



### 3.1.6. Онкология, лучевая терапия КЛИНИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ

## Клиническое наблюдение резекции ребер с применением индивидуального 3D-имплантата в хирургическом лечении хондросаркомы

Г. В. Афонин<sup>1</sup>, Д. Ю. Миронова<sup>1✉</sup>, Е. И. Смоленов<sup>1</sup>, З. М. Салимов<sup>1</sup>, А. А. Курильчик<sup>1</sup>,  
М. С. Бондарь<sup>2</sup>, С. А. Иванов<sup>1,3</sup>, А. Д. Каприн<sup>3,4,5</sup>

<sup>1</sup> Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр радиологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Обнинск, Российская Федерация

<sup>2</sup> Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, г. Новосибирск, Российская Федерация

<sup>3</sup> Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация

<sup>4</sup> Национальный медицинский исследовательский центр радиологии Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Обнинск, Российская Федерация

<sup>5</sup> Московский научно-исследовательский онкологический институт им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр радиологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Москва, Российская Федерация

✉ [diana.mironova2011@yandex.ru](mailto:diana.mironova2011@yandex.ru)

### Аннотация

На сегодняшний день хирургическое лечение является основным вариантом для пациентов с опухолями грудной стенки. В связи с важностью сохранения каркасности грудной клетки при массивных операциях выбор метода замещения пострезекционного дефекта грудной стенки остается одной из актуальных проблем в хирургии грудной клетки.

В представленном клиническом наблюдении описаны результаты лечения 64-летней пациентки с диагностированным первично-множественным метастатическим онкологическим заболеванием, которой была выполнена резекция тел ребер с аллопластикой индивидуальным 3D-имплантатом из никелид-титанового сплава, разработанным по индивидуальной модели с механизмом двойной блокировки при помощи «клещевидных» соединений. На момент контрольного обследования через 12 мес. после операции данных о наличии рецидива опухоли не получено, конструкция стабильна, физиологический объем грудной клетки сохранен, явлений парадоксального дыхания не выявлено.

Предложенный индивидуальный модульный 3D-имплантат удобен при установке в ране, что позволяет минимизировать риск кровотечений, инфекционных осложнений и сократить время операции. Методика реконструкций грудины и ребер с помощью индивидуального модульного 3D-импланта безопасна, эффективна и может широко использоваться в клинической практике.

### Ключевые слова:

хондросаркома, индивидуальный 3D-имплант, энхондрома, пластика ребер, реконструкция костного каркаса, клиническое наблюдение

**Для цитирования:** Афонин Г. В., Миронова Д. Ю., Смоленов Е. И., Салимов З. М., Курильчик А. А., Бондарь М. С., Иванов С. А., Каприн А. Д. Клиническое наблюдение резекции ребер с применением индивидуального 3D-имплантата в хирургическом лечении хондросаркомы. Research and Practical Medicine Journal (Исследования и практика в медицине). 2026; 13(1): 95-103. <https://doi.org/10.17709/2410-1893-2026-13-1-8> EDN: XNXKAU

**Для корреспонденции:** Миронова Диана Юрьевна – врач-онколог отделения торакальной онкологии Медицинского радиологического научного центра им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр радиологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Обнинск, Российская Федерация  
Адрес: 249036, Российская Федерация, г. Обнинск, ул. Королёва, д. 4  
E-mail: [diana.mironova2011@yandex.ru](mailto:diana.mironova2011@yandex.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6665-5355>, eLibrary SPIN: 3586-5146, AuthorID: 1066046, Scopus Author ID: 58509867400

**Соблюдение этических стандартов:** в работе соблюдались этические принципы, предъявляемые Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации (World Medical Association Declaration of Helsinki, 1964, ред. 2013). От пациента получено письменное добровольное информированное согласие на публикацию описания клинического наблюдения (02.06.2025).

**Финансирование:** финансирование данной работы не проводилось.

**Конфликт интересов:** автор статьи А. Д. Каприн является главным редактором журнала «Research'n Practical Medicine Journal». Автор статьи С. А. Иванов входит в состав редакционной коллегии журнала «Research'n Practical Medicine Journal». Статья прошла принятую в журнале процедуру рецензирования независимыми экспертами. Об иных конфликтах интересов авторы не заявляли.

Статья поступила в редакцию 03.09.2025; одобрена после рецензирования 29.01.2026; принята к публикации 10.03.2026.

© Афонин Г. В., Миронова Д. Ю., Смоленов Е. И., Салимов З. М., Курильчик А. А., Бондарь М. С., Иванов С. А., Каприн А. Д., 2026

## Clinical observation of rib resection using a patient-specific 3D implant in the surgical treatment of chondrosarcoma

G. V. Afonin<sup>1</sup>, D. Yu. Mironova<sup>1✉</sup>, E. I. Smolenov<sup>1</sup>, Z. M. Salimov<sup>1</sup>, A. A. Kurilchik<sup>1</sup>, M. S. Bondar<sup>5</sup>,  
S. A. Ivanov<sup>1,3</sup>, A. D. Kaprin<sup>3,4,5</sup>

<sup>1</sup> A. Tsyb Medical Radiological Research Centre – Branch of the National Medical Research Radiological Centre, Obninsk, Russian Federation

<sup>2</sup> Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation

<sup>3</sup> Peoples Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russian Federation

<sup>4</sup> National Medical Research Radiological Centre, Obninsk, Russian Federation

<sup>5</sup> P. Hertsen Moscow Oncology Research Institute – Branch of the National Medical Research Radiological Centre, Moscow, Russian Federation

✉ [diana.mironova2011@yandex.ru](mailto:diana.mironova2011@yandex.ru)

### Abstract

To date, surgical treatment remains the main therapeutic option for patients with chest wall tumors. Given the importance of preserving the structural integrity of the thoracic cage during extensive resections, the choice of reconstruction method for post-resection chest wall defects remains one of the key challenges in thoracic surgery.

This clinical case report presents the treatment outcomes of a 64-year-old female patient diagnosed with primary multiple metachronous malignancies who underwent rib resection followed by alloplastic reconstruction using a patient-specific 3D implant made of a nickel–titanium alloy. The implant was designed based on an individualized model and featured a double-locking mechanism using clamp-type fixation. At the 12-month follow-up, no evidence of tumor recurrence was detected; the implant remained stable, the physiological volume of the thoracic cavity was preserved, and no signs of paradoxical respiration were observed.

The proposed patient-specific modular 3D implant is convenient for intraoperative placement, allowing minimization of the risk of bleeding and infectious complications, as well as reduction of operative time. The technique of sternal and rib reconstruction using a patient-specific modular 3D implant is safe and effective and can be widely implemented in clinical practice.

### Keywords:

chondrosarcoma, individual 3D implant, enchondroma, rib surgery, bone reconstruction, clinical case reports

**For citation:** Afonin G. V., Mironova D. Yu., Smolenov E. I., Salimov Z. M., Kurilchik A. A., Bondar M. S., Ivanov S. A., Kaprin A. D. Clinical observation of rib resection using a patient-specific 3D implant in the surgical treatment of chondrosarcoma. Research and Practical Medicine Journal (Issled. prakt. med.). 2026; 13(1): 95-103. (In Russ.). <https://doi.org/10.17709/2410-1893-2026-13-1-8> EDN: XNXKAU

**For correspondence:** Diana Yu. Mironova – MD, oncologist, Department of Thoracic Oncology, A.Tsyb Medical Radiological Research Centre – Branch of the National Medical Research Radiological Centre, Obninsk, Russian Federation

Address: 4 Koroleva str., Obninsk, Kaluga Region, 249036, Russian Federation

E-mail: [diana.mironova2011@yandex.ru](mailto:diana.mironova2011@yandex.ru)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6665-5355>, eLibrary SPIN: 3586-5146, AuthorID: 1066046, Scopus Author ID: 58509867400

**Compliance with ethical standards:** the study followed the ethical principles set forth by the World Medical Association Declaration of Helsinki, 1964, ed. 2013. A written voluntary informed consent was obtained from the patient to publish the description of the clinical observation (02.06.2025).

**Funding:** this work was not funded.

**Conflict of interest:** Andrey D. Kaprin is the Editor-in-Chief of the Journal «Research'n Practical Medicine Journal» and one of the authors of the article. Sergey A Ivanov is the Member of the Editorial Board of the Journal «Research'n Practical Medicine Journal» and one of the authors of the article. The article has passed the review procedure accepted in the Journal by independent experts. The authors did not declare any other conflicts of interest..

The article was submitted 03.09.2025; approved after reviewing 29.01.2026; accepted for publication 10.03.2026.

## АКТУАЛЬНОСТЬ

Основным методом лечения опухолей грудной стенки является хирургическое вмешательство [1–5]. Выбор метода замещения пострезекционного дефекта грудной стенки приобретает особое значение, так как он должен сохранить физиологический объем грудной клетки, восстанавливать каркасность, предотвращать парадоксальное дыхание, герметизировать плевральную полость [6–9].

В настоящее время для реконструкции костного каркаса применяются различные методики, и в качестве материала для этих целей используются собственные ткани организма (костная аутопластика, перемещенные лоскуты), полимерные сетки (полипропиленовая, Gor-Tex-политетрафторэтилен), костный цемент (метилметакрилат), конструкции из нержавеющей стали и титана, титановые конструкции «Stratos» [10–14]. Одним из первых описанных способов замещения пострезекционных реберно-мышечных дефектов является перемещение широчайшей мышцы спины в сочетании с хондропластикой реберного дефекта [15]. Наиболее распространенным способом является замещение пострезекционного дефекта лоскутом никелид-титановой ткани с последующим укреплением при помощи этого же материала, но данный метод может сопровождаться миграцией реконструктивно-пластического компонента при дыхании, что может вызывать болевой синдром. Применение надкостнично-костного аутотрансплантата имеет небольшую площадь поверхности и не позволяет закрыть значительные дефекты. Из-за активных дыхательных движений ребер трансплантат нуждается в дополнительной фиксации.

Несмотря на вариативность методик реконструкции грудной стенки, поиск новых материалов и способов их применения является актуальным. Особый интерес представляет возможность выполнения расширенных радикальных оперативных вмешательств на грудной стенке с одномоментной комбинированной реконструкцией реберного каркаса имплантатами из биологически совместимых материалов.

Приводим описание клинического наблюдения, в котором продемонстрировано замещение реберно-мышечного дефекта 3D-имплантом из биологически совместимого материала, полностью повторяющий конфигурацию удаляемого сегмента ребра с механизмом двойной блокировки.

### Клиническое наблюдение

Пациентка В., 64 года, отмечала появление болевого синдрома в области 4-го ребра справа последние 2 мес. При сборе анамнеза выяснено, что пациентке в 2023 г. было проведено комплексное лечение по

поводу рака молочной железы в объеме: резекция правой молочной железы с последующей адъювантной химиотерапией препаратами Доцетаксел 75 мг/м<sup>2</sup> + циклофосфамид 600 мг/м<sup>2</sup> и курсом конформной дистанционной лучевой терапии на область остаточной ткани правой молочной железы, – с последующей гормонотерапией. Перед началом курса лучевой терапии у пациентки была выявлена малигнизация энхондромы 5-го ребра слева и участок вздутия в боковом отрезке 4-го ребра справа. По поводу изменений в ребрах левой половины грудной клетки пациентке была проведена резекция 5- и 6-го ребер слева с применением титановой пластины в качестве реконструктивно-пластического компонента. По результатам гистологического заключения: хондросаркома V ребра pT2N0M0.

При прохождении контрольных обследований в течение двух лет на фоне проводимого лечения по данным компьютерной томографии органов грудной клетки с контрастом выявлено, что у пациентки в боковом отрезке 4-го ребра справа сохранялся участок вздутия, деформации ребра осталась с прежними размерами 30 × 15 мм (рис. 1).

По причине появления выраженного болевого синдрома (6 баллов по визуально-аналоговой шкале боли) и отсутствия эффекта от проводимой консервативной терапии, пациентке был предложен вариант хирургического этапа лечения (консервативная терапия без эффекта) с предварительным диагнозом: энхондрома 4-го ребра справа.

С учетом наличия сопутствующего первично-множественного метастатического заболевания, включающего в себя хондросаркому 5-го ребра слева, па-



Рис. 1. Компьютерная томография органов грудной клетки с контрастированием. В боковом отрезке 4-го ребра справа отмечался участок вздутия и деформации ребра, размерами 30 × 15 мм

Fig. 1. Contrast-enhanced computed tomography of the chest. A focal area of expansion and deformity measuring 30 × 15 mm was identified in the lateral segment of the right 4<sup>th</sup> rib

пациентке ранее проводилось хирургическое лечение в объеме: резекция 5-го и 6-го ребер слева с использованием титановых пластин. На мультидисциплинарном консилиуме было принято решение о выборе 3D-импланта из биологически совместимого материала, полностью повторяющего конфигурацию удаляемого сегмента ребра с механизмом двойной блокировки при помощи «клещевидных» соединений, в качестве реконструктивно-пластического компонента (рис. 2–5).

В предоперационном периоде пациентке была проведена компьютерная томография грудной стенки с определением формы и размера костного дефекта грудной стенки (рис. 2А). В дальнейшем при помощи компьютерных технологий планируется резекция участков костной ткани грудины с последующей проектировкой и моделированием примерочного шаблона для определения границ резекции костных

структур (рис. 2Б). Затем осуществляют подбор вида и размера крепежных элементов (шурупов, скоб, проволоки и т.д.) для крепления устройства.

Индивидуальный 3D-имплантат проектируют для конкретного дефекта пациента, при этом размер и количество модулей зависит от локализации дефекта, количества резецируемых ребер и протяженности дефекта. Крепежные элементы проводят в направлении наиболее выраженного массива кости, заданном при проектировании.

После планирования выполняют трехмерную печать устройства с использованием трехмерного принтера методом прямого лазерного спекания из титанового порошка методом 3D-печати (рис. 3).

В результате устройство приближено к анатомической форме планируемых к удалению ребер пациента до возникновения опухоли (рис. 4).

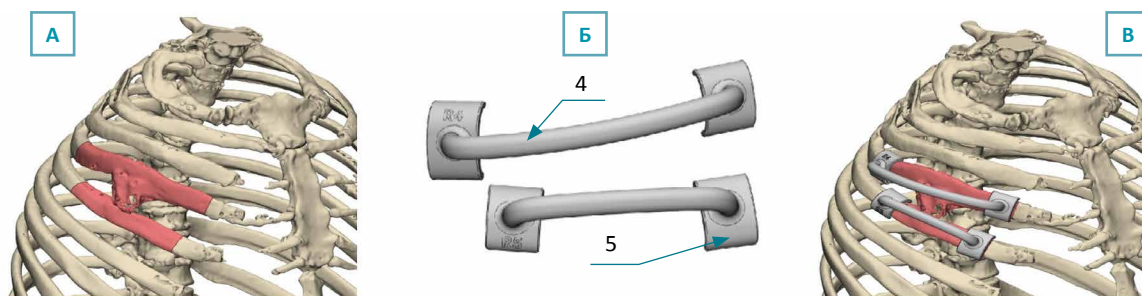


Рис. 2. Общий вид дефекта (А) и вид резекционного шаблона (Б, В)

Fig. 2 Appearance of the defect (A) and the type of the resection template (Б, В)

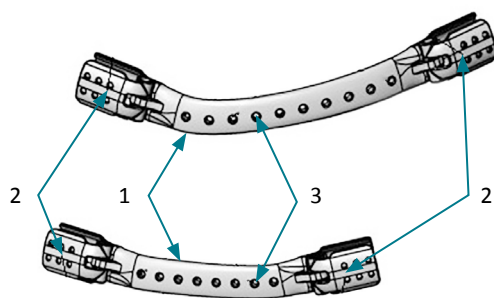


Рис. 3 Общий вид модульных конструкций. 3D имплантат имеет конструкцию, точно повторяющую форму ребер пациента для замещения резецированных участков ребер пациента, и содержит модули, замещающие ребра (1) и имеющие на двух концах крабовидные соединения (2). Модули имеют отверстия (3) для фиксации мягких тканей и для снижения веса конструкции

Fig. 3. General view of modular structures. The 3D implant has a structure that repeats the shape of the patient's ribs to replace the resected sections of the patient's ribs and contains modules (1) replacing ribs with crab-shaped joints at both ends (2). Modules have holes (3) for fixing soft tissues and for reducing the weight of the structure

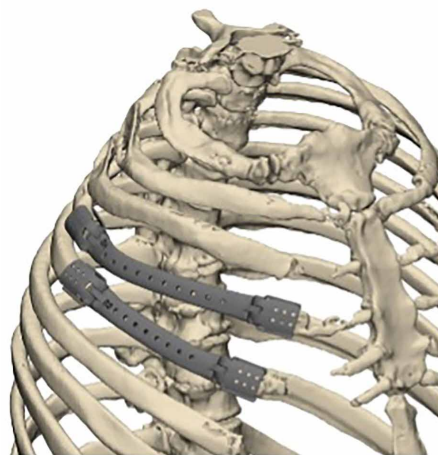


Рис. 4. Общий вид модульной конструкции

Fig. 4. General view of the 3D implant

Пациентка была госпитализирована в МРНЦ им. А. Ф. Цыба, где был выполнен хирургический этап лечения в объеме: резекция тел 4-го и 5-го ребер справа, аллопластика индивидуальным 3D-имплантатом из титанового сплава, разработанным по индивидуальной модели.

Во время хирургического этапа лечения, включающего в себя передне-боковую торакотомию справа в 3-м и 5-м межреберье, в области 4-го межреберья выявлено образование бокового отрезка 4-го ребра с вовлечением бокового отрезка 5-го ребра. Посредством индивидуальных макетов определены перед-

ние и задние границы резекции ребер (рис. 5) с обозначением границ резекции.

После удаления препарата, состоящего из двух ребер длиной 10,0 и 11,5 см, проводилось дренирование правой плевральной полости с последующим реконструктивно-пластическим компонентом. Были проделаны отверстия в задних отрезках 4-го и 5-го ребер и передних отрезках ребер, через которые проведена металлическая проволока с фиксацией эндопротезов, нижние части «клещевидных» соединителей заведены с внутренней стороны ребра с обеих сторон резекции, а подвижная верхняя часть отки-



Рис. 5. Интраоперационный этап установки шаблона для определения границ резекции ребер. После выделения пораженного ребра прикладывают резекционный шаблон и определяют границы резекции ребер по внешнему краю площадки основания шаблона, после разметки упомянутый шаблон убирают, и по размеченным границам выполняют резекцию хрящевых отрезков ребер с двух сторон, острым и тупым путем опухоль отделяют от средостения, препарат удаляют

Fig. 5. The intraoperative stage of installing a template for determining the boundaries of rib resection. After isolating the affected rib, a resection template is applied and the boundaries of rib resection are determined along the outer edge of the template base area, after marking, the template is removed, and the rib is resected along the marked edges along the boundaries indicated by the template. The cartilaginous sections of the ribs are resected from both sides. The tumor is separated from the mediastinum by an acute and blunt path, and the drug is removed

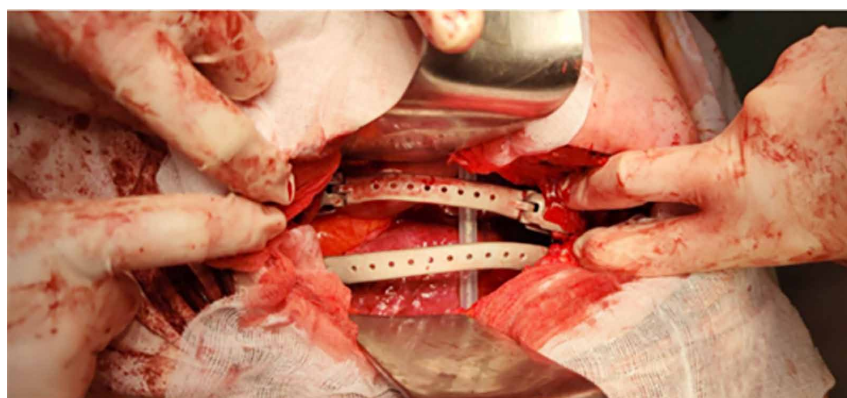


Рис. 6. Интраоперационный этап установки 3D импланта ребер. Посредством бормашины произведены отверстия в задних и передних отрезках 4-го и 5-го ребер, через которые проведена металлическая проволока, эндопротезы зафиксированы «клещевидными соединителями» к ребрам

Fig. 6. Intraoperative placement of the 3D rib implant. Drill holes were created in the posterior and anterior segments of the fourth and fifth ribs, through which metal wires were passed; the endoprotheses were secured to the ribs using clamp-type connectors

дана, закрыта и зафиксирована проволокой через сквозные отверстия «клещевидного» соединителя. Большие грудные мышцы подшаны через перфорированное тело к 3D-импланту с помощью плетеных титановых нитей и лигатур (рис. 6).

Продолжительность операции составила 190 мин, интраоперационная кровопотеря – 100 мл. В отделении реанимации и интенсивной терапии пациентка наблюдалась в течение суток, после чего была переведена в профильное отделение. Течение послеоперационного периода без осложнений, дренаж из плевральной полости удален на 3-и сутки. При контрольной рентгенографии органов грудной клетки на 4-е сутки данных о миграции трансплантата, осложнений со стороны органов дыхания не получено (рис. 7).

По данным рентгенографии: слева металлический трансплантат 5-го ребра. В левом легком свежих очагов и инфильтративных теней не обнаружено. Легочный рисунок и корень уплотнены. Левый купол диафрагмы у 7-го ребра, четкий, синусы облитерированы. Справа тень трансплантата 4-го и 5-го ребер. Несколько завуалировано правое легочное поле в нижних отделах, по-видимому, за счет уплотнения плевры. Над трансплантатом 4-го ребра округлая плотная тень около 2 см (зона операции?). В пра-

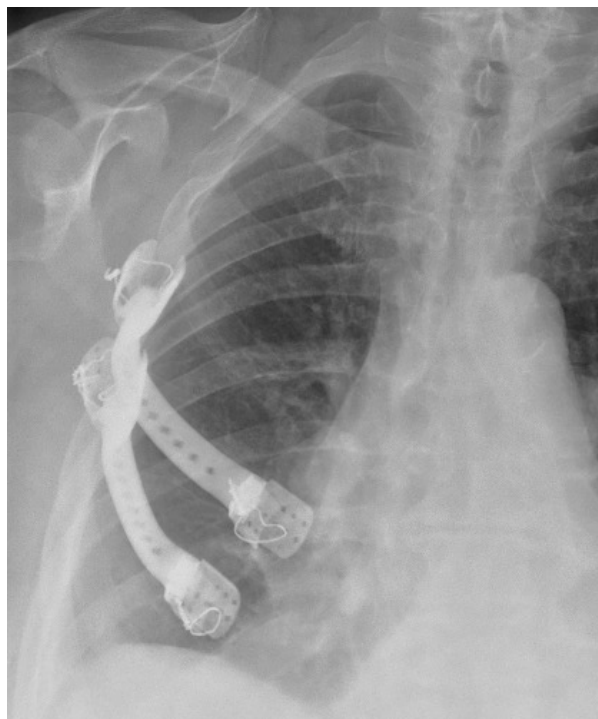


Рис. 7. Рентгенограмма органов грудной клетки на 4-е сутки после операции

Fig. 7. X-ray on the 4<sup>th</sup> day after surgery

вом легком легочный рисунок усилен, корень бесструктурный. Правый купол диафрагмы у 7-го ребра, в синусах нельзя исключить жидкость. В проекции заднего средостения тень газового пузыря.

По результатам морфологического исследования: в области макроскопически описанных изменений ребра определяется рост дольчатой, малоклеточной опухоли, представленной хондроидным матриксом, в котором определяются хондроциты мелких и средних размеров с мелкими ядрами, расположенными в лакунах. Фигур митоза в ядрах хондроцитов не обнаружено. Морфологическая картина энхондромы. Края резекции интактны.

Пациентка была выписана в удовлетворительном состоянии на 5-е сутки после оперативного вмешательства. На момент контрольного обследования, включающего компьютерную томографию органов грудной клетки с контрастированием, через 12 мес. после операции данных о наличии рецидива опухоли не получено, конструкция стабильна, физиологический объем грудной клетки сохранен, явлений парадоксального дыхания не выявлено.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Один из первых способов замещения пострезекционных реберно-мышечных дефектов осуществлялся путем перемещения в зону дефекта широчайшей мышцы спины в сочетании с хондропластикой реберного дефекта [15]. Недостатком указанного способа является то, что перемещенные трансплантаты имеют тенденцию к рассасыванию, а перемещение широчайшей мышцы спины в позицию грудноключичной порции не приносит желаемого косметического результата. Выполнение торакопластики с наложением аппарата внешней фиксации на переднюю грудную стенку является трудоемким, длительным по времени и оказывающим негативное влияние на качество жизни пациентов.

При использовании лоскута никелид-титановой ткани с фиксацией на образовавшийся пострезекционный дефект через его края с последующим укреплением ленточным элементом жесткости из того же материала не создается достаточного естественного реберного каркаса, и при дыхательных движениях ребер грудной клетки лоскут может смещаться и вызывать боль [5].

При закрытии дефектов грудной стенки половинчатыми надкостнично-костными аутоотрансплантатами на надкостничных ножках, взятых из выше- и нижележащих соседних ребер, отмечается, что ребра в передних отделах грудной клетки плоские и трансплантат, взятый из ребра, рассеченного в сагиттальной плоскости, имеет небольшую площадь поверхности и не позволяет закрыть значительные дефекты. Из-за

активных дыхательных движений ребер трансплантат нуждается в дополнительной фиксации.

Прототипом описанного нами метода является способ замещения дефекта грудной клетки имплантом с механизмом двойной блокировки. Механизм блокировки шарнира включает в себя узел с двумя защелками и узел с двумя храповиками. Сборка данного варианта блокировки включает пару рычагов «собачки», которые включают головки с обращенными наружу зубьями. Узел сдвоенного храповика включает в себя пару рычагов храповика с обращенными внутрь зубьями, которые сконфигурированы для взаимного зацепления с зубьями на соответствующих рычагах «собачки». Установочные выступы на рычагах храповика фиксируются в направляющих каналах на приемном элементе. Механизм блокировки способствует эффективности, скорости и прочности закрытия. Однако недостатками данного способа является отсутствие конгруэнтности с дефектом, неудобства при установке и фиксации конструкции, сложность манипулирования при установке конструкций и невозможности быстро ее удалить при необходимости, что приводит к неудовлетворительным эстетическим и функциональным результатам.

Преимуществом описываемого нами 3D-импланта является его форма, повторяющая конфигурацию замещаемого ребра, с наличием «клещевидных» соединений, имеющих нижнюю часть со сквозными отверстиями, слитную с телом трансплантата, и подвижную верхнюю часть, прикрепленную к нижней посредством соединения «ухо-вилка». Размер и количество модулей зависит от локализации дефекта, количества резецируемых ребер и протяженности дефекта.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный вариант индивидуального 3D-импланта при замещении дефектов ребер заключается в снижении травматичности, что приводит к уменьшению риска кровотечений, снижает риск инфицирования. Предложенный индивидуальный модульный 3D-имплант позволяет достигнуть косметического эффекта при значительном участке резекции, удобен при установке в ране. Методика реконструкций грудины и ребер данными протезами безопасна, осуществима и может широко использоваться в клинической практике.

## Список источников

1. Goldsmith I. Chest Wall Reconstruction With 3D Printing: Anatomical and Functional Considerations. *Innovations (Phila)*. 2022 May-Jun;17(3):191–200. <https://doi.org/10.1177/15569845221102138>
2. Wen X, Gao S, Feng J, Li S, Gao R, Zhang G. Chest-wall reconstruction with a customized titanium-alloy prosthesis fabricated by 3D printing and rapid prototyping. *J Cardiothorac Surg*. 2018 Jan 8;13(1):4. <https://doi.org/10.1186/s13019-017-0692-3>
3. Goldsmith I, Dovgalski L, Evans PL. 3D Printing Technology for Chest Wall Reconstruction With a Sternum-Ribs-Cartilage Titanium Implant: From Ideation to Creation. *Innovations (Phila)*. 2023 Jan-Feb;18(1):67–72. <https://doi.org/10.1177/15569845231153632>
4. Kang J, Tian Y, Zheng J, Lu D, Cai K, Wang L, Li D. Functional design and biomechanical evaluation of 3D printing PEEK flexible implant for chest wall reconstruction. *Comput Methods Programs Biomed*. 2022 Oct;225:107105. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2022.107105>
5. Li Y, Liu K, Yang Y, Zhao T, Guo X, Wang L. Mastery of chest wall reconstruction with a titanium sternum-rib fixation system: a case series. *J Thorac Dis*. 2022 Dec;14(12):5064–5072. <https://doi.org/10.21037/jtd-22-1686>
6. Jungraithmayr W, Laube I, Hild N, Stark WJ, Mihic-Probst D, Weder W, Buschmann J. Bioactive nanocomposite for chest-wall replacement: Cellular response in a murine model. *J Biomater Appl*. 2014 Jul;29(1):36–45. <https://doi.org/10.1177/0885328213513621>
7. Berthet JP, Gomez Caro A, Solovei L, Gilbert M, Bommart S, Gaudard P, Canaud L, Alric P, Marty-Ané CH. Titanium Implant Failure After Chest Wall Osteosynthesis. *Ann Thorac Surg*. 2015 Jun;99(6):1945–1952. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2015.02.040>
8. Tamburini N, Grossi W, Sanna S, Campisi A, Londero F, Maniscalco P, Dolci G, Quarantotto F, Daddi N, Morelli A, Cavallese G, Dell'Amore A. Chest wall reconstruction using a new titanium mesh: a multicenters experience. *J Thorac Dis*. 2019 Aug;11(8):3459–3466. <https://doi.org/10.21037/jtd.2019.07.74>
9. Aramini B, Masciale V, Radaelli LFZ, Sgarzani R, Dominici M, Stella F. The sternum reconstruction: Present and future perspectives. *Front Oncol*. 2022 Oct 28;12:975603. <https://doi.org/10.3389/fonc.2022.975603>
10. Dzian A, Živčák J, Penciak R, Hudák R. Implantation of a 3D-printed titanium sternum in a patient with a sternal tumor. *World J Surg Oncol*. 2018 Jan 15;16(1):7. <https://doi.org/10.1186/s12957-018-1315-8>
11. Wang W, Yang S, Han M, Liu H, Feng Q, Su Y, Han Y, Wang J. Three-dimensional printed titanium chest wall reconstruction for tumor removal in the sternal region. *J Cardiothorac Surg*. 2024 Oct 1;19(1):579. <https://doi.org/10.1186/s13019-024-03078-y>
12. Martinez-Ferro M, Bellia-Munzon G, Toselli L, Sanjurjo D. The role of 3D printing in chest wall reconstruction. *J Thorac Dis*. 2024 Jun 30;16(6):4053–4063. <https://doi.org/10.21037/jtd-23-881>

13. Курильчик А. А., Усачев В. С., Иванов В. Е., Стародубцев А. Л., Зубарев А. Л. Варианты реконструкции грудины в онкологии. Вестник хирургии имени И.И. Грекова. 2021;180(2):57–62. <https://doi.org/10.24884/0042-4625-2021-180-2-57-62>
14. Патент на изобретение №2760620 от 29.11.2021. Способ замещения дефекта грудной стенки индивидуальным 3d-имплантом. Авторы: Курильчик А. А., Стародубцев А. Л., Иванов В. Е., Зубарев А. Л., Колобаев И. В., Афонин Г. В., Усачев В. С., Алиев М. Б. Д., Рябов А. Б., Красовский И. Б., Панченко А. А., Каприн А. Д.
15. Рудаков С. С. Изолированные и синдромальные дефекты развития грудной клетки и их лечение. Дисс. М., 1988.

## References

1. Goldsmith I. Chest Wall Reconstruction With 3D Printing: Anatomical and Functional Considerations. *Innovations (Phila)*. 2022 May-Jun;17(3):191–200. <https://doi.org/10.1177/15569845221102138>
2. Wen X, Gao S, Feng J, Li S, Gao R, Zhang G. Chest-wall reconstruction with a customized titanium-alloy prosthesis fabricated by 3D printing and rapid prototyping. *J Cardiothorac Surg*. 2018 Jan 8;13(1):4. <https://doi.org/10.1186/s13019-017-0692-3>
3. Goldsmith I, Dovgalski L, Evans PL. 3D Printing Technology for Chest Wall Reconstruction With a Sternum-Ribs-Cartilage Titanium Implant: From Ideation to Creation. *Innovations (Phila)*. 2023 Jan-Feb;18(1):67–72. <https://doi.org/10.1177/15569845231153632>
4. Kang J, Tian Y, Zheng J, Lu D, Cai K, Wang L, Li D. Functional design and biomechanical evaluation of 3D printing PEEK flexible implant for chest wall reconstruction. *Comput Methods Programs Biomed*. 2022 Oct;225:107105. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2022.107105>
5. Li Y, Liu K, Yang Y, Zhao T, Guo X, Wang L. Mastery of chest wall reconstruction with a titanium sternum-rib fixation system: a case series. *J Thorac Dis*. 2022 Dec;14(12):5064–5072. <https://doi.org/10.21037/jtd-22-1686>
6. Jungraithmayr W, Laube I, Hild N, Stark WJ, Mihic-Probst D, Weder W, Buschmann J. Bioactive nanocomposite for chest-wall replacement: Cellular response in a murine model. *J Biomater Appl*. 2014 Jul;29(1):36–45. <https://doi.org/10.1177/0885328213513621>
7. Berthet JP, Gomez Caro A, Solovei L, Gilbert M, Bommart S, Gaudard P, Canaud L, Alric P, Marty-Ané CH. Titanium Implant Failure After Chest Wall Osteosynthesis. *Ann Thorac Surg*. 2015 Jun;99(6):1945–1952. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2015.02.040>
8. Tamburini N, Grossi W, Sanna S, Campisi A, Londero F, Maniscalco P, Dolci G, Quarantotto F, Daddi N, Morelli A, Cavallero G, Dell'Amore A. Chest wall reconstruction using a new titanium mesh: a multicenters experience. *J Thorac Dis*. 2019 Aug;11(8):3459–3466. <https://doi.org/10.21037/jtd.2019.07.74>
9. Aramini B, Masciale V, Radaelli LFZ, Sgarzani R, Dominici M, Stella F. The sternum reconstruction: Present and future perspectives. *Front Oncol*. 2022 Oct 28;12:975603. <https://doi.org/10.3389/fonc.2022.975603>
10. Dzian A, Živčák J, Penciak R, Hudák R. Implantation of a 3D-printed titanium sternum in a patient with a sternal tumor. *World J Surg Oncol*. 2018 Jan 15;16(1):7. <https://doi.org/10.1186/s12957-018-1315-8>
11. Wang W, Yang S, Han M, Liu H, Feng Q, Su Y, Han Y, Wang J. Three-dimensional printed titanium chest wall reconstruction for tumor removal in the sternal region. *J Cardiothorac Surg*. 2024 Oct 1;19(1):579. <https://doi.org/10.1186/s13019-024-03078-y>
12. Martinez-Ferro M, Bellia-Munzon G, Toselli L, Sanjurjo D. The role of 3D printing in chest wall reconstruction. *J Thorac Dis*. 2024 Jun 30;16(6):4053–4063. <https://doi.org/10.21037/jtd-23-881>
13. Kurilchik AA, Usachev VS, Ivanov VE, Starodubtsev AL, Zubarev AL. Forms of sternal reconstruction in oncology. *Grekov's Bulletin of Surgery*. 2021;180(2):57–62. (In Russ.). <https://doi.org/10.24884/0042-4625-2021-180-2-57-62>
14. A patent for an invention №2760620 от 29.11.2021. Method for thoracic defect replacement by individual 3d implant. Authors: Kurilchik AA, Starodubtsev AL, Ivanov VE, Zubarev AL, Kolobaev IV, Afonin GV, Usachev VS, Aliev MBD, Ryabov AB, Krasovsky IB, Panchenko AA, Kaprin AD. (In Russ.).
15. Rudakov SS. Isolated and syndromic chest development defects and their treatment. *Diss. Moscow*, 1988. (In Russ.).

## Информация об авторах:

Афонин Григорий Владиславович – к.м.н., заведующий отделением торакальной онкологии Медицинского радиологического научного центра им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр радиологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Обнинск, Российская Федерация  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7128-2397>, eLibrary SPIN: 9039-6110, AuthorID: 896307, Scopus Author ID: 57204696417, WoS ResearcherID: 0-3150-2017

Миронова Диана Юрьевна ✉ – врач-онколог отделения торакальной онкологии Медицинского радиологического научного центра им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр радиологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Обнинск, Российская Федерация  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6665-5355>, eLibrary SPIN: 3586-5146, AuthorID: 1066046, Scopus Author ID: 58509867400

Смоленов Евгений Игоревич – к.м.н., старший научный сотрудник отделения торакальной онкологии Медицинского радиологического научного центра им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр радиологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Обнинск, Российская Федерация  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3782-7338>, eLibrary SPIN: 6376-2673, AuthorID: 808954, Scopus Author ID: 57202278816

Салимов Зафир Муслимович – врач-онколог отделения торакальной онкологии Медицинского радиологического научного центра им. А. Ф. Цыба – филиал ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр радиологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Обнинск, Российская Федерация  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3488-425X>

Курильчик Александр Александрович – к.м.н., врач-онколог, врач-травматолог-ортопед, врач-детский онколог, заведующий отделением опухолей костей, мягких тканей и кожи Медицинского радиологического научного центра им. А. Ф. Цыба – филиал ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр радиологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Обнинск, Российская Федерация  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5329-8419>, eLibrary SPIN: 1751-0982, AuthorID: 737423, Scopus Author ID: 57200540281, WoS ResearcherID: H-7857-2018

Бондарь Матвей Сергеевич – инженер-конструктор, старший преподаватель кафедры физических методов исследования твердого тела ФГАОУ ВО «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет», г. Новосибирск, Российская Федерация

Иванов Сергей Анатольевич – д.м.н., член-корреспондент РАН, директор Медицинского радиологического научного центра им. А. Ф. Цыба – филиал ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр радиологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Обнинск, Российская Федерация; профессор кафедры онкологии и рентгенодиагностики им. В. П. Харченко Медицинского института ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», г. Москва, Российская Федерация  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7689-6032>, eLibrary SPIN: 4264-5167, AuthorID: 710405, Scopus Author ID: 16070399200, WoS ResearcherID: N-8221-2017

Каприн Андрей Дмитриевич – д.м.н., профессор, академик РАН, академик РАО, директор Московского научно-исследовательского онкологического института им. П. А. Герцена – филиал ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр радиологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Москва, Российская Федерация; генеральный директор ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр радиологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Обнинск, Российская Федерация; заведующий кафедрой онкологии и рентгенодиагностики им. В. П. Харченко Медицинского института ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», г. Москва, Российская Федерация  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8784-8415>, eLibrary SPIN: 1759-8101, AuthorID: 96775, Scopus Author ID: 6602709853, WoS ResearcherID: K-1445-2014

#### Information about authors:

Grigoriy V. Afonin – Cand. Sci. (Medicine), Head of the Department of Oncology, A.Tsyb Medical Radiological Research Centre – Branch of the National Medical Research Radiological Centre, Obninsk, Russian Federation  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7128-2397>, eLibrary SPIN: 9039-6110, AuthorID: 896307, Scopus Author ID: 57204696417, WoS ResearcherID: O-3150-2017

Diana Yu. Mironova ✉ – MD, oncologist, Department of Thoracic Oncology, A.Tsyb Medical Radiological Research Centre – Branch of the National Medical Research Radiological Centre, Obninsk, Russian Federation  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6665-5355>, eLibrary SPIN: 3586-5146, AuthorID: 1066046, Scopus Author ID: 58509867400

Evgeny I. Smolenov – Cand. Sci. (Medicine), Senior Research Fellow, Department of Thoracic Oncology, A.Tsyb Medical Radiological Research Centre – Branch of the National Medical Research Radiological Centre, Obninsk, Russian Federation  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3782-7338>, eLibrary SPIN: 6376-2673, AuthorID: 808954, Scopus Author ID: 57202278816

Zavir M. Salimov – MD, oncologist, Department of Thoracic Oncology, A.Tsyb Medical Radiological Research Centre – Branch of the National Medical Research Radiological Centre, Obninsk, Russian Federation

Alexander A. Kurilchik – Cand. Sci. (Medicine), oncologist, orthopedic surgeon and traumatologist, pediatric oncologist; Head of the Department of Bone, Soft Tissue, and Skin Tumors, A.Tsyb Medical Radiological Research Centre – Branch of the National Medical Research Radiological Centre, Obninsk, Russian Federation  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5329-8419>, eLibrary SPIN: 1751-0982, AuthorID: 737423, Scopus Author ID: 57200540281, WoS ResearcherID: H-7857-2018

Matvey S. Bondar – design engineer, senior lecturer, department of physical methods of solid-state research, Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation

Sergey A. Ivanov – Dr. Sci. (Medicine), Corresponding Member of the RAS, Director of A. Tsyb Medical Radiological Research Centre – Branch of the National Medical Research Radiological Centre, Obninsk, Russian Federation; Professor of the Department of Oncology and Radiology named after V.P. Kharchenko at the Medical Institute, Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russian Federation  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7689-6032>, eLibrary SPIN: 4264-5167, AuthorID: 710405, Scopus Author ID: 16070399200, WoS ResearcherID: N-8221-2017

Andrey D. Kaprin – Dr. Sci. (Medicine), Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Academician of the Russian Academy of Education, Director of P. Hertsen Moscow Oncology Research Institute – Branch of the National Medical Research Radiological Centre, Moscow, Russian Federation, General Director of National Medical Research Radiological Centre, Obninsk, Russian Federation, Head of the Department of Oncology and Radiology named after V.P. Kharchenko at the Medical Institute, Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russian Federation  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8784-8415>, eLibrary SPIN: 1759-8101, AuthorID: 96775, Scopus Author ID: 6602709853, WoS ResearcherID: K-1445-2014

#### Участие авторов:

Афонин Г. В. – научное руководство и концепция исследования;  
Миронова Д. Ю. – оценка результатов исследования, сбор материала исследования, анализ и интерпретация данных, написание исходного текста;  
Смоленов Е. И. – написание исходного текста, обзор публикаций по теме статьи, итоговые выводы;  
Салимов З. М. – ведение пациента, концепция исследования;  
Курильчик А. А. – развитие методологии, участие в концепции исследования;  
Бондарь М. С. – развитие методологии;  
Иванов С. А. – критический пересмотр с внесением ценного интеллектуального содержания;  
Каприн А. Д. – критический пересмотр с внесением ценного интеллектуального содержания.  
Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи и утвердили окончательный вариант, одобренный к публикации.

#### Contribution of the authors:

Afonin G. V. – study supervision and conceptualization;  
Mironova D. Yu. – assessment of study outcomes, data collection, data analysis and interpretation, drafting of the manuscript;  
Smolenov E. I. – drafting of the manuscript, literature review, final conclusions;  
Salimov Z. M. – patient management, study conceptualization;  
Kurilchik A. A. – methodology development, conceptualization;  
Bondar M. S. – methodology development;  
Ivanov S. A. – critical revision of the manuscript for important intellectual content;  
Kaprin A. D. – critical revision of the manuscript for important intellectual content.  
All authors made equivalent contributions to the preparation of the article and approved the final version for publication.