

УДК 616.71-001.5+616.61-091.8

Н. Р. Баязитов, канд. мед. наук, доц.

ТЕЛЕХИРУРГИЯ: НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЛАПАРОСКОПИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

*Одесский государственный медицинский университет,
Одесская областная клиническая больница*

Данное направление медицины, которое можно определить в общем виде как «цифровая хирургия», представляет собой пример быстрого и эффективно интегрирования современных информационных (телемедицинских) технологий с одним из наиболее актуальных направлений современной медицины, каким является миниинвазивная лапароскопическая хирургия.

Одним из наиболее существенных факторов развития лапароскопической роботизированной хирургии стала необходимость устранения недостатков, присущих традиционному лапароскопическому вмешательству. Среди этих недостатков на первом месте находится двумерное представление операционного поля, ограниченные возможности движений инструментов на фоне необходимости осуществления комплексных реконструктивных движений, сложности в ушивании тканей на этапе завершения оперативного вмешательства, а также физическое утомление хирурга. Все эти факторы заставили специалистов в области мехатроники (сочетание биомеханики, электроники и информатики) разработать новые, более эффективные устройства, способные существенно расширить возможности хирурга-оператора.

Сегодня данное направление развивается настолько бурно, что саму «телехирургию» необходимо разделить на такую, в которой хирургические манипуляции выполняются хирургом-оператором, и такую, когда хирург только визуально сопровождает роботизированный телекомплекс в процессе выполнения операции. Изменилось и значение термина «оператор», которое в контексте телехирургии происходит не от слова «операция» как хирургическое вмешательство, а от термина «управление / оперирование» устройствами.

В первом случае манипулятор робототехнического устройства «держит» хирургический инструмент и строго повторяет движения хирурга-оператора. Роль робота можно в некоторой степени приближения рассматривать как заменяющую роль хирурга-ассистента. Во втором случае хирург перед операцией участвует в объектно-ориентированном программировании системы, которое заключается в последовательном расположении технологических блоков — стандартных последовательных движений, после чего не принимает непосредственного участия в операции. Таким образом, робот полностью выполняет преддетерминированный комплекс запрограм-

мированных действий, и поэтому этап предоперационного программирования должен быть выполнен особенно тщательно, с учетом индивидуальных особенностей пациента.

Телехирургия в наиболее распространенном варианте представляет собой применение робототехники, такой как “Zeus” или “Da Vinci”, позволяющей реализовать движения руки хирурга дистантно в a master-slave режиме. Эта техника впервые показала свои преимущества со всей очевидностью в 2001 г., когда профессор J. Magescaux и коллеги удалили желчный пузырь у пациента в Страсбурге (Франция) с помощью “Zeus” телехирургического робота, контролируемого из Нью-Йорка. Проведение данного оперативного вмешательства потребовало задействования мощных оптоволоконных систем связи, которые обеспечивали задержку в пределах менее 155 мс.

Телемониторинг и телехирургия — два различных понятия. В первом случае хирург участвует в трансляции из операционной, не принимая активного участия в самой операции. К тому же существуют и иные ситуации, требующие терминологического уточнения. Так, например, если работа хирурга находится под дистантным

наблюдением коллеги, и последний делает заключение по поводу квалификации оперирующего хирурга, наблюдающая сторона осуществляет телепрокторинг, а дистантно наблюдающий хирург выполняет роль проктора / ментора [9]. Если же «дистантный» хирург приглашается к участию в работе в операционном поле, например, в режиме консультирования, речь идет о телеконсультации.

Следует заметить, что в таких процедурах, как телемониторирование, телепрокторинг и телеконсультирование, взаимодействие между дистантным хирургом осуществляется только по голосовому каналу, а также, возможно, ограничивается некоторым обсуждением картины на мониторе, в том числе с помощью стрелки — указателя деталей картины. Если же дистантно расположенный хирург имеет возможность перемещать камеру видеонаблюдения или, что еще лучше, может управлять рукой робототехнического устройства в режиме ассистента хирурга, роль или «присутствие» хирурга в самом оперативном лечебном процессе значительно возрастает и такая ситуация может быть обозначена как «телеприсутствие».

Поэтому, кроме термина собственно «телехирургия», существует также и ряд других терминов.

История робототехники в хирургии

В 1989 г. была основана «Computer Motion Inc.», которая представляла собой высокотехнологическую компанию, разрабатывающую современные хирургические системы и приборы, обеспечивающие улучшение существующей хирургической практики. Первая операция по трансплантации костной ткани бедра с участием хирургической роботизированной системы, выполнявшей функцию ассистента, была выполнена в Калифорнии с использованием прибора «Robodoc», который был выпущен компанией «Интегрирован-

ные хирургические системы» в 1992 г.

Первый коммерческий вариант робота-ассистента хирурга «Aesop™ 1000» был произведен компанией «Computer Motion» в 1993 г. Этот прибор, используя принцип разделения функций, выполнял функцию удерживания эндоскопической камеры при проведении минимально инвазивных лапароскопических операций. Контроль работы данного устройства осуществлялся педалями для стоп хирурга, что составляло иногда значительные трудности в управлении системой, которая была модифицирована в 1996 г. Новая модель «Aesop-2000» имела голосовую систему контроля, а «Aesop 3000» — еще одну дополнительную степень свободы движений автоматической руки. Еще одна модель — «Aesop HR» отличалась тем, что имела возможность включаться в единую систему с другими электронными компьютерными системами. Указанные типы робототехники до настоящего времени находятся в эксплуатации в ряде медицинских центров.

Робототехническая хирургическая система «Zeus™», разработанная компанией «Computer Motion», включала уже три автоматических манипулятора («руки»), которые крепились к операционному столу. Используя данную систему, хирург работал с помощью кистевого джойстика в процессе контроля положения манипуляторов. Подобная система была применена в 1998 г. для первой робот-ассистируемой операции в США и в 1999 г. для первой подобной операции в Лондоне. Подобная же система применялась в сеансе телехирургии, выполняемой из Нью-Йорка в Страсбурге, при удалении желчного пузыря в 2001 г.

В 1995 г. группа врачей и инженеров основали компанию «Intuitive Surgical Inc.», которая использовала научные результаты учредителей, полученные ими во время работы в Стэнфордском исследовательском институте. В 1997 г. был

разработан первый робототехнический комплекс «Da Vinci», который стал первым комплексом, использующим телехирургический принцип работы, работающим с лицензированной FDA системой передачи данных для обеспечения лапароскопических хирургических вмешательств. Первая холецистэктомия на основе данного прибора была осуществлена в Брюсселе. Прототип прибора «EndoWrist®» был применен в 1998 г. для выполнения первой операции восстановления функции митрального клапана на комплексе «Da Vinci». В 2003 г. произошло слияние «Intuitive Surgical Inc.» и «Computer Motion Inc.», что обеспечило лидерство в развитии оперативной хирургической робототехники компании «Intuitive Surgical Inc.».

Система «Da Vinci®» сегодня представляет наиболее широко применяемый робототехнический комплекс для выполнения лапароскопических операций [9]. Сегодня существуют более 220 робототехнических комплексов, внедренных по всему миру, включая 3 в Индии и 12 в других странах Азии. На базе робототехники в 2000 г. было выполнено 1500 операций, а в 2004 г. хирургическая активность достигла 20 000 оперативных вмешательств. Одним из наибольших направлений, в котором эффективно расширяется диапазон хирургических вмешательств, стала урология: в 2000 г. было выполнено 36 радикальных простатэктомий, а в 2004 г. — 8000 (!). Причем эта цифра составляет 10 % общего числа простатэктомий, ежегодно выполняемых в США.

Современная концепция телехирургической робототехники

Минимальная инвазивная хирургическая операция выполняется дистантно локализованным управляемым робототехническим устройством («slave» режим), которое контролируется хирургом с помощью центральной станции («master» режим). Причем робототехничес-

кий хирургический манипулятор оснащен манипуляторами, конечные элементы которых (например, лезвие режущего инструмента) имеют не менее 6 степеней свободы [8].

Хирург управляет роботом с мобильной хирургической стойки, которая может располагаться на различном удалении от операционной (рис. 1–3). Соединение с модулем робота-оператора осуществляется с помощью оптоволоконных кабелей. Увеличенные трехмерные изображения транслируются на хирургическую стойку (консоль) в режиме, обычном для лапароскопических вмешательств (рис. 4). При этом возможно двенадцатикратное увеличение изображения. Создается надежная система управления хирургом автоматическими движениями робота-хирурга. Консоль хирурга также обладает важной технической особенностью — вычленяет компоненты тремора и обеспечивает линейный и плавный характер как команд, так и, в конечном счете, движений хирургических инструментов робота.

При этом в основе концепции дистантной хирургии находится сохранение «праворукости» хирурга, повышение точности выполнения «конечных» хирургических элементов, а также возможность обратной связи, передающей реальные усилия, возникающие при разрезании слоев ткани и т. п., на кисть хирурга (см. рис. 4).

Исследовательская часть проблемы хирургической робототехники сводится к дизайну манипуляторов и достижению высокой точности выполнения процедур. Телехирургические манипуляторы должны быть незначительных размеров, 10 мм или меньше для лапароскопических вмешательств на органах грудной, брюшной полости у взрослых и 5 мм или меньше — для хирургических операций на сердце и плодах. В то же время они должны сохранять возможность достаточно маневра в области операционного поля и возможность пере-



Рис. 1. Принципиальная схема организации работы телехирурга



Рис. 2. Внешний вид хирургической консоли — «master» (передний план) и операционный стол с манипуляторами — «slave» (задний план) системы «Da Vinci»

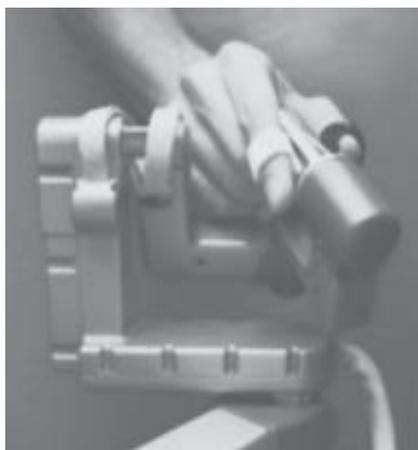


Рис. 3. Положение руки хирурга на джойстике во время выполнения операции (слева) и внешний вид панели консоли хирурга с видео 3D-изображением (справа)

давать усилие величиной несколько Ньютон, что является достаточным для манипуляций на тканях организма. Наиболее сложным в данном случае ста-

новится вопрос передачи механического усилия.

Предметом активной разработки также являются дизайн интерфейса, обеспечение 6 сте-



Рис. 4. Операционное поле с хирургическими инструментами, соответствующее пространственному положению рук хирурга (слева). Внешний вид оконечного хирургического устройства (справа)

пней свободы манипулятора при минимальной собственной массе, увеличение ширины «полосы активных манипуляций» на основе рабочего объема манипуляторов, измеряемого в нескольких тысячах кубических сантиметров и осуществляемого, по крайней мере, при четырех степенях свободы, ощущение реального усилия на рабочих частях манипулятора (обратная сенсорная связь).

Телехирургические задания (манипуляции) требуют высокой степени «праворукости» и точности на протяжении самих манипуляций, так как большинство «поручаемых» манипуляций робототехническому комплексу высокопрецизионные. Поэтому основные требования для телехирургических контроллеров существенно отличаются от требований к классическим хирургическим инструментам. Важный компонент телеоператорского дизайна — количественная характеристика степени чувствительности усилий со стороны хирурга, а также количественный учет команд со стороны «мастера». Это необходимо для обеспечения специфичности контроллеров, а также служит в целом в качестве своеобразной количественной шкалы всего дизайна робототехнической хирургии. Также необходимо иметь в своем распоряжении дизайн систе-

мы технологического контроля всей системы [5].

Тактильная чувствительность, передача данной информации представляет собой очень активно разрабатываемый предмет в роботехнике [12; 17]. Тактильные сенсоры сейчас уже готовы к внедрению в качестве специфического приложения к системе в целом.

Технические возможности телехирургической роботизированной системы

Базовая робототехническая станция (РТС) обеспечивает два существенных преимущества робототехнического комплекса: улучшает технологию уже существующей процедуры, а также обеспечивает возможность выполнения тех хирургических манипуляций, которые ранее хирург не выполнял или для выполнения которых требовались большие трудозатраты. Так, ключевыми элементами робототехнической системы, требовавшими научно-технического решения, были наложение швов и завязывание узлов, что весьма сложно выполнить с помощью обычной лапароскопической аппаратуры. В основном, существующие трудности объясняются высокой степенью сложности ориентирования конечных элементов инструментария и трудностями визуального контроля данного процесса. Поэтому наличие подобной

функции у робототехнического хирургического комплекса лежит в основе преимуществ данной технологии при абдоминальных хирургических вмешательствах, так как легко выполняются элементы ушивания краев раны и завязывание нитей шовного материала в узел.

Критическим компонентом устройства дистантного манипулятора РТС является «кисть», имеющая две степени свободы перемещений, которая «продолжается» в четыре степени свободы за счет включения в механическую цепь подвижных элементов после введения манипулятора через соответствующий порт, позволяющий обеспечить максимально эффективное наложение швов и формирование узлов при минимальном повреждении окружающих тканей.

Хирургическая часть системы должна быть достаточно миниатюрной, позволяющей проникать через небольшое рассечение тканей — обычно около 10 мм — и вместе с тем передавать необходимое физическое усилие на активную часть хирургического инструмента, преодолевающего сопротивление тканей, обеспечивающего натяжение нитей шовного материала при формировании узлов и т. п. Важная особенность состоит в том, что данный манипулятор должен иметь достаточно пространства для перемещений в брюшной полости и накладывания швов в различных направлениях и одновременно сохранять небольшую длину оконечной «кисти» для работы в небольших по размеру полостях. Функциональная полоса манипулятора должна воспроизводить естественные движения хирурга и обеспечивать обратную связь на основе информации об уровне сопротивления тканей в каждый момент их взаимодействия с хирургическим инструментом. Еще одно требование — безопасность всей системы.

Основные технические требования, соответствующие указанным качественным параметрам, представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Основные механические характеристики
манипулятора (slave) робототехнического комплекса**

Параметры	Значение
Размеры диаметра отверстия — апертуры операционного поля	10–15 мм максимально
Размеры длины «кисти» — конечного вращающегося элемента манипулятора — от места сочленения с проксимальной частью манипулятора до точки удерживания, например, иглы	50 мм максимально
Сила в оконечной части иглы, которую проводят через ткани	1,5 Н·мин
Движения по кривой вокруг оси захвата для управления перемещения хирургической изогнутой иглы (при расстоянии от точки удерживания иглы до ее кончика в 15 мм)	100 Н/мм за 1 мин
Раздвигание захватывающих частей («зевание»), сгибание «кисти»	300 Н/мм за 1 мин
Сила захвата иглы при ее проведении через ткани	40 Н·мин
Объем движения: ширина раскрытия захватывающей клипсы	8 мм/мин
Объем движений: ротации вокруг аксиальной линии захватывающего устройства, обеспечивающие доступ и работу на наклонных поверхностях	270°/мин
Объем движения: сгибание «кисти», также справедливо и для наклона удерживаемой манипулятором иглы	90°/мин
Объем движения: пронация «кисти»	720°/мин
Скорость: время полного и плотного захвата	0,5 с (максимум)
Скорость: вращение «кисти» (диапазон скорости)	от 540°/с до 540°/мин
Скорость: флексия «кисти» (диапазон скорости)	от 360°/с до 360°/мин
Ширина полосы пропускаемой частоты механических колебаний	5 Гц·мин
Длительность работы	6 мес. непрерывно

Приведенные цифры взяты из расчета возможности формирования шва, усилий в процессе управления иглой при прошивании тканей и завязывании узла. Диаметр инструмента был выбран исходя из стандартов диаметров троакара в 10 мм и 15 мм. Следует при этом подчеркнуть, что применение степлеров при проведении традиционных лапароскопических оперативных вмешательств предполагает использование троакаров диаметром в 15 мм. Очевидно, что для определенного типа эндоскопических опера-

ций нужны инструменты значительно меньшего диаметра.

Например, для минимально инвазивной хирургии сердца инструменты требуется проводить через межреберный промежуток. Также для операций на плодах нужны гораздо менее габаритные инструменты. Длинник от «сустава» до точки удерживания хирургического инструмента на «кисти» манипулятора определяется исходя из расстояния между внутренней поверхностью передней стенки живота и органом, на котором проводится хирургическое вме-

шательство, в условиях, когда осуществлен пневмоперитонеум. Скручивающие и линейные усилия, а также характеристики перемещений держателя инструментов определяются путем измерений таковых в условиях открытых оперативных вмешательств. Подобные наблюдения свидетельствуют о том, что для полного прохождения иглы без ее повторного захвата (ротационное движение «кисти» манипулятора) требуется поворот на 270°, а 90° сгибания «кисти» с 360° большой ротации нужны для зашивания тканей в любом желаемом направлении, без необходимости замены соответствующего инструментария. Следует также отметить, что скорость и объемы движений вполне соответствуют тем, что присущи кисти хирурга.

“Slave”-манипулятор состоит из двух частей (рис. 5). Первая часть — это большое техническое устройство, которое находится за пределами тела человека и отвечает за позиционирование минибота, вводимого в ткани и полости организма человека, а также в его функцию входит жесткое крепление всей системы. На стадии выполнения хирургического вмешательства обеспечиваются перемещения активной оконечной части манипулятора так же, как и в случае применения лапароскопического оборудования. Используется специальная система управления перемещениями, особенностью которой можно считать наличие определенной жесткости конечного активного элемента манипулятора. С этой целью три линейных подвижных шарнира, соединенных с жесткой платформой робота с помощью соединений U-типа, контролируют положение конечного элемента четырех прутиков, линейные перемещения которых обеспечивают четыре степени свободы конечного манипулятора.

Вторая часть “slave”-манипуляторов — мини-робот. Он локализован внутри тканей и отличается небольшими размерами, сохраняя при этом необхо-

димую степень подвижности и развивая требуемое для хирургической манипуляции усилие. Для того чтобы обеспечить эти условия, данная часть манипулятора имеет две степени свободы, что позволяет осуществлять функции «расширение — захват» и ротации вокруг аксиальной оси. Диаметр оконечной части составляет 15 мм. Расстояние от подвижного крепления к захватывающей части — 5 см. Функции «зевания», т. е. расширения захватывающего устройства, и вращений вокруг продольной оси связаны между собой и актуализируются с помощью линейных перемещений жестких прутиков — «сухожилий», движение которых, в свою очередь, поддерживают три мотора DC типа (http://www.electricmotors.machinedesign.com/guiEdits/Content/bdeee4a/bdeee4a_2.aspx), находящихся на оконечных частях рук манипуляторов за пределами тела пациента.

Позиционирование бимануальной системы в операционной комнате проиллюстрировано на рис. 6. Два «slave»-манипулятора локализованы на противоположных частях операционного стола. На рис. 6 (справа) показан финальный этап завязывания узла. Здесь можно оценить преимущества наличия оконечного устройства манипулятора, которое имеет две степени свободы, позволяющей выбирать удобный угол расположения двух инструментов.

«Мастер»-часть РТС состоит из двух интерфейсов (по числу манипуляторов на «slave»-части устройства), которые обеспечивают 6 степеней свободы перемещений оконечных частей манипулятора. Следует отметить, что РТС оснащена парой интерфейсов, передающих команды в режиме 6 степеней свободы и контролирующей работу соответствующего «slave»-манипулятора. При этом данная система интерфейса (Phantom v1.5, Sensable Technologies Inc., Cambridge, MA) передает, а «slave»-часть в точности воспроизводит движения

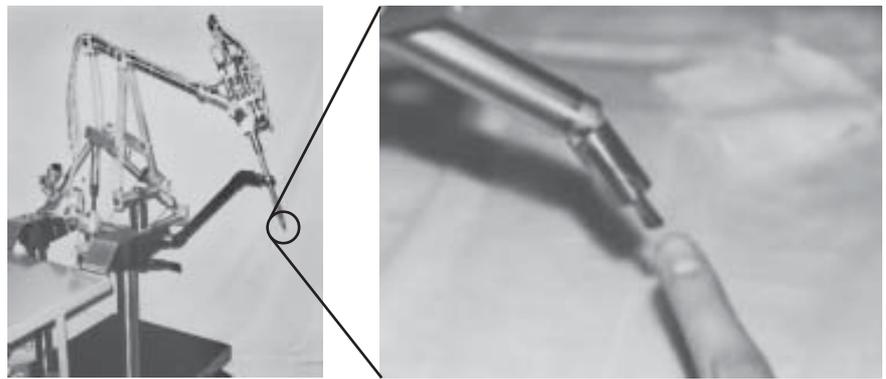


Рис. 5. Внешний вид робототехнического устройства — «slave»-манипулятора, который использовался в программе телехирургии UCSB/UCSF (США)

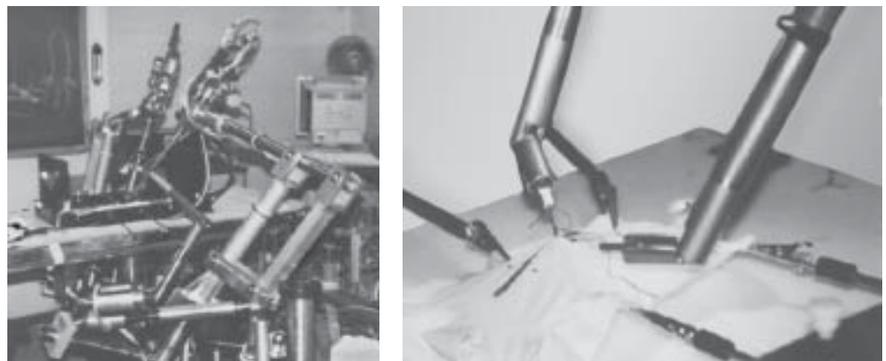


Рис. 6. Расположение «бимануальной» системы на операционном столе (слева) и процесс формирования узла при зашивании нитями синтетической ткани в экспериментальных условиях (справа)

по трех из шести степеней свободы, что «защищает» всю систему от случайных движений кисти хирурга.

Интерфейс мастера оснащен также многофункциональным джойстиком, который позволяет максимально сохранять «праворукость» для прецизионных манипуляций.

Операционный модуль робототехнического комплекса включает хирургическую стойку, мобильное кресло-кровать пациента, набор «EndoWrist®» инструментов и 3D эндоскопическую аппаратуру высокого разрешения (рис. 7). «EndoWrist®» система обеспечивает маневрирование хирургическим инструментом таким же образом, как будто он удерживается кистью хирурга. Каждый инструмент имеет свою собственную функцию начиная от наложения шва или клемпирования.

Функции могут быстро сменять друг друга за счет подключения соседних «рук»-манипуляторов. Устройства способны запоминать положение манипуляторов до того, как инструмент замещается, и поэтому инструмент, замещающий предыдущий, находится исходно в абсолютно том же положении, что и предыдущий.

Следует отметить, что способность хирургического инструмента к ротациям по полному кругу представляет собой тот элемент, который создает определенные преимущества робототехнического комплекса в сравнении с кистью хирурга. Шесть, а сегодня уже и семь степеней свободы (по числу независимых движений, которые робот может выполнять) создают достаточное число возможностей для выбора типа движения, характера вращений



Рис. 7. Внешний вид операционной, в которой проводится робототехническое телевидеовмешательство (удаление желчного пузыря). Слева — консоль хирурга, справа — операционный стол с манипуляторами

и т. п. Более того, хирург может контролировать уровень прилагаемого усилия, который может составлять величину от долей унции до фунтов. Технология “Intuitive Masters” также позволяет отфильтровывать компоненты тремора и масштабировать движения. Как результат, большие движения кисти хирурга могут быть трансформированы в минимальные движения хирургического инструментария. Обычно в брюшную полость нагнетают углекислый газ для того, чтобы создать пространство для маневра хирургическим инструментом.

Пациент находится в контакте с тремя или четырьмя манипуляторами-«руками» робота. Один из манипуляторов удерживает лапароскоп и обеспечивает получение трехмерного изображения, в то время как в двух или трех других манипуляторах располагаются специальные инструменты, которые вводят в ткани через такие же апертуры, как и при обычной лапароскопической хирургии. На своем рабочем месте хирург контролирует положение инструментов и лапароскопа. Однако число степеней свободы данного оборудования намного больше, чем обычного лапароско-

пического, а также все движения имеют трехмерное представление на экране. Увеличенные изображения высокого разрешения, отражающие положение хирургического инструмента, с частотой кадров тысячи в секунду фильтруются на видеопроцессоре, с целью элиминации фонового шума.

Таким образом, представленное описание показывает, что для телехирургической роботизированной лапароскопической техники легко определить ряд существенных преимуществ, к которым можно отнести следующие:

— трехмерная визуализация операционного поля, которая позволяет ощутить в процессе роботизированного вмешательства глубину движений. Данный момент, наряду с увеличением самого изображения, лежит в основе передачи на «оконечные» хирургические инструменты «праворуконости» хирурга, обеспечивает снижение числа «ложных» движений, т. е. «хирургической суеты»;

— увеличение степеней свободы движений хирургического инструментария. Одна из наиболее значительных проблем, присущих традиционной лапароскопии, — это ограниченный

спектр возможных движений, достигаемый рабочими плоскостями хирургического инструмента. Большинство лапароскопических инструментов обеспечивает от 2 до 3 степеней свободы движений, в то время как роботизированные системы обеспечивают сегодня до 7 степеней свободы, что напоминает возможность внедрения руки хирурга в зону лапароскопических хирургических манипуляций;

— стабильность. Система “Da Vinci” обеспечивает трансформацию масштаба движений хирурга, исключает передачу тремора, что гарантирует надежное и устойчивое положение хирургического инструмента в различные фазы выполнения хирургических манипуляций, а также возможности осуществления комплексных хирургических процедур, иногда невозможных при обычной лапароскопической хирургии. Примером выполнения комплексных хирургических процедур служит реконструктивная хирургия, включающая радикальную простатэктомию, цистэктомию, пиелопластику, при которых сложные системы наложения хирургических швов с помощью робототехники превращаются в простую манипуляцию.

Важная особенность роботизированной техники заключается в том, что в результате масштабирования, минимизации тремора и благодаря трехмерному увеличенному изображению операционного поля у хирурга возникает ощущение выполнения «открытой» операции, что существенно снижает срок обучения хирурга подобным лапароскопическим вмешательствам.

Экспериментальная оценка и перспективы механических систем роботизированных телехирургических комплексов

Анализ рабочих возможностей РТС позволяет сделать ряд выводов в отношении дизайна и предложений по поводу следующей генерации подобной системы [5].

1. Хотя до настоящего времени нет точных сравнительных данных относительно возможностей манипуляторов с четырьмя или шестью / семью степенями свободы, комментарии хирургов-пользователей говорят в пользу того, что использование 2 степеней свободы на конечном манипуляторе при исходных 6 на первичном джойстике позволяет успешно осуществлять технологию наложения швов, а также формирования узлов из нитей шовного материала. Этот вывод подкрепляется, с другой стороны, экспериментами по формированию соответствующих швов и узлов на различных искусственных материалах.

2. Даже если можно проводить наложение швов и формирование узлов при использовании той или иной механической системы, возможность осуществления различных типов движений остается крайне ограниченной. В особенности это касается процедуры вращения вокруг продольной оси, что может сопровождаться тенденцией к развитию сложностей, связанных с расположением участка соединения «кисти» и «руки» манипулятора в течение первоначального захвата иглы, так как вследствие неправильного расположения иногда требуется процедура повторного захвата иглы. Поэтому весьма желательно увеличение подвижности в случае выполнения ротаций — при этом важно предусмотреть ротации не менее чем на 720° для обычной процедуры наложения шва и на 1000° и более при ситуациях, связанных с наложением длинных швов, что обязательно должно быть заложено в функциональные возможности робототехнического хирургического комплекса.

3. Угол расширения захватывающих деталей (угол «захвата») должен, по крайней мере, составлять 135° , что важно для более комфортного наложения швов. Чем больше данный угол, тем это лучше для целей применения данной техники.

4. Диаметр инструментов должен быть максимально умень-

шен — менее 10 мм для лапароскопических операций и до 5 мм при оперативных вмешательствах на сердце и тканях плода.

5. Следует еще раз вернуться к дизайну и основным характеристикам интерфейса. Существующая конфигурация, когда хирург нажимает специальную кнопку на конце удерживаемого кистью джойстика, представляет собой неудобную функцию, которая зачастую лежит в основе «пропускания» хирургом момента начала выполнения определенной процедуры.

6. Возможность замены конечного элемента — «кисти» манипулятора является важной дополнительной возможностью, позволяющей расширить спектр определенных хирургических манипуляций, включая также такие, как захват и рассечение слоев тканей. Для данных задач должен быть отработан свой специфический дизайн конечного элемента манипулятора.

7. Весьма желательно наличие второго захватывающего (иглу) устройства, работающего в том же операционном поле, что позволяло бы легко удерживать иглу и легко переориентировать направление ее введения в ткани.

8. Хотя хирург в большинстве случаев благополучно накладывает шов и завязывает узлы, есть много примеров того, что игла ломается в самом шве или повреждает его, что подтверждено и в открытых экспериментальных условиях. Основная причина подобной ситуации — это то, что только с помощью визуального контроля невозможно точно регулировать усилие, которое хирург передает на манипулятор. Поэтому должен быть создан информационный канал обратной связи, передающий хирургу соответствующие сведения о величине физического усилия на конечных хирургических элементах. Это может быть выполнено в приборах третьего поколения, которые должны быть оснащены соответствующими сенсорными устройствами.

9. Поскольку, в отличие от обычной лапароскопической операции, роботизированная телехирургия не приводит к физической усталости хирурга, весьма желательны исследования эргономического эффекта ее применения в клинических условиях.

Сегодня роботизированные миниинвазивные лапароскопические технологии успешно применяются в следующих областях.

Так, система «Da Vinci» была лицензирована комиссией по контролю за продуктами питания и лекарствами (США, Food and Drug Administration (FDA)) для оказания медицинской помощи взрослым и детям путем применения в урологической хирургической практике, общих лапароскопических операциях, гинекологических лапароскопических операциях, общих некардиоваскулярных торакологических хирургических манипуляциях, а также при торакальных ассистенциях при кардиотомии. Кроме того, лицензировано применение системы при медиастиномиах и коронарорешунтировании.

Таким образом, успешное применение системы имеет практику применения при следующих видах оперативных вмешательств:

— радикальная простатэктомия, пиелопластика, цистэктомия, нефрэктомия, уретральная реимплантация;

— холецистэктомия, гастрокостомия, адреналэктомия, спленэктомия, удаление толстой кишки;

— удаление матки и миом матки;

— мобилизация внутренней артерии молочной железы и абляция ткани сердца;

— восстановление митрального клапана, эндоскопическое закрытие дефекта межпредсердной перегородки;

— формирование в условиях медиастиномиа анастомоза между артерией молочной железы и нисходящей частью коронарной артерии, с целью реваскуляризации сердца.

Также разработаны и применяются другие телехирурги-

Данные о состоянии рынка робототехнических хирургических систем

Тип оборудования	Цена	Компания	Описание оборудования
Хирургическая система "Da Vinci"	1 млн дол. США	Intuitive Surgical	Робот-ассистент с манипуляторами, в «руках» которого находятся хирургические инструменты
Робототехническая хирургическая система «Зевс»	975 000 дол. США	Computer Motion*	Робот-ассистент с манипуляторами, в «руках» которого находятся хирургические инструменты
"Aesop 3000"	80 000 дол. США	Computer Motion*	Система звукового позиционирования лапароскопического оборудования
Центр контроля Hermes	Цена договорная	Computer Motion*	Централизованная система, применяемая в сетях, обеспечивающих работу операционной
Система телесотрудничества "Socrates Robotic"	Цена договорная	Computer Motion*	Обеспечивает отдельный удаленный контроль системой Aesop 3000

Примечание. * — данная компания принадлежит компании "Intuitive Surgical" (данные на июль–август 2003).

ческие системы для лапароскопической хирургии, которые основаны на использовании манипуляторов, имеющих 4 степени свободы. Например, система, разработанная в "SRI International" [11] (лапароскопическая версия также была разработана), телехирургический ассистент для лапароскопической хирургии, предложенный [22; 23], система «Черный сокол» — манипулятор, предложенный [15], и телехирургическая система — эксперимент, проведенный между "JPL" (Калифорния) и политехническим университетом Милана [20], а также система, обеспечившая сеанс телехирургии между Нагойей и Токио (Япония) [2].

Важно подчеркнуть, что в настоящее время имеются и другие примеры успешного применения робототехники в хирургии. Кстати, для ортопедической хирургии применяется система "ROBODOC" [22], представляющая собой автономную робототехническую систему, обеспечивающую операцию по полному протезированию (замене костей) голени; микрохирургическая робототехническая система, осуществляющая вмешательство под визуальным контролем, а также нейрохирургическая система, разработанная [13]. Кроме того, сегодня применяются системы — прецизионные микроманипуляторы (в особенности при операциях на тканях глаза), разработанные в "NASA Jet Propulsion Laboratory" [21], робототехнические системы отпуски процедур рентгенотерапии, имеющие системы визуального контроля зоны воздействий [6; 21] и др.

Важным фактором распространения соответствующих научно-технических решений в области телехирургической робототехники является стоимость соответствующих робототехнических комплексов (табл. 2).

Кроме того, важное значение имеют также объемы затрат на этапе внедрения технологии (табл. 3). Однако, несмотря на первоначально большие затраты, клинические показатели

Таблица 3

Оценка объема начальных инвестиций и экономии средств при проведении хирургических вмешательств на клапанах сердца с помощью системы "Da Vinci" (июль, 2004)

Характер инвестиций	Стоимость, долларов США
Поддержка системы в рабочем состоянии	1 млн
Ежегодная стоимость отработки навыков у хирургов (тренинг)	100 000–250 000
Пребывание пациента в отделении при осуществлении операций на сердце в течение суток	2000
Себестоимость операции	2000
Хирургическое ассистирование (стоимость в течение года)	175 000 при использовании четырех манипуляторов (в сравнении с 80 610 за год при ассистенции, выполняемой операционной сестрой)
Экономия средств за счет снижения длительности пребывания (на 4,5 суток) кардиологических пациентов в стационаре	9000 на одного пациента с операцией на клапанах сердца

эффективности компенсируют данный недостаток. Об этом, по-видимому, свидетельствует тот факт, что только в течение

2004 г. было продано 76 систем "Da Vinci", стоимость каждой — 1,5 млн долларов США [http://www.intuitivesurgi-

cal.com/news_room/press_releases/pr_020805.htm].

Представляют интерес результаты применения роботизированного хирургического комплекса “Da Vinci” при выполнении холецистэктомии¹. Всего было прооперировано 32 пациента (17 женщин и 15 мужчин) среднего возраста — (42,3±2,6) года.

Всех пациентов оперировали под общей анестезией. Левый и правый манипуляторы («руки» робота) размещали на уровне головы пациента соответственно слева и справа. “Aesop”-манипулятор размещали около левого бедра. Все манипуляторы фиксировались к краю операционного стола.

Манипуляторы располагали таким образом, чтобы между их активной оконечной частью и передней брюшной стенкой можно было расположить ладонь хирурга на ребре, после чего в захватывающую часть манипуляторов вводили хирургический инструментарий. После пункции брюшной полости в области пупка иглой Вереща осуществляют карбоксиперитонеум при внутрибрюшном давлении 12 мм рт. ст. Первый 10-миллиметровый троакар вводили в области пупка и 10-миллиметровый 30° лапароскоп вводили через троакар для осмотра брюшной полости. Под контролем лапароскопической картинки через прокол, располагавшийся на 5,0 см ниже мечевидного отростка, вводили 10-миллиметровый троакар и на 5 см ниже правой границы подреберья по передней аксилярной линии вводили 5-миллиметровый троакар. Через указанные троакары вводили диссектор с клемпирующим устройством и захватывающее устройство соответственно. Лапароскоп, захватывающее устройство (граспер) и диссектор управлялись адаптером системы “Aesop” и подсоединя-

лись соответственно к левой и правой «рукам» — управляющим джойстиком. После этого три «руки» манипуляторов выставляли в «двойной прямой» позиции. При этом их располагали таким образом, что угол между передним и верхним манипулятором был 90°, а между лапароскопическими инструментами в адаптерах и передней «рукой» также составлял 90°. Подобная исходная позиция хирургического инструментария обеспечивала возможность осуществления большего объема движений. Хирург с микрофоном находился за операционной консолью на удалении 5 м от операционного стола и с помощью двух джойстиков управлял «руками»-манипуляторами. Также осуществлялось управление системой “Aesop” с помощью голоса хирурга. При этом обеспечивались перемещения «вверх-вниз» и «влево-вправо» таким образом, что оптимизировался обзор операционного поля. Ассистент, который находился возле операционного стола, был готов осуществить дополнительную коррекцию положения манипуляторов. Операционная сестра также находилась возле операционного стола, и в ее функции входила замена, при необходимости, хирургического инструментария в манипуляторах.

Задача хирурга состояла в том, чтобы с помощью захватывающего устройства левой «руки» манипулятора провести ретракцию шейки желчного пузыря таким образом, чтобы экспонировать треугольник Calot и путем манипулирования диссектором и клемпатором правой «руки» робота осуществить диссекцию желчного протока и артерии желчного пузыря. При этом артерию и выводной проток клемпировали отдельно друг от друга после предварительного двойного лигирования. После этого желчный пузырь отсепаарировывали от ткани печени с помощью диатермического крючка. Удаленный желчный пузырь извлекал ассистент через порт, расположен-

ный ниже мечевидного отростка [T. R. Gadacz et al., 2000].

Параметры, по которым оценивали оперативную технику, были следующими: общее время операции, время установки (подготовки) механической системы к операции и само время выполнения оперативного вмешательства. Общее время операции определялось от момента дезинфекции операционного поля до момента закрытия разрезов кожных покровов. Время подготовки системы устанавливалось от начала дезинфекции до момента захвата шейки желчного пузыря. Время выполнения оперативного вмешательства — период от захвата шейки желчного пузыря до полного отсепаарирования желчного пузыря от поверхности печени. Параметры оценки также включали определение объема кровотечения, развития осложнений, а также длительность пребывания пациентов в госпитале.

Кроме того, для общей оценки эффективности операции также учитывали время, затрачиваемое на «очистку» линзы камеры, а также время, затрачиваемое на коррекцию положения манипуляторов. Первый параметр учитывали по периоду времени, когда для протирания линз извлекали лапароскоп до момента продолжения операции. Время на «коррекцию» операционного поля включало период, затрачиваемый на протирание линз камеры и на ручную коррекцию положения манипуляторов. Частота ошибок в течение операции учитывалась в виде наличия кровотечения из ложа желчного пузыря, а также перфораций стенки желчного пузыря.

В результате выполнения роботизированной холецистэктомии (32 операции) ни в одном случае не потребовалось проведение конверсии.

Средний период необходимого времени для придания правильного положения пациенту, а также для инстилляции абдоминальной робототехники составил 28,1 мин (от 7 до 51 мин). Причем данный промежуток времени сокращался

¹ Данные исследования выполнены автором в период стажировки на базе хирургических клиник университетов Вандерильда и Гейнсвилла (США) в 2005–2007 гг.

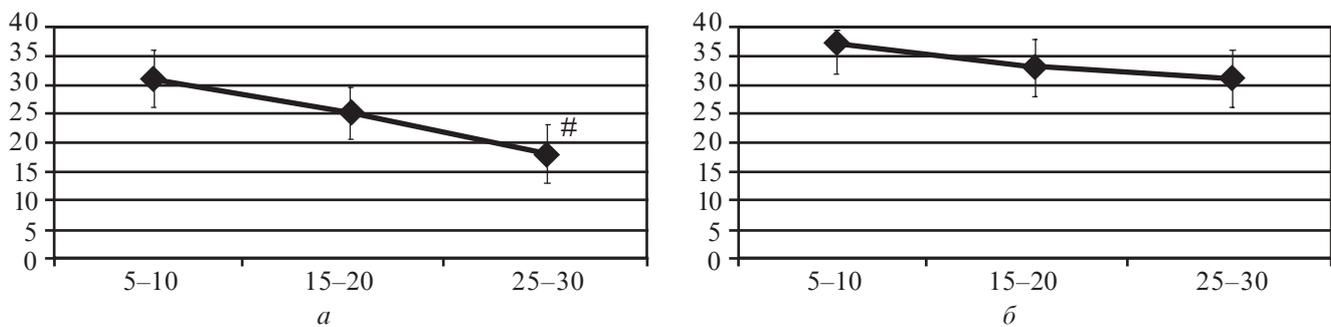


Рис. 8. Динамика продолжительности времени осуществления подготовки оперативного вмешательства (а) и времени осуществления самого вмешательства (б) в зависимости от числа проводимых операций

Примечание. По оси абсцисс — число операций (в порядке нарастания опыта хирурга); по оси ординат — время (мин); # — $P < 0,05$ в сравнении с показателем, определенным на протяжении первых 5–10 операций

по мере приобретения персоналом соответствующих навыков и при выполнении последних операций составлял около 18,2 мин (от 5 до 32) (рис. 8). У 9 пациентов была выполнена холангиография внутриоперационно, при этом средняя продолжительность проведения оперативного вмешательства составила $(103,0 \pm 14,5)$ мин (от 67 до 103 мин). У 23 пациентов, у которых холангиография не выполнялась, среднее время оперативного вмешательства составило $(70,3 \pm 13,2)$ мин (от 44 до 95 мин). На холангиограммах не было обнаружено холангиолитиаза. Объем кровотока составил $(29,6 \pm 7,3)$ мл, а период пребывания на койке — $(2,7 \pm 0,7)$ сут. Следует также отметить, что время на «очистку» линз камеры составило $(1,03 \pm 0,62)$ мин, а время на «коррекцию операционного поля» за счет некоторого изменения положения манипуляторов — $(2,2 \pm 0,6)$ мин. Послеоперационное наблюдение пациентов заключалось в однократном визите в течение 2-недельного послеоперационного промежутка. Ошибки при проведении операции были зафиксированы у 2 (6,2 %) пациентов — у одного из них было отмечено кровотечение из ложа и еще у одного — перфорация стенки пузыря. Не было отмечено осложнений или дополнительного травмирования в наших исследованиях, что могло быть отнесено на счет применения робототехнического комплекса.

Таким образом, представленные результаты свидетельствуют о том, что роботизированная холецистэктомия позволяет провести удаление тканей желчного пузыря без развития осложнений в послеоперационном периоде, практически без потери крови пациентом. В значительной степени это можно объяснить масштабированием операционного поля и высокой точностью выполнения рассекающих тканей движений.

Рассматривая особенности клинической эффективности применения соответствующих робототехнических систем, необходимо подчеркнуть, что к преимуществам хирургической системы «Da Vinci» следует отнести снижение стоимости пребывания в госпитале на 33 % [4]. В основном, речь идет о сокращении времени пребывания в отделении интенсивной терапии за счет снижения выраженности болевого синдрома и улучшения реабилитации пациентов. Хотя размеры инстру-

ментов все еще недостаточно миниатюрны для осуществления оперативных вмешательств на сердце у детей, применение хирургического инструментария не оставляет рубцов и в ряде случаев отработаны четкие показания к операциям у детей. Более того, сегодня, по данным онкологических центров, только 80 000 из 230 000 вновь зарегистрированных случаев карциномы простаты получают хирургическую помощь, что свидетельствует о значительных резервах при соответствующем совершенствовании технологии [http://www.investors.com/yahoo-finance/2004w39/storyB02.asp].

Важными в аспекте клинической эффективности являются преимущества в сравнении с данными клинической эффективности применения лапароскопической хирургической техники (табл. 4).

Главные недостатки предлагаемой технологии — это трудности в обучении хирургов, а также высокая стоимость обо-

Таблица 4

Сравнение эффективности роботизированной телехирургической системы и лапароскопической техники осуществления простатэктомии (М. Menon, 2003)

Показатель	Открытая хирургия	Лапароскопия	«Da Vinci»
Число случаев	100	50	100
Средняя величина кровопотери, мл	900	380	<100
Число осложнений	15	10	5
Среднее число дней катетеризации в послеоперационном периоде	15	8	7
Среднее число суток госпитализации	3,5	1,3	1,2

рудования. Несмотря на то, что “Intuitive Surgical” обеспечивает программу тренинга хирургов, требуется каждый раз не менее 12–18 пациентов, после операций у которых обучаемые начинают чувствовать себя комфортно [16]. Одна из наиболее распространенных жалоб обучающихся — потеря привычного «ощущения» тканей. К недостаткам следует отнести и конструктивные особенности системы — громоздкие системы крепления стола для пациента и соединения с робототехническими модулями [9]. Кроме того, сегодня (2005 г.) длительность операции с применением системы “Da Vinci” требует на 40–50 мин больше, чем при традиционных вмешательствах. Однако специалисты считают, что эти временные характеристики могут быть приведены в соответствие по мере увеличения опыта работы хирургов в данной системе [<http://wiredvig.wired.com/news/technology/0,1282,37536,00.html>].

Пример эффективности применения телехирургического комплекса (урология)

Несмотря на то, что изначально предполагалось широкое применение робототехнической хирургии в кардиологии, сегодня наибольшую практику данная технология приобрела в урологии. Оказалось, что оперативные мероприятия как нельзя лучше выполняются на таких органах, как предстательная железа, почки, надпочечники, т. е. на таких органах, которые для обеспечения традиционного доступа требуют больших рассечений тканей.

Причем первым робототехническим устройством, которое было известно как «У» (урологический) робот, был “PROBOT”, применяемый для автоматизации процессов трансуретрального удаления ткани простаты [http://pegasus.me.jhu.edu/~rwebster/index_files/pub_files/chapter.pdf]. В 1994 г. был применен робототехнический комплекс, обеспечивающий ассистирование

при транскутанеальном доступе к ткани почек [10]. Игла, которую вводили в ткани, была ориентирована по соответствующим снимкам, и точность ее введения составляла 1,5 мм. В то же время первым лицензированным для урологических операций устройством был AESOP (от “Automated Endoscopic System for Optimal Positioning”), произведенный “Computer Motion Inc.”, и это устройство обладало шестью степенями свободы. Данные робототехнические устройства применялись для удерживания камеры в требуемом положении, что осуществлялось более эффективно, чем при выполнении данной процедуры самим хирургом.

Первая роботизированная стереотаксическая пункция ткани почки была осуществлена в 1997 г. [3]. Данное устройство (“РАКУ”) позволяло осуществлять пункцию в течение 8,2 мин.

Операция радикальной простатэктомии

В США ежегодно осуществляется более 75 000 простатэктомий.

Радикальная простатэктомия представляет собой тяжелую операцию, ассоциированную со значительным риском развития тяжелых послеоперационных осложнений, таких как недержание мочи и эректильная дисфункция. Для того чтобы снизить риск этих осложнений, была разработана минимальная неинвазивная технология осуществления операций [7]. Лапароскопические радикальные простатэктомии, вместе с тем, одни из наиболее технически сложных оперативных вмешательств, их характеризуют терминами «тяжелая» или «очень тяжелая» операция [8]. Поэтому, несмотря на то, что сегодня многие медицинские центры обеспечивают лапароскопические урологические операции, только некоторые из них предлагают пациентам выполнение радикальной простатэктомии лапароскопически. В течение короткого промежутка времени, с того момента как бы-

ло сообщено об успешном выполнении радикальной простатэктомии с помощью робототехники, данная процедура стала чуть ли не единственным показанием к применению лапароскопической робототехники [4; 18; 19]. Следует отметить, что именно роботы как нельзя лучше подходят к выполнению подобных вмешательств, так как обеспечивают высокую точность выполнения движений на большой глубине и при малой апертуре оперативного доступа к тканям. Это особенно важно при выполнении простатэктомий, так как требуется очень точное рассечение верхушки уретры, сохранение интактным нервно-сосудистого пучка и реконструкция уретро-везикального протока.

Большая часть данных литературы по вопросу робототехнической простатэктомии представлена результатами работы Института урологии Vattikuti при Госпитале Генри Форда в Детройте. Первые результаты исследований датируются 2000 г., когда была принята программа по роботизации операции простатэктомии. Роботизированная процедура полной экстирпации простаты проводится согласно описанной Vattikuti Institute Prostatectomy (VIP) технике [18]. Процедура предусматривает установку 6 портов (апертур), 3 из которых используются роботом и 3 — двумя хирургами. Устанавливают 12-миллиметровую апертуру на уровне пупка для бинокулярного рассматривания поля зрения роботом. Два 8-миллиметровых порта используются для манипуляторов робота с инструментами, их располагают приблизительно на 10 мм от срединной линии, то есть на линии, соединяющей передневерхний выступ подвздошной кости и пупок. Два дополнительных порта располагают в правой части для ретракции и аспирации первым ассистентом хирурга и для наложения швов. Латеральный предназначен для лапароскопа диаметром 10 мм и медиальный — 5 мм. При этом 5-миллиметро-

вый порт располагают слева, слегка ниже левого порта для манипулятора робота. После этого робот «подсоединяется» к соответствующим апертурам.

Ножницы манипуляторов роботов используют для рассечения передней фасции простаты параллельно нервно-мышечному пучку. В отличие от традиционной техники операции, когда не видны слои рассекаемой фасции, при выполнении роботизированной операции все слои четко визуализированы. Четко отслеживается интактность фасции, покрывающей стенку прямой кишки, выполняются прецизионные заборы периуретральных биоптатов для экспресс-гистологического контроля. Кроме того, автоматизирована процедура формирования уретровезикальных анастомозов.

При анализе результатов 1100 роботизированных оперативных вмешательств [18] указывают, что среднее время радикальной простатэктомии составило от 70 до 160 мин, включая 20–40 мин, которые тратились на формирование портов, подготовку и введение инструментов, а также на процедуры, связанные с завершением операции, закрытием портов. Количество кровопотери составило от 50 до 150 мл без необходимости переливания крови. Кроме того, авторы отмечают, что 94 % в течение 24 ч послеоперационного периода были выписаны домой. Хороший результат был достигнут у 96 % прооперированных пациентов, которые в течение последующих 6 мес наблюдения не предъявляли жалоб на проблемы с мочеиспусканием, и у 82 % пациентов в возрасте менее 60 лет восстанавливалась половая функция. Также важными были результаты отсутствия смертности пациентов. Таким образом, авторы пришли к заключению, что полученные с помощью робототехники результаты были лучшими, чем при открытых или лапароскопических простатэктомиях.

В Университете Калифорнии было проведено системати-

ческое сравнение результатов проведения 60 открытых простатэктомий и 60 простатэктомий, выполненных с помощью робототехники хирургами, которые уже имели опыт выполнения 45 подобных операций [1]. Проведенный анализ показал, что время операции с помощью роботизированных комплексов составило 231 мин в сравнении с 214 мин при открытых операциях. При этом отклонения от этих средних показателей составили 16,7 и 20,0 % для роботизированных и открытых операций соответственно. Меньшая кровопотеря была характерна для применения робототехники (103 и 418 мл соответственно). Кроме того, переливания крови не проводились в группе с роботизированным вмешательством, в то время как при традиционном вмешательстве переливания крови выполнены в 2 % случаев. Помимо этого, роботизированные вмешательства характеризовались меньшим числом осложнений (6,7 и 10 % соответственно), меньшей длительностью пребывания пациентов в стационаре (25,9 и 52,8 ч соответственно). Хороший результат в отношении восстановления мочеиспускания на протяжении 3 мес послеоперационного периода был отмечен у 75 % пациентов в каждой из групп. Авторы отмечают, что для повышения эффективности применения робототехнических комплексов требуется оценка различных видов доступа к ткани предстательной железы (трансперитонеального и экстраперитонеального).

Кроме операций на предстательной железе, робототехника успешно применялась и при операциях на ткани почек. Так, первая тотальная нефрэктомия с помощью «Zeus»-роботизированной системы с двумя «руками»-манипуляторами, а также системой «AESOP» контроля положения камеры была проведена в 2000 г. [9]. Телехирурги США ассистировали при теле-роботизированной нефрэктомии, проведенной в Сингапуре в 2000 г. [14].

Показана возможность удаления мочевого пузыря с помощью телехирургического комплекса [17].

В начале марта 2005 г. пресс-служба University of Iowa (США) сообщила о первом успешном использовании хирургической роботосистемы в неонатологии. Детские хирурги из Children's Hospital of Iowa применили робот «Da Vinci» для пластики врожденной диафрагмальной грыжи у девочки на шестом дне жизни. Таким образом, Amber Vairo, весящая всего 2540 г, стала на сегодняшний день самой «юной» пациенткой, прооперированной с помощью роботосистемы, предназначенной для эндоскопической хирургии. Доктор John Meehan, выполняя операцию, произвел всего три небольших разреза. Для выполнения хирургического вмешательства был применен новый эндоскопический зонд, оснащенный видеокамерой диаметром всего 5 мм. Следует отметить, что роботосистема уже применялась для хирургического лечения диафрагмальной грыжи Морганьи (Morgagni), но у ребенка более старшего возраста. В данном случае была проведена пластика грыжи Бохдалека (Bochdalek), обусловленной недоразвитием мышц мышечного слоя диафрагмы в области пояснично-реберного треугольника (треугольника Бохдалека).

Таким образом, события последнего времени свидетельствуют о продолжающемся стремительном развитии данного направления медицины, которое охватывает все новые области хирургии.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Robot-assisted versus open radical prostatectomy. A comparison of one surgeon's outcomes* / T. E. Ahlering, D. Woo, L. Eichel [et al.] // *Urology*. — 2004. — Vol. 63. — P. 819-822.
2. *Multimedia tele surgery using high speed optical fiber network and its applications to intravascular neurosurgery — system configuration and computer networked implementation* / F. Arai, M. Tanimoto, T. Fukuda [et al.] // *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*. — 1996. — Vol. 1. — P. 878-883.

3. *A robotic system for percutaneous renal access* / J. A. Cadetdu, A. Bzostek, S. Schreiner [et al.] // *J. Urol.* — 1997. — Vol. 158. — P. 1589-1593.
4. *Cathelineau X. Robotic radical prostatectomy: the European experience* / X. Cathelineau, F. Rozet, G. Vallancien // *Urol. Clin. North. Am.* — 2004. — Vol. 31. — P. 693-699.
5. *A laparoscopic telesurgical workstation* / M. C. Cavusoglu, F. Tendick, M. Cohn, S. S. Sastry // *IEEE Transactions on Robotics and Automation.* — 1999. — Vol. 15, N 4. — P. 728-739.
6. *Robotics for medical applications* / P. Dario, E. Guglielmelli, B. Allotta, M. C. Carrozza // *IEEE Robotics and Automation Magazine.* — 1996. — Vol. 3, N 3. — P. 44-56.
7. *Gill I. S. Laparoscopic radical prostatectomy: Technique* / I. S. Gill, C. D. Zippe // *Urol. Clin. North. Am.* — 2001. — Vol. 28. — P. 423-436.
8. *Robot assisted laparoscopic nephrectomy* / B. Guillonnet, C. Jayet, A. Tewari, G. Vallancien // *J. Urol.* — 2001. — Vol. 166. — P. 200-201.
9. *Hanly E. J. Robotic Abdominal Surgery* / E. J. Hanly, M. A. Talamini // *The American Journal of Surgery.* — 2004. — Vol. 188. — S. 19-26.
10. *Hemal A. K. Laparoscopy, robot, telesurgery and urology: future perspective* / A. K. Hemal, M. Menon // *J. Postgrad. Med.* — 2002. — Vol. 48. — P. 39-41.
11. *Telepresence surgery demonstration system* / J. W. Hill, P. S. Green, J. F. Jensen [et al.] // *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation.* — 1994. — Vol. 4. — P. 2302-2307.
12. *A tactile shape sensing and display system for teleoperated manipulation* / D. A. Kontarinis, J. S. Son, W. Peine, R. D. Howe // *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA'95).* — 1995. — Vol. 1. — P. 641-646.
13. *Image guided operating robot: A clinical application in stereotactic neurosurgery* / S. Lavallee, J. Troccaz, L. Gaborit [et al.]; ed. In R. H. Taylor, S. Lavallee, G. Burdea, R. Mosges // *Computer Integrated Surgery: Technology and Clinical Applications.* — N. Y. : MIT Press, 1995. — P. 113-117.
14. *Laparoscopic telesurgery between the United States and Singapore* / B. R. Lee, D. J. Pug, L. Liew [et al.] // *Ann. Acad. Med. Singapore.* — 2000. — Vol. 29. — P. 665-668.
15. *Madhani A. J. The black falcon: a teleoperated surgical instrument for minimally invasive surgery* / A. J. Madhani, G. Niemeyer, J. K. Salisbury // *Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS'98).* — 1998. — Vol. 2. — P. 936-944.
16. *Meadows M. Robots Lend a Helping Hand to Surgeons* / M. Meadows // *FDA Consumer.* — 2002. — Vol. 36, N 3. — P. 12-15.
17. *Menon M. Robotic radical prostatectomy* / M. Menon // *British J. of Urology.* — 2003. — Vol. 9, N 3. — P. 175-180.
18. *Vattikuti Institute prostatectomy, a technique of robotic radical prostatectomy for management of localized carcinoma of the prostate: experience of over 1100 cases* / M. Menon, A. Tewari, J. O. Peabody [et al.] // *Urol. Clin. North. Am.* — 2004. — Vol. 31. — P. 701-717.
19. *The technique of apical dissection of the prostate and urethrovaginal anastomosis in robotic radical prostatectomy* / M. Menon, A. K. Hemal, A. Tewari [et al.] // *BJU Int.* — 2004. — Vol. 93. — P. 715-719.
20. *Remote control in telerobotic surgery* / A. Rovetta, R. Sala, X. Wen, A. Tognolo // *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics.* — Part A : *Systems and Humans.* — 1996. — Vol. 26, N 4. — P. 438-443.
21. *Schenker P. S. A new robot for high dexterity microsurgery* / P. S. Schenker, H. Das, T. R. Ohm ; ed. N. Ayache // *Computer Vision, Virtual Reality and Robotics in Medicine : First International Conference, CVRMed'95. Proceedings.* — Berlin (Germany) : Springer-Verlag, 1995. — P. 115-122.
22. *An image-directed robotics system for precise orthopaedic surgery* / R. H. Taylor, B. D. Mittelstadt, H. A. Paul [et al.] // *IEEE Transactions on Robotics and Automation.* — 1994. — Vol. 10, N 3. — P. 261-275.
23. *A telerobotics assistant for laparoscopic surgery* / R. H. Taylor, J. Funda, B. Eldridge [et al.] // *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine.* — 1995. — Vol. 14, N 3. — P. 279-288.

УДК 616.71-001.5+616.61-091.8

Н. Р. Баязитов

ТЕЛЕХИРУРГИЯ: НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЛАПАРОСКОПИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

В работе проведен анализ возможностей нового направления современной медицины, объединяющей возможности миниинвазивных хирургических и информационно-телекоммуникационных технологий — телехирургии. Приведен сравнительный анализ результатов телехирургических вмешательств с традиционными лапароскопическими хирургическими технологиями.

Ключевые слова: телемедицина, телехирургия, робототехнические хирургические комплексы, миниинвазивная лапароскопическая хирургия.

UDC 616.71-001.5+616.61-091.8

N. R. Bayazitov

TELESURGERY IN THE DEVELOPMENT OF LAPAROSCOPIC TECHNOLOGIES

The analysis of a new direction of contemporary medicine, which is based on both miniinvasive laparoscopic surgery and informational-telecommunicative technologies and titled as telesurgery is delivered. The comparative evaluation of telesurgical interventions with traditional surgery was performed.

Key words: telemedicine, telesurgery, robototechnical surgical complexes, miniinvasive laparoscopic surgery.