

*К. Б. Колонтарев, С. А. Шептунов,
Е. А. Прилепская, Е. Г. Мальцев, Д. Ю. Пушкарь*

СИМУЛЯТОРЫ В ОБУЧЕНИИ РОБОТ-АССИСТИРОВАННОЙ ХИРУРГИИ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)¹

Аннотация.

С момента первого применения роботической хирургической системы в 2000 г. робот-ассистированная технология приобрела широкую популярность по всему миру. Обучение роботической хирургии является сложным комплексным предметом, который требует значимых усилий не только от обучаемого, но и от учителя. Симуляционное обучение получило выраженное развитие в течение последних двух десятилетий благодаря широкому распространению и популяризации лапароскопической и робот-ассистированной хирургической техники. Нами был проведен систематический обзор для выявления доступных на сегодня симуляторов выполнения робот-ассистированных оперативных вмешательств.

Ключевые слова: робот-ассистированная хирургия, da Vinci, обучение, симуляторы.

*K. B. Kolontarev, S. A. Sheptunov,
E. A. Prilepskaya, E. G. Mal'tsev, D. Yu. Pushkar'*

SIMULATORS IN ROBOTIC SURGERY TRAINING (LITERATURE REVIEW)

Abstract.

Robotic surgery becomes more and more popular worldwide. It happens due to well known advantages of robotic technologies. Console surgeons training remains one of the most controversial topics in the field. The most preferred training program includes such modules as simulation and virtual reality. We present a review of all commercially available simulators in the market. We conclude that the presence of surgical simulators in the training program is very useful and will lead to a decreasing learning curve of console surgeons. The cost aspect remains one of the main problem for introducing simulators into the training program.

Key words: Da Vinci surgery, robotic simulation, surgery training.

Введение

С момента первого применения роботической хирургической системы в 2000 г. робот-ассистированная технология приобрела широкую популярность по всему миру. К настоящему времени робот-ассистированная техника выполнения многих хирургических вмешательств представляет собой «золотой стандарт» оперативного лечения заболеваний. Данное утверждение абсолютно справедливо для робот-ассистированной радикальной простатэктомии. Уже в 2007 г. 68 % всех подобных вмешательств было выполнено при помо-

¹ Данная работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований: НК 13-04-12045.

щи системы da Vinci, к 2014 г. данный показатель составил уже 85 % по данным компании-производителя. Данный факт стал возможным благодаря потенциальным общепризнанным преимуществам робот-ассистированной техники выполнения операции, таким как меньшая степень кровопотери, необходимость в проведении гемотрансфузии, меньший период восстановления и лучшие функциональные результаты.

Обучение роботической хирургии является сложным комплексным предметом, который требует значимых усилий не только от обучаемого, но и от учителя. Имеют место существенные различия между механизмом обучения открытой или лапароскопической операции и робот-ассистированной техникой. Прежде всего это выражается в том, что в первом случае ученик и учитель находятся бок о бок в операционном театре, видя одинаковую картинку операционного поля. При этом учитель может в любой момент остановить выполнение того или иного маневра обучаемым и максимально обеспечить безопасность пациента в период обучения специалиста. Данный аспект абсолютно не относится к роботической хирургии. Более того, необходимо принимать во внимание и финансовый аспект. Именно из-за выраженной дороговизны стоимости оперативного вмешательства обучаемый не имеет возможности провести достаточное количество часов, выполняя самостоятельные манипуляции в ходе выполнения реального оперативного вмешательства. Все это стало предпосылками к поиску иных возможностей для обеспечения достаточного количества времени на выполнение операций в ходе периода обучения.

Симуляционное обучение получило выраженное развитие в течение последних двух десятилетий благодаря широкому распространению и популяризации лапароскопической и робот-ассистированной хирургической техники. Данный инновационный подход к обучению был валидизирован в качестве обучающего и экзаменационного инструмента и по данным многочисленных исследований способен улучшить технику выполнения операций.

Хирургические симуляторы можно разделить на две основные группы: механические симуляторы, где хирургические манипуляции выполняются под прямым визуальным контролем в пределах некоего ограниченного пространства, и симуляторы виртуальной реальности, где задачи выполняются в моделированной среде по типу компьютерных игр. Сегодня, в эру широкого применения и динамичного развития искусственного компьютерного интеллекта, виртуальные симуляторы позволяют обеспечить максимально реалистичную моделируемую среду для обучаемых. Более того, после завершения каждой манипуляции компьютерные симуляторы способны предоставить детальный статистический отчет, что чрезвычайно важно для специалиста, находящегося в периоде обучения.

Любой предлагаемый для обучения хирургический симулятор должен пройти детальное тестирование по многим параметрам для определения целесообразности применения устройства в качестве обучающего инструмента. Основными параметрами тестирования являются: внешний вид устройства с оценкой реалистичности симулятора; конструктивное решение – способность симулятора дифференцировать различную степень подготовки хирурга; контекстная валидизация – способность симулятора обучать согласно списку манипуляций, предназначенному для обучения; конкурентоспособность – способность симулятора соответствовать «золотым стандартам» выделенных

для подобного рода устройств; а также предиктивная способность – способность симулятора предсказывать прогресс обучения специалиста. Валидность симуляторов как механического, так и виртуального типов четко определена в отношении лапароскопической техники выполнения оперативных вмешательств. Однако эффективность подобных симуляторов в отношении робот-ассистированной до конца не ясна.

Нами был проведен систематический обзор для выявления доступных на сегодня симуляторов выполнения робот-ассистированных оперативных вмешательств. Мы определили доказательную базу эффективности различных симуляционных платформ в аспектах реалистичности, доступности, воспроизводимости, а также ценовой политики и образовательного ценза.

Материалы и методы

Поиск англоязычных литературных источников был произведен по базам данных «Medline» и «Pubmed» по следующим ключевым словам и словосочетаниям: «robotics», «robotic surgery», «computer assisted surgery», «simulation», «computer simulation», «virtual reality», «surgical training» и «surgical education». Нами также была изучена база данных Cochrane и проанализированы архивы абстрактов, представленных на ежегодных конференциях Американской и Европейской ассоциациях урологов. Следует отметить, что поиск отечественных публикаций и/или абстрактов, представленных на ежегодных конференциях Российского общества урологов по данным ключевым запросам, не выявил ни одной работы, посвященной данному вопросу. Таким образом, данная работа по изучению, сравнению и описанию симуляторов робот-ассистированной хирургии является первой в России. Основной задачей исследования явилось определение места и типа хирургических симуляторов для применения в программе подготовки отечественных роботических специалистов.

В систематический обзор были включены работы, описывающие различные типы хирургических симуляторов, их разработка и валидизация, а также применение в качестве обучающего инструмента. Были исключены какие-либо источники, связанные с упоминанием и описанием механизма изучения и обучения «нетехническим навыкам».

Из каждой публикации была выделена информация, включающая в себя коммерческое название симулятора, предлагаемые для выполнения задания, уровень исходной подготовки участников, длительность симуляционного обучения и способ оценки выполненного упражнения. Каждая работа, посвященная симуляционному обучению, была оценена нами в аспектах возможности симулятора обеспечить выполнение поставленной задачи, возможности применения устройства в рутинной практике, реалистичности, конструктивности решения, контекстной валидности, надежности, а также в ценовых и образовательных аспектах.

Результаты

Всего было выявлено 565 публикаций, отвечающих ключевым словам и словосочетаниям. После анализа абстрактов было исключено 507 работ. После анализа полного текста статей было исключено еще 39 статей. Таким об-

разом, для окончательного анализа были отобраны 19 публикаций. Нами были выделены следующие симуляторы.

***Роботический хирургический симулятор
(Robotic Surgical Simulator (RoSS))***

Были обнаружены четыре статьи, посвященные опыту применения RoSS (рис. 1) в качестве обучающего инструмента работе на хирургической системе da Vinci.



Рис. 1. Роботический симулятор RoSS

На ежегодном конгрессе AUA в 2009 г. Seixas-Mikelus и соавт. [1] представили работу, в которой приняли участие 30 специалистов (24 опытных хирурга и 6 специалистов без опыта работы). Таким образом, 77 % популяции исследования имели в среднем опыт 340 случаев выполнения оперативных вмешательств на роботической системе в качестве консольного хирурга.

Для изучения валидности симулятора специалистам было предложено пройти краткий курс обучения, состоящий из двух модулей: базовая ориента-

ция предмета в пространстве и его перемещение, а также более продвинутый уровень – ориентация в пространстве, прецизионное передвижение и контроль предмета.

После выполнения указанных модулей все участники заполнили опросник, в котором указали, что RoSS является весьма реалистичным симулятором, напоминающим реальную консоль хирургической системы. Оценивая джойстики, 84 % специалистов нашли данное устройство «очень близким» к настоящим управляющим механизмам системы da Vinci, 90 % респондентов схоже оценили движения роботических рук и аналогичную оценку движениям камеры дали 89 % хирургов.

В 2010 г. на Международном роботическом симпозиуме те же авторы представили работу, сообщающую о контентной валидности симулятора RoSS [2]. Среди 42 участников данного исследования – 31 опытный специалист и 11 новичков. В последующем опытная группа была разделена на экспертов (17 человек) с наличием более 150 случаев выполнения операций и специалистов со средним опытом в диапазоне от 1 до 150 случаев (14 хирургов). Экспертная группа обладала суммарным средним опытом выполнения 881 (160–2200) случая роботической хирургии. Данная группа оценила задание «контроль клинча инструментов» как хороший в 71 % и превосходный в 29 % инструмент для обучения. Все группы исследуемых хирургов оценили задание «контроль мяча» как хорошее в 78 %, как плохое – в 22 %. Задание «удаление иглы» оценено как превосходное в 27 %, хорошее – в 60 %, плохое – в 13 %. Задание «удержание ткани третьей рукой» оценено респондентами как превосходное и хорошее в 94 %. Таким образом, симулятор RoSS расценен как полезный обучающий инструмент для обучения и тестирования резидентов перед переходом к работе в операционной (88 % исследуемых) и как полезный инструмент для оценки технических навыков при сертификации специалистов для работы на хирургической системе (79 % специалистов).

Kesavadas и соавт. [3] в своей работе указали на позитивное воздействие RoSS на уменьшение времени выполнения всего оперативного вмешательства на системе da Vinci. Три группы участников выполняли два упражнения на симуляторе: «маневры с мячом» и «прицельное использование иглы». Группа 1 (20 человек) являлась контрольной и не принимала участие в тренировке на симуляторе перед выполнением данных упражнений на реальной хирургической системе. Группа 2 (15 хирургов) обладала возможностью тренироваться на симуляторе в течение 40 мин, а участники третьей группы (11 человек) обладали схожей возможностью, но на реальной системе da Vinci. В результате авторы сделали вывод, что предварительная тренировка на симуляторе RoSS существенно снижает время выполнения аналогичных упражнений на da Vinci по сравнению с группой плацебо ($p = 0,002$).

Guru и соавт. [4] изучали пользу от внедрения новой когнитивной программы в интерфейс симулятора RoSS, предназначенной для улучшения распознавания специфических анатомических ориентиров в ходе выполнения оперативного вмешательства на системе da Vinci. Всего приняли участие 10 специалистов, разделенных на две группы: первая группа (5 человек без тренировки) и вторая группа (5 человек, проходящих обучение на RoSS). Было проведено сравнение времени, потраченного на выполнение упражнения, и количество правильных ответов при распознавании специфических анато-

мических ориентиров в ходе выполнения роботической цистэктомии. Было отмечено преимущество специалистов из группы, проходивших обучение на симуляторе RoSS.

Образовательная платформа *Simsurgery (SEP)*

Было найдено две публикации, посвященные изучению валидности роботического симулятора SEP (SimSurgery, Oslo, Norway) (рис. 2).



Рис. 2. Образовательная платформа SEP

В исследовании Gavazzi и соавт. [5] приняли участие 30 хирургов (12 экспертов и 18 новичков) для выполнения двух упражнений на симуляторе SEP. Реалистичность и контекстная валидность симулятора была оценена путем заполнения участниками специфического опросника.

В результате симулятор был расценен как реалистичный и легкий в применении (90 % участников), как в целом полезный для обучения (87 %) и как полезный для координации работы глаз-рука и для наложения швов (90 %). Группе новичков потребовалось больше времени для выполнения упражнений по сравнению с группой экспертов, особенно ярко данное различие было выявлено при выполнении упражнения во время завязывания узлов, падения инструментов, применения чрезмерной силы для затягивания нити и клинча инструментов.

В результате оказалось, что технику выполнения упражнений улучшала тренировка на симуляторе ProMIS и работа на обоих симуляторах. Устройство LapSim не показало каких-либо достоинств в изучаемом аспекте.

Jonsson и соавт. [6] указали на наличие конструктивной валидности системы ProMIS путем сравнения работы пяти опытных хирургов с группой из 19 начинающих специалистов. Все участники должны были выполнить 4 задания, включающие необходимость применения базовых лапароскопических навыков. В результате авторы указали на значимое различие в пользу группы опытных хирургов.

Группа исследователей из Голландии совершила попытку, но не преуспела в установлении реалистичности и конструктивной валидности SEP [7]. Для установления конструктивной валидности симулятора авторы сравнили работу группы экспертов (более 50 случаев выполнения минимально-инвазивных вмешательств) и группы новичков (менее 50 случаев). При этом не было выявлено различия при анализе аспектов, включая общую длительность выполнения оперативного лечения.

Симулятор ProMIS

Три исследования оценивали роль симулятора ProMIS (Haptica, Ireland) (рис. 3) в обучении роботической хирургии.



Рис. 3. Симулятор ProMIS

McDonough и соавт. [8] определили реалистичность, контентную и конструктивную валидность симулятора. При этом авторы пригласили в исследование 18 специалистов, разделив их на группу опытных хирургов (8 человек) и новичков (10 хирургов). После стандартного ознакомления с симулятором все участники выполнили три упражнения («перенос предмета», «прецизионное рассечение» и «наложение интракорпорального узла»). Опытная группа превзошла новичков во всех трех упражнениях.

Участники оценили симулятор как легкий для применения, подходящий для обучения роботической технике и приемлемый для тщательной оценки роботических навыков. Эксперты высказали мнение о целесообразности включения симулятора ProMIS в программу обучения роботической хирургии.

В рандомизированном контролируемом исследовании, проведенном Feifer и соавт. [9], симулятор ProMIS был использован в сочетании с симулятором LapSim (Surgical Science Sweden AB).

Целью исследования было обнаружение доказательства полезности применения данных двух традиционных лапароскопических симуляторов для улучшения технических навыков работы на роботической системе da Vinci. Группа начинающих хирургов была рандомизирована в группы обучения на одном из симуляторов, на обоих симуляторах или в группу плацебо.

Симулятор Mimic dV-Trainer (MdVT)

Было выявлено семь работ, изучающих эффективность и валидность MdVT (Mimic Technologies, Seattle, WA, USA) (рис. 4).



Рис. 4. Симулятор MdVT

Первое исследование было инициировано в 2008 г. [10]. При этом 27 участников были рандомизированы в группы изучения дидактических материалов, виртуальной тренировки и режима сухой лаборатории. Инструкторы не были знакомы со степенью опыта каждого из участников. Участники заполнили опросник до и после выполнения периода обучения. В результате все специалисты пришли к выводу, что роботические системы являются приемлемыми устройствами для выполнения хирургических вмешательств; 87 % участников пришли к выводу, что компьютерная симуляция является обосно-

ванной частью обучения роботической хирургии и 93 % хирургов посчитали MdVT полезным инструментом. Более опытные специалисты показали лучшее время выполнения заданий по сравнению с новичками.

Годом спустя, в 2009 г., было инициировано еще одно исследование, в котором приняли участие 5 опытных специалистов и 15 новичков, изучавших валидность MdVT [11]. Все исследователи оценили симулятор как «средний» и «легкий» в аспекте применения в процессе обучения и как «выше среднего» и «высокий» во всех аспектах, касающихся реализма симулятора (упражнения, движения рук и камеры). Конструктивная валидность была доказана разницей в показателях выполнения лишь одного из трех предлагаемых упражнений между группами опытных хирургов и новичков.

Kenney и соавт. [12] выполнили работу по изучению реалистичности, контентной и конструктивной валидности симулятора. Студенты, резиденты и хирурги были проспективно категоризированны в группы опытных специалистов (7 человек) и новичков (19 хирургов). Каждый исследователь выполнил два упражнения по контролю движений инструментальных рук и два модуля по контролю иглы с последующим заполнением опросника. Группа опытных хирургов преуспела в выполнении каждого из упражнений. Все хирурги данной группы признали симулятор в качестве полезного инструмента для обучения и ратовали за включение виртуальной симуляции в программу обучения резидентов. Результатом данного исследования явилось признание реалистичности, контентной и конструктивной валидности симулятора MdVT.

Korets и соавт. [13] также смогли доказать реалистичность и конструктивную валидность симулятора. При этом в исследовании приняли участие 10 резидентов. Каждый исследователь выполнил 15 упражнений из четырех доменов. Участники были распределены в группы опытных хирургов (55–170 случаев) и группу новичков (0–15 случаев). В группе экспертов встречалось меньшее количество случаев клинча инструментов, лучше показатель «исчезновения из поля зрения инструментов» и меньшее количество промахов мимо цели при контроле иглы. Обе группы оценили симулятор как «легкий для применения» и «полезный» при его использовании для обучения роботической хирургии. Участники экспертной группы оценили движения инструментальных рук как реалистичные, тогда как управление иглой не показалось участникам столь реалистичным.

Те же авторы инициировали исследование для подтверждения полезности применения симулятора в качестве обучающего инструмента работе на хирургической системе da Vinci. При этом сравнивалась группа, прошедшая обучение на симуляторе MdVT, и группа без какого-либо виртуального обучения [14]. При этом было использовано ограниченное количество упражнений: контроль движения инструментальных рук, движения камеры, иглы и наложения швов. В результате исследования авторы не нашли каких-либо различий в показателях выполнения упражнений между двумя группами (группа MdVT и группа da Vinci). Таким образом, был сделан вывод об одинаковой пользе MdVT и работе непосредственно на da Vinci без предшествующего симуляционного периода.

Lerner и соавт. [15] провели исследование по изучению эффективности применения симулятора MdVT для улучшения работы на хирургической си-

системе da Vinci. Двенадцать студентов-медиков выполнили изначально на системе da Vinci базовый комплекс упражнений. Затем данная группа исследователей четырежды повторила аналогичный комплекс на симуляторе MdVT, после чего вновь вернулась к работе на роботической системе. Результаты данной группы были сравнены с результатами группы резидентов при выполнении на da Vinci аналогичного базового набора упражнений. Никто из специалистов группы не обладал опытом роботической хирургии. В результате стало ясно, что группа студентов улучшила свои показатели после виртуальной тренировки. Однако статистически достоверной разницы между показателями двух групп выявлено не было.

Симулятор da Vinci

Hung и соавт. [16] изучали реалистичность, а также контекстную и конструктивную валидность симулятора da Vinci (рис. 5).



Рис. 5. Симулятор da Vinci

Участники были разделены на группу новичков (16 человек) без опыта роботической хирургии, группу среднего опыта (32 хирурга – менее 100 случаев) и опытную группу (15 человек с опытом выполнения более 100 случаев роботической хирургии). Каждый участник выполнил 10 упражнений с тройным повторением и последующим заполнением визуальной аналоговой шкалы. Результаты всех трех групп были сравнены для изучения конструктивной валидности. Все участники оценили реалистичность симулятора как «очень реалистично». Группа экспертов оценила все параметры также «очень реалистично». Более того, все участники посчитали полезным включение применения данного симулятора в программу обучения резидентов. Опытные хирурги превосходили группу новичков по всем параметрам.

Иные виртуальные симуляторы

Собственный симулятор был разработан в Университете Небраска (Omaha) [17]. Пять студентов выполняли два задания – бимануальный кон-

троль и управление иглой. Каждое управление было выполнено на хирургической системе da Vinci и повторено на собственном симуляторе с последующим заполнением опросника. В результате была установлена статистически достоверная разница в показателях выполнения аналогичных упражнений на роботической системе и симуляторе. Участники частично приняли положительное решение о включении применения данного симулятора в программу обучения роботической хирургии.

Было проведено еще одно исследование по изучению данного симулятора [18]. В ходе работы не было выявлено каких-либо различий в показателях выполнения аналогичных упражнений на роботической системе и симуляторе. В исследовании приняли участие 8 хирургов.

Обсуждение

Данная работа является первым отечественным систематическим обзором применения виртуальных симуляторов для обучения роботической хирургии. Данные устройства являются безопасным методом, позволяющим улучшить технические навыки обучаемых. Однако современное поколение роботических симуляторов вызывает больше вопросов, чем ответов. Прежде всего ощущается нехватка в стандартизации параметров тестирования различных симуляционных платформ. Например, невозможно детально сравнить оценку «очень реалистично» для RoSS и цифровые значения визуальной аналоговой шкалы для симулятора da Vinci. Более того, отсутствуют четкие критерии для разделения специалистов на опытных и новичков. Невозможно провести исследование высокого качества до четкого принятия терминов и параметров сравнения.

К сожалению, большинство из доступных в настоящее время упражнений являются «женерическими» и представляют собой тестирование координации глаз–рука, манипуляции тканью, диссекции, наложении швов и узлов. Нет данных, позволяющих определить, какие именно упражнения приводят к улучшению технических навыков, применяемых в реальной хирургии. В настоящее время разрабатываются упражнения для выполнения сложных маневров и предотвращения развития осложнений.

Еще одним вопросом будущего является разработка специфических упражнений для хирургов с различным уровнем подготовки. Была доказана эффективность применения симуляторов на начальном уровне подготовки специалистов, что не является закономерным для более продвинутых в техническом плане хирургов. Davis и соавт. [19] в своем исследовании сообщили о высокой эффективности применения виртуальных симуляторов для обучения начальным техническим навыкам выполнения роботической радикальной простатэктомии, тогда как эффективность для обучения более продвинутому техническому уровню стремилась к нулю. Учитывая результаты этой работы, а также проведенный нами анализ, мы считаем, что применение роботических симуляторов абсолютно показано в начале периода обучения роботической хирургии.

В данном обзоре мы использовали критерии, предложенные van de Vloten [20] и Ahmed и соавт. [21] для определения качества проведенного исследования. Все симуляторы, за исключением устройства RoSS, продемонстрировали реалистичность, контентную и конструктивную валидность, од-

нако количество участников в данных исследованиях остается малым. Образовательный аспект был продемонстрирован в восьми исследованиях и во всех доступных на рынке симуляторах за исключением симулятора SEP.

Учитывая отсутствие сравнительных исследований невозможно выделить какую-либо симуляционную платформу в качестве ведущей в обучении будущего поколения роботических хирургов. Каждое из устройств было способно предоставить возможность обучения различным фундаментальным базовым навыкам роботической хирургии (табл. 1).

Таблица 1

Характеристики роботических симуляторов

Название	RoSS	SEP	ProMIS	MdVT	Da Vinci
Разработчик	Simulated surgical systems	Sim surgery	CAE healthcare	Mimic	Intuitive surgical
Контроль рук	Да	Да	Нет	Да	Да
Контроль камеры и переключение	Да	Нет	Нет	Да	Да
Использование третьей руки	Да	Нет	Нет	Да	Да
Системные установки	Да	Нет	Да	Да	Да
Контроль иглы	Да	Нет	Да	Да	Да
Энергия и диссекция	Да	Нет	Нет	Да	Да
Обратная связь	Да	Да	Да	Да	Да
Разработка для роботической хирургии	Да	Да	Нет	Да	Да
Стоимость (USD)	120 000	62 000	35 000	158 000	89 000

Симуляторы MdVT и RoSS предоставляет схожий, но не аналогичный da Vinci интерфейс, используемый в реальной клинической практике. Симулятор ProMIS сочетает в себе виртуальную и физическую реальность и был применен в лапароскопической практике задолго до развития роботической техники [22, 23]. Исследование Feifer и соавт. [24] обладает максимальным уровнем доказательности из всех работ по изучению роботических симуляторов. При этом авторы показали, что совместное применение симуляторов ProMIS и LapSim приводит к максимальной эффективности в улучшении технических навыков роботической хирургии. Интересно, что изолированное применение симулятора LapSim не привело к какому-либо изменению показателей технической подготовки роботических специалистов. Таким образом, остается не ясной роль данного симулятора. Несмотря на высокий уровень валидности платформы SEP, реалистичность данного симулятора остается весьма сомнительной, учитывая результаты исследования van der Meijden и соавт. [6], в котором отзывы участников относительно реалистичности, а также эргономики в целом весьма негативны. Более того, важным недостатком данного симулятора является отсутствие трехмерного изображения – одного из главных и фундаментальных преимуществ роботической системы. Необходимо дальнейшее усовершенствование устройства с целью приобретения им необходимых фундаментальных характеристик.

Наибольшее количество исследований было посвящено изучению симулятора MdVT, три из которых указали на реалистичность, а также контентную и конструктивную валидность устройства. Симулятор компании Intuitive обладает непревзойденным преимуществом среди всех платформ – идентичность роботической системе da Vinci, однако нам встретилась лишь одна работа по изучению данного симулятора в качестве обучающего инструмента.

По состоянию на сегодня мы считаем, что применение виртуальных симуляторов оправдано лишь в начале периода обучения роботической хирургии будущих специалистов. Выбор симулятора не несет сколь-нибудь значимого различия в эффективности подготовки, однако нельзя не принимать во внимание наличие лишь одного устройства идентичного хирургической системе da Vinci.

Известно, что в большинстве центров обучения роботической хирургии в Европе и США предпочтение отдается, несомненно, симулятору da Vinci. Данное предпочтение подкрепляется и высокой эргономичностью симулятора – отсутствие дополнительных устройств. Выполнение симуляционного обучения происходит непосредственно за консолью реальной хирургической системы при помощи присоединения тренировочного оборудования к тыловой части консоли.

Заключение

Симуляционное обучение является наиболее потенциальным в аспекте обучающего инструмента в программе подготовки следующих поколений роботических хирургов. На сегодня валидизировано применение симуляторов для обучения хирургов. Цена аппаратов является очевидной преградой для включения в программу обучения роботических хирургов, однако отсутствие данного инструмента приведет к резкому ограничению эффективности и удлинению периода обучения специалистов.

Список литературы

1. **Seixas-Mikelus, S. A.** Face validation of a novel robotic surgical simulator / S. A. Seixas-Mikelus, T. Kesavadas, G. Srimathveeravalli, R. Chandrasekhar, G. E. Wilding, and K. A. Gur // *Urology*. – 2010. – Vol. 76. – P. 357–60.
2. **Seixas-Mikelus, S. A.** Content validation of a novel robotic surgical simulator / S. A. Seixas-Mikelus, A. P. Stegmann, T. Kesavadas, G. Srimathveeravalli // *BJU Int.* – 2011. – Vol. 107. – P. 1130–1135.
3. **Kesavadas, T.** Efficacy of Robotic Surgery Simulator (RoSS) for the da Vinci® Surgical System / T. Kesavadas, A. Kumar, G. Srimathveeravalli, Z. Butt // *J. Urol.* – 2009. – Vol. 181. – Suppl. 823.
4. **Guru, K.** In-vivo videos enhance cognitive skills for da Vinci® Surgical System / K. Guru, A. Baheti, T. Kesavadas, A. Kumar, G. Srimathveeravalli, and Z. Butt // *J. Urol.* – 2009. – Vol. 181. – Suppl. 823.
5. **Gavazzi, A.** Face, content and construct validity of a virtual reality simulator for robotic surgery (SEP Robot) / A. Gavazzi, A. N. Bahsoun, W. Van Haute et al. // *Ann. R. Coll. Surg. Engl.* – 2011. – Vol. 93. – P. 146–50.
6. **Jonsson, M. N.** ProMISTM can serve as a da Vinci® simulator – a construct validity study / M. N. Jonsson, M. Mahmood, T. Askerud, H. Hellborg, S. Ramel, N. P. Wiklund, M. Kjellman, G. L. Ahlberg // *J. Endourol.* – 2011. – Vol. 25. – P. 345–350.

7. **Van der Meijden, O. A.** The SEP 'Robot': a valid virtual reality robotic simulator for the da vinci surgical system? / O. A. Van der Meijden, I. A. Broeders, M. P. Schijven // *Surg. Technol. Int.* – 2010. – Vol. 19. – P. 51–58.
8. **McDonough, P.** Initial validation of the ProMIS surgical simulator as an objective measure of robotic task performance / P. McDonough, A. Peterson, T. Brand // *J. Urol.* – 2010. – Vol. 183. – Suppl. 515.
9. **Lendvay, T. S.** VR robotic surgery: randomized blinded study of the dV-Trainer robotic simulator / T. S. Lendvay, P. Casale, R. Sweet, C. Peters // *Stud. Health Technol. Inform.* – 2008. – Vol. 132. – P. 242–244.
10. **Fiedler, M. J.** Virtual reality for robotic laparoscopic surgical training / M. J. Fiedler, S. J. Chen, T. N. Judkins, D. Oleynikov, N. Stergiou // *Stud. Health Technol. Inform.* – 2007. – Vol. 125. – P. 127–129.
11. **Sethi, A. S.** Validation of a novel virtual reality robotic simulator / A. S. Sethi, W. J. Peine, Y. Mohammadi, C. P. Sundaram // *J. Endourol.* – 2009. – Vol. 23. – P. 503–508.
12. **Kenney, P. A.** Face, content, and construct validity of dV-trainer, a novel virtual reality simulator for robotic surgery / P. A. Kenney, M. F. Wszolek, J. J. Gould, J. A. Libertino, and A. Moynzadeh // *Urology.* – 2009. – Vol. 73. – P. 1288–1292.
13. **Korets, R.** Face and construct validity assessment of 2nd generation robotic surgery simulator / R. Korets, J. A. Graversen, A. Mues, M. Gupta, J. Landman, K. K. Badani // *J. Urol.* – 2011. – Vol. 185. – Suppl. 488.
14. **Korets, R.** Comparison of robotic surgery skill acquisition between DV-Trainer and da Vinci surgical system: a randomized controlled study / R. Korets, A. C. Mues, J. Graversen et al. // *J. Urol.* – 2011. – Vol. 185. – Suppl. 593.
15. **Lerner, M. A.** Does training on a virtual reality robotic simulator improve performance on the da Vinci surgical system? / M. A. Lerner, M. Ayalew, W. J. Peine, C. P. Sundaram // *J. Endourol.* – 2010. – Vol. 24. – P. 467–472.
16. **Hung, A. J.** Face, content and construct validity of a novel robotic surgery simulator / A. J. Hung, P. Zehnder, M. B. Patil et al. // *J. Urol.* – 2011. – Vol. 186. – P. 1019–24.
17. **Fiedler, M. J.** Virtual reality for robotic laparoscopic surgical training / M. J. Fiedler, S. J. Chen, T. N. Judkins, D. Oleynikov, N. Stergiou // *Stud. Health Technol. Inform.* – 2007. – Vol. 125. – P. 127–129.
18. **Brown-Clerk, B.** Validated robotic laparoscopic surgical training in a virtual-reality environment / B. Brown-Clerk, K. C. Siu, D. Katsavelis, I. Lee, D. Oleynikov, N. Stergiou // *Surg. Endosc.* – 2009. – Vol. 23. – P. 66–73.
19. **Davis, J. W.** Initial experience of teaching robot-assisted radical prostatectomy to surgeons-in-training: can training be evaluated and standardized / J. W. Davis, A. Kamat, M. Munsell, C. Pettaway, L. Pisters, S. Matin // *BJU Int.* – 2010. – Vol. 105. – P. 1148–54.
20. **Van der Vleuten, C.** The assessment of professional competence: developments, research and practical implications / C. Van der Vleuten // *Adv. Health Sci. Educ. Theory Pract.* – 1996. – Vol. 1. – P. 41–67.
21. **Ahmed, K.** Observational tools for assessment of procedural skills: a systematic review / K. Ahmed, D. Miskovic, A. Darzi, T. Athanasiou, G. B. Hanna // *Am. J. Surg.* – 2011. – Vol. 202. – P. 469–80.
22. **Neary, P. C.** Construct validation of a novel hybrid virtual-reality simulator for training and assessing laparoscopic colectomy: results from the first course for experienced senior laparoscopic surgeons / P. C. Neary, E. Boyle, C. P. Delaney, A. J. Senagore, F. B. Keane, A. G. Gallagher // *Surg. Endosc.* – 2008. – Vol. 22. – P. 2301–2309.
23. **Pellen, M. G.** Construct validity of the ProMIS laparoscopic simulator / M. G. Pellen, L. F. Horgan, J. R. Barton, S. E. Attwood // *Surg. Endosc.* – 2009. – Vol. 23. – P. 130–139.

24. Feifer, A. Randomized controlled trial of virtual reality and hybrid simulation for robotic surgical training / A. Feifer, A. Al-Ammari, E. Kovac, J. Delisle, S. Carrier, M. Anidjar // *BJU Int.* – 2011. – Vol. 108. – P. 1652–1656.

References

1. Seixas-Mikelus S. A., Kesavadas T., Srimathveeravalli G., Chandrasekhar R., Wilding G. E. and Gur K. A. *Urology*. 2010, vol. 76, pp. 357–60.
2. Seixas-Mikelus S. A., Stegemann A. P., Kesavadas T., Srimathveeravalli G. *BJU Int.* – 2011, vol. 107, pp. 1130–1135.
3. Kesavadas T., Kumar A., Srimathveeravalli G., Butt Z. *J. Urol.* 2009, vol. 181, suppl. 823.
4. Guru K., Baheti A., Kesavadas T., Kumar A., Srimathveeravalli G. and Butt Z. *J. Urol.* 2009, vol. 181, suppl. 823.
5. Gavazzi A., Bahsoun A. N., Van Haute W. et al. *Ann. R. Coll. Surg. Engl.* 2011, vol. 93, pp. 146–50.
6. Van der Meijden O. A., Broeders I. A., Schijven M. P. *Surg. Technol. Int.* 2010, vol. 19, pp. 51–58.
7. McDonough P., Peterson A., Brand T. *J. Urol.* 2010, vol. 183, suppl. 515.
8. Lendvay T. S., Casale P., Sweet R., Peters C. *Stud. Health Technol. Inform.* 2008, vol. 132, pp. 242–244.
9. Jonsson M. N., Mahmood M., Askerud T., Hellborg H., Ramel S., Wiklund N. P., Kjellman M., Ahlberg G. L. *J. Endourol.* 2011, vol. 25, pp. 345–350.
10. Fiedler M. J., Chen S. J., Judkins T. N., Oleynikov D., Stergiou N. *Stud. Health Technol. Inform.* 2007, vol. 125, pp. 127–129.
11. Sethi A. S., Peine W. J., Mohammadi Y., Sundaram C. P. *J. Endourol.* 2009, vol. 23, pp. 503–508.
12. Kenney P. A., Wszolek M. F., Gould J. J., Libertino J. A. and Moinzadeh A. *Urology*. 2009, vol. 73, pp. 1288–1292.
13. Korets R., Graverson J. A., Mues A., Gupta M., Landman J., Badani K. K. *J. Urol.* 2011, vol. 185, suppl. 488.
14. Korets R., Mues A. C., Graverson J. et al. *J. Urol.* 2011, vol. 185, suppl. 593.
15. Lerner M. A., Ayalew M., Peine W. J., Sundaram C. P. *J. Endourol.* 2010, vol. 24, pp. 467–472.
16. Hung A. J., Zehnder P., Patil M. B. et al. *J. Urol.* 2011, vol. 186, pp. 1019–24.
17. Fiedler M. J., Chen S. J., Judkins T. N., Oleynikov D., Stergiou N. *Stud. Health Technol. Inform.* 2007, vol. 125, pp. 127–129.
18. Brown-Clerk B., Siu K. C., Katsavelis D., Lee I., Oleynikov D., Stergiou N. *Surg. Endosc.* 2009, vol. 23, pp. 66–73.
19. Davis J. W., Kamat A., Munsell M., Pettaway C., Pisters L., Matin S. *BJU Int.* 2010, vol. 105, pp. 1148–54.
20. Van der Vleuten C. *Adv. Health Sci. Educ. Theory Pract.* 1996, vol. 1, pp. 41–67.
21. Ahmed K., Miskovic D., Darzi A., Athanasiou T., Hanna G. B. *Am. J. Surg.* 2011, vol. 202, pp. 469–80.
22. Neary P. C., Boyle E., Delaney C. P., Senagore A. J., Keane F. B., Gallagher A. G. *Surg. Endosc.* 2008, vol. 22, pp. 2301–2309.
23. Pellen M. G., Horgan L. F., Barton J. R., Attwood S. E. *Surg. Endosc.* 2009, vol. 23, pp. 130–139.
24. Feifer A., Al-Ammari A., Kovac E., Delisle J., Carrier S., Anidjar M. *BJU Int.* 2011, vol. 108, pp. 1652–1656.

Колонтарев Константин Борисович

доктор медицинских наук, ассистент,
кафедра урологии, Московский
государственный медико-
стоматологический университет
имени А. И. Евдокимова (Россия,
г. Москва, ул. Вучетича, 20, корпус 2)

E-mail: kb80@yandex.ru

Шептунов Сергей Александрович

доктор технических наук, профессор,
директор Института конструкторско-
технологической информатики
Российской академии наук (Россия,
г. Москва, Вадковский переулок, 18,
стр. 1а)

E-mail: ship@ikti.ru

Прилепская Елена Анатольевна

старший лаборант, кафедра урологии,
Московский государственный медико-
стоматологический университет
имени А. И. Евдокимова (Россия,
г. Москва, ул. Вучетича, 20, корпус 2)

E-mail: prilepskaya@mail.ru

Мальцев Егор Георгиевич

аспирант, Московский государственный
медико-стоматологический университет
имени А. И. Евдокимова (Россия,
г. Москва, ул. Вучетича, 20, корпус 2)

E-mail: zazazoo@yandex.ru

Пушкарь Дмитрий Юрьевич

доктор медицинских наук, профессор,
заведующий кафедрой урологии,
Московский государственный медико-
стоматологический университет
имени А. И. Евдокимова (Россия,
г. Москва, ул. Вучетича, 20, корпус 2)

E-mail: pushkardm@mail.ru

Kolontarev Konstantin Borisovich

Doctor of medical sciences, assistant,
sub-department of urology, Moscow
State University of Medicine and Dentistry
named after A. I. Evdokimov (building 2,
20 Vucheticha street, Moscow, Russia)

Sheptunov Sergey Aleksandrovich

Doctor of engineering sciences, professor,
director of the Institute of design
and technological informatics
of the Russian Academy of Sciences
(building 1a, 18 Vadovsky lane,
Moscow, Russia)

Prilepskaya Elena Anatol'evna

Senior laboratory assistant, sub-department
of urology, Moscow State University
of Medicine and Dentistry named after
A. I. Evdokimov (building 2,
20 Vucheticha street, Moscow, Russia)

Mal'tsev Egor Georgievich

Postgraduate student, Moscow State
University of Medicine and Dentistry
named after A.I. Evdokimov (building 2,
20 Vucheticha street, Moscow, Russia)

Pushkar' Dmitriy Yur'evich

Doctor of medical sciences, professor,
head of sub-department of urology,
Moscow State University of Medicine
and Dentistry named after A. I. Evdokimov
(building 2, 20 Vucheticha street,
Moscow, Russia)

УДК 616-78

Симуляторы в обучении робот-ассистированной хирургии (обзор литературы) / К. Б. Колонтарев, С. А. Шептунов, Е. А. Прилепская, Е. Г. Мальцев, Д. Ю. Пушкарь // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Медицинские науки. – 2016. – № 2 (38). – С. 116–131. DOI 10.21685/2072-3032-2016-2-12