

УДК 616-006.34

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, 3D-ПРИНТИНГ И ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ПРОТЕЗИРОВАНИЕ В ЛЕЧЕНИИ БОЛЬНОГО С ОСТЕОСАРКОМОЙ КОСТЕЙ ТАЗА

Сушенцов Е.А.¹, Мусаев Э.Р.¹, Маслов Л.Б.^{2,3}, Жмайло М.А.³, Софронов Д.И.¹, Агаев Д.К.¹,
Дзампаев А.З.¹, Романцова О.М.¹, Федорова А.В.¹, Алиев М.Д.⁴

¹ ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России; РФ, 115478, г. Москва, Каширское ш., д. 24

² ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина»; РФ, 153003, г. Иваново, ул. Рабфаковская, д. 34

³ ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»; РФ, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29

⁴ ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России; РФ, 125284, г. Москва, 2-й Боткинский проезд, д. 3

Ключевые слова: саркома, кости таза, протезирование, 3D-принтинг, аддитивные технологии, прототипирование, компьютерное моделирование, конечно-элементный анализ

В статье представлен клинический случай лечения пациента с остеосаркомой подвздошной кости, которому была выполнена резекция костей таза с замещением дефекта индивидуальным имплантом. На основании данных компьютерной томографии (КТ) была реконструирована цифровая трехмерная модель таза и изготовлена физическая модель при помощи 3D-печати. Определен оптимальный объем резекции кости с учетом онкологических принципов. Разработан дизайн имплантата с учетом анатомических особенностей пациента при помощи компьютерного моделирования. Компьютерная модель костей таза с замещенным дефектом индивидуальным имплантатом проанализирована методом конечных элементов для определения зон напряжения в системе «скелет-имплантат». Операция прошла по заранее намеченному плану, после удаления опухоли индивидуальный протез таза и тазобедренного сустава были успешно имплантированы. Пациент прослежен на протяжении 2 лет, без прогрессирования болезни и развития ортопедических осложнений, с хорошим функциональным результатом. Применение компьютерного дизайна и 3D-печати тазового протеза по индивидуальному проекту может быть оптимальным методом выбора для лечения больных с опухолями костей таза с хорошим клиническим и функциональным результатом.

Введение

Остеосаркома костей таза является редкой патологией в клинической практике и составляет от 4 до 10% всех остеосарком костей [1, 2]. Плохой прогноз при данном заболевании часто ассоциирован с тем, что опухоль диагностируется в поздние сроки, имеет большие размеры, и нередко определяются метастазы в другие органы [3]. Как результат значительные трудности для врачей-клиницистов представляет выбор правильной тактики лечения и радикальное удаление первичного очага,

нерадикальные же резекции приводят к развитию рецидивов в области предшествующей операции и дальнейшему прогрессированию болезни [4]. Локализация остеосаркомы в костях таза относится к негативному фактору прогноза [5], также к плохим факторам прогноза относят большие размеры опухоли, наличие метастазов и нерадикально выполненные ранее операции [5–7]. Исторически методом выбора лечения больных с опухолями костей таза были только калечащие операции [8]. Внедрение эффективных протоколов химиотерапии и методов органосохраняющих хирургических вмешательств позволило добиться положительной динамики в лечении данной группы больных с хорошими онкологическими результатами [9, 10]. Для обеспечения приемлемого функционального

Адрес для корреспонденции

Сушенцов Евгений Александрович
E-mail: crcspine@rambler.ru

результата применялись различные методы реконструкции, такие как артродезирование, аллопластика, аутопластика, различные виды протезирования. Однако оптимальный метод реконструкции еще не найден, поскольку данные операции часто сопровождаются высоким уровнем осложнений [11–13]. Внедрение в клиническую медицину компьютерного трехмерного (3D) моделирования, методов автоматизированного проектирования, анализа прочности биомеханических конструкций методом конечных элементов и аддитивных технологий открыло новые возможности в реконструкции костей таза. Использование технологии электронно-лучевой плавки («Electron Beam Melting» или EBM) позволило создать пористую структуру для лучшей интеграции с костью пациента [20–22]. Все эти технологии помогают реализовывать индивидуальные особенности имплантата для пациентов, которые могут быть использованы в качестве альтернативы массивным костным аллотрансплантатам или в других местах, где невозможно использовать модульные протезы [14, 20].

Индивидуальные импланты, изготовленные методом 3D-принтинга, положительно зарекомендовали себя для реконструкции костей таза с хорошим функциональным результатом, что обеспечивается высоким анатомическим соответствием удаленного сегмента, возможностью применения различных методов фиксации и быстротой производства [14–17].

Материалы и методы

В статье представлены результаты лечения пациента 14 лет с диагнозом остеосаркома левой подвздошной кости IIВ стадии по Enneking. Пациент поступил в клинику НИИ детской онкологии и гематологии НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина с

жалобами на боли в области левого тазобедренного сустава и ограничение подвижности.

При обследовании выявлена остеосаркома, хондробластный вариант с деструкцией крыла левой подвздошной кости на участке 70×80 мм с замещением патологической тканью и выраженным наружным внескостным компонентом размерами 39×64×83 мм. Область деструкции представлена преимущественно слабаваскуляризованным солидным компонентом. Опухоль распространяется в малую ягодичную мышцу (рис. 1). На предоперационном этапе было проведено 4 блока химиотерапии по протоколу ОС-2014: метотрексат 12 г/м² 1-, 8-й дни; цисплатин 60 мг/м² 15-, 16-й дни; адриамицин 45 мг/м² 17-, 18-й дни. Интервал между циклами составлял 21 день. Учитывая неблагоприятную локализацию опухоли, проводилась опухольмоделирующая терапия бисфосфонатами в дозе 2,4 мг/м² каждый 19-й день блока. На фоне проводимой терапии отмечались гепатотоксичность 1-й степени, анемия 1-й степени, лейкопения 2-й степени.

На фоне проведенного лечения достигнуто уменьшение мягкотканного компонента опухоли на 90%, купирование болевого синдрома, функция тазобедренного сустава была восстановлена в полном объеме. Пациент после получения неoadъювантной химиотерапии был обсужден на мультидисциплинарном консилиуме. Учитывая благоприятный онкологический прогноз, было принято решение о выполнении хирургического вмешательства с резекцией костей таза и реконструкцией индивидуальным имплантом.

На первом этапе, используя персональные данные пациента, полученные при компьютерной томографии, были разработаны трехмерные геометрические модели тазовых костей в формате STL, что

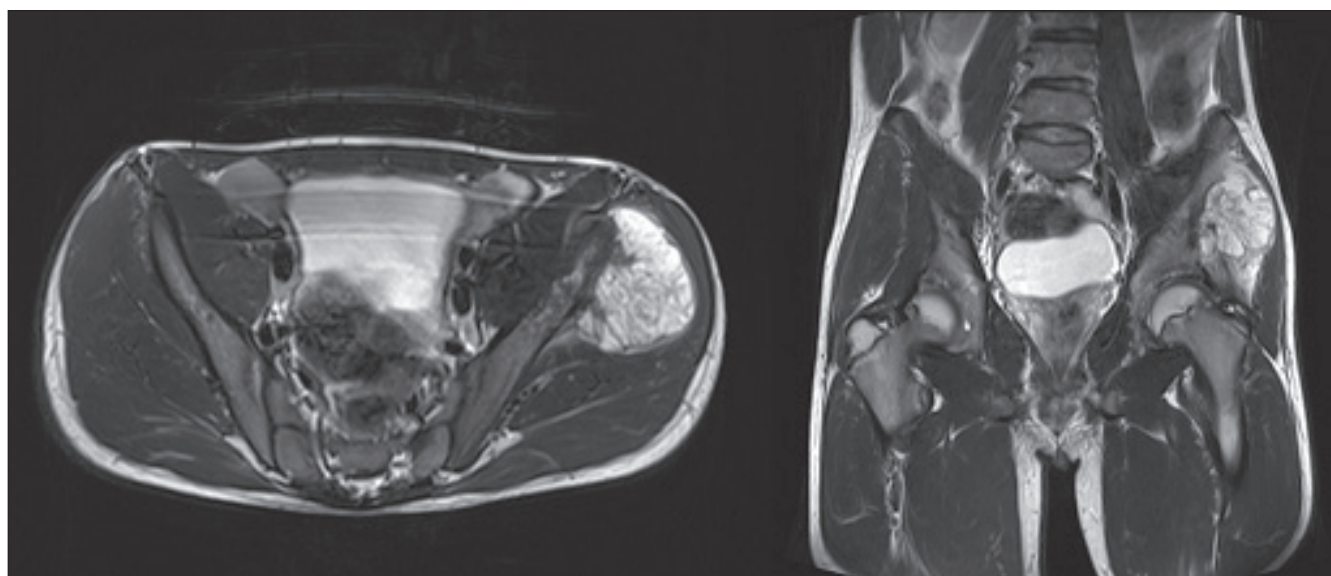


Рис. 1. МРТ до начала лечения

позволило проводить дальнейшее моделирование хирургического вмешательства. После определения на компьютерной модели границ резекции совместно хирургами и биоинженерами была разработана виртуальная модель импланта, согласованы дизайн и особенности фиксации с учетом анатомических данных пациента и предстоящего хирургического вмешательства (рис. 2).

доступная и обладающая достаточной точностью для воспроизведения оперируемого сегмента. После согласования дизайна импланта и методов фиксации клиницистами и биоинженерами был изготовлен имплант SLM-методом послойной лазерной 3D-печати (рис. 3). Для печати протеза применялся порошок титанового сплава Ti_6Al_4V . Участки импланта, соприкасающиеся с костью,

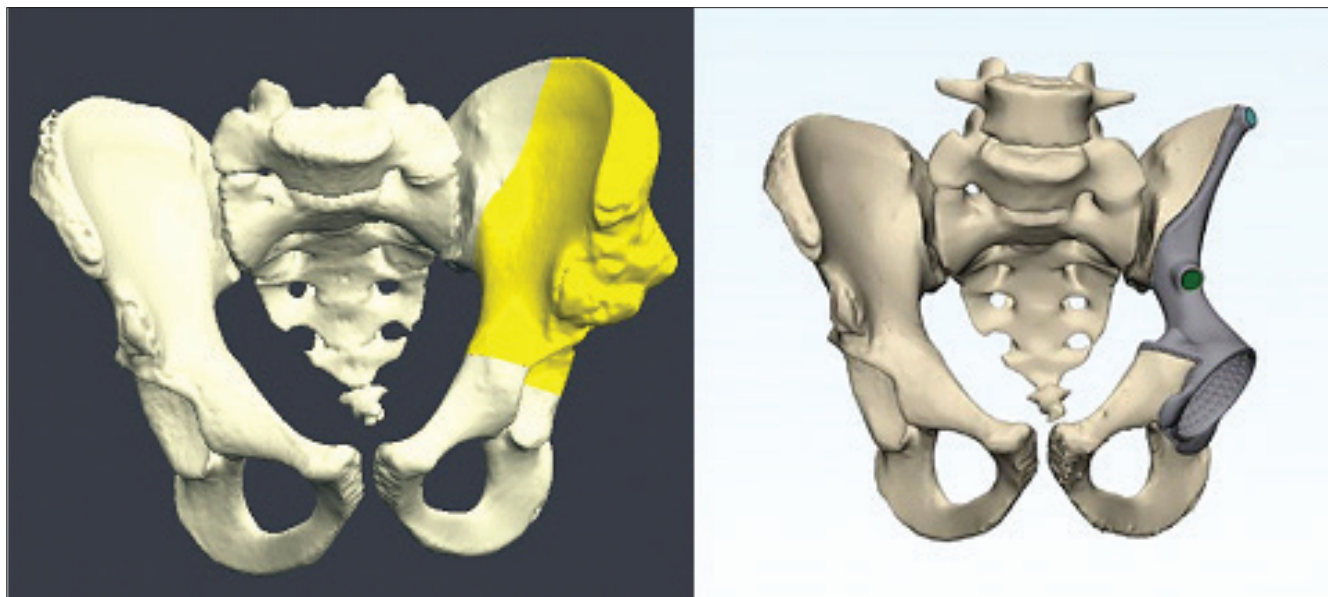


Рис. 2. Компьютерное моделирование резекций костей таза и дизайна импланта

На этапе планирования операции был создан идентичный прототип таза пациента и прототип импланта методом 3D-принтинга для оценки краев резекции и способа фиксации к опилам костей таза. Для решения этой задачи была выбрана FDM-методика 3D-печати как наиболее быстрая,

были модифицированы пористым покрытием для лучшей остеоинтеграции [18].

После печати имплант подвергся постобработке и исследованию на наличие скрытых дефектов в соответствии с производственным циклом. На разработку, согласование, изготовление и доставку

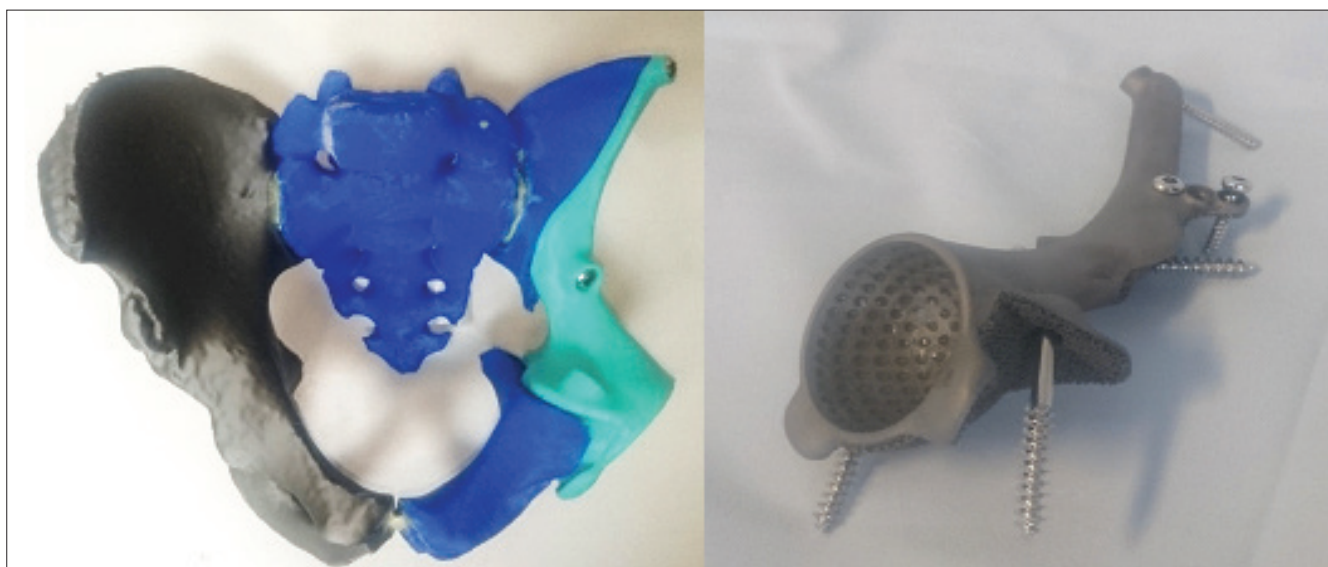


Рис. 3. Прототип хирургического вмешательства (FDM-3D) и имплант, изготовленный SLM-методом послойной лазерной 3D-печати

импланта в клинику было потрачено 10 дней, что было обусловлено временными рамками проведения операции после завершения неoadьювантного цикла терапии.

Компьютерная модель костей таза с замещенным дефектом индивидуальным имплантом была проанализирована методом конечных элементов с целью оценки напряженно-деформированного состояния системы «скелет – индивидуальный имплант костей таза» при двухопорном стоянии и осуществлен подбор оптимальной силы затяга винтов, который бы не приводил к разрушению костной ткани в области фиксации протеза [19]. Учитывая симметричное нагружение на модель, с целью оптимизации расчетов была рассмотрена половина области вычисления. Общее количество конечных элементов в сборке составило 612 260. Анализ показал, что имплантат, винты и крестец имеют достаточный запас прочности и у них низкая вероятность разрушения (рис. 4).

Хирургическое вмешательство

Операция была выполнена 07.12.2017 г. в объеме субтотальной резекции левой половины костей таза с тотальной резекцией тазобедренного сустава и замещением дефекта индивидуальным эндопротезом костей таза и тазобедренного сустава.

Под общей анестезией в положении пациента на здоровом боку произведен доступ вдоль гребня подвздошной кости с переходом на лонную кость, далее доступ был расширен разрезом на бедро в область большого вертела (рис. 5).

На первом этапе хирургического вмешательства было выполнено выделение наружных подвздошных сосудов, бедренного нерва, поясничной мышцы, подвздошная мышца включена в удаляемый препарат. От мест прикрепления отсечены портняжная и прямая мышцы, которые в последующем используются для мышечной пластики (рис. 6). Вторым

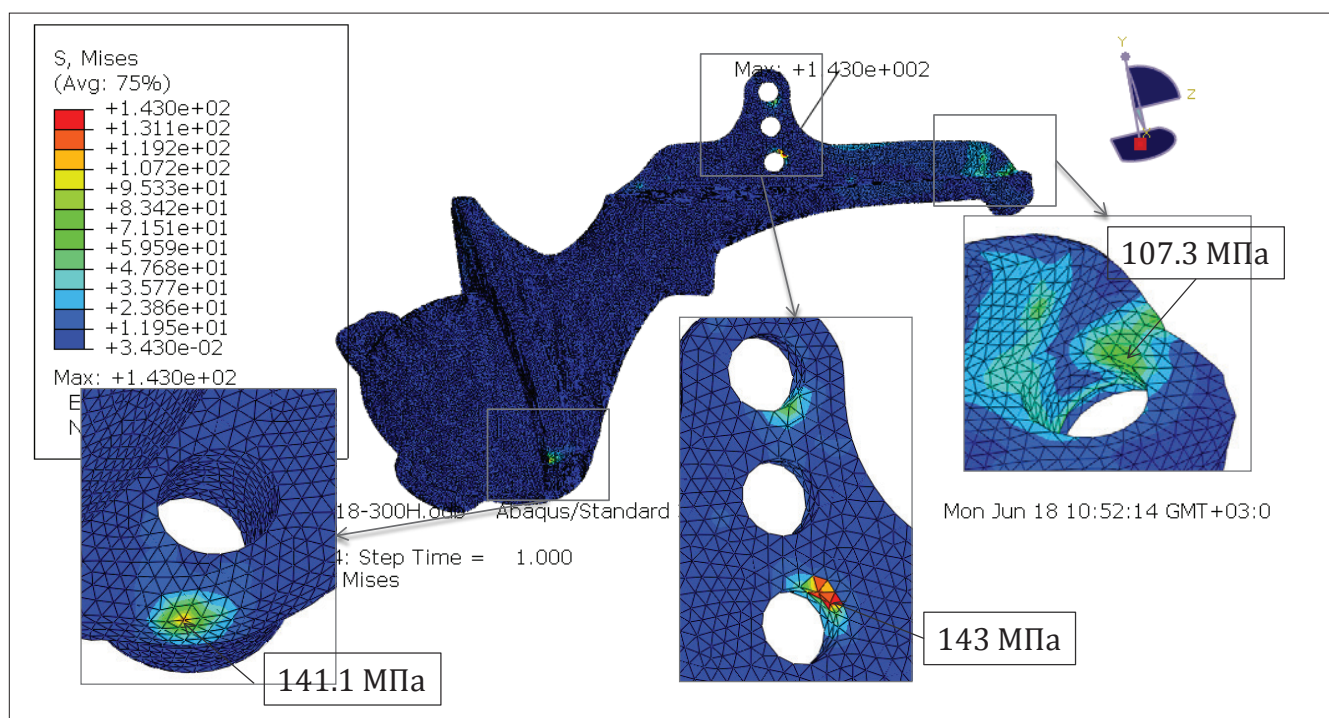


Рис. 4. Конечно-элементный анализ импланта, показывающий достаточный запас прочности

Было показано, что в кортикальном слое тазовых костей максимальные напряжения приближаются к допустимым напряжениям при увеличении силы затяга, но не превышают их. Поэтому кортикальный слой имеет удовлетворительный запас прочности. Напряжения в губчатом веществе, образующем спонгиозную ткань тазовых костей, вблизи некоторых отверстий под винты превышают установленные допустимые напряжения при силе затяга более 300 Н. Поэтому необходимо при установке импланта внимательно относиться к соблюдению предельных значений сил затяжки винтов.

этапом выделены и мобилизованы илиотибиальный тракт и большая ягодичная мышца. В удаляемый препарат были включены средняя и малая ягодичные и подвздошная мышцы.

Разметка границ резекции выполнялась при помощи компьютерной навигации с последующим формированием опилов костей для точного сопоставления границ «имплант-кость» при помощи индивидуальных шаблонов. Резекция костей таза выполнена в соответствии с предоперационным планом.

Реконструкция тазового кольца выполнена с применением индивидуального эндопротеза, ко-

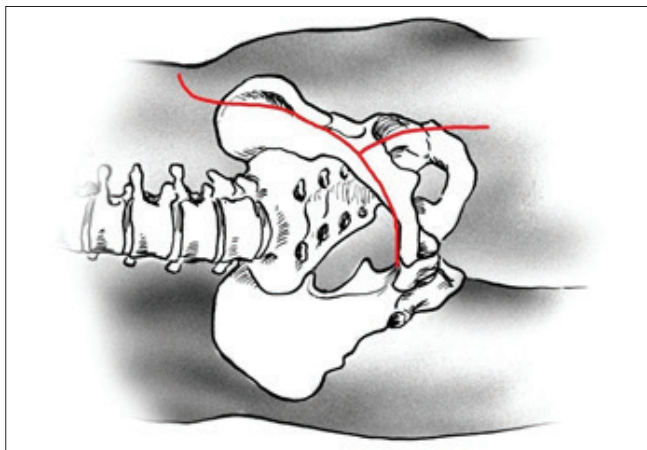
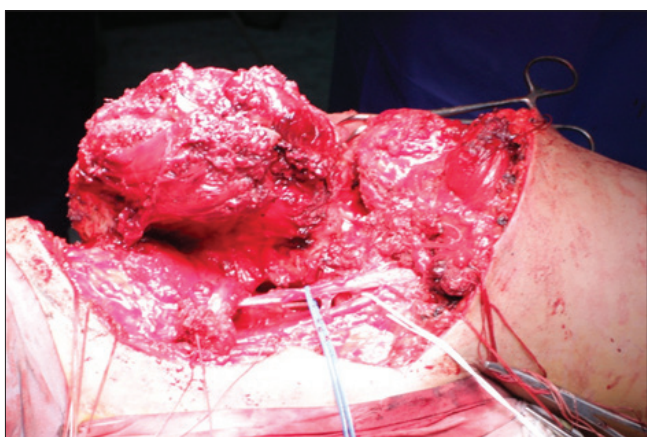


Рис. 5. Хирургический доступ

Рис. 6. Выделены *a. v. iliaca externa*, *n. femoris*, отсечены *m. sartorius*, *m. rectus femoris*, опухоль мобилизована, определены границы резекции

торый был фиксирован спонгиозными винтами в лонную, седалищную и подвздошную кости. Следующим этапом установлен цементируемый полиэтиленовый вкладыш в вертлужную впадину протеза. В бедренную кость установлена цементируемая ножка Muller, собран узел тазобедренного сустава (рис. 7). Контроль длины конечностей выполняется перед цементированием бедренного компонента и сборкой узла.

На завершающем этапе выполнена мышечная пластика дефекта портняжной и прямой мышцами бедра большой ягодичной мышцей и мышцей, натягивающей фасцию бедра. Пластика выполнена с учетом мышечной архитектоники.

Время операции составило 7 ч, кровопотеря 1100 мл.

Результаты

В послеоперационном периоде реабилитация была начата со 2-х суток после операции в объеме дыхательной гимнастики, статических упражнений на оперированную конечность, упражнений на пояс верхних и здоровую конечность. На 4-е сутки

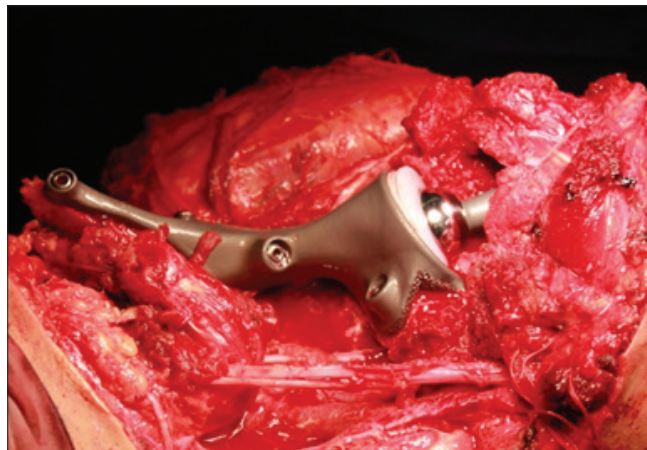


Рис. 7. Реконструкция периацетабулярной области костей таза индивидуальным имплантом и протезом тазобедренного сустава

комплекс реабилитации включал электротерапию ног, классический массаж. На пятые сутки после операции начата пассивная разработка тазобедренного сустава (угол пассивного сгибания около 30°). В дальнейшем угол пассивного сгибания коленного сустава составил 90°, тазобедренного — до 50°. Пациент вертикализирован на 8-е сутки после операции в тазобедренном ортезе с костылями без опоры на оперированную конечность. Через 3 мес после операции пациент самостоятельно передвигался с опорой на костыли, функциональный результат по системе MSTS составлял 57%. Через 6 мес пациент передвигался с опорой на один подлоктевой костыль, активное сгибание коленного сустава составило 110°, тазобедренного сустава — 90°.

После операции было выполнено КТ-исследование удаленного препарата для проведения компьютерного анализа границ резекции, выполненного посредством применения навигационной системы. Совмещение данных предоперационного планирования и результатов после операции показало степень совпадения и расхождения границ резекции с планом операции. Результаты анализа представлены на рис. 8. Применение индивидуальных шаблонов после выполненной резекции костей таза, пораженных саркомой, позволило сформировать точные опилов здоровой кости для фиксации протеза костей таза.

При плановом гистологическом исследовании удаленный препарат представлен костями таза с прилежащими мягкими тканями. Размеры препарата 16,5×14×9 см. На распиле в толще крыла подвздошной кости располагается опухолевый узел размерами 9×7×5 см плотной неоднородной структуры, белесовато-вишневого цвета, а также с фокусами белесоватого цвета. Корковый слой разрушен на участке протяженностью 2,5 см, где ткань имеет белесовато-желтый цвет, строма с мик-

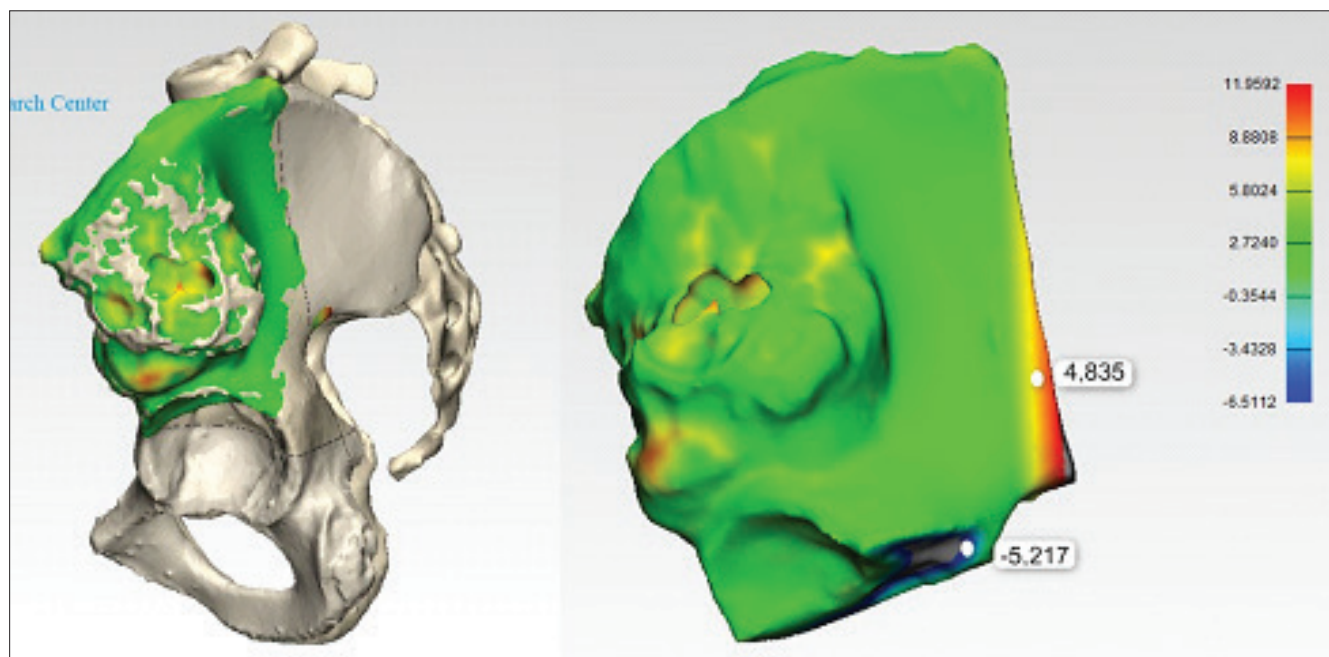


Рис. 8. Компьютерный анализ выполненной резекции и сопоставление с предоперационным планом

соматозом (рис. 9). Микроскопическое описание: фрагменты опухоли хрящевой дифференцировки с признаками тотального некроза. Признаков опухолевого роста не выявлено. Лечебный патоморфоз 4-й степени.

Учитывая данные гистологического заключения послеоперационного материала (4-я степень лечебного патоморфоза), пациенту было проведено 4 блока адъювантной полихимиотерапии, согласно протоколу ОС-2014 (рукав хорошего ответа), по схеме MM HDIf0-MAP, препаратами метотрексат, ифосфамид, доксорубицин и цисплатин. Блоки переносил удовлетворительно, отмечались гепатотоксичность 2-й степени, лейкопения 2-й степени, тромбоцитопения 1-й степени. Инфекционных осложнений не отмечено.

Лечение было завершено в апреле 2018 г. Период наблюдения пациента составил 23 мес без признаков локального рецидива и прогрессирования основного заболевания. Функциональная оценка по системе MSTS составляет 97%, что соответствует отличному результату (рис. 10). Клинических и рентгенологических признаков нестабильности на момент последнего визита в клинику в ноябре 2019 г. не выявлено (рис. 11).

Обсуждение

Первичные злокачественные опухоли периацетабулярной области являются редкой патологией и часто представляют трудности для выбора правильной тактики, обеспечивающей органосохраняющее лечение. Существовавшие ранее органосохраняющие операции часто ассоциировались с неудовлет-

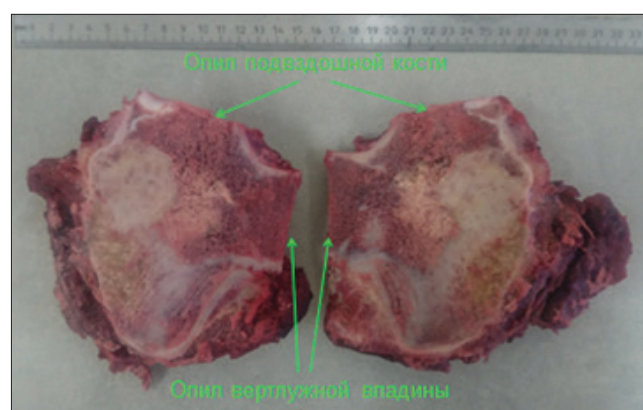


Рис. 9. Макроскопическая картина удаленного препарата, границы резекции R0

ворительными функциональными результатами и большим количеством осложнений. Внедрение компьютерного моделирования, анализа, 3D-визуализации и аддитивных технологий в клиническую медицину позволило открыть новые горизонты в органосохраняющем лечении больных с опухолями костей таза [16, 17]. В сравнении с традиционными методами производства протезов компьютерное моделирование и аддитивные технологии обладают рядом неоспоримых преимуществ, таких как быстрота согласования дизайна, анатомичность имплантов, четкая визуализация и прототипирование области операции, возможность применения индивидуальных шаблонов для резекций и формирования отверстий для фиксации, меньшие сроки и более низкая себестоимость производственного цикла. Компьютерный анализ импланта и костей таза методом конечных элементов [18, 19] позво-



Рис. 10. Функциональный результат через 1,5 года после операции

исследований, накопления клинических данных и оценки отдаленных результатов лечения.

Выводы

Титановые протезы, изготовленные методом 3D-печати, все чаще используются в онкоортопедии и ревизионной хирургии. Замещение дефектов костей таза с применением индивидуальных эндопротезов обеспечивает хороший функциональный результат без развития тяжелых осложнений. Разработка и создание импланта при помощи компьютерного моделирования, анализа и 3D-печати позволяют создавать анатомичные протезы с достаточным запасом прочности, эргономичным дизайном и надежными способами фиксации. Данное направление является перспективным в эндопротезировании при соблюдении правильных показаний для их использования, но требует проведения дополнительных исследований и более длительных периодов наблюдения.

Информация об источниках финансирования

Финансовой поддержки в настоящей статье не было.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

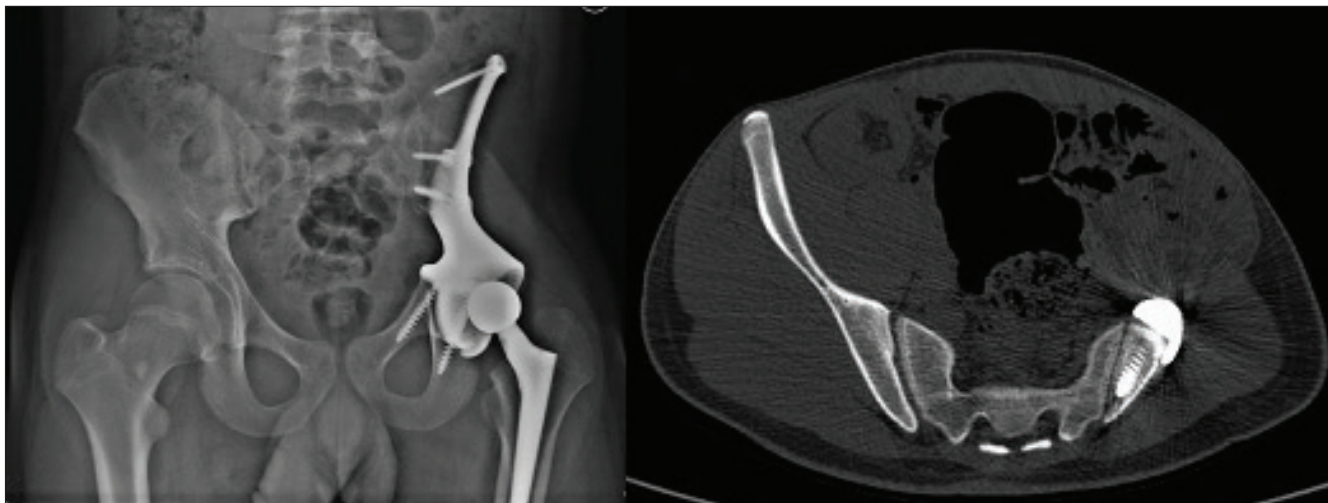


Рис. 11. Рентгенограмма и компьютерная томография без признаков нестабильности металлоконструкции и системы фиксации

ляет разработать более эргономичный дизайн и правильную фиксацию. Данная методика является перспективной для профилактики развития нестабильности и анализа системы «имплант-кость». Представленный в статье мультидисциплинарный подход при органосохраняющем лечении больных с опухолями костей таза позволяет выполнять радикальные операции и обеспечивать хороший функциональный результат [14–17]. Однако применение в онкоортопедии протезов, созданных посредством 3D-принтинга, требует проведения дополнительных

Участие авторов

- Идея, концепция, дизайн исследования — Сушенцов Е.А., Маслов Л.Б., Алиев М.Д.
- Сбор и обработка материала — Агаев Д.К., Софронов Д.И., Сушенцов Е.А., Романцова О.М.
- Хирургическое обеспечение исследования — Мусаев Э.Р., Сушенцов Е.А., Дзампаев А.З., Софронов Д.И., Агаев Д.К.
- Статистическая обработка данных и написание текста статьи — Сушенцов Е.А., Федорова А.В., Жмайло М.А.
- Редактирование — Алиев М.Д., Мусаев Э.Р., Маслов Л.Б.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ham SJ, Kroon HM, Koops HS, Hoekstra HJ. Osteosarcoma of the pelvis: oncological results of 40 patients registered by The Netherlands Committee on Bone Tumours. *Eur J Surg Oncol.* 2000;26:53-60.
2. Meyers PA, Gorlick R. Osteosarcoma. *Pediatr Clin North Am.* 1997;44:973-989.
3. Wurtz LD, Peabody TD, Simon MA. Delay in the diagnosis and treatment of primary bone sarcoma of the pelvis. *J Bone Joint Surg Am.* 1999;81:317-325.
4. Grimer RJ, Carter SR, Tillman RM, Spooner D, Mangham DC, Kabukcuoglu Y. Osteosarcoma of the pelvis. *J Bone Joint Surg Br.* 1999;81:796-802.
5. Bielack SS, Kempf-Bielack B, Delling G, Exner GU, Flege S, Helmke K et al. Prognostic factors in high-grade osteosarcoma of the extremities or trunk: An analysis of 1,702 patients treated on neoadjuvant cooperative osteosarcoma study group protocols. *J Clin Oncol.* 2002;20:776-790.
6. Bieling P, Rehan N, Winkler P, Helmke K, Maas R, Fuchs N et al. Tumor size and prognosis in aggressively treated osteosarcoma. *J Clin Oncol.* 1996;14:848-858.
7. Kawai A, Healey JH, Boland PJ, Lin PP, Huvos AG, Meyers PA. Prognostic factors for patients with sarcomas of the pelvic bones. *Cancer.* 1998;82:851-859.
8. Carter SR, Eastwood DM, Grimer RJ, Sneath RS. Hindquarter amputation for tumours of the musculoskeletal system. *J Bone Joint Surg Br.* 1990;72:490-493.
9. Bielack SS, Wulff B, Delling G, Göbel U, Kotz R, Ritter J et al. Osteosarcoma of the trunk treated by multimodal therapy: Experience of the Cooperative Osteosarcoma study group (COSS). *Med Pediatr Oncol.* 1995;24:6-12.
10. Kawai A, Huvos AG, Meyers PA, Healey JH. Osteosarcoma of the pelvis. Oncologic results of 40 patients. *Clin Orthop Relat Res.* 1998;348:196-207.
11. Ayvaz M, Bekmez S, Mermerkaya MU, Caglar O, Acaroglu E, Tokgozoglu AM. Long-term results of reconstruction with pelvic allografts after wide resection of pelvic sarcomas. *Scientific World Journal* 2014;605019.
12. Ozaki T, Hillmann A, Bettin D, Wuisman P, Winkelmann W. High complication rates with pelvic allografts. Experience of 22 sarcoma resections. *Acta Orthop Scand.* 1996;67:333-338.
13. O'Connor MI, Sim FH. Salvage of the limb in the treatment of malignant pelvic tumors. *J Bone Joint Surg Am.* 1989;71:481-494.
14. Liang H, Ji T, Zhang Y, Wang Y, Guo W. Reconstruction with 3D-printed pelvic endoprostheses after resection of a pelvic tumour. *Bone Joint J.* 2017;99-B:267-275.
15. Chen X, Xu L, Wang Y, Hao Y, Wang L. Image-guided installation of 3D-printed patient-specific implant and its application in pelvic tumor resection and reconstruction surgery. *Comput Methods Prog Biomed.* 2016;125:66-78.
16. Wong KC, Kumta SM, Geel NV, Demol J. One-step reconstruction with a 3D-printed, biomechanically evaluated custom implant after complex pelvic tumor resection. *Comput Aided Surg.* 2015;20:14-23.
17. 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.
18. Maslov L.B. Mathematical model of bone regeneration in a porous implant. *Mechanics of Composite Materials.* 2017;53(3):399-414.
19. Маслова ИЛ, Суркова ПВ, Маслов ЛБ, Жмайло МА, Сушенцов ЕА. Конечно-элементное моделирование ацетабулярного компонента персонализированного эндопротеза тазобедренного сустава. XII Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики: сборник трудов в 4 томах. Т. 4: Материалы симпозиумов. Уфа: РИЦ БашГУ. 2019;4:178-180.
20. Shah FA, Snis A, Matic A, Thomsen P, Palmquist A. 3D printed Ti6Al4V implant surface promotes bone maturation and retains a higher density of less aged osteocytes at the bone-implant interface. *Acta Biomater.* 2016;30:357-367.
21. Sing SL, An J, Yeong WY, Wiria FE. Laser and electron beam powder-bed additive manufacturing of metallic implants: a review on processes, materials and designs. *J Orthop Res.* 2016;34:369-385.
22. Xiu P, Jia Z, Lv J, Yin C, Cheng Y, Zhang K, Song C, Leng H, Zheng Y, Cai H, Liu Z. Tailored surface treatment of 3D printed porous Ti₆Al₄V by microarc oxidation for enhanced osseointegration via optimized bone in-growth patterns and interlocked bone/implant Interface. *ACS Appl Mater Interfaces.* 2016;8:17964-17975.

Статья поступила 11.12.2019 г., принята к печати 15.12.2019 г.
Рекомендована к публикации В.В. Тепляковым

Информационная страница

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.

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

Маслов Леонид Борисович, доктор физико-математических наук, зав. кафедрой теоретической и прикладной механики ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина», г. Иваново.

Жмайло Михаил Александрович, ведущий инженер, центр НТИ «Новые производственные технологии» ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», г. Санкт-Петербург.

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

Агаев Дергах Камаледдинович, аспирант отделения опухолей опорно-двигательного аппарата ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России, г. Москва.

Дзампаев Аслан Зелимханович, кандидат медицинских наук, зав. отделением опухолей опорно-двигательного аппарата НИИ детской онкологии и гематологии ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России, г. Москва.

Романцова Ольга Михайловна, кандидат медицинских наук, врач-онколог отделения опухолей опорно-двигательного аппарата НИИ детской онкологии и гема-

тологии ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России, г. Москва.

Федорова Александра Владимировна, кандидат медицинских наук, научный сотрудник рентгенодиагностического отделения ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России, г. Москва.

Алиев Мамед Джавадович, доктор медицинских наук, академик РАН, советник директора ФГБУ «НМИЦ радиологии» 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.

COMPUTER SIMULATION, 3D-PRINTING AND CUSTOM-MADE PROSTHETICS IN TREATMENT OF A PATIENT WITH OSTEOSARCOMA OF THE PELVIS

Sushentsov E.A.¹, Musaev E.R.¹, Maslov L.B.^{2,3}, Zhmaylo M.A.³, Sofronov D.I.¹, Agaev D.K.¹, Dzampaev A.Z.¹, Romantsova O.M.¹, Fedorova A.V.¹, Aliev M.D.⁴

¹FSBI «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

²State Educational Institution of Higher Professional Education Ivanovo State Power University named after V.I. Lenin; 34, Rabfakovskaya st., Ivanovo, 153003, Russian Federation

³Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU); 29, Polytechnicheskaya st., 195251, St.Petersburg, Russian Federation

⁴FSBI National Medical Research Radiological Center of the Ministry of Health of the Russian Federation; 3, 2nd Botkinsky drive, Moscow, 125284, Russian Federation

Key words: sarcoma, pelvic bone, prosthetic reconstruction, 3D-printing, additive technology, prototyping, computer simulation, finite element analysis

The article presents a clinical case of treating a patient with iliac osteosarcoma who underwent pelvic resection with the replacement of the defect with an individual implant. Data of computed tomography (CT), a digital three-dimensional model of the pelvis reconstructed and a physical model made using 3D-printing. The optimal volume of bone resection was determined taking into account oncological principles. An implant design developed taking into account the anatomical features of the patient using computer simulation. A computer model of the pelvic bones with a defect replaced by an individual implant analyzed by the finite element method to determine the stress zones in the skeleton-implant system. The surgery was performed according to a previously plan, after the removal of the tumor, an individual pelvic prosthesis and hip prosthesis were successfully implanted. The patient followed up for 2 years, without the progression of the disease and the development of orthopedic complications with a good functional result. The use of computer design and 3D-printing of the pelvic prosthesis according to an individual project may be the optimal method of choice for the treatment of patients with tumors of the pelvic bones with a good clinical and functional result.