

## СОВРЕМЕННАЯ РОБОТОТЕХНИКА В МЕДИЦИНЕ

Мосоян М. С., Федоров Д. А.

Федеральное государственное бюджетное учреждение  
«Национальный медицинский исследовательский центр имени  
В. А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской  
Федерации, Санкт-Петербург, Россия

**Контактная информация:**

Федоров Дмитрий Александрович,  
ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова»  
Минздрава России,  
ул. Аккурадова, д. 2, Санкт-Петербург,  
Россия, 197341.

E-mail: tvoiurolog@gmail.com

*Статья поступила в редакцию 03.09.2020  
и принята к печати 12.10.2020.*

### Резюме

На сегодняшний день робот-ассистированная хирургия и в целом применение роботов в медицине знаменует качественно новый этап развития минимально инвазивных технологий и эндовидеохирургии за счет высокого уровня точности, функциональности и эргономичности современных роботических систем. С помощью роботических технологий повышается качество диагностических манипуляций, улучшаются результаты терапевтических процедур и хирургических вмешательств, что в конечном итоге ведет к улучшению прогноза и качества жизни для пациентов, при этом также значительно расширяются возможности клиницистов. В данной обзорной статье приведены основные исторические вехи и предпосылки развития автоматизации и роботических технологий, применяемых в различных отраслях производства, с древних времен до настоящего времени. Кратко изложена история применения роботизированных процедур в разных областях медицины. Особое внимание уделено робот-ассистированной хирургии как одному из главных плацдармов применения современных технологий. На данный момент можно смело говорить, что медицинская робототехника играет очень важную роль в развитии хирургии будущего.

**Ключевые слова:** малоинвазивная хирургия, робот-ассистированные операции, роботическая хирургия, робототехника, урология.

*Для цитирования: Мосоян М.С., Федоров Д.А. Современная робототехника в медицине. Трансляционная медицина. 2020; 7 (5): 91-108. DOI: 10.18705/2311-4495-2020-7-5-91-108*

## MODERN ROBOTICS IN MEDICINE

Mosoyan M. S., Fedorov D. A.

Almazov National Medical Research Centre, Saint Petersburg, Russia

**Corresponding author:**

Fedorov Dmitriy A.,  
Almazov National Medical Research Centre,  
Akkuratova str. 2, Saint Petersburg, Russia,  
197341.  
E-mail: tvoiuurolog@gmail.com

Received 03 September 2020; accepted  
12 October 2020.

### Abstract

Today, robot-assisted surgery and the use of robots in medicine marks a qualitatively new stage in the development of minimally invasive technologies and endovideosurgery, due to the high level of accuracy, functionality and ergonomics of modern robotic systems. With the help of robotic technologies, the quality of diagnostic manipulations as well as the results of therapeutic procedures and surgical interventions are significantly improved, which ultimately leads to an improved prognosis and quality of life for patients, while also expanding the capabilities of clinicians. This review article presents the main historical milestones and prerequisites for the development of automation and robotic technologies used in various industries, from ancient times to the present. The history of the use of robotic procedures in various fields of medicine is briefly described. Special attention is paid to robot-assisted surgery as one of the main bases for applying modern technologies. At the moment, we can safely say that medical robotics plays a very important role in the development of surgery of the future.

**Key words:** minimally invasive surgery, robot-assisted operations, robotic surgery, robotics, urology.

*For citation: Mosoyan MS, Fedorov DA. Modern robotics in medicine. Translyatsionnaya meditsina=Translational Medicine. 2020;7(5): 91-108. (In Russ.) DOI: 10.18705/2311-4495-2020-7-5-91-108*

**Список сокращений:** ЛРП — лапароскопическая радикальная простатэктомия, ОРП — открытая радикальная простатэктомия, РАНЭ — робот-ассистированная радикальная нефрэктомия, РАП — робот-ассистированная пиелопластика, РАРП — робот-ассистированная радикальная простатэктомия, РАРЦ — робот-ассистированная радикальная цистэктомия/цистопростатэктомия, РРП — робот-ассистированная резекция почки.

### Введение

Более ранняя диагностика, повышение эффективности проведения терапевтических мероприятий в сочетании с улучшением хирургических методов лечения привели к улучшению прогноза и функциональных результатов для пациентов, увеличению продолжительности жизни и постоянному расширению границ выживаемости. В результате роль клиницистов, несомненно, стала связана

с обработкой большого количества мультимодальной, многомерной, многомасштабной, интервенционной, метаболической и системной информации, помимо анатомических деталей. Ранняя диагностика обеспечивает меньший объем поражения органов патологическим процессом, требующий не только минимально инвазивного доступа, но и максимальной прецизионности вмешательства, зачастую сверхчеловеческой ловкости, видения, анализа и принятия решений. В этом отношении медицинская робототехника играет важную роль в развитии хирургии будущего.

### История роботов

Философия автоматизации впервые была изложена древнегреческим мыслителем Аристотелем в IV веке до н. э. Существуют данные, что автоматические машины создавались на территории Древней Греции, Древнего Китая, Древнего Рима.

В 322 году до н. э. древнегреческий изобретатель Архит Тарентский сотворил деревянного голубя, летающего при помощи струй пара. Большой вклад в развитие механики, гидравлики и пневматики внесли александрийские математики и философы, Герон и Ктезибий, жившие в конце III века до н. э., многие изобретения которых перевернули представления о возможностях человека. В эпоху Средневековья значительная часть их изобретений, трудов и чертежей была уничтожена и утрачена, и развитие прогресса, в том числе в области механики, приостановилось [1].

В конце XV века великий художник и изобретатель Леонардо да Винчи для развлечения королевской семьи спроектировал механического рыцаря, облаченного в броню, которого можно назвать первым антропоморфным роботом. Внутри доспехов находился механизм, приводящий в движение искусственного человека при помощи системы тросов и роликов и позволявший ему имитировать человеческие движения. Подробные чертежи этого механизма были найдены в 1950-х годах [2]. К другим известным изобретателям эпохи Возрождения относятся Торриано, сконструировавший в 1540 году женщину, играющую на мандолине, Жак де Вокансон, создатель механической утки, способной двигаться, пить и есть, Пьер Жаке-Дро — часовщик, создавший сохранившихся по сей день «автоматов» (антропоморфных механизмов — художник, музыкант, каллиграф), Жозеф Мари Жаккар, Вольфганг фон Кемпелен [3].

Важной исторической вехой в робототехнике является конец XIX века. В 1898 году гениальный изобретатель Никола Тесла впервые продемонстрировал возможность дистанционного управления устройствами, создав лодку на радиоуправлении.

В начале XX века Генри Форд, благодаря внедрению в производство конвейера вместо ручной сборки, произвел настоящую революцию в машиностроении. Сошедший с конвейера Ford Model T ознаменовал начало новой эры промышленности, усложнение производства и неминуемый прогресс в индустрии создания машин и механизмов.

Сам термин «робот» появился лишь в 1920 году, благодаря чешскому писателю-фантасту Карелу Чапеку и его брату и соавтору Йозефу. В действие одной из своих пьес, «R.U.R.», автор ввел человекоподобные механизмы и назвал их «роботами» (от чешского «robot» — тяжелый физический труд). В литературе тему роботов развил писатель Айзек Азимов, а сборник рассказов «Я, робот» принес ему всемирную известность [4].

В 1951 году Рэймонд Гоерц, работавший в комиссии по атомной энергетике в США, спроекти-

ровал механический телеуправляемый манипулятор для работы с радиоактивными веществами, исключая непосредственный контакт с ними человека. Несколько лет спустя был создан первый промышленный робот «Unimate», использовавшийся для сварки и литья на заводах компании General Motors [5].

### История роботов в медицине

Именно «Unimate» послужил прообразом первого робота, использовавшегося в медицине. В 1977 году В. Шайнман сконструировал роботическую систему PUMA 560 (Programmable Universal Machine for Assembly), которая была усовершенствована и использована в 1985 году в нейрохирургии для точного направления движения иглы при проведении биопсии головного мозга человека [6]. Этот момент считается отправной точкой в истории медицинских роботов. В 1988 году уролог Джон Уикхэм, которому принадлежит термин «минимально инвазивная хирургия», совместно с Брэйном Дэвисом из Имперского колледжа Лондона представил роботическую систему PROBOT, созданную специально для проведения трансуретральной резекции предстательной железы. Первая операция с использованием данной системы была успешно выполнена в Лондоне в 1991 году [7]. Годом позже компанией Integrated Surgical Systems была представлена хирургическая система ROBODOC для использования в ортопедии при эндопротезировании тазобедренного сустава [8]. В дальнейшем подобные устройства были разработаны для использования при замене коленного сустава (Acrobot, The Acrobot Company, Ltd., Лондон, Великобритания) и в хирургии височной кости (RX-130, Staubli Unimation Inc., Faverges, France), которые используются по сей день [9].

В 1993 году компанией Computer Motion Inc. было представлено роботизированное устройство для фиксации и изменения положения видеокamеры при проведении лапароскопических операций, которое получило название Aesop («Эзоп»). Хирургический комплекс прикреплялся к операционному столу или тележке и перемещал эндоскоп при помощи голосового управления либо позволял устанавливать эндоскоп вручную [5]. В 1995 году компания Computer Motion Inc. объединила два робота-манипулятора с инструментами и Aesop для создания системы ZEUS («Зевс»). Манипуляторы-руки роботического комплекса были телеуправляемы хирургом, который совершал движения с помощью инструментов управления («мастер-рук» или джойстиков) на консоли хирурга. Технически ZEUS не являлся роботом, поскольку

он не следовал запрограммированным движениям, а скорее был компьютерным телеманипулятором с интерактивными роботизированными руками. Чтобы повысить точность движения инструмента, ZEUS отфильтровывал тремор рук и мог масштабировать размашистые движения руки хирурга в короткие и точные движения инструмента. Хирургическая система ZEUS использовалась при проведении первой в истории трансатлантической хирургической операции (операции Линдберга). 7 сентября 2001 года французский профессор, хирург J. Marescaux из Нью-Йорка (США) выполнил холецистэктомию пациенту, находившемуся на расстоянии в несколько тысяч километров, в г. Страсбург (Франция) [10].

В 1999 году компания Intuitive Surgical Inc. (США) ввела в эксплуатацию роботическую хирургическую систему da Vinci. Как и ZEUS, da Vinci представляет собой телеуправляемую систему, которая состоит из трех компонентов:

- консоль хирурга, на которой расположены средства управления манипуляторами;
- тележка пациента, снабженная четырьмя руками-манипуляторами, одна из которых служит для фиксации эндоскопа, изображение с которого передается на монитор, встроенный в консоль хирурга, остальные же предназначены для фиксации инструментов;
- эндовидеохирургическая стойка.

Точность движения механических манипуляторов превосходит возможности рук человека, поскольку они имеют семь степеней свободы и способность изгиба на 90 градусов. На экран выводится 3D-изображение оперируемого участка. Хирург управляет манипуляторами с помощью сенсорных джойстиков, причем движения хирурга с абсолютной точностью воспроизводятся роботическими инструментами, обеспечивая улучшенную артикуляцию, которая увеличивает простоту наложения швов и позволяет выполнять сложнейшие манипуляции с максимальной точностью. В конечном итоге это обеспечивает высокое качество операции и повышает безопасность ее проведения. Несколько лет компания Computer Motion конкурировала с Intuitive Surgical, но в июне 2003 года произошло объединение двух компаний в Intuitive Surgical Inc., после чего было закрыто производство систем ZEUS и модернизировано производство Da Vinci [11].

### Современные роботы в различных областях медицины

В 2001 году начались первые клинические исследования аппарата CyberKnife — кибернож (Accuray Inc., г. Саннивейл, Калифорния, США). Он представ-

ляет собой минимально инвазивную радиохирургическую роботизированную систему, используемую для лечения опухолей черепа и позвоночника (а также рака предстательной железы, легких, печени и поджелудочной железы) с использованием линейных ускорителей. В системе используются контроль по изображению и робот-манипулятор с компьютерным управлением, позволяющие непрерывно отслеживать перемещения опухоли и пациента на протяжении процедуры и производить соответствующие корректирующие действия. Благодаря своей исключительной точности системе не требуются инвазивные рамки для фиксации головы или других частей тела пациента, что значительно повышает гибкость системы. Радиохирургическая система обладает возможностью онлайн-трекинга мишени и облучения с синхронизацией дыхания. Эта система признана стандартной технологией радиотерапии онкологических заболеваний, более 100 000 пациентов проходят лечение по всему миру. CyberKnife является примером коммерчески доступного и широко используемого безрамного радиохирургического робота [12].

В 2007 году компанией Endocontrol (Франция) была разработана первая роботизированная система для лапароскопической хирургии с голосовым управлением, получившая название VIKY, которая используется в гинекологии, общей хирургии, урологии, торакальной хирургии и насчитывает порядка 150 устройств по всему миру [13].

В том же году была представлена роботизированная магнитная навигационная система Niobe (Stereotaxis, США) для эндоваскулярных операций на сердце, а также эндоскопических манипуляций в гастроэнтерологии (капсульная эндоскопия). Система состоит из двух магнитов с роботизированным управлением рядом с операционным столом. Во время процедуры врач использует 3D-навигацию, интуитивный компьютерный интерфейс для настройки магнитного поля вокруг пациента, что позволяет точно направлять движение катетера либо капсулы со встроенным магнитом [14].

Компания Hansen Medical в 2007 году выпустила специализированную роботическую систему для Sensei для проведения эндоваскулярных транскатетерных вмешательств на сердце, в частности коррекции наджелудочковой тахикардии, трепетания предсердий, а также сложных процедур абляции для лечения фибрилляции предсердий. Также, как и у системы Niobe, имеется удаленное управление, обеспечивающее стабильность, точное позиционирование и проведение катетера, однако интегрированной навигационной системой у Sensei является 3D-картирование, флюороскопия и УЗИ.



В 2009 году на базе Sensei была создана усовершенствованная система для эндоваскулярных вмешательств — Magellan. Еще одним примером этой группы медицинских роботов является система CorPath GRX, созданная несколькими годами позже компанией Corindus Vascular Robotics (США) [15, 16].

2009 год ознаменовался дальнейшим развитием управляемых гибких катетеров для эндолюминального доступа и работы в ограниченных областях, недоступных для ригидной лапароскопии.

В 2011 году американской компанией Mazor Robotics был разработан специализированный роботизированный комплекс Renaissance для нейрохирургии. Система предоставляет врачам возможность, благодаря специальной программе, заранее спланировать все этапы оперативного вмешательства, продумать размеры необходимых имплантатов и фиксирующих материалов. После установки роботической платформы непосредственно на позвоночный столб пациента и синхронизации разработанного хирургического плана с текущим положением платформы выполняется запланированный объем хирургического вмешательства с максимальной прецизионностью — до 1,5 мм. На данный момент большая часть мирового опыта выполнения роботизированных вмешательств на позвоночнике связана именно с Renaissance [17].

С течением времени приоритетным направлением в медицинской робототехнике становится создание более компактных, легких и безопасных роботических систем с усовершенствованным искусственным интеллектом, которые легко могут быть интегрированы в клинический рабочий процесс. Благодаря разработкам в сфере узкоспециализированных хирургических роботов в 2009–2013 годах миру были представлены ортопедические роботические системы Mako (Stryker, США) и Navio (Smith & Nephew, Великобритания). Оба аппарата представляют собой полуактивные роботизированные системы, используемые для замены коленного сустава. Mako использует 3D-модель коленного сустава пациента для предоперационного планирования хирургического вмешательства. Система обеспечивает как слуховую, так и тактильную обратную связь, ограничивая рабочее пространство бура. Navio не использует предоперационное КТ-сканирование, поскольку система постоянно отслеживает как анатомию пациента, так и роботизированное устройство с помощью инфракрасной камеры и оптических приборов. Mako является параллельным манипулятором (хирург и робот работают вместе для перемещения инструмента), Navio является последовательным манипулято-

ром (хирург удерживает и перемещает робота, который перемещает инструмент) [18].

В 2015 году Управлением по контролю за продуктами питания и лекарственными средствами США (FDA) была одобрена технология Flex Robotic System (Medrobotics, США), которая является первой специализированной хирургической платформой, основанной на управляемом и настраиваемом объеме робототехники, который обеспечивает доступ через естественные пути в отоларингологии и колоректальных процедурах. Гибкий многорульный эндоскоп, управляемый через единую точку доступа, может быть проведен по нелинейным извилистым анатомическим путям. Когда интересующая область достигнута, роботизированный эндоскоп становится жестким и служит устойчивой платформой, на которой визуализируются и управляются гибкие инструменты [19]. Еще одной роботической системой, применяющейся в ЛОР-хирургии, является  $\mu$ RALP, разработанная Mattos и коллегами в 2015 году для микрохирургического лазерного лечения поражений гортани [20]. По тому же принципу работают и созданный в 2011 году J. Shang с коллегами робот i-Snake, и разработанный несколько позднее Micro-IGES, который уже прошел клинические испытания, нашедший себе применение в хирургическом лечении поражений желудочно-кишечного тракта, верхних дыхательных путей и бронхов [21]. Еще одной перспективной разработкой в области роботической эндоскопии является представленная в 2018 году компанией Auris Health Inc. система Monarch. Данная роботическая система создана для проведения диагностической и лечебной бронхоскопии, она обеспечивает доступ в бронхи субсегментарного порядка и, благодаря 3D-МСКТ-навигации в сочетании с изображением в высоком разрешении, передаваемым с эндоскопа, а также эргономичному управлению, позволяет выполнить прицельную биопсию периферических образований легких [22].

### Роботы-хирурги

В 2018 году на симпозиуме Хэмлина в Лондоне компания Intuitive Surgical Inc. презентовала роботический хирургический комплекс нового поколения — Da Vinci SP, пришедший на смену предыдущим поколениям: da Vinci Xi, da Vinci X и da Vinci Si, которых на сегодняшний день в мире больше всего. Что касается генерации da Vinci S, da Vinci Standart, с 2018 года их техническое обслуживание прекратилось. Новейшая система da Vinci SP создана для однопортовой хирургии, т. е. через разрез длиной 2,5 см устанавливается единственный троакал, через который вводятся все 3 инструмента и эндоскоп,

причем и эндоскоп, и хирургические инструменты являются гибкими. Данные преимущества позволяют осуществлять доступ к анатомическим образованиям в пределах 360 градусов из одного порта, минимизировать инвазивность процедуры, а также существенно повысить эффективность трансоральных хирургических вмешательств [23].

В большинстве развитых стран мира уже достаточно давно ведутся разработки роботических систем для хирургии, чтобы создать продукт, который будет способен конкурировать с *da Vinci*, при этом инженеры стараются компенсировать недостатки уже известных систем и стремятся создать идеальную.

Одним из таких комплексов является созданный компанией *TransEnterix* (США) аппарат *Senhance*. Он представляет собой роботизированную платформу консольного типа, состоящую из пульта дистанционного управления, манипуляторов и узла соединения. Каждый из трех манипуляторов-рычагов установлен на отдельной тележке. Манипуляторы лапароскопического типа обеспечивают тактильную обратную связь от рычагов с тросовым приводом, которые обеспечивают 7 степеней свободы. На экран выводится 3D-изображение в высоком разрешении, имеется встроенная система управления камерой, которая центрирует изображение в точке, на которую смотрит хирург. Аппарат *Senhance* одобрен FDA в 2017 году и успешно применяется главным образом в гинекологии и колоректальной хирургии [24].

Еще один представитель Нового Света — *SPORT* (*Single Port Orifice Robotic Technology*) — однопортовая роботизированная хирургическая система (*Titan Medical Inc.*, Канада), которая состоит из рабочей станции и роботизированной платформы, управляемой хирургом с помощью ручных контроллеров, ножных педалей и сенсорного 3D-HD-экрана. Для операций используются гибкие многосуставные инструменты и эндоскоп. Хорошие результаты использования системы *SPORT* продемонстрированы в экспериментах на животных моделях [25].

В стадии разработки находятся системы *SurgiBot* и *SPIDER* (обе — компания *TransEnterix*, США) — роботизированные комплексы для однопортовой минимально инвазивной хирургии. Хирурги используют гибкие контролируемые инструменты, вводимые через единственный эндопорт. Обе роботизированные системы позволяют размещать несколько инструментов в рабочем канале, а также обеспечивают трехмерную визуализацию, эргономичное управление и точность движений с масштабированием. Главной целью создания этих

систем является обеспечение хирургическими роботами регионов с недостаточным их количеством с минимальными затратами на приобретение [26].

Одним из европейских проектов является роботический хирургический комплекс консольного типа *MiroSurge* (*RMC, DLR*, Немецкий аэрокосмический центр, Германия). Представляет собой систему телеманипулируемой малоинвазивной роботизированной хирургии, включающую в себя 3–5 индивидуальных инструментов с несколькими режимами управления и возможностью установки в различных позициях на направляющих операционного стола [27]. Также к европейским разработкам относится система *Versius* (*Cambridge Medical Robotics Ltd.*, Великобритания) — это легкая модульная роботизированная система, предназначенная для лапароскопических операций на верхней части желудочно-кишечного тракта, для гинекологических, колоректальных операций и операций на почках. Модульная конструкция обеспечивает гибкость и универсальность позиционирования в операционной, в то же время имеется возможность подключения многочисленных инструментов к манипуляторам [28].

Весьма перспективной представляется совместная разработка компаний *Google* и *Ethicon* — «*Verb Surgical*». Она представляет собой систему для консолидации данных, получаемых от роботических хирургических систем всех производителей по всем пациентам из медицинских учреждений (истории болезни, мед. карты) от врачей различных специальностей, для создания «идеального» роботического комплекса с системой «умной» визуализации, способностью к самообучению и самопроверке, универсального для пациента и для врача, а также для оптимизации цены [29].

### Классификация медицинских роботов

С появлением медицинских роботизированных технологий появились новые термины. В частности, телехирургия — использование при хирургическом вмешательстве устройств «ведущий–ведомый», в которых ведущий и ведомый компоненты физически разделены. Хирург, который располагается на удаленном расстоянии от операционного стола осуществляет активное управление инструментами. Обмен данными между консолью хирурга и инструментами происходит по телекоммуникационной линии. Хотя устройства «ведущий–ведомый» обычно находятся в одном и том же помещении во время операции, процедура может быть выполнена с помощью хирургической консоли, расположенной в другой комнате или даже в другом регионе.

Сегодня всех существующих хирургических роботов можно разделить следующим образом:

- Пассивные роботы — не обладают автономией. Управляются вручную, самостоятельно движений не выполняют (например, Neuronavigator).
- Телеуправляемые роботы — не обладают автономией. Удерживают хирургические инструменты, которыми управляет человек дистанционно (например, da Vinci).
- Полуактивные (взаимодействующие) роботы — «истинные роботы-ассистенты». Оператор постоянно контролирует систему. Робот обеспечивает некоторое управление. Примеры включают роботов с виртуальными функциями (полуактивные — Renaissance, Navio; взаимодействующие — MaKo).
- Активные роботы, обладающие автономностью в рамках конкретной задачи. Оператор осуществляет дискретный контроль, робот выполняет определенное задание автономно, но с инициативы оператора (например, ROBODOC).
- Активные роботы, которые автономно выполняют запланированное движение, условно автономные роботы. Оператор строит и подтверждает хирургический план/план лечения. Робот выполняет процедуру автономно под контролем оператора (например, CyberKnife).

#### *Будущее роботической хирургии*

- Роботы с высоким уровнем автономии — роботы способные принимать медицинские решения под контролем человека (на данный момент не существуют).
- Полностью автономные роботы, способные выполнять хирургическое вмешательство полностью без участия человека (на данный момент — научная фантастика).

Также медицинских роботов можно разделить по сфере их применения:

#### 1. Хирургические роботы.

- Нейрохирургические — используются при хирургических вмешательствах на позвоночном столбе и головном мозге (Neuromate, Renaissance).
- Эндоскопические — используются при бронхоскопии (Auris Monarch), внутрипросветных манипуляциях в ЛОР-хирургии ( $\mu$ RALP), манипуляциях на органах ЖКТ и верхних дыхательных путях (Flex Robotic System, i-Snake).
- Эндоваскулярные — управляемые гибкие катетеры для проведения эндоваскулярных вмешательств на сердце и сосудах (Magellan, Niobe, Sensei, CorPath).
- Роботы для радиохирургии — CyberKnife.

- Универсальные лапароскопические роботы — телеуправляемые манипуляторы (Aesop/ZEUS, VIKY, Da Vinci).

#### 2. Вспомогательные медицинские роботы.

- Реабилитационные — роботы ухода (Riba), роботы-компаньоны (PARO), роботы-экзоскелеты (ALEX, LOPES, RUPERT).
- Фармакологические — роботы-фармдиспенсеры (RPDS), роботы для таргетной доставки лекарственных препаратов через кровотоки (микроботы/микророботы/нанороботы).
- Обслуживающие (госпитальные) роботы — роботы для дезинфекции (Xenex Robot), роботы для наблюдения, обучения и телеприсутствия (InTouch tele-robotic system), автономные мобильные манипуляторы, для транспортировки медикаментов, оборудования, расходных материалов (TUG), социальные роботы-администраторы/секретари, способные распознавать десятки языков (Pepper, Nao).

#### 3. Другие медицинские роботы.

- Роботическая система для пересадки волос (ARTAS).
- Робот для венопункции (Veebot).
- Роботические системы для реанимационных отделений (The AutoPulse Plus, LS-1).

### **Хирургия Da Vinci сегодня**

В последние годы начала появляться конкуренция на рынке медицинских роботов, наиболее серьезными из потенциальных противников Intuitive Surgical являются компании TransEnterix, Titan Medical, Accuray, MAKO Surgical, Mazor Robotics, Hansen Medical и др. Несмотря на это, на данный момент именно компания Intuitive Surgical уже на протяжении длительного времени является фактически монополистом на мировом рынке роботизированных хирургических комплексов, во многом благодаря огромному количеству запатентованных технологий, использующихся в da Vinci. Компания обладает более 1700 национальных и международных патентов на технологии.

С тех пор как в 2000 году Управление по контролю за продуктами питания и лекарственными средствами США дало разрешение на проведение с помощью хирургического робота da Vinci операций, da Vinci является единственной в мире универсальной роботизированной системой с дистанционным управлением, распространенной и широко используемой на всех континентах. По данным Intuitive Surgical Inc., на сегодняшний день в мире установлено почти 5500 роботических хирургических систем da Vinci, из них около 3000 — в США, порядка 900 — в странах Европы.



Число выполняемых робот-ассистированных операций растет с каждым годом, на данный момент в мире выполнено более 6 000 000 роботических операций. Первый в России и странах СНГ роботический хирургический комплекс da Vinci был установлен в 2007 году в Свердловской областной клинической больнице № 1, где 4 ноября того же года была выполнена первая робот-ассистированная операция. На данный момент в России установлено в общей сложности 33 роботических хирургических комплекса, выполнено более 16 500 операций.

Валидация роботической хирургической системы da Vinci началась с кардиохирургии, однако в настоящее время лидирующими специальностями по применению данной технологии являются урология, гинекология и общая хирургия. Помимо этих специальностей, уже осуществляется либо планируется применение da Vinci в торакальной и кардиохирургии, колоректальной хирургии, ЛОР-хирургии, ортопедии. В России порядка 66 % всех робот-ассистированных операций выполняется урологами.

Неуклонно растет число публикаций по роботической хирургии. В 2017 год количество публикаций, связанных с роботической хирургией составляло более 13 500, причем количество публикуемых статей возросло до 2000 за год. За последние годы появились в том числе и длительные сравнительные многоцентровые исследования, мета-анализы и рандомизированные контролируемые исследования, доказывающие эффективность и безопасность роботической хирургии.

## Робот-ассистированные операции

### *Робот-ассистированная радикальная простатэктомия*

В нашей стране хирургическое лечение локализованного рака предстательной железы включает открытую радикальную простатэктомию (ОРП), которая может быть выполнена позадилономным либо промежностным способом, лапароскопическую радикальную простатэктомию (ЛРП) и робот-ассистированную радикальную простатэктомию (РАРП). Долгое время ОРП являлась «золотым стандартом» лечения локализованного рака предстательной железы, обеспечивающим удовлетворительные онкологические и функциональные результаты [30]. В нашей стране ОРП является наиболее распространенным методом лечения локализованного рака простаты, операция выполняется во многих регионах России на протяжении многих лет. Основными недостатками данного метода являются травматичность и сравнительно большой объем кровопотери. ЛРП была впервые выполнена в 1991 году W. Schuessler с коллегами. В течение десятилетия методика претерпевала различные модификации и в конечном итоге, по мере накопления опыта, в начале 2000-х, стала альтернативой открытой хирургии. В России первая ЛРП была выполнена в 2000 году В. Л. Медведевым. С середины 2000-х годов ЛРП успешно применялось в России в хорошо оснащенных экспертных клиниках. В 2000 году в США была выполнена первая РАРП [31]. В России данное вмешательство было выполнено впервые в 2008 года



Рис. 1. Робот-ассистированная операция в НМИЦ им. В. А. Алмазова





**Рис. 2. Начало робот-ассистированной резекции почки (оперирует профессор М. С. Мосоян).  
Этап установки эндопортов и «докинг» роботического хирургического комплекса**

в клинике урологии Московского государственного медико-стоматологического университета им. А. И. Евдокимова. Оперировал американский роботический хирург V. Patel совместно с главным урологом Минздрава России Д. Ю. Пушкарем. Первые результаты были опубликованы в 2010 году. Профессор Д. Ю. Пушкарь и соавторы представили свои данные по 80 РАРП, причем результаты лечения были схожи с аналогичными, достигнутыми при внедрении роботической программы за рубежом [32]. Первая робот-ассистированная простатэктомия в Северо-Западном регионе была выполнена в НМИЦ им. В. А. Алмазова. На сегодняшний день Центр Алмазова — одно из российских учреждений, которое имеет большой опыт по проведению данной операции (рис. 1).

#### *Робот-ассистированная резекция почки*

Несмотря на то, что «золотым стандартом» лечения локализованного рака почки долгое время считалась радикальная нефрэктомия, на сегодняшний день органосохраняющие вмешательства на почке приняты в качестве стандартного подхода при опухолях почек, поскольку обеспечивают лучшие функциональные результаты, а также связаны с меньшим риском возникновения кардиоваскулярных осложнений [33]. Ранее считалось, что выполнение резекции почки целесообразно только при опухолях маленьких размеров либо при опухоли единственной функционирующей почки, однако позднее показания к органосохраняющим

операциям при почечно-клеточном раке расширились — в настоящее время в медицинских центрах экспертного класса выполняются резекции почки при здоровой контралатеральной почке, при крупных новообразованиях почек, в том числе до 7 см в наибольшем измерении [34]. В 1993 году Н. N. Winfield впервые сообщил о лапароскопической резекции почки, впоследствии многие авторы докладывали об успешных долгосрочных онкологических и не онкологических результатах минимально инвазивной резекции почки при опухолях. С момента, когда было сообщено о первом успешном опыте робот-ассистированной резекции почки (РРП) [35], было опубликовано множество исследований, доказывающих выполнимость, эффективность и безопасность данного вмешательства. Первая РРП в России была выполнена в 2010 году в Санкт-Петербурге профессором Д. Ю. Семеновым (совместно с М. С. Мосояном, С. Х. Аль-Шукри), позднее было сообщено об успешных результатах лечения 4 пациентов (рис. 2) [36]. На данный момент РРП, по сравнению с открытой резекцией почки, обеспечивает сопоставимые онкологические и функциональные результаты при меньших рисках развития периоперационных осложнений (по Clavien-Dindo). По сравнению с ЛРП, РРП связана с меньшим риском интраоперационных осложнений, а также лучшим сохранением функции почки [37].

На сегодняшний день именно робот-ассистированная радикальная простатэктомия и робот-ас-

систированная резекция почки являются наиболее распространенными урологическими вмешательствами, выполняемыми в России.

*Другие робот-ассистированные урологические операции*

**Робот-ассистированная радикальная нефрэктомия (РАНЭ).** Несмотря на то, что в последние годы были существенно расширены показания для органосохраняющих операций при раке почки, радикальная нефрэктомия выполняется повсеместно, при опухолях стадии T2, а также при определенных характеристиках опухоли, не позволяющих планировать органосохраняющее лечение. РАНЭ была впервые описана D. W. Klinger и соавторами [38]. В России данное вмешательство было впервые осуществлено в 2010 году в Центре Алмазова. С тех пор в нашей стране накоплен большой опыт выполнения подобных вмешательств, они проводятся практически во всех медицинских центрах, имеющих комплексы da Vinci, демонстрируя удовлетворительные онкологические и функциональные результаты в сравнении с открытой методикой, при этом обладая всеми преимуществами минимально инвазивной хирургии [36].

**Робот-ассистированная пиелопластика (РАП).** Робот-ассистированная пластика пиелоретерального сегмента успешно выполняется с 2001 года. Первым хирургом, выполнившим такое вмешательство, является австриец M. Gettman, опубликовавший в 2002 году результаты лечения 9 пациентов, доказав тем самым эффективность и безопасность методики [39]. Впоследствии было опубликовано множество исследований, в том числе многоцентровых, согласно которым выполнение РАП целесообразно, связано с минимальной послеоперационной морбидностью и имеет многообещающие показатели проходимости и долгосрочные результаты [40]. В России робот-ассистированная пиелопластика выполняется в нескольких учреждениях, однако эти операции выполняются гораздо реже, чем роботические вмешательства при раке почки и предстательной железы.

**Робот-ассистированная радикальная цистэктомия/цистопростатэктомия (РАРЦ).** В 2003 году M. Menon выполнил первую робот-ассистированную радикальную цистопростатэктомию у мужчины с мышечно-инвазивным раком мочевого пузыря. В том же году выполнена цистэктомия у женщины, причем отведение мочи осуществлялось как путем формирования илеокондуита, так и путем создания ортотопического мочевого пузыря [41]. В настоящее время имеются данные, в том числе

рандомизированных контролируемых исследований, которые гласят, что РАРЦ связана с меньшей послеоперационной морбидностью, а также меньшей длительностью госпитализации по сравнению с открытым методом при аналогичных онкологических результатах [42]. В нашей стране РАРЦ выполняется всего в нескольких центрах.

**Робот-ассистированная радикальная нефрэктомия с тромбэктомией из нижней полой вены.** Впервые данная операция была описана в 2011 году R. Abaza, который имеет наибольший опыт в мире по таким вмешательствам. Позднее было опубликовано многоцентровое исследование, по данным которого роботизированная нефрэктомия, при наличии опухолевого тромба в нижней полой вене, является приемлемым методом хирургического лечения и может быть выполнена безопасно и эффективно у отобранных пациентов. Несмотря на техническую сложность вмешательства, в данном исследовании демонстрируются благоприятные результаты и воспроизводимость при должном опыте в роботической хирургии [43]. В России робот-ассистированная радикальная нефрэктомия с тромбэктомией из нижней полой вены с предварительной эндоваскулярной эмболизацией почечной артерии впервые была успешно выполнена в 2017 году в НМИЦ им. В. А. Алмазова д.м.н. М. С. Мосояном [44]. Всего, по нашим данным, в России выполнено 2 подобных операции, обе — в Центре Алмазова.

**Робот-ассистированная аденомэктомия.** Робот-ассистированная аденомэктомия впервые была описана в 2008 году R. Sotelo с соавторами [45]. По данным недавних мета-анализов, роботизированная аденомэктомия представляет из себя приемлемый способ лечения гиперплазии предстательной железы при большом объеме простаты, потенциально связана с меньшей инвазивностью, более коротким временем катетеризации и длительностью госпитализации, а также с более низкой общей стоимостью лечения [46]. В России данная техника пока не нашла широкого применения.

**Робот-ассистированная адреналэктомия.** Техника операции описана в 2002 году урологом I. S. Gill [47]. Недавние систематические обзоры и мета-анализы современных данных показывают, что робот-ассистированная адреналэктомия может быть выполнена безопасно и эффективно с сопоставимой с лапароскопической адреналэктомией длительностью операции и частотой осложнений. Кроме того, роботизированная техника может обеспечить потенциальное преимущество в виде меньшей длительности госпитализации и меньшей кровопотери, однако связана с большей стоимо-

стью [48]. В России одними из первых учреждений, где начали выполнять подобные оперативные вмешательства, стали: НМХЦ им. Н. И. Пирогова, НМИЦ хирургии им. А. В. Вишневского (г. Москва) и НМИЦ им. В. А. Алмазова (г. Санкт-Петербург). Причем эти вмешательства выполняются в подавляющем большинстве общими хирургами [49].

Сообщалось также о нескольких успешных случаях выполнения в центрах экспертного уровня роботического уретероцистонеоанастомоза и нефроретерэктомии с резекцией стенки мочевого пузыря, а также робот-ассистированных операций по поводу внеорганных образований малого таза, мегауретера и неинвазивных опухолей мочевого пузыря [50]. В 2020 году уникальная операция была проведена в НМИЦ им. В. А. Алмазова — девятилетнему ребенку было выполнено робот-ассистированное удаление гигантского дивертикула мочевого пузыря. Операцию проводил профессор М. С. Мосоян совместно с командой детских хирургов.

#### *Робот-ассистированные операции в гинекологии*

Управление по контролю за продуктами питания и лекарственными средствами США одобрило роботическую хирургическую систему для гинекологических операций в 2005 году, и в настоящее время гинекологические операции, наряду с урологическими, являются наиболее распространенными хирургическими процедурами, выполняемыми с помощью робота da Vinci в мире.

На сегодняшний день наиболее часто выполняемыми роботизированными операциями при доброкачественных заболеваниях женских половых органов являются гистерэктомия, миомэктомия, реанастомоз маточных труб при бесплодии, сакрокольпопексия при пролапсе тазовых органов, хирургическое лечение урогенитальных свищей, а также эндометриоза. Робот-ассистированные вмешательства при данных патологиях являются эффективными и безопасными, результаты сопоставимы с открытыми и лапароскопическими методиками [51, 52]. В онкогинекологии роботические операции выполняются при раке эндометрия, шейки матки и яичников. Робот-ассистированная радикальная гистерэктомия с тазовой лимфаденэктомией является выполнимой, эффективной и безопасной процедурой и связана с меньшей длительностью госпитализации и меньшей послеоперационной морбидностью. Недавние мета-анализы и вышедшие рандомизированные исследования показывают, что робот-ассистированный подход обеспечивает меньшую кровопотерю, меньший койко-день и меньший риск развития периопера-

ционных осложнений при большей стоимости лечения [53]. Современные данные свидетельствуют о том, что робот-ассистированная хирургия является безопасным методом лечения рака эндометрия, особенно у тучных женщин, однако требуется больше данных по общей и безрецидивной выживаемости. Кроме того, сообщения о клинических случаях показывают, что робот-ассистированная трахелэктомия может обеспечить удовлетворительные результаты у женщин, стремящихся сохранить фертильность, из-за лучшей визуализации сосудистых структур и соединительной и жировой тканей параметрия, которые должны быть изолированы во время процедуры. Что касается рака яичников, доказательств использования робот-ассистированной хирургии все еще недостаточно, но у отдельных пациенток с ранней стадией заболевания роботический метод может иметь преимущества. Тем не менее применение малоинвазивной хирургии у пациенток с поздней стадией или рецидивом рака яичников требует дальнейшего изучения.

В России наибольший опыт робот-ассистированных гинекологических операций принадлежит Московскому областному научно-исследовательскому институту акушерства и гинекологии. С 2013 года в учреждении выполнено более 450 операций, в числе которых сакрокольпопексия, гистерэктомия, пангистерэктомия с тазовой лимфодиссекцией, миомэктомия, метропластика, хирургическое лечение эндометриоза, циркуляж матки и т. д. Учитывая специфику работы ГБУЗ МО МОНИ-ИАГ, большинство роботических операций в клинике выполняется по поводу выпадения женских половых органов [54].

Первая гинекологическая роботическая операция несовершеннолетней пациентке была выполнена 14 ноября 2018 года. Шестнадцатилетней пациентке было успешно проведено робот-ассистированное удаление образования яичника интегративной бригадой взрослых и детских врачей-хирургов НМИЦ им. В. А. Алмазова: акушерами-гинекологами медицинским директором клиники Института перинатологии и педиатрии д.м.н. Э. В. Комличенко, и заведующей отделением гинекологии для детей и подростков Детского лечебно-реабилитационного комплекса д.м.н. Надеждой Анатольевной Кохреидзе.

#### *Робот-ассистированные операции в общей хирургии*

Роботическая хирургия к этому моменту хорошо зарекомендовала себя в лечении колоректального рака. Анализ современных данных свидетельствует о том, что робот-ассистированная колорек-



тальная хирургия обладает преимуществами над лапароскопической методикой, поскольку имеет меньший риск конверсии при сопоставимых онкологических результатах [55]. В последнее время появляются также данные об успешном использовании роботической хирургии в лечении воспалительных заболеваний кишечника — болезни Крона и неспецифического язвенного колита, причем робот-ассистированные операции при таких заболеваниях обеспечивают сопоставимые функциональные результаты, периоперационную морбидность и частоту конверсий при большей длительности вмешательства [56]. Имеются данные рандомизированных исследований, демонстрирующие эффективность и безопасность, а также сопоставимую длительность операции при выполнении робот-ассистированной вентральной ректопексии при пролапсе и инвагинации прямой кишки.

Использование робота da Vinci при хирургической патологии растет, в частности в лечении онкологических заболеваний желудка, пищевода, поджелудочной железы, печени, кишечника [57]. Также за последнее десятилетие все чаще робот da Vinci применяется в бариатрической, гепатобилиарной и эндокринной хирургии, а также в лечении грыж и хирургии пищевода, несмотря на то, что роботизированный подход обычно редко использовался для этих процедур [58, 59].

На сегодняшний день наибольший опыт в нашей стране по общехирургическим робот-ассистированным операциям имеют сотрудники НМХЦ им. Н. И. Пирогова, НМИЦ хирургии им. А. В. Вишневского (оба центра — г. Москва), а также Городской больницы № 40 (г. Санкт-Петербург). В данных центрах выполняются в том числе роботические вмешательства при колоректальном раке, опухолях двенадцатиперстной кишки и поджелудочной железы [60–62].

#### *Другие робот-ассистированные хирургические вмешательства*

Наибольший опыт в торакальных робот-ассистированных вмешательствах в нашей стране накоплен в Национальном медицинском исследовательском центре имени академика Е. Н. Мешалкина, Национальный медико-хирургический центр имени Н. И. Пирогова, а также в Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии. Производятся вмешательства при опухолях легких, плевры и средостения, а в ФГБУ «СПб НИИФ» Минздрава России производится также хирургическое лечение туберкулеза легких [63, 64].

В нескольких учреждениях в нашей стране выполняются роботические сердечно-сосудистые

операции. Так, в 2010 году впервые в России и Восточной Европе на базе НМХЦ им. Н. И. Пирогова выполнено робот-ассистированное коронарное шунтирование на работающем сердце, а затем — робот-ассистированная имплантация электродов электрокардиостимулятора [65, 66].

В 2018 году первый опыт нескольких роботических сосудистых операций был представлен клиникой Башкирского государственного медицинского университета (г. Уфа). Исходя из первичных результатов, использование роботического хирургического комплекса da Vinci позволяет выполнять сосудистые операции с минимальной кровопотерей и травматизацией тканей, что в свою очередь способствует сокращению послеоперационного и восстановительного периода после подобных вмешательств [67].

Роботические операции на органах головы и шеи, в том числе трансоральная роботическая хирургия (TORS), в нашей стране пока широко не применяются, хотя первый опыт подобных вмешательств уже описан [68].

#### **Роботическая хирургия в НМИЦ им. В. А. Алмазова**

Один из первых в нашей стране роботический хирургический комплекс был установлен в 2009 году в Федеральном Центре сердца, крови и эндокринологии имени В. А. Алмазова (ныне — НМИЦ им. В. А. Алмазова), где выполнять высокотехнологичные вмешательства начали общие, торакальные хирурги, урологи, а также гинекологи.

Именно в Центре Алмазова в 2010 году была выполнена первая в России робот-ассистированная резекция почки. С этого момента в Центре регулярно выполняются урологические роботические операции, главным образом радикальные простатэктомии, резекции почки, радикальные нефрэктомии, пиелопластики. До 2017 года урологические пациенты лечились в отделении хирургических методов лечения онкологических больных.

В 2016 году в НМИЦ им. В. А. Алмазова образована первая в России кафедра урологии с курсом роботической хирургии, структурными подразделениями которой являются урологическое отделение на 15 коек с консультативно-диагностическим подразделением поликлиники, центр роботической хирургии, открытые в 2017 году.

В настоящее время в центре роботической хирургии продолжается выполнение сложнейших, высокотехнологичных операций в регулярном режиме. Благодаря мощнейшей анестезиологической и кардиологической поддержке НМИЦ им.





**Рис. 3. Профессор М. С. Мосоян за хирургической консолью da Vinci**

В. А. Алмазова, специалисты центра роботической хирургии оказывают квалифицированную помощь пациентам с выраженной сопутствующей патологией, в частности кардиоваскулярной, которым зачастую отказывают другие медицинские учреждения. Ежегодно только урологической бригадой выполняется порядка 150 робот-ассистированных вмешательств. Результаты лечения не уступают ведущим европейским клиникам.

#### *Кафедра урологии с курсом роботической хирургии*

Кафедра урологии с курсом роботической хирургии лечебного факультета Института медицинского образования Центра Алмазова является первой подобной кафедрой в России.

С момента основания в 2016 году кафедрой заведует д.м.н. профессор Мкртич Семенович Мосоян, который также является медицинским директором клиники урологии и роботической хирургии и бессменным руководителем центра роботической хирургии (рис. 3). Профессор М. С. Мосоян является опытным роботическим хирургом, на его счету более 1500 вмешательств, официальным экспертом Intuitive Surgical da Vinci в России, автором более 70 научных трудов. Профессор М. С. Мосоян обучил более 70 % всех роботических хирургов-урологов в стране, в том числе в клиниках Санкт-Петербурга (Городская больница № 40, г. Сестрорецк), Москвы (Клиническая больница Управления делами Президента Российской Федерации, Первый МГМУ им. И. М. Сеченова, МГМСУ им. А. И. Евдокимова, Центральная клиническая больница гражданской

авиации), Краснодара (Краевая клиническая больница № 1), Ростова-на-Дону (КДЦ «Здоровье»), Ханты-Мансийска (Окружная клиническая больница), Уфы (Клиника урологии Башкирского государственного медицинского университета).

Клиническими базами кафедры являются урологическое отделение и центр роботической хирургии, а также урологическое подразделение клиничко-диагностического центра НМИЦ им. В. А. Алмазова, урологические отделения Городской больницы № 26, Госпиталя для ветеранов войн, Ленинградской областной клинической больницы, НИИ скорой помощи им. И. И. Джанелидзе, а также Городской поликлиники № 51.

Кроме того, активно развивается сотрудничество с кафедрой урологии ПСПбГМУ им. И. П. Павлова, кафедрой урологии Военно-медицинской академии имени С. М. Кирова, отделением урологии медицинского центра «Измилрян» (Республика Армения), клиникой урологии Первого МГМУ им. И. М. Сеченова. Приглашенными специалистами для проведения лекций, авторских циклов и мастер-классов являются мировые эксперты: президент Американской урологической ассоциации, профессор Ричард Бабаян (США), профессор Вальтер Артибани (Италия), профессор Пьер-Тьерри Пешо (Франция), профессор Ян Шрамл (Чехия), профессор Эрик Мандрон (Франция).

Обучение клинических ординаторов, аспирантов, слушателей циклов дополнительного профессионального образования на кафедре урологии с курсом роботической хирургии НМИЦ им. В. А. Алмазова реализуется в виде лекций, практических занятий, самостоятельной работы, симу-

ляционных занятий с применением телемедицинских технологий. Обучающиеся на кафедре могут не только наблюдать, но также непосредственно участвовать в выполнении самых современных и высокотехнологичных оперативных вмешательств на сегодняшний день — робот-ассистированных операций. Для этих целей сотрудниками кафедры был создан специальный программно-аппаратный комплекс, при помощи которого осуществляется трансляция из операционной изображения, получаемого с эндоскопа роботического хирургического комплекса da Vinci, на экраны телевизоров, компьютеров, смартфонов и других гаджетов обучающихся с возможностью двусторонней аудиосвязи, а также телестрации. Трансляция ведется в том числе в конференц-зал кафедры, вмещающий в себя до 30 человек, на широкоформатный телевизионный экран в высоком разрешении с возможностью передачи 3D-изображения. Это позволяет оптимизировать количество обучающихся, находящихся непосредственно в операционной, минимизировать риск передачи инфекций и т. д. Кроме того, данный программно-аппаратный комплекс позволяет опытному хирургу-наставнику следить за выполнением операции начинающим хирургом, контролируя и корректируя действия последнего вербально посредством двусторонней аудиосвязи, а также при помощи телестрации с экрана своего устройства (смартфон, персональный компьютер и т. д.).

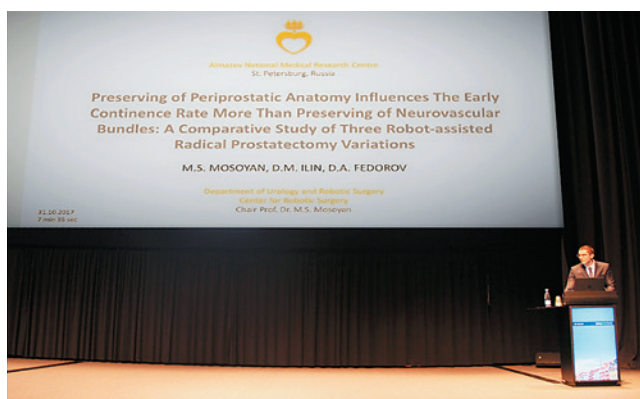
На кафедре разработаны уникальные обучающие циклы по основам роботической хирургии, в рамках которых врачи могут ознакомиться с базовыми принципами работы роботического хирургического комплекса da Vinci, поприсутствовать

и выступить в качестве помощника ассистента на роботической хирургической операции, а также попробовать себя в базовых мануальных упражнениях робот-ассистированной хирургии. С 2019 года ведутся работы по созданию роботического тренинг-центра, с возможностью проведения операций на животных.

Сотрудники кафедры и клиники регулярно принимают участие, в том числе с докладами, в отечественных и зарубежных урологических конгрессах и конференциях. Только за последние 3 года на ежегодных конгрессах Европейской ассоциации урологов продемонстрировано 3 доклада, на различных отечественных и зарубежных конференциях и симпозиумах — 26 докладов, проведено 9 мастер-классов с сеансами «живой хирургии» (рис. 4–6).

Основными направлениями научной деятельности кафедры являются онкоурология, роботическая хирургия в урологии, оперативное лечение рака предстательной железы, почечно-клеточного рака, хирургическое лечение урологической патологии у пациентов с сопутствующей сердечно-сосудистой патологией.

По материалам клинической работы защищена одна докторская диссертация на тему «Оптимизация подходов к робот-ассистированным, лапароскопическим и открытым операциям при локализованном раке почки», автор М. С. Мосоян. Проводится подготовка 4 кандидатских диссертаций. Количество опубликованных научных и учебно-методических работ — 70, в том числе входящих в перечень ВАК, в международных изданиях — 18. Получено 3 патента на изобретение, в том числе: «Способ проведения робот-ассистированной радикальной простатэктомии с передней реконструк-



**Рис. 4. Доклад сотрудников кафедры урологии с курсом роботической хирургии НМИЦ им. В. А. Алмазова на ежегодном конгрессе Европейской ассоциации урологов (г. Копенгаген, 2018 г.)**



**Рис. 5. Сотрудники кафедры урологии с курсом роботической хирургии НМИЦ им. В. А. Алмазова после успешного выступления на ежегодном конгрессе Европейской ассоциации урологов (г. Барселона, 2019 г.)**



**Рис. 6. Коллектив кафедры урологии, центра роботической хирургии и урологического отделения НМИЦ им. В. А. Алмазова**

цией малого таза в лечении рака предстательной железы»; «Способ проведения робот-ассистированной радикальной простатэктомии с задней реконструкцией малого таза в лечении рака предстательной железы»; «Способ проведения робот-ассистированной радикальной простатэктомии с латеральной фиксацией шейки мочевого пузыря в лечении рака предстательной железы». Помимо этого, 2 патента отправлено в Федеральный институт промышленной собственности, еще 3 — находятся в стадии разработки.

#### **Заключение**

Развитие, совершенствование и активное внедрение в клиническую практику медицинских роботов может обеспечить повышение уровня автоматизации, облегчение и повышение производительности труда врачей, медицинских сестер, фармацевтов и других специалистов, улучшить результаты хирургических вмешательств (повышение сложности и технологичности, уменьшение инвазивности), реабилитационных мероприятий. С каждым годом растет число робот-ассистированных операций, в том числе в урологии, в России и во всем мире. Разработаны методики и накоплен большой опыт выполнения таких вмешательств в разных областях медицины, доступны результаты многочисленных исследований с высоким уровнем доказательности.

#### **Конфликт интересов / Conflict of interest**

Авторы заявили об отсутствии потенциально-го конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest.

#### **Список литературы / References**

1. Hernigou P. Ambroise Paré IV: the early history of artificial limbs (from robotic to prostheses). *Int Orthop*. 2013; 37 (6): 1195–1197.
2. Yates DR, Vaessen C, Roupret M. From Leonardo da Vinci: the history of robot-assisted surgery in urology. *BJU Int*. 2011; 108 (11): 1708–1713.
3. Kalan S, Chauhan S, Coelho RF, et al. History of robotic surgery. *J Robot Surg*. 2010; 4 (3): 141–147.
4. Hegarty NJ, Gill IS. Robotic urologic surgery: an introduction and vision for the future. *Robotic Urologic Surgery*. London: Springer; 2007: 1–4.
5. Sánchez-Martín FM, Jiménez Schlegl P, Millán Rodríguez F., et al. History of robotics: from archytas of tarentum until Da Vinci robot. (Part II). *Actas Urol Esp*. 2007; 31 (3): 185–196.
6. Beecher R. C. Puma: Programmable universal machine for assembly. In: Dodd GG, Rossol L, ed. *Computer vision and sensor-based robots*. Springer, Boston, MA, 1979: 141–152.
7. Harris SJ, Arambula-Cosio F, Mei Q, et al. The Probot — an active robot for prostate resection. *Proc Inst Mech Eng H*. 1997; 211 (4): 317–325.
8. Bargar WL, Bauer A, Börner M. Primary and revision total hip replacement using the Robodoc system. *Clin Orthop Relat Res*. 1998; 354: 82–91.
9. Jakopec M, Harris SJ, y Baena FR, et al. The Acrobot® system for total knee replacement. *Industrial Robot*. 2003; 30 (1): 61–66.
10. Marescaux J, Rubino F. The ZEUS robotic system: experimental and clinical applications. *Surg Clin North Am*. 2003; 83 (6): 1305–1315.
11. Kim HL, Schulam P. The PAKY, HERMES, AESOP, ZEUS, and da Vinci robotic systems. *Urol Clin North Am*. 2004; 31 (4): 659–669.
12. Kilby W, Dooley JR, Kuduvalli G, et al. The CyberKnife robotic radiosurgery system in 2010. *Technol Cancer Res Treat*. 2010; 9 (5): 433–452.
13. Voros S, Haber GP, Menudet JF, et al. ViKY robotic scope holder: initial clinical experience and preliminary re-



sults using instrument tracking. *IEEE/ASME transactions on mechatronics*. 2010; 15 (6): 879–886.

14. Carpi F, Pappone C. Stereotaxis Niobe magnetic navigation system for endocardial catheter ablation and gastrointestinal capsule endoscopy. *Expert Rev Med Devices*. 2009; 6 (5): 487–498.

15. Rao S. Endovascular robotic catheters: an emerging transformative technology in the interventional radiology suite. *Journal of Radiology Nursing*. 2016; 35 (3): 211–217.

16. Smitson CC, Ang L, Pourdjabbar A, et al. Safety and feasibility of a novel, second-generation robotic-assisted system for percutaneous coronary intervention: first-in-human report. *J Invasive Cardiol*. 2018; 30 (4): 152–156.

17. Mazor Robotics Renaissance. *Neurosurgical robotic systems. Functional Neurosurgery and Neuromodulation*. 2018: 236.

18. Jacofsky DJ, Allen M. Robotics in arthroplasty: a comprehensive review. *J Arthroplasty*. 2016; 31 (10): 2353–2363.

19. Wong JYY, Ho KY. Robotics for advanced therapeutic colonoscopy. *Clin Endosc*. 2018; 51 (6): 552–557.

20. Mattos LS, Andreff N. The  $\mu$ RALP project: new technologies and systems for robot-assisted laser phonomicrosurgery. 3rd Joint Workshop on New Technologies for Computer/Robot Assisted Surgery; 2013.

21. Di Marco AN, Jeyakumar J, Pratt PJ, et al. Evaluating a novel 3D stereoscopic visual display for transanal endoscopic surgery: a randomized controlled crossover study. *Ann Surg*. 2016; 263 (1): 36–42.

22. Graetzel CF, Sheehy A, Noonan DP. Robotic bronchoscopy drive mode of the Auris Monarch platform. 2019 International Conference on Robotics and Automation (ICRA). *IEEE*; 2019: 3895–3901.

23. Troccaz J, Dagnino G, Yang G-Z. Frontiers of medical robotics: from concept to systems to clinical translation. *Annu Rev Biomed Eng*. 2019; 21: 193–218.

24. Stark M, Pomati S, D'Ambrosio A, et al. A new tele-surgical platform — preliminary clinical results. *Minim Invasive Ther Allied Technol*. 2015; 24 (1): 31–36.

25. Seeliger B, Diana M, Ruurda JP, et al. Enabling single-site laparoscopy: the SPORT platform. *Surg endosc*. 2019; 33 (11): 3696–3703.

26. Solis M. New frontiers in robotic surgery: the latest high-tech surgical tools allow for superhuman sensing and more. *IEEE Pulse*. 2016; 7 (6): 51–55.

27. Konietschke R, Hagn U, Nickl M, et al. The DLR MiroSurge — a robotic system for surgery. 2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation. *IEEE*; 2009: 1589–1590.

28. Haig F, Medeiros A, Chitty K, et al. Usability assessment of Versius, a new robot-assisted surgical device for use in minimal access surgery. *BMJ Surg Interv Health Technologies*. 2020; 2.

29. Peters BS, Armijo PR, Krause C, et al. Review of emerging surgical robotic technology. *Surg Endosc*. 2018; 32 (4): 1636–1655.

30. Walsh PC, Partin AW, Epstein JI. Cancer control and quality of life following anatomical radical retropubic prostatectomy: results at 10 years. *J Urol*. 1994; 152 (5 Pt 2): 1831–1836.

31. Binder J, Kramer W. Robotically-assisted laparoscopic radical prostatectomy. *BJU Int*. 2001; 87 (4): 408–410.

32. Pushkar DY, Rasner PI, Kolontarev KB. Robot-assisted radical prostatectomy: analysis of the first 80

cases. *Oncourologiya=Oncourology*. 2014; 6 (3): 37–42. In Russian [Пушкар Д.Ю., Раснер П.И., Колонтарев К.Б. Радикальная простатэктомия с роботической ассистенцией: анализ первых 80 случаев. *Онкоурология*. 2014; 6 (3): 37–42].

33. Van Poppel H, Da Pozzo L, Albrecht W, et al. A prospective randomized EORTC intergroup phase 3 study comparing the complications of elective nephron-sparing surgery and radical nephrectomy for low-stage renal cell carcinoma. *Eur Urol*. 2007; 51 (6): 1606–1615.

34. Weight CJ, Larson BT, Gao T, et al. Elective partial nephrectomy in patients with clinical T1b renal tumors is associated with improved overall survival. *Urology*. 2010; 76 (3): 631–637.

35. Gettman MT, Blute ML, Chow GK, et al. Robotic-assisted laparoscopic partial nephrectomy: technique and initial clinical experience with DaVinci robotic system. *Urology*. 2004; 64 (5): 914–918.

36. Al-Shukri SK, Mosoyan MS, Semenov DYU, et al. Experience of 424 robot-assisted operations in St-Petersburg: radical prostatectomy, partial and radical nephrectomy. *Vestnik khirurgii im. I.I. Grekova=Bulletin of surgery I.I. Greeks*. 2016; 175 (5): 74–77. In Russian [Аль-Шукри С.Х., Мосоян М.С., Семенов Д.Ю. и др. Опыт 424 робот-ассистированных вмешательств в Санкт-Петербурге: радикальная простатэктомия, резекция почки и нефрэктомия. *Вестник хирургии им. И.И. Грекова*. 2016; 175 (5): 74–77].

37. Cacciamani GE, Medina LG, Gill T, et al. Impact of surgical factors on robotic partial nephrectomy outcomes: comprehensive systematic review and meta-analysis. *J Urol*. 2018; 200 (2): 258–274.

38. Klingler DW, Hemstreet GP, Balaji KC. Feasibility of robotic radical nephrectomy — initial results of single-institution pilot study. *Urology*. 2005; 65 (6): 1086–1089.

39. Gettman MT, Neururer R, Bartsch G, et al. Anderson-Hynes dismembered pyeloplasty performed using the da Vinci robotic system. *Urology*. 2002; 60 (3): 509–513.

40. Buffi NM, Lughezzani G, Hurler R, et al. Robot-assisted surgery for benign ureteral strictures: experience and outcomes from four tertiary care institutions. *European urology*. 2017; 71 (6): 945–951.

41. Menon M, Hemal AK, Tewari A, et al. Robot-assisted radical cystectomy and urinary diversion in female patients: technique with preservation of the uterus and vagina. *J Am Coll Surg*. 2004; 198 (3): 386–393.

42. Lenfant L, Parra J, Verhoest G, et al. Multicentric comparison of surgical outcomes obtained after open radical cystectomy and robot-assisted laparoscopic radical cystectomy for muscle-invasive bladder cancer. *European Urology Supplements*. 2018; 17 (2): e1027–e1028.

43. Abaza R, Shabsigh A, Castle E, et al. Multi-institutional experience with robotic nephrectomy with inferior vena cava tumor thrombectomy. *J Urol*. 2016; 195 (4 Part 1.): 865–871.

44. Mosoyan MS, Chernyavskiy MA, P'yagay VI, et al. A case report of simultaneous mini-invasive treatment of a patient with kidney tumor and tumor thrombus in inferior vena cava. *Patologiya krovoobrashcheniya i kardiokhirurgiya=Pathology of the circulatory and cardiac surgery*. 2018; 22 (3): 69–74. In Russian [Мосоян М.С., Чернявский М.А., Пягай В.И. и др. Клинический случай одномоментного малоинвазивного хирургического лечения пациента с новообразованием почки и опухолевым тромбом



- в нижней полой вене. Патология кровообращения и кардиохирургия. 2018; 22 (3): 69–74].
45. Sotelo R, Clavijo R, Carmona O, et al. Robotic simple prostatectomy. *J Urol*. 2008; 179 (2): 513–515.
  46. Novara G, Morlacco A, Autorino R, et al. Robot-assisted simple prostatectomy. In: Hemal AK, Menon M, ed. *Robotics in genitourinary surgery*. 2nd ed. Switzerland, Cham: Springer, 2018: 443–450.
  47. Desai MM, Gill IS, Kaouk JH, et al. Robotic-assisted laparoscopic adrenalectomy. *Urology*. 2002; 60 (6): 1104–1107.
  48. Kahramangil B, Berber E. Robotic adrenalectomy. In: Tsuda S, Kudsi OYU, ed. *Robotic-assisted minimally invasive surgery. A comprehensive textbook*. Switzerland, Cham: Springer, 2019: 109–115.
  49. Semenov DYU, Tonoyan AG, Pankova PA, et al. Robot-assisted laparoscopic adrenalectomy. The first experience. *Vestnik khirurgii im. I.I. Grekova= Bulletin of surgery I.I. Greeks*. 2011; 170 (5): 35–37. In Russian [Семенов Д.Ю., Тоноян А.Г., Панкова П.А. и др. Робот-ассистированная лапароскопическая адrenaлэктомия. Первый опыт. Вестник хирургии им. И. И. Грекова. 2011; 170 (5): 35–37].
  50. Kriger AG, Teplov AA, Berelavichus SV, et al. Robot-assisted operations in pelvic region. *Khirurgiya. Zhurnal im. N.I. Pirogova=Surgery. Journal named after N.I. Pirogov*. 2013; 12: 29–36. In Russian [Кригер А.Г., Теплов А.А., Берелавичус С.В. и др. Робот-ассистированные операции в полости малого таза. Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. 2013; 12: 29–36].
  51. Gala RB, Margulies R, Steinberg A, et al. Systematic review of robotic surgery in gynecology: robotic techniques compared with laparoscopy and laparotomy. *J Minim Invasive Gynecol*. 2014; 21 (3): 353–361.
  52. Truong M, Kim JH, Scheib S, et al. Advantages of robotics in benign gynecologic surgery. *Curr Opin Obstet Gynecol*. 2016; 28 (4): 304–310.
  53. Kristensen SE, Mosgaard BJ, Rosendahl M, et al. Robot-assisted surgery in gynecological oncology: current status and controversies on patient benefits, cost and surgeon conditions – a systematic review. *Acta Obstet Gynecol Scand*. 2017; 96 (3): 274–285.
  54. Popov AA, Atroshenko KV, Manannikova TN, et al. Robotic surgery in gynecology. *Akusherstvo i ginekologiya Sankt-Peterburga=Obstetrics and Gynaecology of Saint-Petersburg*. 2017; 2: 65–69. In Russian [Попов А.А., Атрошенко К.В., Мананникова Т.Н. и др. Место робот-ассистированной лапароскопии в оперативной гинекологии. Акушерство и гинекология Санкт-Петербурга. 2017; 2: 65–69].
  55. Sun X-Y, Xu L, Lu J-Y, et al. Robotic versus conventional laparoscopic surgery for rectal cancer: systematic review and meta-analysis. *Minim Invasive Ther Allied Technol*. 2019; 28 (3): 135–142.
  56. Renshaw S, Silva IL, Hotouras A, et al. Perioperative outcomes and adverse events of robotic colorectal resections for inflammatory bowel disease: a systematic literature review. *Tech Coloproctol*. 2018; 22 (3): 161–177.
  57. Hussain A, Malik A, Halim MU, et al. The use of robotics in surgery: a review. *Int J Clin Pract*. 2014; 68 (11): 1376–1382.
  58. Ng ATL, Tam PC. Current status of robot-assisted surgery. *Hong Kong Med J*. 2014; 20 (3): 241–250.
  59. Toro JP, Lin E, Patel AD. Review of robotics in foregut and bariatric surgery. *Surg Endosc*. 2015; 29 (1): 1–8.
  60. Karpov OE, Maksimenko AV, Stepanjuk IV, et al. Laparoscopic and robotic technologies in treatment of patients with rectal cancer. *Vestnik Nacional'nogo mediko-hirurgicheskogo Centra im. N.I. Pirogova=Bulletin of the National Medical and Surgical Center named after N.I. Pirogov*. 2016; 11 (2): 49–53. In Russian [Карпов О.Э., Максименко А.В., Степанюк И.В. и др. Лапароскопические и роботические технологии в лечении больных раком прямой кишки. Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н.И. Пирогова. 2016; 11 (2): 49–53].
  61. Kriger AG, Berelavichus SV, Smirnov AV, et al. Comparative results of open, robot-assisted and laparoscopic distal pancreatic resection. *Khirurgiya. Zhurnal im. N.I. Pirogova=Surgery. Journal them. N.I. Pirogov*. 2015; 1: 23–29. In Russian [Кригер А.Г., Берелавичус С.В., Смирнов А.В. и др. Сравнительные результаты открытой робот-ассистированной и лапароскопической дистальной резекции поджелудочной железы. Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. 2015; 1: 23–29].
  62. Kriger AG, Berelavichus SV, Gorin DS, et al. Robot-assisted resection of duodenal inferior horizontal part and duodeno-jejunal transition. *Khirurgiya. Zhurnal im. N.I. Pirogova=Surgery. Journal them. N.I. Pirogov*. 2015; 3: 34–37. In Russian [Кригер А.Г., Берелавичус С.В., Горин Д.С. и др. Робот-ассистированная резекция нижней горизонтальной части двенадцатиперстной кишки и дуоденоюнального перехода. Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. 2015; 3: 34–37].
  63. Yablonsky PK, Kudryashov GG, Vasilyev IV, et al. Efficiency and safety of robot-assisted thoracoscopic lobectomies when managing pulmonary tuberculosis. *Tuberkulez i bolezni legkih=Tuberculosis and Lung Diseases*. 2018; 96 (5): 28–35. In Russian [Яблонский П.К., Кудряшов Г.Г., Васильев И.В. и др. Эффективность и безопасность робот-ассистированных торакоскопических лобэктомий при туберкулезе легких. Туберкулез и болезни легких. 2018; 96 (5): 28–35].
  64. Kudryavtsev AS, Yarmoshchuk SV, Zheravin AA, et al. Robotic interventions in thoracic tumors (experience of 30 primary operations). *Vestnik khirurgii im. I.I. Grekova=Bulletin of surgery I.I. Greeks*. 2017; 176 (2): 107–111. In Russian [Кудрявцев А.С., Ярмошук С.В., Жеравин А.А. и др. Роботические вмешательства при опухолях торакальной локализации (опыт первых 30 операций). Вестник хирургии им. И.И. Грекова. 2017; 176 (2): 107–111].
  65. Shevchenko YuL, Borshchev GG, Fedotov PA. Robot-assisted myocardial revascularization in patient with coronary heart disease (CHS). *Vestnik Nacional'nogo mediko-hirurgicheskogo Centra im. N.I. Pirogova=Bulletin of the National Medical and Surgical Center named after N.I. Pirogov*. 2011; 6 (2): 138–140. In Russian [Шевченко Ю.Л., Борщев Г.Г., Федотов П.А. Робот-ассистированная реваскуляризация миокарда у пациента с ИБС. Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н.И. Пирогова. 2011; 6 (2): 138–140].
  66. Shevchenko YuL, Popov LV, Borshchev GG. Robot-assisted cardiac surgery – history, realities and perspective. *Vestnik Nacional'nogo mediko-hirurgicheskogo Centra im. N.I. Pirogova=Bulletin of the National Medical and Surgical Center named after N.I. Pirogov*. 2015; 10 (1): 111–113. In Russian [Шевченко Ю.Л., Попов Л.В., Борщев Г.Г. Робот-ассистированная кардиохирургия — история, реалии, перспективы. Вестник Национального медико-

хирургического Центра им. Н.И. Пирогова. 2015; 10 (1): 111–113].

67. Pavlov VN, Plechev VV, Safiullin RI, et al. Preliminary experience of the aorto-femoral shunting using the Da Vinci surgical system. *Kreativnaya hirurgiya i onkologiya*=Creative Surgery and Oncology. 2018; 8 (1): 7–13. In Russian [Павлов В.Н., Плечев В.В., Сафиуллин Р.И. и др. Первичные результаты аорто-бедренного шунтирования с применением робот-ассистированной хирургической системы Da Vinci. *Креативная хирургия и онкология*. 2018; 8 (1): 7–13].

68. Kropotov MA, Mosin SV, Petrova AL, et al. The first experience of transoral robot-assisted surgery in a patient with oropharyngeal cancer (clinical observation). *Opuholi golovy i shei*=Head and neck tumors. 2017; 7 (2): 106–110. In Russian [Кропотов М.А., Мосин С.В., Петрова А.Л. и др. Первый опыт трансоральной роботизированной операции при раке ротоглотки (клиническое наблюдение). *Опухоли головы и шеи*. 2017; 7 (2): 106–110].

#### **Информация об авторах:**

Мосоян Мкртич Семенович, д.м.н., заведующий кафедрой урологии с курсом роботической хирургии, руководитель центра роботической хирургии ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России;

Федоров Дмитрий Александрович, врач-уролог центра роботической хирургии ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России.

#### **Author information:**

Mosoyan Mkrtich S., MD, PhD, Dr. Sc., Professor and Chair of the Department of Urology and Robotic Surgery and Head of Centre for Robotic Surgery at Almazov National Medical Research Centre;

Fedorov Dmitriy A., MD, Department of Urology and Robotic Surgery at Almazov National Medical Research Centre.