

## Этапное резэндопротезирование коленного сустава у пациентов с перипротезной инфекцией: когда остановиться?

П.М. Преображенский, С.А. Божкова, А.В. Каземирский

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена»  
Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия

### Реферат

**Актуальность.** Оценка потенциального риска рецидива у пациентов с перипротезной инфекцией (ППИ) коленного сустава служит основанием для разработки дальнейшей тактики хирургического лечения и может повысить его эффективность.


**Цель исследования** — разработать и апробировать в клинической практике алгоритм тактики этапного хирургического лечения пациентов с перипротезной инфекцией после первичного эндопротезирования коленного сустава.

**Материал и методы.** Ретроспективная часть исследования основана на сведениях о 161 пациенте с ППИ после эндопротезирования коленного сустава, прошедшем этапное лечение за период с января 2007 по январь 2017 г. С целью уточнения наличия дополнительных факторов риска рецидива ППИ пациентов разделили на две группы сравнения: группа 1 — пациенты с рецидивами ППИ после выполнения первого этапа лечения (48 человек); группа 2 — пациенты с ППИ, успешно прошедшие этапное лечение без рецидивов инфекции (113 человек). В ходе проспективного анализа выполнили апробацию разработанного алгоритма на 100 пациентах с ППИ после первичного эндопротезирования коленного сустава.

**Результаты.** На ретроспективном массиве данных при помощи метода деревьев классификации определили весомость каждого фактора риска, интервальные значения, характеризующие вероятность неудачи предстоящей операции и аналогичный показатель для суммарного балла риска рецидива (СБРР), который позволит применить на практике полученные данные. Итогом ретроспективного исследования стал алгоритм, основанный на СБРР, а также дополнительных факторах, позволяющий стратифицировать вероятность неудачного исхода. Из 100 пациентов проспективной группы с ППИ коленного сустава после имплантации спейсера эрадикация инфекции наблюдалась у 95 пациентов — эффективность 95,0%. Из 5 пациентов с рецидивом ППИ высокий риск (СБРР 4) зарегистрировали в 2 случаях, исходом в одном случае был артродез коленного сустава, остальные успешно прошли этапное лечение. Таким образом, купирование инфекции достигнуто в 88%, рецидив — в 12% случаев.

**Заключение.** Клиническая апробация предложенного алгоритма помогла выбрать оптимальную тактику лечения в неоднозначных клинических ситуациях, что повысило эффективность этапного лечения. Однако проспективная часть исследования показала ограниченную прогностическую эффективность предложенного алгоритма, что требует проведения дальнейших исследований, по-видимому, включающих более широкий спектр клинико-лабораторных, клинических и инструментальных данных.

**Ключевые слова:** перипротезная инфекция; ревизионное эндопротезирование коленного сустава; коморбидность; факторы риска.

 **Для цитирования:** Преображенский П.М., Божкова С.А., Каземирский А.В. Этапное резэндопротезирование коленного сустава у пациентов с перипротезной инфекцией: когда остановиться? *Травматология и ортопедия России*. 2025;31(4):28-40. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17733>.

 Преображенский Петр Михайлович; e-mail: [Pedrro@yandex.ru](mailto:Pedrro@yandex.ru)

Рукопись получена: 23.06.2025. Рукопись одобрена: 01.10.2025. Статья опубликована онлайн: 16.10.2025.

© Эко-Вектор, 2025



## Staged Revision Knee Arthroplasty in Patients with Periprosthetic Joint Infection: When to Stop?

Petr M. Preobrazhensky, Svetlana A. Bozhkova, Alexander V. Kazemirsky

Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia

**Background.** Assessing the potential risk of recurrence in patients with periprosthetic joint infection (PJI) of the knee serves as the basis for determining the optimal surgical treatment strategy and may increase its effectiveness.

**The aim of the study** was to develop and clinically validate an algorithm for staged surgical treatment of patients with periprosthetic joint infection following primary total knee arthroplasty.

**Methods.** The retrospective part of the study was based on the data from 161 patients with PJI after total knee arthroplasty who underwent staged treatment between January 2007 and January 2017. To identify additional risk factors for recurrence, patients were divided into two comparison groups: Group 1 — patients with recurrent PJI after the first stage of treatment (n = 48); Group 2 — patients with PJI who successfully completed staged treatment without recurrence (n = 113). Subsequently, a prospective validation of the developed algorithm was performed in 100 patients with PJI after primary total knee arthroplasty.

**Results.** Using classification tree analysis on the retrospective dataset, we determined the weight of each risk factor, the interval thresholds characterizing the likelihood of surgical failure, and an analogous indicator for the total recurrence risk score (TRRS), which allows for the practical application of the obtained data. The resulting algorithm, based on the TRRS and additional factors, enabled the stratification of the probability of treatment failure. Among 100 patients in the prospective cohort with knee PJI after spacer implantation, infection eradication was achieved in 95 patients (effectiveness = 95.0%). Among the 5 patients with recurrent PJI, a high risk (TRRS = 4) was identified in 2 cases; one patient required knee arthrodesis, and the remaining patients successfully completed staged treatment. Overall, infection eradication was achieved in 88% of cases, while recurrence occurred in 12%.

**Conclusion.** Clinical validation of the proposed algorithm helped determine the optimal treatment strategy in controversy clinical situations, thereby improving the effectiveness of staged therapy. However, the prospective part of the study demonstrated limited predictive performance of the algorithm, indicating the need for further research, likely including a broader range of clinical, laboratory, and instrumental data.

**Keywords:** periprosthetic joint infection; revision total knee arthroplasty; comorbidity; risk factors.

**Cite as:** Preobrazhensky P.M., Bozhkova S.A., Kazemirsky A.V. Staged Revision Knee Arthroplasty in Patients with Periprosthetic Joint Infection: When to Stop? *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2025;31(4):28-40. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17733>.

✉ Petr M. Preobrazhensky; e-mail: Pedrro@yandex.ru

Submitted: 23.06.2025. Accepted: 01.10.2025. Published online: 16.10.2025.

© Eco-Vector, 2025

## ВВЕДЕНИЕ

Оценка потенциального риска рецидива перипротезной инфекции (ППИ) коленного сустава служит критерием для разработки дальнейшей тактики хирургического лечения и может повысить его эффективность, а также оградить хирурга от заведомо рискованного вмешательства. Ранее мы выполнили ретроспективный анализ пациентов с перипротезной инфекцией (ППИ) коленного сустава (КС), определили структуру, частоту и степень выраженности сопутствующих заболеваний, рассчитали индекс коморбидности (ИК). Этот показатель позволил выявить категорию пациентов с высокой вероятностью риска рецидива [1]. Однако в литературе описан ряд факторов риска манифестации и рецидива ППИ, не связанных с коморбидностью пациентов. К таким факторам относятся многократные оперативные вмешательства на коленном суставе, предшествовавшие первичному эндопротезированию, наличие трудноизлечимых возбудителей [2], а также исходный диагноз, послуживший причиной первичного вмешательства [3], продолжительность госпитализации (более 35 дней) [4] и тип имплантированного на этапе санации антимикробного цементного спейсера [5].

В ряде случаев неоднократные попытки этапного реэндопротезирования пациентов с ППИ КС с наличием многочисленных факторов риска заведомо обречены на неудачу, и каждая последующая санация или реэндопротезирование приводят лишь к усугублению коморбидности пациента, более значимой потере костной массы, рубцовой деформации мягких тканей в области оперативного вмешательства, как единственно возможного альтернативного вмешательства, позволяющего сохранить оперированную конечность.

**Цель исследования** — разработать и апробировать в клинической практике алгоритм тактики этапного хирургического лечения пациентов с перипротезной инфекцией после первичного эндопротезирования коленного сустава.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование состояло из ретро- и проспективной частей.

Ретроспективная часть исследования основана на сведениях о 161 пациенте с ППИ после эндопротезирования КС, прошедших этапное лечение в ФГБУ «НМИЦ ТО им Р.Р. Вредена» Минздрава России за период с января 2007 по январь 2017 г., собранных в ходе диссертационного исследования первого автора\*. Медиана срока наблюдения составила 5,6 [2,4; 7,2] года, медиана возраста — 61,4

[51; 73] года. Подробная характеристика когорты представлена в ранее опубликованном исследовании [1]. С целью уточнения дополнительных факторов риска рецидива ППИ пациентов разделили на две группы сравнения:

- группа 1 ( $n = 48$ ) — пациенты с рецидивами ППИ после выполнения первого этапа лечения
- группа 2 ( $n = 113$ ) — пациенты с ППИ, успешно прошедшие этапное лечение без рецидивов инфекции.

Для диагностики ППИ коленного сустава применяли алгоритм, принятый на Международной согласительной конференции 2013 г. [6].

Помимо данных о диагностической значимости ИК, полученных в ходе предыдущего исследования, мы проанализировали дополнительные факторы риска, не освещенные в ранее опубликованном исследовании [1]. Среди них были: койко-день, перенесенный ранее вирусный гепатит В и С, тромбофлебит, рожистое воспаление, варикозное расширение вен, прием гормональных и цитостатических препаратов, наличие инфекции мочевыводящих путей, предшествующие первичному эндопротезированию оперативных вмешательств на суставе, а также тип выявленного возбудителя. При помощи метода деревьев классификации определили весомость каждого показателя, интервальные значения, характеризующие вероятность неудачи предстоящей операции и аналогичный показатель для суммарного балла риска рецидива (СБРР), который позволит применить на практике полученные данные. Дополнительно при помощи классификации AORI интраоперационно оценили костные дефекты метаэпифизов бедренной и большеберцовой костей, сформировавшиеся в результате инфекционного процесса, а также после удаления компонентов эндопротеза [7].

Итогом ретроспективного исследования стал алгоритм, основанный на СБРР, а также дополнительных факторов, позволяющий стратифицировать вероятность неудачного исхода и определить целесообразность последующих хирургических вмешательств.

В ходе проспективного анализа выполнили апробацию разработанного алгоритма на 100 пациентах с ППИ после первичного эндопротезирования коленного сустава в период с февраля 2018 г. по апрель 2022 г. Медиана наблюдения составила 2,9 лет [1,1; 4,2]. Медиана возраста пациентов исследуемой группы составила 65 лет [59; 75].

В ходе предоперационного обследования у всех пациентов анализировали структуру сопутствующей патологии и подсчитывали ИК, после этого

\* Преображенский П.М. Пути оптимизации ревизионного эндопротезирования коленного сустава у пациентов с перипротезной инфекцией. Дис. ... канд. мед. наук. Санкт-Петербург, 2017. 163 с.

выявляли наличие или отсутствие дополнительных факторов риска. Далее, опираясь на количество полученных баллов по ИК и шкалы СБРР, пациентов стратифицировали к категории минимального, среднего или высокого риска рецидива ППИ. На основе полученной информации определяли тактику хирургического лечения в случае развития рецидива.

Для определения эффективности алгоритма определяли долю пациентов с купированной ППИ на каждом этапе лечения. За неудачу принимали переустановку спейсера после его первичной имплантации. Об эффективности этапа реэндопротезирования судили по результатам очного осмотра или телефонного анкетирования не ранее чем через 2 года после окончания этапного лечения. Летальный исход вне зависимости от его причин был расценен как негативный исход лечения.

### Статистический анализ

Полученные в процессе выполнения работы клинические результаты анализировали средствами программной системы STATISTICA 10. Сопоставление частотных характеристик (пол, тип ППИ, коморбидность, тип спейсера и исход) качественных показателей проводили с помощью непараметрических методов  $\chi^2$ ,  $\chi^2$  Пирсона, критерия Фишера. Сравнение количественных параметров (возраст, длительность стационарного лечения) в исследуемых группах осуществляли с использованием критериев Манна–Уитни. В качестве центральной характеристики использовали медиану (Me), а в качестве мер рассеяния нижний и верхний квартили [ $Q_1$ ;  $Q_3$ ]. Различия между группами считали статистически значимыми при  $p < 0,05$ .

Для определения значимости факторов и пороговых значений в предложенной в объединенной прогностической шкале был использован метод деревьев классификации.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Ретроспективная часть исследования

После полученной информации о влиянии индекса коморбидности на вероятность развития рецидива инфекции был проанализирован ряд других факторов с использованием аналогичной ретроспективной выборки. Наиболее весомыми были: продолжительность пребывания пациента в стационаре на этапе имплантации спейсера и его тип, эпизоды рожистого воспаления или тромбоза оперированной конечности, перенесенный вирусный гепатит В или С, резистентность возбудителя. Метод деревьев классификации позволил выявить значимость вышеупомянутых факторов (табл. 1).

На следующем этапе были определены интервальные значения, благодаря которым можно судить о степени предполагаемого риска хирургического вмешательства, каждому фактору присвоены пороговые критерии (табл. 2)

Было подсчитано соотношение пациентов различных категорий риска среди всех пациентов с рецидивами ППИ и успешно прошедших двухэтапное лечение. При СБРР, когда риск расценивался как средний, исход двухэтапного лечения в большинстве случаев был положительным (69,9%) ( $p = 0,003$ ). Пациенты, у которых развивался рецидив ППИ, в 66,7% ( $p = 0,0001$ ) принадлежали к категории высокого риска по СБРР (4–9 баллов).

Медиана СБРР у успешно пролеченных пациентов составила 1,2 [0; 4], у пациентов с рецидивами — значительно выше — 4,1 [1; 8]. Выраженную взаимосвязь неуспеха этапного лечения со значением СБРР характеризует коэффициент корреляции гамма ( $R_\gamma = +0,95$ ). Вероятность развития рецидива инфекции (OR) в случае низкого его риска в соответствии с СБРР (1–3 балла) больше в 9,2 раза по сравнению с пациентами, у которых СБРР равен 0 (табл. 3).

Таблица 1

Факторы риска рецидива ППИ

Фактор	Значимость	$p$
Индекс коморбидности (ИК)	1	0,003
Продолжительность стационарного лечения, койко-день	2	0,010
Тромбофлебит	3	0,010
Вирусные гепатиты В и С	4	0,010
Тип спейсера	5	0,010
Рожистое воспаление	6	0,020
Предшествующие операции	7	0,020
Грамотрицательные микроорганизмы, микробные ассоциации	8	0,030

Таблица 2

## Пороговые значения показателей и суммарного балла риска рецидива (СБРР)

Параметр	Пороговые критерии для СБРР
Индекс коморбидности	0–7 = 0; 8–12 = 1; Выше 12 = 2
Продолжительность стационарного лечения, койко-день	0–34 = 0; Более 34 = 1
Тромбофлебит	Нет = 0; Есть = 1
Вирусный гепатит В и С	Нет = 0; Есть = 1
Тип спейсера	Артикулирующий = 0; неартикулирующий = 1
Рожистое воспаление	Нет = 0; Есть = 1
Предшествующие операции	Нет = 0; Есть = 1
Грам(-) микроорганизмы, микробные ассоциации	Грам(+) = 0; Грам(-) или микробная ассоциация = 1
Итоговый балл	
СБРР = 0 баллов — низкий риск рецидива ППИ	
СБРР = 1–3 балла — средний риск рецидива	
СБРР = 4–9 балла — высокий риск рецидива	

Таблица 3

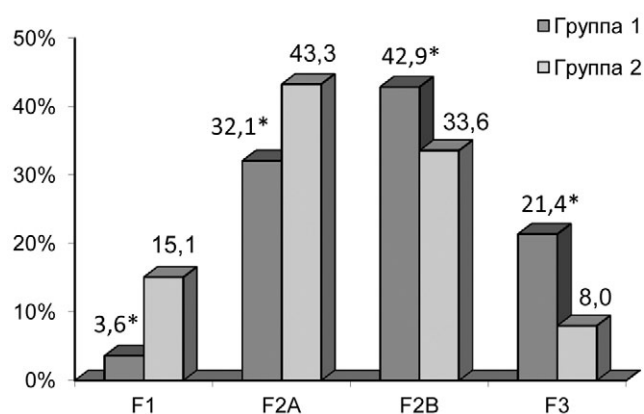
## Распределение по категориям риска внутри каждой группы исследования, n (%)

Риск	Группа 1	Группа 2	p (между группами)
Низкий	0 (0)	32 (28,3)	0,0001
Средний	16 (33,3)	79 (69,9)	0,0300
Высокий	32 (66,7)	2 (1,8)	0,0001
Итого	100%	100%	

Наличие так называемой серой зоны (средний риск рецидива) позволило предположить, что существуют дополнительные факторы, не попавшие в перечень статистически значимых, но при этом играющие существенную роль в развитии рецидива.

Сравнительный анализ структуры микробных возбудителей показал, что у пациентов с рецидивами в 2 раза чаще встречались MRSA (40% vs 17,7%) ( $p = 0,086$ ). В то же время процент MRSE в обеих группах не имел значимых различий. Трудноизлечимые возбудители, а именно *Corynebacterium* spp., fam. *Enterobacteriaceae* и микробные ассоциации (22,6 vs 10,6%;  $p = 0,05$ ) чаще были выделены у пациентов с эпизодами рецидивов. Более того, у них более чем в 2 раза чаще (18,8% vs 6,2%) в микробной ассоциации присутствовали Грам(-) возбудители.

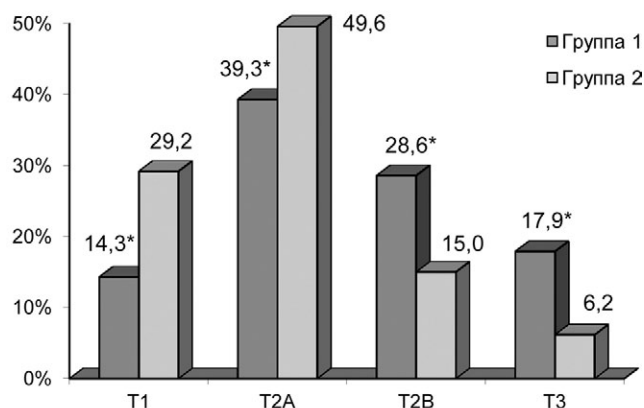
Оценка костных дефектов метаэпифизов бедренной и большеберцовой костей после удаления компонентов эндопротеза по классификации AORI показала, что переустановка антимикробного спейсера у значимой доли пациентов ( $p = 0,05$ ) приводит к критической потере костной массы: дефекты типов 2В и 3 как бедренной (F) (у 64,3% пациентов), так и большеберцовой (Т) костей (46,5% пациентов) (рис. 1, 2).



**Рисунок 1.** Дефекты метаэпифиза бедренной кости после этапа санации у пациентов групп сравнения  
\* —  $p = 0,05$  в сравнении с группой 2

**Figure 1.** Femoral metaphyseal defects after spacer implantation in patients from 1 and 2 groups  
\* —  $p = 0.05$  compared with group 2





**Рисунок 2.** Дефекты метаэпифиза большеберцовой кости после этапа санации у пациентов групп сравнения

\* –  $p = 0,05$  в сравнении с группой 2

**Figure 2.** Tibial metaphyseal defects after spacer implantation in patients from 1 and 2 groups

\* –  $p = 0.05$  compared with group 2

### Описание алгоритма

Анализ ретроспективного массива данных, в ходе которого были изучена частота встречаемости различных факторов риска у пациентов с рецидивами

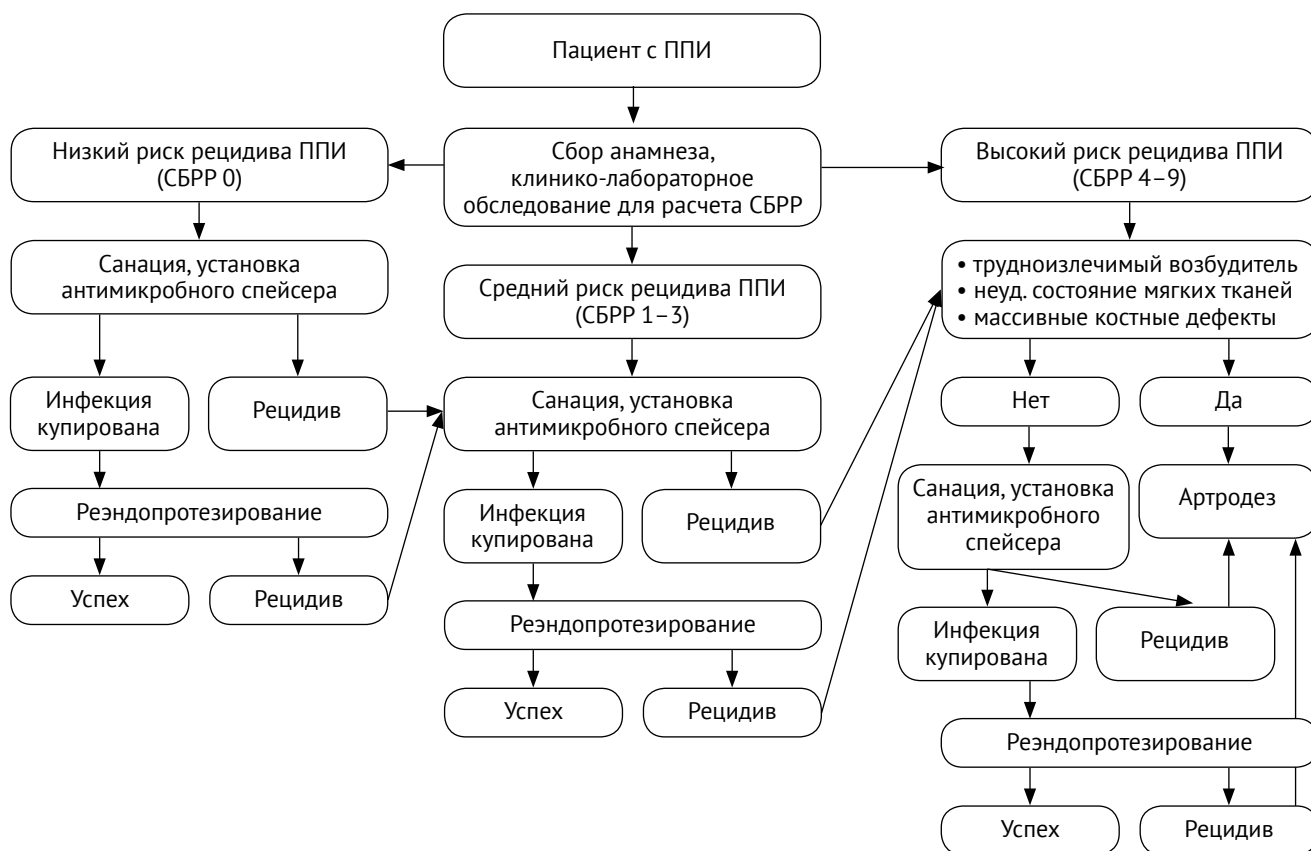
ППИ и без него, стал основанием для разработки и формулировки алгоритма, благодаря которому при поступлении пациента с ППИ можно в зависимости от клинической ситуации выбрать ту или иную тактику хирургического лечения (рис. 3).

В день госпитализации пациента после клинико-лабораторного обследования определяли его категорию риска рецидива при помощи калькулятора СБРР.

Если риск рецидива инфекции по сумме баллов соответствовал низкому (СБРР = 0), считали допустимым сделать две попытки радикальной хирургической обработки с имплантацией антимикробного спейсера. Если переустановка антимикробного спейсера потерпела неудачу, последующие действия выполняли в зависимости от присутствия у пациента нижеперечисленных факторов:

- трудноизлечимый возбудитель ППИ и/или микробная ассоциация с Грам(-) патогенами;
- неудовлетворительное состояние мягких тканей в области оперативного вмешательства;
- выраженные костные дефекты.

При наличии одного или более критериев пациенту рекомендовали после очередной санации выполнить артродезирование коленного сустава



**Рисунок 3.** Алгоритм выбора хирургической тактики этапного лечения ППИ коленного сустава

**Figure 3.** Surgical algorithm for staged treatment of periprosthetic knee joint infection

в связи с бесперспективностью дальнейшего этапного хирургического лечения. В случае если дополнительных факторов не было выявлено, предпринимали еще одну попытку имплантации спейсера с дальнейшим реэндопротезированием. При неудаче было рекомендовано артродезирование. Если рецидив развивался после ревизионного эндопротезирования, также допускалась еще одна попытка этапного хирургического лечения, при негативном исходе выполняли артродез.

В случае среднего риска рецидива ППИ (СБРР 1–3) после первой попытки хирургического лечения и последующего рецидива на любом этапе дальнейшая санация и реимплантация могла быть выполнена только, если не было факторов, изложенных выше.

Дополнительные критерии оценивали при первичном поступлении пациентов с ППИ в случае высокого риска рецидива (СБРР 4–9). Если они не были выявлены, можно было предпринять одну попытку санации с дальнейшим реэндопротезированием. Наличие же хотя бы одного фактора являлось поводом к выполнению пациенту артродеза после санирующего вмешательства.

### Перспективная часть исследования

Среди 100 пациентов с ППИ после первичного эндопротезирования коленного сустава, включенных в проспективную часть исследования, преобладали женщины ( $p = 0,03$ ). Медиана возраста пациентов составила 65 лет [59; 75], гендерное распределение было сопоставимо с пациентами ретроспективной части исследования (табл. 4).

Сопоставимыми оказались и остальные показатели, отраженные в таблице 4. Поздняя гематогенная инфекция была характерна для подавляющей доли пациентов, также как и идиопатический гонартроз как причина первичного эндопротезирования. Абсолютному большинству пациентов проспективной группы был имплантирован артикулирующий антимикробный спейсер (96 из 100).

В целом структура возбудителей у пациентов ретро- и проспективной частей исследования была сопоставимой. Обращает на себя внимание лишь большая доля метициллин-резистентного штамма *S. epidermidis* (MRSE) — 61,7%, но это не оказало влияния на эффективность санации (20 успешно пролеченных пациентов и один рецидив) (табл. 5).

Таблица 4

Характеристика пациентов,  $n$  (%)

Параметр	Ретроспективная часть исследования ( $n = 161$ )	Перспективная часть исследования ( $n = 100$ )	$p$
<b>Пол</b>			
Мужчины	41 (25,5)	34 (34)	0,03
Женщины	120 (74,5)	66 (66)	
<b>Тип ППИ</b>			
Ранняя	46 (28,5)	20 (20)	0,04
Отсроченная	48 (29,9)	29 (29)	
Поздняя	67 (41,6)	51 (51)	
<b>Исходная патология</b>			
Идиопатический гонартроз	103 (64,0)	69 (69)	0,46
Посттравматический гонартроз	37 (23,0)	21 (21)	
Ревматоидный артрит	21 (13,0)	10 (10)	

Таблица 5

Структура возбудителей ППИ у пациентов про- и ретроспективной частей исследования,  $n$  (%)

Возбудитель	Перспективная часть исследования	Ретроспективная часть исследования	$p$
<i>Staphylococcus epidermidis</i>	39 (30,7)	63 (32,6)	0,72
<i>Staphylococcus aureus</i>	31 (24,4)	62 (32,1)	0,13
Другие КоНС	10 (7,9)	20 (10,4)	0,45
<i>Streptococcus</i> sp.	5 (3,9)	4 (2,1)	0,44
fam. <i>Enterobacteriaceae</i>	8 (6,3)	12 (6,2)	0,97
<i>Enterococcus</i> sp.	11 (8,7)	12 (6,2)	0,40
Неферментирующие	6 (4,7)	3 (1,6)	0,11
<i>Corynebacterium</i>	3 (2,4)	5 (2,6)	0,91
<i>Propionibacterium</i> sp.	10 (7,9)	5 (2,6)	0,03
<i>Candida</i> sp.	0 (0)	1 (0,5)	0,26
Другие	4 (3,1)	6 (3,1)	0,99
Всего	127 (100)	193 (100)	0,72

У пациентов проспективной части исследования медиана ИК на момент поступления составила 9,3 балла. Значения индекса, соответствующие различным степеням риска, представлены на рисунке 4а.

Медиана СБРР в проспективной когорте пациентов была 1,2 балла, что также соответствует умеренному риску рецидива. Трактовка результатов с использованием ключа СБРР по степеням риска отображена на рисунке 4б.

Летальный исход, зарегистрированный в 6 случаях, не был связан с инфекционным процессом. Медиана ИК у этих пациентов была 10,3 балла, причем у 5 из 6 пациентов зарегистрирована субкомпенсированная сердечно-сосудистая патология, а также ожирение 3-й степени и более. Медиана СБРР у вышеупомянутой когорты пациентов составила 2 балла.

Из 100 пациентов с ППИ КС после первого этапа лечения успех был достигнут у 95 пациентов — эффективность 95,0%. Из 5 пациентов с неблагоприятным исходом высокий риск рецидива (СБРР 4) был установлен в 2 случаях. Из них одному пациенту выполнен артродез коленного сустава как оптимальное решение для сохранения опороспособности нижней конечности с учетом сохранности мягких тканей в области оператив-

ного вмешательства, отсутствия массивных костных дефектов и возбудителя, поддающегося антибактериальной терапии. Еще одному пациенту в связи с отсутствием дополнительных факторов риска была выполнена успешная санация с переустановкой антимикробного цементного спейсера и последующим реэндопротезированием.

У оставшихся трех пациентов СБРР соответствовал умеренному риску при отсутствии дополнительных факторов риска — этим пациентам были успешно выполнены переустановка спейсера и реэндопротезирование.

Таким образом, купирование инфекции достигнуто в 88%, рецидив — в 12% случаев. Умерло по причинам, не связанным с ППИ, 6 пациентов (рис. 5).

В дальнейшем подсчитана эффективность эрадикации инфекции в ретро- и проспективной когортах в зависимости от риска рецидива, оцененного по сумме полученного СБРР (табл. 6).

Если в ретроспективной группе прослеживалась взаимосвязь между эффективностью эрадикации инфекции и категорией риска рецидива ППИ, то у пациентов проспективной группы эффективность при низком и среднем риске рецидива была сопоставимой.

Степень риска (ИК)



Риск СБРР



**Рисунок 4.** Распределение пациентов по степени риска:

а — по индексу коморбидности; б — в соответствии с ключом СБРР

**Figure 4.** Patients' distribution by risk level:

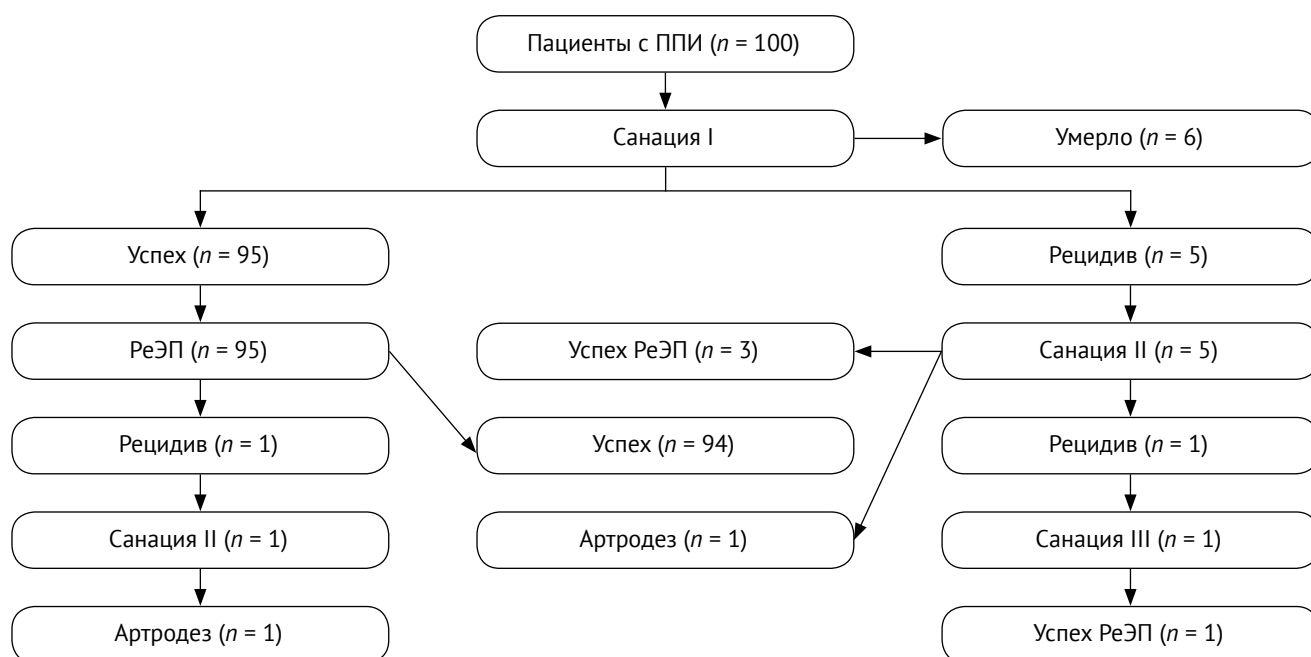
а — according to the comorbidity index; б — according to the total risk score for recurrence prediction

Таблица 6

**Эффективность эрадикации ППИ в зависимости от значения СБРР, %**

Риск по СБРР	Ретроспективная часть исследования	Проспективная часть исследования	p (между группами)
Низкий	100	95,6	0,5300
Средний	83,2	94,2	0,0200
Высокий	5,9	83,6	0,0001





**Рисунок 5.** Результаты этапного лечения ППИ у пациентов проспективной части исследования

**Figure 5.** Outcomes of staged treatment of periprosthetic joint infection in patients from the prospective part of the study

## ОБСУЖДЕНИЕ

Определение категорий пациентов с повышенным риском развития ППИ после первичного эндопротезирования является неотъемлемой частью алгоритма предоперационного обследования. С учетом того, что большая доля известных факторов риска является модифицируемой, можно заблаговременно минимизировать их потенциальное негативное влияние на итоговый результат эндопротезирования. С этой целью по итогам согласительной конференции по ППИ после определения наиболее значимых факторов был разработан калькулятор риска, позволяющий отнести пациента к той или иной категории риска манифестации ППИ [8].

В дальнейшем специалисты стали обращать все большее внимание на факторы, влияющие на риск развития рецидива ППИ после выполнения санирующего вмешательства и этапа ревизионного эндопротезирования. Помимо анализа структуры этих факторов, степени их влияния на эффективность эрадикации инфекции, а также сравнения с факторами риска манифестации, одним из наиболее важных является ответ на вопрос: какое количество попыток этапного лечения врач может предпринять после первого эпизода рецидива инфекционного процесса?

В ходе анализа влияния степени коморбидности на результаты этапного лечения ППИ ранее нами был установлен ряд факторов, значимо чаще присутствующих у пациентов с рецидива-

ми ППИ [1]. Например, мы выяснили, что наличие у пациента в анамнезе тромбоза конечности вносит свой вклад в развитие рецидива инфекции, что подтверждают данные С. Klemm с соавторами, установивших, что статус конечности 3 по McPherson (сосудистая патология конечности, наличие множественных послеоперационных рубцов, свищевого хода, регионарный болевой синдром) является наиболее весомым при использовании калькулятора, предложенного группой авторов [2]. Более того, свой вклад в усугубление статуса оперированной конечности вносят предшествующие первичному эндопротезированию хирургические вмешательства на сегменте и их количество. Вышеупомянутыми авторами доказано негативное влияние наличия в анамнезе более трех открытых операций. Наше исследование подтвердило эту закономерность, и этот фактор учитывали при подсчете СБРР.

Аналогичный эффект оказывают попытки санирующих вмешательств с сохранением компонентов эндопротеза после манифестации инфекционного процесса. А. Rajgopal с соавторами показали, что дальнейшее этапное лечение сопровождается большей частотой рецидивов ППИ, нарушений течения раневого процесса и худшими функциональными результатами [9]. Прогрессивное снижение эффективности каждой последующей санирующей операции было показано нами в ходе первой части исследования [1].

Продолжительность госпитализации пациентов, которым планируется выполнение первичного эндопротезирования, в дооперационном периоде для оптимизации сопутствующих заболеваний или в ожидании результатов бактериологического исследования положительно коррелирует с повышенным риском манифестации ППИ, причем авторы не обозначают конкретных сроков, превысив которые риск значительно увеличивается [10, 11]. Особенно опасная ситуация складывается, когда речь идет о переводе пациента из другого стационара, при этом пожилой возраст является в этой ситуации отягчающим фактором [12]. Полученные нами данные позволяют сделать вывод о том, что длительное пребывание пациентов в стационаре увеличивает вероятность не только манифестации, но и рецидива ППИ, причем статистический анализ показал, что период госпитализации более 34 дней существенно снижает вероятность положительного исхода. Реорганизация предоперационной подготовки, а именно выполнение бактериологического анализа и коррекция сопутствующей патологии на амбулаторном этапе, могла бы снизить сроки госпитализации и потенциальные риски.

Необходимость имплантации блоковидного антимикробного цементного спейсера возникает в сложной клинической ситуации — при дефекте мягких тканей, наличии массивных костных дефектов, повреждении разгибательного аппарата — и сопровождается высокой травматичностью оперативного вмешательства, вследствие чего снижается эффективность санирующей операции. Метаанализ J.P. Sina с соавторами, включивший 41 исследование, доказал, что использование неартикулирующих спейсеров повышает риск рецидива инфекции и других послеоперационных осложнений (переломы конструкций, перипротезные переломы, неврологические нарушения) [13]. По-видимому, решение об имплантации подобных конструкций должно приниматься строго по показаниям, когда установка артикулирующего спейсера невозможна.

По нашим данным, таким же неблагоприятным предиктором является массивная потеря костной массы метаэпифизов бедренной и большеберцовой костей (типы 2B, 3 по AORI) после удаления компонентов антимикробного спейсера. Эта ситуация требует установки значительного количества аугментов, а чаще — опорных метафизарных конусов или структурных аллотрансплантатов. В ряде случаев, когда в зону дефекта попадает бугристость большеберцовой кости, происходит нарушение целостности связки надколенника, что требует ее дальнейшей реконструкции. Вышеперечисленные факторы, по нашему мнению, увеличивают травматичность, продолжительность оперативного

вмешательства и, как следствие, интраоперационную кровопотерю, повышая риск неблагоприятного исхода.

Данные о структуре возбудителей, полученные в ретроспективной части нашего исследования, показали, что выявление у пациентов с ППИ трудноизлечимых возбудителей негативно сказывается на дальнейшем прогнозе первого этапа хирургического лечения и итоговой эффективности, при этом данный фактор показал себя и как независимый фактор риска. Ряд авторов подтверждают данную закономерность. Так, S.W. Jhan с соавторами сообщают о более чем четырехкратном возрастании риска рецидива при выявлении Грам(-) возбудителей [14]. Аналогичным образом влияет и присутствие полимикробной инфекции, о чем сообщают A.C. Steinicke с соавторами, причем доля подобных случаев растет с каждой попыткой имплантации спейсера: от 18% всех случаев при манифестации ППИ до 27% и 32% при первом и повторном рецидиве соответственно [15]. Наши данные свидетельствуют о высокой доле MRSE штамма *S. epidermidis* (61,7%) в проспективно исследуемой когорте. M.R. Nays с соавторами также сообщают о смещении структуры возбудителей ППИ в сторону метициллин-резистентных штаммов стафилококков [16].

Возможность определить потенциальный риск предстоящего хирургического лечения на этапе поступления пациента с ППИ является очень важной опцией, позволяющей уберечь как пациента, так и врача от необоснованных вмешательств, потенциальная эффективность которых крайне мала [17, 18]. С этой целью рядом авторов были созданы калькуляторы, учитывающие наиболее значимые факторы риска рецидива инфекции. Взяв калькулятор СБРР за основу, мы интегрировали его в алгоритм принятия решений о хирургической тактике лечения и провели его апробацию на проспективной когорте пациентов, которым были присвоены различные категории риска. Различия во взаимосвязи между степенью риска рецидива в ретро- и проспективной когортах, по нашему мнению, могут быть связаны с большей частотой имплантации неартикулирующих спейсеров, длительным ожиданием этапа реэндопротезирования и большим количеством попыток этапного реэндопротезирования у пациентов ретроспективной группы.

Многие исследователи сообщают о влиянии множества других факторов, помимо уже установленных, на исход хирургического лечения ППИ. К ним относят мужской пол, молодой возраст, наличие иммунодефицита, длительность антибиотикотерапии, нарушение течения раневого процесса (гематома, расхождение краев раны) в раннем послеоперационном периоде, а также выявление

нового возбудителя в интраоперационных посевах [19, 20, 21, 22, 23, 24]. В ряде работ при помощи статистических инструментов были разработаны калькуляторы, которые включали наиболее значимые факторы и позволяли определить категорию риска рецидива у конкретного пациента [2, 25, 26].

Спектр ключевых факторов, влияющих на эффективность этапного лечения, достаточно широк, и авторы сходятся во мнении лишь в ряде параметров. К ним относятся наличие у пациента сахарного диабета, повышенный уровень С-реактивного белка, возраст пациента. По ряду других параметров мнения различаются. В. Zhang с соавторами доказали влияние Грам(-) микроорганизмов на эффективность эрадикации, что совпадает с нашими данными, однако С. Klemt с соавторами указывают лишь на случаи ППИ, вызванной *Enterococcus* sp. [2, 25]. В ходе нашего исследования доказано влияние открытых хирургических вмешательств на сегменте, предшествовавших первичному эндопротезированию. Схожие данные демонстрируют С. Klemt с соавторами, при этом делая акцент на их количестве (3 и более), в то же время указывая на еще большее влияние предшествующих неуспешных попыток санирующих вмешательств [2]. Говоря о вкладе сопутствующей патологии, вышеупомянутые авторы выделяют в качестве факторов риска определенные нозологии: метастатическое поражение, ВИЧ, диабет, депрессия,

системные заболевания, в то время как наше исследование показало самостоятельное значимое влияние на исход лечения не только наличия, но и выраженности сопутствующей патологии, что можно оценить при помощи предложенного нами индекса коморбидности независимо от СБРР.

### Ограничения исследования

Ограничением нашего исследования является не включение в исследование пациентов, поступающих на этапе рецидива ППИ, однако планируется дальнейшее проспективное исследование, которое охватит более обширную когорту пациентов.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный нами алгоритм позволил суммировать результат определения СБРР и наличие независимых факторов риска неблагоприятного исхода. Клиническая апробация такого подхода помогла выбрать оптимальную тактику лечения в неоднозначных клинических ситуациях, что повысило эффективность этапного лечения. Однако проспективная часть исследования показала ограниченную прогностическую эффективность предложенного алгоритма, что требует проведения дальнейших исследований, по-видимому, включающих более широкий спектр клинико-лабораторных, клинических и инструментальных данных.

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

#### Заявленный вклад авторов

*Преображенский П.М.* — концепция и дизайн исследования, сбор, анализ и интерпретация полученных данных, статистическая обработка данных, написание текста рукописи.

*Божкова С.А.* — концепция и дизайн исследования, анализ и интерпретация полученных данных, написание и редактирование текста рукописи.

*Каземирский А.В.* — сбор, анализ и интерпретация полученных данных, редактирование текста рукописи.

Все авторы прочли и одобрили финальную версию рукописи статьи. Все авторы согласны нести ответственность за все аспекты работы, чтобы обеспечить надлежащее рассмотрение и решение всех возможных вопросов, связанных с корректностью и надежностью любой части работы.

**Источник финансирования.** Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

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

**Этическая экспертиза.** Не применима.

**Информированное согласие на публикацию.** Не требуется.

**Генеративный искусственный интеллект.** При создании статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

### DISCLAIMERS

#### Author contribution

*Preobrazhensky P.M.* — study concept and design, data acquisition, analysis and interpretation, statistical data processing, drafting the manuscript.

*Bozhkova S.A.* — study concept and design, data analysis and interpretation, drafting and editing the manuscript.

*Kazemirsky A.V.* — data analysis and interpretation, editing the manuscript.

All authors have read and approved the final version of the manuscript of the article. All authors agree to bear responsibility for all aspects of the study to ensure proper consideration and resolution of all possible issues related to the correctness and reliability of any part of the work.

**Funding source.** This study was not supported by any external sources of funding.

**Disclosure competing interests.** The authors declare that they have no competing interests.

**Ethics approval.** Not applicable.

**Consent for publication.** Not required.

**Use of artificial intelligence.** No generative artificial intelligence technologies were used in the preparation of this manuscript.

## ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

- Преображенский П.М., Божкова С.А., Каземирский А.В. Расчет индекса коморбидности как фактора риска рецидива перипротезной инфекции после установки спейсера коленного сустава. *Травматология и ортопедия России*. 2022;28(1):7-18. doi: 10.17816/2311-2905-1718.  
Preobrazhensky P.M., Bozhkova S.A., Kazemirsky A.V. Comorbidity Index as a Risk Factor of Knee PJI Recurrence After Spacer Implantation. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2022;28(1):7-18. (In Russian). doi: 10.17816/2311-2905-1718
- Klemm C., Tirumala V., Smith E.J., Padmanabha A., Kwon Y.M. Development of a Preoperative Risk Calculator for Reinfection Following Revision Surgery for Periprosthetic Joint Infection. *J Arthroplasty*. 2021;36(2):693-699. doi: 10.1016/j.arth.2020.08.004.
- Sultan A.A., Mahmood B., Samuel L.T., George J., Faour M., Pelt C.E. et al. Patients with a History of Treated Septic Arthritis are at High Risk of Periprosthetic Joint Infection after Total Joint Arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*. 2019;477(7):1605-1612. doi: 10.1097/CORR.0000000000000688.
- Rodriguez-Merchan E.C., Delgado-Martinez A.D. Risk Factors for Periprosthetic Joint Infection after Primary Total Knee Arthroplasty. *J Clin Med*. 2022;11(20):6128. doi: 10.3390/jcm11206128.
- Warwick H.S., Tan T.L., Weiser L., Shau D.N., Barry J.J., Hansen E.N. 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.
- Parvizi J., Gehrke T.; International Consensus Group on Periprosthetic Joint Infection. Definition of periprosthetic joint infection. *J Arthroplasty*. 2014;29(7):1331. doi: 10.1016/j.arth.2014.03.009.
- Engh G.A., Ammeen D.J. Classification and preoperative radiographic evaluation: knee. *Orthop Clin North Am*. 1998;29(2):205-217. doi: 10.1016/S0030-5898(05)70319-9.
- Tan T.L., Maltenfort M.G., Chen A.F., Shahi A., Higuera C.A., Siqueira M. et al. Development and Evaluation of a Preoperative Risk Calculator for Periprosthetic Joint Infection Following Total Joint Arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am*. 2018;100(9):777-785. doi: 10.2106/JBJS.16.01435.
- Rajgopal A., Panda I., Rao A., Dahiya V., Gupta H. Does Prior Failed Debridement Compromise the Outcome of Subsequent Two-Stage Revision Done for Periprosthetic Joint Infection Following Total Knee Arthroplasty? *J Arthroplasty*. 2018;33(8):2588-2594. doi: 10.1016/j.arth.2018.02.087.
- González-Vélez A.E., Díaz-Agero Pérez C., Robustillo-Rodela A., Monge-Jodrá V. Incidence and associated factors of surgical site infections after hip arthroplasty. *Revista Española de Cirugía Ortopédica y Traumatología (English Edition)*. 2011;55(4):270-276. doi: 10.1016/S1988-8856(11)70318-2.
- Société de Pathologie Infectieuse de Langue Française (SPILF); Collège des Universitaires de Maladies Infectieuses et Tropicales (CMIT); Groupe de Pathologie Infectieuse Pédiatrique (GPIP); Société Française d'Anesthésie et de Réanimation (SFAR); Société Française de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique (SOFOT); Société Française d'Hygiène Hospitalière (SFHH) et al. Recommendations for bone and joint prosthetic device infections in clinical practice (prosthesis, implants, osteosynthesis). Société de Pathologie Infectieuse de Langue Française. *Med Mal Infect*. 2010;40(4):185-211. doi: 10.1016/j.medmal.2009.12.009.
- Lee J., Singletary R., Schmader K., Anderson D.J., Bolognesi M., Kaye K.S. Surgical site infection in the elderly following orthopaedic surgery. Risk factors and outcomes. *J Bone Joint Surg Am*. 2006;88:1705-1712. doi: 10.2106/JBJS.E.01156.
- Sina J.P., Sabah S.A., Schrednitzki D., Price A.J., Hamilton T.W., Alvand A. Indications and techniques for non-articulating spacers in massive bone loss following prosthetic knee joint infection: a scoping review. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2023;143(9):5793-5805. doi: 10.1007/s00402-023-04893-z.
- Jhan S.W., Lu Y.D., Lee M.S., Lee C.H., Wang J.W., Kuo F.C. The risk factors of failed reimplantation arthroplasty for periprosthetic hip infection. *BMC Musculoskelet Disord*. 2017;18(1):255. doi: 10.1186/s12891-017-1622-1.
- Steinicke A.C., Schwarze J., Gosheger G., Moellenbeck B., Ackmann T., Theil C. Repeat two-stage exchange arthroplasty for recurrent periprosthetic hip or knee infection: what are the chances for success? *Arch Orthop Trauma Surg*. 2023;143(4):1731-1740. doi: 10.1007/s00402-021-04330-z.
- Hays M.R., Kildow B.J., Hartman C.W., Lyden E.R., Springer B.D., Fehring T.K. et al. Increased Incidence of Methicillin-Resistant Staphylococcus aureus in Knee and Hip Prosthetic Joint Infection. *J Arthroplasty*. 2023;38(6S):S326-S330. doi: 10.1016/j.arth.2023.02.025.
- Шпиняк С.Н., Барабаш А.П., Гиркало М.В. Двухэтапное ревизионное эндопротезирование при перипротезной инфекции коленного сустава. *Кафедра травматологии и ортопедии*. 2016;3(19):58-61.  
Shpinyak S.P., Barabash A.P., Girkalo M.V. Two-stage revisionary endoprosthesis in periprosthetic infection of a knee joint. *Department of Traumatology & Orthopedics*. 2016;3(19):58-61. (In Russian).
- Малюченко Л.И., Николаев Н.С., Емельянов В.Ю. Среднесрочные результаты лечения перипротезной инфекции коленного сустава с применением спейсера с комбинированным углеродно-серебряным антибактериальным покрытием. *Вестник медицинского института «РЕАВИЗ». Реабилитация, Врач и Здоровье*. 2024;14(1):47-54. doi: 10.20340/vmi-rvz.2024.1.CLIN.1  
Malyuchenko L.I., Nikolaev N.S., Emel'yanov V.Yu. Treatment of periprosthetic knee joint infection using a spacer with a mixed carbonsilver antibacterial coating in the medium term. *Bulletin of the Medical Institute «REAVIZ» (Rehabilitation, Doctor and Health)*. 2024;14(1):47-54. (In Russian). doi: 10.20340/vmi-rvz.2024.1.CLIN.1.
- Chen Y.C., Lin Y.C., Chang C.H., Lee S.H., Chang Y. Risk Factors for Treatment Failure in Patients Who Have Knee Periprosthetic Joint Infection Treated With Two-Stage Exchange Arthroplasty as Well as Their Fate. *J Arthroplasty*. 2023;38(2):355-360. doi: 10.1016/j.arth.2022.08.033.

20. Ekhtiari S., Gazendam A., Saidahmed A., Petrucci D., Winemaker M.J., de Beer J.D. et al. Risk factors for recurrence of periprosthetic joint infection following operative management: a cohort study with average 5-year follow-up. *Ann Jt.* 2022;8:2. doi: 10.21037/aoj-22-4.
21. Wang Q., Huang J., Chen X., Jin Y. Risk factors of reinfection after prosthesis removal and antibiotic bone cement spacer implantation for the treatment of periprosthetic joint infection. *BMC Infect Dis.* 2022;22(1):905. doi: 10.1186/s12879-022-07908-z.
22. Sakellariou V.I., Poultsides L.A., Vasilakakos T., Sculco P., Ma Y., Sculco T.P. Risk Factors for Recurrence of Periprosthetic Knee Infection. *J Arthroplasty.* 2015;30(9):1618-1622. doi: 10.1016/j.arth.2015.04.005.
23. Lee W.S., Park K.K., Cho B.W., Park J.Y., Kim I., Kwon H.M. Risk factors for early septic failure after two-stage exchange total knee arthroplasty for treatment of periprosthetic joint infection. *J Orthop Traumatol.* 2024;25(1):6. doi: 10.1186/s10195-024-00750-w.
24. Грищук А.Н., Леонова С.Н., Какека А.Л. Использование алгоритма выбора хирургической тактики при перипротезной инфекции крупных суставов. *Acta Biomedica Scientifica.* 2020;5(6):199-204. doi: 10.29413/ABS.2020-5.6.24
- Grishchuk A.N., Leonova S.N., Kameka A.L. Using an Algorithm to Choose the Surgical Tactics for the Treatment of Periprosthetic Infection of Large Joints. *Acta Biomedica Scientifica.* 2020;5(6):199-204. (In Russian) doi: 10.29413/ABS.2020-5.6.24
25. Zhang B., Liu Z., Liu S., Liu B., Li M., Li W. et al. Retrospective Study from a Single Center to Identify Risk Factors Associated with Reinfection in Patients Undergoing 2-Stage Revision Surgery for Periprosthetic Joint Infection. *Med Sci Monit.* 2022;28:e936973. doi: 10.12659/MSM.936973.
26. Tikhilov R., Bozhkova S., Denisov A., Labutin D., Shubnyakov I., Razorenov V. et al. Risk factors and a prognostic model of hip periprosthetic infection recurrence after surgical treatment using articulating and non-articulating spacers. *Int Orthop.* 2016;40:1381-1387. doi: 10.1007/s00264-015-3072-4.

#### Сведения об авторах

✉ Преображенский Петр Михайлович — канд. мед. наук  
 Адрес: Россия, 195427, г. Санкт-Петербург,  
 ул. Академика Байкова, д. 8  
<https://orcid.org/0000-0002-9569-1566>  
 eLibrary SPIN: 1243-7268  
 e-mail: Pedrro@yandex.ru

Божкова Светлана Анатольевна — д-р мед. наук,  
 профессор  
<https://orcid.org/0000-0002-2083-2424>  
 eLibrary SPIN: 3086-3694  
 e-mail: clinpharm-rniito@yandex.ru

Каземирский Александр Викторович — канд. мед. наук  
<https://orcid.org/0000-0002-5652-6541>  
 eLibrary SPIN: 4183-6094  
 e-mail: Alexkazemir@mail.ru

#### Authors' information

✉ Petr M. Preobrazhensky — Cand. Sci. (Med.)  
 Address: 8, Akademika Baykova st., St. Petersburg,  
 195427, Russia  
<https://orcid.org/0000-0002-9569-1566>  
 eLibrary SPIN: 1243-7268  
 e-mail: Pedrro@yandex.ru

Svetlana A. Bozhkova — Dr. Sci. (Med.), Professor  
<https://orcid.org/0000-0002-2083-2424>  
 eLibrary SPIN: 3086-3694  
 e-mail: clinpharm-rniito@yandex.ru

Alexander V. Kazemirsky — Cand. Sci. (Med.)  
<https://orcid.org/0000-0002-5652-6541>  
 eLibrary SPIN: 4183-6094  
 e-mail: Alexkazemir@mail.ru