

<https://doi.org/10.29188/2222-8543-2021-14-3-28-39>

# 3D-принтинг в урологии как тренд персонализированной медицины

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

**Б.Г. Гулиев<sup>1,2</sup>, Б.К. Комяков<sup>1</sup>, А.Э. Талышинский<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова, кафедра урологии; д. 41, ул. Кирочная, Санкт-Петербург, 191015, Россия

<sup>2</sup> Мариинская больница, Центр урологии с робот-ассистированной хирургией; д. 56, Литейный пр-кт, Санкт-Петербург, 191014, Россия

**Контакт:** Гулиев Бахман Гидаятович; [gulievbg@mail.ru](mailto:gulievbg@mail.ru)

## Аннотация:

**Введение.** Технология трехмерной печати активно внедряется в практику урологов. Помимо улучшения процесса общения с пациентами, данная технология позволяет улучшить планирование и проведение операции.

**Цель.** Изучение литературы для определения полезности трехмерной печати в практике урологов.

**Материалы и методы.** Поиск публикаций для включения в данный обзор проводился в базах данных Embase, Medline, Google Scholar, Scopus в период до сентября 2020 года. Критериями включения были: доступность полной статьи, использование 3D моделей для обучения пациентов или ординаторов, а также их использования в планировании и проведении операций у пациентов старше 18 лет.

**Результаты.** В результате поиска было выявлено 197 публикаций, из которых 40 было отобрано для дальнейшего обзора с разделением по нозологиям. 11 статей относились к изучению полезности печатных моделей в консультировании пациентов с МКБ, планировании и тренировке ретроградной и перкутанной нефролитотрипсии. В 20 статьях печатная модель применялась для консультирования пациентов с новообразованиями почек, планирования вмешательства и интраоперационной навигации. В 9 работах опубликованы результаты применения печатных моделей в общении с пациентами с опухолью предстательной железы, в улучшении определения ее локализации и планирования операции, а также непосредственно во время вмешательства для навигации.

**Заключение.** Создание трехмерных печатных моделей органов является перспективным трендом урологии. Несмотря на существующие ограничения, данное направление становится все более доступным как для пациентов, так и для врачей.

**Ключевые слова:** 3D печать; обучение; консультирование; планирование операций; мочекаменная болезнь; новообразования почки; новообразования предстательной железы.

**Для цитирования:** Гулиев Б.Г., Комяков Б.К., Талышинский А.Э. 3D-принтинг в урологии как тренд персонализированной медицины. Экспериментальная и клиническая урология 2021;14(3):28-39; <https://doi.org/10.29188/2222-8543-2021-14-3-28-39>

<https://doi.org/10.29188/2222-8543-2021-14-3-28-39>

# 3D printing in urology as a trend in personalized medicine

LITERATURE REVIEW

**B.G. Guliev<sup>1,2</sup>, B.K. Komyakov<sup>1</sup>, A.E. Talyshinskii<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> North-Western state medical university named after I. I. Mechnikov, Department of urology; 41, Kirochnaia str., Saint-Peterburg, 191015, Russia

<sup>2</sup> Mariinsky hospital, Centre of urology and robot-assisted surgery; 56, Liteinyi ave, Saint-Peterburg, 191014, Russia

**Contacts:** Bakhman G. Guliyev; [gulievbg@mail.ru](mailto:gulievbg@mail.ru)

## Summary:

**Introduction.** 3D printing technology is being actively introduced into the urological practice. Apart from improving of patients counselling, this technology allows for improved planning and performance of surgery.

**Aim of study.** To determine the current state of three-dimensional printing in the urological practice.

**Materials and methods.** Embase, Medline, Google Scholar, Scopus databases were searched to find related publications until September 2020. Inclusion criteria were: the availability of the full article, the use of 3D models for teaching patients or residents, and their use in planning and performing surgery on patients over 18 years of age.

**Results.** One hundred and ninety seven publications were included, of which 40 were selected for a further analysis. 11 articles were related to the study of the usefulness of printed models in counseling patients with urolithiasis, planning and training of retrograde lithotripsy and percutaneous nephrolithotripsy. In 20 articles, the printed model was used to counsel patients with renal neoplasms, planning and intraoperative navigation. In 9 papers, the results of the use of printed models in communication with patients with prostate tumor, in improving the determination of its localization and planning of the upcoming surgery were published.

**Conclusion.** The creation of three-dimensional printed models is promising in urology. Despite the current limitations this field is becoming more accessible for both patients and doctors.

**Key words:** 3D printing; studying; consulting; surgery planning; urolithiasis; renal tumors; prostate cancer.

**For citation:** Guliev B.G., Komyakov B.K., Talyshinskii A.E. 3D printing in urology as a trend in personalized medicine. Experimental and Clinical Urology, 2021;14(3):28-39; <https://doi.org/10.29188/2222-8543-2021-14-3-28-39>

## ВВЕДЕНИЕ

Трехмерная (3D) печать представляет собой процесс создания объемных моделей с помощью технологии послойного наложения различных материалов, таких как полимеры, воск, керамика, металл [1].

Первое упоминание о ней датируется 1986 годом, когда с помощью ультрафиолетового излучения производилась полимеризация светочувствительной смолы [2]. С момента появления этой новой концепции технология претерпела значительные изменения, позволившие ее использование в различных сферах деятельности, в том числе в медицине. Помимо внедрения в кардиохирургию, травматологию и стоматологию данная технология затронула и урологию, где 3D-печать активно используется в процессе обучения пациентов и ординаторов, предоперационном планировании и ассистировании во время хирургических вмешательств, что обусловлено схожестью моделей с изучаемым органом.

Целью настоящего обзора является анализ статей по данной тематике и определение полезности 3D-печати для хирургического планирования, консультирования урологических пациентов, а также оценка вклада данной технологии в персонализированную медицину.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Поиск публикаций для включения в данный обзор проводился в базах данных Embase, Medline, Google Scholar, Scopus за последние 10 лет.

Критериями включения были: доступность полной статьи, использование 3D моделей для обучения пациентов или ординаторов, а также их использование в планировании и проведении операций на пациентах старше 18 лет.

Поиск производился с помощью запросов. Так, публикации по 3D печати при патологиях почек находились по запросу (((3D) AND (PRINTED)) AND (MODEL)) AND (KIDNEY), в рамках патологии предстательной железы по запросу (((3D) AND (PRINTED)) AND (MODEL)) AND (PROSTATE).

В результате такого поиска было найдено 197 публикаций, из которых 40 было отобрано в дальнейший обзор с разделением по нозологиям.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Мочекаменная болезнь

Перкутанная нефролитотрипсия (ПНЛ) остается основным стандартом в лечении крупных и коралловидных камней. Детальное изучение анатомии чашечно-лоханочной системы (ЧЛС) и правильно выполненный доступ являются неотъемлемой частью лечения [3]. Компьютерная томография относится к современным методам диагностики нефролитиаза. Бурное развитие технологии и использование контрастного вещества позволяют рекон-

струировать 3D-изображения чашечно-лоханочной системы (ЧЛС) для лучшей подготовки урологов к предстоящему вмешательству за счет более детального планирования операции. Но, несмотря на это, изучение анатомии почки все равно проводится на двухмерных изображениях. Решением данного недостатка является 3D печать моделей ЧЛС, которые позволяют улучшить качество обучения молодых специалистов и консультирования пациентов с мочекаменной болезнью (МКБ). В литературе имеется целый ряд исследований, направленных на изучение пользы таких моделей во всех вышеперечисленных сценариях (табл. 1).

Н.А. Atalay и соавт. изучили пользу печатных моделей при консультировании пациентов, которым показано выполнение ПНЛ. В ходе исследования пациенты лучше понимали анатомию почек, положение камней в почках, ход проведения операции, а также возможные осложнения. Кроме того, все пациенты были удовлетворены таким общением с урологом [4].

Нами также опубликованы результаты подобного исследования, направленного на использование печатных и разборных моделей ЧЛС с цветовой маркировкой отдельных чашечных групп в ходе обучения ординаторов [5]. Так, понимание анатомии как в целом, так и отдельных ее компонентов улучшилось более чем на 50%, а способность самостоятельно определять наиболее оптимальное место для пункции – на 55%.

Y. Xu и соавт. использовали 3D-печатные модели почек с коралловидным камнем для предоперационного планирования, а именно для выбора наиболее оптимальной чашечки для пункции. По каждому отобранному пациенту было напечатано 3 модели для моделирования доступа через верхнюю, среднюю и нижнюю группы чашечек. После каждой попытки оценивалось состояние «stone-free» и наиболее удобный доступ осуществлялся во время настоящей операции. Успех тренировки и самого вмешательства оценивался с помощью корреляционного анализа. Выявленный коэффициент корреляции был равен 0,972 (95% ДИ = 0,900–0,992). Согласно результатам авторов, данная тактика предоперационного планирования существенно улучшит подготовку урологов к проведению ПНЛ по поводу коралловидных камней [6].

A.R. Christiansen и соавт. сравнивают автостереоскопическое, computer aided design (CAD), интеллективное объемное и обычное объемное моделирование с трехмерной печатью в качестве пособия для предоперационного планирования лапароскопической нефролитотомии подковообразной почки. Печатные модели позволяли осуществлять тактильную оценку как самой почки и камня, так и ее сосудистого русла, однако данные преимущества трудно достижимы при проведении операции. В заключении авторы отмечают, что современные методики трехмерной визуализации данных компьютерной томографии (КТ) являются ценными при проведении подобных вмешательств, снижая тем самым необходимость печати [7]. ■

Интересное исследование приведено S. Kuroda и соавт. Авторы предлагают трехмерную печать трансплантируемой почки для тренировки антеградной уретероскопии по поводу камня мочеточника. При плановом проведении КТ через 15 лет после трансплантации почки был обнаружен камень размером 12 мм в мочеточнике. С помощью напечатанной модели авторы выполнили

пункцию через верхнюю чашечку с последующим введением уретероскопа и извлечением напечатанного конкремента. После успешной тренировки та же стратегия была применена во время операции [8].

A. Ghazi и соавт. оценивали тренажер для проведения ПНЛ, в который входила ЧЛС, почка и смежные структуры, учет которых необходим при проведении

**Таблица 1. Исследования по 3Д-печати при мочекаменной болезни**

**Table 1. Studies on 3D printing for urolithiasis**

Автор Author	Направление 3D печати Aim of 3D-printing use	Результат Results	Стоимость и длительность печати Cost and duration of printing
H.A. Atalay и соавт. [4]	Консультирование пациентов Patients consulting	Улучшение понимания пациентами анатомии почек, положение камней, планируемого хирургического вмешательства Improvement of understanding by patients kidneys' anatomy, stones' location and planned surgery	100 \$/ 2 часа 100 \$/ 2 hours
B. Guliev и соавт. [5]	Обучение ординаторов Studying of residents	Улучшение понимания ординаторами анатомии полостной системы почек Improvement of understanding by residents the anatomy of collecting system of kidney	150 \$/12 часов 150 \$/12 hours
Y. Xu и соавт. [6]	Моделирование <i>in vitro</i> для помощи в выборе наиболее оптимальной чашечки для пункции Modeling <i>in vitro</i> for choosing the optimal calyx for puncture	Оптимизация тактики вмешательства на основе предоперационной тренировки пункции через разные чашечные группы Optimizing the surgery on the basis of preliminary training of access through different calyces	–
A.R. Cristiancen и соавт. [7]	Сравнение печати с различными режимами трехмерной визуализации Comparing 3D-printing with different regimes of 3D visualisation	3D-печать не имеет преимуществ при планировании над другими методами визуализации 3D-printing has no advantages compared with another visualization methods	–
S. Kuroda и соавт. [8]	Моделирование антеградной уретероскопии на трансплантированной почке Modeling the antegrade ureteroscopy on transplanted kidney	Улучшение безопасности и эффективности антеградной уретероскопии трансплантированной почки Improving the safety and efficacy of antegrade ureteroscopy and kidney transplants	–
A. Ghazi и соавт. [9]	Оценка валидности небиологического тренажера ПНЛ Assessment of neurobiological trainer of PCNL validity	Реалистичность = 4,5 / 5,0 баллов Польза для тренировки = 4,6 / 5,0 баллов Realistic = 4.5 / 5.0 points Use for training = 4.6 / 5.0 points	–
D. Li и соавт. [10]	Создание силиконовой модели для тренировки РИРХ Creating a silicone model for RIRS training	Положительная оценка экспертов касательно пользы в планировании и тренировке Positive assessment of experts regarding the benefits of planning and training	–
B.W. Turney и соавт. [11]	Создание тренажера для выполнения пункции под рентген-наведением Creating a simulator for puncture under X-ray guidance training	Положительная оценка тренажера при использовании на национальном учебном курсе Positive evaluation of the simulator when used on a national training course	\$100/1–2 часа \$100/1–2 hours
T. Aro и соавт. [12]	Создание бюджетного тренажера пункции почки Creating a budget simulator for kidney puncture	Возможность обучения пункции почки как под УЗИ, так и под рентген-контролем Creating an affordable simulator for kidney puncture training both under ultrasound and X-ray control	\$38/ 2-3 дня \$38/ 2-3 days
A. Golab и соавт. [13]	Создание направляющих силиконовых форм для пункции почки Creating of silicone guide molds for kidney puncture	Снижение длительности пункционного этапа и риска повреждения смежных органов Reducing the duration of the puncture and the risk of damage of adjacent organs	€100/ 8 часов €100/ 8 hours
Ю. Аляев и соавт. [14] Yu. Alyaev et al. [14]	Разработка тренажера для обучения и предоперационного тренинга пункции почки Development of a simulator for learning and preoperative training of kidney puncture	Разработанный тренажер является перспективной разработкой в области эндоурологического обучения The developed simulator is a promising development in the field of endourological training	–/–
Н. Гаджиев и соавт. [15] N. Gadzhiyev et al. [15]	Создание тренажера для выполнения пункции под рентген-наведением Creating a simulator for performing a puncture under X-ray guidance	При обучении и тренировках каждая модель может быть использована многократно (20-30 пункций) благодаря устойчивости материала During learning and training, each model can be used repeatedly (for 20-30 punctures) due to the stability of the material	6000 руб. / 2-4 часа 6000 rub. / 2-4 hours

операции. В качестве материала были использованы гидрорегели поливинилового спирта. Были смоделированы все этапы ПНЛ, включая чрескожный доступ, нефроскопию и литотрипсию [9]. Хотя практическое обучение под наблюдением опытного куратора остается неотъемлемой частью любой ординатуры, предлагаемый тренажер является полноценным пособием для приобретения необходимых навыков перед самостоятельным выполнением операции.

D. Li и соавт. разработали модель из эластомера с добавлением красителя, наиболее приближенного по цвету и плотности к паренхиме почки. Она состоит из двух частей, разделенных во фронтальной плоскости для размещения полости и ее удаления после заливки материала. Для соединения обеих половин использовалась специальная методика герметизации, что позволяло увеличивать гидравлическое давление в четыре раза выше, нормального внутривисцерального давления. Также оценивалось качество визуализации почки и ее полости с помощью рентгеновского исследования, ультразвукового исследования (УЗИ) и эндоскопии. Камень размером 7 мм в диаметре, состоящий преимущественно из оксалата кальция, детально визуализировался при использовании вышеперечисленных методик. Для оценки данной модели в качестве тренажера была проведена ретроградная уретеронефроскопия с помощью гибкого уретероскопа с дальнейшим дроблением конкремента гольмиевым лазером. Согласно результатам данного исследования, специалисты высоко оценили качество и приближенность к реальной операции предлагаемого тренажера [10].

Альтернативный способ размещения полости в тренажере представлен В. W. Turney и соавт., которые создавали печатные модели ЧЛС с помощью водорастворимого пластика на основе поливинилового спирта, которые размещались в силиконовой форме и растворялись обычной водой. Для имитации тканей между почкой и кожей использовалась плотная пена. После застывания всех компонентов, полученная полость заполнялась контрастным веществом для выполнения техники триангуляции при проведении пункции. Несмотря на возможность выполнения до 20 пункций, при расширении канала происходила утечка контрастного вещества в связи с потерей герметичности полости. Более того, используемые материалы не подходили для выполнения пункций под УЗ-контролем. Несмотря на перечисленные недостатки, авторы отмечают пользу такого тренажера при наработке опыта выполнения пункции почки под контролем С-дуги, что является неотъемлемой частью обучения молодых специалистов [11].

T. Ago и соавт. описывают один из самых экономичных способов создания тренажера ПНЛ. 3D-модель ЧЛС была напечатана с использованием акрилонитрилбутадиенстирола (АВС) с дальнейшей ее фиксацией в форме для заливки желатина. После затвердевания последней порции желатина, орошение раствором лимонной кис-

лоты использовалось для растворения модели собирательной системы почки. Получаемая полость заполнялась водой для детальной визуализации при выполнении УЗИ, которое продемонстрировало четкую границу между желатином и водой. Наиболее важным преимуществом данной методики является возможность повторного использования желатина, который после износа можно растворить для дальнейшей перезаливки [12].

A. Golab и соавт. приводят опыт создания направляющих силиконовых форм для пункции почки при проведении ПНЛ. Контур формы, а также ориентация пункционного канала определялась с помощью КТ-изображений конкретного пациента. По мнению авторов, предлагаемая разработка позволяет выбрать безопасную область на теле пациента для пункции, снижая риски повреждения смежных органов, а заранее определенная траектория иглы позволяет снизить длительность первого этапа ПНЛ [13].

Ю.Г. Аляев и соавт. разработали 3D-печатный тренажер для обучения и предоперационного тренинга перкутанной нефролитотрипсии, позволяющий проводить и осваивать все этапы операции под рентгенологическим и ультразвуковым контролем. 3D-модель была создана на основании данных мультиспиральной компьютерной томографии (МСКТ) одного больного коралловидной формой МКБ. Полученные данные были обработаны и использованы для печати модели. Тренажер состоял из двух частей: небиологической 3D-печатной мягкой модели почки с воспроизведенной интратанальной сосудистой и собирательной системами и напечатанной с помощью 3D-принтера модели туловища человека. На данном 3D-тренажере в условиях рентгеноперационной под ультразвуковым и рентгенологическим наведением была выполнена ПНЛ. Согласно мнению авторов и результатам работы, описанный тренажер является перспективной разработкой в области эндоурологического обучения, а также предоперационного тренинга при лечении сложных форм мочекаменной болезни [14].

Н.Г. Гаджиев и соавт. в описывают анатомически точную, небиологическую модель ЧЛС для отработки техники пункции почки под рентген-контролем. В качестве полимерного термопластичного материала использовался АВС. Данный тренажер позволяет проводить тренировку перкутанного доступа с использованием рутинного в клинической практике оборудования [15].

### Рак почки

Трехмерная печать нашла свое место и в онкологии. Возможность создания 3D моделей пораженных органов позволяет более информативно проводить консультирование пациентов, обучение молодых специалистов, а также использовать такие модели при планировании и проведении операции. Особенно данные преимущества необходимы в случае рака почки, где понимание

Таблица 2. Исследования 3D печати при раке почки

Table 2. Studies of 3D printing in renal cancer

Авторы Authors	Цель 3D печати Aim of 3D-printing use	Результат Results	Стоимость и длительность печати Cost and duration of printing
B. Guliev и соавт. (5)	Обучение ординаторов Studying of residents	Улучшение понимания ординаторами анатомии полостной системы почек Improvement of understanding by residents the anatomy of collecting system of kidney	150 \$/12 часов 150 \$/12 hours
J. Teishima и соавт. (17)	Консультирование пациентов перед робот-ассистированной парциальной нефрэктомией. Patients consulting before robot-assisted partial nephrectomy	Значимое улучшение понимания анатомии почки и опухоли Significant improvement of patients' understanding of kidney and tumor anatomy	–
J.C. Bernhard и соавт. (18)	Консультирование пациентов перед робот-ассистированной парциальной нефрэктомией Patients' consulting before robot-assisted partial nephrectomy	Улучшение понимания анатомии почки и опухоли, а также планируемой операции Improvement of patients' understanding of kidney and tumor anatomy and planned surgery	\$560 / -
N. Wake и соавт. (19)	Консультирование пациентов перед робот-ассистированной парциальной нефрэктомией Patients' consulting before of robot-assisted partial nephrectomy	Улучшение понимания пациентами размеров опухоли, ее локализации, планируемой операции Improvement of patients' understanding of tumor size and localization and planned surgery	–
H. Lee и соавт. (20)	Обучение студентов-медиков Medical students training	Улучшение понимания локализации опухоли в сравнении с использованием только КТ- снимков Improvement of students' understanding of tumor localization compared with only CT data using	\$650/-
Y.S. Kyung и соавт. (21)	Консультирование пациентов перед парциальной нефрэктомией Patients' consulting before partial nephrectomy	Общее удовлетворение от общения с урологом, 4.7 по 5-бальной шкале Global patients' satisfaction from consulting (4.7 on a 5-point scale)	\$600/5 дней \$600/5 days
M. Knoedler и соавт. (22)	Улучшение классифицирования опухоли почки по шкале R.E.N.A.L. молодыми специалистами Improvement of tumors' classification by young specialists using a R.E.N.A.L. scale	Улучшение результатов по сравнению с использованием только КТ-снимков Improvement the results compared with only CT data using	–
F. Porpiglia и соавт. (23)	Оценка схожести с реальной анатомией и печатных моделей почек с опухолью Assessment of similarity of printed kidneys and tumor models with real anatomy	Оценка экспертами на 9/10 баллов Experts' rating of 9/10 points	–
Y. Zhang и соавт. (24)	Оценка реалистичности трехмерных печатных моделей почки с опухолью и пользы в планировании парциальной нефрэктомии Evaluation of the realism of three-dimensional printed models of a kidney with a tumor and the benefits in planning partial nephrectomy	Реалистичность=7,3±0,5 Польза в планировании = 6,0±0,6 (по 10 бальной шкале) Realistic=7,3 ± 0,5 Benefit in planning = 6,0± 0,6 (on a 10-point scale)	\$150/3-4 дня \$150/3-4 days
M.M. Maddox и соавт. (25)	Тренировка робот-ассистированной парциальной нефрэктомии Training of robot-assisted partial nephrectomy	Значимое снижение объема кровопотери Significant reduction in blood loss	–
Y.Komai и соавт. (26)	Улучшение планирования парциальной нефрэктомии Improving the planning of partial nephrectomy	Возможность прогнозировать край резекции с точностью до 2-5 мм The ability to predict the resection edge with an accuracy of 2-5 mm	\$450-\$680/3-9 дней \$450-\$680/3-9 days
N. Wake и соавт. (27)	Влияние печатных моделей на изменение выбора оперативного вмешательства при опухоли почки The influence of printed models on the change in the choice of surgical intervention for kidney tumors	Два специалиста поменяли свой выбор в сторону радикальной нефрэктомии в 1 и 2 случаях, соответственно Two specialists changed their choice towards radical nephrectomy in 1 and 2 cases, respectively	\$1000/10 часов \$1000/10 hours
H. Silberstein и соавт.(28)	Навигация во время парциальной нефрэктомии Navigation during partial nephrectomy	Положительная оценка экспертов (4-5/5) Positive assessment by experts (4-5/5)	–
Y.S. Libby и соавт. (29)	Консультирование и предоперационное планирование нефрэктомии с опухолевым тромбом Consultation and preoperative planning of nephrectomy with a tumor thrombus	Улучшение понимания пациентами Улучшение планирования операции Improving patient understanding Improved operation planning	–

Авторы Authors	Цель 3D печати Aim of 3D-printing use	Результат Results	Стоимость и длительность печати Cost and duration of printing
S.M. Monda и соавт. [30]	Оценка реалистичности моделей и их пользы в планировании операции Evaluation of the realism of the models and their use in the planning of the operation	Польза при планировании = 85,7/100 Реалистичность моделей = 78,3/100 Planning benefits = 85.7/100 Realistic models = 78.3/100	\$260/- для формы \$3.90/2 часа для заливки одной модели \$260/- for one form making \$3.90/2 hours for one model making
G. Fan и соавт. [31]	Навигация при лапароскопической парциальной нефрэктомии эндодифитных опухолей Navigation in laparoscopic partial nephrectomy of endophytic tumors	Использована у 5 пациентов. Модель полезна особенно при хирургии опухоли почки с эндодифитным ростом. Used in 5 patients. The model is particularly useful in the surgery of endophytic growth kidney tumors.	-
I. Belenchon и соавт. [32]	Первая фаза мультицентрового клинического исследования эффективности моделей для планирования операции по поводу рака почки с опухолевым тромбом Navigation in laparoscopic partial nephrectomy of endophytic tumors is the first phase of a multicenter clinical study of the effectiveness of models for planning surgery for kidney cancer with a tumor thrombus	6 специалистов оценили эффективность на 88% из 100% Six specialists rated the efficiency at 88% out of 100%	€33.4/39 часов €33.4/39 hours
A.Golab и соавт. [33]	Тренажер лапароскопической парциальной нефрэктомии Laparoscopic partial nephrectomy simulator	Благодаря такой тренировке одному пациенту удалось выполнить операцию без пережатия сосудистой ножки Thanks to this training, one patient managed to perform the operation without squeezing the vascular pedicle	€100/7-8 часов €33.4/39 hours
C. Jian и соавт. [34]	Предоперационная тренировка криоабляции новообразований почек Preoperative training the cryoablation of kidney neoplasms	Улучшение планирования предстоящей операции Improving the planning of the upcoming operation	-/-
P.Saba и соавт. [35]	Создание двухкомпонентного тренажера для имитации забора донорской почки и ее пересадки реципиенту Creation of a two-component simulator for simulating the collection of a donor kidney and its transplantation to the recipient	Достижение адекватного времени выполнения всех этапов Achieving adequate execution time for all stages	\$95/8 часов \$95/8 hours

локализации опухоли, ее васкуляризации и близости к ЧЛС необходимо для выбора наиболее оправданного вмешательства.

C. Schmit и соавт. разрабатывали модели почки при общении с пациентами перед криоабляцией. С помощью принтера печатались следующие структуры: пораженная и здоровая почки, ЧЛС и мочеточники, почечные артерии и вены, а также брюшной отдел аорты и нижняя полая вена. В качестве материала был выбран фотополимер, затвердевающий под действием ультрафиолета. В результате такого подхода пациенты из экспериментальной группы лучше понимали все аспекты предстоящей процедуры и возможные ее осложнения [16].

J. Teishima и соавт. использовали технологию трехмерной печати для консультирования пациентов с раком почки cT1N0M0 перед выполнением робот-ассистированной парциальной нефрэктомии. Модель состояла из почки, опухоли, мочеточника, нижней полой вены, брюшной аорты и изготавливалась из гипса и соответствующих красителей. Во время общения с пациентами акцент делался на анатомии, параметрах опухоли и возможных

осложнениях. Все три аспекта консультирования были значимо выше при использовании таких пособий [17].

Похожее исследование проведено J.C. Bernhard и соавт. Выполненные из комбинации непрозрачного пурпурного, непрозрачного желтого и прозрачного полимера модели помогали пациентам лучше понимать анатомию почки, локализацию опухоли, а также ход предстоящей операции [18].

N. Wake и соавт., используя полимеры трех цветов для детализации отдельных структур почки, подтверждают пользу печатных моделей в консультировании пациентов с опухолью почки перед предстоящей операцией. Стоит отметить, что некоторые пациенты в данной работе после такого рода консультирования лучше понимали преимущества и недостатки разных вариантов хирургического вмешательства, в связи с чем самостоятельно выбрали предстоящую операцию [19].

H. Lee и соавт. оценили эффективность использования 3D-прототипирования в обучении студентов-медиков. Опухоль была выполнена с использованием красного полимера, в то время как оставшаяся почка из прозрачного

материала. При использовании печатных моделей вместе с КТ-изображениями количество правильных ответов касательно анатомии почки и локализации опухоли составило 70% (против 47% при изучении только КТ данных) [20].

Y.S. Kyung и соавт. применяли 3D модели при консультировании пациентов с опухолью почки перед парциальной нефрэктомией. Печать выполнялась с помощью различных по цвету и прозрачности смол для лучшего отображения анатомии почки и опухоли. После общения с врачом все пациенты опрашивались по шкале Ликерта (от 0 до 5), где средний балл удовлетворенности от консультации составил 4,7 [21].

Вышеперечисленные результаты подтверждаются в работе M. Knoedler и соавт. Изготовленная из прозрачного материала почка использовалась в качестве пособия при оценке анатомии почки и опухоли. Каждый испытуемый оценивал клинический случай по шкале R.E.N.A.L. дважды: до и после использования модели. Согласно результатам, данное пособие значительно улучшает стратификацию опухоли почки даже при отсутствии достаточного опыта [22].

F. Porpiglia и соавт. определяли схожесть печатных моделей опухоли почек с опухолью с реальной анатомией и их пользу перед выполнением робот-ассистированной парциальной нефрэктомией. В качестве метода печати было выбрано селективное лазерное спекание тонкой пленки порошка термопластичным полимером. Данный способ не позволяет осуществлять печать с использованием одновременно материалов нескольких цветов, в связи с чем авторы вручную окрашивали опухоль и сосуды почки. Специалисты, включенные в данное исследование, оценили схожесть и полезность предлагаемых моделей на 10 баллов из 10 возможных соответственно [23].

Y. Zhang и соавт. также оценивали реалистичность получаемых моделей, а также их влияние на понимание пациентов при консультировании. Реалистичность модели оценена пациентами в среднем на  $7,8 \pm 0,7$  баллов по 10-бальной шкале. Специалистами реалистичность модели и ее польза в планировании оценена на  $7,3 \pm 0,5$  и  $6,0 \pm 0,6$  баллов соответственно [24].

M. Maddox и соавт. формировали 3D-модель почки для предоперационной тренировки и планирования предстоящей робот-ассистированной радикальной нефрэктомии. Для придания моделям наиболее приближенных к различным структурам почки плотности авторы использовали струйный 3D-принтер с выборочным нанесением фотополимера для создания капсулы почки, с дальнейшим использованием агарозного геля для формирования почечной паренхимы и ЧЛС. Одновременное использование красителей позволяет отдельно обозначать как опухоль, так и сосуды. Несмотря на схожую с реальной картиной модель, в экспериментальной группе удалось лишь значительно снизить объем интраоперационной кровопотери, в то время как другие показатели не различались [25].

Y. Komai и соавт. описывают использование своего запатентованного 3D-моделирования, при котором одновременное использование различных материалов и красителей позволяет с большой точностью отображать компоненты почки, а также формировать предполагаемый край резекции опухоли на расстоянии 2-5 мм. Обладая такой реалистичностью, модель позволяет во время тренировки прогнозировать основные осложнения во время операции, а также возможный вход в ЧЛС при резекции. Используя данный тренажер перед парциальной нефрэктомией, во всех случаях удалось добиться отрицательного хирургического края и избежать формирования мочевого свища [26].

N. Wake и соавт. определяли влияние печатных моделей на изменение выбора оперативного вмешательства, определенного после изучения полученных с помощью магнитно-резонансной томографии (МРТ) снимков. В состав таких моделей входила почка, ее сосуды, ЧЛС и проксимальный мочеточник, а также опухоль. Для придания цветовой дифференцировки использовались различные оттенки синего и пурпурного цвета, а сама почка выполнялась с помощью прозрачного фотополимера. Изучая данные 10 различных пациентов, два специалиста поменяли свой выбор в сторону радикальной нефрэктомии у 1 и 2 пациентов соответственно. При выборе открытого или лапароскопического доступа один специалист в одном случае также поменял свой выбор. Выбирая между забрюшинным и трансперитонеальным доступом, один уролог поменял свое мнение в 4 случаях, а двое других – в трех [27].

J.L. Silberstein и соавт. использовали печатные модели почек и опухоли для интраоперационной навигации при выполнении парциальной нефрэктомии. Сама почка выполнялась с помощью прозрачной резины, опухоль и сосуды – с добавлением красного красителя. Несмотря на отсутствие контрольной группы, при выполнении таким способом 5 операций урологи были удовлетворены результатом [28].

R.S. Libby и соавт. использовали 3D-печатные модели почек с опухолевым тромбом до уровня печеночных вен во время обсуждения с пациентами планируемой операции. За основу были взяты МРТ снимки с использованием контрастного вещества. В состав таких моделей входили прозрачная почка с розовой опухолью, а также почечная и нижняя полая вены, выполненные с использованием красного красителя. Таким образом пациенты могли держать в руках модели, полностью соответствующие их анатомии, что позволило достичь лучшего понимания как характеристик опухоли и тромба, так и предстоящей радикальной операции. Помимо этого данные модели были продемонстрированы анестезиологам, которые в свою очередь отмечали лучшую подготовку в подборе анестезии [29].

S.M. Monda и соавт. оценивали три типа валидности печатных моделей почек в контексте их реалистичности,

пользы в планировании и обучении, а также в способности различать специалистов с учетом их опыта оперирования. Для формирования моделей использовались специальные формы, выполненные из PGA материала, в которые заливалась смесь из двух типов силикона для придания наибольшей реалистичности при манипуляциях. Также в состав получаемых моделей входили сосуды почки и опухоль. В исследование были включены 4 студента, 14 ординаторов, 3 аспиранта и 3 уролога. Так, польза получаемых моделей в приобретении опыта молодыми специалистами оценивалась на 93,8 балла из 100, в то время как для опытных врачей данный показатель равнялся 85,7. Внешняя реалистичность моделей, а также качество имитации во время резекции опухоли и сшивания почки оценивалась на 78,3 балла [30].

G. Fan и соавт. использовали модели для навигации во время проведения лапароскопической парциальной нефрэктомии по поводу эндофитной опухоли. В исследование было включено 5 пациентов. Для печати использовался нейлоновый порошок с добавлением красителей. При сравнении границ опухоли после резекции с моделью отмечено, что расхождение в границах в среднем составило 2 мм. Все включенные специалисты пришли к выводу, что такие модели являются незаменимым подспорьем при хирургии опухоли почки с эндофитным ростом [31].

I. Belenchón и соавт. опубликовали результаты первой фазы мультицентрового клинического исследования, оценивающего эффективность планирования операции по поводу рака почки с опухолевым тромбом. В процессе печати использовался гибкий полиуретановый филамент с соплом 0,4 мм, толщиной слоя 0,2 мм и стенки 0,8 мм, скоростью печати 50 мм/с, активированным охлаждением, сетчатым узором поддержки, расстоянием между опорами 10 мм, углом выступа опоры 50°. В состав модели входили печень, обе почки, опухоль, брюшная аорта и нижняя полая вена и почечные сосуды. Шесть урологов, включенных в работу, оценили эффективность таких моделей на 88% из 100% [32].

A. Golab и соавт. использовали модели для тренировки лапароскопической парциальной нефрэктомии непосредственно перед реальной операцией. Процесс изготовления складывался из двух этапов: после изготовления форм с помощью PLA-пластика они заливались силиконом для формирования почки и опухоли отдельно с дальнейшей фиксацией всех компонентов. Среднее время тренировки резекции было практически идентичным реальным показателям (16 минут против 17 минут). Благодаря такой тренировке одному пациенту удалось выполнить операцию без пережатия сосудистой ножки, в двух остальных случаях время ишемии составляло 7 и 9 минут [33].

S. Jian и соавт. исследовали реализм предоперационного выполнения криоабляции новообразования почки с помощью 3D-печатного тренажера. Оценивалось количество используемых игл, а также глубина и угол их вхождения. В качестве материала при печати использовался

нейлоновый порошок. Исходя из результатов такой тренировки подбиралась наиболее оптимальная тактика выполнения криоабляции в реальном времени, что позволило сократить ее длительность [34].

Интересное исследование приведено P. Saba и соавт., в котором описывается процесс создания и использования двухкомпонентного печатного тренажера для забора донорской почки и ее пересадки реципиенту. Донорская печатная почка выполнялась с помощью PLA материала и изготавливалась одновременно с другими структурами (мышцы и клетчатка забрюшинного пространства, брюшная часть аорты, нижняя полая вена и почечные сосуды). Все вышеперечисленные компоненты собирались совместно для точной имитации забора почки. Для имитации кровотечения сосудистое русло почки подвергалось постоянной ирригации. Благодаря такой методике было возможно реализовать все этапы донорской нефрэктомии. Для тренировки анастомозов модель донорской почки пересаживалась в печатную модель полости таза пациента-реципиента. Время для выполнения артериального и венозного анастомозов было в среднем  $17,9 \pm 2,79$  и  $17,3 \pm 2,13$  мин., соответственно. Время для выполнения уретероцистоанастомоза составило  $15,10 \pm 2,35$  мин. [35].

#### Рак предстательной железы

Несмотря на сложную анатомию органов малого таза, трехмерная печать все активнее используется при лечении рака предстательной железы (ПЖ), как для улучшения диагностики, так и для повышения качества хирургических вмешательств.

Описывая процесс создания разборных моделей ПЖ с использованием мультикомпонентного материала с полиамидной основой, R. Javan и соавт. подчеркивают предполагаемую пользу таких макетов в консультировании пациентов, обучении молодых специалистов и студентов, а также в междисциплинарном обсуждении конкретных пациентов [36].

H.H. Wu и соавт. в своем исследовании изучали эффективность индивидуальной печатной формы и МРТ удаленной ПЖ для локализации в ней новообразований. Сразу после робот-ассистированной радикальной простатэктомии, удаленный орган помещался в форму и подвергался МРТ-исследованию, а затем возвращался для гистологического изучения. Предлагаемая система, объединяющая результаты *in vivo*, *ex vivo* и гистологического изучения ПЖ позволяет конкретизировать локализацию патологических очагов с точностью до 1-2 мм [37].

Y. Wang и соавт. использовали печатные модели ПЖ при трансуретральном ультразвуковом исследовании (ТРУЗИ) для лучшего обнаружения патологического новообразования. Шестнадцати отобранными пациентам выполнена мультипараметрическая МРТ (мпМРТ) с последующим использованием полученных изображений для трехмерной печати. В качестве основного материала использовалась прозрачная смола. При выполнении



биопсии ПЖ под контролем ТРУЗИ использовался стандартный протокол (забор материала из 12 точек), а также выполнялось дополнительно 2-3 пункции в соответствии с результатами мПМТ. При использовании стандартного протокола частота обнаружения опухоли составила 22,4%, в то время как добавление таргетной биопсии с печатной моделью в руках увеличило этот показатель до 46,2% [38].

P. Chandak и соавт. опубликовали результаты второй фазы исследования IDEAL, в котором оценивалась польза 3D моделей во время робот-ассистированной радикальной простатэктомии (РАРП). Все операции в рамках данной работы выполнялись одним урологом, который брал модели в операционную для их изучения перед некоторыми этапами операции, что позволило более уверенно выполнять нервосбережение. Для печати использовался прозрачный фотополимер, что позволяло урологу при изучении моделей воспроизводить в памяти основные параметры опухоли. Несмотря на клиническую пользу, данный материал плохо передает эластичность

паренхимы ПЖ, а процесс создания модели является затратным. Мультицентровое контролируемое исследование TIGERS планируется авторами для использования других материалов с целью уменьшения вышеперечисленных недостатков [39].

W. Jomoto и соавт. описывают опыт использования хирургической системы навигации с использованием магнитно-резонансной ангиографии и 3D-печатных моделей ПЖ во время РАРП. Согласно выводам исследователей, данная система полезна для определения окружающих ПЖ структур во время операции [40].

J. Ebbing и соавт. оценивали пользу 3D печати в правильной интерпретации МРТ снимков специалистами с разным уровнем опыта, а также сравнивали результаты между группами. В группе опытных врачей разница в точности диагностики с использованием моделей или без них была незначимой. Сравнение правильности результатов интерпретации 2D МРТ снимков между молодыми и опытными специалистами уста-

Таблица 3. Исследования 3D печати при раке предстательной железы

Table 3. Studies of 3D printing in prostate cancer

Авторы Authors	Цель 3D печати Aim of 3D-printing use	Результат Results	Стоимость и длительность печати Cost and duration of printing
R. Javan и соавт. [36]	Печать разборной модели предстательной железы (ПЖ) Printing of a collapsible prostate model	Наглядное пособие для обучения молодых специалистов и для консультирования пациентов Visual aid for training young specialists and for patients' consulting	\$40-100/ 10-14 дней \$40-100/ 10-14 days
H.H. Wu и соавт. [37]	Разработка печатных форм для <i>ex vivo</i> МРТ оценки удаленной ПЖ Development of printed forms for <i>ex vivo</i> MRI evaluation of the removed prostate	Верное определение границ новообразования с погрешностью 1–2 мм Correct determination of the boundaries of the neoplasm with an error of 1-2 mm	–
Y. Wang и соавт. [38]	Улучшение выполнения ТРУЗИ Improving of TRUS	Верное определение опухоли в 46,2% случаях Correct determination of the tumor in 46.2% of cases	–
P. Chandak и соавт. [39]	2-я фаза клинического исследования IDEAL использования печатных моделей перед РАРП Phase 2 of the IDEAL clinical trial of using printed models before RARP	Планирование мультицентрового TIGERS исследования Planning a multicenter TIGERS study	£250/-
W. Jomoto и соавт. [40]	Разработка хирургической системы навигации МРТ+ печатные модели Development of a surgical navigation system MRI+ printed models	Улучшение определения отдельных структур малого таза Improving the definition of individual pelvic structures	-/-
J. Ebbing и соавт. [41]	Улучшение понимания анатомии и локализации рака ПЖ студентами Improving the understanding of the anatomy and localization of prostate cancer by students	Разница правильных ответов между студентами и врачами снизилась до 17% The difference in correct answers between students and doctors decreased to 17%	-/-
J. Dezeeuw и соавт. [42]	Силиконовый тренажер пальцевого ректального исследования Silicone simulator for finger rectal examination	Средняя оценка экспертов касательно предлагаемого тренажера составляет 4,4 из 5 баллов The average rating of experts regarding the proposed simulator = 4.4 out of 5	-/-
C. Darr и соавт. [43]	Использование моделей ПЖ с опухолью в интраоперационной навигации The use of prostate models with a tumor in intraoperative navigation	Улучшение идентификации опухоли промежуточного и высокого риска Improved identification of intermediate and high-risk tumors	-/-
N.C. Wong и соавт. [44]	3D тренажер наложения уретровезикального анастомоза 3D simulator of urethrovesical anastomosis	Создание пособия для тренировки молодых специалистов Creating a manual for training young specialists	\$38/ 2-3 дня \$38/ 2-3 days

новило разницу в 49%, в то время как добавление печатных моделей сократило данный показатель до 17%, что подчеркивает возможность трехмерной печати возмещать недостаточность опыта и ускорять кривую обучения молодых специалистов [41].

Являясь основным методом скрининга заболеваний ПЖ, пальцевое ректальное исследование также требует наличия определенного опыта для его правильного выполнения и интерпретации. J. DeZeeuw и соавт. предлагают печатный силиконовый тренажер в виде малого таза с возможностью его разбора и помещения различных по размеру, контуру и плотности моделей ПЖ. Для достижения необходимых свойств печать моделей ПЖ выполнялась с использованием полигликолиевой кислоты и силикона. При оценке предлагаемого тренажера опытные специалисты отметили его пригодность для тренировки студентов и ординаторов [42].

C. Darr и соавт. оценивали модели ПЖ с опухолью в качестве подспорья в интраоперационной навигации и гистологического исследования замороженных срезов. Десять пациентов с раком ПЖ pT3 стадии были включены в данное исследование. Данные из мПМРТ использовались для формирования трехмерных моделей с применением смолы в качестве материала. Система PI-RADS v2.0 использовалась для сравнения МРТ снимков, печатных моделей и гистологической картины. Во всех случаях локализация новообразования среднего и высокого риска значимо коррелировала при использовании всех вышеперечисленных модальностей. Более того, значимая корреляция наблюдалась в рамках ширины, длины и объема опухоли между печатными моделями и гистологическим заключением [43].

Радикальная простатэктомия является трудоемким вмешательством, требующим наличия достаточного опыта у хирурга не только в удалении органа, но также и в формировании цистоуретроанастомоза. N.C. Wong и соавт. предлагают печатный тренажер формирования анастомоза между мочевым пузырем и уретрой. Оба компонента выполнялись из смеси латекса и силикона, а также специального полимера для придания тренажеру наиболее приближенных к данным органам свойств эластичности и упругости. Авторы отмечают пользу данного решения для обеспечения молодым специалистам необходимого опыта перед самостоятельным выполнением данного этапа [44].

## ОБСУЖДЕНИЕ

С момента своего появления в 80-х годах 3D-печать в настоящее время активно используется во многих отраслях медицины. Точное соответствие всем анатомическим особенностям позволяет печатным моделям более детально передавать особенности патологии и предстоящей операции пациентам, а также обеспечивает лучшую предоперационную подготовку врачей.

Благодаря таким возможностям трехмерная печать становится неотъемлемой частью дальнейшего развития персонализированной медицины, позволяя лучше адаптировать весь период лечения конкретного пациента. От протезов до хирургических инструментов – потенциально безграничное количество сложных и настраиваемых устройств может быть создано с помощью технологии 3D-печати. Поскольку ее стоимость снижается, а применение этой технологии в медицине продолжает расширяться, использование 3D-принтеров в хирургических центрах будет становиться все более востребованным. Медицинская визуализация и 3D-печать становятся все более интегрированными.

Трехмерные модели будут использоваться для обучения стажеров и руководства хирургами во время операций. Одноразовые хирургические материалы можно будет изготовить на 3D-принтерах перед операцией, что позволит избежать затрат на стерилизацию, транспортировку и хранение. Наконец, 3D-модели, напечатанные с использованием данных, полученных с помощью методов послеоперационной визуализации, могут использоваться для консультирования пациентов и членов их семей по поводу предстоящего хирургического вмешательства, облегчая им принятие решения относительно выбора метода лечения. Хотя 3D-печать открывает большие перспективы для персонализированного здравоохранения, технология все еще находится на начальной стадии своего развития. Прежде чем многие потенциальные области применения 3D-печати станут реальностью в мире персонализированной медицины, необходимо преодолеть несколько проблем. Во-первых, процесс создания STL файлов требует больших затрат времени. Во-вторых, создание высокоточных анатомических моделей или индивидуальных хирургических устройств может потребовать значительных человеческих усилий и поддержки высококвалифицированных дизайнеров. В-третьих, современные 3D-принтеры обладают невысокой скоростью печати, а их применение ограничено стоимостью и типом материала, на котором они способны печатать.

## ВЫВОДЫ

Трехмерная печать – перспективное и востребованное направление, которое позволяет передавать пациентам простым и понятным языком всю необходимую информацию касательно заболевания и необходимого лечения при любой урологической патологии. Точное соответствие печатных моделей анатомии пациента позволяет лучше спланировать операцию даже при наличии трехмерных КТ или МРТ изображений, а возможность держать их в руках во время операции обеспечивает урологов навигацией даже в самых тяжелых ситуациях. ■

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Schubert C, Van Langeveld MC, Donoso LA. Innovations in 3D printing: A 3D overview from optics to organs. *Br J Ophthalmol* 2014;98(2):159–61. <https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2013-304446>.
- Hull CW. Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography. Google Patents 1986.
- Favorito LA. Kidney anatomy: Three dimensional (3D) printed pelvicalyceal system models of the collector system improve the diagnosis and treatment of stone disease. *International Braz J Urol* 2017;(43):381–382. <https://doi.org/10.1590/S1677-5538.IBJU.2017.03.01>.
- Atalay HA, Canat HL, Ülker V, Alkan I, Özkuvanci Ü, Altunrende F. Impact of personalized three-dimensional (3D) printed pelvicalyceal system models on patient information in percutaneous nephrolithotripsy surgery: a pilot study. *Int Braz J Urol* 2017;43(3):470–475. <https://doi.org/10.1590/S1677-5538.IBJU.2016.0441>.
- Guliev B, Komyakov B, Talyshinski A. The use of the three-dimensional printed segmented collapsible model of the pelvicalyceal system to improve residents' learning curve. *Turkish J Urol* 2020;46(3):226–230. <https://doi.org/10.5152/tud.2019.19161>.
- Xu Y, Yuan Y, Cai Y, Li X, Wan S, Xu G. Use 3D printing technology to enhance stone free rate in single tract percutaneous nephrolithotomy for the treatment of staghorn stones. *Urolithiasis* 2019;48(6):509–516. <https://doi.org/10.1007/s00240-019-01164-8>.
- Christiansen AR, Shorti RM, Smith CD, Prows WC, Bishoff JT. Intraoperative utilization of advanced imaging modalities in a complex kidney stone case: a pilot case study. *World J Urol* 2018;36(5):733–743. <https://doi.org/10.1007/s00345-018-2260-4>.
- Kuroda S, Kawahara T, Teranishi J, Mochizuki T, Ito H, Uemura H. A case of allograft ureteral stone successfully treated with antegrade ureteroscopic lithotripsy: use of a 3D-printed model to determine the ideal approach. *Urolithiasis* 2019;47(5):467–471. <https://doi.org/10.1007/s00240-019-01153-x>.
- Ghazi A, Campbell T, Melnyk R, Feng C, Andrusco A, Stone J, et al. Validation of a full-immersion simulation platform for percutaneous nephrolithotomy using three-dimensional printing technology. *J Endourol* 2017;31(12):1314–1320. <https://doi.org/10.1089/end.2017.0366>.
- Li D, Suarez-Ibarrola R, Choi E, Jeong M, Gratzke C, Miernik A, et al. Soft phantom for the training of renal calculi diagnostics and lithotripsy. *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society* 2019:3716–3719. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2019.8856426>.
- Turney BW. A new model with an anatomically accurate human renal collecting system for training in fluoroscopy-guided percutaneous nephrolithotomy access. *J Endourol* 2014;28(3):360–363. <https://doi.org/10.1089/end.2013.0616>.
- Aro T, Lim S, Petrisor D, Koo K, Matlaga B, Stoianovici D. Personalized renal collecting system mockup for procedural training under ultrasound guidance. *J Endourol* 2020;34(5):619–623. <https://doi.org/10.1089/end.2019.0735>.
- Golab A, Smektala T, Krolikowski M, Słojewski M. Percutaneous nephrolithotomy using an individual 3-dimensionally printed surgical guide. *Urol Int* 2018;100(4):485–7. <https://doi.org/10.1159/000446291>.
- Аляев Ю.Г., Сирота Е.С., Безруков Е.А., Али С.Х., Букатов М.Д., Легуновский А.В., Бядретдинов И.Ш. Небиологический 3D-печатный тренажер для освоения чрескожной нефролитотрипсии. *Урология* 2018;(1);10-14. [Alyayev Yu.G., Sirota E.S., Bezrukov E.A., Ali S.H., Bukatov M.D., Letunovskiy A.V., Byadretdinov I.Sh. [Non-biological 3D printed trainer for mastering percutaneous nephrolithotripsy. *Urologiya = Urologiai* 2018;(1);10-14. (In Russian)] <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.18565/urology.2018.1.10-14>]
- Гаджиев Н.К., Бригов В.П., Григорьев В.Е., Мазуренко Д.А., Малхасян В.А., Писарев А.В. с соавт. Создание аутентичной модели чашечно-лоханочной системы почки пациентов для тренировки доступа при перкутанной нефролитотомии при сложных формах камней почек. *Экспериментальная и клиническая урология* 2017;(2):52-56. [Gadzhiev N.K., Britov V.P., Grigorev V.E., Mazurenko D.A., Malhasyan V.A., Pisarev A.V. et al. Creation of an authentic model of the renal pyelocaliceal system of patients for training access for percutaneous nephrolithotomy for complex forms of kidney stones. *Экспериментальная и клиническая урология = Experimental and clinical urology* 2017;(2):52-56. (In Russian)].
- Schmit C, Matsumoto J, Yost K, Alexander A, Ness L, Kurup AN, et al. Impact of a 3D printed model on patients' understanding of renal cryoablation: a prospective pilot study. *Abdom Radiol* 2019;44(1):304–309. <https://doi.org/10.1007/s00261-018-1710-1>.
- Teishima J, Takayama Y, Iwaguro S, Hayashi T, Inoue S, Hieda K, et al. Usefulness of personalized three-dimensional printed model on the satisfaction of preoperative education for patients undergoing robot-assisted partial nephrectomy and their families. *Int Urol Nephrol* 2018;50(6):1061–1066. <https://doi.org/10.1007/s11255-018-1881-2>.
- Bernhard JC, Isotani S, Matsugasaki T, Duddalwar V, Hung AJ, Suer E, et al. Personalized 3D printed model of kidney and tumor anatomy: a useful tool for patient education. *World J Urol* 2016;34(3):337–345. <https://doi.org/10.1007/s00345-015-1632-2>.
- Wake N, Rosenkrantz AB, Huang R, Park KU, Wysock JS, Taneja SS, et al. Patient-specific 3D printed and augmented reality kidney and prostate cancer models: impact on patient education. *3D Print Med* 2019;5(1):40-48. <https://doi.org/10.1186/s41205-019-0041-3>.
- Lee H, Nguyen NH, Hwang S II, Lee HJ, Hong SK, Byun SS. Personalized 3D kidney model produced by rapid prototyping method and its usefulness in clinical applications. *Int Braz J Urol* 2018;44(5):952–957. <https://doi.org/10.1590/S1677-5538.IBJU.2018.0162>.
- Kyung YS, Kim N, Jeong IG, Hong JH, Kim CS. Application of 3-D printed kidney model in partial nephrectomy for predicting surgical outcomes: a feasibility study. *Clin Genitourin Cancer* 2019;17(5):878–884. <https://doi.org/10.1016/j.clgc.2019.05.024>.
- Knoedler M, Feibus AH, Lange A, Maddox MM, Ledet E, Thomas R, et al. Individualized physical 3-dimensional kidney tumor models constructed from 3-dimensional printers result in improved trainee anatomic understanding. *Urology* 2015;85(6):1257–1262. <https://doi.org/10.1016/j.urology.2015.02.053>.
- Porpiglia F, Bertolo R, Checcucci E, Amparore D, Autorino R, Dasgupta P, et al. Development and validation of 3D printed virtual models for robot-assisted radical prostatectomy and partial nephrectomy: urologists' and patients' perception. *World J Urol* 2018;36(2):201–207. <https://doi.org/10.1007/s00345-017-2126-1>.
- Zhang Y, Ge H, Wei, Li N, Chen, Yu C, Fan, Guo H, Feng, Jin S, Hua, et al. Evaluation of three-dimensional printing for laparoscopic partial nephrectomy of renal tumors: a preliminary report. *World J Urol* 2016;34(4):533–537. <https://doi.org/10.1007/s00345-015-1530-7>.
- Maddox MM, Feibus A, Liu J, Wang J, Thomas R, Silberstein JL. 3D-printed soft-tissue physical models of renal malignancies for individualized surgical simulation: a feasibility study. *J Robot Surg* 2018;12(1):27–33. <https://doi.org/10.1007/s11701-017-0680-6>.
- Komai Y, Sugimoto M, Gotohda N, Matsubara N, Kobayashi T, Sakai Y, et al. Patient-specific 3-dimensional printed kidney designed for 4d surgical navigation: a novel aid to facilitate minimally invasive off-clamp partial nephrectomy in complex tumor cases. *Urology* 2016;91:226–233. <https://doi.org/10.1016/j.urology.2015.11.060>.
- Wake N, Rude T, Kang SK, Stifelman MD, Borin JF, Sodickson DK, et al. 3D printed renal cancer models derived from MRI data: application in pre-surgical planning. *Abdom Radiol* 2017;42(5):1501–1509. <https://doi.org/10.1007/s00261-016-1022-2>.
- Silberstein JL, Maddox MM, Dorsey P, Feibus A, Thomas R, Lee BR. Physical models of renal malignancies using standard cross-sectional imaging and 3-dimensional printers: a pilot study. *Urology* 2014;84(2):268–273. <https://doi.org/10.1016/j.urology.2014.03.042>.

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

29. Libby RS, Silberstein JL. Physical model of clear-cell renal carcinoma with inferior vena cava extension created from a 3-dimensional printer to aid in surgical resection: a case report. *Clin Genitourin Cancer* 2017;15(5):867–869. <https://doi.org/10.1016/j.clgc.2017.04.025>.
30. Monda SM, Weese JR, Anderson BG, Vetter JM, Venkatesh R, Du K, et al. Development and validity of a silicone renal tumor model for robotic partial nephrectomy training. *Urology* 2018;114:114–120. <https://doi.org/10.1016/j.urology.2018.01.030>.
31. Fan G, Li J, Li M, Ye M, Pei X, Li F, et al. Three-dimensional physical model-assisted planning and navigation for laparoscopic partial nephrectomy in patients with endophytic renal tumors. *Sci Rep* 2018;8(1):103–109. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-19056-5>.
32. Belenchón I, Ruíz CB, Ciriza G, Dos Santos GV, Rivas González JA, García C, et al. How to obtain a 3D printed model of renal cell carcinoma (RCC) with venous tumor thrombus extension (VTE) for surgical simulation (phase I NCT03738488). *Updates Surg* 2020;72(4):1237–1246. <https://doi.org/10.1007/s13304-020-00806-6>.
33. Golab A, Smektala T, Kaczmarek K, Stamirowski R, Hrab M, Słojewski M. Laparoscopic Partial Nephrectomy Supported by Training Involving Personalized Silicone Replica Poured in Three-Dimensional Printed Casting Mold. *J Laparoendosc Adv Surg Tech* 2017;27(4):420–422. DOI: 10.1089/lap.2016.0596.
34. Jian C, Shuai Z, Mingji Y, Kan L, Zhizhong L, Weiqing H, et al. Evaluation of three-dimensional printing assisted laparoscopic cryoablation of small renal tumors: a preliminary report. *Urol J* 2020;3:42–47. <https://doi.org/10.22037/uj.v0i0.5541>.
35. Saba P, Belfast E, Melnyk R, Patel A, Kashyap R, Ghazi A. Development of a high-fidelity robot-assisted kidney transplant simulation platform using three-dimensional printing and hydrogel casting technologies. *J Endourol* 2020;34(10):1088–1094. <https://doi.org/10.1089/end.2020.0441>.
36. Javan R, Herrin D, Tangestanipoor A. Understanding spatially complex segmental and branch anatomy using 3D printing: liver, lung, prostate, coronary arteries, and circle of Willis. *Acad Radiol* 2016;23(9):1183–1189. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2016.04.010>.
37. Wu HH, Priester A, Khoshnoodi P, Zhang Z, Shakeri S, Afshari Mirak S, et al. A system using patient-specific 3D-printed molds to spatially align in vivo MRI with ex vivo MRI and whole-mount histopathology for prostate cancer research. *J Magn Reson Imaging* 2019;49(1):270–279. <https://doi.org/10.1002/jmri.26189>.
38. Wang Y, Gao X, Yang Q, Wang H, Shi T, Chang Y, et al. Three-dimensional printing technique assisted cognitive fusion in targeted prostate biopsy. *Asian J Urol* 2015;2(4):214–219. <https://doi.org/10.1016/j.ajur.2015.09.002>.
39. Chandak P, Byrne N, Lynch H, Allen C, Rottenberg G, Chandra A, et al. Three-dimensional printing in robot-assisted radical prostatectomy – an Idea, Development, Exploration, Assessment, Long-term follow-up (IDEAL) Phase 2a study. *BJU Int* 2018;122(3):360–361. <https://doi.org/10.1111/bju.14189>.
40. Jomoto W, Tanooka M, Doi H, Kikuchi K, Mitsue C, Yamada Y, et al. Development of a three-dimensional surgical navigation system with magnetic resonance angiography and a three-dimensional printer for robot-assisted radical prostatectomy. *Cureus* 2018;10(1):7–11. <https://doi.org/10.7759/cureus.2018>.
41. Ebbing J, Jäderling F, Collins JW, Akre O, Carlsson S, Höijer J, et al. Comparison of 3D printed prostate models with standard radiological information to aid understanding of the precise location of prostate cancer: A construct validation study. *PLoS One* 2018;13(6)... <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199477>.
42. DeZeeuw J, O'Regan NB, Goudie C, Organ M, Dubrowski A. Anatomical 3D-Printed silicone prostate gland models and rectal examination task trainer for the training of medical residents and undergraduate medical students. *Cureus* 2020;12(7)... <https://doi.org/10.7759/cureus.9020>.
43. Darr C, Finis F, Wiesenfarth M, Giganti F, Tschirdewahn S, Krafft U, et al. Three-dimensional magnetic resonance imaging-based printed models of prostate anatomy and targeted biopsy-proven index tumor to facilitate patient-tailored radical prostatectomy—a feasibility study. *Eur Urol Oncol* 2020. Epub ahead of print. <https://doi.org/10.1016/j.euo.2020.08.004>.
44. Wong NC, Hoogenes J, Guo Y, Quantz MA, Matsumoto ED. Techniques: Utility of a 3D printed bladder model for teaching minimally invasive urethrosesal anastomosis. *Can Urol Assoc J* 2017;11(7):321–322. <https://doi.org/10.5489/auaj.4262>.

## Сведения об авторах:

Гулиев Б.Г. – д.м.н., профессор кафедры урологии Северо-Западного государственного медицинского университета имени И.И. Мечникова, руководитель Центра урологии с робот-ассистированной хирургией Мариинской больницы; Санкт-Петербург, Россия; [gulievbg@mail.ru](mailto:gulievbg@mail.ru); РИНЦ AuthorID 601703

Комяков Б.К. – д.м.н., профессор, заведующий кафедрой урологии Северо-Западного государственного медицинского университета имени И.И. Мечникова; Санкт-Петербург, Россия; [komyakovbk@mail.ru](mailto:komyakovbk@mail.ru); РИНЦ AuthorID 571741

Талышинский А.Э. – ординатор кафедры урологии Северо-Западного государственного медицинского университета имени И.И. Мечникова; Санкт-Петербург, Россия; [ali-ma@mail.ru](mailto:ali-ma@mail.ru); РИНЦ AuthorID 1097817

## Вклад авторов:

Гулиев Б.Г. – дизайн исследования, написание текста статьи, 35 %  
Комяков Б.К. – определение научного интереса, 35%  
Талышинский А.Э. – литературный обзор, написание текста статьи, 30%

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

**Финансирование:** Исследование проведено без спонсорской поддержки.

**Статья поступила:** 25.04.21

**Результаты рецензирования:** 15.05.21

**Исправления получены:** 11.06.21

**Принята к публикации:** 22.06.21

## Information about authors:

Guliev B.G. – Dr. Sc., Professor of the Department of Urology of the North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Head of the Center for Urology with Robot-Assisted Surgery, Mariinsky Hospital; St. Petersburg, Russia; [gulievbg@mail.ru](mailto:gulievbg@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-2359-6973>

Komyakov B.K. – Dr. Sc., Professor, Head of the Department of Urology, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov; St. Petersburg, Russia; [komyakovbk@mail.ru](mailto:komyakovbk@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-8606-9791>

Talyshinskii A.E. – postgraduate student of Department of Urology, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, St. Petersburg; Russia; [ali-ma@mail.ru](mailto:ali-ma@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-3521-8937>

## Authors' contributions:

Guliev B.G. – research design, writing the text of the article, 35%  
Komyakov B.K. – definition of scientific interest, 35%  
Talyshinskii A.E. – literary review, writing the text of the article, 30%

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

**Financing.** The study was performed without external funding.

**Received:** 25.04.21

**Peer review:** 15.05.21

**Corrections received:** 11.06.21

**Accepted for publication:** 22.06.21