

Создание аутентичной модели чашечно-лоханочной системы почки пациентов для тренировки доступа при перкутанной нефролитотомии при сложных формах камней почек

Н.К. Гаджиев¹, В.П. Бритов², В.Е. Григорьев¹, Д.А. Мазуренко³, В.А. Малхасян⁴, А.В. Писарев⁵, В.М. Обидняк⁶, Н.С. Тагиров⁷, С.В. Попов⁶, С.Б. Петров¹

¹ ФГБУ «Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины имени А.М. Никифорова» Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий

² ФГБУ ВО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт»

³ Европейский медицинский центр ЕМС

⁴ ГБОУ ВПО «Московский государственный медико-стоматологический университет имени А.И. Евдокимова» Минздрава России

⁵ ФГБУ «Санкт-Петербургский многопрофильный центр» Минздрава России

⁶ СПбГБУЗ «Клиническая больница Святителя Луки»

⁷ СПбГБУЗ «Городская больница святой преподобномученицы Елизаветы»

Сведения об авторах:

Гаджиев Н.К. – к.м.н., врач-уролог, отделение урологии. ФГБУ «Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины имени А.М. Никифорова» Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, e-mail: nariman.gadjiev@gmail.com
Gadjiev N.K. – PhD, urologist, Department of Urology, Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine, Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, e-mail: nariman.gadjiev@gmail.com
Бритов В.П. – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой оборудования и робототехники переработки пластмасс, ФГБУ ВО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)», e-mail: Deaf14@rambler.ru
Britov V.P. – Dr. of Engineering Sciences, Professor, Chairman of Equipment and Technology of Plastics Processing, St. Petersburg State Technological Institute (technical university), e-mail: Deaf14@rambler.ru
Григорьев В.Е. – врач-уролог, отделение урологии. ФГБУ «Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины имени А.М. Никифорова» Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, e-mail: vladislav.grigorev@outlook.com
Grigoryev V.E. – PhD, urologist, Department of Urology, Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine, Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, e-mail: vladislav.grigorev@outlook.com
Мазуренко Д.А. – к.м.н., заместитель руководителя. Европейский медицинский центр ЕМС, Урологическая клиника, e-mail: d.a.mazurenko@gmail.com
Mazurenko D.A. – PhD, urologist, St Petersburg Multiprofile Center of Ministry of Health of Russian Federation, e-mail: d.a.mazurenko@gmail.com
Малхасян В.А. – к.м.н., ассистент, кафедра урологии. ГБОУ ВПО «Московский государственный медико-стоматологический университет имени А.И. Евдокимова» Минздрава России, e-mail: vigenmalkhasyan@gmail.com
Malkhasyan V.A. – PhD, urologist, Department of Urology, Moscow State Medical Stomatological University named after A.I. Evdokimov, e-mail: vigenmalkhasyan@gmail.com
Писарев А.В. – врач-уролог, отделение урологии. ФГБУ «Санкт-Петербургский многопрофильный центр» Минздрава России, e-mail: alexey.v.pisarev@gmail.com
Pisarev A.V. – urologist, Department of Urology, St Petersburg Multiprofile Center of Ministry of Health of Russian Federation, e-mail: alexey.v.pisarev@gmail.com
Обидняк В.М. – врач-уролог, отделение урологии. СПбГБУЗ «Клиническая больница Святителя Луки», e-mail: v.obidniak@gmail.com
Obidniak V.M. – urologist, Department of Urology, St Petersburg Clinical Hospital named after St. Luka, e-mail: v.obidniak@gmail.com
Тагиров Н.С. – к.м.н., врач-уролог, СПбГБУЗ «Городская больница святой преподобномученицы Елизаветы», e-mail: ruslana73nair@mail.ru
Tagirov N.S. – PhD, urologist, St. Petersburg St. Elisabeth City Hospital, e-mail: ruslana73nair@mail.ru
Попов С.В. – д.м.н., главный врач, СПбГБУЗ «Клиническая больница Святителя Луки», e-mail: doc.popov@gmail.com
Popov S.V. – Dr. Sc., Head Doctor, St Petersburg Clinical Hospital named after St. Luka, e-mail: doc.popov@gmail.com
Петров С.Б. – д.м.н., профессор, зав. отделением урологии клиники МЧС № 2. ФГБУ «Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины имени А.М. Никифорова» Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, e-mail: petrov-uro@yandex.ru
Petrov S.B. – Dr. Sc., Professor, Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine, Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, e-mail: petrov-uro@yandex.ru

С момента выполнения первой чрескожной нефроскопии E. Rupel и R. Brown в 1941 году перкутанная хирургия претерпела серьезные изменения и сегодня является золотым стандартом в лечении крупных и коралловидных камней почек [1]. Наиболее технически сложной частью перкутанной нефролитотомии (ПНЛ), является выполнение перкутанного доступа к почке. Двумя основными

визуализационными методами сопровождения операции является рентгентелевизионный и ультразвуковой [2]. При сравнении эффективности обоих методов различий выявлено не было [3,4]. Так, во время операции под рентген-контролем для доступа в оптимальную чашечку хирургу необходимо преобразовывать двухмерные рентгеновские снимки в трехмерные, используя ментальные навыки. Предполагается, что хирург, выполнивший меньше 24 операций,

обладает начальным опытом, после выполнения более 60 операций врач является компетентно обученным и при более 100 выполненных операций – является экспертом [5]. Но даже для эксперта в области ПНЛ существуют клинические случаи (большой объем камня, сложная анатомия полостной системы почки), представляющие сложную хирургическую задачу.

В последнее время все чаще используются модифицированные

техники получения доступа с применением гибких уретерореноскопов, однако использование последних значительно увеличивает стоимость самой операции из-за дороговизны инструментов, а также не всегда возможно в силу отсутствия свободного пространства в полостной системе для проведения гибкого инструмента [6,7]. Рядом авторов было описано несколько способов, упрощающих получение перкутанного доступа с использованием технологии трекеров [8,9]. Однако, несмотря на полученный положительный эффект, эти техники не имеют широкого распространения ввиду временных и финансовых затрат. Эти работы подтверждают факт того, что необходимо эффективное решение, позволяющее решить проблему доступа в полостную систему почки при ПНЛ.

До тех пор пока новые технологии не станут обыденностью существует острая необходимость обучения и тренировки хирургов перкутанному доступу. В литературе описаны несколько моделей обучения ПНЛ [6,10]. Для этих целей используются специальные виртуальные тренажеры, ex vivo органы животных и небиологические искусственные модели. Однако каждый из вариантов имеет собственные недостатки. Виртуальные тренажеры слишком дороги, животные модели точно не воспроизводят анатомию чашечно-лоханочной системы (ЧЛС) человека, небиологические модели также экономически невыгодны. Вышеуказанные модели объединяет еще один, но очень важный недостаток – они практически бесполезны в предоперационном планировании у оперируемого пациента со сложной формой мочекаменной болезни (МКБ) и не повторяют индивидуальных анатомических особенностей строения ЧЛС почки конкретного больного.

Попытки создать более эффективные и менее затратные модели для тренировки доступа при перкутанной нефролитотомии сложных форм камней почек привели к соз-

данию точных копий ЧЛС почки пациентов. Данные модели имеют ряд преимуществ: дешевизну, быстроту изготовления, и, самое главное, позволяют хирургу на предоперационном этапе подробно изучить анатомию полостной системы почки, совершить тренировку выполнения перкутанного доступа на модели с учетом особенностей конкретного больного и выбрать оптимальную чашечку для пункции до непосредственного момента ПНЛ.

Целью данного проекта была разработка анатомически точной, небиологической модели чашечно-лоханочной системы почки и верхнего сегмента мочеточника пациентов для обучения и тренировки доступа при перкутанной нефролитотомии под рентген-контролем у пациентов со сложными формами мочекаменной болезни.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Создание аутентичной модели ЧЛС почки пациентов для тренировки доступа при перкутанной нефролитотомии (приоритетная заявка на изобретение № 2017105680 (010092) от 20.02.2017) [11] условно можно разделить на следующие этапы:

Этап получения изображений ЧЛС при помощи КТ

Всем пациентам для получения анатомически точной, небиологической модели ЧЛС почки и верхнего сегмента мочеточника выполнялась компьютерная томография с в/в контрастированием на 64-срезовом томографе Somatom Definition AS (Siemens, Germany). Для создания 3D модели ЧЛС почки, поддерживаемой принтерами для 3D печати, полученные снимки при помощи программного обеспечения 3D-DOCTOR (Able Software) преобразовывались из формата DICOM (от англ. Digital Imaging and Communications in Medicine) в формат STL (от англ. Standard Triangulation Language) (рис. 1).

Данный этап выполняется врачом и занимает не более 15 минут. В

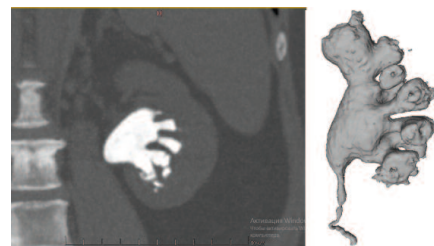


Рис. 1. Преобразование формата DICOM в формат STL

последующем STL файл с моделью ЧЛС почки отправлялся по электронной почте на кафедру оборудования и робототехники переработки пластмасс Санкт-Петербургского Технологического института, где открывался на программном обеспечении 3D принтера (Leapfrog Creatr 2H, Голландия). Все последующие этапы производства модели выполнялись там же.

Этап печати 3D модели

STL файлы распечатывались на 3D принтере (Leapfrog Creatr 2H, Голландия). В качестве полимерного термопластичного материала использовался ABS (акрилонитрил-бутадиенстирольный пластик). Таким образом, создавалась модель полостной системы почки (рис.2) [11].

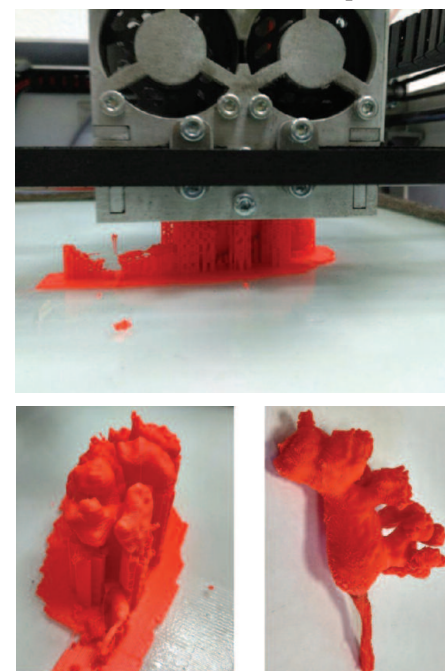


Рис. 2. Печать 3D модели полостной системы почки

Этап создания аутентичной модели чашечно-лоханочной системы почки пациентов для тренировки перкутанного доступа

Создание промежуточной формы

Напечатанная 3D модель ЧЛС почки помещалась в опалубку и заливалась жидкой композицией (силикон) (рис.3А). После отвердевания силикона промежуточная форма разрезалась с извлечением 3D модели. В дальнейшем части формы повторно совмещались между собой, образуя полость идентичную 3D модели, в которую в последующем осуществлялась заливка расплава быстрорастворимых в воде материалов (сорбит, ксилит, сплав солей и т.д.). Затем из промежуточной формы извлекалась отвердевшая модель ЧЛС почки (рис. 3Б)

Создание окончательной формы

3D модель ЧЛС почки из затвердевающих и быстрорастворимых материалов помещалась в опалубку и заливалась полимерной композицией с твердостью от 15 до 20 ед. по А. Шор (рис. 3В). Для из-

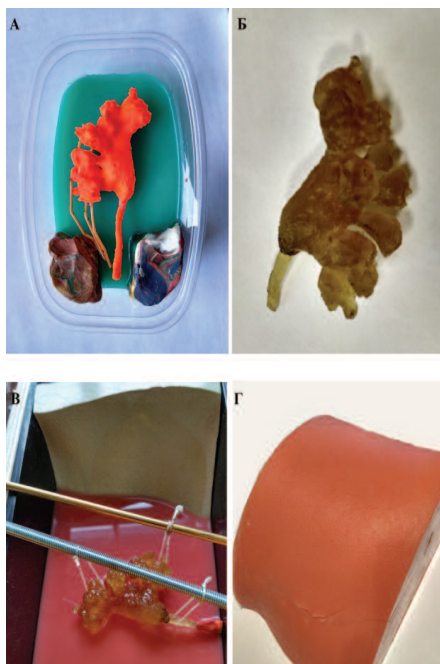


Рис. 3. Этапы создания промежуточной и окончательной форм. (А - напечатанная на принтере 3D модель ЧЛС почки в опалубке в процессе заливки силиконом для получения промежуточной формы; Б - отвердевшая модель ЧЛС почки из смеси быстрорастворимых материалов; В - 3D модель ЧЛС почки из затвердевающих и быстрорастворимых материалов в опалубке в процессе заливки силиконом; Г - окончательный вид модели)

влечения 3D модели ЧЛС почки из затвердевающих и быстрорастворимых материалов из формы, использовалась обычная теплая вода, вследствие чего получалась полая полостная система абсолютно идентичная полостной системе пациента (рис. 3Г).

В последующем полученная силиконовая форма доставлялась в отделение урологии клиники ВЦЭРМ им А.М. Никифорова. В условиях рентген-кабинета модель почки наполнялась контрастным веществом и оперирующим урологом проводилась отработка навыка по выполнению доступа. Полученный опыт применялся в операционной с конкретным пациентом (рис. 4).

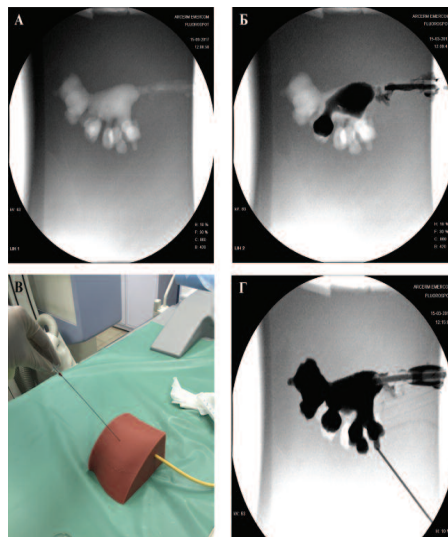


Рис. 4. Тренировка перкутанного доступа перед операцией (А - Рентгеноскопия 3D модели ЧЛС почки; Б - Рентгеноскопия с контрастированием полости 3D модели ЧЛС почки; В - отработка пункции полосной системы под рентгенологическим контролем; Г - пункция нижней чашечки 3D модели ЧЛС почки)

РЕЗУЛЬТАТЫ

Данная аутентичная силиконовая модель ЧЛС почки и верхнего сегмента мочеточника пациентов позволяет выполнять тренировку перкутанного доступа под рентген-контролем с использованием рутинного в клинической практике оборудования. Экономические затраты на изготовление одной силиконовой модели достаточно низкие и составляют порядка 6 000 рублей,

однако в данной цене не учитываются затраты на покупку программного обеспечения и оборудования. Время, затрачиваемое на создание полноценной тренировочной модели, составляет 1-2 рабочих дня. От 2 до 4 часов занимает печать 3D модели, от 4 до 5 часов необходимо для затвердевания силиконовой модели и 3D модели ЧЛС почки из плавких и быстрорастворимых материалов из формы. Расстворение наполнителя 3D модели ЧЛС почки при помощи теплой воды не превышает 2 часов.

При обучении и тренировках каждая модель может быть использована много раз, т.к. материал, из которого сделана модель, выдерживает от 20 до 30 попыток пунктирования без вытекания контраста. При использовании данной модели воспроизводится ЧЛС почки, полностью отражающая индивидуальные особенности анатомии оперируемого пациента. Так, в этой модели можно успешно выбрать оптимальную чашечку для доступа и выполнить ее пункцию под рентген-контролем. Данная модель уже использовалась в Российско-американском интенсивном курсе по перкутанной хирургии мочекаменной болезни в Санкт-Петербурге в 2015 и 2016 годах и получила высокие оценки у врачей-урологов.

ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно клиническим рекомендациям Европейской и Российской ассоциаций урологов ПНЛ является первой линией лечения конкрементов почек более 2 см [12,13]. Успех ПНЛ в первую очередь зависит от знания анатомии полостной системы почки и точности выполнения перкутанного доступа [8]. Разработанный нами способ получения модели позволяет улучшить результаты ПНЛ.

Возможности быстро конвертировать двухмерные КТ изображения в 3D модель виртуально на мониторе или же распечатать на 3D

принтере, способствуют лучшему восприятию анатомии ЧЛС и ориентации чашечек, чем обычные изображения, полученные при рентгенологическом или ультразвуковом исследовании. Строение ЧЛС почки варьирует у каждого человека и некоторые авторы предполагают, что 3D модель может помочь хирургу в планировании безопасного перкутанного доступа, ускоряя идентификацию расположения задних и передних чашечек по отношению к лоханке [14]. В целом, идея биомоделирования не нова и уже успешно используется в планировании и обучении в других областях медицины, таких как ортопедия и травматология, краниофасциальная реконструктивная пластическая хирургия и нейрохирургия [9,15,16].

Наше исследование описывает лишь один из немногих путей, применения современных технологий в эндоурологии. Недавний стремительный прогресс в программном обеспечении и производстве 3D принтеров позволяет обеспечивать центры, специализирующиеся на лечении больных мочекаменной болезнью, этими полезными моделями. Но для этого необходимо активное сотрудничество между врачами и специалистами в обла-

сти компьютерного моделирования, технологического оборудования и полимерного машиностроения. В нашем случае, мы наладили плодотворное научное партнерство с Санкт-Петербургским государственным технологическим институтом, кафедрой оборудования и робототехники переработки пластмасс.

На сегодняшний день известны несколько моделей для обучения и тренировки ПНЛ [5,17,18]. Эти модели можно разделить на три основные категории: виртуальные тренажеры, искусственные модели и *ex vivo* органы животных. Виртуальные тренажеры очень дороги (в среднем цена тренажера составляет ~ \$100 000), представленные на рынке искусственные модели также не дешевы и зачастую непригодны после первого использования (цена ~ \$1 000). Использование *ex vivo* органов животных, к сожалению, не дает адекватного представления об анатомии ЧЛС человека.

Главные положительные особенности предложенной аутентичной модели ЧЛС почки пациентов, созданной по нашей технологии, заключаются в том, что учитываются анатомические особенности строения верхних мочевых путей конкретного пациента, модели можно

использовать несколько раз, стоимость производства в десятки раз ниже других моделей, а срок изготовления не превышает двух рабочих дней. Вышеуказанные плюсы делают данную модель незаменимой в повседневной практике хирурга, специализирующегося на хирургическом лечении сложных форм МКБ – ведь непрерывный процесс обучения, является залогом его конкурентоспособности и успеха.

Однако пока есть и нерешенные задачи. В будущем мы планируем добавить к данным формам модель ребер и близлежащих органов, сделав процесс обучения еще более реалистичным. Также планируется реализация возможности наработки навыка доступа под ультразвуковым контролем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование аутентичной модели почки пациента с использованием 3D печати в предоперационном периоде обеспечивает наработку навыка выполнения доступа под рентген-контролем, что в свою очередь может повысить точность, эффективность и безопасность доступа в чашечку при перкутанной нефролитотомии у реального пациента. ■

Ключевые слова: перкутанная нефролитотомия, моделирование чашечно-лоханочной системы почки, тренировка урологов, урологический тренажер.

Key words: percutaneous nephrolithotomy, modeling of the calyx-pelvis kidney system, training of urologists, urological simulator.

Резюме:

Цель. Воспроизведение анатомически точной небиологической модели чашечно-лоханочной системы (ЧЛС) почки и верхнего сегмента мочеточника пациентов для обучения и предоперационной тренировки доступа при перкутанной нефролитотомии под рентгеновским контролем у пациентов со сложными формами почечных камней.

Материалы и методы. Всем пациентам для получения анатомически точной небиологической модели ЧЛС почки и верхнего

Summary:

Creating of the authentic model of human renal collecting system for training percutaneous nephrolithotomy acces in cases of complex kidney stones

N.K. Gadzhiev, V.P. Britov, V.E. Grigorev, D.A. Mazurenko, V.A. Malhasyan, A.V. Pisarev, V.M. Obidnyak, N.S. Tagirov, S.V. Popov, S.B. Petrov

Purpose. The objective was to develop an anatomically accu-

сегмента мочеточника выполнялась компьютерная томография с в/в контрастированием. Для создания 3D печатной модели ЧЛС почки полученные снимки при помощи специального программного обеспечения преобразовывались из формата DICOM (от англ. Digital Imaging and Communications in Medicine) в формат, поддерживаемый принтерами для 3D печати - STL (от англ. Standard Triangulation Language). Напечатанная 3D модель ЧЛС почки заливалась силиконом, после чего удалялась путем растворения, в результате получалась анатомически точная силиконовая полая форма ЧЛС почки и верхнего сегмента мочеточника. В последующем полученная форма наполнялась контрастным веществом и использовалась хирургом для обучения и тренировки доступа под рентген-контролем при перкутанной нефролитотомии, а также для облегчения внутривидеальной навигации во время операции.

Результаты. Создание аутентичной модели чашечно-лоханочной системы почки и верхнего сегмента мочеточника пациентов для тренировки перкутанного доступа при сложных формах камней почек оказалось полезным дополнением в предоперационном планировании перкутанной нефролитотомии. Данная модель полностью воспроизводит ЧЛС почки и отражает индивидуальные особенности анатомии оперируемого пациента. При использовании данной модели можно успешно выбрать оптимальную чашечку и отработать навык выполнения доступа в нее под рентген-контролем без риска для пациента.

Заключение. Использование предложенной технологии изготовления небиологической модели почки конкретного пациента служит инструментом для обучения и тренировки доступа под рентген-контролем при перкутанной нефролитотомии. В свою очередь, опыт полученный хирургом, может повысить точность, эффективность и безопасность доступа при перкутанной нефролитотомии непосредственно во время операции у реального пациента.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

rate, nonbiologic, cost-effective model of renal collecting system and upper segment of ureter for training PCNL access under fluoroscopic guidance in cases of complex kidney stones.

Methods: Patients with complex kidney stones underwent computed tomography with enhancing. Then their images of a collecting systems and upper segments of ureter were extracted from DICOM and reformatted to STL using specialized software and printed in a water-soluble plastic on a three-dimensional (3D) printer to create anatomically accurate human renal collecting system. Obtained models were embedded in silicone and then the models were removed to leave a hollow collecting system within a silicone model. Before patients operation these PCNL models were filled with contrast medium and sealed for training PCNL access under fluoroscopic guidance.

Results: Anatomically accurate human renal collecting system models are useful complement in planning PCNL access. The PCNL access training model reproduces variety, complexity, individual features and anatomically accurate of human collecting systems. In this model PCNL access under fluoroscopic guidance of needed calix can be practiced successfully.

Conclusions: Application of this silicone PCNL training model provides better understanding of collecting system and serves as training model for PCNL access under fluoroscopic guidance. In addition experience obtained by a surgeon may increase accuracy, efficiency and safety of PCNL access

Authors declare lack of the possible conflicts of interests.

ЛИТЕРАТУРА

- Rupel E, Brown R. Nephroscopy with removal of stone following nephrostomy for obstructive calculous anuria. *J Urol* 1941;47:177-82.
- Basiri A, Ziaee AM, Kianian HR, Mehrabi S, Karami H, Moghaddam SM. Ultrasonographic versus fluoroscopic access for percutaneous nephrolithotomy: a randomized clinical trial. *J Endourol* 2008;22(2):281-84. doi:10.1089/end.2007.0141.
- Agarwal DK, Khaira HS, Clarke D, Tong R. Modified transurethral technique for the management of distal ureter during laparoscopic assisted nephroureterectomy. *Urology* 2008;71(4):740-43. doi:10.1016/j.urology.2007.11.048.
- Andonian S, Scoffone CM, Louie MK, Gross AJ, Grabe M, Daels FP, et al. 2013. Does imaging modality used for percutaneous renal access make a difference? A matched case analysis. *J Endourol* 2013;27(1):24-28. doi:10.1089/end.2012.0347.
- de la Rosette JJ, Laguna MP, Rassweiler JJ, Conort P. Training in percutaneous nephrolithotomy? A critical review. *Eur Urol* 2008;54(5):994-1003. doi:10.1016/j.eururo.2008.03.052.
- Valdivia JG, Scarpa RM, Duvdevani M, Gross AJ, Nadler RB, Nutahara K, et al. Supine versus prone position during Percutaneous nephrolithotomy: a report from the clinical research office of the endourological society percutaneous nephrolithotomy global study. *J Endourol* 2011;25(10):1619-25. doi:10.1089/end.2011.0110.
- Atkinson CJ1, Turney BW, Noble JG, Reynard JM, Stoneham MD. Supine vs prone percutaneous nephrolithotomy: an anaesthetist's view. *BJU Int* 2011;108(3):306-8. doi:10.1111/j.1464-410X.2011.10488.x.
- Müller M, Rassweiler MC, Klein J, Seitel A, Gondan M, Baumhauer M, et al. Mobile augmented reality for computer-assisted percutaneous nephrolithotomy. *Int J Comput Assist Radiol Surg*. 2013;8(4):663-75. doi:10.1007/s11548-013-0828-4.
- Rodrigues PL, Vilaça JL, Oliveira C, Cicione A, Rassweiler J, Fonseca J, et al. Collecting system percutaneous access using real-time tracking sensors: first pig model in vivo experience. *J Urol* 2013;90(5):1932-37. doi:10.1016/j.juro.2013.05.042.
- Schout BM, Hendriks AJ, Scherpbier AJ, Bemelmans BL. Update on training models in endourology: a qualitative systematic review of the literature between January 1980 and April 2008. *Eur Urol* 2008;54(6):1247-61. doi:10.1016/j.eururo.2008.06.036.
- Гаджиев Н.К., Бритов В.П., Петров С.Б., и др. Тренажер урологический. Приоритетная заявка о выдаче патента на полезную модель РФ № 2017105680/ 20.02.2017.
- Türk C., Petřík A., Sarica K., Seitz C., Skolarikos A., Straub M., Knoll T. EAU Guidelines on Urolithiasis. *Eur Assoc Urol*. 2015;69:475-82. doi:10.1159/00049803
- Григорьев Н.А., Семенякин И.В., Малхасян В.А., Гаджиев Н.К., Руденко В.И. Мочекаменная болезнь. *Урология* 2016;(2S):37-69.
- Radecka E, Brehmer M, Holmgren K, Palm G, Magnusson P, Magnusson A. Pelviccaliceal biomodeling as an aid to achieving optimal access in percutaneous nephrolithotripsy. *J Endourol* 2006;20(2):92-101. doi:10.1089/end.2006.20.92.
- Yau YY, Arvier JF, Barker TM. Technical note: maxillofacial biomodelling--preliminary result. *Br J Radiol*. 1995 May;68(809):519-23. doi:10.1259/0007-1285-68-809-519.
- Byram IR, Khanna K, Gardner TR, Ahmad CS. Characterizing bone tunnel placement in medial ulnar collateral ligament reconstruction using patient-specific 3-dimensional computed tomography modeling. *Am J Sports Med*. 2013;41(4):894-902. doi:10.1177/0363546513477377.
- Stern J, Zeltser IS, Pearle MS. Percutaneous renal access simulators. *J Endourol* 2007;1(3):270-73. doi:10.1089/end.2007.9981.
- Mishra S, Jagtap J, Sabnis RB, Desai MR. «Training in percutaneous nephrolithotomy». *Curr Opin Urol* 2013;23(2):147-51. doi:10.1097/MOU.0b013e32835d4e37.

REFERENCES (11, 3)

- Gadzhiev N.K., Britov V.P., Petrov S.B., i dr. Trenazher urologicheskii. [Urological simulator]. Prioritetnaya zayavka o vyidache patenta na poleznuyu model RF N 2017105680/ 20.02.2017. (In Russian)
- Grigorev N.A., Semenyakin I.V., Malhasyan V.A., Gadzhiev N.K., Rudenko V.I. Mochekamennaya bolezni. [Urolithiasis]. *Urologiya* 2016;(2S):37-69. (In Russian)