

УДК 616-089-06

КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И 3D-ПРИНТИНГ В ЛЕЧЕНИИ БОЛЬНЫХ С ОПУХОЛЯМИ КОСТЕЙ ТАЗА

Сушенцов Е.А., Мусаев Э.Р., Софронов Д.И., Неред А.С., Алиев М.Д.

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

Ключевые слова: опухоли костей таза, саркома, эндопротез таза, 3D-принтинг, *in silico*, цифровая медицина

В статье изложены основные аспекты применения компьютерных технологий и 3D-принтинга в лечении больных с опухолями костей таза. Приведен обзор литературы, рассмотрены виды прототипирования хирургических вмешательств, этапы внедрения технологии. В статье приводится обоснование актуальности разработки современной стратегии лечения больных с опухолями костей таза с применением компьютерных технологий и 3D-принтинга для улучшения результатов лечения и реабилитации в рамках развития цифровой медицины.

Несмотря на успехи современной онкологии и хирургии, лечение и диагностика опухолей костей таза остаются сложными проблемами клинической онкологии, особенно при рассмотрении в плоскости орган- и функцию сохраняющего лечения. Встречаемость сарком костей в России составляет 1,03 случая на 100 тыс. населения, при этом ежегодно регистрируется около 1,5 тыс. новых случаев [1]. Около 10–15% всех первичных злокачественных опухолей костей локализируются в костях таза, наиболее часто это хондросаркома, остеосаркома и саркома Юинга [2], что ежегодно соответствует 150–200 новым случаям первичных злокачественных опухолей костей таза без учета пациентов с доброкачественными и метастатическими поражениями. При этом у больных с саркомами костей таза прогноз хуже, чем у пациентов с локализацией опухолей в длинных костях, что связано с несвоевременной диагностикой, поздней обращаемостью за специализированной помощью, анатомо-топографической связью костей таза с прилежащими органами, сосудисто-нервными пучками и тканями и как следствие сложностью выполнения радикальных операций [9, 10]. Необходимо отметить, что наиболее часто данной патологией страдают люди молодого и трудоспособного возраста. Ранее основным методом лечения при злокачественных опухолях костей таза являлись калечащие операции в объеме межподвздошно-брюшного вычленения,

приводящие к глубокой инвалидизации пациентов и социальной изоляции, что потребовало поиска новых путей решения проблемы [12].

С внедрением новых протоколов химиотерапии, применением современных хирургических техник, развитием анестезиологии и реанимации стало возможным проведение органосохраняющего лечения пациентам с опухолями костей таза и позволило добиться высоких показателей выживаемости [3]. На фоне этих достижений логичным продолжением стал вопрос о реконструкции оперированных сегментов костей таза. В литературе описано большое количество эндопротезов костей таза, различных по дизайну и идеологии, например, индивидуальные, седловидные и модульные протезы костей таза [4–8]. В то же время остается актуальным вопрос поиска адекватных способов реконструкции дефектов после резекции костей таза. Существующие методы не обеспечивают хорошего функционального результата, при этом процент осложнений по-прежнему остается высоким: раневые осложнения составляют 15–45%; инфекционные – 12–38%; асептическая нестабильность – 23–35% [3].

Важнейшую роль в успешном проведении операций на костях таза играет предоперационное планирование вмешательства. Применение компьютерной томографии (КТ), магнитно-резонансной томографии (МРТ), трехмерного моделирования, а также компьютерной навигации позволяет корректно планировать границы резекции, повысить радикальность и выполнить реконструктивный этап операции, тем самым снизив количество неудачных исходов лечения больных [15]. Работы в области внедрения компьютерных технологий в онкоортопедию

Адрес для корреспонденции

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

заложили фундамент для создания индивидуальных имплантов, в том числе и с помощью 3D-принтинга.

Сегодня в клинической практике не существует универсальной модели эндопротеза таза или его сегментов, 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 онкологии. Развитие компьютерных и 3D-технологий в медицине и технике обеспечило прорыв в создании индивидуальных систем протезирования, в том числе на основе 3D-печати сплавов титана, что привело к расширению показаний для выполнения органосохраняющих и функциональных операций больным с опухолевым поражением костей таза [11, 13].

Современные компьютерные программы позволяют на основании антропометрических данных обследования пациента смоделировать 3D-модель опухолевого поражения, спланировать на компьютере уровни резекции костей с учетом принципов радикальности, а также смоделировать эндопротез для реконструкции образовавшегося костного дефекта. Важным этапом при планировании хирургических вмешательств при опухолях костей таза является правильное выполнение протокола исследования пациента [14]. От этого зависят качество визуализации и точность выполнения планирования операции, производство прототипа и оригинала импланта. При опухолях костей таза и сложных анатомических локализациях 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 максимальное допустимое перекрытие срезов (до 50%).

Запись файлов на диск производится с соблюдением следующих параметров:

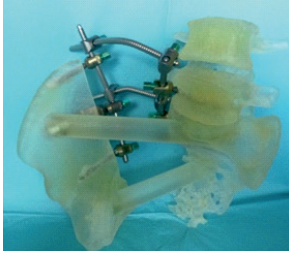
- записывать в формате DICOM в аксиальной проекции;
- не мультипланарные реконструкции;
- костный режим окна;
- минимальная толщина срезов;
- минимальное расстояние между срезами, необработанные RAW-файлы.

Следующим этапом является создание прототипа модели области операции и эндопротеза посредством 3D-печати для оценки биомеханических параметров реконструируемой зоны. Сравнительные характеристики 3D-технологий прототипирования хирургических вмешательств, положительные и отрицательные стороны приведены в сводной таблице.

После утверждения индивидуального дизайна эндопротеза врачами-клиницистами и инженерами-биомеханиками выполняется изготовление эндопротеза из сплавов титана при помощи аддитивных технологий.

После утверждения индивидуального дизайна импланта на основании данных компьютерного моделирования и прототипирования операции выполняется непосредственно изготовление методом 3D-принтинга. Каждый имплант, созданный по антропометрическим данным с применением аддитивных технологий, должен сопровождаться техническим заданием, технической документацией и паспортом изделия, последний должен содержать следующую информацию:

Таблица. Сравнительные характеристики 3D-технологий прототипирования хирургических вмешательств

		
SLA-технология (лазер) + высокая точность + прочность моделей – длительность изготовления – высокая стоимость – ограничение по размерам	3DP-технология (порошок) + скорость + низкая стоимость + полноцветные модели + большие размеры моделей – хрупкость – низкая точность – требует постпроцессинга	FDM-технология + скорость + низкая стоимость + доступность + большие размеры моделей – относительная хрупкость – низкая точность

1. Наименование импланта/изделия.
2. Лечебное учреждение, которое заказало имплант.
3. ФИО пациента.
4. ФИО хирурга.
5. ФИО биоинженера-конструктора.
6. ФИО техника или ответственного за производство.
7. Фирма-изготовитель импланта.
8. Дата изготовления импланта.
9. Индивидуальный номер импланта.
10. Информация о контроле качества на наличие скрытых дефектов.
11. Информация о токсикологии и безопасности.

Необходимо отметить, что такие технологии цифровой медицины, как технология 3D-моделирования и принтига, при создании индивидуальных имплантов являются перспективными для протезирования сложных анатомических зон и должны включать в себя три этапа внедрения: компьютерное моделирование, прототипирование и непосредственно само хирургическое вмешательство (см. рисунок). Данный подход позволит минимизировать осложнения, достичь удовлетворительных результатов лечения и накопить экспериментальный и клинический опыт.

зов из пластических материалов, близких по своим свойствам к натуральной кости и позволяющих применять стволовые клетки на своей поверхности для достижения лучших результатов.

По предварительным оценкам, разрабатываемые отечественные системы протезирования костей таза могут позволить добиться прямой экономической эффективности, так как их себестоимость может быть 2–3 раза ниже зарубежных аналогов. Активное внедрение компьютерных и аддитивных технологий в клиническую медицину позволит значительно повысить число органосохраняющих операций, улучшить функциональные результаты, добиться более полной социальной адаптации больных [16].

Вышеизложенные данные свидетельствуют об актуальности разработки современной стратегии лечения больных с опухолями костей таза с применением компьютерных технологий и 3D-принтинга для улучшения результатов лечения и реабилитации в рамках развития цифровой медицины.

Информация об источниках финансирования

Исследование проведено при поддержке гранта Минздрава России № 1122.



Рисунок. Этапы внедрения индивидуальных имплантов в клиническую практику

Результаты лечения больных с опухолями костей таза зависят не только от опыта хирурга, но и от оснащения клиники современным диагностическим оборудованием, уровня анестезиологической, реанимационной и трансфузионной поддержки, возможности выполнения нейрохирургического, абдоминального и пластического этапов операции, а также доступности ортопедической и социальной реабилитации [1], что отвечает требованиям клинической онкологии в XXI веке.

Наиболее перспективными направлениями для применения аддитивных технологий в медицине могут являться: онкоортопедия, детская и взрослая ортопедия, травматология, челюстно-лицевая хирургия, нейрохирургия, ветеринария. Дальнейшее направление развития аддитивных технологий в медицине представляется в создании эндопротез-

ЛИТЕРАТУРА

1. Алиев МД, Сушенцов ЕА. Современная онкоортопедия. Саркомы костей, мягких тканей и опухоли кожи. 2012;(4):3-10.
2. Price CH, Jaffe GM. Incidence of bone sarcoma in SW England, 1946-74, in relation to age, sex, tumor site and histology. Br J Cancer. 1977;36:511-522.
3. Abudu A, Grimer RJ, Cannon SR, Carter SR, Sneath RS. Reconstruction of the hemipelvis after the excision of malignant tumours. J Bone Joint Surg. 1997;79-B:5:773-779.
4. Menendez LR, Ahlmann ER, Falkinstein Y, Allison DC. Periacetabular reconstruction with a new endoprosthesis. Clin Orthop Relat Res. 2009;467(11):2831.
5. Jeys LM, Kulkarni A, Grimer RJ, Carter SR, Tillman RM, Abudu A. Endoprosthetic reconstruction for the treatment of musculoskeletal tumors of the appendicular skeleton and pelvis. J Bone Joint Surg Am. 2008;90(6):1265.
6. Falkinstein Y, Ahlmann ER, Menendez LR. Reconstruction of type II pelvic resection with a new peri-acetabular reconstruction endoprosthesis. J Bone Joint Surg Br. 2008;90(3):371.

7. Wong KC, Kumta SM, Chiu KH et al. Computer assisted pelvic tumor resection and reconstruction with a custom-made prosthesis using an innovative adaptation and its validation. *Comput Aided Surg.* 2007;12(4):225.
8. Kitagawa Y, Ek ET, Choong PF. Pelvic reconstruction using saddle prosthesis following limb salvage operation for periacetabular tumour. *J Orthop Surg (Hong Kong).* 2006;14(2):155.
9. Алиев МД, Мусаев ЭР, Сушенцов ЕА. Хирургическое лечение метастазов рака почки в кости таза. *Онкоурология.* 2006;(2):21-25.
10. Алиев МД, Поддубная ИВ, Мусаев ЭР, Щипахин СА, Молчанов ГВ, Евсеев АВ. К вопросу о реконструкции тазового кольца при опухолях крестцово-подвздошного сочленения. *Вестник последипломного медицинского образования.* 2008;(2):41-48.
11. Kim D, Lim JY, Shim KW, Han JW, Yi S, Yoon DH, Kim KN, Ha Y, Ji GY, Shin DA. Sacral Reconstruction with a 3D-Printed Implant after Hemisacrectomy in a Patient with Sacral Osteosarcoma: 1-Year Follow-Up Result. *Yonsei Med J.* 2017;58(2):453-457.
12. Степанова АМ, Мерзлякова АМ, Ткаченко ГА, Кашия ШР. Физиотерапия, механотерапия и психотерапия в онкологии. *Вестник восстановительной медицины.* 2016;(5):42-46.
13. Диков ЮЮ, Соболевский В, Кропотов М, Ивашков ВЮ. Трехмерное моделирование с использованием 3D-печати при реконструктивных операциях на нижней челюсти. *Саркомы костей, мягких тканей и опухоли кожи.* 2015;(1):50-54.
14. 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(1):14-23.
15. Мусаев ЭР, Щипахин СА, Сушенцов ЕА и соавт. Первый опыт применения навигационной системы в хирургическом лечении опухолей костей таза. *Саркомы костей, мягких тканей и опухоли кожи.* 2011;(3):10-15.
16. Софронов ДИ, Мусаев ЭР, Сушенцов ЕА, Щипахин СА, Неред АС, Алиев МД. Новый метод реконструкции и 3D-технологии в лечении больных с опухолями крестцово-подвздошного сочленения. *Саркомы костей, мягких тканей и опухоли кожи.* 2016;(2):3-10.

Статья поступила 01.03.2018 г., принята к печати 25.03.2018 г.
Рекомендована к публикации В.В. Тепляковым

Информационная страница

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

Мусаев Эльмар Расимович, ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России, доктор медицинских наук, профессор, зав. отделением вертебральной хирургии.

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

Неред Анастасия Сергеевна, ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России, кандидат медицинских наук, научный сотрудник рентгенодиагностического отделения.

Алиев Мамед Джавадович, ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России, доктор медицинских наук, профессор, академик РАН, зав. отделом общей онкологии.

COMPUTER TECHNOLOGIES AND 3D-PRINTING IN THE TREATMENT OF PATIENTS WITH PELVIC BONE TUMORS

Sushentsov E., Musaev E., Sofronov D., Nered A., Aliev M.

FGBU «National Medical Research Center of Oncology named after N.N. Blokhin» of the Ministry of Health of Russia, Moscow; 24, Kashirskoe Shosse, Moscow, 115478, Russia

Key words: pelvis tumors, sarcoma, pelvic prosthesis, 3D-printing, *in silico*, digital medicine

The article describes the main aspects of the application of computer technologies and 3D-printing in the treatment of patients with tumors of pelvic bones. The presented review of the literature, the types of prototyping of surgical procedure and stages of the introduction of technologies are considered.