

© Коллектив авторов, 2021

УДК 616.61-073.43-089.82

DOI 10.21886/2308-6424-2021-9-1-22-31

ISSN 2308-6424



Создание модели тренажёра для отработки навыка пункции полостной системы почки под ультразвуковым контролем

Нариман К. Гаджиев¹, Александра А. Мищенко¹, Владислав П. Бритов²,
Алексей М. Хренов², Дмитрий С. Горелов¹, Владимир М. Обидняк¹,
Владислав Е. Григорьев³, Игорь В. Семенякин⁴, Сергей Б. Петров¹

¹ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова» Минздрава России
197022, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Льва Толстого, д. 6–8

²ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)»
190013, Россия, г. Санкт-Петербург, Московский пр-т, д. 26

³ФГБУ «Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины имени А.М. Никифорова» МЧС России
194044, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 4/2

⁴ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет имени А.И. Евдокимова» Минздрава России
127473, Россия, г. Москва, ул. Делегатская, д. 20, стр. 1

Введение. В современном мире при подготовке специалистов активно используется обучение на медицинских тренажёрах. Для обучения навыку пункции полостной системы почки создано немало тренажёров, от биологических до тренажёров виртуальной реальности, однако у всех есть недостатки — дороговизна, непродолжительный срок годности, несоответствие реальной анатомии чашечно-лоханочной системы почки.

Цель исследования. Разработать модель тренажёра, которая будет идентична по своим анатомическим и акустическим свойствам почке и прилежащим тканям человека, а также удобна в использовании и доступна по цене.

Материалы и методы. Были созданы образцы тренажёров на основе глицерина и желатина. Было проведено исследование скорости звука во всех композициях, а также исследование трекообразования после прохождения пункционной иглы, а также способность композиций к зарастанию (слипанию) треков. Созданная модель тренажёра была протестирована врачами-урологами.

Результаты. В результате испытаний было установлено, что образцы на основе желатина и глицерина более износостойки, их срок хранения дольше, чем у других образцов, и данная модель максимально приближена по своим акустическим свойствам к тканям человека. При апробации тренажёра специалисты высоко оценили качество визуализации как самого макета почки, так и иглы во время пункции, а также визуализацию при повторных пункциях.

Заключение. Разработанный нами тренажёр может быть использован для обучения молодых специалистов, для оценки практических и теоретических навыков выпускников в рамках аккредитации, а также для постоянного повышения квалификации специалистов и при планировании оперативного вмешательства у конкретного пациента.

Ключевые слова: тренажёр для пункции; перкутанный доступ; желатиновая композиция; ультразвуковая диагностика; скорость звука; обучение ординаторов

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки. **Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов: Нариман К. Гаджиев, Владимир М. Обидняк — анализ полученных данных, апробация тренажёра для пункции полостной системы почки под УЗ-контролем; Александра А. Мищенко, Дмитрий С. Горелов — написание текста рукописи; Владислав П. Бритов, Алексей М. Хренов — разработка модели тренажёра; Владислав Е. Григорьев — апробация тренажёра для пункции полостной системы почки под УЗ-контролем; Игорь В. Семенякин, Сергей Б. Петров — обзор литературы по теме статьи.

Поступила в редакцию: 14.10.2020. **Принята к публикации:** 08.12.2020. **Опубликована:** 26.03.2021.

Автор для связи: Дмитрий Сергеевич Горелов; тел.: +7 (921) 796-48-92; e-mail: dsgorelov@mail.ru

Для цитирования: 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

Creation of a training simulator model for practising puncture of the kidney calyceal system under ultrasound control

Nariman K. Gadzhiev¹, Alexandra A. Mishchenko¹, Vladislav P. Britov²,
Alexey M. Khrenov², Dmitry S. Gorelov¹, Vladimir M. Obidnyak¹, Vladislav E. Grigoriev³,
Igor V. Semenyakin⁴, Sergey B. Petrov¹

¹Pavlov First St. Petersburg State Medical University
197022, Russian Federation, St. Petersburg, 6-8 Lev Tolstoy st.

²St. Petersburg State Technological Institute (Technical University)
190013, Russian Federation, St. Petersburg, 26 Moskovsky ave.

³A.M. Nikiforov All-Russian Center for Emergency and Radiation Medicine
194044, Russian Federation, St. Petersburg, 4/2 Academician Lebedev st.

⁴A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry
127473, Russian Federation, Moscow, 20, bldg. 1 Delegatskaya st.

Introduction. In the modern world, training on medical simulators is actively used in the training of specialists. To improve the skill of puncture of the cavity system of the kidney, many simulators have been created, from biological ones to virtual reality simulators, but all of them have drawbacks - high cost, short shelf life, inconsistency with reality.

Purpose of the study. To create a simulator model that will be identical in its anatomical and acoustic properties to the kidney and adjacent human tissues, as well as convenient to use and affordable for most universities and clinics.

Materials and methods. The samples of simulators based on glycerin and gelatin were created. A study of the speed of sound in all compositions was carried out, as well as a study of track formation after passing the puncture needle, as well as the ability of the compositions to overgrow (sticking) tracks. The model of the simulator was tested by urologists.

Results. As a result of the tests, it was found that the samples based on gelatin and glycerin are more wear-resistant, the shelf life is longer than that of other samples, and this model is as close as possible in its acoustic properties to human tissues. When testing the simulator, specialists highly appreciated the quality of visualization of both the kidney model itself and the needle during puncture, as well as visualization during repeated punctures.

Conclusion. The simulator developed by us can be used to train young specialists, to assess the practical and theoretical skills of graduates within the framework of accreditation, as well as to continuously improve the qualifications of specialists and when planning surgical intervention for a particular patient.

Key words: puncture simulator; percutaneous approach; gelatin composition; ultrasound diagnostics; sound speed; training of residents

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

Authors' contribution: Nariman K. Gadzhiev, Vladimir M. Obidnyak — analysis of the data obtained, testing of the simulator for puncture of the kidney calyceal system under ultrasound control; Alexandra A. Mishchenko, Dmitry S. Gorelov — writing the text of the manuscript; Vladislav P. Britov, Alexey M. Khrenov — development of a simulator model; Vladislav E. Grigoriev — testing of the simulator for puncture of the kidney calyceal system the under ultrasound control; Igor V. Semenyakin, Sergey B. Petrov — a review of the literature on the topic of the article.

Received: 14.10.2020. **Accepted:** 08.12.2020. **Published:** 26.03.2021.

For correspondence: Dmitry Sergeevich Gorelov; tel.: +7 (921) 796-48-92; e-mail: dsgorelov@mail.ru

For citation: 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. *Vestn. Urol.* 2021;9(1):22-31. (In Russ.). DOI: [10.21886/2308-6424-2021-9-1-22-31](https://doi.org/10.21886/2308-6424-2021-9-1-22-31)

Введение

В современном мире ультразвуковая диагностика является неотъемлемой частью практической деятельности большинства врачей хирургического профиля. Ультразвуковое исследование используется не только для

диагностики различных заболеваний, но и при выполнении инвазивных вмешательств, таких как пункция сосудов, биопсия тканей, осуществление доступа при оперативных вмешательствах. В этой статье мы подробно расскажем о новой модели тренажёра для пункции полостной системы почки под ультразвуковым контролем.

Пункция под УЗ-контролем является одним из базовых навыков для врача-уролога. Она применяется при различных заболеваниях органов мочеполовой системы, в том числе при чрескожной нефростомии — установке дренажа в полостную систему почки при мочекаменной болезни, онкологических заболеваниях, стриктурах мочеточника и других состояниях, нарушающих отток мочи из почки [1]. Также пункция чашечно-лоханочной системы является первым этапом перкутанной нефролитотрипсии [2]. Обучение на живом пациенте, с точки зрения закона и этики, — вопрос неоднозначный. Большую часть процесса обучения можно и нужно проводить не на пациенте, а на обучающей модели. По данным исследований, практика на тренажёрах сокращает кривую обучения и помогает в планировании и подготовке к оперативному вмешательству [3]. В распоряжении уролога на сегодняшний день имеется обширный ряд обучающих моделей, к которым относятся виртуальные тренажёры, тренажёры-модели на животных, тренажёры-модели на трупах, небологические тренажёры — полимерные модели. Однако у каждого тренажёра есть как достоинства, так и недостатки. Большинство моделей, представленных на рынке, имеют такие недостатки, как непродолжительный срок эксплуатации и низкая износостойкость [4]. Органы животных и существующие системы тренажёров плохо воспроизводят детальную морфологию и физические свойства человеческих органов [5]. Современные модели из полимерных материалов отличаются высокой стоимостью (от 200 тысяч рублей), требуют специальные условия хранения (в холодильнике), а также обладают непродолжительным сроком хранения (до 6 месяцев, а при активном использовании — до 7 дней).

Цель исследования. Целью нашей работы является разработка такой модели тренажёра, которая будет реалистично воспроизводить УЗ-картину почки и её полостной системы и будет доступна по цене и условиям эксплуатации практически для любой клиники и университета.

Материалы и методы

Разработка модели тренажёра для пункции полостной системы почки проходила в несколько этапов.

Первый этап — выбор материалов для создания модели. Наиболее схожими с человеческим телом акустическими характеристиками обладают композиции на основе желатина, так как они являются составляющей многих органических тканей. Белок, входящий в состав желатина, полностью денатурирован, что позволяет использовать его в качестве студнеобразующего материала. Глицерин — органическое соединение, простейший представитель трёхатомных спиртов, представляет собой вязкую прозрачную жидкость со сладким вкусом, он абсолютно нетоксичен. Для имитации кожного покрова тренажёра используется двухкомпонентный *силикон*. Благодаря своим особым свойствам, силиконы находят самое широкое применение — от медицинской техники до упаковки пищевых продуктов.

Второй этап — исследование скорости звука в композиции. Одна из основных характеристик УЗ-тренажёра — это идентичность эхогенности модели и реального объекта [6]. Ограниченное количество полимеров затрудняет получение качественного отклика на УЗ-воздействие. Наиболее перспективны материалы на основе животных белков, одним из которых является желатин. Для оценки влияния жидкости на скорость проведения звука в композициях была изготовлена ячейка, которая заполнялась композициями на основе желатина и глицерина. После окончания процесса желатинизации проводили измерения скорости звука в полученных образцах.

Были изготовлены три образца с различным содержанием желатина и воды (табл. 1). Установлено, что на скорость прохождения звука влияет только сплошная среда, которой является высокомолекулярное соединение (желатин) (рис. 1).



Рисунок 1. Зависимость скорости звука от содержания желатина в композиции
Figure 1. Dependence of the sound speed on the content of gelatin in the composition

Известно, что на скорость прохождения звуковой волны влияет изменение плотности среды. Для проверки данного эффекта было изготовлено 5 образцов массой 250 г с различным содержанием компонентов (табл. 2). Исследова-

Таблица 1. Содержание желатина и воды в образцах
Table 1. Content of gelatin and water in samples

Номер образца Sample number	Содержание желатина, масс.ч. Content of gelatin, mass.h.	Масса желатина, г Gelatin weight, g	Масса воды, г Water weight, g
1	15	33	217
2	20	42	208
3	25	50	200

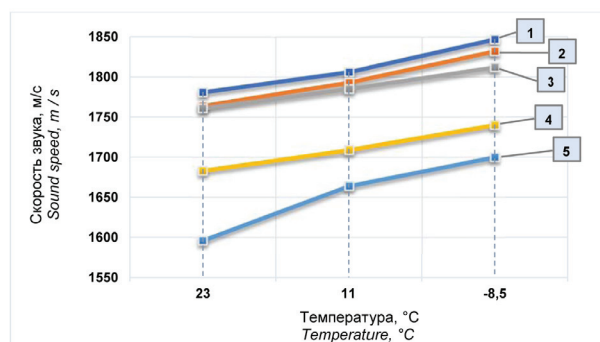
Таблица 2. Содержание компонентов в образцах для исследования скорости звука
Table 2. Content of components in samples for the sound speed examination

Обозначение образца Sample number	Соотношение Глицерин/Вода Glycerin / Water Ratio	Масса глицерина, г Glycerin weight, g	Масса воды, г Water weight, g	Масса желатина, г Gelatin weight, g
1	100 / 0	208	0	42
2	80 / 20	166	42	42
3	50 / 50	104	104	42
4	20 / 80	42	166	42
5	0 / 100	0	208	42

ние проходило при трёх различных температурах для всех образцов (табл. 3, рис. 2).

Таблица 3. Результаты исследования скорости звука в образцах
Table 3. Results of the sound speed examination in samples

Температура, °C Temperature, °C	Скорость звука (S = 100 мм), м/с Sound speed (S = 100 mm), m/s
Образец №1 Sample No. 1	
23	1781
11	1806
-8,5	1847
Образец №2 Sample No. 2	
23	1764
11	1793
-8,5	1832
Образец №3 Sample No. 3	
23	1761
11	1785
-8,5	1812
Образец №4 Sample No. 4	
23	1683
11	1709
-8,5	-
Образец №5 Sample No. 5	
23	1596
11	1664
-8,5	-

**Рисунок 2. Зависимость скорости звука от температуры в исследуемых композициях (подписи – номер образца)**
Figure 2. Dependence of the sound speed on the temperature in the studied compositions (box signatures - sample number)

Был обнаружен эффект существенного влияния температуры на изменение плотности среды и, как следствие, скорости звука в материале. Поскольку при понижении температуры происходит снижение подвижности цепей полимера, то и способность поглощать акустическую волну также снижается, что приводит к возрастанию скорости звука в материале. Для композиции, содержащей только желатин и глицерин, такая температура равняется 12°. При температуре ниже 12° медицинские УЗ-аппараты интерпретируют среду как гиперэхогенную, например, как кость.

Третий этап — определение устойчивости к образованию трещин. При пункции тренажёров, изготовленных из композиции на основе желатина, после извлечения иглы из объекта наблюдается образование пункционного хода (так называемого

«трека»), что не характерно для тканей человека и животных. Наличие треков существенно затрудняет выполнение последующих пункций (рис. 3).

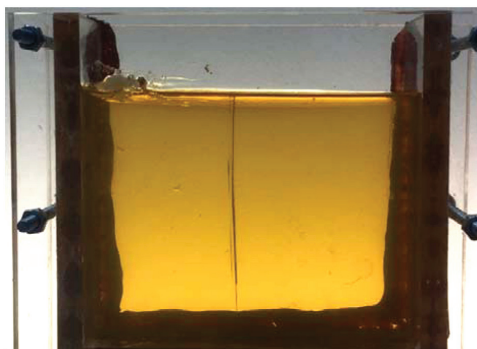


Рисунок 3. «Трек» после извлечения иглы
Figure 3. "Track" after removing the needle

Были проведены исследования по скорости «зарастания» треков после пункции для композиций различного состава (рис. 4, 5). В качестве объектов были выбраны материалы, содержащие только глицерин и композиции с добавлением воды.

Было установлено, что гель на основе желатина способен затягивать повреждения в течение определенного времени, если разрушения не носили критического значения.

Были изготовлены образцы на основе желатина с замещением глицерина дистиллированной водой (от 0% до 80%). Композицией заполнялись прозрачные ячейки, позволяющие вести визуальный контроль скорости смыкания пункционного следа.

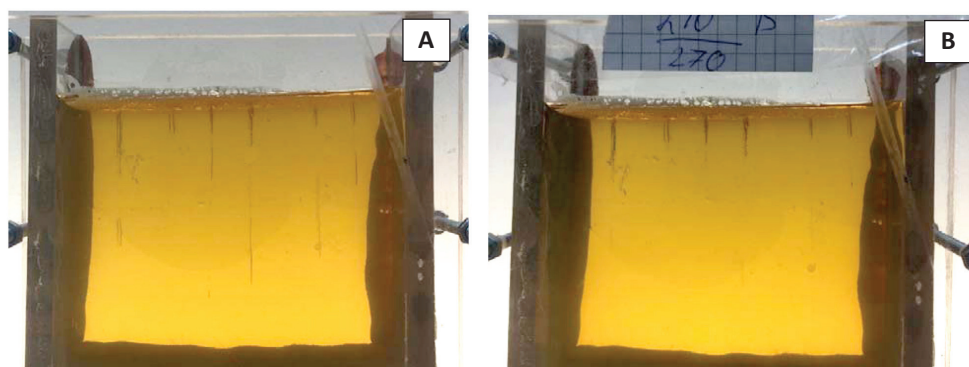


Рисунок 4. Образец, состоящий из желатина и воды, ход иглы при комнатной температуре сразу после прокола (А) и через 30 мин (В)
Figure 4. A sample consisting of gelatin and water, needle track at room temperature immediately after puncture (A) and in 30 minutes (B)

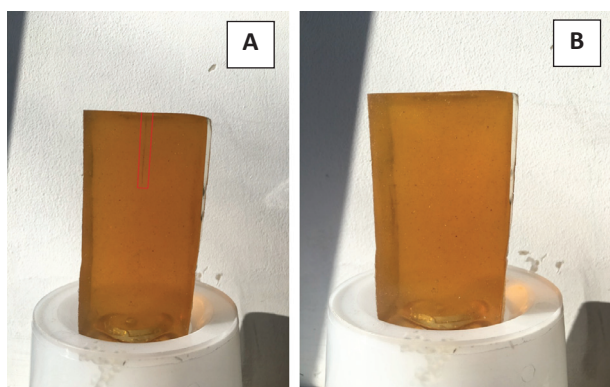


Рисунок 5. Образец из желатина и глицерина, ход иглы сразу после прокола (А) и через 10 мин (В)
Figure 5. Sample from gelatin and glycerin, needle track immediately after puncture (A) and in 10 minutes (B)

В результате удалось получить следующие данные:

1. Скорость смыкания треков на начальном этапе у всех композиций приблизительно равна.

2. Водосодержащие композиции склонны к потере влаги за счёт её испарения.

В результате из-за испарения воды материал композиции высыхает, становится твёрже и теряет способность к «зарастанию» треков. Также было выявлено, что образцы, выполненные на водной основе, через 3 недели засыхали и растрескивались, тогда как в образцах на основе глицерина подобных изменений не наблюдалось.

Конструкция и схема производства медицинского тренажёра. На основе подобранной композиции был спроектирован медицинский тренажёр для пункции чашечно-лоханочной системы почки человека под ультразвуковым контролем (рис. 6, 7).

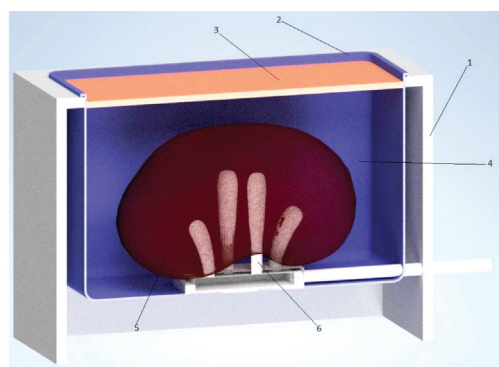


Рисунок 6. Модель тренажёра, которая имитирует почку и прилегающие ткани. Тренажёр состоит из корпуса (1), модели почки (5). В почке смонтирован коллектор с имитацией чашечно-лоханочной системы (6).

Вся конструкция располагается на дне формы (2), внутри сформированного тела тренажёра из композиции на основе глицерина и желатина (4), поверхность «тела» покрыта двухкомпонентным силиконом для имитации кожи (3)

Figure 6. A model that simulates the kidney and adjacent tissues. The simulator consists of a body (1), a kidney model (5). A collector is mounted in the kidney with an imitation of the calyceal system (6). The entire structure is located at the bottom of the mold (2), inside the formed body of the simulator made of a composition based on glycerin and gelatin (4), the surface of the “body” is covered with two-component silicone to simulate the skin (3)

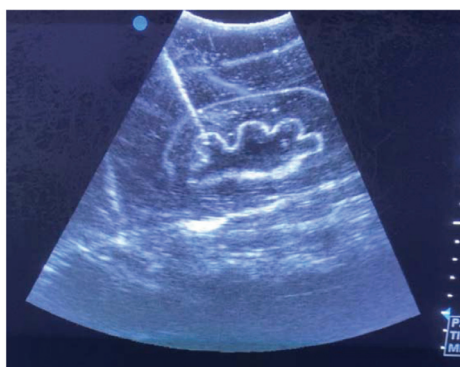


Рисунок 7. Изображение модели тренажёра при ультразвуковом исследовании

Figure 7. Image of the simulator model during the ultrasound examination

Результаты

Мы разработали модель тренажёра для пункции полостной системы почки под УЗ-контролем с реалистичными анатомическими структурами, физическими и акустическими свойствами, максимально приближёнными к естественным. В качестве полимерной основы нашей модели использована композиция из желатина и глицерина в безводной среде. Это позволило увеличить продолжительность срока хранения и повысить износостойкость модели [6]. Материал модели имеет плотность, аналогичную плотности тканей человека (примерно 10 ед. Шор А). Разработан-

ный тренажёр может применяться для тренировки как студентов, так и молодых врачей-специалистов на этапе освоения навыка пункции.

Созданная модель тренажёра для пункции практически идентична полостной системе почки человека [1]. Тренажёр позволяет выполнить более 300 пункций и имеет срок хранения более 1 года при условии хранения при комнатной температуре.

Тестирование созданной модели тренажёра происходило на базе отделения урологии № 2 Первого Санкт-Петербургского государственного медицинского университета им. И.П. Павлова. С целью оценки пригодности тренажёра для обучения навыку пункции под ультразвуковым контролем восемнадцати врачам были предложены для заполнения опросники на основе шкалы Ликерта (табл. 4). Результаты опроса докторов представлены на рисунке 8.

Специалисты высоко оценили качество визуализации как самого макета почки, так и иглы во время пункции, а также визуализацию при повторных пункциях.

Обсуждение

Пункция полостной системы почки является неотъемлемой частью чрескожной нефростомии и перкутанной нефролитотрипсии. Было разработано немало тренажёров для отработки данного навыка у врачей. Например, ранее использовались свиные почки, которые были покрыты тканями, имитирующими ткани тела человека. Такие тренажёры относительно недороги и позволяют отработать навыки, необходимые при чрескожной нефролитотрипсии, такие как пункция и бужирование пункционного хода [5]. Однако они имеют ряд недостатков, такие как непродолжительный срок хранения и невозможность выполнить 2 и более манипуляций, а анатомия почек животных отличается от анатомии человеческой почки [7, 8]. Также разработаны программы виртуальной реальности для отработки различных хирургических навыков. В частности, PERC Mentor™ (Symbionix; Lod, Israel) — тренажёр виртуальной реальности, разработанный специально для обучения чрескожной пункции полостной системы почки [9]. Была проведена сравнительная оценка эффективности VR-тренажера и практики на живых свиньях. Исследование показало, что, несмотря на высокую эффективность этих методов, оба варианта являются дорогостоящими. В условиях практики на живых свиньях это расходы на медикаменты, ветеринара, наличие вивария и т.п. С другой стороны, приобретение тренажёра PERC Mentor (более 100,000\$) плюс затраты на расходные материалы и обслуживание тренажёра (рис. 9) [10].

Таблица 4. Опросник для докторов
Table 4. Questionnaire for doctors

Вопросы Questions	Отличное Excellent	Хорошее Good	Среднее Average	Плохое Poor	Очень плохое Very poor
Качество визуализации макета почки при ультразвуковом исследовании <i>The visualization quality of kidney model during ultrasound examination</i>	5	4	3	2	1
Качество визуализации иглы и ЧЛС во время пункции <i>The visualization quality of the needle and PCS during puncture</i>	5	4	3	2	1
Качество визуализации при повторных пункциях (с учётом треков от предыдущих пункций) <i>The visualization quality during repeated punctures (taking into account the tracks from previous punctures)</i>	5	4	3	2	1

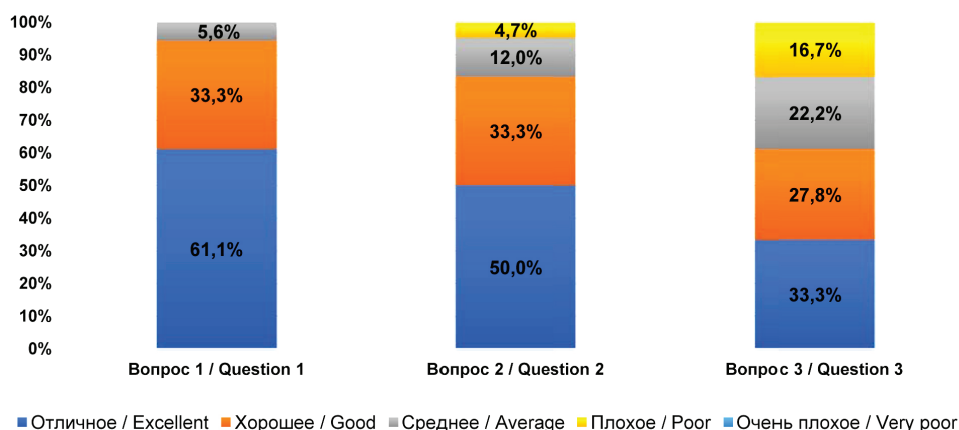


Рисунок 8. Распределение ответов по вопросам. Вопрос № 1 — «Качество визуализации макета почки при ультразвуковом исследовании». Вопрос № 2 — «Качество визуализации иглы и ЧЛС во время пункции». Вопрос № 3 — «Качество визуализации при повторных пункциях (с учётом треков от предыдущих пункций)»
Figure 8. Distribution of answers to questions. Question No. 1 — «The visualization quality of kidney model during ultrasound examination». Question No. 2 — «The visualization quality of the needle and PCS during puncture». Question No. 3 — «The visualization quality during repeated punctures (taking into account the tracks from previous punctures)»



Рисунок 9. Тренажёр виртуальной реальности PERC Mentor™ (Symbionix; Lod, Israel)
Figure 9. PERC Mentor™ virtual reality simulator (Symbionix; Lod, Israel)

Один из вариантов тренажёров для пункции ЧЛС — полимерные модели почек, созданные при помощи 3D-печати. Подобные модели были разработаны с опорой на данные компьютерной томографии почек человека. Были изготовлены образцы моделей из трех разных материалов — арагозного геля, силиконового эластомера и полидиметилсилоксана. При ультразвуковом исследовании модели из арагозного геля показали лучшую визуализацию. Главным плюсом этого тренажёра является полное анатомическое соответствие фантома почке человека. Однако фантом из арагозного геля должен храниться при пониженных температурах. Срок хранения данного фантома — не более 6 месяцев (по наблюдени-

ям специалистов симуляционных центров), в то время как предлагаемый нами тренажёр можно хранить при комнатной температуре более 12 месяцев [7].

К небиологическим тренажёрам для пункции можно отнести модели, созданные на основе баллистического геля. Последний достаточно реалистично показывает ткани и ход иглы при ультразвуковом исследовании, однако баллистический гель не имеет водородных связей, которые способствуют заращению «треков», образующихся после пункции. Эта особенность делает данный тренажёр недолговечным в сравнении с предлагаемой композицией из желатина [11]. Также было описано использование трупных почек человека для тренировки навыков пункции и ультразвукового исследования. В ходе исследования было доказано, что после практики на тренажёрах студенты успешно освоили вышеуказанные навыки. Одним из достоинств этого варианта тренировки стало то, что визуализация при ультразвуковом исследовании была сходна с визуализацией при ультразвуковом исследовании у пациентов. Данный метод обучения хорошо подходит для студентов медицинских университетов для знакомства с нормальной анатомией почки человека и прилежащих тканей. Однако отработка навыков пункции не только в университетах, но и в стационарах на трупах человека затруднена из-за недостатка трупного материала и опре-

деленных условий хранения, а также непродолжительности эксплуатации [12]. Модели полезны не только для развития навыков пункции и работы с ультразвуковыми датчиками (УЗИ) для клинических ординаторов, но и для практикующих врачей с целью поддержания навыка пункции на должном уровне [13].

Практическое интраоперационное обучение продолжает оставаться основным методом обучения чрескожному доступу под УЗ-наведением. Однако обучение на симуляторах является немаловажным дополнением к традиционному обучению [14].

Отработка практических навыков на моделях сокращает кривую обучения и повышает эффективность и безопасность хирургических вмешательств [3, 15].

Заключение

Разработанный нами тренажёр может быть использован для обучения молодых специалистов. Кроме того, возможно использование тренажёра для оценки практических и теоретических навыков выпускников в рамках аккредитации. Использование тренажёра для постоянного повышения квалификации специалистов и при планировании оперативного вмешательства у конкретного пациента позволит повысить эффективность операции и её безопасность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Dyer RB, Regan JD, Kavanagh P V., Khatod EG, Chen MY, Zagoria RJ. Percutaneous nephrostomy with extensions of the technique: Step by step 1. *Radiographics*. 2002;22(3):503-25. DOI: 10.1148/radiographics.22.3.g02ma19503
2. Гаджиев Н.К., Бритов В.П., Григорьев В.Е., Мазуренко Д.А., Малхасян В.А., Писарев А.В., Обидняк В.М., Тагиров Н.С., Попов С.В., Петров С.Б. Создание аутентичной модели чашечнолоханочной системы почки пациентов для тренировки доступа при перкутанной нефролитотомии при сложных формах камней почек. *Экспериментальная клиническая урология*. 2017;2:52-6. eLIBRARY ID: 29899580
3. Ahmed K, Jawad M, Abboudi M, Gavazzi A, Darzi A, Athanasios T, Vale J, Khan MS, Dasgupta P. Effectiveness of procedural simulation in urology: a systematic review. *J Urol*. 2011;186(1):26-34. DOI 10.1016/j.juro.2011.02.2684
4. Захаров Д.А., Барышева О.Ю., Балашов А.Т., Захаров И.Д., Везикова Н.Н. Фантомы для обучения навыкам ультразвукового исследования, УЗИ-навигации, биопсии методом «Свободной руки». *Виртуальные технологии в медицине*. 2020;(1):49. DOI: 10.46594/2687-0037_2020_1_49
5. 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
6. Sultan SF, Iohom G, Shorten G. A novel phantom for teaching and learning ultrasound-guided needle manipulation. *J Med Ultrasound*. 2013;21(3):152-5. DOI: 10.1016/j.jmu.2013.08.001

REFERENCES

1. Dyer RB, Regan JD, Kavanagh P V., Khatod EG, Chen MY, Zagoria RJ. Percutaneous nephrostomy with extensions of the technique: Step by step 1. *Radiographics*. 2002;22(3):503-25. DOI: 10.1148/radiographics.22.3.g02ma19503
2. Gadzhiev N.K., Britov V.P., Grigor'ev V.E., Mazurenko D.A., Malhasyan V.A., Pisarev A.V., Obidnyak V.M., Tagirov N.S., Popov S.V., Petrov S.B. Creating of the authentic model of human renal collecting system for training percutaneous nephrolithotomy acces in cases of complex kidney stones. *Experimental and clinical urology*. 2017;2:52-6. (In Russ.). eLIBRARY ID: 29899580
3. Ahmed K, Jawad M, Abboudi M, Gavazzi A, Darzi A, Athanasios T, Vale J, Khan MS, Dasgupta P. Effectiveness of procedural simulation in urology: a systematic review. *J Urol*. 2011;186(1):26-34. DOI 10.1016/j.juro.2011.02.2684
4. Zaharov D.A., Barysheva O.Ju., Balashov A.T. Zaharov I.D. Vezikova N.N. Fantasy dlja obuchenija navkam ul'trazvukovogo issledovaniya, UZI-navigaci, biopsii metodom "svobodnoj ruki". *Virtual'nye tehnologii v medicine*. 2020;1:49. (In Russ.). DOI: 10.46594/2687-0037_2020_1_49
5. 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
6. Sultan SF, Iohom G, Shorten G. A novel phantom for teaching and learning ultrasound-guided needle manipulation. *J Med Ultrasound*. 2013;21(3):152-5. DOI: 10.1016/j.jmu.2013.08.001

- Adams F, Qiu T, Mark A, Fritz B, Kramer L, Schlager D, Weterauer U, Miernik A, Fischer P. Soft 3D-Printed Phantom of the Human Kidney with Collecting System. *Ann Biomed Eng.* 2017;45(4):963–72. DOI: 10.1007/s10439-016-1757-5
- Stern J, Zeltser IS, Pearle MS. Percutaneous renal access simulators. *J Endourol.* 2007;21(3):270-3. DOI: 10.1089/end.2007.9981
- Knudsen BE, Matsumoto ED, Chew BH, Johnson B, Margulis V, Cadeddu JA, Pearle MS, Pautler SE, Denstedt JD. A randomized, controlled, prospective study validating the acquisition of percutaneous renal collecting system access skills using a computer based hybrid virtual reality surgical simulator: phase I. *J Urol.* 2006;176(5):2173-8. DOI: 10.1016/j.juro.2006.07.011
- Mishra S, Kurien A, Ganpule A, Muthu V, Sabnis R, Desai M. Percutaneous renal access training: content validation comparison between a live porcine and a virtual reality (VR) simulation model. *BJU Int.* 2010;106(11):1753-6. DOI: 10.1111/j.1464-410X.2010.09753.x
- Amini R, Kartchner JZ, Stolz LA, Biffar D, Hamilton AJ, Adhikari S. A novel and inexpensive ballistic gel phantom for ultrasound training. *World J Emerg Med.* 2015;6(3):225-8. DOI: 10.5847/wjem.j.1920-8642.2015.03.012
- Meek MEM, Meek JC, Hollowoa B, Li R, Deloney LA, Phelan KD. Lightly Embalmed Cadavers as a Training Tool for Ultrasound-Guided Procedures Commonly Used in Interventional Radiology. *Acad Radiol.* 2018;25(11):1503-1509. DOI: 10.1016/j.acra.2018.05.019
- Ristolainen A, Ross P, Gavšin J, Semjonov E, Kruusmaa M. Economically affordable anatomical kidney phantom with calyces for puncture and drainage training in interventional urology and radiology. *Acta Radiol Short Rep.* 2014;3(5):2047981614534231. DOI: 10.1177/2047981614534231
- Reznick RK, MacRae H. Teaching surgical skills--changes in the wind. *N Engl J Med.* 2006;355(25):2664-9. DOI: 10.1056/NEJMra054785
- 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
- Adams F, Qiu T, Mark A, Fritz B, Kramer L, Schlager D, Weterauer U, Miernik A, Fischer P. Soft 3D-Printed Phantom of the Human Kidney with Collecting System. *Ann Biomed Eng.* 2017;45(4):963–72. DOI: 10.1007/s10439-016-1757-5
- Stern J, Zeltser IS, Pearle MS. Percutaneous renal access simulators. *J Endourol.* 2007;21(3):270-3. DOI: 10.1089/end.2007.9981
- Knudsen BE, Matsumoto ED, Chew BH, Johnson B, Margulis V, Cadeddu JA, Pearle MS, Pautler SE, Denstedt JD. A randomized, controlled, prospective study validating the acquisition of percutaneous renal collecting system access skills using a computer based hybrid virtual reality surgical simulator: phase I. *J Urol.* 2006;176(5):2173-8. DOI: 10.1016/j.juro.2006.07.011
- Mishra S, Kurien A, Ganpule A, Muthu V, Sabnis R, Desai M. Percutaneous renal access training: content validation comparison between a live porcine and a virtual reality (VR) simulation model. *BJU Int.* 2010;106(11):1753-6. DOI: 10.1111/j.1464-410X.2010.09753.x
- Amini R, Kartchner JZ, Stolz LA, Biffar D, Hamilton AJ, Adhikari S. A novel and inexpensive ballistic gel phantom for ultrasound training. *World J Emerg Med.* 2015;6(3):225-8. DOI: 10.5847/wjem.j.1920-8642.2015.03.012
- Meek MEM, Meek JC, Hollowoa B, Li R, Deloney LA, Phelan KD. Lightly Embalmed Cadavers as a Training Tool for Ultrasound-Guided Procedures Commonly Used in Interventional Radiology. *Acad Radiol.* 2018;25(11):1503-1509. DOI: 10.1016/j.acra.2018.05.019
- Ristolainen A, Ross P, Gavšin J, Semjonov E, Kruusmaa M. Economically affordable anatomical kidney phantom with calyces for puncture and drainage training in interventional urology and radiology. *Acta Radiol Short Rep.* 2014;3(5):2047981614534231. DOI: 10.1177/2047981614534231
- Reznick RK, MacRae H. Teaching surgical skills--changes in the wind. *N Engl J Med.* 2006;355(25):2664-9. DOI: 10.1056/NEJMra054785
- 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

Сведения об авторах

Нариман Казиханович Гаджиев — д.м.н.; руководитель отделения дистанционной литотрипсии и эндовидеохирургии НИЦ урологии ФГБОУ ВО ПСПбГМУ им. акад. И.П. Павлова Минздрава России
г. Санкт-Петербург, Россия
ORCID iD 0000-0002-6255-0193
e-mail: nariman.gadjiev@gmail.com

Александра Андреевна Мищенко — врач-уролог отделения дистанционной литотрипсии и эндовидеохирургии НИЦ урологии ФГБОУ ВО ПСПбГМУ им. акад. И.П. Павлова Минздрава России
г. Санкт-Петербург, Россия
ORCID iD 0000-0001-7939-4062
e-mail: amischenko995@gmail.com

Владислав Павлович Бритов — д.т.н., профессор; заведующий кафедрой оборудования и робототехники переработки пластмасс ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)
г. Санкт-Петербург, Россия
ORCID iD 0000-0002-5633-9164
e-mail: deaf14@rambler.ru

Алексей Михайлович Хренов — старший преподаватель кафедры оборудования и робототехники переработки

Information about the authors

Nariman K. Gadjiev — M.D., Dr.Sc.(M); Head, ESWL and Endovideosurgery Division, Research Center of Urology, Pavlov First St. Petersburg State Medical University
ORCID iD 0000-0002-6255-0193
e-mail: nariman.gadjiev@gmail.com

Alexandra A. Mishchenko — M.D.; Urologist, ESWL and Endovideosurgery Division, Research Center of Urology, Pavlov First St. Petersburg State Medical University
ORCID iD 0000-0001-7939-4062
e-mail: amischenko995@gmail.com

Vladislav P. Britov — Dr.Sc. (Engineering), Full Prof., Head, Dept. of Equipment and Technology of Plastics Processing, St. Petersburg State Technological Institute (Technical University)
ORCID iD 0000-0002-5633-9164
e-mail: deaf14@rambler.ru

Aleksey M. Khrenov — Senior Lecturer, Dept. of Equipment and Technology of Plastics Processing, St. Petersburg State Technological Institute (Technical University)
ORCID iD 0000-0002-4002-4811
e-mail: a.khrenov@technolog.edu.ru

Dmitry S. Gorelov — M.D.; Urologist, ESWL and Endovideosurgery Division, Research Center of Urology, Pavlov First

пластмасс ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)

г. Санкт-Петербург, Россия

ORCID iD 0000-0002-4002-4811

e-mail: a.khrenov@technolog.edu.ru

Дмитрий Сергеевич Горелов — врач-уролог отделения дистанционной литотрипсии и эндовидеохирургии НИЦ урологии ФГБОУ ВО ПСПбГМУ им. акад. И.П. Павлова Минздрава России

г. Санкт-Петербург, Россия

ORCID iD 0000-0002-7592-8167

e-mail: dsgorelov@mail.ru

Владимир Михайлович Обидняк — врач-уролог отделения дистанционной литотрипсии и эндовидеохирургии НИЦ урологии ФГБОУ ВО ПСПбГМУ им. акад. И.П. Павлова Минздрава России

г. Санкт-Петербург, Россия

ORCID iD 0000-0002-7095-9765

e-mail: v.obidniak@gmail.com

Владислав Евгеньевич Григорьев — врач-уролог отделения урологии ФГБУ ВЦЭРМ им. А.М. Никифорова МЧС России

г. Санкт-Петербург, Россия

ORCID iD 0000-0002-7797-8897

e-mail: vladislav.grigorev@outlook.com

Игорь Владимирович Семенякин — д.м.н.; ассистент кафедры урологии ФГБОУ ВО МГМСУ им. А.И. Евдокимова Минздрава России

г. Москва, Россия

ORCID iD 0000-0003-3246-7337

e-mail: dr.Semeniakin@gmail.com

Сергей Борисович Петров — д.м.н., профессор; руководитель НИЦ урологии ФГБОУ ВО ПСПбГМУ им. акад. И.П. Павлова Минздрава России

г. Санкт-Петербург, Россия

ORCID iD 0000-0003-3460-3427

e-mail: petrov-uro@yandex.ru

St. Petersburg State Medical University

ORCID iD 0000-0002-7592-8167

e-mail: dsgorelov@mail.ru

Vladimir M. Obidnyak — M.D.; Urologist, ESWL and Endovideosurgery Division, Research Center of Urology, Pavlov First St. Petersburg State Medical University, St. Petersburg, Russian Federation

ORCID iD 0000-0002-7095-9765

e-mail: v.obidniak@gmail.com

Vladislav E. Grigoriev — M.D.; Urologist, Urology Division, A.M. Nikiforov All-Russian Center for Emergency and Radiation Medicine

ORCID iD 0000-0002-7797-8897

e-mail: vladislav.grigorev@outlook.com

Igor V. Semenyakin — M.D., Dr.Sc. (M); Assist., Dept. of Urology, A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry

ORCID iD 0000-0003-3246-7337

e-mail: dr.Semeniakin@gmail.com

Sergey B. Petrov — M.D., Dr. Sc. (M); Full Prof.; Head, Research Center of Urology, Pavlov First St. Petersburg State Medical University

ORCID iD 0000-0003-3460-3427

e-mail: petrov-uro@yandex.ru