

Роботическая хирургия: вчера, сегодня, завтра

© П.А. ПОТАПОВ¹, Д.С. ТИМОШЕНКО², В.П. АРМАШОВ³, Н.Л. МАТВЕЕВ³, А.М. БЕЛОУСОВ²

¹ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова» Минздрава России, Москва, Россия;

²ГБУЗ «Московский клинический научно-практический центр им. А.С. Логинова» Департамента здравоохранения Москвы, Москва, Россия;

³ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава России, Москва, Россия

Резюме

Цель исследования. На основе исторических предпосылок провести анализ развития роботизированной хирургии, изучить возможности новой роботической хирургической системы *Senhance* и определить дальнейшие перспективы ее применения.

Материал и методы. Проанализированы данные проспективной группы, включающей 51 пациента с хирургической патологией, которым были проведены оперативные вмешательства с применением новой роботической системы *Senhance*. Робот-ассистированная холецистэктомия выполнена у 20 пациентов, роботическая трансабдоминальная преперитонеальная пластика паховой грыжи — у 31 пациента.

Результаты. Анализ интраоперационных и ранних послеоперационных данных показал безопасность применения для пациентов роботического комплекса *Senhance*. Эргономичность системы способствует существенно меньшему утомлению хирурга в ходе операции, увеличивает ее эффективность.

Заключение. Появление конкурентоспособных роботических систем способствует динамичному развитию роботизированной хирургии и в перспективе приведет к снижению стоимости использования этой технологии. Инновационные решения, применяемые в современных роботических комплексах, основываются на принципах машинного обучения, что в дальнейшем сделает «робота-хирурга» не просто инструментом, а полноценным членом операционной бригады.

Ключевые слова: роботизированная хирургия, миниинвазивная хирургия, *DaVinci*, *Senhance*.

Информация об авторах:

Потапов П.А. — <https://orcid.org/0000-0001-7304-4272>

Тимошенко Д.С. — <https://orcid.org/0000-0001-5957-869X>

Армашов В.П. — <https://orcid.org/0000-0001-5108-1400>

Матвеев Н.Л. — <https://orcid.org/0000-0001-9113-9400>

Белуосов А.М. — <https://orcid.org/0000-0002-2274-8170>

Автор, ответственный за переписку: Матвеев Н.Л. — e-mail: n.l.matveev@gmail.com

Как цитировать:

Потапов П.А., Тимошенко Д.С., Армашов В.П., Матвеев Н.Л., Белуосов А.М. Роботическая хирургия: вчера, сегодня, завтра. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*. 2022;11:29–35. <https://doi.org/10.17116/hirurgia202211129>

Robotic-assisted surgery: yesterday, today, tomorrow

© P.A. POTAPOV¹, D.S. TIMOSHENKO², V.P. ARMASHOV³, N.L. MATVEEV³, A.M. BELOUSOV²

¹Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Moscow, Russia;

²Loginov Moscow Clinical Scientific Center, Department of Healthcare, Moscow, Russia;

³Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia

Abstract

Objective. Analysis of development of «robotic surgery» on the basis of historical prerequisites, review of the possibilities of the new *Senhance* robotic surgical system and determination of further perspective.

Material and methods. A prospective group of 51 patients with surgical pathology who underwent surgical interventions using the new *Senhance* robotic system was analyzed. The study included 51 patients. Robot-assisted cholecystectomy was performed in 20 patients, 31 patients underwent robotic transabdominal preperitoneal plastic surgery.

Results. A short-term analysis of intraoperative and early postoperative data showed the safety of using the *Senhance* robotic complex for the patient. The ergonomics of this system contributes to significantly less fatigue of the surgeon during the operation, increasing its efficiency and safety.

Conclusion. The emergence of competitive robotic systems contributes to the dynamic development of robotic surgery, which in turn will lead to a reduction in the cost of these technologies in the future. Innovative solutions used in modern robotic complexes are based on the principles of machine learning, which in due time will make the «robot surgeon» not just a tool, but a full-fledged member of the operating team.

Keywords: *robotic surgery, minimally invasive surgery, DaVinci, Senhance.*

Information about the authors:Potapov P.A. — <https://orcid.org/0000-0001-7304-4272>Timoshenko D.S. — <https://orcid.org/0000-0001-5957-869X>Armashov V.P. — <https://orcid.org/0000-0001-5108-1400>Matveev N.L. — <https://orcid.org/0000-0001-9113-9400>Belousov A.M. — <https://orcid.org/0000-0002-2274-8170>**Corresponding author:** Matveev N.L. — e-mail: n.l.matveev@gmail.com**To cite this article:**Potapov PA, Timoshenko DS, Armashov VP, Matveev NL, Belousov AM. Robotic-assisted surgery: yesterday, today, tomorrow. *Pirogov Russian Journal of Surgery = Khirurgiya. Zurnal im. N.I. Pirogova*. 2022;11:29–35. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/hirurgia202211129>

Введение

XX век ознаменовался масштабной эволюцией в медицине в целом и в хирургии в частности. Внедрение асептики и антисептики, прогресс в анестезиологии, улучшение периоперационного ухода, а также стандартизация в вопросах организации здравоохранения положили начало эпохе творчества и научных экспериментов, которые привели к взрывному росту во всех направлениях хирургической помощи.

Крупные исторические и политические события, в том числе мировые войны и распространение промышленной революции, создали условия для быстрого развития хирургической науки в области травматологии, интенсивной терапии и сосудистой хирургии.

В 1950-е годы произошли значительные открытия в области кардиоторакальной хирургии, внедрение искусственного кровообращения и, в конечном счете, трансплантации органов.

Однако еще 30–40 лет назад вряд ли кто-то мог всерьез поверить тому, что в скором времени врачи будут выполнять хирургические вмешательства, даже сложные, вводя тонкие трубки в брюшную полость, заполненную углекислым газом, и наблюдая за манипуляциями на экране. И совсем фантастически могла прозвучать идея о дистанционном выполнении хирургических вмешательств.

Однако новые разработки в области средств фото- и видеофиксации, а также новые диагностические инструменты позволили превратить такие идеи в реальность и сделать повседневными, при этом привели к значительным изменениям в парадигме подхода к заболеваниям. Внедрение гибкой эндоскопии, а затем и лапароскопии стало серьезной революцией. Хирургия с минимальным доступом оказала повсеместное влияние на все дисциплины хирургии, что обусловило уменьшение числа осложнений, боли и способствовало переходу от стационарной хирургии к амбулаторной.

В начале **XXI** века произошло развитие роботической хирургии. Первые поколения роботических систем демонстрировали заметные преимущества перед лапароскопической хирургией того времени. Ранние системы уже предлагали преимущества **3D**-визуализации, не имевшей аналогов в лапароско-

пической хирургии, и инструменты, имевшие больше степеней свободы движения, чем человеческое запястье. Однако высокая стоимость оборудования и увеличенное время операции ограничили распространение роботической хирургии. Долгое время возникали серьезные вопросы о целесообразности роботических операций в большинстве областей хирургии, за исключением урологии. Однако постепенно робот-ассистированные вмешательства стали внедряться во все большее количество хирургических специальностей — в гинекологию, колопроктологию, торакальную хирургию, общую хирургию, преимущественно в те области, где работа происходит в ограниченном пространстве.

В ходе накопления опыта вектор внимания исследователей и хирургов был перемещен на вопросы о возможностях и осуществимости, а не необходимости или целесообразности.

Но прежде чем попытаться ответить на вопрос «Нужен ли робот в операционной?», необходимо вспомнить историю развития робот-ассистированной технологии.

Механические автоматизированные машины существуют с глубокой древности. Древнегреческий философ Архит Тарентский сконструировал летающего голубя с паровым двигателем в 350 г. до нашей эры.

В **XV** веке Леонардо да Винчи сконструировал своего знаменитого робота, механического рыцаря, приводимого в движение шкивами и тросами, основываясь на знаниях, полученных при анатомических вскрытиях. Хотя эти устройства можно рассматривать как ранних «роботов», сегодняшнее восприятие робота было сформировано научной фантастикой в **XX** веке.

Термин «робот» был впервые употреблен чешским писателем-фантастом Карелом Чапеком в пьесе 1920 г. «**R.U.R.**» («Универсальные роботы Россума»). В его произведении раса искусственных существ, созданных для тяжелой работы, восстает против человечества и в итоге уничтожает его. Пьеса стала международно известной, и ее экранизация в 1938 г. стала первым произведением научной фантастики, транслировавшимся по телевидению. К 1940-м годам американский писатель Айзек Азимов еще больше по-

поляризовал роботов, сформулировав «Три закона робототехники». Интересно, что Айзеку Азимову во время холодной войны предложили сотрудничество с Агентством перспективных оборонных исследовательских проектов (**DARPA**) — тем же агентством, которое сыграло важную роль в разработке технологии, лежащей в основе современных хирургических роботов [1]. Пример робототехники в травматологии, сосудистой хирургии и хирургии кисти был показан на большом экране в 1980 г. в фильме «Звездные войны», когда робот выполнил имплантацию протеза руки Люку Скайуокеру с отличным результатом.

Роботы стали реальностью в 1961 г., когда первый промышленный робот под названием **Unimate** начал работать на сборочном заводе **General Motors** в городке Юинг-Тауншип, штат Нью-Джерси, выполняя автоматизированные задачи, опасные для человека [2].

Первая роботизированная хирургическая процедура, стереотаксическая биопсия головного мозга, была проведена в 1985 г. **Y. Kwoh** и соавт. [3]. Устройство называлось **PUMA**: адаптированный промышленный манипулятор, который использовался для позиционирования биопсионной иглы, устраняя тремор и повышая точность. Это привело к появлению множества последующих устройств, которые получили одобрение Управления по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов США (**FDA**) и широко используются сегодня. **PUMA** послужила основой для создания робота **PROBOT (Integrated Surgical Supplies Ltd., США)**, который успешно применялся для трансуретральной резекции простаты. Другое устройство, **ROBODOC**, разработанное для эндопротезирования тазобедренного сустава, позволяло точно вырезать сердцевину из головки бедренной кости для установки протеза. Система **PAKY** представляла собой платформу, предназначенную для чрескожного доступа к почке [4]. Все эти устройства были разработаны для достижения одной цели, одной конкретной процедуры и одной специальности, и в их основе лежало стремление к точности.

Однако концепция наиболее широко используемой на сегодняшний день роботизированной хирургической платформы возникла из другой концепции: телеприсутствия.

В 1986 г. Фил Грин (**Phil Green**), доктор философии Стэнфордского исследовательского института (**SRI**), начал исследования по созданию удаленно управляемого хирургического манипулятора, способного выполнять микрохирургические операции. В 1987 г. военный врач, полковник армии США Ричард Сатава (**Richard Satava**) присоединился к **SRI**, и началось строительство первого прототипа. Устройство, названное доктором Грином «хирургическая система телеприсутствия», состояло из двух отдельных частей: рабочего места хирурга и удаленного хирургического блока. Рабочая станция включала в себя

трехмерный (**3D**) монитор, использовавший принцип поляризации, динамик и была эргономично спроектирована для обеспечения погружения оператора в виртуальную среду. Дистанционный хирургический блок включал в себя стереоскопическую видеокамеру и два манипулятора со сменными наконечниками. Приборы допускали четыре степени свободы движений и обеспечивали обратную связь. В 1989 г. полковник Сатава увидел видеозапись лапароскопической холецистэктомии в исполнении Жака Перрисата (**Jacques Perrisat**) на съезде Общества американских желудочно-кишечных и эндоскопических хирургов (**SAGES**) в Луисвилле, штат Кентукки. Осознав многочисленные преимущества системы телеприсутствия при лапароскопии (устранение эффекта точки опоры, уменьшение тремора, улучшение ловкости, стереоскопическое зрение), полковник Сатава помог перенаправить фокус проекта **SRI** с микрохирургии на лапароскопическую хирургию. В 1992 г. полковник Сатава был назначен в программу передовых биомедицинских технологий **DARPA** [5, 6].

В **DARPA** прототип **SRI** являлся центральным элементом более масштабной концепции: подвижной медицинской помощи (**MEDFAST**). Хирург должен был выполнять процедуру удаленно, при этом пациент располагался в специально оборудованном бронированном автомобиле, используемом для транспортировки раненых. Эта концепция объединила платформу с транспортным средством и другими медицинскими технологиями, разработанными **DARPA**, такими как цифровая рентгенография и роботизированная медицинская сестра, способная менять инструменты и выдавать лекарства. **MEDFAST** представлял собой полноценную мобильную операционную с оборудованием для анестезии, аспирации и электрохирургии, а в будущем планировалось добавить компьютерный томограф. Поскольку платформа предназначалась для движущегося транспортного средства, особая роль отводилась обеспечению уменьшения тремора, а система камер была усовершенствована за счет увеличения разрешения, улучшения стабильности, усиления зума: положение камеры могло подстраиваться под внешнее движение, сохраняя стабильный обзор для хирурга.

Прототип был показан в 1993 г. во время полевых учений в Огае, штат Джорджия, и в следующем году на Ежегодном съезде Ассоциации армии США. При этом оба компонента требовали кабельного подключения.

Затем началось тестирование системы на животных моделях. Успешно были выполнены различные сосудистые хирургические операции [7]. Также проводили лечение висцеральных повреждений на моделях свиней *in vivo* и урологические процедуры, такие как нефрэктомия и восстановление мочевого пузыря. Во всех случаях процедуры были успешными,

однако длились значительно дольше, чем открытые вмешательства.

Первая роботизированная хирургическая система, одобренная **FDA**, была разработана частной компанией **Computer Motion** (США), основанной доктором Юлун Вангом (**Yulun Wang**) в 1990 г. Работа была поддержана грантами **NASA** и **DARPA**.

Автоматизированная эндоскопическая система оптимального позиционирования (**AESOP**) была предназначена для удержания и направления лапароскопа под контролем хирурга с помощью роботизированной руки с голосовым управлением. Система была одобрена **FDA** в 1994 г. с использованием более быстрой процедуры **510k**, создав прецедент для будущих роботизированных систем.

В 1996 г. компания **Computer Motion** представила **HERMES**, интегрированную систему для операционной, позволяющую голосом управлять различными функциями, такими как освещение и инфузия. В том же году **Computer Motion** выпустила **ZEUS**, полную роботизированную хирургическую систему, включающую **AESOP** и две роботические руки с шестью, а позже и семью степенями свободы движения. При работе полностью нивелировался тремор и появилось масштабирование движений.

В 1998 г. устройство **ZEUS** впервые было применено при выполнении реанастомоза маточных труб у пациента, а в 1999 г. его использовали при аортокоронарном шунтировании.

Система **ZEUS** получила одобрение **FDA** в 2001 г. В том же году с ее помощью была проведена первая телехирургическая процедура — лапароскопическая холецистэктомия. При этом пациент лежал на операционном столе в Страсбурге, Франция, а хирург, Жак Мареско (**Jacques Marescaux**), работал из Нью-Йорка [8]. Для этого процесса потребовалось специальное высокоскоростное трансатлантическое кабельное соединение.

В 2001 г. устройство **SOCRATES** (**Computer Motion**) получило одобрение **FDA**. Система была разработана для дистанционного наставничества и была успешно использована для нескольких процедур в отдаленных районах Канады доктором Мехран Анвари (**Mehran Anvari**) и его командой [9].

Компания **Intuitive Surgical** была основана в 1995 г. докторами Фредом Моллом (**Fred Moll**), Джоном Фройндом (**John Freund**) и инженером Робертом Янгом (**Robert Younge**). Первый представленный ими прототип, основанный на разработках **SRI**, был назван **Lenni**, сокращенно от Леонардо, и включал в себя три роботизированные руки (одна для лапароскопа и две для инструментов) с семью степенями свободы движения. Во второй прототип, **Mona**, названный в честь Моны Лизы Леонардо да Винчи, были добавлены сменные инструменты, однако устройство не имело держателя камеры, поэтому требовался помощник, ассистент у операционного стола.

Mona стала первым хирургическим роботом, который начали применять при вмешательствах с участием человека. Это произошло в 1997 г., за год до использования **ZEUS**. Первая операция, лапароскопическая холецистэктомия, была выполнена доктором Жаком Химпенсом (**Jacques Himpens**), бариатрическим хирургом из Дендермонде, Бельгия.

Статья, описывающая первый опыт применения этой роботической системы, была отклонена такими ведущими журналами, как **New England Journal of Medicine** и **The Lancet**, поскольку была признана «неуместной», с дополнительным комментарием: «очень маловероятно, что это произошло на самом деле».

Год спустя доктор ГиБернар Кадьер (**GuyBernard Cadie're**), известный тем, что в 1992 г. выполнил первое лапароскопическое бандажирование желудка, провел первую фундопликацию по Ниссену, используя усовершенствованную систему, включающую руку с лапароскопом.

В 1998 г. доктор Кадьер также представил первую роботизированную бариатрическую операцию — бандажирование желудка, подчеркнув преимущества робототехники для этой категории пациентов. Следует отметить, что во всех этих отчетах использовался термин «лапароскопическая хирургия с телеприсутствием» [10].

В том же году была представлена система **Intuitive Surgical** следующего поколения, которая была названа **DaVinci**. Она имела привычный современный вид. Система включала в себя консоль хирурга, тележку пациента с оптической системой и инструментальными манипуляторами. Визуализация была улучшена с помощью нового 3D-лапароскопа с системой, обеспечивающей раздельный видеопоток для левого и правого глаза хирурга. Интерфейс между прибором и манипуляторами был усовершенствован и, как следствие, менее подвержен сбоям, а контроллеры были модернизированы.

Испытания начались в 1998 г., а разрешение **FDA** было получено в 2000 г., через ту же процедуру **510k**, что и система **Computer Motion**, которая позволила быстро внедрить устройство на рынок. Как и **ZEUS**, робот **DaVinci** изначально был нацелен на кардиоторакальную хирургию, однако более широкое применение нашел в урологии. **DaVinci** позволил хирургам-урологам плавно перейти от открытого к минимально инвазивному доступу, что, как показали исследования, привело к улучшению результатов лечения пациентов [11].

В течение следующих нескольких лет продукты компаний **Computer Motion** и **Intuitive Surgical** конкурировали по мере роста внедрения роботизированной хирургии. Между двумя компаниями началась патентная война, которая завершилась слиянием в 2003 г. Выпуск устройства **ZEUS** было прекращено в пользу системы **DaVinci**, в то время как технологии

Computer Motion были использованы для улучшения системы следующего поколения.

Последовало несколько поколений платформы: **DaVinci S, Si, Si HD, X и Xi**. Несмотря на то, что концепция осталась прежней, значительные усовершенствования технологии и инструментов позволили расширить область применения **DaVinci**.

Первоначально использование роботизированной хирургии доминировало в гинекологии и урологии, однако с 2016 г. хирургические роботы стало более широко применяться в общей хирургии. По состоянию на июнь 2019 г. в мире было выполнено более 6 млн роботизированных процедур [12].

Однако следует отметить, что монопольное, агрессивное поведение компании **Intuitive Surgical** на рынке роботических систем значительно затормозило конкуренцию и прогресс в разработке альтернативных роботохирургических подходов. До настоящего времени роботическая хирургия для многих хирургов, к сожалению, ассоциируется исключительно с системами **DaVinci**.

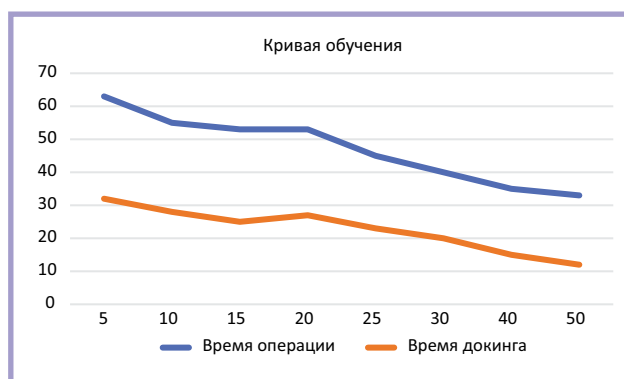
По окончании срока действия патентов США на промышленный образец (15 лет) активно начались конкурентные разработки. В 2017 г. система **Senhance** компании **TransEnterix** (теперь **Asensus Surgical**) стала первой, получившей разрешение **FDA** после **DaVinci** и **ZEUS**. Компания позиционирует эту систему как решение для «цифровой лапароскопии», подчеркивая различия с подходом **Intuitive Surgical**.

В систему **Senhance** были внедрены различные передовые технологии, такие как отслеживание движений глаз хирурга для управления камерой, отдельные, но взаимозаменяемые мехатронные консоли для каждого инструмента и видеосистемы, отсутствие фиксации роботических рук к троакарам и обратная тактильная связь. Система была одобрена **FDA** для колоректальной, гинекологической хирургии, хирургии грыж и холецистэктомий.

Материал и методы

В рамках сотрудничества МКНЦ им. А.С. Логина ДЗМ и кафедры экспериментальной и клинической хирургии медико-биологического факультета РНИМУ им. Н.И. Пирогова, с ноября 2021 г. проводится клиническая апробация интеллектуальной роботической системы для выполнения лапароскопических операций **Senhance Surgical System** производства компании **Asensus Surgical**.

С ноября 2021 по май 2022 г. хирургами выполнена 51 операция с использованием этой системы: 20 холецистэктомий и 31 трансабдоминальная преперитонеальная пластика паховой грыжи. Все операции осуществлялись двумя хирургами, прошедшими предварительное обучение по работе на роботической системе **Senhance**, а также имеющими значительный опыт в проведении лапароскопических операций.



Кривая обучения для докинга и хирургического этапа работы на роботической системе **Senhance.**

Learning Curve for Docking and Surgical Stage bots on the Senhance robotic system.

В анализ включены данные 51 пациента: 38 (74,5%) мужчин и 13 (25,5%) женщин. Средний возраст составил 52 года (разброс 27—75 лет). Среднее время операции — $64,7 \pm 15$ мин. При этом при первых 30 операциях время докинга роботической системы составляло в среднем половину от времени самой операции (см. рисунок). После первых 10 вмешательств время операции стало сопоставимо со временем, затрачиваемым хирургами на аналогичные операции из стандартного лапароскопического доступа. После 30-й операции значительно сократилось время докинга, а также самого оперативного вмешательства.

Интраоперационных и ранних послеоперационных осложнений не было.

Результаты

По первичным результатам работы с **Senhance Surgical System** можем отметить следующее:

- благодаря модульной компоновке система удобно монтируется в операционных площадью от 30 м²;

- открытая идеология системы позволяет использовать видеосистемы различных производителей и с разными характеристиками, в том числе уже имеющиеся в операционных;

- система позволяет использовать электрохирургические блоки, входящие в стандартное оборудование операционных;

- система оснащена большим разнообразием многоразовых лапароскопических инструментов с рабочим диаметром 3, 5 и 10 мм, в том числе с изгибаемой рабочей частью, что позволяет выполнять широкий спектр лапароскопических операций в абдоминальной хирургии, урологии, гинекологии, онкологии, колопроктологии, торакальной хирургии, детской хирургии (по опыту зарубежных коллег);

- смена инструментов в ходе операции реализована удобно, выполняется подготовленной операционной сестрой в течение 5—10 с;

— система оснащена дополнительным современным инструментарием для надежного гемостаза и диссекции — ультразвуковым диссектором и инструментом для наложения клипс **Hem-O-Lock**;

— в системе реализован уникальный механизм обратной тактильной чувствительности инструментов, регулируемой скорости отклика инструментов и подавления тремора;

— расходным материалом однократного применения для операции являются только стерильные пластиковые изолирующие чехлы. Срок службы инструментария соответствует таковому стандартных лапароскопических инструментов;

— рабочее место хирурга организовано эргономично, с удобным креслом, манипуляционными рукоятками и другими органами управления, высококачественным видеомонитором, поддерживающим режимы **4K/3D**; системой отслеживания движений глаз хирурга для управления видеокамерой. Все это способствует существенно меньшему утомлению хирурга в ходе операции, увеличивая ее эффективность и безопасность;

— в серии операций осложнений не было. Отмечен быстрый прирост умений и формирования навыка докинга системы и оперирования. Учитывая стандартную для лапароскопии расстановку доступов, в случае возникновения хирургических или технических проблем можно быстро конвертировать роботическую процедуру в обычную лапароскопическую;

— расположение точек доступа по вершинам квадрата, в обоих подреберьях и обеих подвздошных областях, в сочетании с перемещением видеокамеры и инструментов между роботическими «руками» позволяет оперировать во всех отделах брюшной полости без редокинга системы.

Система **Senhance** является удобным современным инструментом, существенно повышающим эффективность и безопасность лапароскопической хирургии. Открытая модульная компоновка и многообразный инструментарий позволяют значительно снизить затраты на выполнение операций с помощью **Senhance Surgical System** по сравнению с другими роботическими системами, расширяя спектр вмешательств до пределов стандартной лапароскопии, при сохранении эргономических преимуществ робота.

Несомненно, дальнейшим и уже реализуемым этапом развития минимально инвазивной хирургии будет широкое внедрение роботических систем. В настоящее время закладываются технические и методические основы роботической хирургии, в которую все более вовлекаются хирурги. **Senhance Surgical System** дает отличную возможность владеющим лапароскопией хирургам комфортно адаптироваться к роботической технологии, чтобы соответствовать вызовам будущего в хирургии.

Заключение

Эволюция от привычной мануальной лапароскопической хирургии к роботизированной хирургии началась с встраивания компьютеризированного механического интерфейса между хирургом и пациентом. Дальнейшее развитие, поддерживаемое **Asensus Surgical**, — это создание полноценной цифровой интервенционной платформы с распознаванием образов и искусственным интеллектом.

Применение роботизированной хирургии открывает огромные возможности, которые изменяют опыт как хирурга, так и пациента.

Разрабатываемые приложения включают сбор данных и оценку эффективности хирургического вмешательства, а также внедрение методов глубокого машинного обучения в области компьютерного зрения, которые помогут хирургу интерпретировать анатомию. Другие, более сложные системы будут отслеживать движения хирурга, анатомические данные пациента и сопоставлять их результатами операций, чтобы предоставить системы раннего предупреждения о возможных осложнениях.

Наиболее сложным аспектом является вопрос, как эти системы будут участвовать в процессе принятия хирургических решений в режиме реального времени. На сегодняшний день идет сбор данных о перфузии тканей, которые помогают выбрать подходящее место для анастомоза. Молекулярные маркеры определяют границы резекции, а интеллектуальные степлеры автоматически останавливают процесс сшивания, чтобы обеспечить адекватную компрессию или посоветовать лучший выбор высоты скобок.

Роботизированные сложные системы основаны на рекуррентных сверточных нейронных сетях, которые постоянно обучаются и обновляются при каждом запуске основного продукта и становятся все более эффективными. Еще более развитые системы, основанные на дифференциальном программировании, будут собирать структурированные и неструктурированные данные в режиме реального времени из многих источников, включая электронные медицинские карты, системы мониторинга анестезии, видеоизображения и данные хирурга для принятия решений, на которые можно будет все больше полагаться.

В настоящее время начинается новая эра в хирургии, при которой происходит резкий рост роботизированной хирургии. Распространение и коммерциализация новых роботизированных хирургических систем в течение следующих нескольких лет будут стимулировать конкуренцию, снижать стоимость и ускорять внедрение этих технологий.

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

The authors declare no conflict of interest.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. The write stuff: Asimov's secret Cold War mission. *The Times*. Accessed August 20, 2019. <https://www.thetimes.co.uk/article/the-write-stuff-asimovs-secret-cold-war-mission-jc8k5w9pb7b>
2. Unimate. The first industrial robot. *Robotics online*. Accessed August 12, 2019. <https://www.robotics.org/joseph-engelberger/unimate.cfm>
3. Kwoh YS, Hou J, Jonckheere EA, Hayati S. A robot with improved absolute positioning accuracy for CT guided stereotactic brain surgery. *IEEE Trans Biomed Eng*. 1988;35(2):153-161. <https://doi.org/10.1109/10.1354>
4. Shah J, Vyas A, Vyas D. The history of robotics in surgical specialties. *Am J Robot Surg*. 2014;1(1):12-20.
5. Satava RM. Robotic surgery: from past to future—a personal journey. *Surg Clin North Am*. 2003;83(6):1491-500, xii.
6. Satava RM. Surgical robotics: the early chronicles: a personal historical perspective. *Surg Laparosc Endosc Percutan Tech*. 2002;12(1):6-16.
7. Bowersox JC, Shah A, Jensen J, et al. Vascular applications of telepresence surgery: initial feasibility studies in swine. *J Vasc Surg*. 1996;23(2):281-287.
8. Marescaux J, Leroy J, Rubino F, et al. Transcontinental robot-assisted remote telesurgery: feasibility and potential applications. *Ann Surg*. 2002;235(4):487-492.
9. Anvari M. Remote telepresence surgery: the Canadian experience. *Surg Endosc*. 2007;21(4):537-541.
10. My experience performing the first telesurgical procedure in the world: Bariatric Times. Accessed August 17, 2019. <https://bariatrictimes.com/my-experience-performing-the-first-tele-surgical-procedure-in-the-world/>
11. Tewari A, Srivasatava A, Menon M, Members of the VIP Team. A prospective comparison of radical retropubic and robot-assisted prostatectomy: experience in one institution. *BJU Int*. 2003;92(3):205-210.
12. Investor Relations. Intuitive surgical. Accessed August 20, 2019. <https://isrg.gcs-web.com/investors>

Поступила 21.09.2022
Received 21.09.2022
Принята к печати 10.10.2022
Accepted 10.10.2022