

Лапароскопическая резекция локализованных образований паренхимы подковообразной почки с использованием 3D-печати: клиническое наблюдение

Е.С. Сирота, Ю.Г. Аляев, Л.М. Рапопорт, Д.Г. Цариченко, И.Г. Каситериди, О.В. Арутюнян

Институт урологии и репродуктивного здоровья человека ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет); Россия, 119435 Москва, ул. Большая Пироговская, 2, стр. 1

Контакты: Евгений Сергеевич Сирота essirota@mail.ru

Использование трехмерных (3D) компьютерных технологий (3D-моделирование, 3D-печать) в хирургическом лечении пациентов с заболеваниями аномалийных почек способствует лучшему пониманию анатомии на этапе предоперационного планирования и улучшает интраоперационную навигацию. Мы приводим клиническое наблюдение с использованием 3D-печати при выполнении органосохраняющей операции из лапароскопического доступа у пациента с локализованными образованиями паренхимы аномалийной подковообразной почки.

Ключевые слова: рак почки, 3D-печать, резекция почки, лапароскопия, подковообразная почка

Для цитирования: Сирота Е.С., Аляев Ю.Г., Рапопорт Л.М. и др. Лапароскопическая резекция локализованных образований паренхимы подковообразной почки с использованием 3D-печати: клиническое наблюдение. Онкоурология 2022;18(3):116–22. DOI: 10.17650/1726-9776-2022-18-3-116-122

Laparoscopic resection of localized tumors of horseshoe kidney parenchyma using 3D printing: clinical observation

E.S. Sirota, Yu.G. Alyaev, L.M. Rapoport, D.G. Tsarichenko, I.G. Kasiteridi, O.V. Arutyunyan

Institute of Urology and Reproductive Health, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Ministry of Health of Russia (Sechenov University); Build. 1, 2 Bol'shaya Pirogovskaya St., Moscow 119435, Russia

Contacts: Evgeniy Sergeevich Sirota essirota@mail.ru

The use of 3D-computer technologies (3D-modeling, 3D-printing) in the surgical treatment of patients with kidney abnormalities contributes to a better understanding of anatomy at the preoperative planning stage and improves intraoperative navigation. We present a clinical observation using 3D-printing during performing organ-preserving laparoscopic surgery in a patient with localized formations of the horseshoe kidney parenchyma.

Keywords: kidney cancer, 3D-printing, partial nephrectomy, laparoscopy, horseshoe kidney

For citation: Sirota E.S., Alyaev Yu.G., Rapoport L.M. et al. Laparoscopic resection of localized tumors of horseshoe kidney parenchyma using 3D printing: clinical observation. Onkourologiya = Cancer Urology 2022;18(3):116–22. (In Russ.). DOI: 10.17650/1726-9776-2022-18-3-116-122

Введение

Одной из частых врожденных аномалий почки по расположению и форме является подковообразная почка. Согласно мировым данным, аномалия в виде подковообразной почки встречается с частотой

0,8–0,25 % и превалирует среди мужчин в соотношении 2:1 [1]. Из-за особенностей анатомического строения пациенты с подковообразной почкой предрасположены к формированию конкрементов и развитию инфекций мочевых путей, в связи с чем мочекаменная

болезнь регистрируется в 16–60 % случаев [2, 3]. Несмотря на это, фиксируется одинаковая частота развития опухолей почки у пациентов с подковообразной почкой и без аномалий почки [4].

Ведущей тактикой лечения пациентов с локализованными образованиями паренхимы почки является хирургическая с приоритетным объемом проведения органосохраняющих операций. Каждый случай заболевания при аномалиях почек по-своему уникален, поэтому при планировании органосохраняющих операций возникает необходимость персонализированного изучения сосудистой анатомии почки, особенно в случае подковообразной почки.

На сегодняшний день трехмерная (3D) обработка DICOM-данных, полученных при выполнении современных методов лучевой диагностики, является основой не только для анализа при планировании оперативного пособия, но и для этапа его виртуального, а также фактического выполнения [5]. Последним достижением 3D-компьютерных технологий в урологии стало применение 3D-печати.

Представляем описание использования 3D-печати в лечении пациента с множественными образованиями паренхимы подковообразной почки.

Клиническое наблюдение

Пациент Б., 61 года, поступил в клинику урологии с жалобами на тупые, тянущие боли в правой поясничной области. Индекс массы тела 28,3 кг/м².

Пациенту была выполнена мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ) с контрастированием, по данным которой верифицирована аномалия развития почек в виде подковообразной почки. В правой половине

подковообразной почки выявлены 3 кистозно-солидных образования различного размера. По задней поверхности верхнего сегмента расположено наибольшее образование размером 40 × 25 × 31 мм с градиентом накопления в артериальную фазу до 80 единиц Хаунсфилда (HU), опухоль на 2/3 расположена в паренхиме почки и достигает чашечки верхнего сегмента. Вторая опухоль размером 17 мм расположена по передней поверхности верхнего сегмента. Третье, наименьшее образование размером 13 мм находилось интрапаренхиматозно в верхнем сегменте (рис. 1).

Опухоли были ограничены почкой, без каких-либо признаков распространения в синус почки и паранефральную клетчатку, увеличения регионарных лимфатических узлов не установлено. Уровень креатинина сыворотки крови составил 0,8 мкмоль/л, расчетная скорость клубочковой фильтрации – 91 мл/мин.

Предоперационное планирование. На основании DICOM-данных МСКТ пациента в целях предоперационного планирования и виртуального осуществления операции было выполнено 3D-моделирование с помощью программы Amira 5.4 (Amira компании VSG версии 5.4.5 (лицензия ASTND.44644)) для персонального компьютера (лицензионное соглашение № 257813956) (рис. 2).

В дальнейшем была выполнена печать мягкой 3D-модели почки по методике 3D-печати – FDM (Fused Deposition Modeling) с помощью бесплатного программного обеспечения Cura с открытым исходным кодом (рис. 3).

Мягкая 3D-модель почки пациента использовалась как для предоперационного планирования и беседы с пациентом, так и для предоперационного тренинга в виде генеральной «репетиции» основной операции в лапароскопическом боксе. Кроме того, мягкая печатная 3D-модель

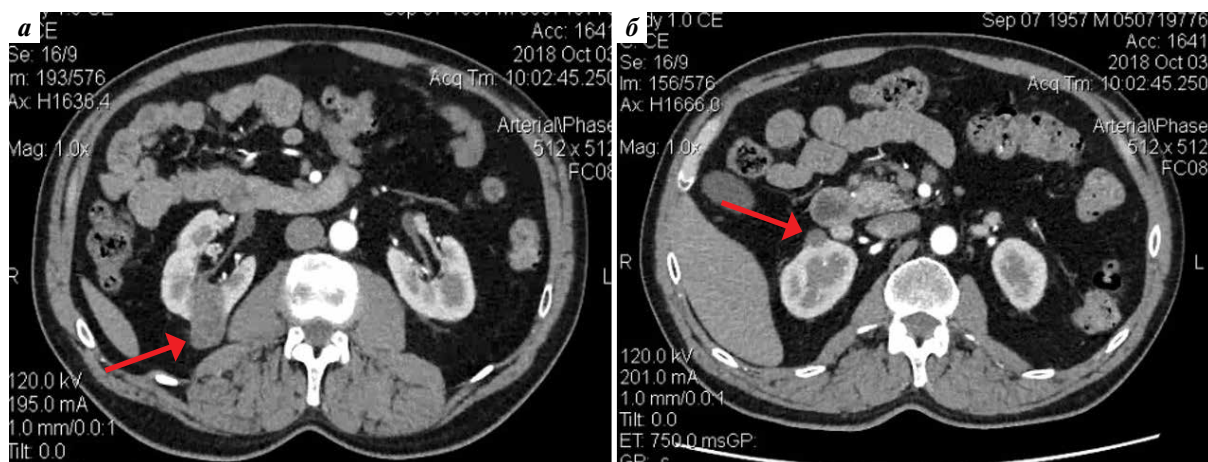


Рис. 1. Мультиспиральная компьютерная томография с контрастированием, паренхиматозная фаза исследования, сагиттальные срезы: а – опухоль верхнего сегмента (40 × 25 × 31 мм) задней поверхности правой половины подковообразной почки (стрелка); б – опухоль верхнего сегмента (17 мм) передней поверхности правой половины подковообразной почки (стрелка)

Fig. 1. Spiral contrast-enhanced computed tomography, parenchyma mode, sagittal sections: а – tumor of the superior segment (40 × 25 × 31 mm) of the posterior surface of the right half of horseshoe kidney (arrow); б – tumor of the superior segment (17 mm) of the anterior surface of the right half of horseshoe kidney (arrow)

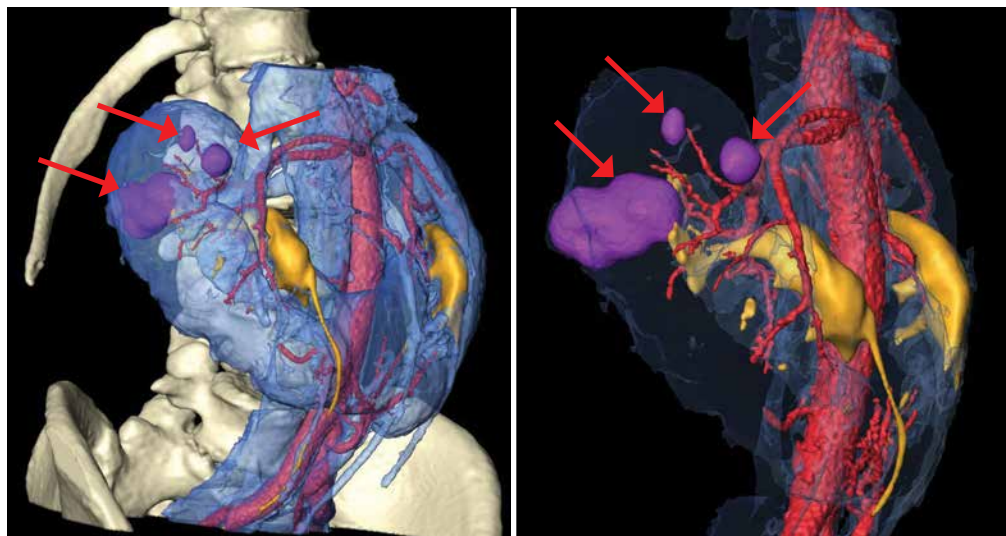


Рис. 2. 3D-планирование операции, вид сбоку. Стрелками показаны 3 опухоли верхнего сегмента правой половины подковообразной почки. Справа — режим прозрачности

Fig. 2. 3D planning of the surgery, side view. Arrows show 3 tumors of the superior segment of the right half of horseshoe kidney. On the right — transparency mode

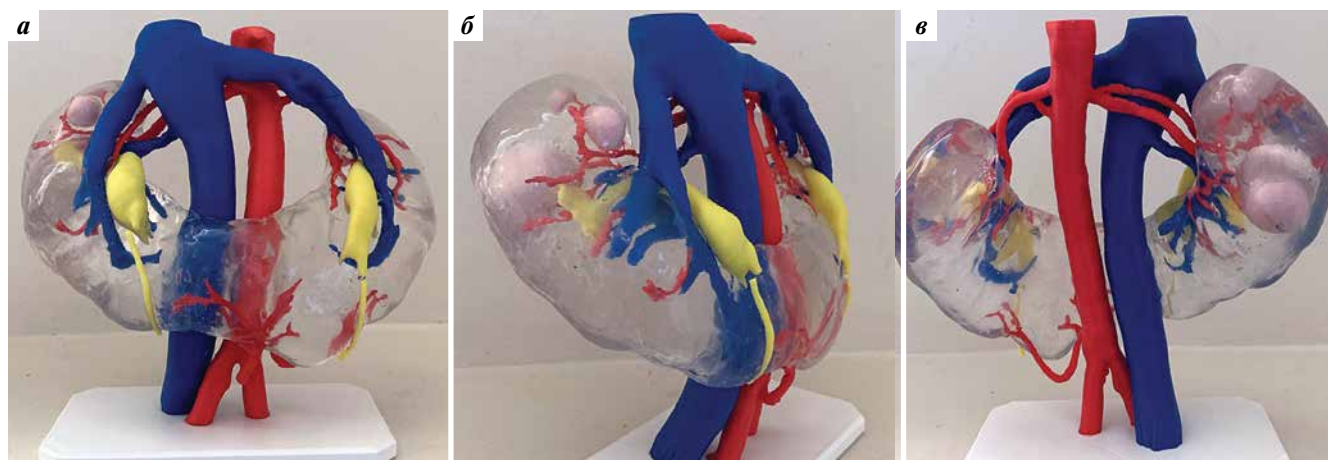


Рис. 3. Мягкая печатная 3D-модель подковообразной почки сбоку: а — вид спереди; б — вид сбоку; в — вид сзади

Fig. 3. Soft printed 3D model of the horseshoe kidney side: а — front view; б — side view; в — back view

применялась для навигации во время органосохраняющей операции.

Оперативное вмешательство. Пациенту была выполнена лапароскопическая органосохраняющая операция. Трансбрюшинный доступ был выбран с учетом локализации образований по передней и задней поверхности почки. В целях навигации во время мобилизации сосудов правой половины подковообразной почки использовались данные виртуального планирования и мягкая печатная 3D-модель почки (рис. 4).

Для определения локализации интрапаренхиматозного образования применяли интраоперационную ультразвуковую диагностику (рис. 5).

По данным последней, образование было расценено как простая киста. С учетом размера образования 13 мм было принято решение отказаться от удаления интрапаренхиматозной кисты. Резекция образований паренхимы почки выполнена «холодными» ножницами в условиях тепловой ишемии в объеме перекрытия сегментарного кровотока. При резекции образования по задней поверхности почки вскрыта чашечка полостной системы почки. Раны паренхимы почки ушиты двухрядным швом с помощью рассасывающейся нити V-Loc с дополнительной фиксацией нити клипсами Absoloc. Опухоли удалены из брюшной полости с помощью Endobag. Операция была завершена установкой силиконового дренажа в месте оперативного вмешательства.



Рис. 4. Интраоперационная навигация с использованием мягкой печатной 3D-модели и данных виртуального 3D-планирования операции. Стрелкой указана почечная артерия правой половины подковообразной почки

Fig. 4. Intraoperative navigation using the soft printed 3D model and virtual 3D planning data. Arrow shows the renal artery of the right half of horseshoe kidney

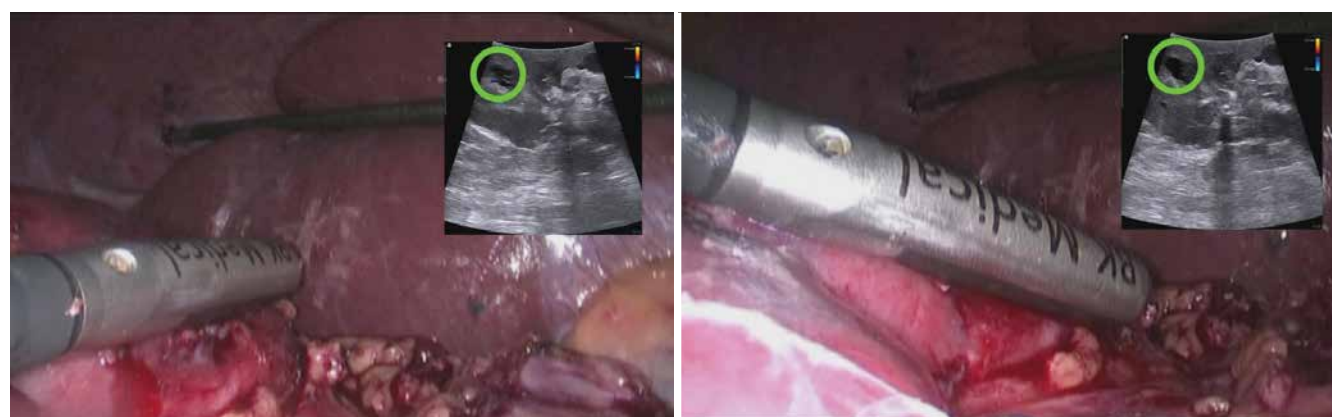


Рис. 5. Интраоперационная навигация с использованием ультразвукового исследования. Кругом выделено интратенальное образование (киста) паренхимы правой половины подковообразной почки

Fig. 5. Intraoperative navigation using ultrasound examination. Circle shows intrarenal neoplasm (cyst) of the parenchyma of the right half of horseshoe kidney



Рис. 6. Макропрепарат удаленной опухоли правой половины подковообразной почки

Fig. 6. Gross specimen of the removed tumor of the right half of horseshoe kidney

Время тепловой ишемии составило 17 мин. Объем кровопотери — 100 мл, продолжительность операции — 150 мин.

Дренаж был удален из брюшной полости на 2-е сутки. Больной выписан из стационара в удовлетворительном состоянии на 5-е сутки.

По данным гистологического исследования образование по передней поверхности почки — простая киста почки. Опухоль по задней поверхности почки — светлоклеточный вариант умеренно дифференцированного почечно-клеточного рака с врастанием фиброзной капсулы без ее прорастания, отрицательный хирургический край (рис. 6, 7).

Через 6 мес пациенту была выполнена контрольная МСКТ органов брюшной полости с контрастированием. Данных о наличии рецидива и отдаленного метастазирования не получено. Функционально скорость клубочковой фильтрации через 6 мес 89 мл/мин.

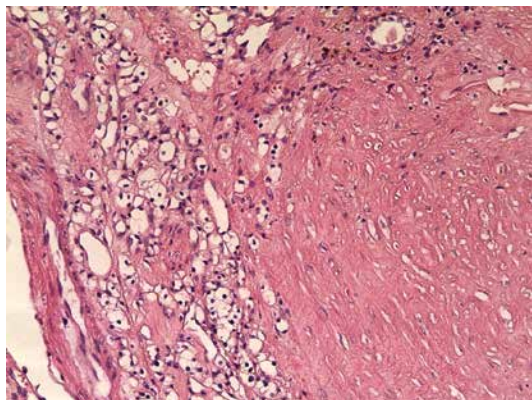


Рис. 7. Микрпрепарат: опухоль правой половины подковообразной почки имеет строение умеренно дифференцированного (G_2) светлоклеточного почечно-клеточного рака

Fig. 7. Microsection: tumor of the right half of horseshoe kidney has structure of moderately differentiated (G_2) clear cell renal cell carcinoma

Обсуждение

Вопрос персонифицированного предоперационного планирования и интраоперационной навигации при выполнении хирургических вмешательств остается приоритетным направлением в лечении пациентов с аномалиями развития органов. В настоящее время для планирования и навигации в хирургическом лечении заболеваний аномалийных почек применяются различные методы интраоперационной визуализации, 3D-планирование оперативного вмешательства, 3D-печать, дополненная виртуальная реальность.

Первое исследование о применении печатных 3D-моделей почки при планировании органосохраняющих операций у пациентов с образованиями паренхимы почки проведено J.L. Silberstein и соавт. Авторы сообщили о 5 наблюдениях с использованием печатных 3D-моделей почки у пациентов с образованиями паренхимы почки: 4 больным была выполнена робот-ассистированная резекция почки, 1 пациенту операция проведена из открытого доступа. При анализе использования напечатанных 3D-моделей почки авторы отметили улучшенное понимание хирургом нормальной и патологической анатомии почки перед предстоящей операцией, что повышает эффективность проводимых оперативных вмешательств [6].

В литературе отсутствуют клинические исследования применения 3D-печати в хирургическом лечении больных с образованиями паренхимы подковообразной почки. Нами обнаружено одно клиническое наблюдение использования печатной 3D-модели подковообразной почки при выполнении лапароскопической органосохраняющей операции. С. Mercader и соавт. применили печатную твердую разборную 3D-модель подковообразной почки на этапе предоперационного планирования и навигации у пациента с рецидивом рака левой половины подковообразной почки при

выполнении левосторонней геминефрэктомии. По мнению авторов, использование персонифицированной печатной 3D-модели позволяет предотвратить развитие интраоперационных осложнений, что в конечном итоге повышает эффективность хирургического лечения пациентов [7].

Наше клиническое наблюдение существенно отличается, так как в лечении использовалась мягкая печатная 3D-модель. Паренхима 3D-модели почки выполнялась из полупрозрачного, эластичного, схожего по мягкости с нативной почкой термопластичного материала. Аналогичный материал применялся и для изготовления опухоли, однако для лучшей визуализации был использован темно-коричневый краситель. Чашечно-лоханочная система и сосуды изготовлены из более жесткого PLA-пластика. Используемая нами мягкая печатная 3D-модель почки позволяет выполнять тренинг в объеме резекции и ушивания раны стандартными инструментами, применяемыми при реальных операциях. По нашему мнению, тренинг на печатных 3D-моделях необходим при планировании сложных органосохраняющих операций, особенно у пациентов с аномалиями развития почек.

Наши выводы аналогичны данным исследования М.М. Maddox и соавт., в котором при сравнении результатов робот-ассистированных резекций почки в 2 однородных группах пациентов, в одной из которых у 6 пациентов за неделю перед основной операцией хирург проводил тренинг на печатных 3D-моделях почек, была установлена значительно меньшая величина интраоперационной кровопотери в группе пациентов с предоперационным тренингом [8].

Другим преимуществом нашего клинического наблюдения является использование мягкой печатной 3D-модели для беседы с пациентом на этапе предоперационного планирования. Мягкие печатные 3D-модели позволяют объяснить пациенту сложность планируемой операции и повысить комплаентность пациента. Наше заключение подтверждается результатами работы С. Schmit и соавт. В проспективном исследовании авторы использовали печатные 3D-модели для лучшего понимания пациентами предстоящего аблативного вмешательства в объеме криоабляции почки. При оценке результатов анкетирования пациентов 2 групп с предоставленным для беседы печатными 3D-фантомами в основной группе и стандартными данными МСКТ в контрольной группе в целях понимания анатомии и сложности предстоящей операции было установлено, что ответы в основной группе лучше, чем в контрольной (87,2 % против 72,8 %; $p = 0,007$). Кроме этого, большинство пациентов считали печатные 3D-модели необходимыми и оценивали этот подход в среднем на 9,4 балла (максимум 10 баллов) [9].

Несмотря на положительные стороны использования печатных 3D-моделей в хирургическом лечении

пациентов с аномалийными почками, необходимо упомянуть о недостатках данной методики. Во-первых, технические возможности современных 3D-принтеров и технология производства не позволяют изготавливать индивидуальные 3D-модели в короткие сроки. На сегодняшний день изготовление одной мягкой печатной 3D-модели почки в среднем составляет 96 ч. Этот недостаток существенно влияет на перспективу быстрого получения необходимой информации врачами и пациентами в предоперационном периоде. Во-вторых, на сегодняшний день отсутствует детальный расчет рентабельности применения 3D-печати в медицине. Экономический анализ — одна из краеугольных составляющих решения о внедрении той или иной инновационной технологии в медицину.

Несмотря на определенные недостатки, 3D-печать показала свою перспективность при планировании, навигации, освоении и совершенствовании навыков

высокотехнологичных оперативных вмешательств в лечении пациентов с заболеваниями аномалийных почек ввиду получения высокоточной мягкой физической 3D-модели почки с аномалией для каждого конкретного пациента.

Заключение

В представленном клиническом наблюдении продемонстрированы возможности применения 3D-печати, интраоперационного ультразвукового исследования с одновременным использованием данных виртуального 3D-планирования в осуществлении реальной лапароскопической резекции у пациента с множественными опухолями подковообразной почки. Использование нескольких методик для хирургической навигации позволило выполнить сложное оперативное вмешательство и осуществить органосохраняющее пособие с положительными результатами.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Kirkpatrick J.J., Leslie S.W. Horseshoe Kidney. 2022. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2022.
2. Je B.K., Kim H.K., Horn P.S. Incidence and spectrum of renal complications and extrarenal diseases and syndromes in 380 children and young adults with horseshoe kidney. *Am J Roentgenol* 2015;205(6):1306–14. DOI: 10.2214/AJR.15.14625
3. Pawar A.S., Thongprayoon C., Cheungpasitporn W. et al. Incidence and characteristics of kidney stones in patients with horseshoe kidney: a systematic review and meta-analysis. *Urol Ann* 2018;10(1):87–93. DOI: 10.4103/UA.UA_76_17
4. Kochkin A.D., Gallyamov E.A., Medvedev V.L. et al. Horseshoe kidney tumor laparoscopic surgery. First 19 cases. *Urologiia* 2019;(2):36–9. DOI: 10.18565/urology.2019.2.36-39
5. Аляев Ю.Г., Сирота Е.С., Проскура А.В. Цифровизация операций при опухоли почки. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2021. с. 240. Alyaev Yu.G., Sirota E.S., Proskura A.V. Surgery digitization in kidney tumors. Moscow: GEOTAR-Media, 2021. p. 240. (In Russ.).
6. Silberstein J.L., Maddox M.M., Dorsey P. et al. Physical models of renal malignancies using standard cross-sectional imaging and 3-dimensional printers: a pilot study. *Urology* 2014;84(2):268–72. DOI: 10.1016/j.urology.2014.03.042
7. Mercader C., Vilaseca A., Moreno J.L. et al. Role of the three-dimensional printing technology in complex laparoscopic renal surgery: a renal tumor in a horseshoe kidney. *Int Braz J Urol* 2019;45(6):1129–35. DOI: 10.1590/S1677-5538.IBJU.2019.0085
8. Maddox M.M., Feibus A., Liu J. et al. 3D-printed soft-tissue physical models of renal malignancies for individualized surgical simulation: a feasibility study. *J Robot Surg* 2018;12(1):27–33. DOI: 10.1007/s11701-017-0680-6
9. Schmit C., Matsumoto J., Yost K. et al. Impact of a 3D-printed model on patients' understanding of renal cryoablation: a prospective pilot study. *Abdom Radiol (NY)* 2019;44(1):304–9. DOI: 10.1007/s00261-018-1710-1

Вклад авторов

Е.С. Сирота, О.В. Арутюнян: обзор публикаций по теме статьи, написание текста статьи;
Ю.Г. Аляев, И.Г. Каситериди: разработка дизайна исследования;
Л.М. Рапопорт, Д.Г. Цариченко: анализ полученных данных.

Authors' contributions

E.S. Sirota, O.V. Arutyunyan: reviewing of publications of the article's theme, article writing;
Yu.G. Alyaev, I.G. Kasiteridi: developing the research design;
L.M. Rapoport, D.G. Tsarichenko: analysis of the obtained data.

ORCID авторов / ORCID of authors

Е.С. Сирота / E.S. Sirota: <https://orcid.org/0000-0001-6419-0155>
Д.Г. Цариченко / D.G. Tsarichenko: <https://orcid.org/0000-0002-3608-8759>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Работа выполнена без спонсорской поддержки.
Funding. The work was performed without external funding.

Соблюдение прав пациентов. Пациент подписал информированное согласие на публикацию своих данных. Все процедуры, выполненные в исследованиях с участием людей, соответствовали этическим стандартам институционального и/или национального исследовательского комитета, а также Хельсинкской декларации 1964 г. и ее более поздним поправкам или сопоставимым этическим стандартам.

Compliance with patient rights. The patient gave written informed consent to the publication of his data. All procedures in the study performed on people were compliant with the ethical standards of institutional and/or national research committee, as well as Helsinki Declaration of 1964 and its later amendments or similar ethical standards.