

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ



УДК 671.3

© Суфиянова А.Ф., Билялов А.Р., Акбашев В.Н., Галаутдинов М.Ф., 2026

Обзор литературы / Literature review

СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ ЛЕЧЕНИЯ ПЕРИПРОТЕЗНОЙ ИНФЕКЦИИ: ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

А.Ф. СУФИЯНОВА, А.Р. БИЛЯЛОВ, В.Н. АКБАШЕВ, М.Ф. ГАЛАУТДИНОВФГБОУ ВО БГМУ МИНЗДРАВА РОССИИ (Башкирский государственный медицинский университет),
450008, Уфа, Республика Башкортостан, Россия**Аннотация**

Введение: Перипротезная инфекция – это одно из наиболее тяжёлых осложнений после эндопротезирования суставов. По различным данным, частота ППИ составляет до 2 % после первичного эндопротезирования и до 4–6% после ревизионных вмешательств. Возрастающее число операций по замене суставов, а также рост устойчивости микроорганизмов к антибиотикам требуют постоянного совершенствования подходов к диагностике и лечению ППИ. Настоящий обзор посвящён современным стратегиям борьбы с данным осложнением, включая как традиционные, так и инновационные подходы.

Цель работы – на основании анализа современной научно-медицинской литературы обобщить современные подходы к диагностике и лечению перипротезной инфекции, рассмотреть эпидемиологию, методы лечения и алгоритмы ее диагностики.

Материалы и методы. Для проведения обзора литературы по перипротезной инфекции, методам ее диагностики и лечения был осуществлен систематический поиск научных публикаций в базах данных eLIBRARY, PubMed, Google Scholar. Были отобраны исследования, обзоры и метаанализы, опубликованные за последние 10 лет. В общей сложности было проанализировано 47 научных исследований.

Результаты и обсуждение. Проведённый анализ показал, что частота перипротезной инфекции составляет 1–2 % после первичного эндопротезирования и около 4 % после ревизионной артропластики. Основными возбудителями ППИ являются коагулазонегативные стафилококки (до 43 % случаев) и золотистый стафилококк (до 23 %). До 30 % инфекций остаются не идентифицированными вследствие образования биоплёнок и предшествующей антибиотикотерапии. Лидирующим методом лечения хронической перипротезной инфекции является двухэтапная ревизионная артропластика с применением антибактериальных цементных спейсеров, включая их современные модификации. Однако они также имеют ограничения использования. Комплексное применение современных стратегий лечения, включая хирургические вмешательства, антибактериальную терапию и использование спейсеров из различных материалов представляет собой перспективное направление в терапии хронической перипротезной инфекции. Особого внимания требует разработка методов комплексной диагностики и лечения перипротезной инфекции.

Заключение. На основании данных 47 научных статей получены сведения об эпидемиологии перипротезной инфекции, классификации основных видов возбудителей, методах ее диагностики и алгоритмах лечения. Обзор консолидирует современные знания и последние инновации в диагностике и лечении ППИ, заполняя пробел в русскоязычной литературе.

Ключевые слова: перипротезная инфекция; осложнения эндопротезирования; биопленки; коагулазонегативные стафилококки; спейсеры; ревизионное эндопротезирование.

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

Источник финансирования. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Суфиянова А.Ф., Билялов А.Р., Акбашев В.Н., Галаутдинов М.Ф. Современные аспекты лечения перипротезной инфекции: обзор литературы. *Кафедра травматологии и ортопедии*. 2026; 1:59–70.

CURRENT ASPECTS OF PERIPROSTHETIC JOINT INFECTION TREATMENT: A LITERATURE REVIEW

ALIYA F. SUFIYANOVA, AZAT R. BILYALOV, VLAD N. AKBASHEV, MARS F. GALAUTDINOVFederal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Bashkir State Medical University" of the Ministry
of Health of the Russian Federation, 450008, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia

Abstract

Introduction: Periprosthetic joint infection (PJI) remains one of the most serious complications following total joint arthroplasty, with an incidence of up to 2 % after primary and 4–6 % after revision procedures. Increasing antimicrobial resistance and the complexity of treatment necessitate continuous refinement of diagnostic and therapeutic strategies.

Aim. To provide a comprehensive review of current diagnostic methods and treatment approaches for PJI, with a particular focus on recent spacer innovations. This article is the first Russian-language review to systematize up-to-date global data and technological advances in the field.

Materials and Methods. A systematic search was conducted in PubMed, eLIBRARY, and Google Scholar databases, focusing on publications from the past 10 years. Inclusion criteria followed the PRISMA protocol. Forty-seven articles, including clinical studies, meta-analyses, and reviews, were analyzed.

Results and discussion. Coagulase-negative staphylococci and *Staphylococcus aureus* remain the most frequent pathogens, often protected by biofilms. Diagnostic criteria from MSIS and ICM include biomarkers (e.g., alpha-defensin), leukocyte esterase, and synovial fluid analysis. Two-stage revision arthroplasty with antibiotic-loaded cement spacers remains the standard of care. The review highlights novel spacer modifications, including personalized 3D-printed designs, embedded drug reservoirs, and magnetically controlled delivery systems. The potential role of bacteriophage therapy in multidrug-resistant infections is also discussed.

Conclusion. This review consolidates current knowledge and recent innovations in PJI diagnosis and treatment, addressing a gap in Russian-language literature. The integration of advanced materials, technologies, and diagnostic tools represents a promising direction for improving patient outcomes.

Key words: osteoarthritis; diagnostic biomarkers of osteoarthritis; inflamaging; chondrocytes; synovial cells; hyaluronic acid; sirtuins.

Conflict of interests: The authors declare that there are no apparent or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Funding: the study had no sponsorship

For citation: Sufiyanova A. F., Bilyalov A. R., Akbashev V. N., Galautdinov M. F. Current aspects of periprosthetic joint infection treatment: a literature review. *Department of Traumatology and Orthopedics*. 2026; 1: 59–70.

DOI: 10/17238/issn2226-2016.2026.1.59-70

Введение

Перипротезная инфекция – это одно из наиболее тяжёлых осложнений после эндопротезирования суставов. По различным данным, частота ППИ составляет до 2 % после первичного эндопротезирования и до 4–6 % после ревизионных вмешательств. Возрастающее число операций по замене суставов, а также рост устойчивости микроорганизмов к антибиотикам требуют постоянного совершенствования подходов к диагностике и лечению ППИ. Настоящий обзор посвящён современным стратегиям борьбы с данным осложнением, включая как традиционные, так и инновационные методы.

Цель работы – на основании анализа современной научно-медицинской литературы рассмотреть эпидемиологию, методы лечения и алгоритмы диагностики перипротезной инфекции.

Материалы и методы

Для проведения обзора литературы по перипротезной инфекции, методам ее диагностики и лечения был осуществлен систематический поиск научных публикаций в базах данных eLIBRARY, PubMed, Google Scholar. Согласно протоколу сбора данных PRISMA были определены критерии включения и исключения из обзора. Основными критериями включения были:

– Оригинальные исследования, обзоры и метаанализы, опубликованные за последние 10 лет.

– Статьи, описывающие основные алгоритмы лечения ППИ, методы диагностики и лечения, а также результаты хирургических вмешательств и статистические данные об осложнениях после них.

Критерии исключения:

– Работы, не имеющие клинической значимости.

– Экспериментальные исследования без подтвержденной клинической эффективности.

– Статьи на не рецензируемых ресурсах.

Литература была отобрана путем систематического поиска с использованием ключевых слов: «periprosthetic joint infection», «biofilm», «spacer», «hip spacer», «knee spacer», «перипротезная инфекция», «осложнения эндопротезирования», «био пленки», «коагулазонегативные стафилококки», «спейсеры тазобедренного сустава», «спейсеры коленного сустава», «спейсеры», «инфекционные осложнения в травматологии». Полученные данные были упорядочены по следующим направлениям:

– Эпидемиология.

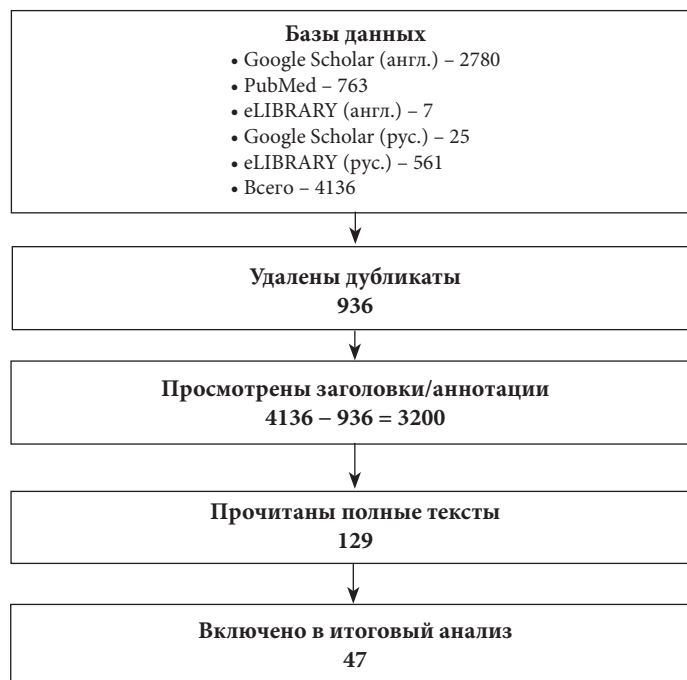
– Возбудители инфекции и частота их встречаемости.

– Классификация и критерии для постановки диагноза, с указаниями диагностических алгоритмов.

– Определение роли био пленки и основные этапы ее формирования.

– Методы лечения, включая консервативные и хирургические стратегии, а также их современные модификации и ограничения в использовании.

Результаты поиска:



Результаты и обсуждение

Эпидемиология

Перипротезная инфекция (ППИ) характеризуется инфицированием компонентов эндопротеза и прилежащих тканей с развитием локального и периартикулярного воспаления.

ППИ встречается в 1–2 % случаев первичной и в 4 % случаев ревизионной артропластики [1]. Согласно данным, в 2019 году в Российской Федерации было выполнено 147 061 операция первичного эндопротезирования коленного и тазобедренного суставов. В этом же году зарегистрировано 6 606 случаев ортопедической имплантат-ассоциированной инфекции тяжёлого течения, из которых 4 282 случая связаны с эндопротезированием крупных суставов, что составляет 2,91 % от общего числа операций первичного эндопротезирования [2]. По прогнозам А. М. Schwartz и соавторов, число первичных ревизионных операций скоро будет составлять 10% от числа всех первичных операций или около 400 000 случаев в год, а ППИ будет ведущей причиной ревизий к 2030 году [3].

Проблемы эпидемиологического мониторинга ППИ в Российской Федерации связаны с недостаточной регистрацией осложнений. Доступные данные часто основаны на локальной статистике отдельных лечебных учреждений, что не позволяет сформировать целостное представление об эпидемиологии данной патологии [4, 5]. Кроме того, организационные сложности маршрутизации пациентов значительно влияют на своевременность диагностики

и лечения: путь от первичного медицинского звена до специализированного центра может занимать год и более, что способствует хронизации инфекционного процесса [2].

Согласно мировым исследованиям, число ревизий эндопротезов тазобедренного сустава превышает аналогичные показатели для коленного сустава. Тем не менее, ежегодный прирост операций наблюдается в обеих категориях. Перипротезная инфекция является причиной 25% ревизий коленного сустава и 15% ревизий тазобедренного сустава, что подчёркивает её значимость как ведущего осложнения ревизионной артропластики [6]. Прогнозируется, что к 2030 г. количество ревизионных артропластик тазобедренного сустава увеличится в среднем на 43–70 %, а коленного сустава — на 78–182 % [3].

Возбудители

Микроорганизмы, вызывающие (ППИ), чаще всего относятся к грамположительным бактериям. Наиболее распространёнными возбудителями являются коагулазонегативные стафилококки (*Staphylococcus epidermidis*, *S. hominis*, *S. haemolyticus* и др.), на долю которых приходится 30–43 % случаев. *Staphylococcus aureus* (метициллин-чувствительные и метициллин-резистентные штаммы) встречается в 12–23 % случаев. Реже ППИ вызываются стрептококками (9–10 %), энтерококками (3–7%), анаэробными бактериями (2–4 %) и грибами рода *Candida* (1–3%) [7].

В 10–30 % случаев возбудителя выявить не удаётся. Это обусловлено, в первую очередь, назначением антибиотиков до взятия проб, а также наличием биоплёнок, затрудняющих культивирование. Грамотрицательные микроорганизмы, включая *Pseudomonas aeruginosa*, *Acinetobacter baumannii*, *Escherichia coli* и другие, занимают 5–23% случаев. Эти патогены характеризуются более высокой вирулентностью и устойчивостью к антибиотикам, что утяжеляет клиническое течение инфекции [8]. В таблице 1 представлена частота встречаемости возбудителей в микробных сообществах от общего числа идентифицированных организмов [9].

Таблица 1

**Частота встречаемости возбудителей
в микробных сообществах
от общего числа идентифицированных организмов**

Идентифицированные возбудители		Литературные источники
Грам (+) возбудители ППИ	Грам (-) возбудители ППИ	
MRSA (34 %)	<i>P. aeruginosa</i> (60 %)	Tsiskarashvili al (2022) [9]
MSSA (21 %)	<i>A. baumannii</i> (61 %)	
MRSE (54 %)	<i>E. coli</i> (58 %)	
<i>S. haemolyticus</i> (22 %)	<i>K. pneumoniae</i> (60 %)	

Окончание Таблицы 1

Идентифицированные возбудители		Литературные источники
Грам (+) возбудители ППИ	Грам (-) возбудители ППИ	
<i>S. hominis</i> (25 %)	<i>E. cloacae</i> (75 %)	Tsiskarashvili al (2022) [9]
<i>Streptococcus</i> sp. (50 %)	<i>M. morganii</i> (100 %)	
<i>Staphylococcus</i> sp. (60 %)	<i>S. marcescens</i> (33 %)	

Классификация и диагностика

Клиническое проявление перипротезных инфекций (ППИ) определяется вирулентностью возбудителя и временем их возникновения после операции. Согласно временной классификации Douglas R. Osmon и соавт. (2013), выделяют три группы ППИ:

Ранние инфекции (до <3 месяцев после операции), вызванные высоковирулентными микроорганизмами (*S. aureus*, стрептококки, энтерококки).

Отсроченные инфекции (от 3 до 24 месяцев после операции), чаще обусловленные низковирулентными патогенами, такими как коагулазонегативные стафилококки (*S. epidermidis*) и *Propionibacterium acnes*.

Поздние инфекции (после >24 месяцев после операции), возникающие в результате гематогенного распространения патогенов из удалённых инфекционных очагов [10]

Диагностика ППИ основывается на совокупности клинических, лабораторных и микробиологических данных [11]. Важную роль играют методы микробиологической верификации, включающие посевы тканей [12] и методы соникации для разрушения биоплёнок. Дополнительно используются современные методы, такие как определение биомаркеров (α -дефензин) и молекулярные подходы (ПЦР), которые значительно повышают точность диагностики [13]. В таблице 2 представлены критерии для постановки диагноза ППИ согласно данным американского сообщества MSIS и ICM.

Таблица 2

Критерии для постановки диагноза ППИ, согласно данным американского сообщества MSIS (Musculoskeletal Infection Society) [14] и ICM (International Consensus Meeting) 2018 г. [15]

Большие критерии:	Имеется свищевой тракт, сообщающийся с компонентами эндопротеза
	Два положительных результата микробиологического исследования с фенотипически идентичными микроорганизмами перипротезных тканей или синовиальной жидкости

Окончание Таблицы 2

Малые критерии:	Повышение скорости оседания эритроцитов (более 30 мм/ч для хронической инфекции)
	Концентрация С-реактивного белка в сыворотке крови (более 100 мг/л для острой инфекции и более 10 мг/л для хронической инфекции)
	Повышенное количество лейкоцитов в синовиальной жидкости (более 10000 кл/мл для острой инфекции и 3000 клеток для хронической инфекции)
	Увеличение процентного соотношения нейтрофилов (PMN%) в синовиальной жидкости (более 90% для острой инфекции и более 70% для хронической)
	Наличие гноя в пораженном суставе
	Выделение микроорганизмов в одной культуре перипротезной ткани или жидкости, или более пяти нейтрофилов в поле высокой мощности в пяти полях наблюдаемых при гистологическом анализе перипротезной ткани при увеличении 400

Основываясь на данных американского сообщества MSIS (Musculoskeletal Infection Society), для постановки диагноза ППИ необходимо наличие свищевых трактов, связанного с компонентами эндопротеза, или два положительных результата микробиологического исследования с фенотипически идентичными микроорганизмами перипротезных тканей или синовиальной жидкости. Кроме этого, наличие четырёх малых критериев (или более) из шести подтверждает диагноз ППИ [14].

Существуют еще несколько диагностических алгоритмов, среди которых ICM (International Consensus Meeting 2018), WAIOT (The World Association against Infection in Orthopedics and Trauma) [16], EBJIS (The European Bone and Joint Infection Society 2018) [17]. Согласно исследованиям, проведенным для оценки диагностических алгоритмов, наибольшее количество ложноотрицательных результатов наблюдается при использовании алгоритма WAIOT. Это связано с субклиническим течением ППИ, обусловленной слабовирулентным возбудителем. В то же время наибольшее количество ложноположительных результатов было получено согласно алгоритму EBJIS 2018. Такой результат был обусловлен критериями, согласно которым цитоз аспирата более 2000 кл/мкл и/или доля нейтрофилов более 70 %

является подтверждением диагноза ППИ [18]. В таблице 3 представлены пороговые значения, указывающие на наличие ППИ, согласно критериям ICM.

Таблица 3

Пороговые значения, указывающие на наличие ППИ, согласно критериям ICM (International Consensus Meeting) 2018 г. [15]

Критерий	Хроническая ППИ	Острая ППИ
Общее количество лейкоцитов	3000 клеток/мкл	10 000 клеток/мкл
Количество нейтрофилов	70 %	90 %
Тест на лейкоцитарную эстеразу	++	++

При анализе синовиальной жидкости наиболее информативным и высокочувствительным тестом является определение α -дефенсина [19, 20].

Микробиологическое исследование перипротезных тканей с разных участков является золотым стандартом в диагностике ППИ. Согласно исследованиям одних авторов во время хирургической обработки или удалении протеза следует сдать не менее 3, а в оптимальном случае 5 или 6 образцов перипротезной ткани, выделенной во время операции, на аэробный и анаэробный посев, чтобы максимально увеличить вероятность постановки микробиологического диагноза [21]. Эти значения были включены в критерии диагностики ICM [14].

Так как вокруг эндопротеза часто образуется биопленка, бактерии под которой трудно высеять в питательных средах для ее удаления используется метод соникации, заключающийся в использовании вибрации и ультразвука. Исследования показывают, что данный метод демонстрирует более высокую чувствительность по сравнению с микробиологией тканевых биоптатов [22].

Роль образования биопленки

Коагулазонегативные стафилококки (Coagulase-Negative Staphylococci, CoNS) являются одними из основных внутрибольничных патогенов, связанных с имплантассоциированной инфекцией [23]. Наиболее распространённым видом среди CoNS является *Staphylococcus epidermidis*, который часто вызывает инфекции, ассоциированные с биоплёнками [24]. Эти инфекции (FBRI — Foreign Body-Related Infections) связаны с высокой устойчивостью бактерий к антибактериальной терапии и значительными трудностями в лечении [25].

Образование биоплёнки является ключевым этапом патогенеза инфекций, вызванных CoNS. После установления медицинского имплантата его поверхность покрывается внеклеточным матриксом и белками плазмы, такими как фибриноген, фибронектин, тромбоспондин, коллаген, фактор фон Виллебранда и витронектин. Эти белки выполняют роль рецепторов для бактериальных адгезинов, что способствует их прикреплению к поверхности имплантата. Прикрепление микроорганизмов приводит к формированию многослойной биоплёнки, которая созревает и обеспечивает защиту бактерий от действия антибиотиков и иммунной системы [26,27].

Созревшая биоплёнка может стать источником вторичных инфекций. Отдельные бактерии или их скопления отделяются от поверхности имплантата и распространяются по кровотоку, что приводит к метастатическим инфекциям [23]. Дополнительно, *S. epidermidis* способен проникать в костные клетки, избегая иммунного ответа организма и снижая эффективность антибактериальной терапии [27]. В таблице 4 представлены основные этапы формирования биопленки.

Таблица 4

Этапы формирования биопленки

Этап патогенеза образования биопленки	Процессы, происходящие на этом этапе	Литературные источники
Установка медицинского имплантата	Поверхность имплантата покрывается внеклеточным матриксом и белками плазмы (фибриноген, фибронектин, тромбоспондин, коллаген, фактор фон Виллебранда, витронектин).	Gries et al. (2017) [27] Arciola et al. (2018) [26] França et al. (2021) [23]
Формирование многослойной биопленки, обеспечивающей защиту от антибиотиков и иммунной системы.	Прикрепление бактерий к этим молекулам с помощью специфических адгезинов.	
Образование очагов вторичной инфекции	Отдельные бактерии или их скопления отделяются от поверхности имплантата и распространяются по кровотоку.	

Лечение инфекций, вызванных CoNS, осложняется их устойчивостью к метициллину и ограниченным числом эффективных протоколов. Это подчёркивает необходимость разработки новых терапевтических подходов, направленных на разрушение биоплёнок и повышение чувствительности бактерий к антибиотикам [23].

Лечение

Общие принципы лечения

Терапия ППИ требует мультидисциплинарного подхода, включающего комбинацию антимикробной терапии и хирургических вмешательств [7, 28]. Консенсус по лечению инфекций костно-мышечной системы (International Consensus Meeting on Musculoskeletal Infection, 2018) не предлагает универсального алгоритма, однако выделяет ключевые стратегии, зависящие от стадии инфекции и состояния пациента [29].

Целью комбинированного подхода к лечению является снижение частоты рецидивов, восстановление функции конечности и купирование воспалительного процесса. При хирургическом лечении она достигается при удалении всех инфицированных тканей, санации перипротезной зоны и установке антибактериального спейсера.

Эффективность лечения варьируется в зависимости от стадии заболевания: на ранних этапах успешность достигает 74 %, при поздних острых инфекциях – 49 %, при хронических – 44 % [30].

"Хирургическое лечение"

- DAIR (дебридмент, антибиотики и удержание имплантата). При острых инфекциях со стабильным эндопротезом и достаточным объёмом мягких тканей рекомендуется стратегия DAIR. Она предполагает тщательную хирургическую обработку очага инфекции с сохранением имплантата, системное и локальное применение антибиотиков [21]. Эффективность данного метода варьируется от 26 до 95 %, в зависимости от времени обращения и антибиотикочувствительности [13, 31].

- Ревизионная хирургия с удалением импланта. Если пациент не подходит для DAIR (нестабильность имплантата, массивные дефекты тканей), применяется ревизионное лечение, которое может быть выполнено в один этап (при хорошем качестве тканей и известной чувствительности патогена) или в два этапа. При двухэтапной хирургии временно устанавливается спейсер с последующей реимплантацией эндопротеза [21]. Общая успешность метода достигает 83,3 %. Однако рецидивы после первого этапа отмечаются в 28,3 % случаев; после второго этапа частота снижается до 3,3 % [5].

- Альтернативные методы. У пациентов, которым хирургическое лечение противопоказано, используются паллиативные методы: резекционная артропластика, артродез

или ампутация. Эти подходы применяются редко и преимущественно при хронических ППИ [32].

"Роль спейсеров"

Одним из перспективных методов является применение полиметилметакрилатных (ПММА) спейсеров, пропитанных антибиотиками.

Спейсеры классифицируются на:

- Артикуляционные (динамические) – сохраняют функцию сустава, способствуя улучшению качества жизни пациента и эмоционального состояния [33].

- Неарткуляционные (статические) – обеспечивают более высокую концентрацию высвобождаемых антибиотиков, но ограничивают подвижность сустава [34].

На рисунке 1 представлена схема изготовления протеза при помощи методов компьютерного моделирования и низкотемпературной 3Д-печати. Использование спейсеров позволяет создать локально высокие концентрации антибиотиков в очаге инфекции. Однако этот метод имеет ограничения: пик высвобождения антибиотика приходится на первые 1–3 дня после установки, а затем уровень концентрации снижается. Показатели выше минимальной подавляющей концентрации (МПК) варьируются между исследованиями, что затрудняет стандартизацию подхода [35].

В таблице 5 представлены некоторые виды оптимизации спейсеров. Так, например, методика добавления керамики в состав ПММА способствует улучшению его механических свойств, обеспечивающих стабильность спейсера, а также помогает уменьшить износ поверхности при движении. Такой состав создает депо для антибиотиков, поддерживающих терапевтические концентрации препарата на местном уровне, что позволяет снизить системные побочные эффекты применения антибактериальных препаратов.

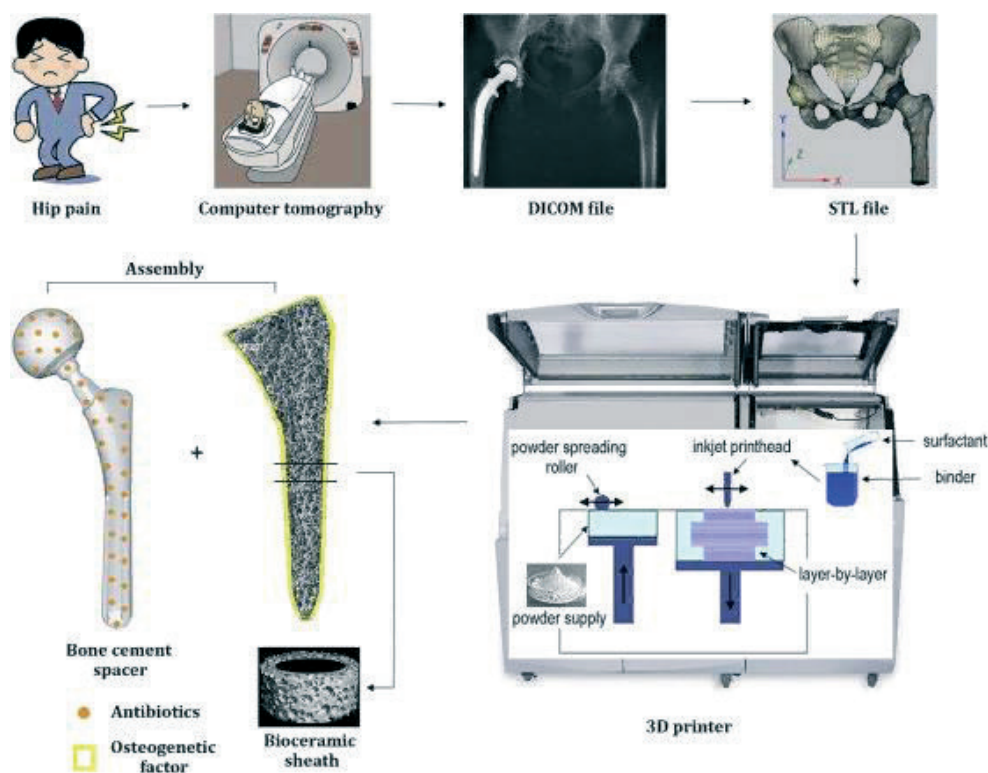


Рисунок 1. Схема изготовления протеза при помощи методов компьютерного проектирования и низкотемпературной 3Д-печати, и сборки с использованием костно-цементного стержня (ПММА) с биокерамической оболочкой [36]

Таблица 5

Варианты оптимизации различных видов спейсера]

Вариант модификации	Количество пациентов / протезов	Сроки наблюдения	Результаты	Литературные источники
Добавление в состав смеси с ПММА керамики	1) 667 пациентов 2) 56 тазобедренных суставов	1) 5 лет 2) 15–20 лет	1) У пациентов с тотальным эндопротезированием тазобедренного сустава четвертого поколения выживаемость по Каплану-Мейеру без необходимости повторной операции по любой причине составила 98,6% 2) В ретроспективном исследовании керамической головки третьего поколения показатель выживаемости по Каплану-Мейеру составил 93,7% через 15 лет и 73,6 % через 20 лет. Данные исследования позволяют сделать вывод о том, что цемент с таким составом имеет высокую прочность на износ и достаточную биосовместимость.	1) Lim, S. J. et al. (2018) [37] 2) Shim, B. J. et al. (2022) [38]
Использование ферромагнита и помпового насоса для неинвазивной регуляции доставки препаратов	10 кроликов	Эксперимент проводили через 2 недели после заживления раны	Экспериментальные исследования были проведены для оценки функциональных возможностей макета и подтвердили возможность выделения лекарственного препарата под воздействием магнитного поля.	Varfolomeev, D. I. et al. (2020) [39]

Окончание Таблицы 2

Вариант модификации	Количество пациентов / протезов	Сроки наблюдения	Результаты	Литературные источники
Использование микродвигателя, управляемого радиопередатчиком через сигнал приемника	2 группы кроликов по 10 в каждой (основная и контрольная)		Нагноение в основной группе у 2 кроликов, в контрольной у 7. Заживление ран в основной группе было лучше, чем в контрольной.	Варфоломеев Д.И. (2023) [40]
Добавление в состав смеси с ПММА измельченной кофейной шелухи	На композитах ПММА коровьих костей с различной весовой долей кофейной шелухи (0, 2, 4, 6 и 8 масс. %).		Исследование прочности и износа имеет перспективу дальнейших исследований в клинике.	Fouly, A. et al. (2023) [41]
Полимерный композит полиметилметакрилата (ПММА) с нанокерамикой Zr и материалом HAp	3 вида смесей различной концентрации		Механические свойства трех видов смесей с различной концентрацией улучшались с увеличением концентрации нанокерамики в композитном материале по сравнению с чистым ПММА. Однако увеличение концентрации Zr привело к значительному снижению твердости и однородности с ПММА.	Rasheed, D. M. et al. (2020) [42]

Исследования показывают, что были предприняты многие попытки найти наиболее приемлемую комбинацию смеси для устранения дефекта костной ткани с помощью техники Маскле (Masquelet technique). Были использованы такие материалы, как: ПММА, силикон, полипропилен, титан, сульфат кальция, губки из ПВА (PVA, Polyvinyl alcohol sponge) [43].

В качестве еще одной модификации смеси ПММА было предложено добавление измельченной кофейной шелухи. Данный инновационный метод интересен тем, что смесь также как и в предыдущих методах имеет более высокую прочность и жесткость, но является более экологичной и биосовместимой [44]. Схема подготовки подобных образцов представлена на рисунке 2.



Рисунок 2. Схема подготовки образцов композита из ПММА и кофейной шелухи [42]

Модификации подвергаются не только материалы, из которых изготавливается спейсер, но и способы доставки антибактериальных веществ на его поверхность. Разработаны спейсеры тазобедренного сустава, внутри которых располагаются резервуары с антибиотиками. Выделение лекарственных средств в перипротезное пространство из спейсеров осуществляется хирургом неинвазивно посредством радиосвязи [41]. Устройство такого спейсера представлено на рисунке 3.

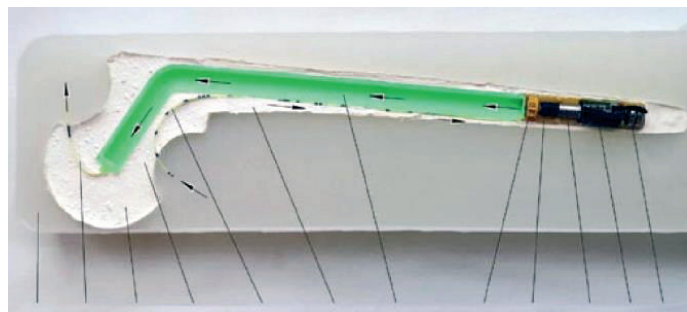


Рисунок 3. Модель спейсера в разрезе [41]

Также запатентован спейсер внутри ножки которого имеются четыре помповых насоса, расположенные в двух перпендикулярных плоскостях и выходящие на поверхность спейсера на нижнем конце ножки. Поперечный срез бедренной кости с установленным спейсером подобного вида представлен на рисунке 4. Поршни насосов изготавливаются из ферромагнита для возможности взаимодействия с магнитом, подносимым к поверхности тела. Такая модификация позволяет увеличить количество вещества, попадающего в парапротезную область при этом создавая возможность для неинвазивного контроля введения фиксированной концентрации препаратов в послеоперационном периоде [40]. В таблице 5 кратко представлены варианты оптимизации различных видов спейсера.

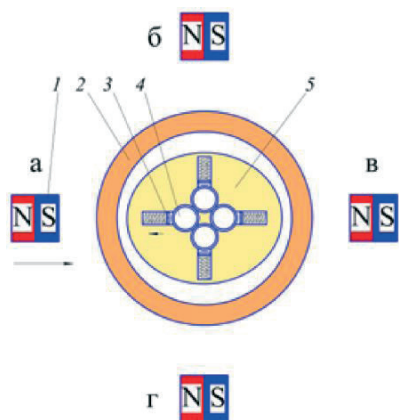


Рисунок 4. Поперечный срез бедренной кости с установленным спейсером. 1 - магнит, 2 - бедренная кость, 3 - поршень помпового насоса, 4 - помповый насос, 5 - костный цемент, а, б, в, г - варианты расположения магнита [40]

"Ограничения современных подходов".

Тем не менее, использование спейсеров связано с высоким риском механических осложнений, поэтому важно проводить тщательный отбор пациентов и проводить мониторинг послеоперационного состояния для минимизации рисков [43]. Также ограничением в использовании персонализированных и радиоуправляемых спейсеров является сложность их производства, основанная на требовании использования сложных технологий и оборудования, а также на необходимости проведения клинических испытаний для оценки долгосрочной эффективности и безопасности.

В борьбе с бактериальными инфекциями, приобретшими антибиотикорезистентность в настоящее время применяют естественные вирусы бактерий – бактериофаги. Данный метод представляет большой интерес, так как фаги также способны лизировать бактерии, находящиеся в биопленке. В клиническом исследовании, проведенном в течении 12 месяцев эффективность сочетания этиотропной антибиотикотерапии и локальной бактериофаготерапии, составила 95,5 %, а эффективность лечения без применения бактериофагов – 69 % [44].

Еще одним перспективным направлением в настоящий момент является применение изготовленных индивидуальных спейсеров, которые могут быть адаптированы под особенности пациента. Но на данном этапе развития технологии изготовления таких спейсеров все еще требуют доработки [46].

Ограничением настоящего обзора является отсутствие метаанализа и возможный языковой сдвиг, поскольку в статье преимущественно рассмотрены англоязычные и русскоязычные источники. Тем не менее статья охватывает широкий спектр актуальных подходов к лечению ППИ.

Заключение

Перипротезная инфекция представляет собой серьезное осложнение после эндопротезирования, требующее комплексного подхода к диагностике и лечению. В статье проанализированы современные методы диагностики ППИ и сравнительная оценка применяемых диагностических алгоритмов и критериев. Их использование позволяет вовремя определить наличие инфекции, что значительно влияет на выбор стратегии лечения и его результаты. Современные стратегии лечения перипротезной инфекции включают как хирургические методы, так и медикаментозную терапию. Наиболее эффективным методом при хронических инфекциях остаётся двухэтапное ревизионное эндопротезирование, тогда как при раннем выявлении инфекции возможны одноэтапные операции. Важно учитывать индивидуальные особенности каждого пациента и тип инфекции для достижения наилучших результатов. Также было отмечено, что растущая антибиотикорезистентность микроорганизмов требует пересмотра существующих схем антибактериальной терапии и внедрения новых методов, таких как использование бактериофагов. Это подчеркивает необходимость дальнейших

исследований в области диагностики и лечения перипротезной инфекции для улучшения клинических исходов и снижения частоты рецидивов. Таким образом, индивидуализированный подход, основанный на этиологии, сроках возникновения инфекции и состоянии пациента, остаётся ключевым фактором успешного лечения ППИ.

Список литературы / References:

- Izakovicova P, Borens O, Trampuz A. Periprosthetic joint infection: current concepts and outlook. *EFORT Open Rev.* 2019; 4(7): 482–494. <https://doi.org/10.1302/2058-5241.4.180092>
- Середа А.П., Кочиш А.А., Черный А.А., Антипов А.П., Алиев А.Г., Вебер Е.В., Воронцова Т.Н., Божкова С.А., Шубняков И.И., Тихилов Р.М. Эпидемиология эндопротезирования тазобедренного и коленного суставов и перипротезной инфекции в Российской Федерации. *Травматология и ортопедия России.* 2021; 27(3): 84–93. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2021-27-3-84-93> [Sereda A.P., Kochish A.A., Chernyy A.A., Antipov A.P., Aliyev A.G., Weber E.V., Vorontsova T.N., Bozhkova S.A., Shubnyakov I.I., Tikhilov R.M. Epidemiology of hip and knee arthroplasty and periprosthetic joint infection in the Russian Federation. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2021; 27(3): 84–93. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2021-27-3-84-93>]
- Schwartz A.M., Farley K.X., Guild G.N., Bradbury T.L. Projections and Epidemiology of Revision Hip and Knee Arthroplasty in the United States to 2030. *J Arthroplasty.* 2020; 35(6 Suppl): S79–S85. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2020.02.030>
- Шубняков И.И., Тихилов Р.М., Денисов А.О., Ахмедиллов М.А., Черный А.Ж., Тотоев З.А., Джавадов А.А., Карпукхин А.С., Муравьева Ю.В. Что изменилось в структуре ревизионного эндопротезирования тазобедренного сустава в последние годы? *Травматология и ортопедия России.* 2019; 25(4): 9–27. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2019-25-4-9-27> [Shubnyakov I.I., Tikhilov R.M., Denisov A.O., Akhmedilov M.A., Chernyy A.Zh., Totoev Z.A., Javadov A.A., Karpukhin A.S., Muravyeva Yu.V. What has changed in the structure of revision hip arthroplasty in recent years? *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2019; 25(4): 9–27. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2019-25-4-9-27>]
- A.M. Ermakov, N.M. Kliushin, Iu.V. Ababkov, A.S. Triapichnikov, A.N. Koiushkov. Efficiency of two-stage revision arthroplasty in management of periprosthetic knee and hip joint infection. *Genij Ortop.* 2018; 24(3): 321–326. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2018-24-3-321-326>
- Bozic KJ, Kamath AF, Ong K, Lau E, Kurtz S, Chan V, Vail TP, Rubash H, Berry DJ. Comparative Epidemiology of Revision Arthroplasty: Failed THA Poses Greater Clinical and Economic Burdens Than Failed TKA. *Clin Orthop Relat Res.* 2015; 473(6): 2131–2138. <https://doi.org/10.1007/s11999-014-4078-8>
- Винклер Т., Трампуз А., Ренц Н., Перка К., Божкова С.А. Классификация и алгоритм диагностики и лечения перипротезной инфекции тазобедренного сустава. *Травматология и ортопедия России.* 2016; 22 (1): 33–45. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2016-0-1-33-45> [Winkler T., Trampuz A., Renz N., Perka C., Bozhkova S.A. Classification and algorithm for diagnosis and treatment of periprosthetic hip infection. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2016; 22 (1): 33–45. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2016-0-1-33-45>]
- Божкова С.А., Касимова А.Р., Тихилов Р.М., Полякова Е.М., Рукина А.Н., Шабанова В.В., Ливенцов В.Н. Неблагоприятные тенденции в этиологии ортопедической инфекции: результаты 6-летнего мониторинга структуры и резистентности ведущих возбудителей. *Травматология и ортопедия России.* 2018; 24(4): 20–31. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2018-24-4-20-31> [Bozhkova S.A., Kasimova A.R., Tikhilov R.M., Polyakova E.M., Rukina A.N., Shabanova V.V., Liventsov V.N. Adverse trends in the etiology of orthopedic infection: results of a 6-year monitoring of the structure and resistance of major pathogens. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2018; 24(4): 20–31. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2018-24-4-20-31>]
- Цискарашвили А.В., Меликова Р.Э., Новожилова Е.А. Анализ шестилетнего мониторинга основных возбудителей перипротезной инфекции крупных суставов и их тенденция к резистентности. *Гений ортопедии.* 2022; 28(2): 179–188. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2022-28-2-179-188> [Tskharashvili A.V., Melikova R.E., Novozhilova E.A. Six-year monitoring of major pathogens of periprosthetic joint infection of large joints and their resistance trends. *Geniy Ortopedii.* 2022; 28(2): 179–188. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2022-28-2-179-188>]
- Pellegrini A., Suardi V, Legnani C. Classification and management options for prosthetic joint infection. *Annals of Joint.* 2022;7:3. <https://doi.org/10.21037/aoj-20-86>
- Павлов В.В., Садовой М.А., Прохоренко В.М. Современные аспекты диагностики и хирургического лечения пациентов с перипротезной инфекцией тазобедренного сустава (обзор литературы). *Травматология и ортопедия России.* 2015; 21(1): 116–128. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2015-0-1-116-128> [Pavlov V.V., Sadovoy M.A., Prokhorenko V.M. Modern aspects of diagnosis and surgical treatment of patients with periprosthetic hip infection (review). *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2015; 21(1): 116–128. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2015-0-1-116-128>]
- Bemelman M., van Baal M., Yuan J.Z., Leenen L. The Role of Minimally Invasive Plate Osteosynthesis in Rib Fixation: A Review. *Korean J Thorac Cardiovasc Surg.* 2016; 49(1): 1–8. <https://doi.org/10.5090/kjtc.2016.49.1.1>
- Дмитров И.А., Загородний Н.В., Оболенский В.Н., Леваль П.Ш., Захарян Н.Г., Апресян В.С., Панин М.А., Самкович Д.А., Алиев Р.Н., Григорян А.А. Диагностика и лечение перипротезной инфекции после эндопротезирования тазобедренного сустава (обзор литературы). *Вестник медицинского института «Реавиз»: реабилитация, врач и здоровье.* 2022;12(6):86–102. <https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2022.6.clin.7> [Dmitrov I.A., Zagorodniy N.V., Obolenskiy V.N., et al. Diagnosis and treatment of periprosthetic infection after hip arthroplasty (review). *Bulletin of the Medical Institute «Reaviz»: Rehabilitation, Doctor and Health.* 2022;12(6):86–102. <https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2022.6.clin.7>]
- Goswami K., Parvizi J., Courtney P.M. Current Recommendations for the Diagnosis of Acute and Chronic PJI for Hip and Knee — Cell Counts, Alpha-Defensin, Leukocyte Esterase, Next-generation Sequencing. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 2018; 11(3): 428–438. <https://doi.org/10.1007/s12178-018-9513-0>
- Sigmund I.K., Luger M., Windhager R., McNally M.A. Diagnosing periprosthetic joint infections: a comparison of infection definitions: EBJIS 2021, ICM 2018, and IDSA 2013. *Bone Joint Res.* 2022; 11(9): 608–618. <https://doi.org/10.1302/2046-3758.119.BJR-2022-0078.R1>
- Carlo Luca Romanò, Hazem Al Khawashki, Thami Benzakour, Svetlana Bozhkova, Hernán del Sel, Mahmoud Hafez, Ashok Johari, Guenter Lob, Hemant K Sharma, Hirouchi Tsuchiya and Lorenzo Drago. The W.A.I.O.T. definition of high-grade and low-grade peri-prosthetic joint infection. *J Clin Med.* 2019; 8(5): 650. <https://doi.org/10.3390/jcm8050650>
- Renz N., Yermak K., Perka C., Trampuz A. Alpha Defensin Lateral Flow Test for Diagnosis of Periprosthetic Joint Infection: Not a

Screening but a Confirmatory Test. *J Bone Joint Surg Am.* 2018; 100(9): 742–750. <https://doi.org/10.2106/JBJS.17.01005>

18. Казанцев Д.И., Божкова С.А., Золовкина А.Г., Пелеганчук В.А., Батрак Ю.М. Диагностика поздней перипротезной инфекции крупных суставов. Какой диагностический алгоритм выбрать? *Травматология и ортопедия России.* 2020; 26(4): 9–20. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2020-26-4-9-20> [Kazantsev D.I., Bozhkova S.A., Zolovkina A.G., Peleganchuk V.A., Batrak Yu.M. Diagnosis of late periprosthetic infection of large joints: which diagnostic algorithm to choose? *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2020; 26(4): 9–20. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2020-26-4-9-20>]

19. Yong Seuk Lee, Kyung-Hoi Koo, Hyun Jung Kim, Shaoqi Tian, Tae-Young Kim, Mitchell G. Maltenfort, Antonia F. Chen. Synovial fluid biomarkers for the diagnosis of periprosthetic joint infection: A systematic review and meta-analysis. *J Bone Joint Surg Am.* 2017; 99(24): 2077–2084. <https://doi.org/10.2106/JBJS.17.00123>

20. Balato G, Franceschini V, Ascione T, Lamberti A, D'Amato M, Ensini A, Baldini A. High performance of α -defensin lateral flow assay (Synovasure) in the diagnosis of chronic knee prosthetic infections. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2018; 26(6): 1717–1722. <https://doi.org/10.1007/s00167-017-4745-x>

21. Parvizi, J.; Tan, T. L.; Goswami, K.; Higuera, C.; Della Valle, C.; Chen, A. F.; Shohat, N. The 2018 Definition of Periprosthetic Hip and Knee Infection: An Evidence-Based and Validated Criteria. *J Arthroplasty.* 2018; 33(5): 1309–1314.e2. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2018.02.078>

22. Mavrommati A. Application of the orthopedic implant sonication method to diagnosis of periprosthetic joint infections. *J Res Pract Musculoskelet Syst.* 2020; 4(3): 68–75. <https://doi.org/10.22540/JRPM-04-068>

23. França A., Gaio V., Lopes N., Melo L.D.R. Virulence factors in coagulase-negative staphylococci. *Pathogens.* 2021; 10(2): 170. <https://doi.org/10.3390/pathogens10020170>

24. Oliveira F., Rohde H., Vilanova M., Cerca N. Fighting *Staphylococcus epidermidis* Biofilm-Associated Infections: Can Iron Be the Key to Success? *Front Cell Infect Microbiol.* 2021; 11: 798563. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2021.798563>

25. Heilmann C., Ziebuhr W., Becker K. Are coagulase-negative staphylococci virulent? *Clin Microbiol Infect.* 2019; 25(9): 1071–1080. <https://doi.org/10.1016/j.cmi.2018.11.012>

26. Arciola C.R., Campoccia D., Montanaro L. Implant infections: Adhesion, biofilm formation and immune evasion. *Nat Rev Microbiol.* 2018; 16(7): 397–409. <https://doi.org/10.1038/s41579-018-0019-y>

27. Gries C.M., Kielian T. Staphylococcal biofilms and immune polarization during prosthetic joint infection. *J Am Acad Orthop Surg.* 2017; 25(Suppl 1): S20–S24. <https://doi.org/10.5435/JAAOS-D-16-00636>

28. Mian H.M., Lyons J.G., Perrin J., Froehle A.W., Krishnamurthy A.B. A review of current practices in periprosthetic joint infection debridement and revision arthroplasty. *Arthroplasty.* 2022; 4(1): 31. <https://doi.org/10.1186/s42836-022-00136-5>

29. Schwarz EM, Parvizi J, Gehrke T, Aiyer A, Battenberg A, Brown SA, Callaghan JJ, Citak M, Egol K, Garrigues GE, Ghert M, Goswami K, Green A, Hammound S, Kates SL, McLaren AC, Mont MA, Namdari S, Obrebsky WT, O'Toole R, Raikin S, Restrepo C, Ricciardi B, Saeed K, Sanchez-Sotelo J, Shohat N, Tan T, Thirukumaran CP, Winters B. 2018 International Consensus Meeting on Musculoskeletal Infection: Research Priorities from the General Assembly Questions. *J Orthop Res.* 2019; 37(5): 997–1006. <https://doi.org/10.1002/jor.24293>

30. Davis J.S., Metcalf S., Clark B., et al. Predictors of Treatment Success after Periprosthetic Joint Infection: 24-Month Follow up from a Multicenter Prospective Observational Cohort Study of 653 Patients. *Open Forum Infect Dis.* 2022; 9(3): ofac048. <https://doi.org/10.1093/ofid/ofac048>

31. Рожков Никита Игоревич, Ермаков Артем Михайлович, Бурцев Александр Владимирович, Тряпичников Александр Сергеевич, Сазонова Наталья Владимировна, Малюченко Леонид Игоревич. Анализ экономической и клинической эффективности одно- и двухэтапных ревизий при лечении перипротезной инфекции тазобедренного сустава (обзор литературы). *Гений ортопедии.* 2022; 28(6): 842–851. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2022-28-6-842-851> [N.I. Rozhkov, A.M. Ermakov, A.V. Burtsev, A.S. Triapichnikov, N.V. Sazonova, L.I. Malyuchenko. Analysis of economic and clinical effectiveness of one- and two-stage revisions in the treatment of periprosthetic hip infection (review). *Geniy Ortopedii.* 2022; 28(6): 842–851. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2022-28-6-842-851>]

32. John Strony, Scot Brown, Peter Choong, Michelle Ghert, Lee Jeys, Richard J. O'Donnell. Musculoskeletal Infection in Orthopaedic Oncology: Assessment of the 2018 International Consensus Meeting on Musculoskeletal Infection. *J Bone Joint Surg Am.* 2019; 101(20): e107. <https://doi.org/10.2106/JBJS.19.00182>

33. Anagnostakos K. Therapeutic Use of Antibiotic-loaded Bone Cement in the Treatment of Hip and Knee Joint Infections. *J Bone Jt Infect.* 2017; 2(1): 29–37. <https://doi.org/10.7150/jbji.16067>

34. Guo W, Gao X, Wang D, Wang T, Tang L, Wang Y, Liu B. Quality of life of patients with proximal humerus metastasis treated with cement spacer. *Cancer Manag Res.* 2019; 11: 8499–8506. <https://doi.org/10.2147/CMAR.S219178>

35. Комаров Р.Н., Митрофанов В.Н., Новиков А.В., Королёв С.Б. Тактика лечения инфекционных осложнений после эндопротезирования тазобедренного сустава. *Травматология и ортопедия России.* 2016; 22(4): 25–34. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2016-22-4-25-34> [Komarov R.N., Mitrofanov V.N., Novikov A.V., Korolev S.B. Management of infectious complications after hip arthroplasty. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2016; 22(4): 25–34. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2016-22-4-25-34>]

36. Zhang Y., Zhu J., Wang Z., Zhou Y., Zhang X. Constructing a 3D-printable, bioceramic sheathed articular spacer assembly for infected hip arthroplasty. *Journal of Medical Hypotheses and Ideas.* 2015; 9(1): 13–19. <https://doi.org/10.1016/j.jmhi.2014.11.001>

37. Lim S.J., Ryu H.G., Eun H.J., Park C.W., Kwon K.B., Park Y.S. Clinical Outcomes and Bearing-Specific Complications Following Fourth-Generation Alumina Ceramic-on-Ceramic Total Hip Arthroplasty: A Single-Surgeon Series of 749 Hips at a Minimum of 5-Year Follow-Up. *J Arthroplasty.* 2018; 33(7): 2182–2186.e1. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2018.02.045>

38. Shim B.J., Park S.J., Park C.H. The Wear Rate and Survivorship in Total Hip Arthroplasty Using a Third-generation Ceramic Head on a Conventional Polyethylene Liner: A Minimum of 15-year Follow-up. *Hip Pelvis.* 2022; 34(2): 115–121. <https://doi.org/10.5371/hp.2022.34.2.115>

39. Варфоломеев Д.И. Новые спейсеры для лечения перипротезной инфекции. *Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н.И. Пирогова.* 2023; 18(2): 85–89. https://doi.org/10.25881/20728255_2023_18_2_85 [Varfolomeev D.I. New spacers for the treatment of periprosthetic infection. *Bulletin of the National Medical and Surgical Center named after N.I. Pirogov.* 2023; 18(2): 85–89. https://doi.org/10.25881/20728255_2023_18_2_85]

40. Варфоломеев Д.И., Самодай В.Г. Оценка эффективности использования спейсера тазобедренного сустава для лечения пациентов с паропротезной инфекцией. *Новости хирургии*. 2020; 28(5): 498–504. <https://doi.org/10.18484/2305-0047.2020.5.498> [Varfolomeev D.I., Samodai V.G. Evaluation of the effectiveness of hip spacers in the treatment of patients with periprosthetic infection. *Novosti Khirurgii*. 2020; 28(5): 498–504. <https://doi.org/10.18484/2305-0047.2020.5.498>]
41. Fouly A., Alnaser I.A., Assaifan A.K., Abdo H.S. Developing PMMA/Coffee Husk Green Composites to Meet the Individual Requirements of People with Disabilities: Hip Spacer Case Study. *J Funct Biomater*. 2023; 14(4): 200. <https://doi.org/10.3390/jfb14040200>
42. Rasheed D.M., Hamdi D.A. Enhancement the Osseo Integration Properties of Polymer for Human Body Implants. *Al-Nahrain J Eng Sci*. 2020; 23(4): 331–339. <https://doi.org/10.29194/njes.23040331>
43. Sambri A, Fiore M, Rondinella C, Morante L, Paolucci A, Giannini C, Alfonso C, De Paolis M. Mechanical complications of hip spacers: a systematic review of the literature. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2023; 143(5): 2341–2353. <https://doi.org/10.1007/s00402-022-04427-z>
44. Lioudakis E., Giannoudis V.P., Sehmisch S., et al. Bone defect treatment: does the type and properties of the spacer affect the induction of Masquelet membrane? Evidence today. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2022; 48(6): 4403–4424. <https://doi.org/10.1007/s00068-022-02005-x>
45. Фёдоров Е. А., Кретьен С. О., Самохин А. Г., Тикунова Н. В., Корыткин А. А., Павлов В. В. Ближайшие результаты лечения стафилококковой перипротезной инфекции тазобедренного сустава с использованием комбинированной терапии антибиотиками и бактериофагами. *Acta Biomedica Scientifica*. 2021; 6(4): 50–63. <https://doi.org/10.29413/ABS.2021-6.4.5> [Fedorov E.A., Kretien S.O., Samokhin A.G., Tikunova N.V., Korytkin A.A., Pavlov V.V. Short-term outcomes of treatment of staphylococcal periprosthetic hip infection using combined antibiotic and bacteriophage therapy. *Acta Biomedica Scientifica*. 2021; 6(4): 50–63. <https://doi.org/10.29413/ABS.2021-6.4.5>]
46. Минасов Б.Ш., Якупов Р.Р., Акбашев В.Н., Билялов А.Р., Минасов Т.Б., Валеев М.М., Мавлютов Т.Р., Каримов К.К., Бердин А.Р. Геней ортопедии. 2024; 30(5): 753–765. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-5-753-765> [Minasov B.Sh., Yakupov R.R., Akbashev V.N., Bilyalov A.R., Minasov T.B., Valeev M.M., Mavlyutov T.R., Karimov K.K., Berdin A.R. Optimization of revision arthroplasty: the role of individually manufactured articulating spacers. *Geniy Ortopedii*. 2024; 30(5): 753–765. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-5-753-765>]

Информация об авторах:

Суфиянова Алия Филусовна, лаборант-исследователь лаборатории «Аддитивных технологий» ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России,

e-mail afsufiyanova@bashgmu.ru

Билялов Азат Ринатович, кандидат медицинских наук, доцент, доцент кафедры травматологии и ортопедии ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России,

e-mail azat.bilyalov@gmail.com

Акбашев Владислав Николаевич, ассистент кафедры травматологии и ортопедии ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России,

e-mail Vlad-akb@mail.ru

Галаутдинов Марс Фларитович, заведующий лабораторией «Аддитивных технологий» ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России,

e-mail mfgalautdinov@bashgmu.ru

Автор, ответственный за переписку: Галаутдинов Марс Фларитович mfgalautdinov@bashgmu.ru

Information about authors:

Sufiyanova Aliya Filyusovna, Research Assistant at the Laboratory of Additive Technologies, Bashkir State Medical University, Ministry of Health of Russia,

e-mail afsufiyanova@bashgmu.ru

Bilyalov Azat Rinatovich, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Department of Traumatology and Orthopedics

e-mail azat.bilyalov@gmail.com

Akbashev Vladislav Nikolaevich, Assistant, Department of Traumatology and Orthopedics

e-mail Vlad-akb@mail.ru

Galautdinov Mars Flaritovich, Head of the Laboratory of Additive Technologies, Bashkir State Medical University, Ministry of Health of Russia

e-mail mfgalautdinov@bashgmu.ru

Corresponding author: Galautdinov Mars Flaritovich mfgalautdinov@bashgmu.ru