Обзорная статья
https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-5-753-765
УДК 616.72-022.1-089.843:615.33

Оптимизация ревизионной артропластики: роль индивидуальных артикулирующих спейсеров

Б.Ш. Минасов, Р.Р. Якупов, В.Н. Акбашев✉, А.Р. Билялов, Т.Б. Минасов, М.М. Валеев, Т.Р. Мавлютов, К.К. Каримов, А.Р. Бердин

Башкирский государственный медицинский университет, Уфа, Россия

Автор, ответственный за переписку: Владислав Николаевич Акбашев, Vlad-akb@mail.ru

Аннотация

Введение. Современная медицина стремится к постоянному совершенствованию хирургических методик и технологий для достижения максимально эффективных результатов лечения. Одной из ключевых областей современной ортопедической практики и неотъемлемой частью лечения пациентов с осложнениями после первичного эндопротезирования является ревизионная артропластика. Наиболее значимым при ревизионной артропластике считают первый этап, который заключается в удалении предыдущего имплантата и установке спейсера с антибиотиком, основная функция которого — заполнение «пустого пространства», локальное выделение антибиотика и обеспечение механической стабильности, что способствует сохранению костной ткани для установки ревизионного эндопротеза на окончательном этапе ревизии. В последние десятилетия артикулирующие индивидуальные спейсеры стали объектом повышенного внимания, представляя собой перспективное средство для оптимизации первого этапа ревизионной артропластики.

Цель работы — обобщить современные данные и представить комплексную информацию о спейсерах, используемых при двухэтапном ревизионном протезировании, включая методы их изготовления, физико-химические свойства, клиническое применение и возможности индивидуализации в рамках первого этапа ревизионной артропластики, а также текущие и перспективные направления в их развитии.

Материалы и методы. Поиск литературы за период 2018–2023 гг. проведен в электронных базах PubMed, eLibrary, Cochraine Library по поисковым словам и словосочетаниям: тотальное эндопротезирование, осложнения, ревизионная артропластика, артикулирующий спейсер, перипротезная инфекция, аддитивное производство, 3D-печать, total arthroplasty, complications, revision arthroplasty, articular spacer, joint spacer, periprosthetic infection, additive manufacturing, 3D printing.

Результаты. Проведенный сравнительный анализ использования фабричных, самодельных, динамических и статических моделей спейсеров показывает, что выбор для ревизионной артропластики крупных суставов артикулирующих спейсеров является наиболее актуальным. Фабричные спейсеры обладают рядом преимуществ, таких как стандартизированный размерный ряд, надежность и доступность использования в медицинских учреждениях. Однако они имеют ограничения использования при наличии выраженных дефектов костной ткани.

Обсуждение. Применение индивидуальных спейсеров представляет собой перспективное направление, поскольку такие спейсеры могут быть адаптированы под уникальные особенности каждого пациента. Однако, несмотря на большие ожидания от индивидуальных спейсеров, остается актуальной задача разработки оптимальных технологий для их быстрого прототипирования. Инвестиции в исследования и разработки в этом направлении имеют потенциал создания инновационных решений, способных значительно улучшить результаты ревизионной артропластики.

Заключение. Статья подчеркивает важность систематизации знаний о спейсерах и роль новых исследований в улучшении их дизайна и функциональности. Прогресс в области материаловедения, аддитивных технологий и персонифицированного подхода к изготовлению спейсеров расширяет возможности применения ревизионной артропластики и ее эффективность. Персонализированный подход и усовершенствованные методы локальной доставки лекарственных средств, обеспечивающие контролируемое высвобождение антибиотиков, могут значительно повысить результаты лечения перипротезной инфекции.

Ключевые слова: ревизионная артропластика, артикулирующий спейсер, перипротезная инфекция

Для цитирования: 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. Оптимизация ревизионной артропластики: роль индивидуальных артикулирующих спейсеров. *Гений ортопедии*. 2024;30(5):753-765. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-5-753-765. EDN: YGQXMO.

© 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., 2024

Review article
https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-5-753-765

Optimizing revision arthroplasty: the role of customized articulating spacers

B.Sh. Minasov, R.R. Yakupov, V.N. Akbashev✉, A.R. Bilyalov, T.B. Minasov, M.M. Valeev, T.R. Mavlyutov, K.K. Karimov, A.R. Berdin

Bashkir State Medical University, Ufa, Russian Federation

Corresponding author: Vladislav N. Akbashev, Vlad-akb@mail.ru

Abstract

Introduction The advancement of surgery is set against a backdrop of continuous development and surgical innovations have transformed the way clinical care is delivered. Revision surgery might be required to address complications of primary arthroplasty. The first stage of revision arthroplasty would involve removal of an implant and placement of an antibiotic-impregnated cement spacer to maintain the joint space and stability, prevent soft tissue retraction, provide local antibiotic release and preserve bone tissue for revision implantation at the final stage of revision. Custom-made articulating spacers are a promising tool for optimizing the first stage of revision arthroplasty.

The **objective** was to summarize the current data and present comprehensive information about spacers used in two-stage revision arthroplasty including manufacturing techniques, physical and chemical properties, clinical applications, the possibility of customization within the first stage of revision arthroplasty, current and promising directions for research.

Material and methods The original literature search was conducted on key resources including Scientific Electronic Library (www.elibrary.ru), the National Library of Medicine (www.pubmed.org), the Cochraine Library (www.cochranelibrary.com) between 2018 and 2023 using search words and phrases: total arthroplasty, complications, revision arthroplasty, articulating spacer, periprosthetic joint infection, additive manufacturing, 3D printing.

Results A comparative analysis of factory supplied, home-made, dynamic and static spacer models showed that the choice of articulating spacers for revision arthroplasty of major joints is of great relevance. Advantages of factory-made spacers include standardized range of sizes, the reliability and availability for medical institutions. They are characterized by limited use in repair of severe bone defects.

Discussion Custom-made articulating spacers enable specific tailoring to accommodate individual defects. Despite high expectations from custom-made spacers, development of optimal technologies for rapid prototyping is essential. Investments in research and development in this area have the potential to create innovative solutions that can significantly improve the results of revision arthroplasty.

Conclusion The paper explores the importance of systemization of knowledge about spacers and the role of new research in improving the design and functionality. Progress in the field of materials science, additive technologies and a personalized approach to spacer manufacturing can expand possibilities of revision arthroplasty and the effectiveness. Personalized approaches and improved methods of local drug delivery that provide controlled release of antibiotics can improve the results of treatment of periprosthetic joint infections.

Keywords: revision arthroplasty, articulating spacer, periprosthetic joint infection

For citation: Minasov BSh, Yakupov RR, Akbashev VN, Bilyalov AR, Minasov TB, Valeev MM, Mavlyutov TR, Karimov KK, Berdin AR. Optimizing revision arthroplasty: the role of customized articulating spacers. *Genij Ortopedii*. 2024;30(5):753-765. doi: 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., 2024
© Translator Irina A. Saranskikh, 2024

ВВЕДЕНИЕ

Тотальное эндопротезирование является одним из самых успешных методов хирургического лечения дегенеративно-дистрофических заболеваний крупных суставов, в том числе и остеоартроза (ОА), позволяя восстановить утраченную функцию и биомеханику сустава [1]. Однако пациенты, раннее перенесшие первичную артропластику (ПА), нуждаются в повторном хирургическом вмешательстве — ревизионной артропластике (РА) [2, 3].

Современная медицина активно развивает хирургические методики и технологии с целью достижения результатов максимально эффективного лечения. В области ортопедической хирургии ключевым направлением является ревизионная артропластика, которая становится все более значимой в контексте возрастающего числа осложнений после первичного эндопротезирования. Перипротезная инфекция входит в тройку лидеров осложнений после первичного эндопротезирования, на которую приходится от 1 до 15,3 % случаев, уступая место асептическому расшатыванию и вывиху эндопротеза [4]. Двухэтапное ревизионное эндопротезирование является «золотым стандартом» лечения перипротезной инфекции, которое было описано еще в 1983 г. J.N. Insall et al. [5, 6]. Первый этап заключается в удалении ранее установленного эндопротеза с установкой временного импланта, изготовленного из костного цемента с добавлением антибиотика-спейсера. На втором этапе удаляют спейсер и устанавливают ревизионный эндопротез. Одной из ключевых функций спейсера, помимо локальной доставки антибиотика, является поддержание механической стабильности сустава, обеспечение оптимального натяжения мышц и напряжения мягких тканей, что играет важную роль в конечном функциональном результате и лечении перипротезной инфекции [7]. В последние десятилетия особое внимание уделяется артикулирующим индивидуальным спейсерам как перспективному средству оптимизации первого этапа ревизионной артропластики. Спейсеры позволяют улучшить процесс хирургического вмешательства и повысить его эффективность по сравнению с одноэтапной методикой. Кроме того, применение персонализированного подхода в производстве артикулирующих спейсеров, основанного на индивидуальных биомеханических и реабилитационных характеристиках каждого пациента, обеспечивает высокую степень адаптации лечебного процесса. Это способствует значительному улучшению исходов хирургических вмешательств и ускоряет восстановление функциональности сустава, что является критически важным для оптимизации общеклинических результатов.

Цель работы — обобщить современные данные и представить информацию о спейсерах, используемых при двухэтапном ревизионном протезировании, рассмотреть методы их изготовления, физико-химические свойства и клиническое применение при первом этапе ревизионной артропластики.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Отбор литературы проведен в базах научных статей PubMed, eLibrary, Cochraine Library. Поиск осуществлен по ключевым словам: тотальное эндопротезирование, осложнения, ревизионная артропластика, артикулирующий спейсер, перипротезная инфекция, аддитивное производство, 3D-печать, total arthroplasty, complications, revision arthroplasty, articular spacer, joint spacer, periprosthetic infection, additive manufacturing, 3D printing. Из полученной выборки отобраны статьи, наиболее подходящие тематике исследования, содержащие актуальные, значимые идеи, предпочтение отдавалось работам 2017-2023 гг. включительно. Мы рассматривали публикации независимо от языка, на котором они были опубликованы, без ограничений по дизайну исследований.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Эпидемиология

Наиболее частой причиной проведения РА после первичного эндопротезирования коленного сустава являются перипротезная инфекция (ППИ) (25,2–50,0 %) и нестабильность компонентов эндопротезов (16,1–36,5 %) [8]. В США в период с 1 октября 2005 г. по 31 декабря 2006 г. наиболее частой причиной РА были инфекционные осложнения со стороны имплантов — 25,2 %, механическое расшатывание — 16,1 %, при этом инфекция была наиболее частым показанием к артротомии и удалению эндопротеза (79,1 %) [9]. В России, по данным исследования 63 750 пациентов, перенесших тотальное эндопротезирование коленного сустава (ТЭП КС), 2 573 пациента (4 %) нуждались в ревизионной артропластике, в том числе 1 747 случаев ППИ. Авторы отмечают несостоятельность точных данных о числе инфицированных больных в отчёте из-за ряда проблем с мониторингом больных, перенесших перипротезную инфекцию [2]. Данные об эпидемиологии перипротезной инфекции после эндопротезирования коленного сустава (ЭП КС) представлены в таблице 1. Согласно прогнозам, к 2030 г. количество РА тазобедренного сустава увеличится на 43–70 %, а коленного сустава — на 78–182 % [10].

Рассматривая эпидемиологию ППИ при эндопротезировании тазобедренного сустава, можно заметить корреляцию с коленным суставом. Так, в регистре Германии причиной РА являются перипротезные инфекции (23,5–35,1 %), а в Швеции наиболее распространенными причинами ревизии в период

2004–2021 гг. были асептическое расшатывание (49,2 %), инфекция (21,5 %), вывих (13,4 %) и периротезный перелом (9,2 %) [11–13]. В России за 2019 г. число ревизионных артропластик тазобедренного и коленного суставов, обусловленных ППИ, составило 2,91 % [2]. Таким образом, периротезная инфекция занимает одно из ведущих мест среди причин ревизионной артропластики.

Таблица 1

Эпидемиология ППИ при ТЭП КС в исследованиях разных авторов

Источники	Период исследования, гг.	Количество пациентов, чел.		
		перенесших ЭП КС	перенесших РЭП КС	инфицированных ППИ
The Swedish Arthroplasty Register [12]	2009–2018	127 060	4 669	1447
Levašič V. et al. [14]	2002–2018	10 698	870	109
Nham F.H. et al. [15]	2006 – третий квартал 2015	5 901 057	465 968	114 721
Середа А.П. с соавт. [2]	январь 2019 – декабрь 2019	63 750	2 573	1 747
Tarazi J.M. et al. [9]	01.10.2005 – 31.12.2006	–	60 436	15 233
Иванцов В.А. с соавт. [16]	2012–2016	483	–	39
Корнилов Н.Н. с соавт. [17]	2001–2016	373	28	4

Среди множества вариантов лечения ППИ лучшим считается ревизионная хирургия (ревизионная артропластика), которая делится на одно- и двухэтапную [18]. При одноэтапной операции инфицированный протез удаляют с последующим дебридментом мягких и костной тканей, санацией инфицированного очага и реимплантацией нового ревизионного эндопротеза [19]. В качестве альтернативы может быть использована двухэтапная РА. На первом этапе оперативного лечения производят удаление ранее установленного инфицированного эндопротеза и установку временного импланта, изготовленного из костного цемента с добавлением антибиотика-спейсера. Основная функция спейсера заключается в купировании инфекции, заполнении «вредного пространства», возникшего после удаления эндопротеза и костного дебридмента. Второй этап включает удаление спейсера и установку ревизионного эндопротеза. Отличительной особенностью данного метода является наличие «промежуточного этапа» между удалением и реимплантацией протеза, во время которого назначают этиотропную антибиотикотерапию в зависимости от интраоперационно культивированного патогена и его чувствительности к антибиотикам. Этот этап позволяет детально оценить эффективность антибактериального лечения и улучшить прогнозы исхода лечения за счет консервативной терапии [15, 16]. Несмотря на широкое признание двухэтапной РА «золотым стандартом» лечения протезной инфекции, стоит отметить высокие затраты, потенциальное увеличение рисков развития осложнений, смертности и продолжительности госпитализации пациента [20]. Современные исследования указывают на сопоставимую частоту развития рецидивов инфекции при одноэтапной и двухэтапной ревизиях тазобедренного и коленного суставов, что подчеркивает необходимость индивидуального подхода к выбору того или иного метода лечения [19–22].

Спейсеры коленного и тазобедренного сустава могут быть представлены в различных видах и формах, зависящих от способа изготовления и уровня артикуляции [16–18]. В зависимости от степени подвижности спейсеры классифицируют на артикулирующие (динамические) и статические (неподвижные) [23–25]. Не существует единого мнения о том, какие спейсеры, артикулирующие или статические, лучше использовать. Зарубежные авторы отмечают отсутствие существенной разницы в развитии рецидива инфекции, однако использование динамических спейсеров позволяет добиться лучших функциональных результатов после проведения второго этапа операции за счет наличия диапазона движений в суставе. Помимо этого они обеспечивают меньшую сложность реимплантации, возможность ранней реабилитации и сокращения продолжительности операции, в то время как при использовании статических спейсеров наблюдают меньший процент риска послеоперационной хронической инфицированности и развития болевого синдрома [24–31].

По способу изготовления спейсеры бывают преформированными и фабричными. Фабричные спейсеры производят медицинские компании для временной установки в область пораженного сустава [32]. Данный тип спейсеров обычно имеет определенную форму и размеры, соответствующие стандартным требованиям [33]. Несмотря на универсальность и доступность, у преформированных спейсеров есть как преимущества, так и недостатки. Преимущества включают стандартизацию и возможность их немедленного использования интраоперационно. К недостаткам можно отнести ограниченную адаптацию к уникальным особенностям каждого отдельного случая, что может потребовать дополнительных корректировок во время операции (табл. 2).

Таблица 2

Преимущества и недостатки фабричных спейсеров [32–34]

Преимущества	Недостатки
— Широкий выбор производителей — Большой опыт клинического применения — Не требует дополнительных этапов изготовления для использования во время операции — Известные механические свойства и трибологические характеристики	— Ограниченная линейка размеров — Высокая стоимость — Короткий срок выделения антибиотика — Не могут быть использованы при различных дефектах костной ткани, выраженной нарушенной анатомии сустава — Высокий риск протрузии дна вертлужной впадины — Высокий риск вывихов — Нестабильная фиксация

В ряде случаев может потребоваться изготовление индивидуальных спейсеров, которые точно соответствуют нарушенной анатомии и особенностям пациента [35–37]. Данный вид спейсеров уменьшает риск вторичной деформации, обладает высоким показателем послеоперационной оценки состояния пациентов по шкале WOMAC, но характеризуется более высокой стоимостью [35–38].

В некоторых случаях спейсеры могут быть изготовлены вручную хирургом во время операции [39]. Анализ K. David et al. показал значительно более высокую частоту переломов спейсеров, изготовленных хирургом, по сравнению с преформированными спейсерами. Автор отмечает, что спейсеры, изготовленные хирургами, имеют тенденцию к более «агрессивному» разрушению, чем фабричные. Это может быть связано со способом смешивания и доставкой цемента при подготовке и установке спейсера, а также с нарушением конгруэнтности между суставными поверхностями. Кроме того, сочетание высокодозного смешивания антибиотиков приводит к уменьшению механической прочности спейсера. Помимо этого, более высокая частота переломов может объясняться отсутствием армирования различными металлоконструкциями [40].

Можно разработать уникальный метод изготовления и конструкции спейсера, который сочетает стандартные техники с индивидуально подобранными элементами из металлических сплавов, силикона, полиэтилена и других материалов (персонализированные пресс-формы). Применение данной комбинированной технологии не только придаёт спейсеру необходимую форму и усиливает его механические свойства, но также улучшает фиксацию, обеспечивая надёжное соединение с костными структурами. Это увеличивает функциональность спейсера и снижает риск интра- и послеоперационных осложнений [35, 39].

Последние научные достижения в области медицины привели к развитию технологии 3D-печати и неуклонному росту ее применения в ортопедии [41]. Данные технологии позволяют создавать индивидуальные спейсеры с использованием точных моделей анатомии пациента [42–44]. Аддитивные технологии применяют для изготовления артикулирующих спейсеров коленного или тазобедренного сустава, они представляют собой инновационное направление в области медицинской имплантации [41, 44]. Каждый метод имеет свои преимущества и недостатки (табл. 3), и их выбор должен быть основан на клинических и индивидуальных факторах [41–44].

Таблица 3

Преимущества и недостатки аддитивных технологий в изготовлении спейсеров [41–44]

Преимущества	Недостатки
— Изготовление спейсера любой формы, размера и структуры — Возможность топологической оптимизации — Изготовление с учетом нарушенной анатомии костных структур и конгруэнтности сустава, что недоступно для фабричных спейсеров — Быстрое прототипирование — Более стабильная фиксация за счет анатомического изготовления, армирования и меньшей цементной мантии	— Длительный процесс изготовления — Необходимость в специализированном оборудовании и материалах для изготовления индивидуальных спейсеров — Ограниченный выбор материалов

Важно отметить, что выбор метода изготовления спейсеров коленного и тазобедренного сустава зависит от конкретной ситуации, требований пациента, доступных ресурсов и предпочтений хирурга, главное — обеспечение стабильности и функциональности сустава.

Армирование представляет собой внедрение укрепляющих конструкций внутрь спейсера для улучшения его механической прочности и повышения стабильности фиксации, помимо этого, оно может повысить его стойкость к износу и деформации, что способствует более длительному сроку службы. Особенно важно

учитывать, что спейсер должен прослужить до момента проведения II этапа РА [13, 45]. Также армирование позволяет создавать спейсеры с более сложными формами и структурами, которые точно соответствуют анатомии пациента. Но, несмотря на положительные стороны, у армирования имеется и ряд недостатков, например, более высокая стоимость, связанная с использованием дополнительных материалов, и увеличение времени и этапов изготовления спейсера. При этом некорректное армирование или неправильный выбор материалов могут привести к развитию осложнений, таких как повреждение самого спейсера, или развитию перелома вследствие неправильного распределения нагрузки на кость [46]. Все это указывает на необходимость дополнительной разработки технологии или методики правильного позиционирования армирующих конструкций относительно спейсера. Некоторые типы спейсеров тазобедренного и коленного сустава, виды и частота механических осложнений представлены в таблице 4.

Таблица 4

Типы изготовления спейсеров и связанные с ними осложнения

Вид армирования	Тип изготовления	Особенности строения	Кол-во спейсеров	Результаты	Источник
Стержень Steinmann	Стандартная пресс-форма	Спейсер представляет собой бедренный компонент эндопротеза, который изготавливают с использованием металлической пресс-формы с дополнительным армированием стержнем steinmann	26	У 1 пациента (3,8 %) наблюдался вывих спейсера и у 2 (7,7 %) — перелом спейсера	[47]
Авторы не указывают вид армирования	Стандартная пресс-форма	Пресс-форма состоит из полиоксиметилена	88	Вывих спейсера — *n* = 15 (17 %), перелом спейсера — *n* = 9 (10,2 %), перелом бедра — *n* = 12 (13,6 %)	[48]
Стержень Steinmann	Стандартная пресс-форма	Спейсер представляет собой монополярный бедренный компонент, изготовленный из металлической пресс-формы с покрытием	138	Перелом спейсера — *n* = 12 (8,7 %), вывих спейсера — *n* = 12 (8,7 %), перипротезный перелом бедра — *n* = 1 (0,7 %), протрузии дна вертлужной впадины — *n* = 1 (0,7 %)	[49]
Спицы Киршнера	Индивидуальная пресс-форма	Спейсер изготовлен с использованием индивидуальной пресс-формы, которая была получена с использованием аддитивных технологий и компьютерного моделирования	1	Авторы заявляют о поломке спейсера, которая была связан с травмой (падением)	[38]
Спица Киршнера	Пресс-форма	Спицу Киршнера диаметром 5 мм изгибали под углом 130° и заливали цементом с использованием силиконовой формы	41	Перелом спейсера — *n* = 2 (4,8 %), вывих спейсера — *n* = 3 (7,3 %), перипротезный перелом — *n* = 1 (2,4 %)	[50]
–	Фабричный	Использовали фабричные простерилизованные компоненты эндопротезов	21	Перелом спейсера — *n* = 0, вывих спейсера — *n* = 1 (4,7 %), перипротезный перелом — *n* = 1 (4,7 %)	
Стержень Steinmann	Пресс-форма	Цементные артикулирующие спейсеры с ванкомицином и двумя стержнями Steinmann были изготовлены с помощью самодельной пресс-формы	266	Перелом спейсера — *n* = 28 (10,5 %), вывих спейсера — *n* = 10 (3,8 %)	[51]
Компоненты эндопротеза	Ручной	Нанесение цемента с добавлением 4,8 г тобрамицина и/или 4,0 г ванкомицина на внутреннюю поверхность полиэтиленового вкладыша вертлужного или большеберцового компонента эндопротеза	54	Авторы не отмечают наличия осложнений	[52]
–	Пресс-форма	Артикулирующий спейсер коленного сустава выполнен из 2 компонентов: бедренного и большеберцового, изготовленных из пресс-формы	32	Перипротезный перелом плато большеберцовой кости — *n* = 1 (3,125 %), вывих надколенника — *n* = 1 (3,125 %)	[53]
–	Пресс-форма	Спейсер состоит из бедренного и большеберцового компонентов, изготовленных из парафиновой пресс-формы по типу CR	66	Нестабильность спейсера — *n* = 3 (4,5 %), перелом спейсера — *n* = 2 (3 %), перипротезный перелом — *n* = 1 (1,5 %), вывихи — *n* = 20 (30 %),	[54]

Таблица 4 (продолжение)

Типы изготовления спейсеров и связанные с ними осложнения

Вид армирования	Тип изготовления	Особенности строения	Кол-во спейсеров	Результаты	Источник
–	Пресс-форма	Спейсер состоит из бедренного и большеберцового компонентов, изготовленных из парафиновой пресс-формы по типу PS	75	Нестабильность спейсера — *n* = 1 (1,3 %), перелом спейсера — *n* = 2 (2,6 %), перипротезный перелом — *n* = 1 (1,3 %), вывихи — *n* = 1 (1,3 %)	[54]
Металлический стержень	Фабричный спейсер	Спейсер изготавливается из акрилового цемента, пропитанного гентамицином, и представляет собой бедренный компонент, армированный металлическим стержнем	23	Вывих спейсера — *n* = 2 (8.3 %)	[55]
К-спица	Пресс-форма	Спейсер представляет собой монополярный бедренный компонент, изготовленный с использованием силиконовой формы и армированный К-спицей диаметром 5 мм, изогнутой под угол 130°	13	Перелом спейсера — *n* = 5 (38,46 %), вывих спейсера — *n* = 3 (23,08 %), перипротезные переломы — *n* = 1 (7,69 %), частичная или полная протрузия дна вертлужной впадины — *n* = 3 (23,08 %)	[56]
Бедренный компонент эндопротеза	Пресс-форма	Спейсер изготавливался с помощью силиконовой пресс-формы, но в качестве армирования использовался полноценный бедренный компонент без головки	10	Вывих спейсера — *n* = 3 (30 %), частичная или полная протрузия дна вертлужной впадины — *n* = 3 (30 %)	
Бедренный компонент эндопротеза и полиэтиленовый вертлужный компонент	Ручной метод	На бедренный и вертлужный компоненты наносили цемент с антибиотиком	13	Вывих спейсера — *n* = 1 (7,69 %), перипротезный перелом — *n* = 1 (7,69 %)	

Армирование спейсеров позволяет улучшить механические свойства, особенно в сегментах с высокой осевой нагрузкой. Однако неправильный выбор позиционирования, центрации, а также типа и формы армирующей конструкции может привести к увеличению нагрузки на элементы спейсера или на кость, что, в свою очередь, увеличивает риск осложнений, которые могут включать в себя вывихи (частота встречаемости для тазобедренного сустава — 4,86–16,4 %) [57–59]), перипротезные переломы (для спейсера тазобедренного сустава — 1–3 %), поломку самого спейсера — 3,0–5,9 % [60, 61]. Что касается спейсеров коленного сустава, то частота медиолатеральных вывихов и перипротезных переломов варьирует в пределах 9,1–12,0 % [62, 63]. Важно отметить, что частота осложнений может зависеть не только от вида и типа армирующей конструкции, но и от технологии изготовления и вида спейсера, будь-то фабричный или самодельный. A. Sambri et al. в систематическом обзоре сравнили осложнения при использовании спейсеров различных типов изготовления. Всего было проанализировано 1659 спейсеров, из которых 798 были фабричными, 301 преформированным (изготовлены из пресс-форм) и 560 спейсеров изготовлены ручным способом. Так, наибольшее количество механических осложнений наблюдали в группе преформированных спейсеров — (37,2 ± 21,6) %, на втором месте расположились спейсеры ручной работы — (19,2 ± 24,7) %, и самое меньшее число осложнений наблюдали у фабричных спейсеров — (13,8 ± 5,2) %. При этом не обнаружено существенной разницы в частоте механических осложнений между спейсерами с различными типами металлического армирования и без него: (18,2 ± 18,6) % и (23,2 ± 17,6) % соответственно [64].

Регулирование бедренного офсета

Регулирование бедренного офсета является важным аспектом ревизионной артропластики тазобедренного сустава [65]. Каждый пациент имеет уникальную анатомию и функциональные потребности, и правильная регулировка и определение оптимального офсета могут улучшить результаты операции [66, 67]. Для регулирования бедренного офсета и планирования процедуры хирурги могут использовать данные о пациенте, полученные из предварительного обследования. С появлением современных технологий и методов, таких как компьютерное моделирование, аддитивные технологии и 3D-планирование, данные этапы становятся более быстрыми и предсказуемыми [68]. Всё это позволяет минимизировать ошибки и улучшить результаты операции, а также способствовать восстановлению нормальной биоме-

ханики тазобедренного сустава [69–71]. В свою очередь, неправильное регулирование бедренного офсета может привести к несоответствию длины конечности, дисбалансу натяжения мышц, неправильному распределению нагрузки, преждевременному износу спейсера, неудовлетворенности функциональными результатами [70]. Правильная настройка позволит избежать этих проблем и достичь оптимального центрирования и стабильности сустава, улучшая результаты операции [71]. Регулирование бедренного офсета при проведении первого этапа ревизионной артропластики возможно только при использовании самодельного артикулирующего спейсера, причем в качестве армирования, как правило, используют бедренный компонент эндопротеза и головку. Что касается фабричных спейсеров тазобедренного сустава с регулируемым офсетом, то на сегодняшний день отсутствуют данные о наличии таких медицинских изделий.

Выделение антибиотиков

Пролонгированное выделение антибиотиков является важным аспектом при использовании спейсеров в лечении перипротезной инфекции суставов [72]. Этот подход позволяет обеспечить локальное длительное высвобождение антибиотиков в суставную полость, что способствует эффективной борьбе с инфекцией [73].

Для достижения пролонгированного выделения антибиотиков из спейсера сустава применяют различные методы и технологии. Антибиотики могут быть внедрены непосредственно в материал спейсера во время его изготовления, при этом антибиотики встраиваются в структуру спейсера и могут высвобождаться постепенно с течением времени [74]. Помимо этого, антибиотики могут быть микроинкапсулированы в материал спейсера, где микросферы или микро-гранулы с антибиотиками встроены в матрицу спейсера, обеспечивая контролируемое высвобождение антибиотиков в течение времени [75]. Также внутри спейсера могут быть созданы резервуары, в которых размещаются антибиотики, например, перед внедрением спейсера в сустав. Ещё одним способом внедрения антибиотика может быть покрытие спейсера тонким слоем материала, содержащего антибактериальные препараты, и в данном случае имеется возможность контролировать высвобождение антибиотиков из покрытия в течение продолжительного времени [76]. Во множестве исследований рассмотрено соответствие различных антибиотиков определённым типам цементных смесей (табл. 5).

Таблица 5

Концентрация выделения антибиотика при комбинации различных видов цемента

Вид цемента	Антибиотик	Концентрация антибиотика (г / на 40 г цемента)	Время выделения антибиотика (мкг/мл)					Источник
			1 ч	1 день	2 дня	7 дней	Общее кол-во дней	
Palacos	Vancomycin	2	–	72	–	6.6	до 7	[82]
Palacos	Gentamicin	0,5	–	39	–	1.9	до 7	[83]
Palacos	Gentamicin	1	30,61	–	53,9	–	до 2	[84]
Simplex	Azertonam	4		1003	–	313.6	до 7	[85]
Palacos	Voriconazole	8	–	–	–	–	до 14	[85]
Cemex	Vancomycin	0,15–0,17	–	13,8–40	–	–	до 1	[63]
ПММА	Moxifloxacin	4	–	–	29,8	27	до 14	[83]
ПММА	Rifampin	4	–	–	21,7	23,2	до 21	
ПММА	Meropenem	4	–	–	18	14	до 14	
ПММА	Cefotaxime	4	–	–	15	11,6	до 14	

Количество антибиотика, загружаемого в цемент, является одним из наиболее важных факторов, поскольку чрезмерное его количество может изменять механическую прочность цемента [72, 77]. Поэтому часто рекомендуют не включать антибиотики в объеме более 10–15 % массы смеси. При превышении этого показателя механические свойства цемента значительно ухудшаются. Рекомендации производителей по добавлению антибиотиков в костный цемент обычно составляют 5 % от массы смеси, однако доза загрузки также зависит от того, используют ли АБ для профилактики или лечения активной инфекции. В частности, для профилактики используют более низкую дозу, чтобы предотвратить неблагоприятное механическое воздействие на имплантат, а для лечения инфекции требуются более высокие дозы, чтобы обеспечить локальное пролонгированное выделение антибиотика. Например, профилактическая низкая доза составляет 0,5–1 г антибиотика на 40 г цементного порошка, в то время как лечебная доза составляет 1–2 г на 40 г порошка, а высокая – около 4,6 г на 40 г порошка [77].

Исследование, проведенное при ручном добавлении антибиотика ванкомицина в спейсер, содержащий гентамицин, показало, что такое сочетание значительно увеличивает скорость высвобождения обоих антибиотиков, но в то же время обнаружено снижение прочности костного цемента на сжатие.

В ряде исследований, посвященных добавлению отдельных антибиотиков в костный цемент, отмечено объединение антибиотиков в полиметилметакрилатный цемент в качестве наилучшей стратегии расширения антимикробного спектра. Например, гентамицин, ванкомицин и тобрамицин в основном включают в цементные смеси благодаря их способности воздействовать на различные грамположительные организмы, такие как золотистый стафилококк, стрептококки и грамотрицательные бактерии (*Pseudumonas aeruginosa*). Гликопептиды, такие как ванкомицин, обычно используют в качестве профилактического средства или для лечения тяжелых инфекций, вызванных грамположительными кокками. Он наиболее эффективно ингибирует синтез клеточной стенки грамположительных микроорганизмов и обладает бактерицидным действием [77].

В последние годы интерес направлен на выбор различных антибиотиков, совмещенных более чем с одним препаратом, и биоматериалов с особым акцентом на системы доставки, такие как покрытия поверхности имплантата гидрогелем, керамикой, микроносителем, микросферами или наночастицами [50, 78–80]. Доказано, что шероховатые поверхности, обычно встречающиеся на металлических имплантатах (сплавы кобальт-хром или титан), усиливают колонизацию бактерий, если шероховатость поверхности приближается к размеру отдельной бактерии (1 мкм), и препятствуют колонизации, если поры на поверхности близки по размеру к остеобластам. Также зарубежными авторами выявлено, что такие факторы, как высокая гидрофобность поверхности и низкая поверхностная свободная энергия, характерные для кобальт-хромовых поверхностей, препятствуют распространению бактерий на поверхности [62].

Сульфат кальция — наиболее часто используемый заменитель костного трансплантата, который может быть сформован интраоперационно в рентгеноконтрастные капсулы, рассасывающиеся через 30–60 дней. Исследования *in vitro* сульфата кальция, нагруженного антибиотиками, показали лучшие характеристики по сравнению с полиметиметакрилатом (ПММА) [81].

В клинической практике также используется циклодекстрин, представляющий собой циклический олигосахарид, состоящий из 6–8 мономеров глюкозы, с гидрофобной внутренней и относительно гидрофильной внешней поверхностью. Циклодекстрин, связываясь с нерастворимым полимером, в котором содержатся лекарственные препараты, образовывает комплекс включений циклодекстрина, что способствует контролируемому и пролонгированному высвобождению лекарственного средства [62].

Проведенный сравнительный анализ использования фабричных, самодельных, динамических и статических моделей спейсеров позволяет отметить высокую актуальность и растущую потребность в применении именно артикулирующих спейсеров для ревизионной артропластики крупных суставов не только в Российской Федерации, но и в мире. Это объясняется ежегодным увеличением числа операций ревизионной артропластики с учетом прогнозов на будущее. Фабричные спейсеры, несомненно, обладают рядом преимуществ, включая стандартизированный размерный ряд, надежность и доступность использования, особенно в медицинских учреждениях, где отсутствует техническая возможность изготавливать спейсеры самостоятельно. Однако они также имеют ограничения в использовании при наличии выраженных дефектов костной ткани у пациентов. В этом контексте изготовление индивидуальных спейсеров представляет собой перспективное направление, поскольку они могут быть адаптированы под уникальные особенности каждого конкретного случая. Несмотря на большие ожидания от индивидуальных спейсеров, остается актуальной задача разработки оптимальных технологий для быстрого прототипирования. Инвестиции в исследования и разработки в этом направлении открывают перспективу создания инновационных решений, способных значительно улучшить результаты ревизионной артропластики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Перспективным направлением в области применения артикулирующих спейсеров является персонифицированный подход к их изготовлению, который позволяет учитывать особенности каждого пациента индивидуально, а также подбирать оптимальный метод пролонгированного локального выделения антибиотика и армирования. Достижение этой цели может быть обеспечено совершенствованием технологий сканирования и быстрого прототипирования для точного воссоздания анатомических особенностей суставов.

Конфликт интересов. *Не заявлен.*

Источник финансирования. *Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда по гранту № 23-15-20042.*

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Lemme NJ, Veeramani A, Yang DS, et al. Total Hip Arthroplasty After Hip Arthroscopy Has Increased Complications and Revision Risk. *J Arthroplasty*. 2021;36(12):3922-3927.e2. doi: 10.1016/j.arth.2021.07.020
2. Середа А.П., Кочиш А.А., Черный А.А. и др. Эпидемиология эндопротезирования тазобедренного и коленного суставов и перипротезной инфекции в Российской Федерации. *Травматология и ортопедия России*. 2021;27(3):84-93. doi: 10.21823/2311-2905-2021-27-3-84-93

3. Lombardo DJ, Siljander MP, Sobh A, et al. Periprosthetic fractures about total knee arthroplasty. *Musculoskelet Surg*. 2020;104(2):135-143. doi: 10.1007/s12306-019-00628-9
4. Otto-Lambertz C, Yagdiran A, Wallscheid F, et al. Periprosthetic Infection in Joint Replacement. *Dtsch Arztebl Int*. 2017;114(20):347-353. doi: 10.3238/arztebl.2017.0347
5. Pangaud C, Ollivier M, Argenson JN. Outcome of single-stage versus two-stage exchange for revision knee arthroplasty for chronic periprosthetic infection. *EFORT Open Rev*. 2019;4(8):495-502. doi: 10.1302/2058-5241.4.190003
6. Insall JN, Thompson FM, Brause BD. Two-stage reimplantation for the salvage of infected total knee arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am*. 1983;65-A(8):1087-1098.
7. Lee YS, Chen AF. Two-Stage Reimplantation in Infected Total Knee Arthroplasty. *Knee Surg Relat Res*. 2018;30(2):107-114. doi: 10.5792/ksrr.17.095
8. Мансуров Д.Ш., Ткаченко А.Н., Сайганов С.А. и др. Негативные последствия эндопротезирования коленного сустава. *Вестник экспериментальной и клинической хирургии*. 2022;15(4):354-361. doi: 10.18499/2070-478X-2022-15-4-354-361
9. Tarazi JM, Chen Z, Scuderi GR, Mont MA. The Epidemiology of Revision Total Knee Arthroplasty. *J Knee Surg*. 2021;34(13):1396-1401. doi: 10.1055/s-0041-1735282
10. Schwartz AM, Farley KX, Guild GN, Bradbury TL Jr. Projections and Epidemiology of Revision Hip and Knee Arthroplasty in the United States to 2030. *J Arthroplasty*. 2020;35(6S):S79-S85. doi: 10.1016/j.arth.2020.02.030
11. Grimberg A, Lützner J, Melsheimer O, Morlock M, Steinbrück A. (2023) German Arthroplasty Registry (Endoprothesenregister Deutschland - EPRD) - Annual Report 2022. doi: 10.36186/reporteprd072023
12. Annual report 2021. *The Swedish Arthroplasty Register*. 2021. doi: 10.18158/SyujK_qxc
13. Walter N, Baertl S, Lang S, et al. Treatment of Periprosthetic Joint Infection and Fracture-Related Infection with a Temporary Arthrodesis Made by PMMA-Coated Intramedullary Nails - Evaluation of Technique and Quality of Life in Implant-Free Interval. *Front Surg*. 2022;9:917696. doi: 10.3389/fsurg.2022.917696
14. Levašič V, Pišot V, Milošev I. Arthroplasty Register of the Valdoltra Orthopaedic Hospital and implant retrieval program. *Zdrav Vestn*. 2009;78:73-80. (In Sloven.)
15. Nham FH, Patel I, Zalikha AK, El-Othmani MM. Epidemiology of primary and revision total knee arthroplasty: analysis of demographics, comorbidities and outcomes from the national inpatient sample. *Arthroplasty*. 2023;5(1):18. doi: 10.1186/s42836-023-00175-6
16. Иванцов В.А., Лашковский В.В., Богданович И.П., Лазаревич С.Н. Лечение глубокой перипротезной инфекции коленного сустава. *Журнал ГрГМУ*. 2018;16(1):96-100. doi: 10.25298/2221-8785-2018-16-1-96-100
17. Корнилов Н.Н., Федоров Р.Э., Куляба Т.А., Филь А.С. Анализ повторных хирургических вмешательств после частичной артропластики коленного сустава: пятнадцатилетний опыт наблюдений. *Современные проблемы науки и образования*. 2018;(2). doi: 10.17513/spno.27451
18. Lu J, Han J, Zhang C, et al. Infection after total knee arthroplasty and its gold standard surgical treatment: Spacers used in two-stage revision arthroplasty. *Intractable Rare Dis Res*. 2017;6(4):256-261. doi: 10.5582/irdr.2017.01049
19. Lindberg-Larsen M, Odgaard A, Fredborg C, et al. One-stage versus two-stage revision of the infected knee arthroplasty - a randomized multicenter clinical trial study protocol. *BMC Musculoskelet Disord*. 2021;22(1):175. doi: 10.1186/s12891-021-04044-8
20. Kunutsor SK, Beswick AD, Whitehouse MR, Blom AW. One- and two-stage surgical revision of infected elbow prostheses following total joint replacement: a systematic review. *BMC Musculoskelet Disord*. 2019;20(1):467. doi: 10.1186/s12891-019-2848-x
21. Goud AL, Harlianto NI, Ezzafzafi S, et al. Reinfection rates after one- and two-stage revision surgery for hip and knee arthroplasty: a systematic review and meta-analysis. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2023;143(2):829-838. doi: 10.1007/s00402-021-04190-7
22. Wang X, Zhang W. Research progress of two-stage revision for periprosthetic joint infection after hip and knee arthroplasties. *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi*. 2019;33(12):1566-1571. (In Chin.). doi: 10.7507/1002-1892.201901098
23. Vasarhelyi E, Sidhu SP, Somerville L, et al. Static vs Articulating Spacers for Two-Stage Revision Total Knee Arthroplasty: Minimum Five-Year Review. *Arthroplast Today*. 2022;13:171-175. doi: 10.1016/j.artd.2021.10.010
24. Warwick HS, Tan TL, Weiser L, et al. Comparison of Static and Articulating Spacers After Periprosthetic Joint Infection. *J Am Acad Orthop Surg Glob Res Rev*. 2023;7(2):e22.00284. doi: 10.5435/JAAOSGlobal-D-22-00284
25. Nahhas CR, Chalmers PN, Parvizi J, et al. Randomized Trial of Static and Articulating Spacers for Treatment of the Infected Total Hip Arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2021;36(6):2171-2177. doi: 10.1016/j.arth.2021.01.031
26. Tao J, Yan Z, Pu B, et al. Comparison of dynamic and static spacers for the treatment of infections following total knee replacement: a systematic review and meta-analysis. *J Orthop Surg Res*. 2022;17(1):348. doi: 10.1186/s13018-022-03238-7
27. Fiore M, Sambri A, Filippini M, et al. Are Static Spacers Superior to Articulated Spacers in the Staged Treatment of Infected Primary Knee Arthroplasty? A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Clin Med*. 2022;11(16):4854. doi: 10.3390/jcm11164854
28. Charette RS, Melnic CM. Two-Stage Revision Arthroplasty for the Treatment of Prosthetic Joint Infection. *Curr Rev Musculoskelet Med*. 2018;11(3):332-340. doi: 10.1007/s12178-018-9495-y
29. Mazzucchelli L, Rosso F, Marmotti A, et al. The use of spacers (static and mobile) in infection knee arthroplasty. *Curr Rev Musculoskelet Med*. 2015;8(4):373-382. doi: 10.1007/s12178-015-9293-8
30. Chen YP, Wu CC, Ho WP. Autoclaved metal-on-cement spacer versus static spacer in two-stage revision in periprosthetic knee infection. *Indian J Orthop*. 2016;50(2):146-153. doi: 10.4103/0019-5413.177587
31. Craig A, King SW, van Duren BH, et al. Articular spacers in two-stage revision arthroplasty for prosthetic joint infection of the hip and the knee. *EFORT Open Rev*. 2022;7(2):137-152. doi: 10.1530/EOR-21-0037
32. Jaenisch M, Ben Amar S, Babasiz M, et al. Commercially manufactured spacers for the treatment of periprosthetic joint infection of the hip. *Oper Orthop Traumatol*. 2023;35(3-4):179-187. doi: 10.1007/s00064-023-00802-0
33. Garcia-Oltra E, Garcia S, Bosch J, et al. Clinical results and complications of a two-stage procedure in hip infection using preformed antibiotic-loaded cement spacers. *Acta Orthop Belg*. 2019;85(4):516-524.

34. Rollo G, Logroscino G, Stomeo D, et al. Comparing the use of preformed vs hand-made antibiotic spacer cement in two stages revision of hip periprosthetic infection. *J Clin Orthop Trauma*. 2020;11(Suppl 5):S772-S778. doi: 10.1016/j.jcot.2020.08.003
35. Mederake M, Hofmann UK, Fink B. Clinical evaluation of a new technique for custom-made spacers in septic two-stage revision of total hip arthroplasties. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2023;143(8):5395-5403. doi: 10.1007/s00402-022-04748-z
36. Quayle J, Barakat A, Klasan A, et al. External validation study of hip peri-prosthetic joint infection with cemented custom-made articulating spacer (CUMARS). *Hip Int*. 2022;32(3):379-385. doi: 10.1177/1120700020960669
37. Noia G, Meluzio MC, Sircana G, et al. The use of custom-made antibiotic-loaded spacer in periprosthetic knee infection caused by XDR organism: case report and review of literature. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*. 2019;23(2 Suppl):19-25. doi: 10.26355/eurrev_201904_17470
38. Liu YB, Pan H, Chen L, et al. Total hip revision with custom-made spacer and prosthesis: A case report. *World J Clin Cases*. 2021;9(25):7605-7613. doi: 10.12998/wjcc.v9.i25.7605
39. Ohtsuru T, Morita Y, Murata Y, et al. Custom-made, antibiotic-loaded, acrylic cement spacers using a dental silicone template for treatment of infected hip prostheses. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2018;28(4):615-620. doi: 10.1007/s00590-017-2117-3
40. Kugelman D, Roof M, Egol A, et al. Comparing Articulating Spacers for Periprosthetic Joint Infection After Primary Total Hip Arthroplasty: All-Cement Versus Real-Component Articulating Spacers. *J Arthroplasty*. 2022;37(7S):S657-S663. doi: 10.1016/j.arth.2021.12.008
41. Kong L, Mei J, Ge W, et al. Application of 3D Printing-Assisted Articulating Spacer in Two-Stage Revision Surgery for Periprosthetic Infection after Total Knee Arthroplasty: A Retrospective Observational Study. *Biomed Res Int*. 2021;2021:3948638. doi: 10.1155/2021/3948638
42. Restrepo S, Smith EB, Hozack WJ. Excellent mid-term follow-up for a new 3D-printed cementless total knee arthroplasty. *Bone Joint J*. 2021;103-B(6 Supple A):32-37. doi: 10.1302/0301-620X.103B6.BJJ-2020-2096.R1
43. Allen B, Moore C, Seyler T, Gall K. Modulating antibiotic release from reservoirs in 3D-printed orthopedic devices to treat periprosthetic joint infection. *J Orthop Res*. 2020;38(10):2239-2249. doi: 10.1002/jor.24640
44. Cherny AA, Kovalenko AN, Kulyaba TA, Kornilov NN. A prospective study on outcome of patient-specific cones in revision knee arthroplasty. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2021;141(12):2277-2286. doi: 10.1007/s00402-021-04047-z
45. Lin TL, Tsai CH, Fong YC, et al. Posterior-Stabilized Antibiotic Cement Articulating Spacer With Endoskeleton-Reinforced Cam Reduces Rate of Post-Cam Mechanical Complications in Prosthetic Knee Infection: A Preliminary Study. *J Arthroplasty*. 2022;37(6):1180-1188.e2. doi: 10.1016/j.arth.2022.01.094
46. Razii N, Kakar R, Morgan-Jones R. The 'apple core' cement spacer for the management of massive bone loss in two-stage revision knee arthroplasty for infection. *J Orthop*. 2020;20:301-304. doi: 10.1016/j.jor.2020.05.011
47. Fu J, Xiang Y, Ni M, et al. The use of augmented antibiotic-loaded cement spacer in periprosthetic joint infection patients with acetabular bone defect. *J Orthop Surg Res*. 2020;15(1):448. doi: 10.1186/s13018-020-01831-2
48. Jung J, Schmid NV, Kelm J, et al. Complications after spacer implantation in the treatment of hip joint infections. *Int J Med Sci*. 2009;6(5):265-273. doi: 10.7150/ijms.6.265
49. Faschingbauer M, Reichel H, Bieger R, Kappe T. Mechanical complications with one hundred and thirty eight (antibiotic-laden) cement spacers in the treatment of periprosthetic infection after total hip arthroplasty. *Int Orthop*. 2015;39(5):989-994. doi: 10.1007/s00264-014-2636-z
50. Cai YQ, Fang XY, Huang CY, et al. Destination Joint Spacers: A Similar Infection-Relief Rate But Higher Complication Rate Compared with Two-Stage Revision. *Orthop Surg*. 2021;13(3):884-891. doi: 10.1111/os.12996
51. Du YQ, Zhou YG, Hao LB, et al. Mechanical complications with self-made, antibiotic-loaded cement articulating spacers in the treatment of the infected hip replacement. *Zhongguo Gu Shang*. 2017;30(5):436-440. (In Chinese) doi: 10.3969/j.issn.1003-0034.2017.05.009
52. Evans RP. Successful treatment of total hip and knee infection with articulating antibiotic components: a modified treatment method. *Clin Orthop Relat Res*. 2004;(427):37-46. doi: 10.1097/01.blo.0000143739.07632.7c
53. Tsai CH, Hsu HC, Chen HY, et al. A preliminary study of the novel antibiotic-loaded cement computer-aided design-articulating spacer for the treatment of periprosthetic knee infection. *J Orthop Surg Res*. 2019;14(1):136. doi: 10.1186/s13018-019-1175-0
54. Lin TL, Tsai CH, Fong YC, et al. Cruciate-Retaining vs Posterior-Stabilized Antibiotic Cement Articulating Spacers for Two-Stage Revision of Prosthetic Knee Infection: A Retrospective Cohort Study. *J Arthroplasty*. 2021;36(11):3750-3759.e2. doi: 10.1016/j.arth.2021.06.023
55. Corona PS, Barro V, Mendez M, et al. Industrially prefabricated cement spacers: do vancomycin- and gentamicin-impregnated spacers offer any advantage? *Clin Orthop Relat Res*. 2014;472(3):923-932. doi: 10.1007/s11999-013-3342-7
56. Zhang W, Fang X, Shi T, et al. Cemented prosthesis as spacer for two-stage revision of infected hip prostheses: a similar infection remission rate and a lower complication rate. *Bone Joint Res*. 2020;9(8):484-492. doi: 10.1302/2046-3758.98.BJR-2020-0173
57. Rava A, Bruzzone M, Cottino U, et al. Hip Spacers in Two-Stage Revision for Periprosthetic Joint Infection: A Review of Literature. *Joints*. 2019;7(2):56-63. doi: 10.1055/s-0039-1697608
58. Romanò CL, Romanò D, Albisetti A, Meani E. Preformed antibiotic-loaded cement spacers for two-stage revision of infected total hip arthroplasty. Long-term results. *Hip Int*. 2012;22 Suppl 8:S46-53. doi: 10.5301/HIP.2012.9570
59. D'Angelo F, Negri L, Binda T, et al. The use of a preformed spacer in two-stage revision of infected hip arthroplasties. *Musculoskelet Surg*. 2011;95(2):115-120. doi: 10.1007/s12306-011-0128-5
60. Burastero G, Basso M, Carrega G, et al. Acetabular spacers in 2-stage hip revision: is it worth it? A single-centre retrospective study. *Hip Int*. 2017;27(2):187-192. doi: 10.5301/hipint.5000446
61. Hsieh PH, Chen LH, Chen CH, et al. Two-stage revision hip arthroplasty for infection with a custom-made, antibiotic-loaded, cement prosthesis as an interim spacer. J Trauma. 2004;56(6):1247-1252. doi: 10.1097/01.ta.0000130757.53559.bf
62. Struelens B, Claes S, Bellemans J. Spacer-related problems in two-stage revision knee arthroplasty. *Acta Orthop Belg*. 2013;79(4):422-426.

63. Lau AC, Howard JL, Macdonald SJ, et al. The Effect of Subluxation of Articulating Antibiotic Spacers on Bone Defects and Degree of Constraint in Revision Knee Arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2016;31(1):199-203. doi: 10.1016/j.arth.2015.07.009
64. Sambri A, Fiore M, Rondinella C, et al. Mechanical complications of hip spacers: a systematic review of the literature. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2023;143(5):2341-2353. doi: 10.1007/s00402-022-04427-z
65. Ng KCG, Jeffers JRT, Beaulé PE. Hip Joint Capsular Anatomy, Mechanics, and Surgical Management. *J Bone Joint Surg Am*. 2019;101(23):2141-2151. doi: 10.2106/JBJS.19.00346
66. Rath B, Eschweiler J, Beckmann J, et al. Revision total hip arthroplasty : Significance of instability, impingement, offset and gluteal insufficiency. *Orthopade*. 2019;48(4):315-321. (In German) doi: 10.1007/s00132-019-03704-x
67. Saunders P, Shaw D, Sidharthan S, et al. Hip offset and leg-length restoration in revision hip arthroplasty with a monoblock, hydroxyapatite-coated stem. *Hip Int*. 2023;33(5):880-888. doi: 10.1177/11207000221117782
68. Tone S, Hasegawa M, Naito Y, et al. Comparison between two- and three-dimensional methods for offset measurements after total hip arthroplasty. *Sci Rep*. 2022;12(1):12644. doi: 10.1038/s41598-022-16952-3
69. Kim SS, Kim HJ, Shim CH. Relationships between Femoral Offset Change and Clinical Score following Bipolar Hip Arthroplasty in Femoral Neck Fractures. *Hip Pelvis*. 2021;33(2):78-86. doi: 10.5371/hp.2021.33.2.78
70. López RE, Gómez Aparicio S, et al. Comparison of the correction of the femoral offset after the use of a stem with modular neck and its monoblock homologue in total primary hip arthroplasty. *Rev Esp Cir Ortop Traumatol*. 2022;66(2):77-85. doi: 10.1016/j.recot.2021.08.003
71. Heckmann ND, Chung BC, Wier JR, et al. The Effect of Hip Offset and Spinopelvic Abnormalities on the Risk of Dislocation Following Total Hip Arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2022;37(7S):S546-S551. doi: 10.1016/j.arth.2022.02.028
72. Sebastian S, Liu Y, Christensen R, et al. Antibiotic containing bone cement in prevention of hip and knee prosthetic joint infections: A systematic review and meta-analysis. *J Orthop Translat*. 2020;23:53-60. doi: 10.1016/j.jot.2020.04.005
73. Bingham J. When and How Should I Use Antibiotic Cement in Primary and Revision Joint Arthroplasty? *J Arthroplasty*. 2022;37(8):1435-1437. doi: 10.1016/j.arth.2022.02.001
74. von Hertzberg-Boelch SP, Luedemann M, Rudert M, Steinert AF. PMMA Bone Cement: Antibiotic Elution and Mechanical Properties in the Context of Clinical Use. *Biomedicines*. 2022;10(8):1830. doi: 10.3390/biomedicines10081830
75. Lewis G. Antibiotic-free antimicrobial poly (methyl methacrylate) bone cements: A state-of-the-art review. *World J Orthop*. 2022;13(4):339-353. doi: 10.5312/wjo.v13.i4.339
76. Gandhi R, Backstein D, Zywiel MG. Antibiotic-laden Bone Cement in Primary and Revision Hip and Knee Arthroplasty. *J Am Acad Orthop Surg*. 2018;26(20):727-734. doi: 10.5435/JAAOS-D-17-00305
77. Wall V, Nguyen TH, Nguyen N, Tran PA. Controlling Antibiotic Release from Polymethylmethacrylate Bone Cement. *Biomedicines*. 2021;9(1):26. doi: 10.3390/biomedicines9010026
78. Bouji N, Wen S, Dietz MJ. Intravenous antibiotic duration in the treatment of prosthetic joint infection: systematic review and meta-analysis. *J Bone Jt Infect*. 2022;7(5):191-202. doi: 10.5194/jbji-7-191-2022
79. Tschon M, Sartori M, Contartese D, et al. Use of Antibiotic Loaded Biomaterials for the Management of Bone Prosthesis Infections: Rationale and Limits. *Curr Med Chem*. 2019;26(17):3150-3174. doi: 10.2174/0929867325666171129220031
80. Badge H, Churches T, Xuan W, et al. Timing and duration of antibiotic prophylaxis is associated with the risk of infection after hip and knee arthroplasty. *Bone Jt Open*. 2022;3(3):252-260. doi: 10.1302/2633-1462.33.BJO-2021-0181.R1
81. Levack AE, Cyphert EL, Bostrom MP, et al. Current Options and Emerging Biomaterials for Periprosthetic Joint Infection. *Curr Rheumatol Rep*. 2018;20(6):33. doi: 10.1007/s11926-018-0742-4
82. Anagnostakos K, Becker SL, Sahan I. Antifungal-Loaded Acrylic Bone Cement in the Treatment of Periprosthetic Hip and Knee Joint Infections: A Review. *Antibiotics* (Basel). 2022;11(7):879. doi: 10.3390/antibiotics11070879
83. Mensah LM, Love BJ. A meta-analysis of bone cement mediated antibiotic release: Overkill, but a viable approach to eradicate osteomyelitis and other infections tied to open procedures. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl*. 2021;123:111999. doi: 10.1016/j.msec.2021.111999
84. Mariaux S, Furustrand Tafin U, Borens O. Diagnosis of Persistent Infection in Prosthetic Two-Stage Exchange: Evaluation of the Effect of Sonication on Antibiotic Release from Bone Cement Spacers. *J Bone Jt Infect*. 2018;3(1):37-42. doi: 10.7150/jbji.23668
85. Klinder A, Zaatreh S, Ellenrieder M, et al. Antibiotics release from cement spacers used for two-stage treatment of implant-associated infections after total joint arthroplasty. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*. 2019;107(5):1587-1597. doi: 10.1002/jbm.b.34251

Статья поступила 22.02.2024; одобрена после рецензирования 17.06.2024; принята к публикации 01.08.2024.

The article was submitted 22.02.2024; approved after reviewing 17.06.2024; accepted for publication 01.08.2024.

Информация об авторах:

Булат Шамильевич Минасов — доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой, B.minasov@ya.ru, https://orcid.org/0000-0002-1733-9823;

Расуль Радикович Якупов — доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры, rasulr@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-7650-1926;

Владислав Николаевич Акбашев — ассистент кафедры, Vlad-akb@mail.ru. https://orcid.org/0009-0000-7070-217X;

Азат Ринатович Билялов — кандидат медицинских наук, доцент, доцент кафедры, azat.bilyalov@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-1273-9430;

Тимур Булатович Минасов — доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры, m004@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-1916-3830;

Марат Мазгарович Валеев — доктор медицинских наук, доцент, профессор кафедры, valeevmm@rambler.ru;

Тагир Рыфатович Мавлютов — доктор медицинских наук, доцент, профессор кафедры, mavlutovtagir@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-5398-9356;

Киемиддин Камолиддинович Каримов — кандидат медицинских наук, доцент, Karimov-doktor@mail.ru;
Азамат Радикович Бердин — студент 3 курса, Limoroshow@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-7624-5528.

Information about the authors:

Bulat Sh. Minasov — Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of Department, B.minasov@ya.ru, https://orcid.org/0000-0002-1733-9823;
Rasul R. Yakupov — Doctor of Medical Sciences, Professor, Professor of the Department, rasulr@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-7650-1926;
Vladislav N. Akbashev — Assistant of the Department, Vlad-akb@mail.ru. https://orcid.org/0009-0000-7070-217X;
Azat R. Bilyalov — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department, azat.bilyalov@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-1273-9430;
Timur B. Minasov — Doctor of Medical Sciences, Professor, Professor of the Department, m004@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-1916-3830;
Marat M. Valeev — Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department, valeevmm@rambler.ru;
Tagir R. Mavlyutov — Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department, mavlutovtagir@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-5398-9356;
Kiemiddin K. Karimov — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Karimov-doktor@mail.ru;
Azamat R. Berdin — 3rd year student, Limoroshow@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-7624-5528.