

УДК 616-006.3.04

# ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И 3D-ТЕХНОЛОГИЙ В ОНКООРТОПЕДИИ. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Агаев Д.К.<sup>1</sup>, Сушенцов Е.А.<sup>2</sup>, Софронов Д.И.<sup>2</sup>, Валиев А.К.<sup>2</sup>, Мусаев Э.Р.<sup>2</sup>, Хайленко В.А.<sup>1</sup>, Абдулжалиев А.Т.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФДПО ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России; РФ, 117997, г. Москва, ул. Островитянова, д. 1

<sup>2</sup> ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России; РФ, 115478, г. Москва, Каширское ш., д. 24

**Ключевые слова:** саркомы, опухоли костей, 3D-принтинг, эндопротезирование, компьютерное моделирование, аддитивные технологии, индивидуальный инструментарий

В статье представлен обзор мировой и отечественной литературы на тему применения компьютерного моделирования и 3D-технологий в онкологической ортопедии. Рассмотрен опыт применения предоперационного планирования, индивидуального инструментария и индивидуальных протезов при злокачественных опухолях костей таза, лопатки, грудины, пяточной кости и т. д.

## Введение

В последние десятилетия благодаря достижениям в области химиотерапии, развитию радиологических и хирургических методов лечения первичных злокачественных образований костей и суставных поверхностей выживаемость больных высокостепенными саркомами костей удалось повысить до 75%, а внедрение современных хирургических техник, развитие анестезиологии и реанимации позволило выполнять до 85% органосохранных операций [1]. В связи с этим в современной онкоортопедии широко обсуждаются вопросы различных методик реконструктивных операций после выполнения удаления пораженных костных сегментов различных анатомических локализаций. Применение модульных эндопротезов после резекций длинных трубчатых костей конечностей в настоящее время считается «золотым стандартом» из-за их доступности, относительной простоте установки, удовлетворительному и хорошему функциональному результату. Использование данного метода существенно улучшает качество жизни онкологических пациентов и не влияет на прогноз заболевания [2]. Функциональный результат по шкале MSTS у па-

циентов с дистальной резекцией бедренной кости составляет 75–88%, а в период 3 мес после операции доходит до 94%. У пациентов с проксимальной резекцией большеберцовой кости оценка MSTS в среднем после операции 68%, а через 3 мес после операции в среднем до 73% [3].

На сегодняшний день в клинической практике не существует универсальной модели эндопротеза костей сложных анатомических локализаций или их сегментов, таких как кости таза, лопатка, ключица, кости стопы, голеностопного и лучезапястного суставов, а существующие аналоги не обеспечивают успешную реабилитацию больных, фактически излеченных от онкологического заболевания, что порой вынуждает хирургов выполнять калечащие операции. Все это указывает на отсутствие решения данной проблемы в современной клинической онкоортопедии. С появлением методов компьютерного моделирования и совершенствования технологий 3D-печати в последние годы появилась возможность восстанавливать костные дефекты с помощью персонализированных протезов, изготовленных индивидуально по данным рентгенологических методов обследований пациента. К возможностям применения 3D-технологий в онкоортопедии стоит отнести компьютерное моделирование, создание 3D-макетов для предоперационного планирования хирургического вмешательства, создание PSI (Patient specific instruments) и непосредственно

*Адрес для корреспонденции*

Агаев Дергах Камаледдин оглы  
E-mail: adergax@mail.ru

создание самих 3D-имплантов из сплавов титана различными технологиями 3D-печати.

### Компьютерное моделирование

Большое значение в успешном проведении хирургического этапа лечения на костях различных анатомических локализаций имеет предоперационное планирование вмешательства. Компьютерная навигация, компьютерная томография (КТ), магнитно-резонансная томография (МРТ) и созданная на их основании трехмерная модель позволяют точно определять размеры опухоли, распространенность поражения мягких тканей, степени внутрикостного поражения, вероятность вовлечения магистральных сосудисто-нервных путей, а также границы радикально выполненной резекции, что повышает потенциал возможности выполнения реконструктивного этапа операции. На основании данных КТ-исследования возможно создание 3-мерной модели кости с опухолевым поражением, планирование уровней резекции с учетом принципов радикальности и, при необходимости, создание дизайна импланта для выполнения реконструктивных операций. При опухолях костей сложных анатомических локализаций рекомендуется выполнять КТ с соблюдением определенных требований, их можно свести к следующему:

- толщина среза 0,5–1 мм, минимальная коллимация, минимальное расстояние между срезами (ультратонкие срезы);
- для таза рекомендуется не использовать стандартный протокол;
- для проектирования протезов конечностей, таза и других симметричных или парных структур КТ этих структур делать полностью, чтобы была возможность проектировать протезы симметрично нормальной анатомии противоположной стороны (создание антропометричных, персонализированных имплантов);
- рекомендуется использовать максимально допустимое перекрытие срезов (до 50%). Запись файлов на диск производится с соблюдением следующих параметров:
  - записывать в формате DICOM в аксиальной проекции;
  - не мультипланарные реконструкции;
  - костный режим окна;
  - минимальная толщина срезов;
  - минимальное расстояние между срезами, необработанные RAW-файлы [4].

### Применение 3D-печати в предоперационном планировании хирургического вмешательства

При хирургическом лечении пациентов со злокачественными образованиями костей, в особенности костей таза и позвоночника, хирурги очень часто

сталкиваются с определенными, индивидуальными анатомическими особенностями, что нечасто сопровождается изменением плана на операцию, увеличением продолжительности времени операции и возникновением определенных интраоперационных осложнений. Создание модели кости с опухолевым поражением при помощи 3D-принтинга позволяет не только избежать всех вышеперечисленных моментов, но и определить оптимальный доступ для выполнения хирургического вмешательства, более детально и точно проанализировать и провести предоперационную подготовку. Команда хирургов во главе с Tamet использовала напечатанную 3D-модель лопатки с большой опухолью при предоперационном планировании хирургического лечения пациентки 6 лет с остеохондромой правой лопатки. Данная модель помогла хирургам при выполнении оперативного вмешательства удаления опухоли сложной анатомической локализации [5]. Ма и коллеги применили технологию 3D-принтинга для разработки модели дистальной трети бедренной кости, пораженной остеосаркомой, у 8 пациентов с одновременным созданием индивидуальных шаблонов для выполнения радикальных операций (рис. 1). По данным авторов, применение данной методики привело к более тщательному предоперационному планированию, точной резекции кости, точному выполнению реконструктивного этапа операции, сокращению времени операции и уменьшению объема кровопотери [6].



а)



б)

Рис. 1. Компьютерная модель и индивидуальный инструмент, напечатанный методом 3D-принтинга, для выполнения радикальной резекции опухоли дистальной трети бедренной кости [6]: а) компьютерное моделирование дистальной трети бедренной кости с опухолевым образованием и индивидуального инструментария для выполнения радикальной резекции; б) напечатанный методом 3D-принтинга индивидуальный инструментарий

Хiao и коллегами с 2013 по 2014 г. была выполнена одномоментная en-block резекция шейного позвонка с применением переднезаднего доступа по поводу первичного поражения злокачественной опухолью. Авторами был сделан вывод, что, несмотря на техническую сложность, данный метод является наиболее

эффективным при хирургическом лечении опухолей позвонков шейного отдела. Во всех 5 случаях было выполнено компьютерное моделирование шейного отдела позвоночника с опухолевым поражением и создание самой модели с применением 3D-принтинга. Это помогло хирургам до операции лучше понять анатомические взаимоотношения между опухолью и шейным отделом позвоночника, что в свою очередь помогло в планировании хирургического вмешательства [7]. Кроме хирургов, анатомические модели костей, напечатанные на 3D-принтере, могут быть полезны для учащихся медицинских учебных заведений в образовательных целях.

### Индивидуальный инструментарий, созданный путем 3D-принтинга (Patient specific instruments)

Под термином PSI (Patient specific instruments) в мировой литературе принято обозначать индивидуальные приспособления, которые создаются на основании данных компьютерного моделирования путем 3D-принтинга и используются во время оперативного вмешательства для выполнения более точного определенного этапа операции. Когда речь идет об онкоортопедических операциях, безусловно, под термином PSI стоит понимать индивидуальные шаблоны или гайды, при помощи которых возможно выполнение радикальной резекции опухоли. Buller в своем исследовании проводит сравнение между двумя контрольными группами пациентов, в одной из которых установка вертлужного компонента тазобедренного протеза проводилась по стандартным данным предоперационного планирования, а в другой установка вертлужного компонента эндопротеза выполнялась с применением PSI. Показатели среднего отклонения угла антеверсии, наклона и общего смещения были лучше у пациентов, которым установка вертлужного компонента выполнялась с применением PSI [8]. Также возможно применение PSI в качестве индивидуальных направителей для установки транспедикулярных винтов в позвонки во время различного рода хирургических вмешательств на позвоночнике [9–11]. PSI часто используется для выполнения радикальных резекций при злокачественных образованиях костей таза [12, 13]. François Gouin и коллегами было выполнено удаление опухолей костей таза у 11 пациентов с применением PSI (рис. 2). После проведенных операций выполнялось гистологическое исследование удаленного макропрепарата и сравнение послеоперационного КТ-исследования с предоперационным КТ-исследованием для определения точности выполненной операции. В результате во всех случаях края резекции были R0, а при сравнении данных рентгенологического исследования точность выполнения резекции в среднем составила 2,5 мм [12]. В качестве расходных материалов для 3D-печати PSI используется АБС-пластик (акрилонитрилбутадиенстирол),

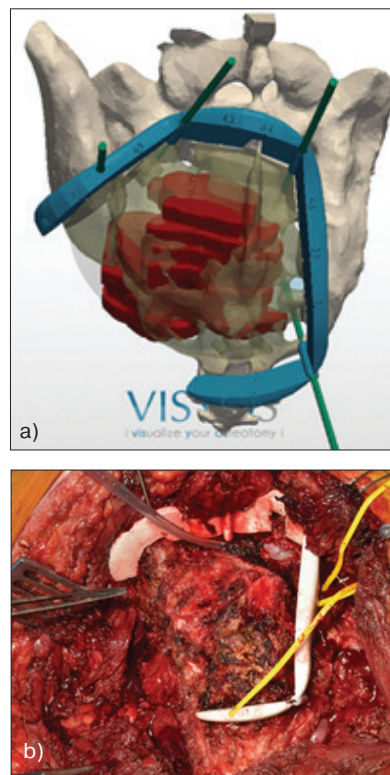


Рис. 2. Применение индивидуального инструментария для выполнения радикальных резекций опухолей крестца [12]: а) компьютерное моделирование крестца с опухолевым поражением и PSI; б) интраоперационная установка PSI для выполнения радикальной резекции опухоли

отличающийся нетоксичностью, ударопрочностью и эластичностью. Для создания прозрачных моделей также часто применяется акрил. Акрил обладает более высокой температурой плавления, чем АБС-пластик, быстро остывает и твердеет.

К недостаткам применения PSI стоит отнести необходимость полного скелетизирования участка кости в месте прилегания индивидуального приспособления, что иногда может быть технически не просто из-за наличия окружающих мягких тканей. Сроки планирования и изготовления изделий тоже стоит отнести к недостаткам данной методики (3–5 дней). Также неточное размещение индивидуального приспособления может привести к необратимым последствиям, которые могут потребовать полного изменения операционного плана. Любое увеличение размеров опухоли также может привести к неправильной установке индивидуального приспособления, что может повести за собой нерадикально выполненное хирургическое вмешательство [14].

### 3D-импланты из сплавов титана

Помимо упомянутых модульных эндопротезов, применяемых при реконструктивных операциях после резекций длинных трубчатых костей, которые являются «золотым стандартом», в качестве реконструктивных компонентов также широко

применяются аллотрансплантаты, аутоотрансплантаты, ксенотрансплантаты, биоккомпозитные материалы. Данные методики имеют как свои преимущества, так и недостатки [15–18]. При нестандартных анатомических локализациях опухолевых поражений костей, больших размерах поражений и анатомических особенностях пациентов современные хирурги все чаще и чаще прибегают к аддитивным технологиям для создания персонализированных имплантов, созданных по антропометрическим данным пациентов. Все это возможно благодаря комплексному обследованию пациентов, включающему такие рентгенологические методы исследования, как КТ, МРТ, развитию компьютерных методов моделирования и появлению новых, более усовершенствованных компьютерных программ, с помощью которых выполняется создание 3-мерных моделей костей с опухолевыми поражениями. Сама методика 3D-принтинга также не стоит на месте, в связи с чем на сегодняшний день возможно не только создание импланта сложной геометрической формы, но и придание пористости поверхностям, соприкасающимся с костной тканью, что приводит к более лучшей остеоинтеграции и надежному креплению импланта к кости. Чаще всего для создания имплантов применяются 2 вида 3D-печати — это SLS (селективное лазерное спекание) и EBM (электронно-лучевая плавка). В качестве расходного материала возможно использование титан-6-алюминий-4-ванадия ( $Ti_6Al_4V$ ) и кобальт-хрома [14]. Способность подбирать размер, подходящую геометрическую форму, упругость и пористость импланта методом компьютерного моделирования и технологий 3D-печати позволяет современным онкоортопедам более оптимистично смотреть в сторону решения вопросов реконструктивных хирургических вмешательств после резекций опухолей костей сложных анатомических локализаций.

В литературе встречаются отдельные описания клинических случаев, при которых пациентам со злокачественными образованиями костей сложных анатомических локализаций были установлены индивидуальные импланты после резекций пораженных сегментов. Коллектив хирургов во главе с Fan использовал технологию EBM для создания имплантов 3 пациентам с опухолевыми поражениями ключицы, лопатки и подвздошной кости соответственно. Средний период наблюдения составил 22 мес. На момент контрольного обследования после выполненного хирургического лечения данных за нестабильность имплантов не наблюдалось. Функциональный статус по шкале MSTS у пациента с саркомой Юинга ключицы составил 93%, у пациента с саркомой Юинга лопатки 73% и 90% у пациента с хондросаркомой подвздошной

кости [19]. Описан клинический случай применения импланта после сегментарной резекции левой лопатки по поводу хондросаркомы у пациента 53 лет (рис. 3). В связи с нетотальным поражением



**Рис. 3.** Трехмерная модель левой лопатки и предоперационное моделирование [24]: а) шаблон для выполнения радикальной резекции, который прикреплен к удаленной части лопатки; б, д) протезы, напечатанные из нейлона и титанового сплава. Многие отверстия были разработаны по краю протеза для возможности выполнения реконструкции мягких тканей; е) реконструкция оставшейся части лопатки с имплантом была выполнена при помощи сформированной фиксирующей пластины

лопатки врачами было принято решение о выполнении сегментарного протезирования, что позволило сохранить полностью плечевой сустав. Функция левого плечевого сустава была резко ограничена, возможность отведения была только на 45°, выполнение внутренней ротации было невозможно. При контрольном обследовании через 28 мес после операции признаков рецидива не было. По данным рентгенограммы положение импланта оценивалось как хорошее. Оценка функционального статуса по шкале MSTS составила 93% [24].

Более детально описан клинический случай применения индивидуального импланта после экстирпации лопатки по поводу лечения пациента со злокачественной фиброзной гистиоцитомой. Рентгенография, выполненная в двух проекциях, показала удовлетворительное положение импланта и плечевого сустава. Исследование, выполненное через 3 мес после операции, также подтвердило отсутствие дислокации импланта, вывиха плечевого сустава. Активность плечевого сустава была определена следующим образом: 120° при подъеме руки, 90° при отведении руки, 50° при внешней ротации и 70° при внутренней ротации [20]. Особый интерес в данной работе вызывает материал,

из которого был напечатан имплант. Полиэфирэфиркетон (polyetheretherketone, PEEK) обладает рядом преимуществ по сравнению с другими материалами, из которых печатаются импланты. PEEK при различных видах рентгенологических методов обследования (МРТ-, КТ-исследование) в отличие от имплантов, напечатанных из сплавов титана, не вызывает никаких артефактов, тем самым позволяя более детально оценивать качество и стабильность фиксации [21]. Данный материал также не вызывает аллергических реакций, не подвергается магнитным и экзотермическим реакциям [22]. Кроме того, материалы из PEEK обладают упругостью и значительно легче, чем протезы из титана [23]. Самым существенным преимуществом применения протезов из PEEK является возможность интраоперационного моделирования имплантов и изменения их формы [20]. Jianfeng Kang и коллегами опубликована статья, в которой описывается применение персонализированных имплантов 2-го, 3-го и 4-го ребер после удаления опухоли (хондросаркома) передней поверхности левой половины грудной клетки объемом 11×11×6 см, распространяющаяся со 2-го по 5-е ребро. Вследствие небольшого дефекта 5-го ребра интраоперационно было принято решение о протезировании 2-го, 3-го и 4-го ребер, причем 2-е и 3-е ребра были резецированы у места прикрепления к груди. В данных случаях фиксация имплантов к груди выполнялась при помощи титановых винтов или стальных проволок. При резекции 4-го ребра целостность грудино-реберного сочленения нарушена не была. Как и в предыдущей работе, протезы были напечатаны из полиэфирэфиркетона при помощи технологии FDM (fused deposition modelling, моделирование методом наплавления). Биомеханические свойства имплантов оценивались при помощи анализа метода конечных элементов. Стоит отметить, что вес каждого из протезов составил около 27 г, что значительно меньше таких же протезов, но напечатанных из сплавов титана. Авторы пришли к выводу, что использование моделированного направления оси собственного ребра является оптимальным методом для создания дизайна импланта ребра, а применение PEEK и технологии FDM позволяет достигать отличных клинических результатов [25].

Вопросы реконструкции грудной стенки после удаления больших опухолей, поражающих ребра и грудину, до сих пор остаются актуальны. Существует широкий спектр материалов и вариантов восстановления дефектов грудной клетки, от мышечных лоскутов до протезов (как абсорбируемых, так и неабсорбируемых, как синтетических, так и биологических: сетки, пластины, стержни, винты). По данным различных авторов, реконструкцию необходимо выполнять для ликвидации дефектов реберного каркаса, образующихся при резекции

более трех ребер на переднебоковой стенке или превышающих более 100 см<sup>2</sup> на боковой или подлопаточной областях. В то же время при резекции задних отделов грудной стенки, в частности I, II, III и IV ребер, такие пациенты не нуждаются в реконструкции грудной стенки благодаря лопатке, которая придает необходимую стабильность грудной стенке [26, 28, 30]. Единственной целью, которую преследуют все хирурги, является радикальное удаление опухоли и восстановление целостности грудной стенки с обеспечением ее нормальной физиологической экскурсии, что впоследствии не приводило бы к дыхательной недостаточности [26, 27].

Simal и соавт. выполнили реконструкцию грудной стенки после удаления 5-го, 6-го и 7-го ребер слева по поводу саркомы Юинга 6-го ребра. Дефект после удаления опухоли и резекции перечисленных ребер составил 35×12×6 см. На место дефекта была установлена сетка Gore-Tex, после чего импланты ребер были прикреплены к задним фрагментам здоровых ребер при помощи титановых винтов, а спереди к реберным хрящам соединение производилось стальной проволокой. Также была выполнена мягкотканная реконструкция торакодорсальным лоскутом [29]. Перечисленные выше клинические случаи показывают, что применение 3D-протезов ребер в сочетании с другими хирургическими методами является хорошим выбором при выполнении реконструктивных операций для закрытия больших дефектов грудной клетки.

Помимо замещения дефекта после резекций опухолей грудной клетки, вовлекающих ребра, уже долгие годы активно идут поиски решения вопроса реконструкции дефектов после удаления опухолей, вовлекающих грудину. При опухолях грудины могут выполняться тотальное удаление грудины, субтотальная резекция грудины (больше 50% грудины) и частичная резекция грудины (меньше 50% грудины). Замещение дефекта грудины необходимо после стернэктомии и субтотальной резекции грудины. Основными методами реконструкции грудной стенки после стернэктомии и субтотальной резекции грудины на сегодняшний день являются применение «сэндвич» полипропиленовой сетки и метилметакрилата с различными видами перемещенных лоскутов, применение сетки Gore-Tex с различными видами перемещенных лоскутов, применение костного аллотрансплантата [31, 32]. Важность надежного устранения дефекта обуславливается необходимостью герметизации плевральной полости, восстановления прочности каркаса грудной клетки, сохранения физиологического объема грудной клетки, предотвращения парадоксального дыхания и восстановления покровных тканей [32].

В литературе описаны несколько клинических случаев применения 3D-принтинга при реконструктивных операциях по поводу злокачествен-

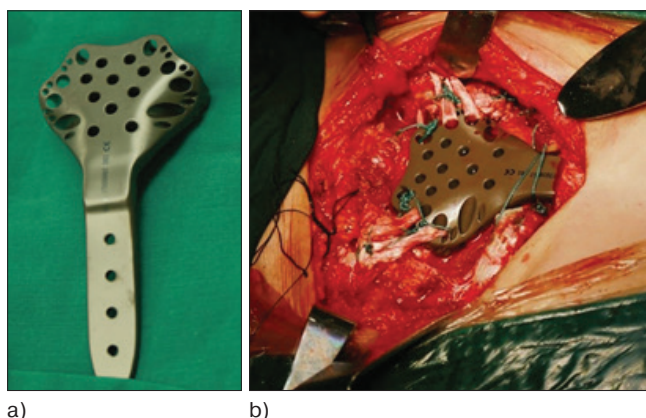


Рис. 4. Применение импланта грудины, напечатанного методом 3D-принтинга [33]: а) дизайн импланта грудины; б) вид операционной раны после установки импланта

ных образований грудины. Коллегами из Китая в 2018 г. выполнено замещение дефекта грудной стенки 3D-протезом из сплавов титана после выполнения субтотальной резекции грудины по поводу хондросаркомы рукоятки (рис. 4). Общая площадь поражения составляла примерно  $66,6 \times 67,8 \times 71,7$  мм, опухоль сдавливала левую общую сонную артерию и верхнюю полую вену. По данным КТ-исследования, вовлечения грудино-ключичного сочленения в опухолевый процесс не наблюдалось. После компьютерного моделирования участка грудины с опухолевым поражением был создан дизайн протеза для замещения дефекта, который впоследствии был напечатан методом STL-печати из сплавов титана.

Стоит отметить, что хирургами были подготовлены и использованы сухожилия длиной ладонной мышцы и полусухожильной мышцы бедра для реконструкции межключичных, грудино-ключичных связок и грудино-реберного соединения. После выполнения радикального удаления опухоли рукоятки грудины проксимальная треть тела грудины была дополнительно резецирована на 12 мм. Фиксация протеза с телом грудины была выполнена при помощи костного цемента и дополнительного скрепления проволокой. Были выполнены отверстия в ребрах и ключицах для создания биологического соединения между ними и имплантом перечисленными выше сухожилиями. По данным гистологического исследования удаленного препарата, края резекции — R0. При послеоперационном обследовании отмечается удовлетворительное положение импланта, устойчивость грудино-ключичного сустава, отсутствие поломки самого импланта, отсутствие данных за инфицирование протеза. При последующих наблюдениях через 1 и 3 мес после операции отмечается улучшение качества жизни пациента, отсутствие каких-либо ограничений в повседневной жизни [33].

Другой дизайн импланта грудины был представлен коллегами из Словакии, которые выполнили

субтотальную резекцию грудины и двухстороннюю резекцию хрящей 2–4-го ребер пациентке 70 лет по поводу высокодифференцированной хондросаркомы тела грудины (рис. 5). После компьютерного моделирования и предоперационного планирования протез был изготовлен с использованием технологии DMLS (Direct Metal Laser Sintering, прямого металлического лазерного спекания).

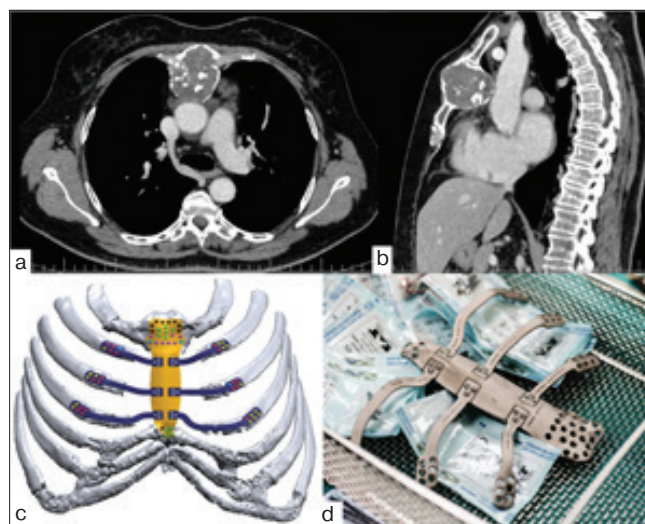


Рис. 5. Применение импланта грудины, напечатанного методом 3D-принтинга [34]: а) компьютерная томография (аксиальный срез); б) компьютерная томография (сагиттальный срез); в) компьютерное моделирование грудины с имплантом; д) готовая модель импланта, напечатанная методом DMLS

Вес протеза составил 53,5 г, его размеры  $170 \times 60 \times 105$  мм. Имплант был прикреплен к рукоятке грудины и к костным частям 2–4-го ребер при помощи отдельных титановых компонентов с применением винтов различных размеров. При гистологическом исследовании края резекции R0. Продолжительность операции составила 150 мин, кровопотеря — 200 мл. После операции не отмечалось наличия парадоксального дыхания, болевой синдром был минимальным, данных за гидро- и пневмоторакс не получено. Пациентка была выписана на 10-е сутки после операции [34].

Особого внимания заслуживает клинический случай, описывающий применение титанового импланта грудины с покрытием PoreStar у женщины 39 лет с заболеванием левой молочной железы и солитарным метастатическим поражением грудины (рис. 6). PoreStar — это изготовленный на заказ полиэтилен высокой плотности, который обладает пористой структурой и по своим биомеханическим свойствам напоминает костную ткань. Сам титановый имплант был напечатан при помощи технологии ЕВМ-печати, после чего полиэтиленовое покрытие PoreStar было добавлено на имплант в процессе постобработки. На место дефекта была установлена викрил-проленовая сетка, после чего



Рис. 6. Титановый протез с покрытием PoreStar перед имплантацией [35]: а) реберные зажимы для фиксации с соответствующим ребром; б) точки прикрепления к оставшимся частям грудины; в) материал PoreStar, которым покрыт имплант

была выполнена установка самого импланта. Титановый каркас протеза имел реберные зажимы с зубчатыми внутренними поверхностями. Это способствовало надежному контакту между имплантом и каждым ребром, после чего выполнялась дополнительная фиксация винтами. Проксимальный и дистальный края протеза были прикреплены к соответствующим краям оставшейся части грудины при помощи проволоки.

При гистологическом исследовании края резекции R0. Пациентка была выписана на 7-е сутки после операции. Физических нарушений и нарушений дыхания через 3 мес после выявлено не было. Данных за инфицирование или нестабильность протеза также не получено [35].

До сих пор не принято единого мнения по поводу необходимости и объема выполнения реконструктивных операций при злокачественных образованиях костей стопы, особенно если речь идет о поражениях таранной и пяточной костей. Пяточная кость является самой большой и мощной костью стопы, которая выполняет опорную функцию и является местом прикрепления ахиллова сухожилия. Биологическая реконструкция может выполняться с применением васкуляризированных костно-фасциально-кожных лоскутов или этих же лоскутов на сосудистой ножке с малоберцовой костью [36], гребнем подвздошной кости [37]. Также встречаются описания использования замороженных аллотрансплантатов, выполненных из головки бедренной кости с фрагментом шейки [38]. Очень часто полное удаление пяточной кости не требует реконструктивного этапа операции, так как биологическая реконструкция часто приводит к неудовлетворительным результатам [39]. Все это привело к тому, что онкохирурги по всему миру в настоящее время ведут активный поиск альтернативы реконструктивных операций при поражениях костей стопы, в частности пяточной кости. Развитие 3D-принтинга также определило положительные моменты в этом направлении. Jong Woong Park с

коллегами удачно провели операцию 23-летнему пациенту с диагнозом десмопластическая фиброма левой пяточной кости (рис. 7). После выполнения

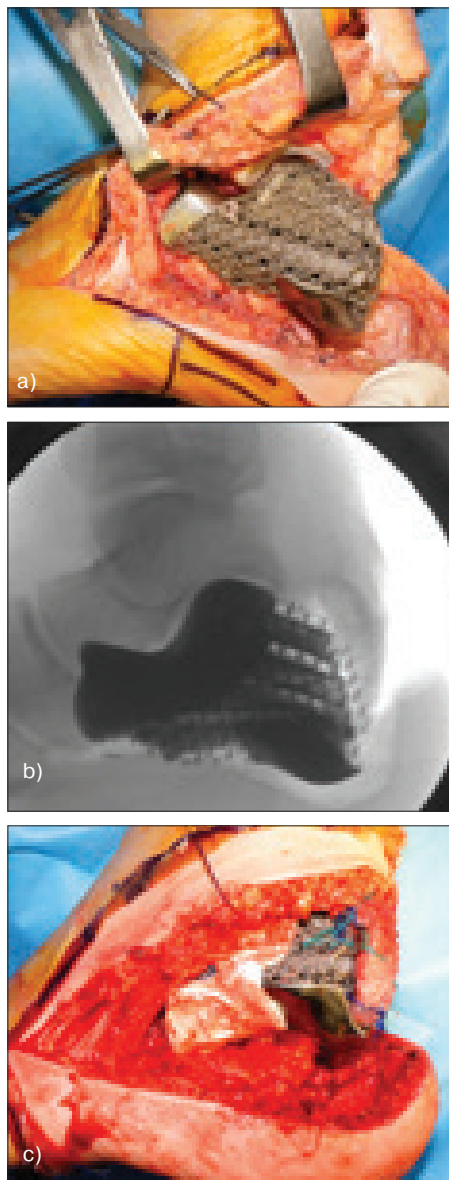


Рис. 7. Применение индивидуального импланта пяточной кости, напечатанного методом 3D-принтинга [40]: а) установленный имплант пяточной кости; б) интраоперационный рентгенологический снимок; в) установленный имплант пяточной кости, сетчатая поверхность которого покрыта коллагеновой губкой

компьютерного моделирования пяточной кости с опухолевым поражением хирургами с биоинженерами был совместно создан дизайн импланта. Так как задняя часть пяточной кости не была вовлечена в опухолевый процесс, было принято решение о ее сохранении ввиду целесообразности сохранения места прикрепления ахиллова сухожилия. Также специалистами было принято решение о создании импланта методом 3D-принтинга меньшего размера (длина была уменьшена на 10 мм) по сравнению с самой пяточной костью пациента для снижения ри-

ска возникновения раневых инфекций и вторичного заживления послеоперационной раны. Суставная поверхность и нижняя поверхность импланта были выполнены с гладким покрытием, в то время как все остальные части импланта имели сетчатую структуру. Ширина каждой ячейки равнялась 2 мм. Сетчатая металлическая поверхность обеспечивала множество свободных отверстий для выполнения фиксации между имплантом и окружающими тканями, в том числе для прикрепления малоберцово-пяточной связки. Сам имплант был изготовлен из сплавов титана с применением ЕВМ-печати. Сетчатая структура импланта была предварительно подвергнута механическим испытаниям, которые показали ее способность выдерживать максимальную сжимающую нагрузку до 2700 кг.

В конечном итоге масса протеза составила 104 г. Имплант был прикреплен к оставшейся части пяточной кости неабсорбируемыми полипропиленовыми нитками, а сетчатая поверхность была укрыта биodeградируемым материалом на основе коллагеновой губки. В течение первых 8 нед была полностью исключена любая нагрузка на левую нижнюю конечность, выполнена иммобилизация голеностопного сустава с помощью ортеза. Через 8 нед после операции — частичная нагрузка на левую нижнюю конечность и снятие ортеза. Еще через 3 нед — полная нагрузка на конечность. При контрольном обследовании через 16 мес данных за нестабильность импланта, его вывих или инфицирование не получено. Пациент передвигался без дополнительных средств опоры [40].

Также успешный опыт применения 3D-протеза пяточной кости описан хирургами из Японии. Им удалось выполнить замещение дефекта имплантом, созданным методом 3D-принтинга, после тотального удаления пяточной кости пациенту 71 года с хондросаркомой 2-й степени злокачественности правой пяточной кости. Интраоперационно удалось успешно выполнить прикрепление подошвенной фасции и ахиллова сухожилия к протезу. Через 5 мес после операции пациент обходился без дополнительных средств опоры и полностью нагружал правую нижнюю конечность. Авторами представлены короткие видеоролики, на которых показано сохранение сгибательной и разгибательной функций правого голеностопного сустава [41]. Авторы данных статей приходят к выводу, что индивидуальные протезы пяточных костей, созданные с помощью 3D-технологий, являются альтернативой выполнения биологических реконструктивных и калечащих операций.

С активным развитием аддитивных технологий и внедрением их в медицину в мировой литературе все чаще встречаются статьи, в которых авторы описывают накопленный ими опыт применения индивидуальных имплантов для реконструкций костных дефектов после удаления опухолей слож-

ных анатомических локализаций. Одной из таких статей является работа итальянских врачей, где описывается опыт применения индивидуальных имплантов различных анатомических локализаций у 13 пациентов. Первичная реконструкция была выполнена 7 пациентам, и в 6 случаях это было ревизионное эндопротезирование. По локализации поражения в 7 случаях выполнялась реконструкция тазового кольца и по одному случаю — реконструкция с применением персонализированных протезов после резекций опухолей лопатки, дистальной трети локтевой кости, дистальной трети лучевой кости, пяточной кости и протезирование диафиза бедренной кости. Срок изготовления имплантов, включающий компьютерное моделирование, создание дизайна импланта и его печать, составил от 3 до 4 нед. Средний период наблюдения составил 13,7 мес (от 6 до 26 мес). Всего осложнения возникли в 38,5%, причем 7 осложнений были у 5 пациентов. В среднем осложнения возникали через 2,7 мес после операции. С осложнениями удалось справиться в 62% случаев в течение одного года. В 4 случаях это были осложнения типа I по Henderson (расхождение краев раны). Лечение было выполнено при помощи вторичной хирургической обработки послеоперационной раны, антибактериальной терапии и применения системы вакуумного дренирования. В 1 случае, после установки индивидуального импланта пяточной кости, была выполнена повторная операция с применением кожно-мышечного лоскута без удаления самого импланта. В двух случаях это были осложнения типа IV по Henderson (инфицирование области послеоперационной раны). Оба случая зарегистрированы при операциях на тазу. В одном случае удалось достичь излечения инфекции путем антибактериальной терапии, оперативного лечения с санацией и дренированием раны, пластикой дефекта кожно-мышечным лоскутом без удаления импланта. Во втором случае пациент умер через 3 мес от прогрессирования основного заболевания. В одном случае было зарегистрировано осложнение типа III по Henderson. Осложнений типа II и V не было. Среднее значение MSTS для пациентов с реконструкцией тазового кольца составило 74%, для пациентов с реконструкцией других анатомических локализаций — 88% [42].

На сегодняшний день ведущее место при реконструктивных операциях после удаления опухолей костей таза занимает компьютерное моделирование и 3D-технологии. И это не случайно. При выполнении органосохраняющих операций используются такие методы, как создание подвздошно-бедренного или седалишно-бедренного артродезов, заполнение пострезекционного дефекта костным цементом и использование спиц, замещение дефекта васкуляризированным трансплантатом малоберцовой кости, применение протезов седловидного типа и

использование аллотрансплантата, в том числе в комбинации с эндопротезом [43]. Но данные методы не обеспечивают успешную реабилитацию больных, они сопряжены с высоким риском развития местных осложнений и неудовлетворительными функциональными результатами. Коллективом врачей из США в 2018 г. был выполнен литературный обзор на тему хирургических осложнений после выполнения органосохраняющих операций при злокачественных опухолях костей таза. Критериями включения в данное исследование являлись статьи, в которых было включено более 10 пациентов, первичные злокачественные опухоли, минимальный период наблюдения составлял 12 мес, возможность оценки сопоставимых функциональных результатов и описание метода реконструктивной операции. Всего в обзор было включено 22 статьи, 801 пациент. Описано 17 видов реконструктивных операций. В результате анализа выяснилось, что среднее значение неонкологических осложнений составило 49%, повторные операции были выполнены в 37%, среднее значение MSTS составило 63%. Авторы приходят к выводу, что хоть функциональные результаты являются удовлетворительными, но они не лучше, чем при операциях без выполнения реконструктивного этапа [44]. Все это указывает на отсутствие решения данной проблемы в современной клинической онкологии.

В РОНЦ им. Н.Н. Блохина в 2005 г. были впервые применены технологии прототипирования операций на костях таза с использованием 3D-моделирования и аддитивных технологий, что привело к улучшению результатов лечения данной группы пациентов. Коллективом хирургов из РОНЦ им. Н.Н. Блохина подробно описан клинический случай успешной реконструкции тазового кольца индивидуальным эндопротезом пациенту 32 лет с диагнозом остеосаркома правой подвздошной кости. Выполнено планирование оперативного вмешательства *in silico* хирургом, определение границ резекции и позиционирование вертлужного компонента на единой рабочей платформе с биоинженерами. Созданы компьютерная модель таза и прототип таза, которые были разработаны клиницистами, радиологами и биоинженерами. Имплантат был изготовлен посредством 3D-печати на принтере Concept Laser M2 Cusing из порошка титана, сертифицированного для изготовления медицинских имплантатов  $Ti_6Al_4V$ . После печати протез подвергся постобработке и контролю безопасности и качества изготовления на предмет наличия скрытых дефектов. Через 3 мес после операции пациент передвигался с опорой на костыли. При функциональной оценке нагрузка на оперированную конечность 20%, на здоровую — 80%, значительное снижение способности передвигаться II степени. При оценке по системе MSTS — 57% через 3 мес после операции. Через 6 мес пациент передвигался

с опорой на один подлоктевой костыль. Сохранился парез малоберцового нерва, что отмечалось и сразу в послеоперационном периоде. Активное сгибание коленного сустава  $110^\circ$ , тазобедренного сустава —  $90^\circ$ . По данным функционального обследования (оценка двигательной функции и поструральных нарушений), отмечалось улучшение двигательной функции: увеличение средней нагрузки на правую нижнюю конечность на 30% (что сопоставимо с левой нижней конечностью), незначительное (I ст.) снижение способности передвигаться (Ambulation index), по системе MSTS функциональный результат составлял 66%. В дальнейшем было выявлено прогрессирование основного заболевания, после чего пациент умер через 20 мес после операции [45].

Наибольшую сложность для выполнения органосохраняющих операций и реконструкции тазового кольца при злокачественных опухолях костей таза представляет для хирургов вовлечение в опухолевый процесс вертлужной впадины. Врачами из Китая описан опыт лечения таких пациентов. В их исследование вошли 13 пациентов, которым были выполнены хирургические вмешательства с применением 3D-технологий в период 2016–2017 гг. Уровни резекций опухолей костей таза в 3 случаях составили P1, P2 (классиф. по Enneking) и в 10 случаях — P1, P2, P3. Сами импланты состояли как из целостных структур, так и из пористых. При резекциях на уровне P1 метод фиксации определялся объемом остаточной подвздошной кости. После тотальной резекции подвздошной кости (8 случаев) фиксация выполнялась непосредственно к крестцу. Средний период наблюдения составил 25,3 мес. За этот период наблюдения никаких осложнений, включающих асептическую нестабильность протезов, инфицирование, вывих, зарегистрировано не было. Среднее значение функционального результата по MSTS составило 73,6%. Авторами отмечается, что остеоинтеграция между имплантом и костью человека начинается уже спустя 3 мес после операции (рис. 8) [46].

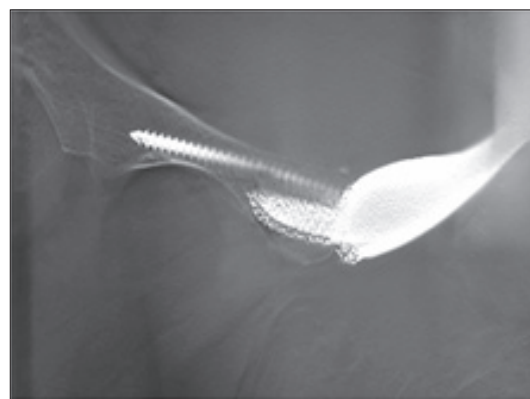


Рис. 8. Начальные признаки остеоинтеграции, полученные в режиме T-SMART (Tomosynthesis-Shimadzu Metal Artifact Reduction Technology) [46]

В мировой литературе есть описание применения индивидуальных эндопротезов после выполнения тотальных en-block сакрэктомий (TES). Wie и коллегами с 2015 по 2017 г. было выполнено 32 тотальных en-block сакрэктомий. В 10 случаях реконструкция была выполнена индивидуальным имплантом. Всем 10 пациентам на предоперационном этапе выполнена селективная эмболизация кровоснабжающих сосудов. Фиксация импланта производилась в подвздошные кости с обеих сторон. В 7 случаях была дополнительно выполнена задняя транспедикулярная фиксация (рис. 9). Средний объем кровопотери



Рис. 9. Рентгеновский снимок через 12 мес после операции. Пациенту 14 лет с диагнозом саркома Юинга крестца выполнена тотальная en block сакрэктомия с реконструкцией тазового кольца индивидуальным эндопротезом крестца и задней транспедикулярной фиксацией [47]

составил 3530 мл. Средний период наблюдения — 17,7 мес. В 2 случаях отмечалось вторичное заживление послеоперационной раны. 1 пациент умер от прогрессирования основного заболевания, в 2 случаях зарегистрировано появление локального рецидива. В 3 случаях отмечалась поломка винта или фиксирующего стержня. В одном из этих случаев была выполнена повторная операция по поводу локального рецидива. Авторы отмечают появление остеоинтеграции через 6 мес после операции. 9 из 10 пациентов передвигаются без костылей, 8 из них обходятся без обезболивающих препаратов [47].

### Заключение

Онкоортопедия является сложным, междисциплинарным направлением в современной медицине. Развитие химиотерапии, радиологических методов лечения, совершенствование хирургических навыков, расширение возможностей анестезиологиче-

ского и реанимационного обеспечения позволяют хирургам на сегодняшний день выполнять органосохраняющие операции в 85% при злокачественных образованиях костей таза [1]. Но многие вопросы в современной онкоортопедии до сих пор остаются нерешенными, особенно если рассматривать функциональные результаты после выполнения органосохраняющих операций после удаления опухолей костей сложных анатомических локализаций. Активное развитие и внедрение компьютерного моделирования и аддитивных технологий позволило совершить значительный прорыв как во всей медицине, так и в онкологической ортопедии в частности. 3D-технологии и компьютерное моделирование уже успешно зарекомендовали себя при реконструктивных операциях после удаления опухолей костей таза. Вопросы применения индивидуальных имплантов после резекций костей других сложных анатомических локализаций (лопатка, грудина, пяточная кость и т. д.) до сих пор остаются актуальными и дискуссионными. Но ясно одно, что каждый клинический случай в онкоортопедии является уникальным из-за определенных факторов, специфичных для пациента, хирурга, конкретной болезни, и поэтому персонализированный подход к каждому пациенту с возможностью применения аддитивных технологий является методом выбора для выполнения реконструктивных операций после удаления опухолей костей сложных анатомических локализаций.

### Информация об источниках финансирования

Финансовой поддержки в настоящей статье не было.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Участие авторов

- Идея, концепция, дизайн исследования — Агаев Д.К., Сушенцов Е.А., Мусаев Э.Р.
- Сбор и обработка материала — Агаев Д.К., Софронов Д.И., Абдулжалиев А.Т.
- Написание текста статьи — Агаев Д.К., Сушенцов Е.А.
- Редактирование — Мусаев Э.Р., Валиев А.К., Хайленко В.А.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Алиев МД, Сушенцов ЕА. Современная онкоортопедия. Саркомы костей, мягких тканей и опухоли кожи. 2012;(4):3-10.
2. Трапезников НН, Еремина ЛА, Амирасланов АТ и соавт. Опыт применения эндопротезирования коленного сустава при опухолях костей. Ортопед. травматол. 1989;80-86.
3. Henderson ER, Groundland JS, Pala E et al. Failure mode classification for tumor endoprotheses: retrospective review of five institutions and a literature review. J Bone Joint Surg Am. 2011;93(5):418-429.
4. Сушенцов ЕА, Мусаев ЭР, Софронов ДИ, Неред АС, Алиев МД. Компьютерные технологии и 3D-принтинг в лечении больных с опухолями костей таза. Саркомы костей, мягких тканей и опухоли кожи. 2018;(1):29-31.

5. Tam MD et al. 3-D printout of a DICOM file to aid surgical planning in a 6 year old patient with a large scapular osteochondroma complicating congenital diaphyseal aclasia. *J Radiol Case Rep.* 2012;6(1):31-37.
6. Ma L et al. 3D-printed guiding templates for improved osteosarcoma resection. *Sci Rep.* 2016;6:23335.
7. Xiao J-r et al. En bloc resection of primary malignant bone tumor in the cervical spine based on 3-dimensional printing technology. *Orthop Surg.* 2016;8(2):171-178.
8. Buller L et al. The use of patient-specific instrumentation improves the accuracy of acetabular component placement. *J Arthroplasty.* 2013;28(4):631-636.
9. Mac-Thiong JM et al. Evaluation of a transpedicular drill guide for pedicle screw placement in the thoracic spine. *Eur Spine J.* 2003;12(5):542-547.
10. Fei Guo, Jianhao Dai, Junxiang Zhang, Yichuan Ma, Guanghui Zhu, Junjie Shen, and Guoqi Niu. Individualized 3D printing navigation template for pedicle screw fixation in upper cervical spine. *PLoS One.* 2017;12(2):e0171509.
11. Hongliang Chen, Kaijing Guo, Huilin Yang, Dongying Wu, and Feng Yuan. Thoracic Pedicle Screw Placement Guide Plate Produced by Three-Dimensional (3-D) Laser Printing. *Med Sci Monit.* 2016;22:1682-1686.
12. François Gouin, Laurent Paul, Guillaume Anthony Odri, and Olivier Cartiaux. Computer-Assisted Planning and Patient-Specific Instruments for Bone Tumor Resection within the Pelvis: A Series of 11 Patients. *Sarcoma.* Volume 2014, 9 pages.
13. Eduard Cernat, Pierre-Louis Docquier, Laurent Paul, Xavier Banse, Ion-Bogdan Codorean. Patient Specific Instruments for Complex Tumor Resection-Reconstruction Surgery within the Pelvis: A Series of 4 Cases. *Chirurgia.* 2016;111(5):439-444.
14. Vishaal Nanik Thadani, Muhammad Jahangir Riaz, Gurpal Singh. The evolution of three-dimensional technology in musculoskeletal oncology. *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma.* 2018;9:269-274.
15. Baumhauer J, Pinzur MS, Donahue R, Beasley W, Digiovanni C. Site selection and pain outcome after autologous bone graft harvest. *Foot Ankle Int.* 2014;35(2):104-107.
16. Calvo R, Figueroa D, Díaz-Ledezma C, Vaisman A, Figueroa F. Bone allografts and the functions of bone banks. *Rev Med Chil.* 2011;139(5):660-666.
17. Khan SN, Cammisa FPJ, Sandhu HS, Diwan AD, Girardi FP, Lane JM. The biology of bone grafting. *J Am Acad Orthop Surg.* 2005;13(1):77-86.
18. Laurencin CT, El-Amin SF. Xenotransplantation in orthopaedic surgery. *J Am Acad Orthop Surg.* 2008;16(1):4-8.
19. Fan H et al. Implantation of customized 3-D printed titanium prosthesis in limb salvage surgery: a case series and review of the literature. *World J Surg Oncol.* 2015;13:308.
20. Dong Liu, Jun Fu, Hongbin Fan, Dichen Li, Enchun Dong, Xin Xiao, Ling Wang, Zheng Guo. Application of 3D-printed PEEK scapula prosthesis in the treatment of scapular benign fibrous histiocytoma: a case report. *J Bone Oncol.* 2018;12:78-82.
21. Nieminen T, Kallela I, Wuolijoki E, Kainulainen H, Hiidenheimo I, Rantala I. Amorphous and crystalline polyetheretherketone: mechanical properties and tissue reactions during a 3-year follow-up. *J Biomed Mater Res A.* 2008;84(2):377-383.
22. Shah AM, Jung H, Skirboll S. Materials used in cranioplasty: a history and analysis. *Neurosurg Focus.* 2014;36(4):E19.
23. Lethaus B, Safi Y, ter Laak-Poort M, Kloss-Brandstätter A, Banki F, Robbenmenke C et al. Cranioplasty with customized titanium and PEEK implants in a mechanical stress model. *J Neurotrauma.* 2012;29(6):1077-1083.
24. Linglong Deng, Xing Zhao, Chi Wei, Wenqiang Qu, Li Yu and Shaobo Zhu. Application of a three-dimensional printed segmental scapula prosthesis in the treatment of scapula tumors. *J Int Med Res.* 2019;47(11):5873-5882.
25. Jianfeng Kang, Ling Wang, Chuncheng Yang, Lei Wang, Cao Yi, Jiankang He, Dichen Li. Custom design and biomechanical analysis of 3D-printed PEEK rib prostheses. *Biomechanics and Modeling in Mechanobiology.* 2018;1083-1092.
26. Momeni A, Kovach SJ. Important considerations in chest wall reconstruction. *J Surg Oncol.* 2016;113(8):913-922.
27. Ng CSH. Recent and Future Developments in Chest Wall Reconstruction. *Semin Thorac Cardiovasc Surg.* 2015;27(2):234-239.
28. Skoracki RJ, Chang DW. Reconstruction of the chestwall and thorax. *J Surg Oncol.* 2006;94(6):455-465.
29. Isabel Simal, Maria Antonia García-Casillas, Julio Arturo Cerdá, Óscar Riquelme, Concepción Lorca-García, Laura Pérez-Egido, Beatriz Fernández-Bautista, Manuel de la Torre, Juan Carlos de Agustín. Three-Dimensional Custom-Made Titanium Ribs for Reconstruction of a Large Chest Wall Defect. *Eur J Pediatr Surg Rep.* 2016;4:26-30.
30. Raphael E. Pollock. Soft tissue sarcomas. London: B. C. Decker, 2002:251.
31. Dell'Amore A, Cassanelli N, Dolci G, Stella F. An alternative technique for anterior chest wall reconstruction: the sternal allograft transplantation. *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* 2012;15:944-947.
32. Давыдов МИ, Алиев МД, Соболевский ВА, Илюшин АЛ. Хирургическое лечение злокачественных опухолей грудной стенки. *Вестник РОНЦ им. Н.Н. Блохина РАМН.* 2008;19(1):35-40.
33. Ma XL, Wang DB, Ma JX, Wang Y, Sun L, Lu B, Wang Y, Zhao XW, Li F, Fan ZR, Han B, Bai HH, Yang BC, Jiang X, Tian AX, Dong BC, Du YR. Du. Custom-made Prosthesis for Reconstruction after Radical Resection for Chondrosarcoma of Manubrium. *Orthop Surg.* 2018;10(3):272-275.
34. Anton Dzian, Jozef Živčák, Rastislav Penciak, Radovan Hudák. Implantation of a 3D-printed titanium sternum in a patient with a sternal tumor. *World Journal of Surgical Oncology.* 2018;16:7.
35. Minh D Tran, MD, Jason A Varzaly, MBBS, Justin CY Chan, MBBS, Yugesh Caplash, MBBS, Michael G. Worthington. Novel Sternal Reconstruction With Custom Three-Dimensional-Printed Titanium PoreStar Prosthesis. *Innovations (Phila).* 2018;13(4):309-311.
36. Li J, Wang Z. Surgical treatment of malignant tumors of the calcaneus. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2014;104(1):71-76.
37. Scoccianti G, Campanacci DA, Innocenti M, Beltrami G, Capanna R. Total calcanectomy and reconstruction with vascularized iliac bone graft for osteoblastoma: a report of two cases. *Foot Ankle Int.* 2009;30(7):716-720.
38. Wóznia W, Raciborska A, Walenta T, Szafranski A, Szymborska A, Bajor M. New technique of surgical treatment of malignant calcaneal tumours. Preliminary report. *Ortop Traumatol Rehabil.* 2007;9(3):273-276.
39. Geertzen JH, Jutte P, Rompen C, Salvans M. Calcanectomy, an alternative amputation? Two case reports. *Prosthet Orthot Int.* 2009;33(1):78-81.
40. Jong Woong Park, MD, Hyun Guy Kang, MD, PhD, Kwun Mook Lim, MS, June Hyuk Kim, MD, and Han Soo Kim, MD, PhD. Three-Dimensionally Printed Personalized Implant Design and Reconstructive Surgery for a Bone Tumor of the Calcaneus. *JBJS Case Connect.* 2018;8(2):e25.
41. Jungo Imanishia, Peter FM Choong. Three-dimensional printed calcaneal prosthesis following total calcanectomy. *International Journal of Surgery Case Reports.* 2015;10:83-87.
42. Andrea Angelini, Giulia Trovarelli, Antonio Berizzi, Elisa Pala, Anna Breda, Pietro Ruggieri. Three-dimension-printed custom-made prosthetic reconstructions: from revision surgery to oncologic reconstructions. *International Orthopaedics.* 2019;43:123-132.
43. Софронов ДИ, Мусаев ЭР, Сушенцов ЕА, Щипахин СА. Хирургическое лечение при опухолевых поражениях костей таза. обзор литературы. *Саркомы костей, мягких тканей и опухоли кожи.* 2015;(3):34-39.

44. Robert J Wilson, MD, Thomas H Freeman Jr, MD, Jennifer L Halpern, MD, Herbert S Schwartz, MD, Ginger E Holt, MD. Surgical Outcomes After Limb-Sparing Resection and Reconstruction for Pelvic Sarcoma. JBJS REVIEWS. 2018;6(4):e10.
45. Сушенцов ЕА, Мусаев ЭР, Софронов ДИ, Федорова АВ, Степанова АМ, Ефименко ОС, Дженжера ГЕ, Алиев МД. Индивидуальное эндопротезирование на основе 3D-технологий после резекции костей таза. Саркомы костей, мягких тканей и опухоли кожи. 2017;(3):14-20.
46. Jie Wang, Li Min, Minxun Lu, Yuqi Zhang, Yitian Wang, Yi Luo, Yong Zhou, Hong Duan, Chongqi Tu. Three-dimensional-printed custom-made hemipelvic endoprosthesis for primary malignancies involving acetabulum: the design solution and surgical technique. Journal of Orthopaedic Surgery and Research. 2019;14:389.
47. Wei R, Guo W, Yang R, Tang X, Yang Y, Ji T, Liang H. Reconstruction of the pelvic ring after total en bloc sacrectomy using a 3D-printed sacral endoprosthesis with re-establishment of spinopelvic stability. Bone Joint J. 2019;101-B:880-888.

Статья поступила 02.12.2019 г., принята к печати 15.12.2019 г.  
Рекомендована к публикации А.А. Бабалаевым

### Информационная страница

Агаев Дергах Камаледдин оглы, аспирант кафедры онкологии ФДПО ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, г. Москва.

Сушенцов Евгений Александрович, кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник отделения опухолей опорно-двигательного аппарата ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России, г. Москва.

Софронов Денис Игоревич, кандидат медицинских наук, научный сотрудник отделения вертебральной хирургии ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России, г. Москва.

Валиев Аслан Камрадинович, кандидат медицинских наук, руководитель отдела общей онкологии ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России, г. Москва.

Мусаев Эльмар Расимович, член-корреспондент РАН, доктор медицинских наук, зав. отделением вертебральной хирургии ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России, г. Москва.

Хайленко Виктор Алексеевич, профессор, доктор медицинских наук, зав. кафедрой онкологии ФДПО ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, г. Москва.

Абдулжалиев Адиль Тахирович, ординатор кафедры онкологии ФДПО ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, г. Москва.

### Дополнительные утверждения

Авторы согласны на публикацию представленной работы.

Авторы утверждают, что данная рукопись в настоящее время не представлена для публикации в другие издания и не была принята для публикации в других изданиях.

## THE USE OF COMPUTER MODELING AND 3D-TECHNOLOGIES IN ONCOORTHOPEDIA. LITERATURE REVIEW

Agaev D.K.<sup>1</sup>, Sushentcov E.A.<sup>2</sup>, Sofronov D.I.<sup>2</sup>, Valiev A.K.<sup>2</sup>, Musaev E.R.<sup>2</sup>, Khaylenko V.A.<sup>1</sup>, Abduljaliev A.T.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> FDPO FGAOU VO «Russian National Research Medical University named after N.I. Pirogov» of the Ministry of Health of Russia, Moscow; 1, Ostrovityanova st., Moscow, 117997, Russian Federation

<sup>2</sup> FSBI «National Medical Research Center of Oncology named after N.N. Blokhin» of the Ministry of Health of Russia, Moscow; 24, Kashirskoe sh., Moscow, 115478, Russian Federation

**Key words:** sarcoma, bone tumors, 3D-printing, endoprosthesis, computer modeling, additive technologies, patient specific instruments

This article presents a review of international and national literature on the use of computer modeling and 3D-technologies in oncological orthopedics. The use of preoperative planning, patient specific instruments and individual prostheses for malignant tumors of pelvis, scapula, sternum, calcaneus, etc. are analyzed in this article.