

УДК 616.613-003.7-089.879:377.169.3
<https://doi.org/10.21886/2308-6424-2022-10-1-5-14>



Небиологический тренажёр с регулируемым положением почки и костных ориентиров для обучения пункционному доступу при перкутанной нефролитотрипсии

© Бахман Г. Гулиев^{1, 2}, Али Э. Талышинский¹, Евгений О. Стецки¹,
Мурад У. Агагюлов¹

¹ ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова»
Минздрава России

191015, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Кирочная, д. 41

² Центр урологии с робот-ассистированной хирургией Мариинской больницы

191014, Россия, г. Санкт-Петербург, пр-т Литейный, д. 56

Аннотация

Введение. Небиологические тренажёры перкутанной нефролитотрипсии (ПНЛ) далеки от реальной анатомии человека и нацелены в первую очередь на развитие навыка пункции чашечно-лоханочной системы (ЧЛС) без возможности имитации различных интраоперационных сценариев.

Цель исследования. Описать производство и первичную апробацию тренажёра для пункции ЧЛС почки под ультразвуковым (УЗ)-контролем с произвольным расположением костных ориентиров и модели почки, а также использование ретроградного контроля при пункции ЧЛС.

Материалы и методы. В данной работе на тренажёре обучали пять клинических ординаторов и двух урологов. Каждый включённый в работу участник выполнял пункцию (до зафиксированного вхождения в полость почки через малую чашечку) 5 раз с помощью иглы 18 калибра под УЗ-наведением. Проводилось сравнение количества попыток формирования доступа, длительность пункции и её корректность (прокол в малую чашечку через сосочек), а также правильность определения таргетной чашечки. Траектория иглы оценивалась ретроградно с помощью полужесткого уретероскопа, а анатомическая идентификация выбранной чашечки — с помощью разработанного нами мобильного приложения.

Результаты. Общее количество попыток составило 49 и 14 среди ординаторов и врачей, соответственно. Средняя длительность пункционного этапа у них равнялась 25,2 и 12,0 секунд соответственно. В 9 из 25 случаев ординаторы смогли правильно проанализировать визуальную УЗ-информацию для определения таргетной чашечки. При введении контрастного вещества в ЧЛС после 63 пункций затека контраста обнаружено не было, что указывает на длительную пригодность предложенного тренажёра.

Заключение. Предложенный тренажёр для пункции почки позволяет развивать все необходимые навыки, является экономичным для обучения молодых урологов технике перкутанного доступа.

Ключевые слова: перкутанная нефролитотрипсия; 3D-печать; тренажёр пункции почки; обучение ординаторов; мобильная навигация

Аббревиатуры: перкутанная нефролитотрипсия (ПНЛ); чашечно-лоханочная система (ЧЛС); полилактид (polylactide — PLA)

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов: Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

✉ **Корреспондирующий автор:** Бахман Гидаятович Гулиев; e-mail: gulievbg@mail.ru

Поступила в редакцию: 24.12.2021. **Принята к публикации:** 08.02.2022. **Опубликована:** 26.03.2022.

Для цитирования: Гулиев Б.Г., Талышинский А.Э., Стецки Е.О., Агагюлов М.У. Небиологический тренажёр с регулируемым положением почки и костных ориентиров для обучения пункционному доступу при перкутанной нефролитотрипсии. *Вестник урологии*. 2022;10(1):5-14. DOI: 10.21886/2308-6424-2022-10-1-5-14.

The non-biological simulator with the ability to regulate the position of the kidney and bone landmarks: use for training puncture access in percutaneous nephrolithotripsy

© Bakhman G. Guliev^{1,2}, Ali E. Talyshinskiy¹, Evgeniy O. Stetsik¹,
Murad U. Agagyulov¹

¹ Mechnikov North-Western State Medical University
Russian Federation, 191015, St. Petersburg, 41 Kirochnaya St.

² St. Petersburg Mariinsky Hospital – Urology Centre with Robot-assisted Surgery
Russian Federation, 191014, St. Petersburg, 56 Liteiny Ave.

Abstract

Introduction. The non-biological simulators presented in the literature are far from the real human anatomy and are primarily aimed at developing the skill of the pyelocalyceal system (PCS) puncture without the possibility of imitating various intraoperative scenarios.

Objective. To describe the manufacturing and initial testing of the ultrasound-guided PCS puncture simulator with arbitrary placement of bone landmarks and a kidney model, along with the use of a retrograde view during PCS puncture.

Materials and methods. This study included training for 5 resident and 2 urologists. Each participant performed the puncture 5 times using an 18-gauge ultrasound-guided needle. A comparison was made between the number of attempts to form access, the duration of the puncture and its correctness (puncture into the small calyx through the papilla), as well as the correctness of determining the target calyx. The trajectory of the needle was retrogradely assessed using a semi-rigid ureteroscope, and the anatomical identification of the selected calyx was assessed using our mobile application.

Results. The total number of attempts was 49 and 14 among residents and urologists, respectively. The average duration of the puncture step was 25.2 and 12.0 seconds. In 9/25 cases, residents were able to correctly analyze visual ultrasound information to determine the target calyx. When a contrast agent was injected into the PCS after 63 punctures, no contrast leakage was found.

Conclusion. The proposed PCS puncture simulator allows to develop all the necessary skills for cost-effective training of young urologists in the technique of percutaneous access.

Keywords: percutaneous nephrolithotripsy; 3D-printing; kidney puncture simulator; training; residents; mobile navigation

Abbreviations: percutaneous nephrolithotripsy (PCNL); pyelocalyceal system (PCS); polylactide — PLA

Financing. The study was not sponsored. **Conflict of interests.** The authors declare no conflicts of interest.

Authors' contribution: All authors made an equivalent contribution to the preparation of the manuscript

✉ **Corresponding author:** Bakhman Gidayatovich Guliyev; e-mail: gulievbg@mail.ru

Received: 12/24/2021. **Accepted:** 02/08/2022. **Published:** 03/26/2022.

For citation: Guliyev B.G., Talyshinskiy A.E., Stetsik E.O., Agagyulov M.U. The non-biological simulator with the ability to regulate the position of the kidney and bone landmarks: use for training puncture access in percutaneous nephrolithotripsy. *Vestn.Urol.* 2022;10(1):5-14. (In Russ.). DOI: 10.21886/2308-6424-2022-10-1-5-14.

Введение

Перкутанная нефролитотрипсия (ПНЛ) считается сложным в освоении эндоурологическим вмешательством, требующим выполнения более 60 операций для достижения достаточного опыта [1]. Среди всех её этапов формирование доступа к полостной системе почки является наиболее затруднительным и связано со значительным риском ассоциированных осложнений, частота которых варьируется от 12,5% до 30,3% [2]. Данный факт особенно проблематичен у молодых специалистов в связи с трудностью развития навыка определения тканей по степени их сопротивления при выполнении пункции и ассоциирование тактильных ощущений с визуальной информацией. Современная тенденция решения вышеупомянутых про-

блем заключается в разработке различных тренажёров, которые в зависимости от технологии исполнения разделяются на следующие группы: на основе виртуальной реальности, биологические с использованием животных тканей и органов, небиологические с применением различных материалов для имитации реальной анатомии ЧЛС почки и окружающих структур. Каждая группа обладает своими преимуществами и недостатками. Так, тренажёры на основе виртуальной реальности не требуют повторного изготовления и позволяют имитировать картину С-дуги, при этом их высокая стоимость является основным лимитирующим фактором для активного внедрения в стационары. Биологические тренажёры передают максимально приближенное ощущение

при пункции почки, а благодаря мультичашечному строению ЧЛС почки некоторых животных возможна отработка различных сценариев ПНЛ. Однако их длительное хранение и перевозка затруднительны в связи с разложением органов. Небиологические тренажёры являются наиболее доступными и варибельными в исполнении, особенно после популяризации желатина, позволяющего его повторное использование. Тем не менее, описанные в литературе тренажёры данного типа далеки от реальной анатомии человека и нацелены в первую очередь на развитие навыка пункции ЧЛС.

Цель исследования: описание производства и первичной апробации тренажёра для пункции полостной системы почки под УЗ-контролем, позволяющего реализовать различные анатомические вариации благодаря произвольному расположению костных ориентиров и модели почки, а также использование ретроградного контроля пункции при обучении ординаторов.

Материалы и методы

Изображения КТ-урографии пациента с камнем лоханки левой почки 2,3 см были получены после его информированного согласия. Для анализа КТ изображений использовали программное обеспечение DICOM Viewer («RadiAnt», Poznań, Poland). После трёхмерной реконструкции экскреторной фазы производили выделение следующих структур для их последующей пе-

чати: 11-е и 12-е ипсилатеральные ребра, фрагмент крыла подвздошной кости, ЧЛС поражённой почки. Далее были выделены левая половина поясничной области и паренхима почки для формирования соответствующих форм для заливки. Вышеперечисленные структуры были сохранены в формате STL и переданы биоинженеру для их подготовки к 3D-печати. В качестве материала для печати костных структур и контура тела использовали полилактид (PLA). Последний состоит из следующих частей: нижнемедиальной, верхнелатеральной и передней стенки, выполненные из металла для быстрого остывания желатина по типу кондукции. На медиальной стенке получаемой формы располагается металлическая пластина для мануальной фиксации костных структур с помощью магнитов. Форма для заливки почки также выполнена из PLA материала, в неё помещали водорастворимую напечатанную ЧЛС почки (рис. 1).

Для достижения наилучшей имитации свойств паренхимы почки использовали мультикомпонентный силикон с плотностью компонентов в диапазоне 0 – 30 Шор. Мочеточником послужил катетер Maleco 20 Ch.

Подбор состава желатина. Состав желатина для заполнения модели тела напрямую зависит от экзогенности УЗ-картины и ощущения при пункции. Интересной работой в данном направлении является публикация Н. Гаджиева и соавт. [3], чьей



Рисунок 1. Напечатанные формы для заливки тела металлической пластиной на медиальной стенке для фиксации ребер и фрагмента подвздошной кости (А) и для заливки почки растворимой чашечно-лоханочной системы почки (В)

Figure 1. Printed molds for embedding the body with a metal plate on the medial wall for fixing the ribs and a fragment of the iliac bone (A) and for embedding the kidney with an in-located soluble pyelocaliceal system (B)

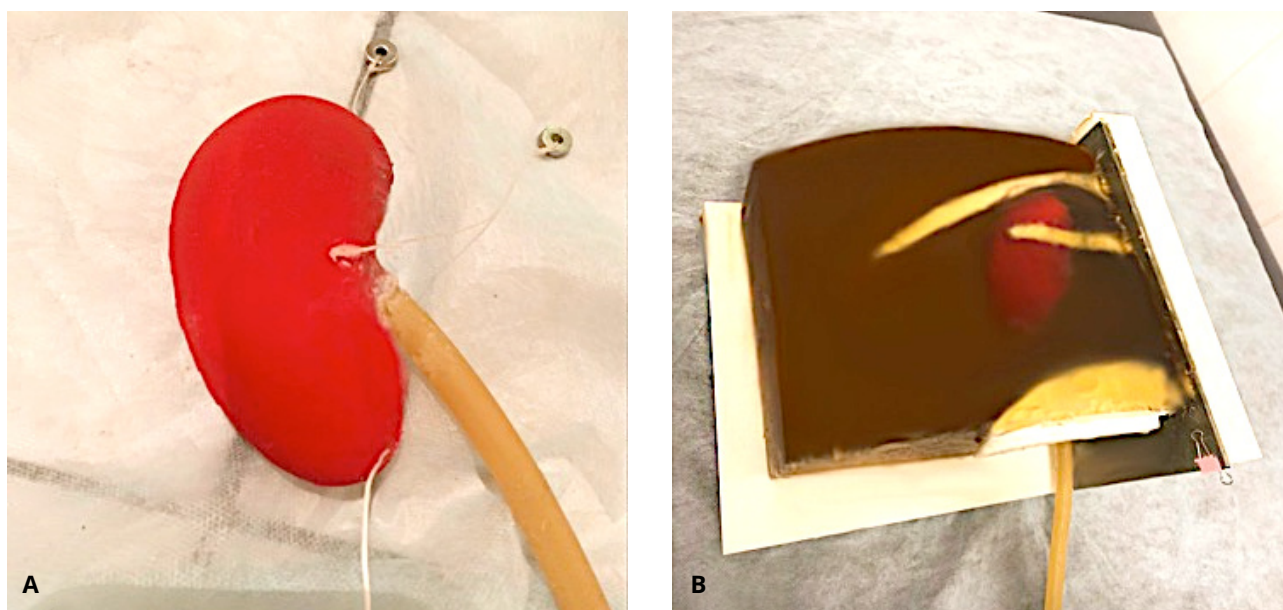


Рисунок 2. Модель почки с установленным катетером Малеко в качестве мочеточника и с нитевыми фиксаторами для определения глубины и расположения почки (А) в тренажёре после заливки и застывания желатина (В)

Figure 2. The resulting kidney model with a Maleco catheter installed as a ureter and with thread fixators to determine the depth and location of the kidney (A) in the kidney puncture simulator after filling and solidification of gelatin (B)

основной целью было не только описание тренажёра для отработки пункции почки по УЗ-контролем, но и подбор состава желатина для его максимальной износостойкости без потери возможности реутилизации. Согласно результатам, наиболее оптимальным является следующее соотношение: глицерин 208 г, вода 0 г, желатин 42 г. Данный состав обеспечивает самостоятельное затягивание пункционных ходов в случае отсутствия критического повреждения, высокую скорость ультразвуковой волны и устойчивость при комнатной температуре. В нашей работе использовали следующий состав желатина: 25% пищевого желатина, 50% глицерина и 25 % воды, что связано с большим объёмом для заливки контура тела (7 литров).

Сборка тренажёра. По КТ снимкам определяли расстояние между 11-м и 12-м рёбрами и крылом подвздошной кости, дистанцию между вышеупомянутыми костными ориентирами и почкой, а также ориентацию расположения последней. С учётом полученных данных на медиальной стенке полости тела располагались костные структуры. Для стабилизации получаемой модели почки в пространстве к её полюсам и медиальному краю были прикреплены нити с магнитами на конце, что позволило определять её ори-

ентацию и глубину положения в тренажёре. После расположения всех компонентов обе стенки формы тела соединяли и располагали вертикально на металлической стенке с последующим заливанием желатина. Готовую композицию помещали в холодильник на 24 часа для застывания (рис. 2).

Апробация тренажёра. В работу было включено 5 ординаторов 1-го и 2-го года (группа 1) и 2 уролога с опытом самостоятельного выполнения ПНЛ более 60 процедур (группа 2). Каждый участник выполнял 5 попыток пункции (считалось количество вхождений в полость почки через сосочек малой чашечки) с помощью иглы 18 калибра под УЗ-наведением.

Проводили сравнение количества попыток формирования доступа к полости почки, длительность пункции и её точность. Наконец, после выполнения пункции участники определяли пунктированную чашечку в соответствии с УЗ-картиной. Для более точной оценки траекторию иглы оценивали ретроградно с помощью полужёсткого уретероскопа, а анатомическую идентификацию выбранной чашечки — с помощью разработанного нами мобильного приложения «InsKid» (Inside Kidney) (рис. 4) [4].

После апробации тренажёра обеими группами в полость почки вводили контрастное

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

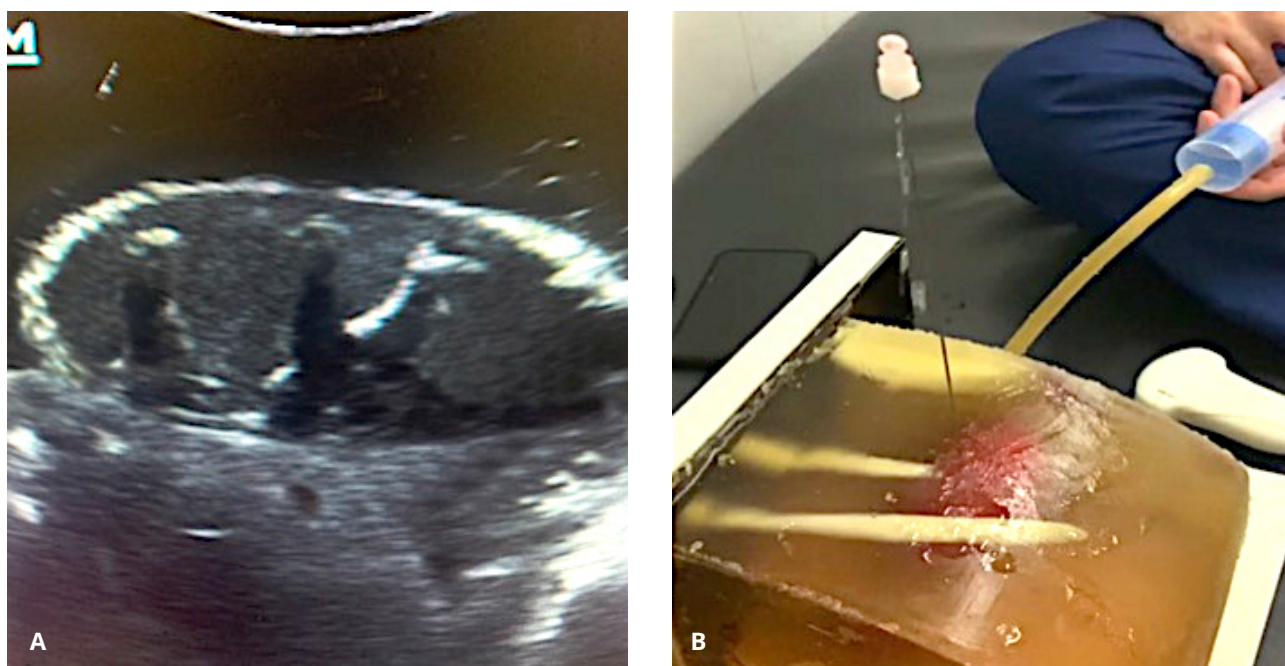


Рисунок 3. УЗ-картина «паренхимы» и чашечно-лоханочной системы модели почки (А). Ретроградная инфузия и отток жидкости после успешной аппозиционной пункции (В)

Figure 3. Ultrasound view of the modelled "parenchyma" and the pyelocaliceal system (A). Retrograde infusion and fluid outflow after successful appositional puncture (B)

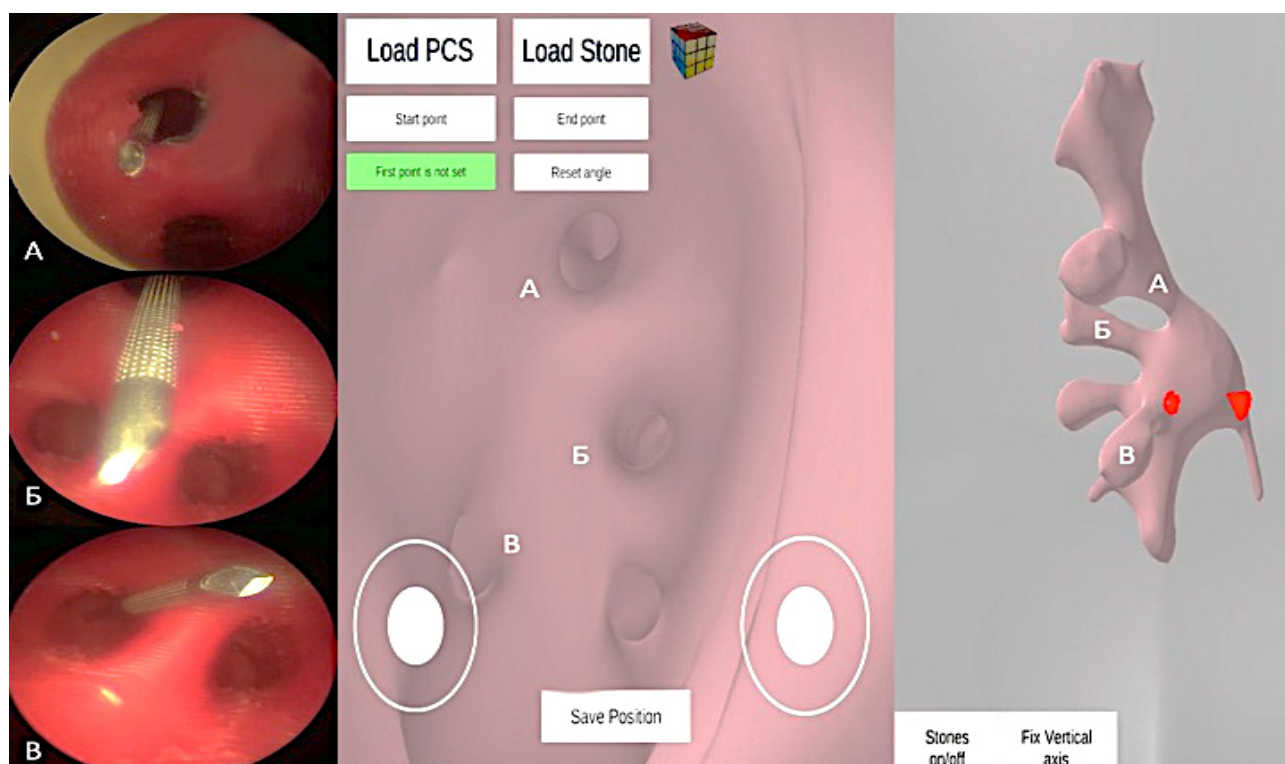


Рисунок 4. Ретроградная оценка пункционного хода иглы через чашечку верхней (А), средней (В) и нижней (С) группы. По центру и справа указана картина виртуальной эндоскопии, получаемая при использовании мобильного приложения, для точного определения пунктированной чашечки

Figure 4. Retrograde evaluation of the needle puncture course through the calyx of the upper (A), middle (B) and lower (C) group. Virtual endoscopy view (center and right figures) obtained using a mobile application to accurately determine the punctured calyx

вещество для оценки её целостности и пригодности к дальнейшей эксплуатации.

Методы статистического анализа. Для проведения статистического анализа использовали IBM® SPSS Statistics 23 («SPSS: An IBM Company», IBM SPSS Corp., Armonk, NY, USA). Характеристики разброса данных описывали средним с указанием максимального и минимального значений. Для оценки непрерывных и дискретных данных применяли тест Стьюдента; номинальные данные оценивали с помощью теста χ -квадрат. Значимая разница принималась при значении $p < 0,05$.

Результаты

Общее количество попыток (до момента проникновения в ЧЛС) выполнения пункции через сосочек малой чашечки составило 49 и 14 среди ординаторов и врачей соответственно. Средняя длительность пункционного этапа равнялась 25,2 и 12,0 секунд. Только в 9 случаях ординаторы смогли правильно проанализировать визуальную УЗИ-информацию для определения целевой чашечки, что прямо указывает на недостаток опыта в выполнении чрескожных манипуляций (табл.).

При введении контрастного вещества в ЧЛС после 63 пункций (общее количество для обеих групп) затека контраста обнаружено не было, что указывает на длительную пригодность предложенного тренажёра.

Обсуждение

С момента своего появления ПНЛ практически полностью вытеснила открытые операции при нефролитиазе [5]. Данные преимущества имеют и обратную сторону медали. Во-первых, операция является

многоступенчатой и успех каждого этапа зависит от адекватного выполнения предыдущего. Во-вторых, для самостоятельного выполнения ПНЛ уролог должен иметь достаточный опыт. D. Schilling et al. [6] сравнили результаты данного вмешательства, выполненного специалистами с различным опытом, и указали на его прямую зависимость с частотой и значимостью осложнений ПНЛ. Среди всех этапов ПНЛ именно формирование доступа к почке является основополагающим, так как его правильное выполнение позволяет как минимизировать интраоперационные риски, так и легче выполнить нефроскопию с литотрипсией. Помимо этого, адекватный доступ необходим и в ряде других процедур (антеградное стентирование, эндопиелотомия, нефростомия и антеградная резекция новообразований верхних мочевых путей). Для его выполнения, помимо энтузиазма врача, необходим достаточный навык сопоставления визуальной картины с тактильными ощущениями.

В настоящее время полноценное достижение молодыми специалистами кривой обучения в самостоятельном выполнении ПНЛ затруднительно по ряду причин. Не все урологические отделения специализируются на оперативном лечении мочекаменной болезни, что ограничивает количество пациентов для тренировки обучающихся без снижения показателей эффективности хирургических вмешательств. Во-вторых, не во всех отделениях имеется С-дуга, что также негативно сказывается на освоении данной операции.

Наиболее перспективным способом восполнения необходимого опыта являются тренажёры [7]. В идеале симулятор пункции

Таблица. Тренировочные показатели среди ординаторов (группа 1) и врачей (группа 2)
Table. Training performance among residents (Group 1) and urologists (Group 2)

Параметр <i>Parameter</i>	Группа 1 <i>Group 1</i>	Группа 2 <i>Group 2</i>	p
Количество попыток, n <i>Attempts, n</i>	49	14	–
Длительность пункции, сек <i>Puncture time, sec</i>	25,2 (8,0 – 59,0)	12,0 (7,0 – 21,0)	< 0,05
Верное определение пунктированной чашечки <i>Correct calyx targeting</i>	9 / 25	10 / 10	< 0,05

ЧЛС почки должен иметь следующие качества для оправданного замещения им реальной процедуры: точная имитация почки и её полостной системы, наличие опорных костных структур в качестве ориентира при пункции (11-е и 12-е ипсилатеральные ребра и фрагмент подвздошной кости), возможность вариабельного расположения костей как относительно друг друга, так и модели почки, наличие тактильного ощущения при пункции тканей различной плотности, а также возможность его использования как с УЗИ, так и с С-дугой. В литературе описаны различные способы изготовления тренажёров, которые соответствуют некоторым из перечисленных пунктов. В литературе имеется множество работ по созданию таких тренажёров, которые следует разделять исходя из основного принципа их реализации: симуляторы на основе виртуальной реальности, биологические с использованием животных тканей и органов, и небиологические с применением различных материалов для имитации человеческих тканей и полостной системы почки.

Большим преимуществом симуляторов на основе виртуальной реальности является отсутствие необходимости использования реальной С-дуги и возможность отработки пункции почки при различных сценариях, качественно подготавливая обучающихся к реальной практике без ущерба здоровью человека. Ярким примером данной группы тренажёров является PERC Mentor Suite («Symbionix» Ltd., Beit Golan, Airport City, Israel) [8]. Однако высокая стоимость оборудования и ограниченный реализм делают его менее привлекательной альтернативой в практической деятельности.

Описание тренажёров с применением животных органов в основном сконцентрировано на использовании свиных почек в связи с мультикапсульным строением их ЧЛС. W.L. Strohmaier et al. [9] описали формирование такого тренажёра с помощью забора свиных почек с окружающими структурами забрюшинного пространства. Помимо этого, полость почки вскрывалась для помещения образца камня, что позволило отрабатывать все шаги ПНЛ с помощью флюороскопии. Также описываются более сложные методы формирования биологических тренажёров. Так, L. Hammond et al. [10] помещали свиную почку с размещённым в ней камнем в курицу. Через мочеточнико-

вый катетер вводился контраст в полостную систему почки для её визуализации под рентгеноскопией для выполнения пункции, расширения тракта и введения кожуха. Также с помощью данной модели была возможна отработка нефроскопии, дробление камня и удаление его фрагментов. Вся процедура можно было повторить на одной модели 3 раза. Из описания биологических моделей видны их преимущества и недостатки. Использование живых тканей лучшим образом имитирует сопротивление иглы при выполнении доступа на человеке. Тем не менее, такие тренажёры требуют бережного сохранения их целостности, что обуславливает их недолговечность.

Решением проблем при использовании симуляторов на основе виртуальной реальности и биологических тренажёров является создание различных небиологических модификаций. Они просты в сборке, структурно вариабельны и обеспечивают их использование на протяжении нескольких месяцев при адекватном хранении. Однако данные преимущества реализуются в ущерб их соответствию человеческой анатомии.

Одной из наиболее реалистичных, на наш взгляд, является работа S. Ali et al. [11], формирующая модель тела и почки с помощью силикона 10 Шор и по плотности приближенных к реальным тканям человека на протяжении пункционной иглы. Также в модель тела размещались костные ориентиры в виде 11-го и 12-го рёбер, позвонков тораколумбарного отдела, фрагмент подвздошной кости. Модель была протестирована с помощью флюороскопии и УЗИ, что подтверждает её полезность в обучении молодых специалистов. Тем не менее, повреждение силикона и невозможность его повторного использования, а также невозможность корректировать положение костных ориентиров ограничивает использование такого тренажёра в планировании каждой ПНЛ и ежедневном обучении в связи с необходимостью повторного приобретения силикона и затрат времени для изготовления почки.

Более простой в изготовлении является модель T. Aro et al. [12], использующих технологию трёхмерной печати для создания формы с контуром поясничной области человека и размещением внутри неё растворимой печатной модели полостной

системы почки. В качестве наполнителя поясничного тела использовался желатин, после застывания которого производили растворение полости почки. Возможность повторного использования желатина обуславливает дешевизну данного тренажёра и возможность его быстрого повторного изготовления, однако использование 3D-печати полости почки с помощью растворимых полимеров является лимитирующим фактором, что увеличивает продолжительность процесса изготовления. Помимо этого, отсутствуют костные ориентиры и отдельный канал в полость почки, что снижает реалистичность тренажёра и нивелирует возможность проведения ретроградной нефроскопии как отдельно, так и для оценки перкутанной пункции.

Ещё более доступным является формирование полости почки из одноразовой перчатки, размещённой в прямоугольную полость с заливкой из желатина, что описано в работе R. Septian et al. [13]. Также авторы размещали макет 12 ребра для улучшения имитации планирования пункционной точки. Тем не менее, отсутствие качественной имитации реальной анатомии ЧЛС почки и прямоугольная форма всего тренажёра негативно влияют на схожесть тренировки с реальной операцией.

Из вышеприведенных примеров очевидно, что увеличение схожести с реальной анатомией человека идёт в ущерб стоимости и времени производства таких тренажёров. Чем проще подход в имитации почки с полостью, тем менее такая модель отображает реальную анатомию.

Для устранения таких недостатков в данной статье использован ряд решений. Во-первых, использование материала описанного состава для заливки позволяет получать достаточный объём без ущерба его реутилизации. Во-вторых, контур тренажёра в виде поясничной области человека и использование 11-го и 12-го ипсилатеральных рёбер и фрагмента подвздошной кости с их мануальным расположением на медиальной стенке отображает реальную анатомию конкретного пациента. Более того, данные структуры могут быть размещены произвольно как по отношению друг к другу, так и по отношению к силиконовой почке, что искусственно изменяет сложность такой тренировки и подготавливает обучающихся к различным сценариям.

Использование различных по плотности материалов для заливки тела и изготовления почки более надёжно обеспечивает уролога обратной тактильной связью во время пункции. В-третьих, использование розового силикона для изготовления почки и использование катетера достаточного диаметра для имитации мочеточника делает возможным проведение ретроградной нефроскопии, что может быть использовано для контроля и оценки пункции, что продемонстрировано в нашей работе. Вышеперечисленные решения обеспечивают не только тренировку пункции, но и последующих шагов имитации ПНЛ.

Несмотря на описанные преимущества, данный тренажёр имеет и недостатки. Формирование силиконовой почки является лимитирующим фактором, так как после необратимых повреждений требуется новое её изготовление, которое занимает примерно 12 часов. Ткани между кожей и почкой представлены гомогенным желатином, что не отображает тактильную обратную связь при прохождении иглы через фасции и мышцы. В описанной модели почки отсутствуют искусственные сосуды, что не позволяет оценить повреждение артерий при тренировке пункции. Несмотря на эти недостатки, результаты работы подтверждают оправданность использования модели как для тренировки молодых специалистов, так и для подготовки опытных урологов к различным сценариям ПНЛ.

Заключение

Описанный и апробированный способ формирования тренажёра пункции почки позволяет развивать необходимые навыки, является экономичным решением для восполнения недостаточного опыта у молодых специалистов для самостоятельного выполнения данной процедуры, а использование ретроградного контроля пункции и мобильной навигации при определении отдельных частей полости почки подчёркивает ошибки врача во время тренировки, повышая качество всего обучающего процесса.

Литература

References

- Allen D, O'Brien T, Tiptaft R, Glass J. Defining the learning curve for percutaneous nephrolithotomy. *J Endourol.* 2005;19(3):279-82. DOI: 10.1089/end.2005.19.279.
- Ganpule AP, Vijayakumar M, Malpani A, Desai MR. Percutaneous nephrolithotomy (PCNL) a critical review. *Int J Surg.* 2016;36(Pt D):660-664. DOI: 10.1016/j.ijsu.2016.11.028.
- Гаджиев Н.К., Мищенко А.А., Бритов В.П., Хренов А.М., Горелов Д.С., Обидняк В.М., Григорьев В.Е., Семенякин И.В., Петров С.Б. Создание модели тренажёра для отработки навыка пункции полостной системы почки под ультразвуковым контролем. *Вестник урологии.* 2021;9(1):22-31. DOI: 10.21886/2308-6424-2021-9-1-22-31.
- Guliev B, Komyakov B, Talyshinskii A. Interior definition of the calyceal orientation suitable for percutaneous nephrolithotripsy via mobile software. *Urolithiasis.* 2021;49(5):443-449. DOI: 10.1007/s00240-021-01253-7.
- Chen Y, Feng J, Duan H, Yue Y, Zhang C, Deng T, Zeng G. Percutaneous nephrolithotomy versus open surgery for surgical treatment of patients with stag-horn stones: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One.* 2019;14(1):e0206810. DOI: 10.1371/journal.pone.0206810.
- Schilling D, Gakis G, Walcher U, Stenzl A, Nagele U. The learning curve in minimally invasive percutaneous nephrolitholapaxy: a 1-year retrospective evaluation of a novice and an expert. *World J Urol.* 2011;29(6):749-53. DOI: 10.1007/s00345-010-0553-3.
- Jutzi S, Imkamp F, Kuczyk MA, Walcher U, Nagele U, Herrmann TR. New ex vivo organ model for percutaneous renal surgery using a laparoendoscopic training box: the sandwich model. *World J Urol.* 2014;32(3):783-9. DOI: 10.1007/s00345-013-1151-y.
- Noureldin YA, Andonian S. Simulation for Percutaneous Renal Access: Where Are We? *J Endourol.* 2017;31(S1):S10-S19. DOI: 10.1089/end.2016.0587.
- Strohmaier WL, Giese A. Improved ex vivo training model for percutaneous renal surgery. *Urol Res.* 2009;37(2):107-10. DOI: 10.1007/s00240-009-0180-x.
- Hammond L, Ketchum J, Schwartz BF. A new approach to urology training: a laboratory model for percutaneous nephrolithotomy. *J Urol.* 2004;172(5 Pt 1):1950-2. DOI: 10.1097/01.ju.0000140279.15186.20.
- Ali S, Sirota E, Ali H, Bezrukov E, Okhunov Z, Bukatov M, Letunovskiy A, Grygoriev N, Taratkin M, Vovdenko S, Afyouni A, Alyaev Y. Three-dimensionally printed non-biological simulator for percutaneous nephrolithotomy training. *Scand J Urol.* 2020;54(4):349-354. DOI: 10.1080/21681805.2020.1773529.
- 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. DOI: 10.1089/end.2019.0735.
- Septian R, Adi K. Validation of affordable and applicable kidney phantom model (aarm) for ultrasound-guided percutaneous nephrostomy simulation. *Indones J Urol.* 2020;27(1):26-33. DOI: 10.32421/juri.v27i1.515.
- Allen D, O'Brien T, Tiptaft R, Glass J. Defining the learning curve for percutaneous nephrolithotomy. *J Endourol.* 2005;19(3):279-82. DOI: 10.1089/end.2005.19.279.
- Ganpule AP, Vijayakumar M, Malpani A, Desai MR. Percutaneous nephrolithotomy (PCNL) a critical review. *Int J Surg.* 2016;36(Pt D):660-664. DOI: 10.1016/j.ijsu.2016.11.028.
- Gadzhiev N.K., Mishchenko A.A., Britov V.P., Khrenov A.M., Gorelov D.S., Obidnyak V.M., Grigoriev V.E., Semenyakin I.V., Petrov S.B. Creation of a training simulator model for practising puncture of the kidney calyceal system under ultrasound control. *Vestnik Urologii.* 2021;9(1):22-31. (In Russ.). DOI: 10.21886/2308-6424-2021-9-1-22-31.
- Guliev B, Komyakov B, Talyshinskii A. Interior definition of the calyceal orientation suitable for percutaneous nephrolithotripsy via mobile software. *Urolithiasis.* 2021;49(5):443-449. DOI: 10.1007/s00240-021-01253-7.
- Chen Y, Feng J, Duan H, Yue Y, Zhang C, Deng T, Zeng G. Percutaneous nephrolithotomy versus open surgery for surgical treatment of patients with stag-horn stones: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One.* 2019;14(1):e0206810. DOI: 10.1371/journal.pone.0206810.
- Schilling D, Gakis G, Walcher U, Stenzl A, Nagele U. The learning curve in minimally invasive percutaneous nephrolitholapaxy: a 1-year retrospective evaluation of a novice and an expert. *World J Urol.* 2011;29(6):749-53. DOI: 10.1007/s00345-010-0553-3.
- Jutzi S, Imkamp F, Kuczyk MA, Walcher U, Nagele U, Herrmann TR. New ex vivo organ model for percutaneous renal surgery using a laparoendoscopic training box: the sandwich model. *World J Urol.* 2014;32(3):783-9. DOI: 10.1007/s00345-013-1151-y.
- Noureldin YA, Andonian S. Simulation for Percutaneous Renal Access: Where Are We? *J Endourol.* 2017;31(S1):S10-S19. DOI: 10.1089/end.2016.0587.
- Strohmaier WL, Giese A. Improved ex vivo training model for percutaneous renal surgery. *Urol Res.* 2009;37(2):107-10. DOI: 10.1007/s00240-009-0180-x.
- Hammond L, Ketchum J, Schwartz BF. A new approach to urology training: a laboratory model for percutaneous nephrolithotomy. *J Urol.* 2004;172(5 Pt 1):1950-2. DOI: 10.1097/01.ju.0000140279.15186.20.
- Ali S, Sirota E, Ali H, Bezrukov E, Okhunov Z, Bukatov M, Letunovskiy A, Grygoriev N, Taratkin M, Vovdenko S, Afyouni A, Alyaev Y. Three-dimensionally printed non-biological simulator for percutaneous nephrolithotomy training. *Scand J Urol.* 2020;54(4):349-354. DOI: 10.1080/21681805.2020.1773529.
- 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. DOI: 10.1089/end.2019.0735.
- Septian R, Adi K. Validation of affordable and applicable kidney phantom model (aarm) for ultrasound-guided percutaneous nephrostomy simulation. *Indones J Urol.* 2020;27(1):26-33. DOI: 10.32421/juri.v27i1.515.

Сведения об авторах

Бахман Гидаятович Гулиев — доктор медицинских наук, профессор; профессор кафедры урологии ФГБОУ ВО «СЗГМУ им. И.И. Мечникова» Минздрава России; руководитель Центра урологии с робот-ассистированной хирургией Мариинской больницы
г. Санкт-Петербург, Россия
<https://orcid.org/0000-0002-2359-6973>
e-mail: gulievb@mail.ru

Али Эльманович Талышинский — клинический ординатор кафедры урологии ФГБОУ ВО «СЗГМУ им. И.И. Мечникова» Минздрава России
г. Санкт-Петербург, Россия
<https://orcid.org/0000-0002-3521-8937>
e-mail: ali-ma@mail.ru

Евгений Олегович Стецик — аспирант кафедры урологии ФГБОУ ВО «СЗГМУ им. И.И. Мечникова» Минздрава России
г. Санкт-Петербург, Россия
<https://orcid.org/0000-0001-5300-5479>
e-mail: stetsik8@mail.ru

Мурад Уружбекович Агагулов — аспирант кафедры урологии ФГБОУ ВО «СЗГМУ им. И.И. Мечникова» Минздрава России
г. Санкт-Петербург, Россия
<https://orcid.org/0000-0003-2497-5040>
e-mail: murad1311@bk.ru

Information about the authors

Bakhman G. Guliev — M.D., Dr. Sc. (Med), Full Prof.; Prof., Dept. of Urology, Mechnikov North-Western State Medical University; Head, Urology Centre with Robot-assisted Surgery, St. Petersburg Mariinsky Hospital
St. Petersburg, Russian Federation
<https://orcid.org/0000-0002-2359-6973>
e-mail: gulievb@mail.ru

Ali E. Talyshinskiy — Resident, Dept. of Urology, Mechnikov North-Western State Medical University
St. Petersburg, Russian Federation
<https://orcid.org/0000-0002-3521-8937>
e-mail: ali-ma@mail.ru

Evgeniy O. Stetsik — M.D., Urologist; Postgraduate student, Dept. of Urology, Mechnikov North-Western State Medical University
St. Petersburg, Russian Federation
<https://orcid.org/0000-0001-5300-5479>
e-mail: stetsik8@mail.ru

Murad U. Agagyulov — M.D., Urologist; Postgraduate student, Dept. of Urology, Mechnikov North-Western State Medical University
St. Petersburg, Russian Federation
<https://orcid.org/0000-0003-2497-5040>
e-mail: murad1311@bk.ru