

БЕДРЕННО-БОЛЬШЕБЕРЦОВОЕ СИНОСТОЗИРОВАНИЕ В УСЛОВИЯХ ПЕРИПРОТЕЗНОЙ ИНФЕКЦИИ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОПЕРАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИ ИНТРАМЕДУЛЛЯРНОЙ И ВНЕШНЕЙ ФИКСАЦИИ

FEMOROTIBIAL SYNOSTOSIS IN PERIPROSTHETIC JOINT INFECTION: COMPARATIVE ANALYSIS OF OPERATIVE PARAMETERS USING INTRAMEDULLARY NAIL AND EXTERNAL FIXATION

Бугаев Г.А. Bugaev G.A.
Виноградский А.Е. Vinogradsky A.E.
Борзунов Д.Ю. Borzunov D.Yu.

ГАУЗ СО «Свердловский областной клинический госпиталь для ветеранов войн имени С.И. Спектора»,
ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России,
г. Екатеринбург, Россия

Sverdlovsk Regional Clinical Psychoneurological Hospital for War Veterans,
Ural State Medical University,
Yekaterinburg, Russia

Бедренно-большеберцовое синостозирование (ББС) при перипротезной инфекции (ППИ) относится к вмешательствам спасения нижней конечности и применяется у пациентов с тяжелым инфекционным процессом и значительными по величине дефектами нижней конечности. В литературе основное внимание уделяется показателям инфекционного контроля, синостозирования и анатомо-функциональным исходам лечения. Операционные параметры, отражающие длительность вмешательства, объем кровопотери и потребность в гемотрансфузионной поддержке при различных способах фиксации, представлены ограниченно.

Цель исследования — провести сравнительный анализ длительности оперативного вмешательства, объема кровопотери и частоты гемотрансфузии при формировании ББС с использованием интрамедуллярного стержня и аппарата Илизарова у пациентов с ППИ коленного сустава.

Материалы и методы. Выполнено ретроспективное исследование исходов лечения 46 пациентов, которым формировали ББС. Интрамедуллярный стержень (ИС) применен в 25 случаях (группа 1), аппарат Илизарова (АИ) — в 21 клиническом наблюдении (группа 2). Оценивали длительность операции, интраоперационную, дренажную и суммарную кровопотерю, а также частоту гемотрансфузии. Дополнительно выполнен анализ указанных параметров в зависимости от структуры костных дефектов по AORI (III и I-II типы).

Результаты. Продолжительность оперативного вмешательства значительно различалась между группами и была меньше в группе 1 (ИС; $p < 0,001$). При этом объем суммарной, интраоперационной и дренажной кровопотери значительно преобладал при выполнении остеосинтеза ИС ($p < 0,001$). Гемотрансфузию реже проводили в группе 2 (АИ; $p = 0,002$). Установлена связь костных дефектов III типа (по AORI) с большим объемом суммарной кровопотери ($p = 0,0488$).

Femorotibial synostosis (FTS) in periprosthetic joint infection (PJI) is a limb-salvage procedure used in patients with severe infection and extensive bone defects. The literature primarily focuses on infection control, fusion rates and functional outcomes. However, operative parameters such as duration of surgery, blood loss and frequency of blood transfusions with different fixation methods are poorly reported.

Objective — to perform a comparative analysis of operative time, blood loss and transfusion rate in femorotibial synostosis using an intramedullary nail and the Ilizarov frame in patients with knee PJI.

Materials and methods. A retrospective study of the 46 patients who underwent FTS was performed. Intramedullary nailing (IMN) was used in 25 cases (group 1) and the Ilizarov frame (IF) in 21 cases (group 2). The duration of surgery, intraoperative, drainage and total blood loss, as well as transfusion rate were assessed. A subgroup analysis was performed according to bone severity based on the AORI classification (types III and I-II).

Results. Operative time was significantly shorter in the IMN group compared to the IF group ($p < 0.001$). However, intraoperative, drainage and total blood loss were significantly higher in the IMN group ($p < 0.001$). Blood transfusion was required less frequently in the IF group ($p = 0.002$). AORI type III defects were associated with greater total blood loss compared to types I-II ($p = 0.0488$).



Для цитирования: Бугаев Г.А., Виноградский А.Е., Борзунов Д.Ю. БЕДРЕННО-БОЛЬШЕБЕРЦОВОЕ СИНОСТОЗИРОВАНИЕ В УСЛОВИЯХ ПЕРИПРОТЕЗНОЙ ИНФЕКЦИИ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОПЕРАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИ ИНТРАМЕДУЛЛЯРНОЙ И ВНЕШНЕЙ ФИКСАЦИИ //ПОЛИТРАВМА / POLYTRAUMA. 2026. № 3. С. 55-62.

Режим доступа: <http://poly-trauma.ru/index.php/pt/article/view/675>

DOI: 10.24412/1819-1495-2026-3-55-62

Заключение. Использование интрамедуллярного стержня при формировании ББС ассоциировано с меньшей продолжительностью операции, но с большим объемом потери крови и более высокой потребностью в гемотрансфузии по сравнению с остеосинтезом аппаратом внешней фиксации. Дальнейшие исследования с учетом клинических и инфекционных факторов позволят уточнить интерпретацию полученных результатов.

Ключевые слова: бедренно-большеберцовое синостозирование; артродез коленного сустава; перипротезная инфекция; кровопотеря; длительность операции; гемотрансфузия

Conclusion. The use of an intramedullary nail in femorotibial synostosis is associated with shorter operative time but greater blood loss and a higher transfusion rate compared to external fixation. Further studies incorporating clinical and infection-related factors are needed to refine the interpretation of these findings.

Keywords: femorotibial synostosis; knee arthrodesis; periprosthetic joint infection; blood loss; operative time; blood transfusion

Перипротезная инфекция (ППИ) коленного сустава остается одним из наиболее тяжелых осложнений эндопротезирования. ППИ развивается у 1–2% пациентов после первичной артропластики и у 4–10% пациентов после ревизионных вмешательств [1]. По данным Датского национального регистра, отмечается рост частоты ревизионных операций на коленном суставе по поводу ППИ до 0,7% [2]. Существенным фактором утяжеления течения ППИ является распространение антибиотикорезистентности, увеличение доли метициллин-резистентных *Staphylococcus aureus* (MRSA) [3] и грамотрицательных возбудителей [4]. Персистирование инфекционного процесса во многом обусловлено способностью микроорганизмов формировать биопленки на поверхности имплантов и губчатой костной ткани, что снижает эффективность антибактериальной терапии и хирургических этапов санации [5]. Рецидивирующее течение ППИ и необходимость многократных санирующих вмешательств сопровождаются утратой костного остова бедренной и большеберцовой костей с формированием обширных дефектов. Это ограничивает возможности реэндопротезирования и повышает актуальность спасательных операций на нижней конечности.

Бедренно-большеберцовое синостозирование (ББС) при ППИ относится к числу наиболее травматичных реконструктивных вмешательств в хирургии коленного сустава, его применяют в случаях невозможности проведения ревизионной артропластики. По результатам исследований, частота артродезирующих операций после первичной артропластики коленного сустава составляет 0,26% [6]. После ревизионных вмешательств по поводу ППИ данный показатель достигает 2,7% [7].

Современные исследования, посвященные ББС, преимущественно сосредоточены на показателях инфекционного контроля, сроках синостозиро-

вания и функциональных исходах лечения [8, 9]. В то же время операционные параметры, включая длительность вмешательства, объем кровопотери и потребность в гемотрансфузионной поддержке, представлены в литературе ограниченно, что затрудняет оценку хирургической нагрузки и планирование периоперационного ведения пациентов.

Цель исследования — провести сравнительный анализ длительности оперативного вмешательства, объема кровопотери и частоты гемотрансфузии при формировании ББС с использованием интрамедуллярного стержня (ИС) и аппарата Илизарова (АИ) у пациентов с ППИ коленного сустава.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Настоящее ретроспективное исследование является продолжением ранее опубликованного анализа клинических исходов лечения пациентов с ППИ коленного сустава, которым выполнено ББС [10]. В рамках данной работы проведена оценка операционных показателей при использовании различных технологий остеосинтеза.

В исследование включены 46 пациентов с ППИ коленного сустава, которым выполняли ББС как спасательный этап лечения при невозможности ревизионного эндопротезирования. Пациенты были распределены на группы в зависимости от метода фиксации. В группу 1 (где использовался ИС) вошли 25 пациентов, в группу 2 (в которой применялся АИ) — 21 человек. Группы были сопоставимы по основным клинико-демографическим характеристикам. В исследуемой когорте преобладали женщины — 67,4 % ($n = 31$), доля мужчин составила 32,6 % ($n = 15$). Возраст пациентов — $68,0 \pm 11,6$ года, индекс массы тела — $28,7 \pm 3,99$ кг/м². Статистически значимых различий по указанным параметрам между группами не выявлено ($p > 0,05$).

Не включали пациентов с неполными сведениями об оперативном вме-

шателстве и данными послеоперационного периода, необходимыми для оценки анализируемых операционных параметров.

В качестве операционных параметров рассматривали длительность хирургического вмешательства, объем интраоперационной, дренажной и суммарной кровопотери, а также потребность в проведении гемотрансфузии. Указанные данные рассматривались как количественные характеристики хирургической нагрузки вмешательства и оценивались без учета влияния сопутствующей патологии, выраженности инфекционного процесса и предшествующих этапов лечения, что обусловлено ретроспективным дизайном и ограничениями доступной информации.

Длительность операции определяли от момента выполнения разреза кожи до завершения наложения асептической повязки в минутах. Объем интраоперационной кровопотери устанавливали волюметрическим и гравиметрическим методами: объем аспирированной жидкости оценивали по градуированной емкости аспиратора с вычитанием объема промывных растворов [11], а также по разнице массы сухого и пропитанного кровью операционного материала (марлевые салфетки и тампоны) с пересчетом в миллилитры [12]. Дренажную кровопотерю определяли по объему отделяемого по дренажам из полостей после ревизии за первые 24 часа после операции. Суммарную кровопотерю рассчитывали как сумму интраоперационной и дренажной потери крови. Решение о проведении гемотрансфузии принимали на основании клинико-лабораторных показателей (гемоглобин, эритроциты, гематокрит), гемодинамического статуса пациента и клинических проявлений синдрома анемии, в соответствии с действующими клиническими рекомендациями и локальными протоколами учреждения. Применение антифибринолитической терапии было

стандартизировано для пациентов обеих групп. Всем пациентам однократно внутривенно вводили 1000 мг транексамовой кислоты во время оперативного вмешательства.

Дополнительно проведен анализ исследуемых показателей в зависимости от структуры костных дефектов по классификации AORI (англ.: Anderson Orthopaedic Research Institute) [13] с распределением пациентов на подгруппы: с дефектами III и I-II типов.

Исследование выполнено с использованием обезличенных данных медицинской документации. Протокол исследования одобрен локальным этическим комитетом ГАУЗ СО «Свердловский областной клинический госпиталь для ветеранов войн имени С.И. Спектора» (г. Екатеринбург, протокол № 9/2025 от 02.10.2025).

Статистическую обработку данных выполняли с применением пакета программного обеспечения Microsoft Excel (версия 16.75.2, США) и Jamovi (версия 2.6.17, Австралия). Количественные показатели представляли в виде среднего значения и стандартного отклонения ($M \pm SD$), либо медианы и межквартильного интервала ($Me [Q1; Q3]$) в зависимости от характера распределения. Межгрупповые различия количественных переменных оценивали с применением критерия U Манна – Уитни, категориальных – с использованием точного критерия Фишера. На основе анализа таблиц сопряженности оценивали ассоциацию метода фиксации с потребностью проведения заместительной терапии компонентами крови с расчетом относительного риска (RR) и 95 % доверительного интервала (ДИ). Дополнительно выполнено сравнение указанных параметров между под-

группами (AORI III и I-II тип). Уровень статистической значимости принимали как $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ объема кровопотери и длительности оперативного вмешательства

Показатели интраоперационной, дренажной и суммарной кровопотери продемонстрировали статистически значимые межгрупповые различия (табл. 1). В группе 1 (ИС) медианные значения всех указанных параметров были существенно выше, чем в группе 2 (АИ; $p < 0,05$).

Продолжительность оперативного вмешательства в группе 1 составила $100 \pm 31,5$ минуты, в группе 2 – $176 \pm 27,8$ минуты (рис. 1), что подтверждает высокую статистическую значимость различий ($p < 0,001$).

Анализ относительных различий показал, что в группе 1 средняя длительность операции была ниже на 41,2%, однако медиана суммарной кровопотери превышала аналогичный показатель группы 2 на 80,0 % ($p < 0,001$).

Анализ частоты гемотрансфузии

Заместительная терапия компонентами крови потребовалась 18 пациентам (39,1 %) от общей выборки. Частота проведения гемотрансфузии достоверно различалась в зависимости от используемого метода фиксации (рис. 2): в группе ИС трансфузия эритроцитсодержащих компонентов крови потребовалась 15 (60 %) пациентам, в группе АИ – 3 (14,3 %) ($\chi^2 = 10,0$; $p = 0,002$). RR проведения гемотрансфузии при использовании интрамедуллярного стержня составил 2,33 (95% ДИ: 1,36–4,00).

Анализ исследуемых показателей в зависимости от структуры костных дефектов

Значительные по величине костные дефекты III типа (F3/T3) выявлены у 13 (28,3 %) пациентов. Дефекты I и II типов верифицировали у 33 (71,7 %) больных (табл. 2).

Медиана суммарной кровопотери у пациентов с дефектами III типа была значимо выше, чем при патологии I и II типов, и составила 800 [650; 1000] против 600 [450; 900] мл соответственно ($p = 0,0488$). Статистически значимых межгрупповых различий по таким показателям, как длительность оперативного вмешательства и частота проведения гемотрансфузии, обнаружено не было ($p > 0,05$).

ОБСУЖДЕНИЕ

В имеющихся публикациях основная цель авторов сводится к освещению вопросов эрадикации инфекции и синостозирования коленного сустава в контексте сравнения эффективности различных методик фиксации. При этом аспекты, характеризующие интраоперационное течение вмешательства – включая длительность операции, объем кровопотери и потребность в гемотрансфузионной поддержке – освещены фрагментарно.

Результаты настоящего исследования продемонстрировали, что выбор метода фиксации напрямую влияет на указанные операционные параметры. Так, применение ИС позволяет сократить продолжительность оперативного вмешательства, однако ассоциировано с большим объемом кровопотери и более высокой частотой проведения гемотрансфузий по сравнению с АИ [14, 15]. Следует учитывать, что на данные показатели могут влиять

Таблица 1
Сравнительная характеристика показателей кровопотери между группами, Me [Q1; Q3]
Table 1
Comparison of blood loss parameters between groups, Me [Q1; Q3]

Категория Category	Группа 1 / Group 1 (n = 25)	Группа 2 / Group 2 (n = 25)	p-value
Интраоперационная, мл / Intraoperative, ml	600 [400; 900]	300 [200; 400]	< 0.001
Дренажная, мл / Drainage, ml	300 [200; 400]	200 [150; 250]	0.011
Суммарная, мл / Total, ml	900 [700; 1150]	500 [450; 600]	< 0.001

Примечание: Me — медиана; Q1 и Q3 — первый и третий квартили распределения данных. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$ (тест Манна – Уитни).

Note: Me — the median; Q1 and Q3 — the first and third quartiles of the data distribution. Differences were considered statistically significant at $p < 0.05$ (Mann Whitney test).

исходный соматический статус пациента, выраженность инфекционного процесса и характер предшествующих этапов лечения. В рамках настоящей работы изолированный анализ этих факторов не проводился. Кроме того, в доступной литературе отсутствуют исследования, оценивающие влияние интраоперационных параметров на отдаленные функциональные результаты и качество жизни пациентов после коленного артродеза (ББС), что определяет перспективность дальнейших научных изысканий.

Для описания «хирургической травматичности» в профильной литературе традиционно используются термины «операционная нагрузка», «surgical invasiveness» и «surgical trauma». В ряде работ длительность операции и объем кровопотери рассматриваются как количественные маркеры, позволяющие косвенно оценить масштаб вмешательства, и применяются при расчете индексов хирургической инвазивности. Стоит отметить, что разработка подобных инструментов носит единичный характер и ориентирована на конкретные типы операций. Например, адаптация интраоперационной прогностической шкалы Surgical Apgar Score (SAS) [16], применяемой в эндопротезировании коленного и тазобедренного суставов, к нашей когорте пациентов методологически неверна из-за выраженной неоднородности исходной тяжести клинических случаев. Специализированные подходы к оценке травматичности ББС в литературных источниках за последние 10 лет представлены лишь единичными публикациями.

В ходе анализа профильной литературы нами было найдено три оригинальных сравнительных исследования ББС с использованием ИС и АИ [17–19], а также 12 серий клинических наблюдений [20–31], в которых методики фиксации оценивались изолированно. Совокупный объем проанализированного материала составил 557 случаев ББС: в 357 наблюдениях вмешательство выполняли с применением ИС, в 200 — с использованием внешней фиксации.

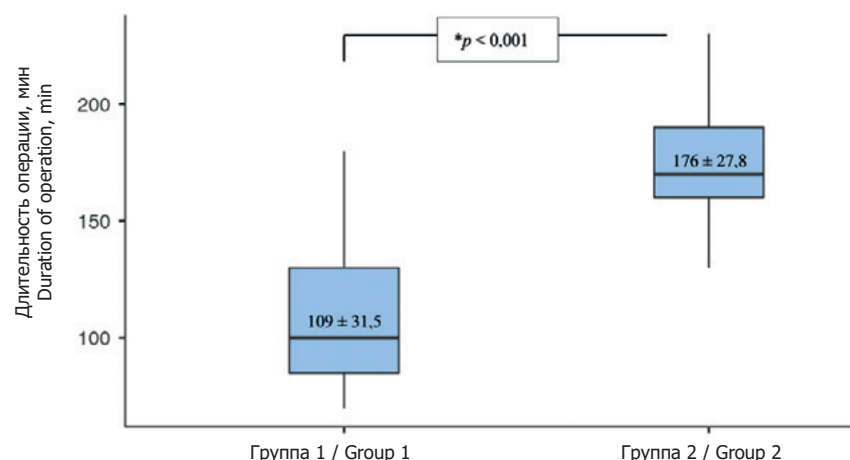
Следует отметить неоднородность применявшихся интрамедуллярных конструкций. Так, в 141 случае использовались модульные системы [20–22, 25, 30], а в 216 клинических наблюдениях — длинные (моноконтинентные) стержни

Рисунок 1

Продолжительность оперативного вмешательства в группах исследования

Figure 1

Distribution of operative time in study groups



Примечание. Здесь и на рисунке 2: АИ — аппарат Илизарова; ИС — интрамедуллярный стержень.

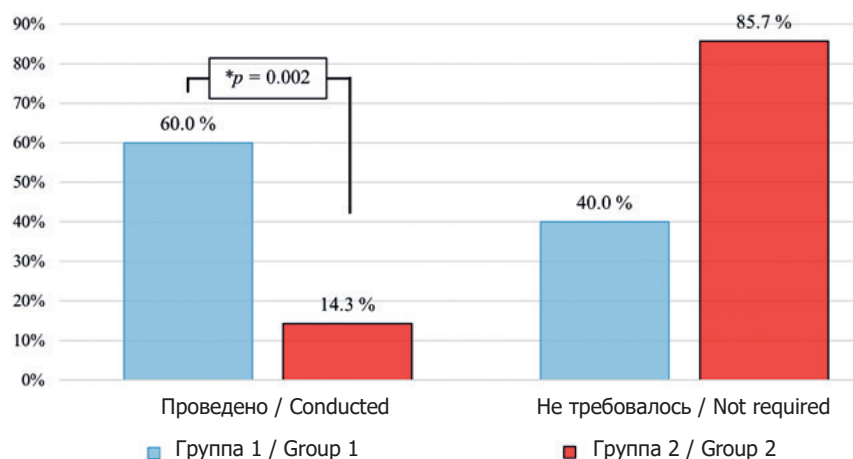
Note. Here and in Figure 2: IA — Ilizarov apparatus; IN — intramedullary nail.

Рисунок 2

Частота проведения гемотрансфузии в группах исследования

Figure 2

Transfusion rate in study groups



ни [17–19, 23, 24, 27–29]. Сводные данные показателей интраоперационной травматичности ББС при различных методиках фиксации систематизированы и представлены в таблице 3.

При анализе сводных данных во всех сравнительных исследованиях прослеживается единая тенденция: средние показатели кровопотери при ББС с использованием ИС превышают аналогичные значения, зарегистрированные при внешней фиксации. Так, в работе А.А. Суда и соавт. объем кровопотери в среднем составлял 883 мл при интрамедуллярном остеосинтезе

и 724 мл — в случаях применения аппаратов внешней фиксации, при этом продолжительность оперативного вмешательства в обеих группах была одинаковой и составила 142 мин [17].

Российские исследователи под руководством Л.Н. Соломина также отмечают статистически значимые различия в показателях травматичности между методиками ($p < 0,05$). По их данным, медианные значения интраоперационной кровопотери в группах ИС и АИ составили 700 мл и 500 мл соответственно. Различия зафиксированы и в продолжительности хирургиче-

Таблица 2
Операционные показатели в зависимости от типа дефектов (AORI)
Table 2
Operative parameters by bone defect types (AORI)

Переменная Variable	III тип AORI, Type III AORI (n=13)	I и II тип AORI, Type I and II AORI (n=33)	p-value
Суммарная кровопотеря, мл, Me [Q1; Q3] Total blood loss, ml, Me [Q1; Q3]	800 [650; 1000]	600 [450; 900]	0.0488*
Длительность операции, мин, M ± SD Duration of surgery, min, M ± SD	160 ± 47.3	132 ± 41.8	0.0918*
Гемотрансфузия, абс. (%) Blood transfusion, abs. (%)	8 (61.5)	10 (30.3)	0.0916**

Примечание: M — среднее значение; Me — Медиана; SD — стандартное отклонение; Q1 и Q3 — первый и третий квартили распределения данных; AORI — классификация дефектов костей, образующих коленный сустав (англ. Anderson Orthopaedic Research Institute, США); * — тест Манна-Уитни; ** — точный тест Фишера.

Note: M — the mean; Me — the median; SD — the standard deviation; Q1 and Q3 — the first and third quartiles of the data distribution; AORI classification of defects of the bones that form the knee joint (Anderson Orthopaedic Research Institute, USA); * — the Mann-Whitney test; ** — Fisher's exact test.

ского вмешательства, которая составила 100 ± 10 мин для группы ИС и 150 ± 15 мин для группы АИ ($p < 0,05$) [19].

В нашей работе получены сопоставимые результаты в отношении объема кровопотери и длительности операции в исследуемых группах, где также выявлена статистически значимая межгрупповая разница ($p < 0,05$). Мы разделяем мнение Л.Н. Соломина и соавт. [19] относительно причин большей потери крови в группе ИС: рассверливание костномозгового канала бедренной и большеберцовой костей при интрамедуллярном остеосинтезе неизбежно приводит к интенсивному кровотечению из поврежденных внутрикостных сосудов.

Противоположные данные о продолжительности операции приводят Т.М. Mabry и соавт. [18]. Среднее время выполнения ББС с использованием интрамедуллярного стержня составило в их исследовании 361 мин, тогда как в группе АИ длительность вмешательства равнялась 249 мин. Необходимо отметить и объем кровопотери при интрамедуллярной фиксации, который превышал результаты нашей работы в аналогичной группе практически в 2,2 раза, составив 1970 мл.

Эти данные согласуются с результатами более ранних публикаций, где приводятся средние значения кровопотери в пределах 1574–2975 мл и длительности операции 210–360 мин [24, 27]. В работах, опубликованных после 2000 года, регистрируется отчетливое

снижение этих параметров. Так, в них сообщается о кровопотере преимущественно в пределах 748–1143 мл и времени выполнения операции длинным ИС около 90–210 мин, что сопоставимо с нашими результатами [23, 29]. Полученные сведения позволяют предположить, что накопление хирургического опыта и стандартизация оперативной техники оказали положительное влияние на показатели интраоперационной травматичности ББС.

Отдельного рассмотрения требуют результаты ББС с применением модульных интрамедуллярных конструкций. По данным опубликованных серий наблюдений, медиана кровопотери при использовании модульных систем варьирует в широких пределах: от 468–753 мл в более ранних публикациях [21, 25, 30] до 921–1548 мл в современных работах [20, 22]. В нашем исследовании объем кровопотери и продолжительность операции при интрамедуллярной фиксации соответствуют нижнему диапазону указанных значений.

Сопоставление этих данных требует осторожности, поскольку модульные интрамедуллярные системы конструктивно и биомеханически отличаются от длинных (моноконтурных) стержней. В ряде клинических ситуаций их применение не предполагает непосредственного контакта костных фрагментов в зоне возможного синостоза. Подобные конструкции направлены прежде всего на достижение стабильной фиксации сегмента и могут рас-

цениваться как «внутреннее шинирующее устройство». На этом основании в современной зарубежной литературе наблюдается трансформация термина «modular knee arthrodesis» в «floating knee arthrodesis», отражающий вариант фиксации без обязательной костной консолидации [32].

Данные о трансфузионной нагрузке при ББС в литературе представлены фрагментарно. В работе А.Д. Суда и соавт. трансфузия эритроцитарной массы (ЭМ) потребовалась 58,5 % пациентов ($n = 89/152$), а свежезамороженной плазмы — 14,5 % больных ($n = 22/152$) [17]. В нашем исследовании суммарная частота переливания ЭМ по всей выборке оказалась значительно ниже и составила 39,1 % ($n = 18/46$). В других публикациях частота гемотрансфузий либо не приводится вовсе, либо упоминается без количественной детализации [27]. Наш сравнительный анализ методик фиксации при ББС показал, что РР проведения заместительной терапии компонентами крови в группе ИС составляет 2,33 (95% ДИ 1,36–4,00).

При подгрупповом анализе структуры дефектов костей, образующих коленный сустав, установлено значимое увеличение объема суммарной кровопотери при патологии III типа ($p < 0,05$). Стоит подчеркнуть, что публикации, содержащие сопоставимый анализ показателей интраоперационной травматичности ББС в зависимости от тяжести костных дефектов, в доступной литературе отсутствуют.

Таблица 3

**Сравнительные данные литературы по операционным показателям бедренно-большеберцового
синостозирования**

Table 3

Comparative literature data on operative parameters of femorotibial synostosis

Авторы, год Authors, year	Дизайн исследования Study design	Всего пациентов Total patients	Методика Technique	Объем кровопотери, мл Blood loss, ml	Длительность операции, мин Duration of operation, min
A.J. Suda et al., 2021 [17]	Сравнительное Comparative	152	ИС (длинный) / IN (long), n = 69	883	142
			АИ / IA, n = 83	724	
T.M. Mabry et al., 2007 [18]	Сравнительное Comparative	85	ИС (длинный) / IN (long), n = 24	1970	361
			АИ / IA, n = 61	935	249
Л.Н. Соломин и соавт., 2020 [19] L.N. Solomin et al., 2020 [19]	Сравнительное Comparative	60	ИС (длинный) / IN (long), n = 30	700 [300; 1100]	100 ± 10
			АИ / IA / n = 30	500 [200; 800]	150 ± 15
A. Luyet et al., 2023 [20]	Серия наблюдений Case series	48	ИС (модульный) IN (modular)	921 [50; 2500]	113,9 ± 22,4
K.A. Lai et al, 1998 [21]	Серия наблюдений Case series	33	ИС (модульный) IN (modular)	468	104 (65–155)
P. Hetto et al., 2025 [22]	Серия наблюдений Case series	31	ИС (модульный) IN (modular)	1548 [200; 4600]	160 (90–230)
S.J. Incavo et al., 2000 [23]	Серия наблюдений Case series	22	ИС (длинный) IN (long)	748 [200; 1600]	90
B.G. Donley et al., 1991 [24]	Серия наблюдений Case series	20	ИС (длинный) IN (long)	1574 [520; 3200]	250 (170–550)
R. Letartre et al., 2009 [25]	Серия наблюдений Case series	19	ИС (модульный) IN (modular)	710 [350; 1550]	143 (95–250)
A.A. Bruno et al., 2017 [26]	Серия наблюдений Case series	19	АИ IA	N/A	205
D.E. Ellingsen et al., 1994 [27]	Серия наблюдений Case series	18	ИС (длинный) / IN (long)	2975	360
D. Zajonz et al., 2021 [28]	Серия наблюдений Case series	18	ИС (длинный) IN (long)	N/A	167 (91–417)
J.R. Crockarell et al., 2005 [29]	Серия наблюдений Case series	15	ИС (длинный) IN (long)	1143	210
W. Barlett et al., 2011[30]	Серия наблюдений Case series	10	ИС (модульный) IN (modular)	753 [100; 2500]	141 (92–223)
D. Raskolnikov et al., 2013 [31]	Серия наблюдений Case series	7	АИ / IA	N/A	222 (91–450)
Настоящее исследование This study	Сравнительное Comparative	46	ИС (длинный) / IN (long), n = 25	900 [700; 1150]	100 ± 31.5
			АИ / IA, n = 21	500 [450; 600]	176 ± 27.8

Примечание: показатели объема кровопотери и длительности операции представлены в формате, указанном в оригинальных публикациях. АИ — аппарат Илизарова; ИС (длинный) — длинный интрамедуллярный стержень; ИС (модульный) — модульный интрамедуллярный стержень; N/A — данные не представлены авторами исследования.

Note: blood loss and operative time data are presented in the format described in the original publications. IA — Ilizarov apparatus; IN (long) — long intramedullary nail; IN (modular) — modular intramedullary nail; N/A — data not provided by the study authors.

Ограничения исследования

Настоящее исследование выполнено в ретроспективном дизайне и основано на анализе относительно небольшой выборки пациентов, что снижает статистическую мощность полученных результатов. Рандомизация при выборе метода фиксации не осуществля-

лась, поскольку хирургическую тактику определяли строго по клиническим показаниям. В рамках данной работы не оценивалось влияние коморбидного статуса, тяжести инфекционного процесса и количества ранее выполненных оперативных вмешательств на изучаемые параметры.

Оценку интраоперационной кровопотери проводили прямыми методами — волюметрическим и гравиметрическим. Данные подходы широко распространены в клинической практике, однако характеризуются известной измерительной вариабельностью. Несмотря на то, что все оперативные

вмешательства выполнялись одним коллективом авторов с использованием единых технических стандартов, смена роли ведущего хирурга в ходе работы могла внести определенный вклад в разброс интраоперационных показателей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ББС, выполняемое в условиях ППИ, характеризуется значительной вариабельностью интраоперационных показателей, обусловленной выбором технологии остеосинтеза, дизайном фиксирующей конструкции и тяжестью костных дефектов. Результаты

исследования свидетельствуют о том, что применение интрамедуллярного стержня позволяет сократить продолжительность вмешательства, однако ассоциировано с большим объемом кровопотери и более высокой потребностью в гемотрансфузионной поддержке по сравнению с использованием аппаратов внешней фиксации.

Учет анатомо-функциональных особенностей сформированных костных дефектов имеет ключевое значение для прецизионной оценки периоперационных рисков и оптимизации хирургической тактики. Дальнейшие проспективные исследования, включа-

ющие детальный анализ соматических и инфекционных факторов, позволят объективизировать интерпретацию полученных данных и разработать дифференцированные показания к выбору метода стабилизации сегмента.

Информация о финансировании и конфликте интересов

Исследование не имело спонсорской поддержки.

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

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Andres AH, Chaold-Lösing JA, Bulok H, Willburger RE. Difficulty of diagnostic accuracy of periprosthetic joint infection: a retrospective analysis of revision surgery of total hip arthroplasty and total knee arthroplasty in a tertiary hospital. *BMC Musculoskelet Disord*. 2024;25(1):1008. DOI: 10.1186/s12891-024-08071-z.
- Anneberg M, Troelsen A, Gundtoft P, Sørensen HT, Pedersen AB. Temporal trends in revision rate due to knee periprosthetic joint infection: a study of 115,120 cases from the Danish Knee Arthroplasty Register. *Acta Orthop*. 2023;94:616-624. DOI: 10.2340/17453674.2023.33294.
- Hays MR, Kildow BJ, Hartman CW, Lyden ER, Springer BD, Fehring TK, et al. Increased incidence of methicillin-resistant staphylococcus aureus in knee and hip prosthetic joint infection. *J Arthroplasty*. 2023;38(6S):S326-S330. DOI: 10.1016/j.arth.2023.02.025.
- Kasimova AR, Tufanova OS, Gordina EM, Gvozdetzky AN, Radaeva KS, Rukina AN, et al. Twelve-year dynamics of leading pathogens spectrum causing orthopedic infection: a retrospective study. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2024;30(1):66-75. DOI: 10.17816/2311-2905-16720. Russian (Касимова А. Р., Туфанова О. С., Гордина Е. М., Гвоздецкий А. Н., Радаева К. С., Рукина А. Н. и др. Двенадцатилетняя динамика спектра ведущих возбудителей ортопедической инфекции: ретроспективное исследование // Травматология и ортопедия России. 2024. № 30(1):66-75. DOI: 10.17816/2311-2905-16720.)
- Sahoo K, Meshram S. Biofilm formation in chronic infections: a comprehensive review of pathogenesis, clinical implications, and novel therapeutic approaches. *Cureus*. 2024;16(10):e70629. DOI: 10.7759/cureus.70629.
- Gottfriedsen TB, Schröder HM, Odgaard A. Knee arthrodesis after failure of knee arthroplasty: a nationwide register-based study. *J Bone Joint Surg Am*. 2016;98(16):1370-1377. DOI: 10.2106/JBJS.15.01363.
- Son MS, Lau E, Parvizi J, Mont MA, Bozic KJ, Kurtz S. 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.
- Mercurio M, Gasparini G, Cofano E, Zappia A, Familiari F, Galasso O. 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.
- Conway JD, Annasamudram A, Abalkhail T, Tom JH, Farley RP, Gesheff M, et al. Functional outcomes of knee arthrodesis for infected total knee arthroplasty. *Cureus*. 2023;15(10):e46397. DOI: 10.7759/cureus.46397.
- Bugaev GA, Vinogradsky AE, Prokopyev DS, Borzunov DYU. Comparative analysis of femoro-tibial synostosis results in periprosthetic infection. *Genius of Orthopedics*. 2025;31(5):574-586. DOI:10.18019/1028-4427-2025-31-5-574-586. Russian (Быраев 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.)
- Ishimaru D, Terabayashi N, Sohmiya K, Matsumoto K. Perioperative blood loss in cementless versus cemented total knee arthroplasty with local tranexamic acid administration. *Cureus*. 2025; 17(10):e93791. DOI: 10.7759/cureus.93791.
- Stoker AD, Binder WJ, Frasco PE, Morozowich ST, Bettini LM, Murray AW, et al. Estimating surgical blood loss: a review of current strategies in various clinical settings. *SAGE Open Med*. 2024; 12: 20503121241308302. DOI: 10.1177/20503121241308302.
- Khan Y, Arora S, Kashyap A, Patralekh MK, Maini L. 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.
- Holzer EM, Aghayev E, O'Riordan D, Fekete TF, Jeszenszky DJ, Haschtmann D, et al. Validation of a surgical invasiveness index in patients with lumbar spinal disorders registered in the Spine Tango registry. *Eur Spine J*. 2021;30(1):1-12. DOI: 10.1007/s00586-020-06651-w.
- Pulik Ł, Barszczak BM, Kowalski M, Łęgosz P. Enhancing bleeding control in total knee arthroplasty for osteoarthritis and rheumatic diseases: strategies and insights. *Rheumatology*. 2025;63(6):426-434. DOI:10.5114/reum/208945.
- Pittman E, Dixon E, Duttchen K. The Surgical Apgar Score: a systematic review of its discriminatory performance. *Ann Surg Open*. 2022;3(4):e227. DOI: 10.1097/AS9.0000000000000227.
- Suda AJ, Brachtendorf X, Tinelli M, Wagokh R, Abou-Nouar G, Bischel OE. 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.
- 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.
- Solomin LN, Shchepkina EA, Korchagin KL, Sabirov FK. Comparative analysis of knee joint fusion with long locking nail and Ilizarov apparatus in patients with feep infection after arthroplasty.

Traumatology and Orthopedics of Russia. 2020;26(3):109-118. DOI: 10.21823/2311-2905-2020-26-3-109-118. Russian (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.)

20. Luyet A, Steinmetz S, Gallusser N, Roche D, Fischbacher A, Tissot C, et al. Fusion rate of 89% after knee arthrodesis using an intramedullary nail: a mono-centric retrospective review of 48 cases. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2023;31(4):1299-1306. DOI: 10.1007/s00167-021-06693-7.
21. Lai KA, Shen WJ, Yang CY. Arthrodesis with a short Huckstep nail as a salvage procedure for failed total knee arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am*. 1998;80(3):380-8. DOI: 10.2106/00004623-199803000-00011.
22. Hetto P, Geisbüsch A, Lehner B. Results of knee arthrodesis using an intramedullary modular arthrodesis system after failed total knee arthroplasty after up to 17 years. *J Arthroplasty*. 2025; Aug 26:S0883-5403(25)01093-9. DOI: 10.1016/j.arth.2025.08.052.
23. Incavo SJ, Lilly JW, Bartlett CS, Churchill DL. Arthrodesis of the knee: experience with intramedullary nailing. *J Arthroplasty*. 2000;15(7):871-6. DOI: 10.1054/arth.2000.9060.
24. Donley BG, Matthews LS, Kaufer H. Arthrodesis of the knee with an intramedullary nail. *J Bone Joint Surg Am*. 1991;73(6):907-13.
25. Letartre R, Combes A, Autissier G, Bonneville N, Gougeon F. Knee arthrodesis using a modular customized intramedullary nail.

Orthop Traumatol Surg Res. 2009;95(7):520-528. DOI: 10.1016/j.otsr.2009.07.006.

26. Bruno AA, Kirienko A, Peccati A, Dupplicato P, De Donato M, Arnaldi E, et al. Knee arthrodesis by the Ilizarov method in the treatment of total knee arthroplasty failure. *Knee*. 2017;24(1):91-99. DOI: 10.1016/j.knee.2016.11.002.
27. Ellingsen DE, Rand JA. Intramedullary arthrodesis of the knee after failed total knee arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am*. 1994; 76(6):870-877. DOI: 10.2106/00004623-199406000-00011.
28. Zajonz D, Zimmerlich B, Möbius R, Edel M, Przybyl J, Höch A, et al. Knee arthrodesis as last resort for persistent knee joint infections: comparison of extramedullary and intramedullary treatment. *Orthopade*. 2021;50(3):207-213. DOI: 10.1007/s00132-020-03939-z.
29. Crockarell JR Jr, Mihalko MJ. Knee arthrodesis using an intramedullary nail. *J Arthroplasty*. 2005;20(6):703-708. DOI: 10.1016/j.arth.2004.10.015.
30. Bartlett W, Vijayan S, Pollock R, Skinner J, Blunn G, Cannon S, et al. The Stanmore knee arthrodesis prosthesis. *J Arthroplasty*. 2011;26(6):903-908. DOI: 10.1016/j.arth.2010.07.029.
31. Raskolnikov D, Slover JD, Egol KA. The use of a multiplanar, multi-axis external fixator to achieve knee arthrodesis in a worst case scenario: a case series. *Iowa Orthop J*. 2013;33:19-24.
32. Ortega-Yago A, Pedraza-Corbi A, Boadas-Gironès L, Lakhani K, Sabater-Martos M, Corona PS, et al. Floating knee arthrodesis after periprosthetic knee infection: a multi-center study. *J Arthroplasty*. 2025;40(7):1845-1851. DOI: 10.1016/j.arth.2024.12.009.

Сведения об авторах:

Бугаев Глеб Александрович (автор для переписки) — врач — травматолог-ортопед ГАУЗ СО «СОК Госпиталь для ветеранов войн им. С. И. Спектора»; ул. Соболева, д. 25, г. Екатеринбург, Россия, 620036. <https://orcid.org/0000-0002-0176-0090>. E-mail: glebbugaev97@gmail.com

Виноградский Александр Евгеньевич — к.м.н., ассистент кафедры травматологии и ортопедии ФГБОУ ВО УГМУ Минздрава России; ул. Репина, д. 3., г. Екатеринбург, Россия, 620028. <https://orcid.org/0000-0003-2912-6291>. E-mail: vinalexc@mail.ru

Борзунов Дмитрий Юрьевич — д.м.н., профессор, профессор кафедры травматологии и ортопедии ФГБОУ ВО УГМУ Минздрава России; ул. Репина, д. 3., г. Екатеринбург, Россия, 620028. <https://orcid.org/0000-0003-3720-5467>. E-mail: borzunov@bk.ru

Статья поступила в редакцию 05.05.2026

Рецензирование пройдено 02.07.2026

Подписано в печать 31.08.2026

Information about authors:

Bugaev Gleb Alexandrovich (author for correspondence) — orthopedic surgeon, Sverdlovsk Regional Clinical Hospital for War Veterans; Soboleva St., 25, Yekaterinburg, Russia, 620036. <https://orcid.org/0000-0002-0176-0090>. E-mail: glebbugaev97@gmail.com

Vinogradsky Alexander Evgenievich — candidate of medical sciences, assistant of department of traumatology and orthopedics, Ural State Medical University; Repina St., 3, Yekaterinburg, Russia, 620028. <https://orcid.org/0000-0003-2912-6291>. E-mail: vinalexc@mail.ru

Borzunov Dmitry Yurievich — MD, PhD, professor, professor of department of traumatology and orthopedics, Ural State Medical University; Repina St., 3, Yekaterinburg, Russia, 620028. <https://orcid.org/0000-0003-3720-5467>. E-mail: borzunov@bk.ru

Received 05.05.2026

Review completed 02.07.2026

Passed for printing 31.08.2026