EJ, et al. Development of a Preoperative Risk Calculator for Reinfection Following Revision Surgery for Periprosthetic Joint Infection. *J Arthroplasty.* 2021;36(2):693-699. doi: 10.1016/j.arth.2020.08.004.
33. Lee DW, Han HS, Ro DH. Risk factors of recurrent periprosthetic joint infection of the knee after two-stage reimplantation. *Knee Surg Relat Res.* 2025;37(1):4. doi: 10.1186/s43019-025-00258-5.
34. Преображенский П.М., Божкова С.А., Каземирский А.В. Этапное реэндопротезирование коленного сустава у пациентов с перипротезной инфекцией: когда остановиться? *Травматология и ортопедия России.* 2025;31(4):28-40. doi: 10.17816/2311-2905-17733.
35. Jhan SW, Lu YD, Lee MS, et al. The risk factors of failed reimplantation arthroplasty for periprosthetic hip infection. *BMC Musculoskelet Disord.* 2017;18(1):255. doi: 10.1186/s12891-017-1622-1.

36. Insall JN, Thompson FM, Brause BD. Two-stage reimplantation for the salvage of infected total knee arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am.* 1983;65(8):1087-1098.
37. Son MS, Lau E, Parvizi J, et al. What Are the Frequency, Associated Factors, and Mortality of Amputation and Arthrodesis After a Failed Infected TKA? *Clin Orthop Relat Res.* 2017;475(12):2905-2913. doi: 10.1007/s11999-017-5285-x.
38. Parcel TW, Levering M, Polikandriotis JA, et al. Failure analysis of knee arthrodesis with the WichitaFusion Nail. *Orthopedics.* 2013;36(11):e1336-9. doi: 10.3928/01477447-20131021-11.
39. Wilde AH, Stearns KL. Intramedullary fixation for arthrodesis of the knee after infected total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 1989;(248):87-92.
40. McQueen DA, Cooke FW, Hahn DL. Intramedullary compression arthrodesis of the knee: early experience with a new device and technique. *J Arthroplasty.* 2005;20(1):72-78. doi: 10.1016/j.arth.2004.09.022.
41. Bargiotas K, Wohlrab D, Sewecke JJ, et al. Arthrodesis of the knee with a long intramedullary nail following the failure of a total knee arthroplasty as the result of infection. *J Bone Joint Surg Am.* 2006;88(3):553-8. doi: 10.2106/JBJS.E.00575.
42. Suda AJ, Brachtendorf X, Tinelli M, et al. Low complication rate and better results for intramedullary nail - arthrodesis for infected knee joints compared to external fixator-a series of one hundred fifty two patients. *Int Orthop.* 2021;45(7):1735-1744. doi: 10.1007/s00264-021-05054-w.
43. Соломин Л.Н., Щепкина Е.А., Корчагин К.Л., Сабиров Ф.К. Сравнительный анализ артродезирования коленного сустава длинными блокируемыми стержнями и аппаратом Илизарова при последствиях глубокой инфекции после эндопротезирования. *Травматология и ортопедия России.* 2020;26(3):109-118. doi: 10.21823/2311-2905-2020-26-3-109-118.
44. Wagener N, Böhle S, Kirschberg J, et al. Knee Arthrodesis Affects Gait Kinematics More in the Ankle Than in the Hip Joint. *Medicina (Kaunas).* 2022;58(6):696. doi: 10.3390/medicina58060696.
45. Birch JG, Samchukov ML. Use of the Ilizarov method to correct lower limb deformities in children and adolescents. *J Am Acad Orthop Surg.* 2004;12(3):144-154. doi: 10.5435/00124635-200405000-00002.
46. Carr JB 2nd, Werner BC, Browne JA. Trends and Outcomes in the Treatment of Failed Septic Total Knee Arthroplasty: Comparing Arthrodesis and Above-Knee Amputation. *J Arthroplasty.* 2016;31(7):1574-1577. doi: 10.1016/j.arth.2016.01.010.
47. Pape HC, Grimme K, Van Griensven M, et al. Impact of intramedullary instrumentation versus damage control for femoral fractures on immunoinflammatory parameters: prospective randomized analysis by the EPOFF Study Group. *J Trauma.* 2003;55(1):7-13. doi: 10.1097/01.TA.0000075787.69695.4E.

Статья поступила 27.01.2025; одобрена после рецензирования 16.02.2026; принята к публикации 06.04.2026.

The article was submitted 27.01.2025; approved after reviewing 16.02.2026; accepted for publication 06.04.2026.

Информация об авторах:

Глеб Александрович Бугаев — врач — травматолог-ортопед, glebbugaev97@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0176-0090>;

Александр Евгеньевич Виноградский — кандидат медицинских наук, врач — травматолог-ортопед, ассистент кафедры, vinalex@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2912-6291>;

Дмитрий Юрьевич Борзунов — доктор медицинских наук, врач — травматолог-ортопед, профессор кафедры, borzunov@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3720-5467>.

Information about the authors:

Gleb A. Bugaev — Orthopaedic Surgeon, glebbugaev97@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0176-0090>;

Alexander E. Vinogradsky — Candidate of Medical Sciences, Orthopaedic Surgeon, Assistant Professor, vinalex@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2912-6291>;

Dmitry Yu. Borzunov — Doctor of Medical Sciences, Professor, Orthopaedic Surgeon, Professor of the Department, borzunov@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3720-5467>.

Вклад авторов:

Бугаев Г.А. — разработка дизайна исследования, обзор публикаций по теме статьи, сбор и анализ материала, статистическая обработка полученных данных, подготовка текста.

Виноградский А.Е. — разработка концепции исследования, анализ и интерпретация полученных данных, редактирование.

Борзунов Д.Ю. — координация участников исследования, разработка концепции и дизайна исследования, окончательное редактирование.

Все авторы внесли значимый вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию статьи перед публикацией.