

# Опыт применения индивидуального титанового протеза тела позвонка при замещении пострезекционных дефектов при агрессивных доброкачественных опухолях позвоночника у детей

А.А. Снетков, Р.С. Гамаюнов, И.Д. Ишкиняев

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России; Россия, 127299 Москва, ул. Приорова, 10

**Контакты:** Александр Андреевич Снетков [isnetkov@gmail.com](mailto:isnetkov@gmail.com)

**Введение.** Агрессивные доброкачественные опухоли позвоночника у детей часто требуют обширной хирургической резекции, что приводит к необходимости проведения сложных реконструктивных вмешательств. В настоящее время в арсенале вертебрологов имеется большое количество протезов, позволяющих заместить переднюю опорную колонну. При этом используют как статичные моделируемые имплантаты, так и раздвижные спейсеры. Однако эти имплантаты имеют ограничения, которые могут повлиять на долгосрочные результаты, особенно у пациентов детского возраста, когда требуется учитывать рост и обеспечивать долговременную стабильность протеза. Разработка индивидуальных титановых протезов, адаптированных к особенностям анатомии позвонков, позволяет решить данные проблемы.

**Цель исследования** – оценка эффективности применения индивидуальных титановых протезов тел позвонков для реконструкции пострезекционных дефектов при агрессивных доброкачественных опухолях позвоночника (III стадия по классификации Enneking) у пациентов детского возраста.

**Материалы и методы.** В исследование вошли 5 пациентов детского возраста, которым проведено двухэтапное хирургическое вмешательство, включающее дорзальную стабилизацию, резекцию опухоли и установку индивидуального титанового протеза тела позвонка, изготовленного с помощью 3D-печати методом прямого лазерного спекания металла (DMLS).

**Результаты.** В послеоперационном периоде значительных осложнений не наблюдалось. В течение первых 3 мес неврологический статус был полностью восстановлен у всех пациентов. Результаты компьютерной томографии показали стабильную интеграцию имплантата, при этом минимальные признаки его проседания (1 мм без признаков резорбции вокруг винтовых имплантатов) наблюдались только в 1 случае.

**Заключение.** Применение индивидуальных титановых протезов тел позвонков обеспечивает улучшение результатов хирургического лечения опухолей позвоночника у детей. Предложенный инновационный метод замещения пострезекционных дефектов с применением индивидуальных имплантатов, изготовленных методом 3D-печати повышает стабильность фиксации позвоночника при обширной резекции опухолей и снижает риск развития осложнений, связанных с нестабильностью имплантатов. Использование аддитивных методов изготовления протезов позволяет решать сложные реконструктивные задачи при хирургических вмешательствах на позвоночнике у пациентов детского возраста.

**Ключевые слова:** доброкачественная опухоль позвоночника, аддитивная технология, индивидуальный титановый протез тела позвонка

**Для цитирования:** Снетков А.А., Гамаюнов Р.С., Ишкиняев И.Д. Опыт применения индивидуального титанового протеза тела позвонка при замещении пострезекционных дефектов при агрессивных доброкачественных опухолях позвоночника у детей. Саркомы костей, мягких тканей и опухоли кожи 2025;17(1):49–58.

DOI: <https://doi.org/10.17650/2219-4614-2025-17-1-49-58>

## EXPERIENCE OF USING PERSONALIZED TITANIUM VERTEBRAL CORPECTOMY PROSTHESIS FOR REPLACEMENT OF POSTRESECTION DEFECTS IN CHILDREN WITH AGGRESSIVE BENIGN SPINAL TUMORS

A.A. Snetkov, R.S. Gamayunov, I.D. Ishkinyaev

N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Ministry of Health of Russia; 10 Priorova St., Moscow 127299, Russia

**Contacts:** Alexander Andreevich Snetkov [isnetkov@gmail.com](mailto:isnetkov@gmail.com)

**Introduction.** Aggressive benign spinal tumors in children frequently require extensive surgical resection necessitating complex reconstructive interventions. Currently, vertebrologists have at their disposal a large number of prostheses for replacement of the anterior supporting column. Both static implants and extendable spacer are used. However, these implants have limitations which can affect long-term results especially in children when growth should be taken into account and long-term stability of the prosthesis should be assured. Design of personalized titanium prostheses adapted to anatomical features of the vertebrae allows to solve these problems.

**Aim.** To evaluate the effectiveness of using personalized titanium vertebral corpectomy prostheses for reconstruction of postresection defects in children with aggressive benign spinal tumors (stage III per the Enneking classification).

**Materials and methods.** The study included 5 patients of pediatric age who underwent two-stage surgical intervention including dorsal stabilization, tumor resection and installation of a personalized titanium vertebral corpectomy prosthesis manufactured using direct metal laser sintering (DMLS) 3D printing.

**Results.** No significant complications were observed in the postoperative period. In the first 3 months, neurological status was completely restored in all patients. Computed tomography showed stable implant integration; minimal signs of prosthesis subsidence (1 mm without signs of resorption around screw implants) were observed only in 1 case.

**Conclusion.** The use of personalized titanium vertebral corpectomy prostheses improves the results of surgical treatment of spinal tumors in children. The proposed innovative technique of postresection defect replacement with personalized implants manufactured by 3D printing increases spinal fixation stability after extensive tumor resection and decreases the risk of complications associated with implant instability. The use of additive methods of prosthesis manufacturing allows to solve complex reconstruction problems in spinal surgical interventions in children.

**Keywords:** benign spinal tumor, additive technology, personalized titanium vertebral corpectomy prosthesis

**For citation:** Snetkov A.A., Gamayunov R.S., Ishkinyaev I.D. Experience of using personalized titanium vertebral corpectomy prosthesis for replacement of postresection defects in children with aggressive benign spinal tumors. *Sarkomy kostei, miagkikh tkanei i opukholi kozhi = Bone and Soft Tissue Sarcomas, Tumors of the Skin* 2025;17(1):49–58. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.17650/2219-4614-2025-17-1-49-58>

### Введение

Лечение агрессивных доброкачественных опухолей позвоночника у пациентов детского возраста является серьезной проблемой. Наибольшие затруднения возникают при терапии агрессивных новообразований (III стадия по классификации Enneking). Такие опухоли способны вызывать тяжелую неврологическую симптоматику и нарушение опороспособности позвоночника из-за больших размеров.

Основным методом лечения агрессивных доброкачественных опухолей позвоночника остается резекция, которая часто ведет к образованию крупных пострезекционных дефектов, требующих реконструкции. Цели хирургического вмешательства заключаются в абластичном удалении опухоли и восстановлении опороспособности позвонков для предотвращения дальнейшей деформации позвоночника, что особенно актуально для растущих детей [1].

Резекция опухолей позвоночника en-bloc с замещением пострезекционного дефекта стандартными имплантатами сопровождается развитием большого

количества осложнений, в том числе неврологических, инфекционных, а также нестабильности металлоконструкции [2–4]. Эти проблемы обуславливают необходимость разработки более эффективных и менее инвазивных методов реконструкции.

В настоящее время в арсенале вертебрологов имеется большое количество протезов, позволяющих заместить переднюю опорную колонну. При этом используют как статичные моделируемые имплантаты, так и раздвижные спейсеры. Однако эти имплантаты имеют ограничения, которые могут повлиять на долгосрочные результаты, особенно у пациентов детского возраста, когда требуется учитывать рост и обеспечивать долговременную стабильность протеза [5]. Несмотря на разнообразие решений, существует необходимость в инновационных подходах, которые бы устранили существующие проблемы и улучшили результаты лечения.

Недавние достижения в области аддитивного производства, в частности 3D-печати, открывают новые возможности в создании индивидуальных имплантатов, адаптированных к анатомическим особенностям

каждого пациента. Использование индивидуальных титановых протезов тел позвонков позволит решить проблемы реконструкции пострезекционных дефектов. Они имеют ряд преимуществ перед традиционными методами. Эти протезы изготавливают путем последовательного наложения расплавленного порошка титанового сплава с помощью электронно-лучевого плавления, в результате чего получают имплантаты, соответствующие конкретным анатомическим и биомеханическим требованиям [6]. Свойства и биосовместимость титана делают его идеальным выбором для реконструкции позвоночника. Титан и его сплавы известны превосходной коррозионной стойкостью, механической прочностью и способностью остеоинтеграции без применения дополнительных адгезивов [7, 8]. Несмотря на эти преимущества, остаются проблемы, такие как обеспечение адекватной передачи нагрузки и предотвращение нестабильности имплантата с течением времени [9]. Недавние достижения в области дизайна титановых протезов, включая разработку пористых структур, имитирующих костную ткань, позволили решить эти проблемы путем усиления остеоинтеграции [10].

Технологии 3D-печати в спинальной хирургии применяются для разработки индивидуальных протезов, анатомических моделей позвоночника в целом и отдельных его сегментов, что позволяет проводить тщательное предоперационное планирование и повышает эффективность оперативных вмешательств [11].

Разработка индивидуальных титановых протезов, которые могут быть адаптированы к особенностям анатомии позвонков, является значительным достижением. Эти протезы восстанавливают опороспособность передней колонны и обеспечивают долгосрочную стабильность [12, 13].

Настоящее исследование посвящено оценке клинического опыта и результатов применения индивидуальных титановых протезов тел позвонков у детей с агрессивными доброкачественными опухолями позвоночника. Использованная хирургическая техника включала двухэтапный подход. На 1-м этапе выполняли дорзальную стабилизацию позвоночника, частичное удаление опухоли и декомпрессию невралных структур. Вторым этапом проводили через 14–30 дней. Он включал резекцию остаточной опухоли и замещение пострезекционного дефекта индивидуальным протезом.

Индивидуальные имплантаты спроектированы и изготовлены с помощью 3D-печати (технология прямого лазерного спекания металла – DMLS). Время создания протезов составило 12–21 день. Основной технической задачей было использование трабекулярной анатомической полый сетки, соединенной с монолитной пластиной, с резьбовыми отверстиями для кортикальных блокируемых винтов и направителя, повторяюще-

го анатомические контуры смежных позвонков для высокоэффективной интеграции.

**Цель исследования** – оценка эффективности применения индивидуальных титановых протезов тел позвонков для реконструкции пострезекционных дефектов при агрессивных доброкачественных опухолях позвоночника (III стадия по классификации Enneking) у пациентов детского возраста.

### Материалы и методы

Под нашим наблюдением находились 5 пациентов детского возраста (3 – мужского пола, 2 – женского). Во всех случаях диагноз подтвержден гистологически на этапе биопсии и после удаления патологического очага. У 3 пациентов выявлена агрессивная костная киста, у 1 – агрессивная гемангиома, у 1 – гигантоклеточная опухоль.

В связи с тотальным поражением позвонков во всех случаях на предоперационном планировании использовалась тактика двухэтапного вмешательства из дорзального и вентрального доступов.

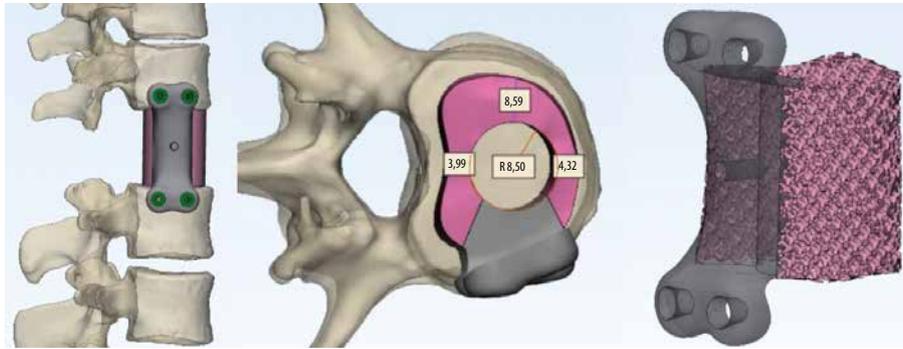
У всех пациентов были поражены 3 опорные колонны по классификации F. Denis [14]. Имелись стеноз позвоночного канала и неврологический дефицит, опухоль поражала 1 позвонок без перехода на смежные сегменты.

Неoadьювантная химиотерапия в исследуемой группе не проводилась. В 2 случаях выполнена лечебная пункция аневризмальной кисты перед 1-м этапом хирургического вмешательства в связи с высоким внутрикостным давлением (>330 мм вод. ст.) с целью снижения активности кисты.

На 1-м этапе выполнены транспедикулярная фиксация позвоночника, ламинэктомия, удаление опухоли из дорзального доступа и декомпрессия содержимого позвоночного канала. С учетом объема поражения фиксация осуществлялась на 2 позвонка выше и ниже уровня поражения.

Задача 2-го этапа – удаление тела позвонка с замещением патологического очага индивидуальным имплантатом, выполненным из титана с помощью 3D-печати (методом DMLS). Изделие изготовлено с учетом результатов компьютерной томографии (КТ) позвоночника (рис. 1). По нашему мнению, использование КТ для 3D-прототипирования телозамещающего имплантата до 1-го этапа хирургического вмешательства проводить нецелесообразно, поскольку после транспедикулярной фиксации позвоночника при укладке на операционном столе сегменты позвоночника принимают иное положение, чем до операции, что может привести к изготовлению изделия, несоответствующего анатомии оперированных сегментов.

Для всех имплантатов разработано идентичное техническое задание. Протез состоит из сетчатого



**Рис. 1.** Моделирование телозамещающего имплантата  
**Fig. 1.** Modeling of corpectomy implant



**Рис. 2.** Макет зоны резекции и положения имплантата  
**Fig. 2.** Model of the resection zone and implant position

титанового имплантата для межтелового спондилодеза (Mesh) и пластины, которая полностью повторяет анатомию смежных позвонков в точках примыкания. Пластина имеет монолитную форму с отверстиями для кортикальных блокируемых винтов с целью повышения стабильности изделия (рис. 2).

### Результаты

Характеристика пациентов, которым проведено замещение дефектов с помощью индивидуального титанового протеза тела позвонка, представлена в табл. 1. Во всех случаях 2-й этап выполняли через 14–30 дней после 1-го. Это давало возможность достичь восстановления после дорзального этапа хирургического вмешательства. По нашему мнению, 14 дней – срок, который необходим для получения положительной динамики в неврологическом статусе после декомпрессии. Также в этот период изготавливается имплантат для 2-го этапа.

По техническому заданию и с учетом данных послеоперационной КТ осуществляли инжиниринг модели имплантата для замещения тела позвонка и его печать на 3D-принтере.

Основной технической задачей при изготовлении протеза было применение Mesh, соединенного с монолитной пластиной и отверстиями для дополнительной фиксации к смежным сегментам с помощью кортикальных блокируемых винтов. Время изготовления имплантата (от начала работы с инженером) составило 12–21 день.

Для эффективного позиционирования и исключения риска смещения имплантата в сторону позвоночного канала или крупных сосудов в изделии сделаны резьбовые отверстия для фиксации направлятеля. Данная методика позволяет осуществлять имплантацию в условиях видеоассистированной операции.

В нашей выборке у пациентов с аневризмальными костными кистами позвонков 2-й этап хирургического вмешательства выполняли через эндоскопический доступ (рис. 3). При гигантоклеточных опухолях данная методика менее предпочтительна в связи с большим риском возникновения рецидива из-за неполного удаления опухоли. В случае использования этой техники при гемангиоме имеется высокий риск развития неконтролируемого кровотечения.

**Таблица 1.** Характеристика пациентов с агрессивными доброкачественными опухолями позвоночника, которым проведено замещение пострезекционных дефектов с помощью индивидуального титанового протеза тела позвонка

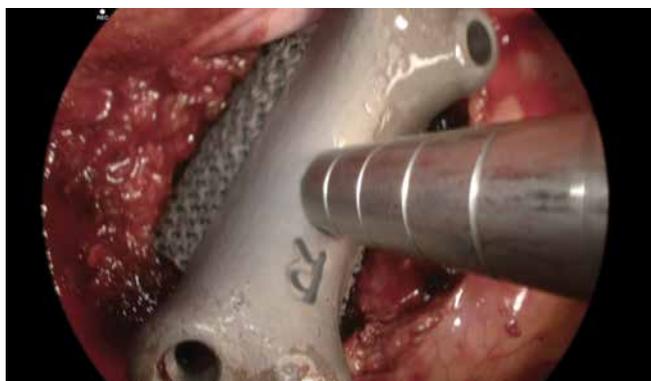
**Table 1.** Characteristics of the patients with aggressive benign spinal tumors who underwent postresection defect replacement using personalized titanium vertebral corpectomy prosthesis

Показатель Characteristic	Пациент Patient				
	1	2	3	4	5
Возраст, лет Age, years	16	12	17	14	13
Пол Sex	М M	М M	М M	Ж F	Ж F
Диагноз Diagnosis	Аневризмальная костная киста Aneurysmal bone cyst	Агрессивная гемангиома Aggressive hemangioma	Аневризмальная костная киста Aneurysmal bone cyst	Аневризмальная костная киста Aneurysmal bone cyst	Гигантоклеточная опухоль Giant cell tumor
Уровень поражения Affected level	Th12	L1	Th11	Th6	L2
Объем поражения позвонка по классификации Weinstein, Boriani, Biagini Involvement level per the Weinstein, Boriani, Biagini classification	1–12 A–D	1–12 A–D	1–12 B–D	1–12 A–D	5–12 B–D
Неврологический статус до операции по шкале Frankel Neurological status prior to surgery per the Frankel classification	C	C	D	C	D
Подтверждение диагноза после биопсии Diagnosis confirmation after biopsy	Да Yes	Да Yes	Да Yes	Да Yes	Да Yes
Дорзальный этап и уровни транспедикулярной фиксации Dorsal stage and levels of transpedicular fixation	ТПФ T10–L2 + аллопластика TSF T10–L2 + alloplasty	ТПФ T11–L3 TSF T11–L3	ТПФ T9–L1 + аллопластика TSF T9–L1 + alloplasty	ТПФ T4–8 + аллопластика TSF T4–8 + alloplasty	ТПФ T12–L4 + аллопластика TSF T12–L4 + alloplasty
Вентральный этап и тип имплантата Ventral stage and implant type	Индивидуальный Mesh с пластиной + аутопластика с применением ребра (эндоскопия) Personalized Mech with a plate + autoplasty using a rib (endoscopy)	Индивидуальный Mesh с пластиной + аутопластика с применением ребра Personalized Mech with a plate + autoplasty using a rib	Индивидуальный Mesh с пластиной + аутопластика с применением ребра (эндоскопия) Personalized Mech with a plate + autoplasty using a rib (endoscopy)	Индивидуальный Mesh с пластиной + аллопластика (эндоскопия) Personalized Mech with a plate + alloplasty (endoscopy)	Индивидуальный Mesh с пластиной + аллопластика Personalized Mech with a plate + alloplasty
Суммарный объем кровопотери после двух этапов хирургического вмешательства (дорзальное + вентральное), мл Total blood loss volume after two stages of surgical intervention (dorsal + ventral), mL	980 (550 + 430)	1190 (720 + 470)	870 (600 + 270)	690 (470 + 220)	810 (560 + 250)

Показатель Characteristic	Пациент Patient				
	1	2	3	4	5
Осложнения Complications	Нет No	Нет No	Нет No	Нет No	Нет No
Неврологический статус через 3 мес после операции по шкале Frankel Neurological status 3 months after surgery per the Frankel classification	E	E	E	E	E
Срок наблюдения, мес Follow-up duration, months	12	34	14	25	22
Признаки рецидива Signs of recurrence	Нет No	Нет No	Нет No	Нет No	Нет No
Проседание имплантата через 12 мес после опера- ции, мм Implant subsidence 12 months after surgery, mm	0	1 (верхний полюс имплантата) 1 (upper implant pole)	0	0	0
Признаки костного блока с трансплантатами после операции, мес Signs of bone block with the transplants after surgery, months	3	6	3	6	12
Признаки нестабильности имплантата Signs of implant instability	Нет No	Нет No	Нет No	Нет No	Нет No

**Примечание.** М – мужской; Ж – женский; ТПФ – транспедикулярная фиксация позвоночника; Mesh – сетчатый титановый имплантат для межтелового спондилодеза.

*Note.* M – male; F – female; TSF – transpedicular screw fixation of the spine; Mesh – mesh titanium implant for interbody fusion.



**Рис. 3.** Установка имплантата с направителем через эндоскопический доступ

**Fig. 3.** Implant installation with a guide through endoscopic access

После операций клинически значимые осложнения не возникли. Пациенты были вертикализированы на 3-и сутки после 1-го и 2-го этапов хирургического

лечения. Стоит отметить, что восстановление больных, которым проведены видеоассистированные вмешательства, проходило быстрее, чем у больных, у которых данные технологии не использовались. Это связано с меньшей травматизацией тканей при применении эндоскопической методики.

Через 3 мес после хирургического лечения у всех пациентов отмечалось полное восстановление неврологического статуса. Признаки рецидива опухоли и стабильность имплантата оценивали по данным КТ.

Компьютерную томографию зоны хирургического вмешательства проводили 1 раз в 3 мес в течение 1-го года наблюдения, далее – 1 раз в 6 мес. Срок наблюдения составил до 5 лет в связи с онкологической настороженностью.

При оценке стабильности имплантата учитывали наличие проседания и признаков формирования костного блока с костным трансплантатом в имплантате (в первую очередь по сагитальным срезам). В отда-

ленный период — через 12 мес — признаки проседания в проекции верхнего полюса имплантата выявлены только в 1 случае (1 мм), без признаков резорбции вокруг винтовых имплантатов, что не является отрицательной динамикой. Признаков нестабильности транспедикулярной системы и формирования вторичной деформации не отмечено во всех случаях.

Приводим клинический пример хирургического лечения агрессивной аневризимальной кисты тела позвонка с использованием индивидуального протеза.

### Клинический пример

**Пациент**, 16 лет, с агрессивной аневризимальной кистой позвонка Th12 и нижним парапарезом (рис. 4).

Анамнез: болевой синдром в течение 8 мес с развитием признаков нижнего парапареза в течение последних 2 мес.

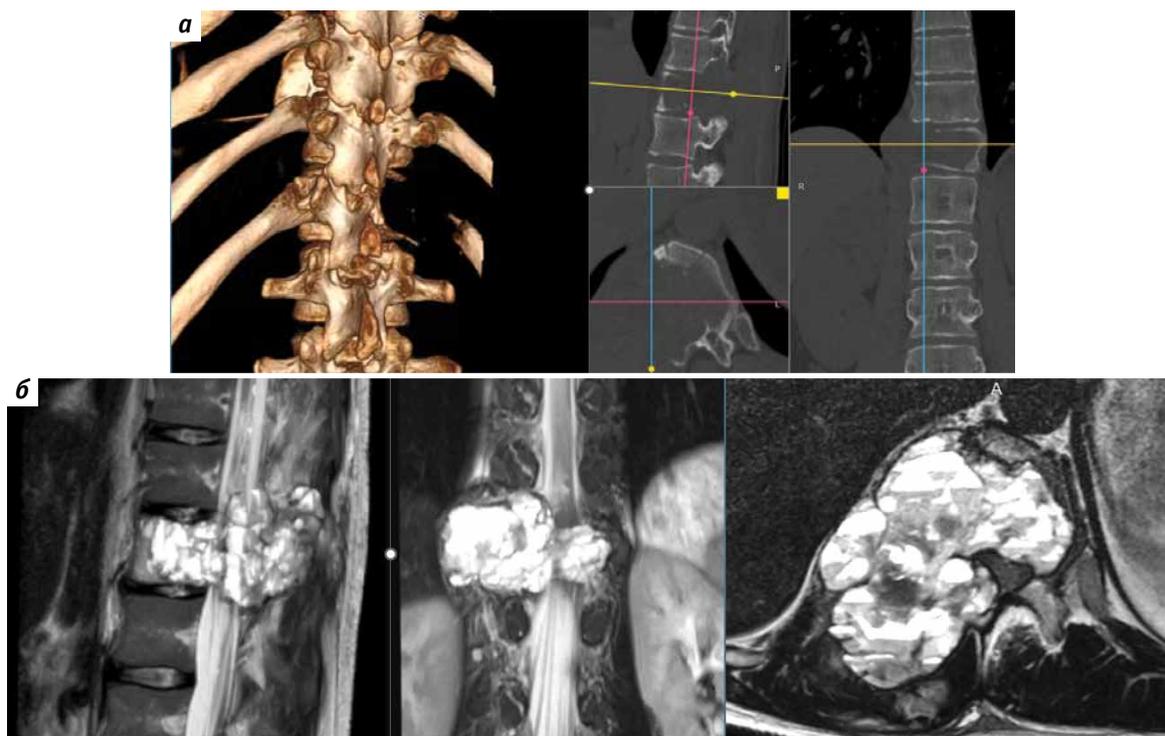
При поступлении в Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова пациенту проведена трепанобиопсия с целью верификации диагноза и оценки внутрикостного давления по шкале Вальдмана, которое составило 330 мм вод. ст. По результатам гистологического исследования установлен диагноз «агрессивная аневризимальная

костная киста». На 10-е сутки после биопсии выполнена повторная пункция патологического очага с применением 2 трепанационных игл G11 и промыванием 200 мл физраствора и 200 мл 5 % аминокaproновой кислоты.

Проведен 1-й этап хирургического вмешательства с установкой транспедикулярных винтов на уровнях T10–L2 (рис. 5). Удаление оболочек выполнено после полного отделения опухоли от мышечных тканей и скелетирования интактных костных тканей задней опорной колонны. Далее проведена циркулярная декомпрессия позвоночного канала посредством удаления оболочек кисты, после чего осуществлен частичный кюретаж опухоли из тела позвонка. На финальном этапе хирургического вмешательства выполнены декортикация задних элементов и установка кортикальных аллотрансплантатов. Объем кровопотери составил 550 мл, время операции — 4 ч 20 мин.

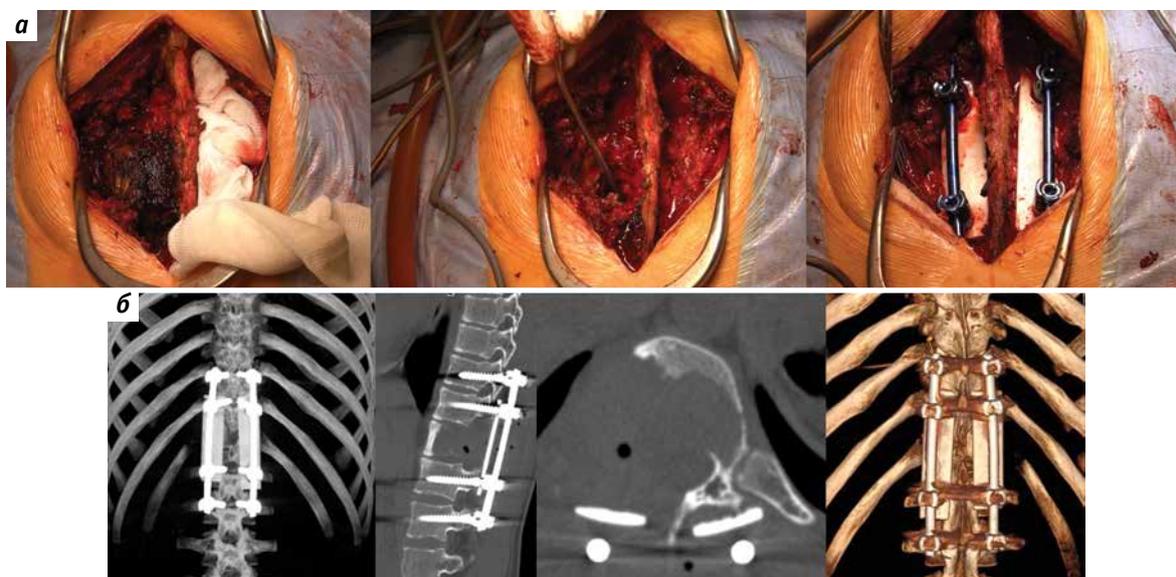
Второй этап хирургического вмешательства выполнен через 17 дней.

Для проведения имплантации с применением торакоскопии при доступе справа спроектирован индивидуальный протез с полым сердечником для позиционирования костных трансплантатов с учетом траектории резьбового направителя и импактора (строго перпендикулярно по отношению к проекции тела позвонка) (рис. 6).



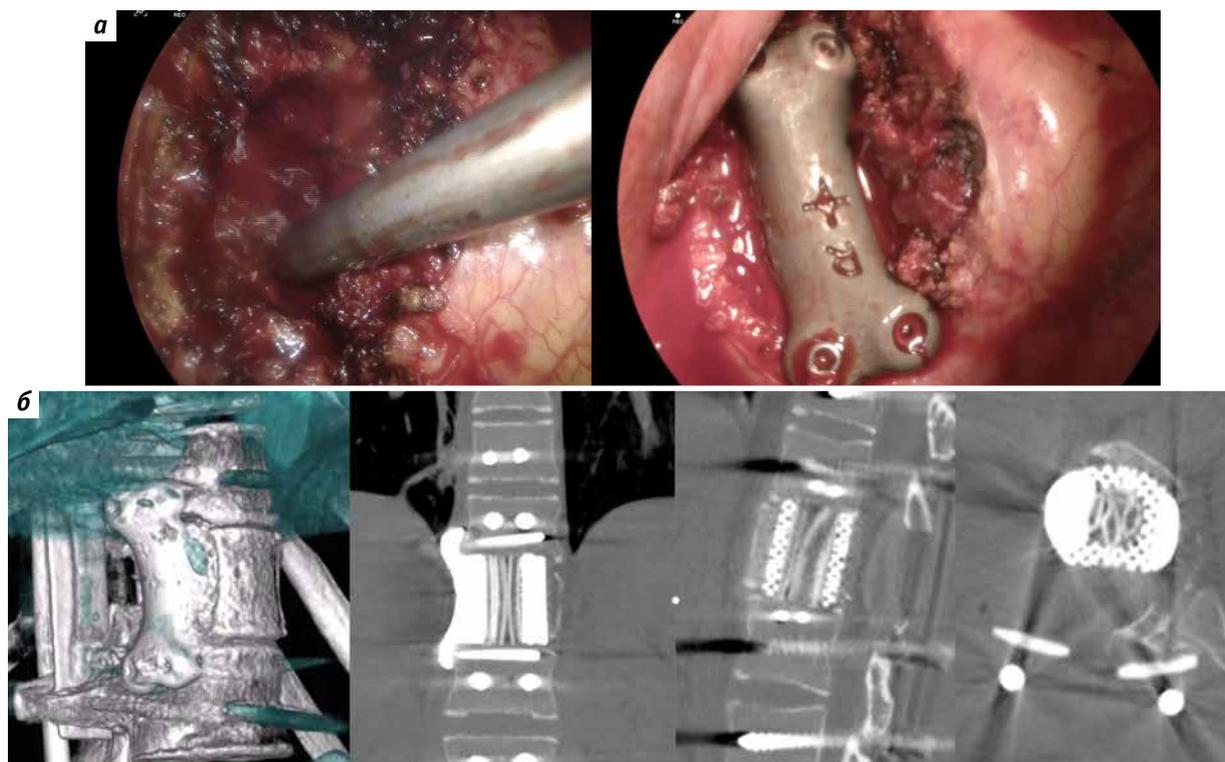
**Рис. 4.** Результаты исследований пациента: а — компьютерная томография позвоночника. Аневризимальная костная киста. Отмечается тотальное поражение позвонка Th12 и головки XII ребра справа; б — магнитно-резонансная томография позвоночника. Признаки аневризимальной костной кисты позвонка Th12 с формированием стеноза позвоночного канала, положительный симптом горизонтальных уровней

**Fig. 4.** Results of examination of the patient: a — computed tomography of the spine. Aneurysmal bone cyst. Complete involvement of the Th12 vertebra and head of the rib XII on the right are observed; б — magnetic resonance imaging of the spine. Signs of aneurysmal bone cyst of the Th12 vertebra with spinal canal stenosis development, positive horizontal level symptom



**Рис. 5.** Первый этап хирургического вмешательства: а – интраоперационные фотографии; б – компьютерная томография после операции. Положение винтов в телах позвонков Th10, Th11, L1, L2 типичное, аллотрансплант фиксирован винтами с целью повышения контакта с задними элементами позвоночника

**Fig. 5.** First stage of surgical intervention: а – intraoperative photos; б – computed tomography after surgery. Positions of the screws in the Th10, Th11, L1, L2 vertebral bodies are typical, allotransplant is fixed with screws to increase contact with the posterior spinal elements



**Рис. 6.** Второй этап хирургического вмешательства: а – интраоперационная картина положения имплантата после установки протеза; б – компьютерная томография после операции. Положение протеза и блокируемых винтов правильное, отмечается полный контакт имплантата и аутокости со смежными позвонками

**Fig. 6.** Second stage of surgical intervention: а – intraoperative picture of the implant position after prosthesis installation; б – computed tomography after surgery. Positions of the prosthesis and blocking screws are correct, full contact of the implant and autobone with the neighboring vertebrae is observed

Объем интраоперационной кровопотери составил 430 мл, общее время операции — 3 ч 20 мин.

Полное купирование болевого синдрома в связи с торакоскопическим вмешательством отмечено на 9-е сутки. В отдаленном периоде наблюдения признаков рецидива и резорбции вокруг установленных имплантатов не выявлено.

### Обсуждение

Опыт применения предложенных имплантатов при агрессивных опухолях позвоночника имеет большую ценность, поскольку при данной патологии проводятся радикальные хирургические вмешательства, требующие адекватного замещения передней опорной колонны для прочной фиксации позвоночника в отдаленный период жизни пациентов, что особенно важно для больных детского возраста. При составлении технического задания для проведения такого рода вмешательств нужно учитывать анатомию замещения дефекта и необходимость увеличения площади соприкосновения с опорными позвонками для снижения риска локальной резорбции костной ткани прилегающих к имплантату позвонков, а также возможность выполнения костной пластики для созревания костного блока в отдаленный период. Большинство универсальных решений лишены этих достоинств, в связи с чем применение предложенной формы имплантата может быть крайне перспективным. Однако при таком подходе требуются тщательные предоперационное планирование и техническое исполнение имплантата. Также важны выбор вектора для направителя протеза и способ блокирования изделия на инструменте.

Использование имплантатов большого размера обеспечивает снижение риска развития нестабильности оперированных позвоночных сегментов. Установка подобных протезов сопряжена со значительными трудностями, одной из которых является подготовка ложа для имплантата.

В современной вертебрологии непрерывно идет поиск наиболее эффективных способов замещения обширных пострезекционных дефектов тела позвонка. Применение аддитивных технологий (3D-печати) при

изготовлении титановых имплантатов существенно расширяет арсенал хирургов и технические возможности, что способствует значительному улучшению качества жизни пациентов [5, 12, 15, 16].

Использование трабекулярной формы титанового имплантата, изготовленного с помощью 3D-печати, обеспечивает хорошие результаты хирургических вмешательств за счет прочного контакта с костной тканью в результате более агрессивного вклинивания в пострезекционный дефект при имплантации.

### Заключение

При резекции опухоли на первое место всегда ставится удаление патологического очага и профилактику возникновения рецидива. При этом выбор метода стабилизации и формирование условий для долгосрочной опоры оперированного сегмента имеют также большое значение. Оптимальным является применение комбинации костной пластики и опорного имплантата с высоким сроком службы, который подтвержден наблюдениями. Для оценки эффективности индивидуальных имплантатов, выполненных с помощью 3D-печати из сплава титана, для замещения пострезекционных дефектов необходимо длительно наблюдать за пациентами и проводить КТ на всех этапах. В представленной выборке использовалась нестандартная форма телозамещающего протеза, который показал высокую эффективность без признаков нестабильности.

Планирование изготовления имплантата для замещения передней опорной колонны необходимо проводить только после завершения 1-го этапа хирургического вмешательства.

Установка индивидуальных имплантатов больших размеров позволяет добиться лучшего контакта со смежными позвонками, однако при этом требуется более высокая точность позиционирования имплантата ввиду высокого риска повреждения содержимого позвоночного канала и близлежащих сосудов. В связи с этим необходимо тщательное предоперационное планирование изготовления индивидуальных протезов.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Hell A.K., Kühnle I., Lorenz H.M. et al. Spinal deformities after childhood tumors. *Cancers (Basel)* 2020;12(12):3555. DOI: 10.3390/cancers12123555
- Jones M., Alshameeri Z., Uhiara O. et al. En bloc resection of tumors of the lumbar spine: a systematic review of outcomes and complications. *Int J Spine Surg* 2021;15(6):1223–33. DOI: 10.14444/8155
- Boriani S., Bandiera S., Donthineni R. et al. Morbidity of en bloc resections in the spine. *Eur Spine J* 2010;19(2):231–41. DOI: 10.1007/s00586-009-1137-z
- Hu J., Song G., Chen H. et al. Surgical outcomes and risk factors for surgical complications after en bloc resection following reconstruction with 3D-printed artificial vertebral body for thoracolumbar tumors. *World J Surg Oncol* 2023;14;21(1):385. DOI: 10.1186/s12957-023-03271-8
- Zhang Y., Li H., Wang W. et al. A novel technology for 3D-printing artificial vertebral bodies for treating lumbar spine adrenal pheochromocytoma metastases: a case report and review of the literature. *Orthop Surg* 2023;15(12):3335–41. DOI: 10.1111/os.13899

6. Wei F., Li Z., Liu Z. et al. Upper cervical spine reconstruction using customized 3D-printed vertebral body in 9 patients with primary tumors involving C2. *Ann Transl Med* 2020;8(6):332. DOI: 10.21037/atm.2020.03.32
7. Hanawa T. Titanium-tissue interface reaction and its control with surface treatment. *Front Bioeng Biotechnol* 2019;7:170. DOI: 10.3389/fbioe.2019.00170
8. Sarraf M., Rezvani Ghomi E., Alipour S. et al. A state-of-the-art review of the fabrication and characteristics of titanium and its alloys for biomedical applications. *Biores Manuf* 2022;5(2):371–95. DOI: 10.1007/s42242-021-00170-3
9. McBeth C., Lauer J., Ottersbach M. et al. 3D bioprinting of GelMA scaffolds triggers mineral deposition by primary human osteoblasts. *Biofabrication* 2017;9(1):015009. DOI: 10.1088/1758-5090/aa53bd
10. Fujibayashi S., Takemoto M., Neo M. et al. A novel synthetic material for spinal fusion: a prospective clinical trial of porous bioactive titanium metal for lumbar interbody fusion. *Eur Spine J* 2011;20(9):1486–95. DOI: 10.1007/s00586-011-1728-3
11. Tack P., Victor J., Gemmel P., Annemans L. 3D-printing techniques in a medical setting: a systematic literature review. *Biomed Eng Online* 2016;15(1):115. DOI: 10.1186/s12938-016-0236-4
12. Tang X., Yang Y., Zang J. et al. Preliminary results of a 3D-printed modular vertebral prosthesis for anterior column reconstruction after multilevel thoracolumbar total en bloc spondylectomy. *Orthop Surg* 2021;13(3):949–57. DOI: 10.1111/os.12975
13. Girolami M., Boriani S., Bandiera S. et al. Biomimetic 3D-printed custom-made prosthesis for anterior column reconstruction in the thoracolumbar spine: a tailored option following en bloc resection for spinal tumors: preliminary results on a case-series of 13 patients. *Eur Spine J* 2018;27(12):3073–83. DOI: 10.1007/s00586-018-5708-8
14. Denis F. The three column spine and its significance in the classification of acute thoracolumbar spinal injuries. *Spine (Phila Pa 1976)* 1983;8(8):817–31. DOI: 10.1097/00007632-198311000-00003
15. Cao Y., Yang N., Wang S. et al. The application of 3D-printed auto-stable artificial vertebral body in en bloc resection and reconstruction of thoracolumbar metastases. *J Orthop Surg Res* 2023;18(1):638. DOI: 10.1186/s13018-023-04135-3
16. Vasudeva V.S., Chi J.H., Groff M.W. Surgical treatment of aggressive vertebral hemangiomas. *Neurosurg Focus* 2016;41(2):E7. DOI: 10.3171/2016.5.FOCUS16169

**Вклад авторов**

А.А. Снетков, Р.С. Гамаюнов, И.Д. Ишкиняев: лечение пациентов, проведение операций, сбор и обработка материала, статистическая обработка данных, написание текста статьи.

**Authors' contributions**

A.A. Snetkov, R.S. Gamayunov, I.D. Ishkinyaev: patient treatment, operations, collection and processing of material, statistical data processing, article writing.

**ORCID авторов / ORCID of authors**

А.А. Снетков / A.A. Snetkov: <https://orcid.org/0000-0001-5837-9584>

Р.С. Гамаюнов / R.S. Gamayunov: <https://orcid.org/0000-0002-9960-9427>

И.Д. Ишкиняев / I.D. Ishkinyaev: <https://orcid.org/0009-0003-2228-1405>

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

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

**Финансирование.** Работа выполнена без спонсорской поддержки.

**Funding.** The work was completed without external funding.

**Соблюдение прав пациентов и правил биоэтики**

Протокол исследования одобрен комитетом по биомедицинской этике ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России.

Родители пациента подписали информированное согласие на публикацию его данных.

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

The study protocol was approved by the biomedical ethics committees of N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Ministry of Health of Russia.

There is given the parental informed consent to the publication of child's data.

**Статья поступила:** 17.02.2025. **Принята к публикации:** 10.03.2025. **Опубликована онлайн:** 31.03.2025.

**Article submitted:** 17.02.2025. **Accepted for publication:** 10.03.2025. **Published online:** 31.03.2025.