

# Результаты онкологического эндопротезирования диафизарного отдела кости: многоцентровое исследование

А.В. Соколовский<sup>1</sup>, А.А. Курильчик<sup>2</sup>, А.А. Жеравин<sup>3</sup>, В.А. Соколовский<sup>1</sup>, М.К. Ханина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России; Россия, 115522 Москва, Каширское шоссе, 24;

<sup>2</sup>Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба — филиал ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр радиологии» Минздрава России; Россия, 249036 Обнинск, ул. Королева, 4;

<sup>3</sup>ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. акад. Е.Н. Мешалкина» Минздрава России; Россия, 630055 Новосибирск, ул. Речкуновская, 15

**Контакты:** Анатолий Владимирович Соколовский [avs2006@mail.ru](mailto:avs2006@mail.ru)

**Введение.** Метастатическое поражение костей находится на 3-м месте по частоте возникновения после метастазов в легких и печени. Поражение длинных трубчатых костей во многих случаях сочетается с поражением бедренной кости; частота его возникновения достигает 71 %. При метастазах в диафизе кости в 25 % случаев возникает патологический перелом бедренной кости. Первичные саркомы костей чаще развиваются в метаэпифизарных зонах, что приводит к необходимости резекции не только пораженного участка кости, но и интактного сустава, располагающегося в непосредственной близости от опухоли. По данным различных авторов, основными проблемами, возникающими при оценке результатов эндопротезирования диафизарных дефектов, являются продолжительный период сбора материала (ретроспективный дизайн исследования) из-за небольшого числа выявляемых опухолевых поражений этой области, требующих хирургической коррекции, а также различия в длительности периода наблюдений и гетерогенная гистологическая структура опухоли.

**Цель исследования** — анализ результатов замещения пострезекционных дефектов при опухолевом поражении диафизарных отделов костей различными моделями эндопротезов.

**Материалы и методы.** В исследование включены 50 пациентов с первичными опухолями костей и мягких тканей и метастатическим поражением костей, которым с 1995 г. по июль 2024 г. выполнены 59 первичных и ревизионных операций в объеме реконструкции диафизарного и метадиафизарного дефектов большеберцовой, плечевой и бедренной костей. В группу первичного эндопротезирования ( $n = 50$ ) вошли 29 мужчин и 21 женщина. Средний возраст пациентов составил 50,8 (16–77 лет) года. В группу повторного эндопротезирования ( $n = 9$ ) включены 6 мужчин и 3 женщины. Средний возраст больных составил 46,2 года (27–68 лет). Первичное опухолевое поражение наблюдалось у 30 (61,2 %) пациентов, метастатический процесс — у 20 (38,8 %). У 22 (73,3 %) больных с первичными опухолями выявлены саркомы кости, у 8 (26,7 %) — саркомы мягких тканей с поражением длинных трубчатых костей. За 29-летний период проанализированы результаты 50 (84,7 %) операций в объеме первичного эндопротезирования и 9 (15,3 %) операций в объеме повторного онкологического эндопротезирования диафизарного отдела длинных трубчатых костей. Чаще всего хирургические вмешательства выполнялись при поражении диафиза бедренной кости — в 49 % (29/59) случаев. При поражении диафиза плечевой кости операции проведены в 27 % (16/59) случаев, при поражении диафиза большеберцовой кости — в 24 % (14/59).

**Результаты.** За 29-летний период наблюдения общая частота развития осложнений типов I–IV (по классификации International Society of Limb Salvage 2013, ISOLS 2013) составила 40,7 %, средний срок до выявления онкологических и неонкологических осложнений — 14,3 (1–58) мес. Осложнения типа IA (нестабильность конструкции) возникли в 3 (4,8 %) случаях, типа IIA (ранняя асептическая нестабильность) — в 9 (14,3 %), типа IIB (поздняя асептическая нестабильность) — в 2 (3,2 %), типа IIIA (разрушение элементов конструкции эндопротеза) — в 5 (8 %), типа IIIB (перипротезный перелом кости) — в 1 (1,6 %), типа IVA (ранняя инфекция эндопротеза) — в 1 (1,6 %), типа VA (рецидив в мягких тканях) — в 6 (12 %), типа VB (рецидив в костях) — в 1 (2 %). Общее количество онкологических осложнений составило 32 %. В структуре онкологических осложнений только местный рецидив выявлен в 10 % случаев, только метастазирование — в 18 %, прогрессирование в виде местного рецидива и метастазов — в 4 %. Общее количество неонкологических осложнений (типов I–IV по ISOLS 2013) составило 35,6 %. В настоящем исследовании при эндопротезировании диафизов плечевой, бедренной и большеберцовой костей наиболее частыми нежелательными явлениями были асептическая нестабильность (17,5 % случаев) и рецидив опухоли (14 % случаев).

**Заключение.** Согласно результатам исследования и данным литературы наиболее оптимальны модульные типы имплантатов и модели, изготовленные с применением 3D-печати. Резекция диафизарного отдела кости с его рекон-

струкцией эндопротезом является методом выбора для пациентов с первичным и метастатическим поражениями этого отдела кости. Частота осложнений согласно классификации ISOLS 2013 соответствует средним результатам после онкологического эндопротезирования, приводимым в источниках литературы. При этом функциональные результаты и качество жизни пациентов оказались лучше, чем после операций с эндопротезированием близлежащих суставов.

**Ключевые слова:** опухоль кости, саркома, диафизарный эндопротез, первичное эндопротезирование, реэндопротезирование, индивидуализированное эндопротезирование, осложнение эндопротезирования

**Для цитирования:** Соколовский А.В., Курильчик А.А., Жеравин А.А. и др. Результаты онкологического эндопротезирования диафизарного отдела кости: многоцентровое исследование. Саркомы костей, мягких тканей и опухоли кожи 2025;17(1):11–24.

DOI: <https://doi.org/10.17650/2219-4614-2025-17-1-11-24>

## LONG-TERM RESULTS OF ONCOLOGICAL ENDOPROSTHETICS OF THE DIAPHYSEAL BONE: MULTICENTER STUDY

*A.V. Sokolovskii<sup>1</sup>, A.A. Kurilchik<sup>2</sup>, A.A. Zheravin<sup>3</sup>, V.A. Sokolovskii<sup>1</sup>, M.K. Khanina<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*N.N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology, Ministry of Health of Russia; 24 Kashirskoe Shosse, Moscow 115522, Russia;*

<sup>2</sup>*A.F. Tsyb Medical Radiological Research Center – branch of the National Medical Research Radiological Centre, Ministry of Health of Russia; 4 Koroleva St., Obninsk 249036, Russia;*

<sup>3</sup>*National Medical Research Center of Oncology named after Akad. E.N. Meshalkin, Ministry of Health of Russia; 15 Rechkunovskaya St., Novosibirsk 630055, Russia*

**Contacts:** Anatoly Vladimirovich Sokolovsky [avs2006@mail.ru](mailto:avs2006@mail.ru)

**Introduction.** Metastatic bone lesions are the 3<sup>rd</sup> most common metastases after lung and liver metastases. In many cases, lesions in the long bones are accompanied by lesions in the femur; their incidence is 71 %. In 25 % of cases of metastases in the bone diaphysis, pathological fracture of the femur occurs. Primary bone sarcomas usually develop in the metaepiphyseal areas which requires resection of both the affected bone and the intact joint located in the immediate vicinity of the tumor. According to various authors, the main problems of evaluation of the results of endoprosthesis of diaphyseal defects are long duration of data accumulation (retrospective study design) due to small number of tumors in this area requiring surgical correction, differences in follow-up duration, and heterogenous histological structure of the tumor.

**Aim.** To analyze the results of postresection defect reconstruction in tumors of the diaphyseal parts of the bones using different endoprosthesis models.

**Materials and methods.** The study included 50 patients with primary tumors of the bones and soft tissues who underwent 59 primary and revision surgeries consisting of reconstruction of the diaphyseal and metadiaphyseal defects of the tibia, humerus and femur between 1995 and July of 2025. The primary endoprosthesis group ( $n = 50$ ) included 29 men and 21 women. Mean patient age was 50.8 years (16–77 years). The group of repeat endoprosthesis ( $n = 9$ ) included 6 men and 3 women. Mean patient age was 46.2 years (27–68 years). Primary tumors were observed in 30 (61.2 %) patients, metastases in 20 (38.8 %). In 22 (73.3 %) patients with primary tumors, bone sarcomas were diagnosed; in 8 (26.7 %) – soft tissue sarcomas with long bone lesions. In the 29-year period, results of 50 (84.7 %) primary endoprosthesis surgeries and 9 (15.3 %) repeat oncological endoprosthesis surgeries of the diaphyseal part of the long bones were analyzed. Surgical interventions for lesions in the femoral diaphysis were the most common: 49 % (29/59) cases. For lesions of the humeral diaphysis, surgeries were performed in 27 % (16/59) cases; for lesions of the tibial diaphysis, in 24 % (14/59).

**Results.** During the 29-year observation period, overall rate of type I–IV complications (per the International Society of Limb Salvage classification 2013, ISOLS 2013) was 40.7 %, mean time to diagnosis of oncological and non-oncological complications was 14.3 (1–58) months. Type IA complications (construction instability) were observed in 3 (4.8 %) cases, type IIA (early aseptic instability) in 9 (14.3 %), type IIB (late aseptic instability) in 2 (3.2 %), type IIIA (destruction of endoprosthesis elements) in 5 (8 %), type IIIB (periprosthetic bone fraction) in 1 (1.6 %), type IVA (early endoprosthesis infection) in 1 (1.6 %), type VA (soft tissue recurrence) in 6 (12 %), type VB (bone recurrence) in 1 (2 %). Total percentage of oncological complications was 32 %. Among oncological complications, only local recurrence was diagnosed in 10 % of cases, only metastasis in 18 %, progression in the form of local recurrence and metastasis in 4 %. Total percentage of non-oncological complications (types I–IV per ISOLS 2013) was 35.6 %. In the current study, the most common adverse events after endoprosthesis of the tibial, humeral and femoral diaphyses were aseptic instability (17.5 % of cases) and tumor recurrence (14 % of cases).

**Conclusion.** According to the study results and literature data, the most optimal are modular implants and models manufactured using 3D printing. Resection of the diaphyseal part of the bone with its reconstruction with an endoprosthesis is the method of choice for patients with primary and metastatic lesions of this part of the bone. Complication rate per the ISOLS 2013 classification corresponds to the average results after oncologic endoprosthesis presented in literature.

Moreover, the patients' functional results and quality of life were better than after surgeries with endoprosthesis of the neighboring joints.

**Keywords:** bone tumor, sarcoma, diaphyseal endoprosthesis, primary endoprosthesis, endoprosthesis replacement, personalized endoprosthesis, endoprosthesis complication

**For citation:** Sokolovskii A.V., Kurilchik A.A., Zheravin et al. A.A. Long-term results of oncological endoprosthetics of the diaphyseal bone: multicenter study. *Sarkomy kostei, miagkikh tkanei i opukholi kozhi* = Bone and Soft Tissue Sarcomas, Tumors of the Skin 2025;17(1):11–24. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.17650/2219-4614-2025-17-1-11-24>

## Введение

Метастатическое поражение костей находится на 3-м месте по частоте возникновения после метастазов в легких и печени. Поражение длинных трубчатых костей во многих случаях сочетается с поражением бедренной кости; частота его развития достигает 71 % [1–4]. При метастазах в диафизе кости в 25 % случаев возникает патологический перелом бедренной кости [1].

Первичные саркомы костей чаще развиваются в мета-эпифизарных зонах костей, что приводит к необходимости резекции не только пораженного участка кости, но и интактного сустава, располагающегося в непосредственной близости от опухоли [5]. Хирургические вмешательства по поводу метастатического поражения диафизарного отдела кости составляют около 20 % операций на длинных трубчатых костях [4].

В настоящий момент накоплен большой опыт хирургического лечения патологических переломов диафизарного отдела кости, который включает использование:

- аллотрансплантатов;
- аутоотрансплантатов с применением васкуляризированной малоберцовой кости;
- комбинированного метода применения аллотрансплантатов с использованием васкуляризированной малоберцовой кости;
- диафизарного эндопротеза;
- собственной экстракорпорально облученной кости;
- дистракционного остеогенеза собственной кости (применяется относительно редко);
- внутрикостного и накостного остеосинтеза с паллиативной целью в случае патологического перелома кости [5, 6].

Выбор оптимального метода реконструкции остается дискуссионным. Аутоотрансплантаты с использованием малоберцовой или подвздошной кости имеют хорошую совместимость с костной тканью, однако ограничены объемом материала при больших костных дефектах, осложнениями в области его забора и увеличением раневой поверхности. Реконструкция с помощью аллотрансплантата может применяться при больших диафизарных дефектах. Основными недостатками этого метода являются риск отторжения аллотрансплантата, его перелом, инфицирование в ран-

нем послеоперационном периоде, длительное восстановление, несращение кости и аутоотрансплантата [6, 7]. Экстракорпоральное облучение собственной кости приводит к увеличению ее хрупкости и требует много времени для реваскуляризации и, соответственно, интеграции в здоровый участок кости [1]. Внутрикостный и накостный остеосинтез используют в паллиативных целях у пациентов с неудовлетворительным прогнозом [3–6] для лечения патологического перелома [8].

Применение диафизарных эндопротезов имеет ряд преимуществ перед вышеупомянутыми методами. Так, за счет цементной фиксации этот способ позволяет в раннем послеоперационном периоде восстановить функциональный потенциал пациента, купировать болевой синдром, улучшить качество жизни пациентов, в короткие сроки перейти к адьювантному лечению, снизить риск развития его осложнений.

По данным разных авторов, основными проблемами эндопротезирования диафизарных дефектов являются продолжительный период сбора материала (ретроспективный дизайн исследования) из-за небольшого числа выявляемых опухолевых поражений этой области, требующих хирургической коррекции, а также различия в сроках наблюдений и гетерогенная гистологическая структура опухоли.

**Цель исследования** — анализ результатов замещения пострезекционных дефектов при опухолевом поражении диафизарных отделов костей различными моделями эндопротезов.

## Материалы и методы

На базе отдела общей онкологии Национального медицинского исследовательского центра онкологии им. Н.Н. Блохина, отделения комбинированного лечения опухолей костей, мягких тканей и кожи Медицинского радиологического научного центра им. А.Ф. Цыба — филиала Национального медицинского исследовательского центра радиологии и научно-исследовательского отделения онкологии и радиотерапии Национального медицинского исследовательского центра им. акад. Е.Н. Мешалкина проведен многоцентровой ретроспективный анализ данных за 29 лет (с 1995 по 2024 г.), в процессе которого накоплен значительный клини-

ческий материал проведения первичных и повторных органосохраняющих операций с реконструкцией пост-резекционных дефектов диафизарных отделов костей различных локализаций онкологическими эндопротезами.

В исследование включены 50 пациентов с первичными опухолями костей и мягких тканей и метастатическим поражением, которым с 1995 г. по июль 2024 г. выполнено 59 первичных и ревизионных операций в объеме реконструкции диафизарного и метадиафизарного дефектов большеберцовой, плечевой и бедренной костей.

В группу первичного эндопротезирования ( $n = 50$ ) вошли 29 мужчин и 21 женщина. Средний возраст пациентов составил 50,8 года (16–77 лет). В группу повторного эндопротезирования ( $n = 9$ ) включены 6 мужчин и 3 женщины. Средний возраст больных составил 46,2 года (27–68 лет).

За 29-летний период проанализированы результаты 50 (84,7 %) операций в объеме первичного эндопротезирования и 9 (15,3 %) операций в объеме повторного онкологического эндопротезирования диафизарного отдела длинных трубчатых костей. Чаще всего хирургические вмешательства выполнялись при поражении диафиза бедренной кости – в 49 % (29/59) случаев. При поражении диафиза плечевой кости операции проведены в 27 % (16/59) случаев, при поражении диафиза большеберцовой кости – в 24 % (14/59). Пропорциональное распределение частоты эндопротезирования диафизарных отделов различных костей в группах первичного и повторного эндопротезирования оказалось одинаковым.

Первичное опухолевое поражение наблюдалось у 30 (61,2 %) пациентов, метастатический процесс – у 20 (38,8 %). У 22 (73,3 %) больных с первичными опухолями выявлены саркомы кости, у 8 (26,7 %) – саркомы мягких тканей с поражением длинных трубчатых костей. Нозологическая структура первичных опухолей кости в основном представлена остеосаркомой (6 (20 %) случаев) и саркомой Юинга (4 (13,3 %) случая). В исследование включены 3 (10 %) пациента с недифференцированной плеоморфной саркомой, 3 (10 %) – с адвантинмой, 2 (6,7 %) – с хондросаркомой, 2 (6,7 %) – с паростальной остеосаркомой, 1 (3,3 %) – с периостальной остеосаркомой, 1 (3,3 %) – с ретикулосаркомой, 1 (3,3 %) – с множественной миеломой.

В нозологической структуре метастатического поражения длинных трубчатых костей преобладал рак почки (13 (65 %) случаев). Также в группу исследования включены 3 (15 %) пациента с раком молочной железы, 1 (5 %) – с раком легкого, 1 (5 %) – с раком тела матки, 1 (5 %) – с меланомой кожи. Распределение пациентов в зависимости от нозологии представлено на рис. 1.

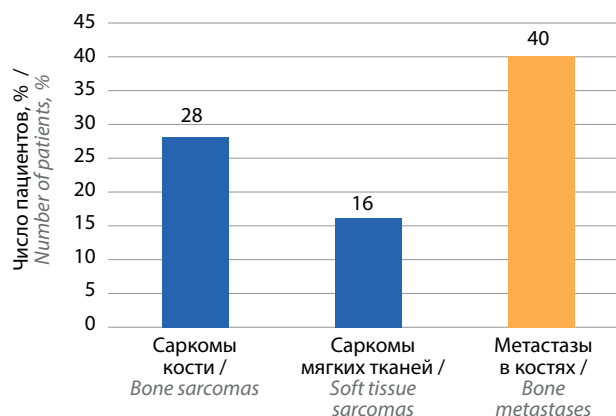


Рис. 1. Распределение пациентов в зависимости от нозологии  
Fig. 1. Patient distribution per nosology

У 2 (6,7 %) пациентов с первичными опухолями выявлено заболевание IA стадии, у 8 (26,7 %) – IB стадии, у 2 (6,7 %) – IIA стадии, у 11 (36,7 %) – IIB стадии, у 2 (6,7 %) – III стадии, у 1 (3,3 %) – IV стадии. В 4 (13,2 %) случаях верифицированы адвантинмы, не включенные в классификацию Tumor, Nodus and Metastasis. Распределение пациентов с первичными саркомками в зависимости от стадии заболевания представлено на рис. 2.

В группе первичных опухолей с поражением кости согласно протоколу лечения этих заболеваний неoadъювантная и адъювантная химиотерапия как этап комбинированного лечения проведена 14 (48,3 %) пациентам с остеосаркомой, саркомой Юинга, периостальной, недифференцированной плеоморфной саркомками и ретикулосаркомой. С учетом локализа-

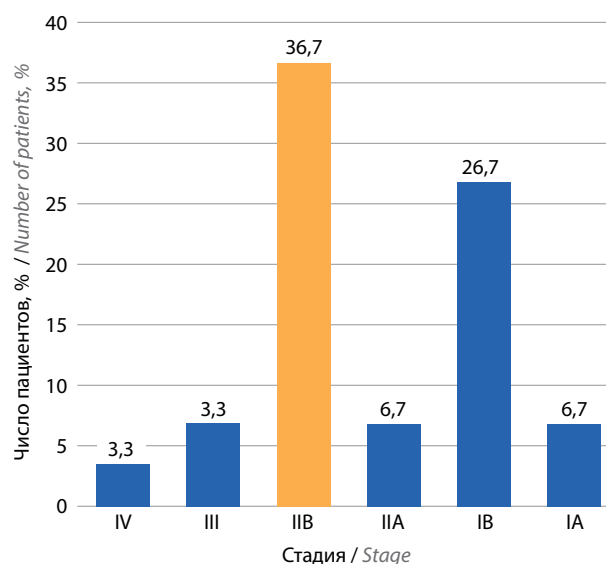


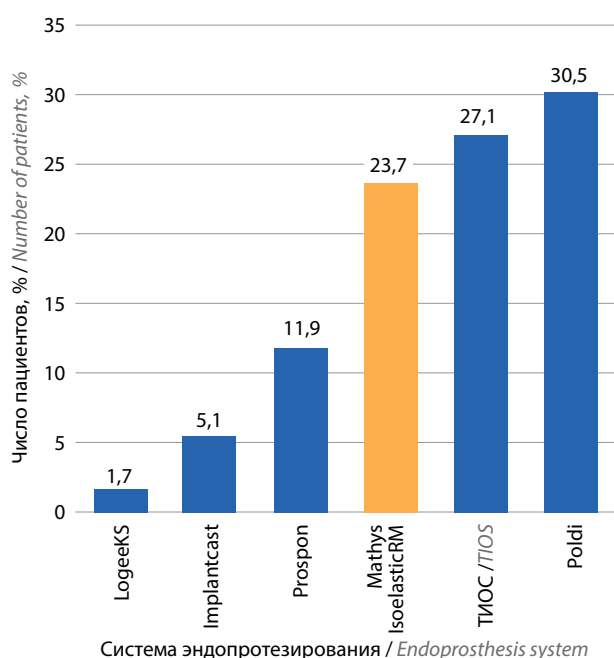
Рис. 2. Распределение пациентов с первичными саркомками в зависимости от стадии заболевания  
Fig. 2. Distribution of the patients with primary sarcomas per disease stage

ции, распространения опухоли, результата консервативного лечения и онкологического прогноза наиболее оптимальным для больных этой группы было замещение пострезекционного дефекта онкологическим эндопротезом, что позволило сохранить близлежащий к опухолевому поражению сустав.

В когортах пациентов после первичного и повторного эндопротезирования различных диафизарных отделов костей оценивались непосредственные и отдаленные результаты хирургического лечения, а также функциональные результаты.

При первичном и повторном онкологических эндопротезированиях диафиза бедренной, плечевой и большеберцовой костей применяли индивидуальные и модульные системы эндопротезирования, наиболее часто используемые на территории России: LogeeKS (Россия) — в 18 (30,5 %) случаях, Implantcast (Германия) — в 16 (27,1 %), Prospon (Чехия) — в 14 (23,7 %), Mathys IsoelasticRM (Швейцария) — в 7 (11,9 %), «ТИОС» (Россия) — в 3 (5,1 %), Poldi (Чехия) — в 1 (1,7 %) (рис. 3). Среди представленных моделей эндопротезов только имплантаты фирмы Implantcast имели модульную конструкцию.

Выбор типоразмеров эндопротезов как со стандартными, так и индивидуально изготовленными ножками осуществляли в ходе операции. Определение типоразмеров индивидуально изготовленных эндопротезов выполнялось на этапе предоперационного планирования, с использованием компьютерной томографии (КТ) и 3D-моделирования. Имплантаты остальных систем эндопротезирования производились индивидуально.



**Рис. 3.** Модульные системы эндопротезирования, использованные в ходе исследования

**Fig. 3.** Modular endoprosthesis systems used in the study

При первичном и повторном эндопротезировании использовали эндопротезы с ножками, выполненными из металла и полимерного материала:

- титана (TiAl6V4) (35 (59,3 %) случаев), сплава стали CoCrMo (17 (28,8 %) случаев);
- изоэластика (7 (11,9 %) случаев).

Средний объем резекции кости составил 14,2 (7–23) см. Медиана наблюдения после первичного и повторного эндопротезирования диафизарных отделов длинных трубчатых костей оказалась равной 31,1 (1–261,5) мес. В группе первичного эндопротезирования этот показатель составил 29,3 (1–261,5) мес, в группе повторного эндопротезирования — 31,9 (1–83,2) мес.

Критериями включения пациентов в исследование были:

- возраст 18 лет и старше;
- наличие первичной злокачественной опухоли диафиза длинной трубчатой кости;
- метастатическое поражение диафиза длинной трубчатой кости;
- опухоли мягких тканей с поражением диафиза трубчатой кости;
- возможность выполнения абластичного удаления опухоли;
- наличие необходимого объема мягких тканей для укрытия эндопротеза;
- предполагаемая продолжительность жизни более 1 года;
- отсутствие местного и отдаленного прогрессирования на фоне неoadъювантной химиотерапии;
- наличие патологического перелома.

Критерии исключения пациентов из исследования:

- возраст младше 18 лет;
- наличие значительного по размеру опухолевого и/или инфекционного свища/свищей (отсутствие возможности укрытия эндопротеза местными тканями);
- обширное поражение мягких тканей и вовлечение в процесс магистрального нервно-сосудистого пучка;
- дефицит мягких тканей после удаления эндопротеза и замещения дефекта спейсером.

Реконструкция пострезекционного диафизарного дефекта кости выполнялась с использованием 3 вариантов инженерно-технического проектирования, изготовления и установки имплантатов:

- модульных конструкций ( $n = 16$ );
- индивидуальных конструкций ( $n = 22$ );
- персонифицированных конструкций, учитывающих анатомические особенности кости пациента ( $n = 22$ ).

**Модульный тип эндопротеза.** Данный тип включает несколько типоразмеров ножек эндопротеза, различающихся по диаметру, и модулей, обеспечивающих реконструкцию дефекта кости. Конструкция состоит



из неразъемного проксимального и разборного дистального компонентов со стандартной ножкой длиной 120 или 100 мм. Используется цементная или бесцементная фиксация, а также удлиняющая гильза с возможностью блокирования ножки эндопротеза винтами. Конструкция изготовлена из сплава CoCrMo или TiAl6V4. Элементы эндопротеза фиксируются винтами. Данный тип эндопротеза собирается во время операции по предварительному плану, разработанному на этапе предоперационной подготовки. Такая конструкция позволяет скорректировать при необходимости длину замещения пострезекционного дефекта в ходе хирургического вмешательства, однако она не учитывает анатомические особенности удаляемого фрагмента кости и не подходит для резекций в области метаэпифиза.

**Индивидуальный тип эндопротеза.** Эта конструкция состоит из двух компонентов: проксимальной и дистальной ножек с фиксированной к ним замещаемой частью эндопротеза. Использовались цементная, бесцементная и гибридная фиксация. Форма ножек эндопротеза цилиндрическая, материал сплава — TiAl6V4. Этот тип имплантата изготавливается по размерам, определенным по данным рентгенологических методов исследований на этапе предоперационного планирования. Анатомические особенности удаляемого фрагмента кости при использовании такой конструкции не учитываются, что не позволяет применять ее для резекций в области метаэпифиза в связи с неполной физиологической нагрузкой на опил оставшегося фрагмента кости, как и модульный тип эндопротеза. Это провоцирует развитие остеопении и последующей нестабильности имплантата. Кроме того, данный тип эндопротеза не позволяет выполнить коррекцию длины резекции во время операции.

**Персонализированный тип эндопротеза.** Эта конструкция состоит из двух компонентов: проксимальной и дистальной ножек с фиксированной к ним замещаемой частью эндопротеза. Имплантат проектируется и изготавливается с использованием аддитивных 3D-технологий. На основании данных КТ выполняются 3D-моделирование конструкции эндопротеза и реконструкция его установки в область пострезекционного дефекта. Также разрабатывается индивидуальный дизайн-проект будущего изделия, учитывающий анатомическую форму удаляемого фрагмента кости. На этапе предоперационного проектирования при необходимости создается конструкция индивидуальной фиксации имплантата при резекции в области эпифиза. Такие эндопротезы полностью соответствуют форме и размеру удаленного фрагмента кости. Изделие изготавливается с помощью 3D-печати.

Для подготовки к операции, планирования и изготовления имплантата необходимо провести следующие обследования:

- рентгенографию с захватом двух соседних суставов;
- спиральную КТ зоны поражения с захватом двух расположенных рядом суставов и 1–1,5 мм;
- магнитно-резонансную томографию (МРТ).

Ниже представлены клинические случаи планирования, изготовления и установки персонализированного типа эндопротеза с применением аддитивных технологий.

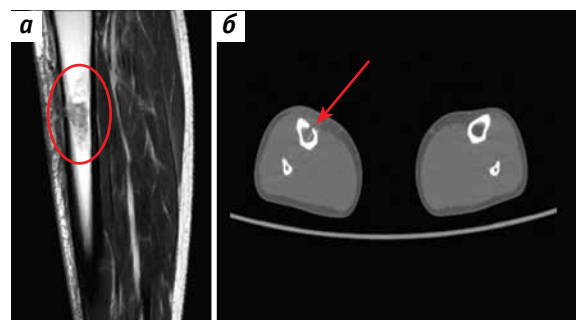
### Клинический случай 1

**Пациент Б., 30 лет, в январе 2023 г. обнаружил образование по передней поверхности средней трети правой большеберцовой кости. В марте 2023 г. впервые обратился к врачам по месту жительства. Проведена биопсия образования правой большой берцовой кости. Гистологическое заключение: остеосаркома G<sub>3</sub>.**

**Пациент обратился за консультацией в Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба — филиал Национального медицинского исследовательского центра радиологии. Клинический диагноз: С40.2, остеосаркома диафиза правой большеберцовой кости cT1N0M0, G<sub>3</sub>, IIA стадия. Проведены 3 курса неoadъювантной полихимиотерапии по схеме AP (доксорубицин + цисплатин).**

**По данным КТ выявлен очаг деструкции диафиза правой большеберцовой кости с распространением на область мягких тканей голени спереди и признаками перифокального отека (рис. 4).**

**При планировании хирургического этапа лечения с соблюдением стандартов абластичности отступов от краев опухоли определена возможность сохранения проксимального отдела большеберцовой кости и коленного сустава с учетом оставшейся длины большеберцовой кости, равной 9 см. В связи с этим принято решение о выполнении хирургического лечения в объеме сегментарной резекции диафиза правой большеберцовой кости с эндопротезированием индивидуальным имплантатом с гибридной фиксацией проксимального компонента.**



**Рис. 4.** Рентгеновская компьютерная томография правой большеберцовой кости перед операцией: а — боковая проекция; б — аксиальная проекция

**Fig. 4.** X-ray computed tomography of the right tibia prior to surgery: а — lateral projection; б — axial projection



**Рис. 5.** Предоперационное проектирование эндопротеза с использованием аддитивных технологий  
**Fig. 5.** Preoperative endoprosthesis design using additive technologies

Особенностью выбранного метода реконструкции является сохранение целостности коленного сустава за счет установки проксимального компонента с нестандартной ножкой. Использовался персонафицированный имплантат. Планирование хирургического лечения (рис. 5) и изготовление эндопротеза проводились с использованием аддитивных технологий и 3D-печати.

На рис. 6 представлен установленный бесцементный эндопротез диафиза правой большеберцовой кости. Срок наблюдения после операции составил 8 мес. Признаков нестабильности ножек эндопротеза не выявлено.



**Рис. 6.** Рентгенография правой голени после операции и установки диафизарного эндопротеза (прямая проекция)  
**Fig. 6.** X-ray of the right calf after surgery and installation of a diaphyseal endoprosthesis (frontal projection)

## Клинический случай 2

**Пациентка П.,** 31 года, с диагнозом «остеосаркома левой большеберцовой кости pT2G3N0M0, IIb стадии». В октябре 2023 г. отметила появление периодических болей в левой голени. Обратилась к врачу по месту жительства. По данным МРТ и КТ выявлен остеолитический очаг в диафизе левой большеберцовой кости (рис. 7).



**Рис. 7.** Рентгеновская компьютерная томография левой большеберцовой кости перед операцией: а – прямая проекция; б – боковая проекция; в – аксиальная проекция  
**Fig. 7.** X-ray computed tomography of the left tibia prior to surgery: а – frontal projection; б – lateral projection; в – axial projection

Открытая биопсия опухоли левой большеберцовой кости проведена 01.02.2024. Гистологическое заключение: злокачественная опухоль. Достоверно судить о нозологической принадлежности образования не представляется возможным. Можно предположить дедифференцированную аденокарциному, нельзя полностью исключить остеосаркому.

На предоперационном этапе применяли персонафицированное прецизионное планирование с использованием трехмерных графических редакторов. На основании данных КТ с частотой срезов 1 мм в DICOM-формате выделен интересный сегмент эндопротезирования, проведены пространственно-частотная фильтрация и сегментация изображения с выделением поверхностей костной ткани, пораженных опухолью и интактных. Аналогичным способом обработано изображение правой голени. Путем зеркального наложения изображений восстановлена трехмерная анатомическая структура разрушенной опухолью кости. Выполнено построение полноценных замкнутых 3D-моделей левой большеберцовой кости. Проведены виртуальная примерка разработанной 3D-модели эндопротеза в трехмерном графическом редакторе и 3D-печать эндопротеза.

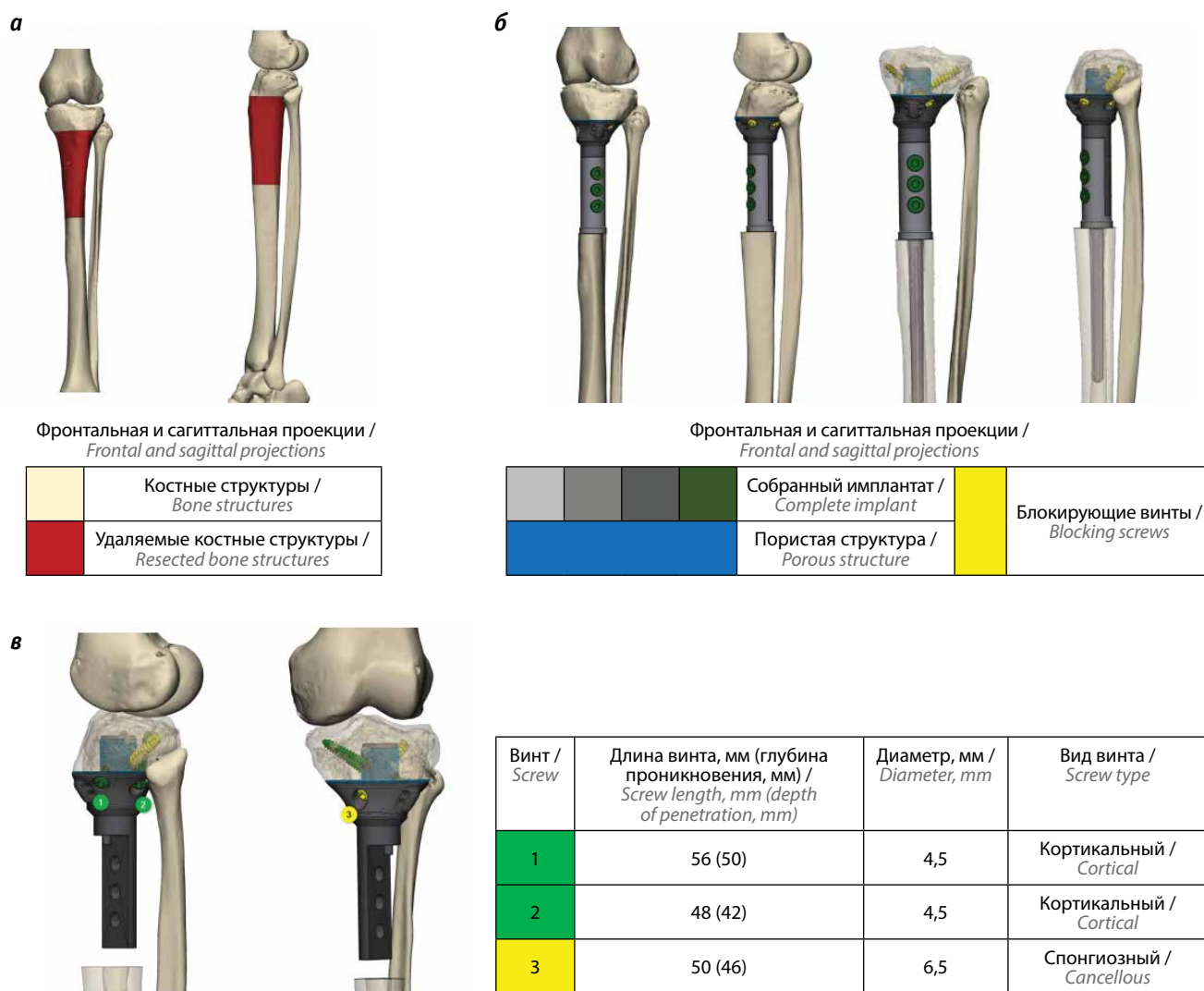
С учетом молодого возраста пациентки при планировании операции поставлена задача сохранения коленного сустава при соблюдении абластичности хирургического лечения. Длина сохраненной проксимальной части большеберцовой кости составила около 4 см, линия

резекции проходила в области метаэпифиза. Для обеспечения надежной фиксации проксимальной ножки эндопротеза использовали персонифицированный имплантат. Совместно с биоинженерами индивидуально разработаны форма имплантата и способ его фиксации. Использована бесцементная полая ножка эндопротеза, фиксированная дополнительно 3 винтами диаметром 20 мм и длиной 20 мм. По данным КТ размер и форма замещающей части эндопротеза соответствовали проксимальному опилу большеберцовой кости. Опил кости имел бесцемент-

ное покрытие, большеберцовая ножка эндопротеза — конусную форму, цементную фиксацию, стандартный тиропоразмер (диаметр 11/9 мм, длина 120 мм).

При резекции большеберцовой кости место фиксации собственной связки надколенника нарушено не было. Объем активных и пассивных движений в левом коленном суставе сохранен.

Планирование хирургического лечения и изготовление эндопротеза проводили с помощью аддитивных технологий и 3D-печати (рис. 8).



**Рис. 8.** Предоперационное проектирование эндопротеза с использованием аддитивных технологий: а – состояние до операции; б – состояние после эндопротезирования; в – фиксация проксимального компонента. Эндопротез фиксируется к обработанной и ранее рассверленной проксимальной части большеберцовой кости бесцементно и крепится винтами. Параметры штифта: полый, диаметр 20 мм, длина 20 мм. Рекомендована установка всех винтов. Значение их длин носит рекомендательный характер. Перед установкой винтов следует провести интраоперационные измерения их длины и при необходимости выбрать винт, имеющий длину, соответствующую измерениям

**Fig. 8.** Preoperative endoprosthesis design using additive technologies: а – condition before surgery; б – condition after endoprosthesis; в – fixation of the proximal component. Endoprosthesis is attached to a previously treated and reamed proximal part of the tibia without cement and is fixed with screws. Nail parameters: hollow, diameter 20 mm, length 20 mm. Installation of all screws is recommended. Their lengths serve as a guideline. Prior to screw installation, intraoperative measurements of their length should be performed, and a screw with length corresponding to the measurements should be chosen if required



2

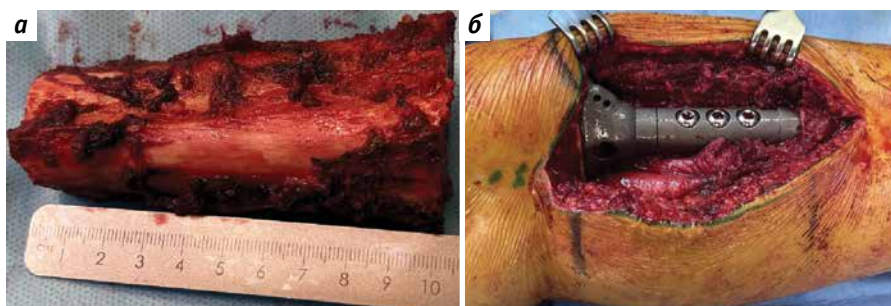


**Рис. 8. (Окончание).** Предоперационное проектирование эндопротеза с использованием аддитивных технологий: 2 – цементная фиксация дистального компонента к обработанной и ранее рассверленной дистальной части большеберцовой кости. Параметры штифта: полый, диаметр 11/9 мм, длина 120 мм

**Fig. 8. (End).** Preoperative endoprosthesis design using additive technologies: 2 – cement fixation of a distal component to the treated and previously reamed distal part of the tibia. Nail parameters: hollow, diameter 11/9 mm, length 120 mm

Резекция выполнена согласно предоперационному 3D-планированию. Проксимальная и дистальная линии резекции определены перед операцией с помощью КТ-

навигации (рис. 9). Проведен рентген-контроль установки эндопротеза диафиза большеберцовой кости (рис. 10).



**Рис. 9.** Удаленный диафизарный сегмент большеберцовой кости, замещенный эндопротезом фирмы «ТИОС» (Россия): а – удаленный препарат; б – установленный эндопротез

**Fig. 9.** Resected diaphyseal segment of the tibia replaced by an endoprosthesis manufactured by TIOS (Russia): а – resected specimen; б – installed endoprosthesis



**Рис. 10.** Рентгенография левой голени: а – прямая проекция; б – боковая проекция. Персонализированный эндопротез диафиза левой большеберцовой кости фирмы «ТИОС» (Россия)

**Fig. 10.** X-ray of the left calf: а – frontal projection; б – lateral projection. Personalized endoprosthesis of the left tibia manufactured by TIOS (Russia)

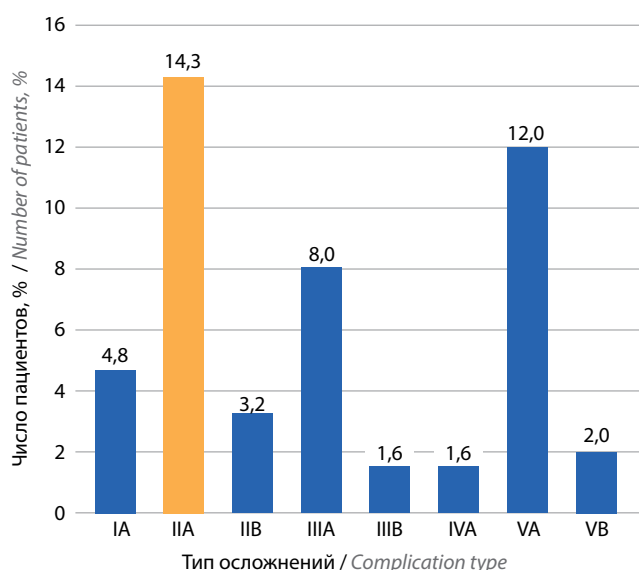
## Результаты

За 29-летний период наблюдения осложнения после первичного и ревизионного эндопротезирования различных диафизарных отделов костей развились в 24 (40,7 %) случаях. Средний срок до выявления онкологических и неонкологических осложнений составил 14,3 (1–58) мес.

Осложнения типа IA (нестабильность конструкции по классификации International Society of Limb Salvage 2013, ISOLS 2013) возникли в 3 (4,8 %) случаях, типа IIA (ранняя асептическая нестабильность) – в 9 (14,3 %), типа IIB (поздняя асептическая нестабильность) – в 2 (3,2 %), типа IIIA (разрушение элементов конструкции эндопротеза) – в 5 (8 %), типа IIIB (перипротезный перелом кости) – в 1 (1,6 %), типа IVA (ранняя инфекция эндопротеза) – в 1 (1,6 %), типа VA (рецидив в мягких тканях) – в 6 (12 %), типа VB (рецидив в костях) – в 1 (2 %).

Общее количество онкологических осложнений составило 32 %. Только местный рецидив выявлен в 10 % случаев, только метастазирование – в 18 %, прогрессирование заболевания в виде местного рецидива и метастатического поражения – в 4 %. Онкологические осложнения в среднем развились через 17,4 (4–112) мес, средний срок до рецидива составил 12,3 мес. Метастазирование возникло в среднем через 20,5 мес, рецидив и метастазирование – в среднем через 9,1 мес после операции.

Общее количество неонкологических осложнений (типов I–IV по ISOLS 2013) составило 35,6 %. В группе пациентов после первичного и повторного эндопротезирования этот показатель оказался равен 31,8 и 6,36 %



**Рис. 11.** Осложнения эндопротезирования различных диафизарных отделов костей согласно классификации International Society of Limb Salvage 2013

**Fig. 11.** Complications of endoprosthesis of various diaphyseal parts of the bones per the International Society of Limb Salvage classification 2013

соответственно. Средний срок до выявления неонкологических осложнений в группе первичного эндопротезирования составил 16,3 (1–58) мес, в группе ревизионного эндопротезирования – 12,2 (3–28) мес.

В ходе анализа результатов онкологического эндопротезирования диафизов трубчатых костей выявлено, что осложнения после первичного эндопротезирования развиваются в 5 раз чаще, чем после повторного. Статистически значимых различий в общей частоте неонкологических осложнений в зависимости от локализации опухоли не обнаружено: при эндопротезировании диафизарного отдела плечевой кости они возникли в 37,5 % (6/16) случаев, диафизарного отдела бедренной кости – в 34,4 % (10/29), диафизарного отдела большеберцовой кости – в 35,7 % (5/14).

За 29-й летний период наблюдения в 15,9 % случаев выполнена замена всего имплантата или его компонентов в связи с развитием механических и немеханических осложнений. В 7,4 % случаев проведена замена всего эндопротеза, в 8,5 % – только его дистальной ножки или удаление сустава.

За указанный период наблюдения из мониторинговой группы выбыл 21 % пациентов. Причиной этого в 1,6 % случаев был рецидив опухоли, в 1,6 % – развитие инфекции, в 17,5 % – смерть из-за прогрессирования основного заболевания.

В 3 (4,8 %) случаях возникли мягкотканые осложнения (типа I по ISOLS 2013), явившиеся причиной реэндопротезирования.

Асептическая нестабильность эндопротеза (осложнение типа II по ISOLS 2013) после первичного и повторного эндопротезирования диафизарного отдела длинных трубчатых костей диагностирована в 17,5 % случаев. Средний срок до выявления этого осложнения оказался равен 13,8 (2–58) мес. Ранняя и поздняя асептическая нестабильность встречалась только после первичного эндопротезирования.

Частота поломки эндопротеза (осложнение типа IIIA по ISOLS 2013) выявлена в 5 (8 %) случаях. Поломки конструкции эндопротеза возникли при первичном и повторном эндопротезированиях: перелом одной из ножек эндопротеза после эндопротезирования диафиза плечевой кости – в 3 случаях, бедренной кости – в 2. В 4 случаях это осложнение наблюдалось при использовании имплантатов, выполненных из изоэластика, в 1 случае – из сплава CoCrMo. При применении эндопротезов из сплава Ti6AlV4 независимо от способа их производства разрушения конструкции выявлено не было. Обнаружено, что изоэластик обладает меньшей прочностью по сравнению с титановыми и стальными сплавами, которая с течением времени снижается.

Среди 59 первичных и повторных онкологических эндопротезирований диафизарного отдела длинных трубчатых костей только в 1 (1,6 %) случае после эндопротезирования диафизарного отдела плечевой ко-

сти на фоне травматизации этой области возник перипротезный перелом кости (осложнение типа IIIB по ISOLS 2013).

Перипротезная инфекция (осложнение типа IV по ISOLS 2013) через 3 мес после первичного эндопротезирования диафиза большеберцовой кости развилась у 1 (1,6 %) пациента, в связи с чем выполнена ампутация нижней конечности.

После онкологического эндопротезирования диафиза трубчатой кости рецидив опухоли в костях (осложнение типа VA по ISOLS 2013) развился в 3,2 % случаев, в мягких тканях (осложнение типа VB по ISOLS 2013) — в 1,6 %. Средний срок до выявления осложнения составил 18 (15–20) мес.

Проанализирована также частота имплантат-ассоциированных осложнений (типов II–III по ISOLS 2013) в зависимости от типа конструкции эндопротеза. При использовании модульных конструкций нежелательные явления возникли в 6,3 % случаев, индивидуальных конструкций — в 31,8 %, персонифицированных конструкций, учитывающих анатомические особенности кости пациента, — в 14,3 %.

Средние функциональные результаты после первичного и повторного эндопротезирования голеностопного сустава оценивали по шкале Musculoskeletal Tumor Society Score: через 6 мес они составили 74 (20–98) %, через 12 мес — 80 (45–98) %.

Проанализирована также бессобытийная выживаемость пациентов с первичными злокачественными опу-

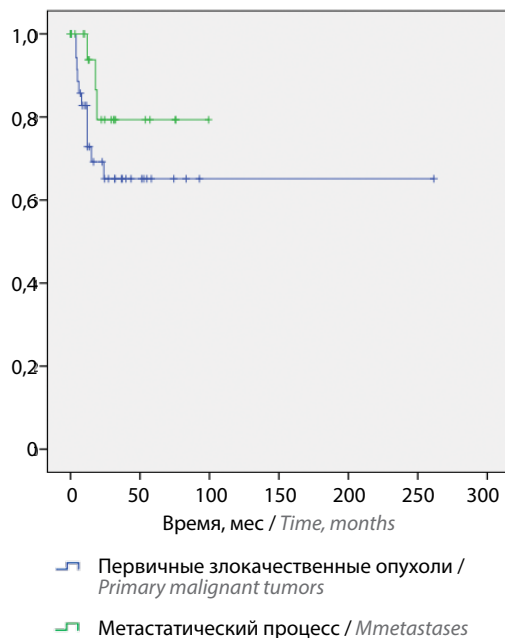
холями и метастатическим процессом с поражением диафизарного отдела плечевой, бедренной и большеберцовой костей с помощью метода Каплана–Майера. Бессобытийная выживаемость больных с первичными злокачественными новообразованиями через 3 и 5 лет после начала лечения составила  $65,1 \pm 8,7$  %, больных с метастатическим поражением —  $79,3 \pm 10,7$  % (рис. 12).

Проанализирована общая выживаемость пациентов, включенных в исследование, с использованием метода Каплана–Майера (табл. 1, рис. 13). Выявлено, что показатели общей выживаемости оказались лучше

**Таблица 1.** Общая выживаемость пациентов с первичными злокачественными опухолями и метастатическим процессом, %

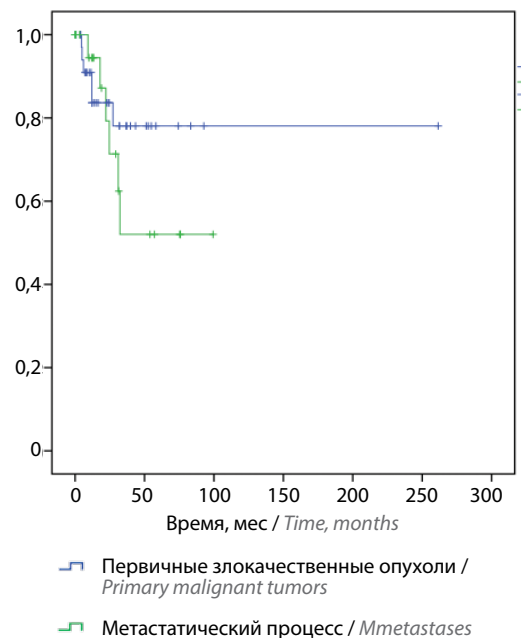
**Table 1.** Overall survival of patients with primary malignant tumors and metastases, %

Показатель Characteristic	Первичные злокачественные опухоли Primary malignant tumors	Метастатические опухоли Metastatic tumors
3-летняя выживаемость 3-year survival	$78,1 \pm 8,3$	$52,0 \pm 14,8$
5-летняя выживаемость 5-year survival	$78,1 \pm 8,3$	$52,0 \pm 14,8$



**Рис. 12.** Бессобытийная выживаемость пациентов с поражением диафизарного отдела плечевой, бедренной и большеберцовой костей

**Fig. 12.** Event-free survival of patients affecting diaphyseal parts of the humerus, femur and tibia



**Рис. 13.** Общая выживаемость пациентов с поражением диафизарного отдела плечевой, бедренной и большеберцовой костей

**Fig. 13.** Overall survival of patients affecting diaphyseal parts of the humerus, femur and tibia

у больных с первичными злокачественными опухолями, чем у больных с метастатическим поражением, в отличие от показателей бессобытийной выживаемости, которые были незначительно выше у пациентов с метастатическим поражением.

### Обсуждение

Реконструкция диафизарных дефектов длинных трубчатых костей в ряде случаев представляет собой сложную задачу в связи с дефицитом костной ткани в области фиксации имплантатов и большой протяженностью резекции при использовании биологических трансплантатов, что влияет на прочность фиксации и повышает риск развития нестабильности эндопротезов при соблюдении принципов радикальности удаления опухоли. Существует несколько методов реконструкции таких дефектов с использованием ауто-, аллотрансплантатов и эндопротезов.

Оптимальным методом реконструкции пострезекционных диафизарных дефектов, при применении которого отмечается наименьшее количество осложнений, считается использование васкуляризированных ауто-трансплантатов малоберцовой кости. Однако он рекомендован при замещении непротяженных дефектов. В ряде случаев могут возникнуть трудности в выборе длины и формы замещаемого дефекта. Значительно ограничивают применение васкуляризированных ауто-трансплантатов малоберцовой кости болезненность и косметические дефекты в донорской области [5], а также длительный период восстановления полной опороспособности, который составляет около 13 мес [9].

Использование аллотрансплантатов сопряжено с высокой частотой развития таких осложнений, как инфекция (10–30 % случаев) [6, 8], несращение эндопротеза с костью (30–63 % случаев) [6, 10] и перелом костного трансплантата (14–42 %) [6, 11, 12]. Кроме того, проведение химиотерапии и/или лучевой терапии приводит к повышению риска несращения биологического трансплантата с костью или требует увеличения сроков до начала консервативного лечения, что при наличии диссеминированного онкологического процесса ухудшает прогноз.

Использование диафизарных эндопротезов позволяет избежать вышеперечисленных проблем, создать надежную фиксацию во время операции, восстановить полную опороспособность в раннем послеоперационном периоде, выполнить резекцию кости с соблюдением принципов радикальности и провести комбинированное лечение согласно утвержденным протоколам.

Совсем недавно при диафизарном эндопротезировании стабильная фиксация ножек могла быть достигнута при их длине >5 см [1, 5, 13, 14]. Использование 3D-печати и аддитивных технологий в онкоортопедии в последние 5–7 лет позволило создавать конструкции, точно имитирующие удаляемую часть кости и частич-

но решить проблему нестабильности эндопротеза, особенно с ультракороткими ножками, благодаря купированию синдрома стресс-шилдинг, последствием которого является потеря костной массы из-за неравномерного транслирования нагрузки на кость [15]. Кроме того, данные методики дают возможность разрабатывать сложные варианты комбинированной фиксации ножек эндопротеза, в том числе с использованием разнонаправленных винтов. Это позволило применять диафизарное эндопротезирование при обширной резекции кости у пациентов, у которых недавно был удален близлежащий сустав. Сохранение близлежащих суставов способствует поддержанию хорошего качества жизни больных, уменьшению периода реабилитации и снижению риска развития осложнений, связанных с заживлением раны.

Анализ результатов использования диафизарных эндопротезов показал, что нестабильность эндопротеза является основным осложнением, частота которого варьирует от 4,1 до 38 % [1, 2, 5, 6, 8, 10, 14, 16, 17] и зависит от типа фиксации, конструкции имплантата и сроков наблюдения.

По данным различных авторов, в среднем осложнения типа II после онкологического эндопротезирования за период 1969–2018 гг. встречались в 13,9 (2,4–48) % [15]. В ряде работ приводятся данные о более высокой частоте развития нестабильности плечевых диафизарных эндопротезов [5, 6]. В исследовании J. Venevenia и соавт. с участием 44 пациентов, которым выполнены первичное и повторное эндопротезирования диафиза плечевой, бедренной и большеберцовой костей, неонкологические осложнения возникли у больных с поражением бедренной кости. Однако в настоящем исследовании корреляции анатомической области эндопротезирования с развитием нестабильности имплантата выявлено не было [16].

Данные об онкологических осложнениях после эндопротезирования диафизарных отделов кости довольно вариабельны и зависят от нозологических типов опухоли, наличия первичных опухолей костей или метастазов, при которых хирургическое лечение позволяет улучшить качество жизни в случае патологического перелома или его угрозы, но не влияет на онкологический прогноз.

### Заключение

Нестабильность эндопротеза и рецидив после удаления опухоли являются наиболее частыми осложнениями эндопротезирования диафизарной части плечевой, бедренной и большеберцовой костей. Вследствие этого оптимальным является использование модульных типов имплантатов и моделей, изготовленных с помощью 3D-печати. При обширных костных резекциях и коротких ножках эндопротеза в случае последующего развития его нестабильности



и рецидива опухоли применение модульных систем эндопротезирования позволяет заменить только часть имплантата, не меняя его полностью, даже в случае необходимости удаления близлежащего сустава. Это значительно уменьшает время и травматичность хирургического лечения, а также сроки восстановления после операции.

Применение систем эндопротезирования, изготовленных с использованием 3D-печати, позволяет создать имплантат, в полной мере повторяющий опылы костей, что снижает риск развития синдрома стресс-шилдинг. Кроме того, данная технология дает возможность индивидуально смоделировать надежную фиксацию ножки эндопротеза при ультракоротких резекциях, что недостижимо при применении других типов диафизарных эндопротезов. Однако при последующей резекции части кости вместе с близлежа-

щим суставом по причине развития различных осложнений данный тип эндопротеза удаляется полностью, в отличие от модульных типов. Вследствие этого оптимальным методом является использование цементной фиксации ножки эндопротеза стандартной длины, что позволит снизить объем и тяжесть возможного реэндопротезирования.

Резекция диафизарного отдела кости с его реконструкцией эндопротезом является методом выбора для пациентов с первичным и метастатическим поражением этого отдела кости. Частота осложнений согласно классификации ISOLS 2013 соответствует средним результатам после онкологического эндопротезирования, приводимым в источниках литературы. При этом функциональные результаты и качество жизни пациентов оказались лучше, чем после операций с эндопротезированием близлежащих суставов.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Huang H.C., Hu Y.C., Lun D.X. et al. Outcomes of intercalary prosthetic reconstruction for pathological diaphyseal femoral fractures secondary to metastatic tumors. *Orthop Surg* 2017;9(2):221–8. DOI: 10.1111/os.12327
- Pu F., Yu Y., Shao Z. et al. Clinical efficacy of customized modular prosthesis in the treatment of femoral shaft metastases. *Front Oncol* 2023;13:1115898. DOI: 10.3389/fonc.2023.1115898
- Trompeter A. Management of metastatic bone disease (MBD). *Injury* 2022;53(12):3869–71. DOI: 10.1016/j.injury.2022.09.054
- Kask G., Nieminen J., Parry M.C. et al. Revision rate of reconstructions in surgically treated diaphyseal metastases of bone. *Eur J Surg Oncol* 2019;45(12):2424–30. DOI: 10.1016/j.ejso.2019.05.021
- Бадиров Р.Н., Соколовский А.В., Соколовский В.А., Алиев М.Д. Отдаленные результаты первичного и ревизионного эндопротезирования диафизарного сегмента кости. Опыт 23 лет. Саркомы костей, мягких тканей и опухоли кожи 2018;10(3):36–42. Badyrov R.N., Sokolovskii A.V., Sokolovskii V.A., Aliev M.D. Long-term results of primary and revision arthroplasty of the diaphyseal bone segment. Experience of 23 years. *Sarkomy kostei, miagkikh tkanei i opukholi kozhi = Bone and Soft Tissue Sarcomas, Tumors of the Skin* 2018;10(3):36–42. (In Russ.).
- Zheng K., Yu X.C., Hu Y.C. et al. Outcome of segmental prosthesis reconstruction for diaphyseal bone tumors: a multi-center retrospective study. *BMC Cancer* 2019;19(1):638. DOI: 10.1186/s12885-019-5865-0
- Aponte-Tinao L.A., Albergo J.I., Ayerza M.A. et al. What are the complications of allograft reconstructions for sarcoma resection in children younger than 10 years at long-term followup. *Clin Orthop Relat Res* 2018;476(3):548–55.
- Mahdal M., Pazourek L., Apostolopoulos V. et al. Outcomes of intercalary endoprostheses as a treatment for metastases in the femoral and humeral diaphysis. *Curr Oncol* 2022;29(5):3519–30. DOI: 10.3390/curroncol29050284
- Campanacci D.A., Totti F., Puccini S. et al. Intercalary reconstruction of femur after tumour resection: is a vascularized fibular autograft plus allograft a long-lasting solution. *Bone Joint J* 2018;100-B(3):378–86.
- Pu F., Zhang Z., Wang B. et al. En bloc resection and intercalary prosthesis implantation for the treatment of humeral diaphyseal bone metastases. *Int Orthop* 2021;45(1):281–8. DOI: 10.1007/s00264-020-04845-x
- Errani C., Tsukamoto S., Almunhaisen N. et al. Intercalary reconstruction following resection of diaphyseal bone tumors: a systematic review. *J Clin Orthop Trauma* 2021;19:1–10. DOI: 10.1016/j.jcot.2021.04.033
- Campanacci D.A., Scanferla R., Innocenti M. et al. Are vascularized fibula autografts a long-lasting reconstruction after intercalary resection of the humerus for primary bone tumors? *Clin Orthop Relat Res* 2023;481(11):2185–97. DOI: 10.1097/CORR.0000000000002739
- Fuchs B., Ossendorf C., Leerapun T., Sim F.H. Intercalary segmental reconstruction after bone tumor resection. *Eur J Surg Oncol* 2008;34(12):1271–6. DOI: 10.1016/j.ejso.2007.11.010
- Hu Y.C. Surgical technique for reconstruction of diaphyseal defect with endoprosthesis following intercalary resection in femoral shaft. *Orthop Surg* 2014;6(4):329–31. DOI: 10.1111/os.12145
- Соколовский А.В., Соколовский В.А., Блудов А.Б. и др. Долгосрочные результаты и современные принципы профилактики и лечения пациентов с асептической нестабильностью эндопротеза в онкологии. Саркомы костей, мягких тканей и опухоли кожи 2022;14(1):11–24. DOI: 10.17650/2782-3687-2022-14-1-11-24 Sokolovskii A.V., Sokolovskii V.A., Bludov A.B. et al. Long-term results and modern principles of prevention and treatment patients with endoprosthesis aseptic instability in oncology. *Sarkomy kostei, miagkikh tkanei i opukholi kozhi = Bone and Soft Tissue Sarcomas, Tumors of the Skin* 2022;14(1):11–24. (In Russ.). DOI: 10.17650/2782-3687-2022-14-1-11-24
- Benevenia J., Kirchner R., Patterson F. et al. Outcomes of a Modular intercalary endoprosthesis as treatment for segmental defects of the femur, tibia, and humerus. *Clin Orthop Relat Res* 2016;474(2):539–48. DOI: 10.1007/s11999-015-4588-z
- Henderson E.R., Groundland J.S., Pala E. et al. Failure mode classification for tumor endoprostheses: retrospective review of five institutions and a literature review. *J Bone Joint Surg Am* 2011;93(5):418–29. DOI: 10.2106/JBJS.J.00834

**Вклад авторов**

А.В. Соколовский: идея, разработка концепции и дизайна исследования, сбор и обработка материала, обзор литературы по теме статьи, написание текста статьи;

А.А. Курильчик: идея, разработка концепции и дизайна исследования, сбор и обработка материала, научное редактирование;

А.А. Жеравин: идея, разработка концепции исследования, сбор и обработка материала, обзор литературы по теме статьи;

В.А. Соколовский: разработка концепции и дизайна исследования, научное редактирование;

М.К. Ханина: сбор и обработка материала, написание текста статьи.

**Authors' contributions**

A.V. Sokolovskii: idea, development of the concept and design of research, collection and processing of the material, review of the literature on the topic of the article, article writing;

A.A. Kurilchik: idea, development of the concept and design of research, collection and processing of material, scientific editing;

A.A. Zheravin: idea, development of the research concept, the collection and processing of material, a review of the literature on the topic of the article;

V.A. Sokolovskii: development of the concept and design of research, scientific editing;

M.K. Khanina: collecting and processing material, article writing.

**ORCID авторов / ORCID of authors**

А.В. Соколовский / A.V. Sokolovskii: <https://orcid.org/0000-0002-8181-019X>

А.А. Курильчик / A.A. Kurilchik: <https://orcid.org/0000-0003-2615-078X>

А.А. Жеравин / A.A. Zheravin: <https://orcid.org/0000-0003-3169-0326>

В.А. Соколовский / V.A. Sokolovskii: <https://orcid.org/0000-0003-0558-4466>

М.К. Ханина / M.K. Khanina: <https://orcid.org/0009-0005-5798-5060>

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Финансирование.** Статья подготовлена без спонсорской поддержки.

**Funding.** The article was prepared without external funding.

**Соблюдение прав пациентов и правил биоэтики**

Протокол исследования одобрен комитетом по биомедицинской этике ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России.

Пациенты подписали информированное согласие на участие в исследовании и публикацию своих данных.

**Compliance with patient rights and principles of bioethics**

The study protocol was approved by the biomedical ethics committee of N.N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology, Ministry of Health of Russia.

The patients gave written informed consent to participate in the study and publishing their data.

**Статья поступила:** 10.12.2024. **Принята к публикации:** 20.01.2025. **Опубликована онлайн:** 31.03.2025.

**Article submitted:** 10.12.2024. **Accepted for publication:** 20.01.2025. **Published online:** 31.03.2025.