

## ПРИМЕНЕНИЕ РОБОТИЗИРОВАННЫХ МАНИПУЛЯТОРОВ В МЕДИЦИНЕ. ОБЗОР ПАТЕНТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

А.П. Якушенкова<sup>1,2\*</sup>, Д.А. Тимашков<sup>1</sup>, З.Э. Войцеховская<sup>3</sup>, А.М. Шпикалов<sup>3</sup>, К.С. Громов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> ФГБУ «Клиническая больница» Управления делами Президента РФ, Москва

<sup>2</sup> ФГБУ ДПО «Центральная государственная медицинская академия» Управления делами Президента РФ, Москва

<sup>3</sup> ФГБУ «Федеральный институт промышленной собственности», Москва

## ROBOTIC MANIPULATORS IN MEDICINE. REVIEW OF PATENT DOCUMENTATION

A.P. Yakushenkova<sup>1,2\*</sup>, D.A. Timashkov<sup>1</sup>, Z.E. Voytsekhovskaya<sup>3</sup>, A.M. Shpikalov<sup>3</sup>, K.S. Gromov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Clinical Hospital of Department of Presidential Affairs, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Central State Medical Academy of Department of Presidential Affairs, Moscow, Russia

<sup>3</sup> Federal Institute of Industrial Property, Moscow, Russia

\* E-mail: annayakushenkova@yandex.ru

### Аннотация

В обзорной статье проведен анализ патентной литературы, касающейся современных тенденций развития роботизированных манипуляторов в медицине. Авторами рассмотрены документы современных роботизированных манипуляторов, используемых при проведении оперативных вмешательств. Их использование обеспечивает высокую точность проведения хирургических вмешательств в анатомически сложных зонах.

**Ключевые слова:** роботизированные манипуляторы в медицине.

### Abstract

The present articles analyzes patent literature on current trends in robotic manipulators in medicine. The authors have reviewed documents on modern robotic manipulators used in surgical interventions. Application of such manipulators in medicine ensures high accuracy of surgical interventions in anatomically difficult zones.

**Key words:** robotic manipulators, medicine.

**Ссылка для цитирования:** Якушенкова А.П., Тимашков Д.А., Войцеховская З.Э., Шпикалов А.М., Громов К.С. Применение роботизированных манипуляторов в медицине. Обзор патентной документации. *Кремлевская медицина. Клинический вестник.* 2023; 1: 89–92.

Применение роботов в медицине началось с появлением робота daVinci, разработанного в 1980 г. и по существу представляющего собой роботизированный манипулятор, управляемый движениями хирурга и как бы являющийся продолжением его рук. В 2012 г. с использованием этой технологии было произведено около 200 000 успешных операций, а в 2018 г. с помощью робота-ассистента была проведена первая нейрохирургическая операция по удалению грыжи грудного отдела позвоночника с компрессией спинного мозга [1].

С учетом наибольшего распространения роботов-манипуляторов в медицинской практике был проведен патентный поиск по базе данных Espasenet Европейского патентного общества с использованием классификационной группы А61В 34/37 «Роботы, управляемые движениями хирурга».

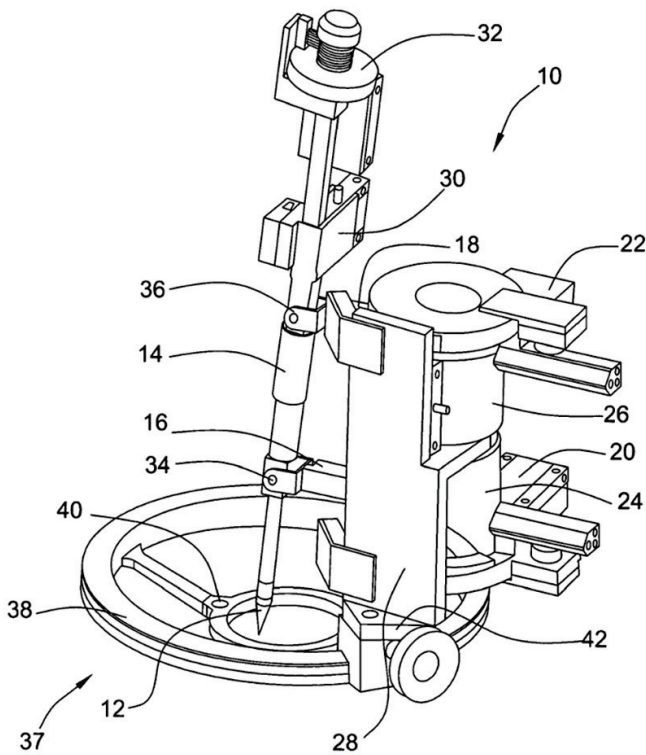
Следует отметить, что приведенные ниже патентные документы являются весьма объемными. Поэтому для изучения были выбраны варианты исполнения манипуляторов, по нашему мнению, содержащие наиболее полный комплекс технических средств, определяющих необходимые функциональные возможности хирургических манипуляторов, управляемых движениями хирурга.

В этой связи представляет интерес патент США US7625383 [2]. Данный хирургический манипулятор обеспечивает точность наведения инструмента и повышенную безопасность пациента благодаря существенному снижению вероятности перемещения пациента относительно манипулятора. Это особенно актуально при проведении сложных хирургических процедур в таких областях, как нейрохирургия, хирургия позвоночника, хирургия уха, хирургия головы и шеи, хирургия кисти руки, а также в малоинвазивной хирургии. Кроме того, представленный манипулятор имеет шесть степеней свободы, что существенно снижает утомляемость хирурга во время операции (рис. 1).

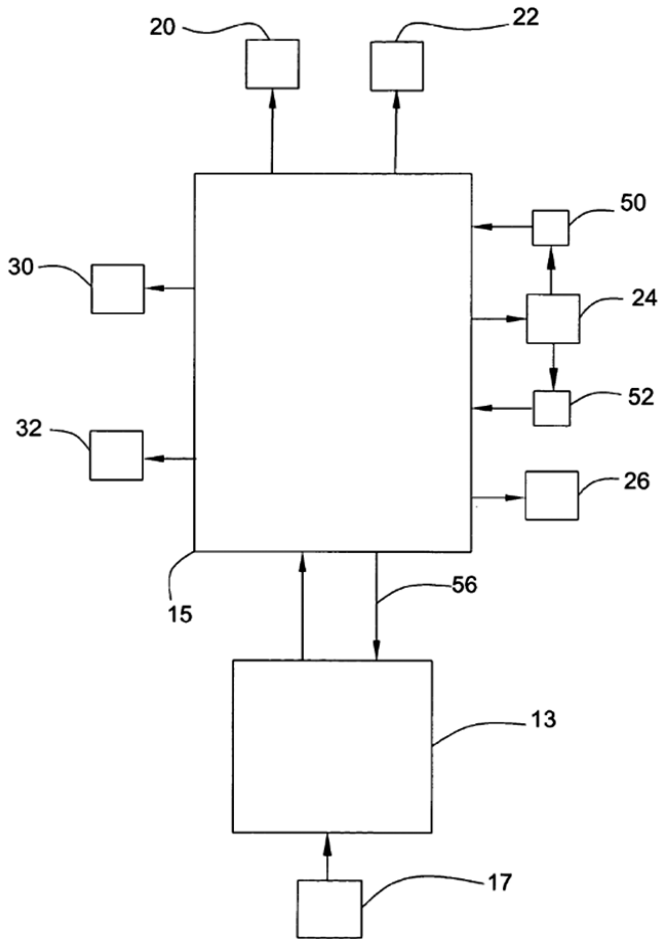
В качестве медицинского инструмента можно использовать иглодержатели, скобки или зажимы, зонды, ножницы, щипцы, аспирационные резаки, диссекторы, сверла, лазеры, ультразвуковые и другие диагностические приборы.

В такой системе хирург/оператор подает входные сигналы манипулятору через ведущий или тактильный интерфейс 13, который работает через контроллер 15, как показано на блок-схеме (рис. 2).

С помощью использования устройства 17 ввода на тактильном интерфейсе 13, такого как рукоятка инструмента



**Рис. 1. Вариант хирургического манипулятора 10, который может поддерживать и перемещать медицинский инструмент 12 с шестью степенями свободы**



**Рис. 2. Блок-схема системы управления для манипулятора**

с шестью степенями свободы с силовой обратной связью, джойстик, ножная педаль и т.п., хирург обеспечивает необходимое перемещение инструмента 12.

Тактильный интерфейс 13 передает эти сигналы на контроллер 15, который обрабатывает эти сигналы перед их передачей на манипулятор. На основе сигналов, подаваемых контроллером 15, манипулятор 10 выполняет требуемое движение или воздействие инструментом 12. Это может быть выполнено с помощью программного обеспечения контроллера 15. Программное обеспечение может реализовывать регулирование положения, регулирование силы воздействия инструмента (увеличение силы для костей и хрящей, уменьшение силы для мягких тканей), фильтрацию тремора, компенсацию силы тяжести, программируемые границы положения, компенсацию движения для аневризм, ограничения скорости инструмента (например, для предотвращения быстрого проникновения в ткань головного, нервного или спинного мозга).

Опорный вал 14 инструмента поддерживается парой вертикально разнесенных управляющих рычагов 16, 18, каждый из которых перемещается посредством соответствующего линейного привода 20, 22 и соответствующего поворотного привода 24, 26. Линейные приводы 20, 22, связанные с рычагами 16, 18 управления, выдвигают соответствующий рычаг в продольном направлении. Каждый линейный привод 20, 22 соединен с выходным валом соответствующего поворотного привода 24, 26, чтобы обеспечить поворотное движение линейных приводов 20, 22 и, соответственно, рычагов управления 16, 18. В этом случае поворотные приводы 24, 26 расположены друг над другом на стационарной опорной раме 28 так, что их оси вращения совмещены.

С помощью комбинации управляющих рычагов 16, 18 и соответствующих им линейных 20, 22 и поворотных приводов 24, 26 опорный вал 14 инструмента может перемещаться в пространстве с четырьмя степенями свободы.

Для перемещения инструмента 12 в продольном направлении и обеспечения вращения инструмента вокруг продольной оси опорного вала предусмотрены два дополнительных исполнительных механизма. Линейный привод 30 встроен в опорный вал 14 инструмента, который соединен с инструментом 12 (через вал или другие средства), чтобы обеспечить продольное перемещение инструмента 12 относительно продольной оси опорного вала инструмента 14. Это перемещение инструмента 12 можно использовать для введения и извлечения инструмента 12 из тела пациента. Вращательное движение инструмента 12 производится поворотным приводом 32, расположенным на верхнем конце опорного вала 14 инструмента и соединенным с инструментом 12 так, чтобы обеспечивалось вращение инструмента 12 вокруг продольной оси опорного вала инструмента 14. Вращательное движение инструмента 12 относительно опорного вала 14 может быть полезным при использовании инструментов, таких как ножницы, которые проходят под углом к опорному валу инструмента.

Для обеспечения возможности перемещения опорного вала инструмента с требуемыми степенями свободы каждый рычаг 16, 18 управления соединен с валом 14 инструмента с помощью соответствующего универсального или карданного шарнира.

В представленном варианте соединения рычагов управления и опорного вала инструмента содержат шарниры Гука 34, 36 с тремя степенями свободы. Для определения положения различных линейных и поворотных приводов 20, 22, 24, 26, 30, 32 и рычагов управления 16, 18, шарниров 34, 36 и опорного вала 14 приводы могут быть оснащены датчиками положения 50.

Каждый из линейных и поворотных приводов может быть связан с контроллером, а датчики положения могут предоставлять контроллеру информацию о положении в контуре обратной связи, как показано на рис. 2. Различные исполнительные механизмы также могут быть оснащены датчиками силы 52 для измерения сил или крутящих моментов, прикладываемых к опорному валу инструмента 14. Эта информация может передаваться через контур управления с обратной связью на контроллер 15 для обеспечения силовой обратной связи с устройством ввода тактильного интерфейса (схематически показана стрелкой 56).

Для обеспечения безопасности пациента и снижения вероятности его перемещения относительно манипулятора во время хирургической или другой интервенционной процедуры с помощью крепежного приспособления манипулятор фиксируется относительно определенной части тела пациента. На рис. 1 опорная рама 28 привода и опорный вал 14 инструмента соединены с монтажной конструкцией 37, в данном случае с кольцом 38, которое может быть установлено непосредственно на голове или другой части тела пациента.

Для облегчения прикрепления кольца 38, например, к голове пациента данное кольцо имеет монтажные отверстия 40, в которые можно вставить винты для его крепления. Опорная рама привода 28 соединена с кольцом 38 с помощью зажимного механизма 42, который позволяет перемещать опорную раму привода 28 и фиксировать ее в любом заданном положении по периметру кольца 38.

Вариант осуществления изобретения, в котором монтажная конструкция включает в себя систему фиксации положения головы, показан на рис. 3. В данном варианте предусмотрен рычаг 160, который соединяет опорную раму 128 манипулятора 110 с головным зажимом 162. Зажим 162 включает в себя С-образную раму 164, которая поддерживает 166 для зацепления с неподвижной головкой с одной стороны и штифты 168, 170 для зацепления с головкой с противоположной стороны. Штифты 168, 170 для зацепления с головкой опираются на скобу 172, которая может вращаться относительно рамы 164, вследствие чего обеспечивается возможность для хирурга регулировать угловое положение головы пациента относительно рамы 164. Зажим 162 содержит поворотный механизм 174 для разъемной фиксации скобы 172 в определенном угловом положении относительно рамы 164. Головной зажим 162 поддерживается базовым блоком 176, с помощью которого головной зажим может устанавливаться на медицинском столе.

Для того чтобы манипулятор 110 оставался неподвижным относительно головы пациента во время регулировки положения головы, в поворотный механизм 174 зажима 162 связан рычаг 160, поддерживающий манипулятор. В частности, рычаг 160 прикреплен к втулке 178, которая вращается вместе со скобой 172, поскольку угловое положение скобы регулируется с помощью ручки 180 на поворотном механизме 174. Таким образом, манипу-

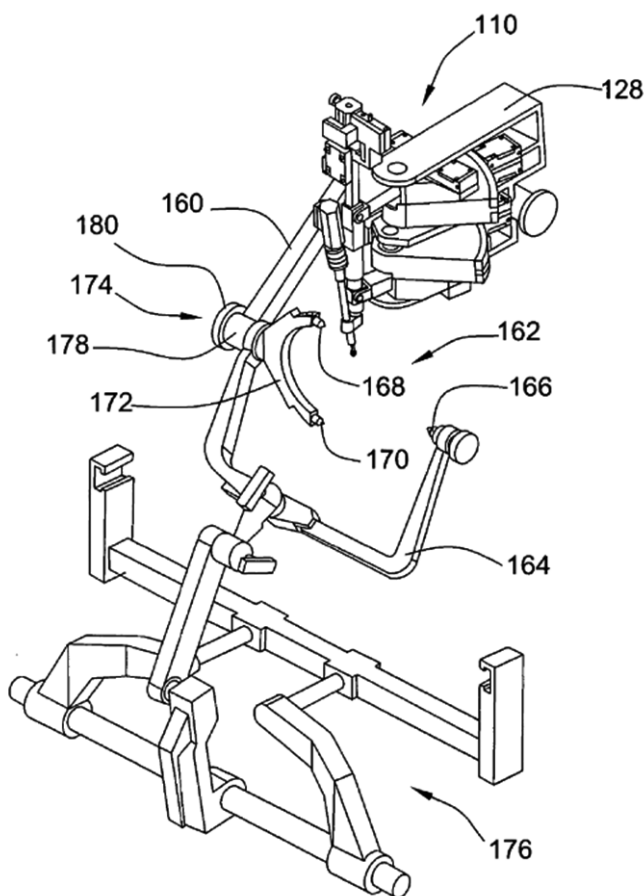


Рис. 3. Система фиксации положения головы пациента

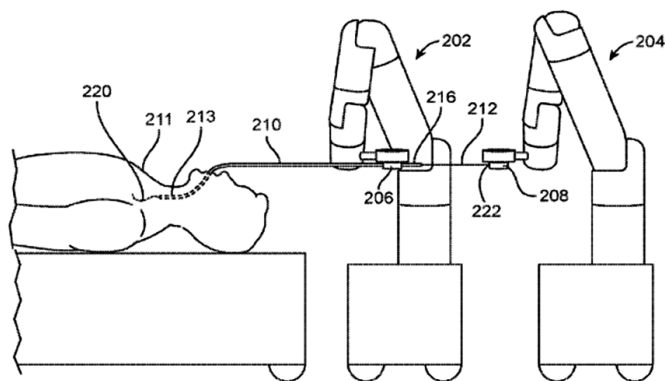


Рис. 4. Хирургическая роботизированная система, состоящая из двух манипуляторов

лятор 110 остается зафиксированным в одном и том же положении относительно скобы 172 и головы пациента.

Для осмотра и хирургических вмешательств на внутренних органах с помощью гибких эндоскопов или катетеров предусмотрены системы, состоящие уже из нескольких манипуляторов, обеспечивающих сложное по траектории перемещение инструмента с высокой точностью.

Так, в патенте США US9737371 [3] представлена роботизированная хирургическая система 200, состоящая из двух тележек, которые содержат первый манипулятор 202 и второй манипулятор 204, удерживающие основания 206 и 208 эндоскопических инструментов соответственно (рис. 4).

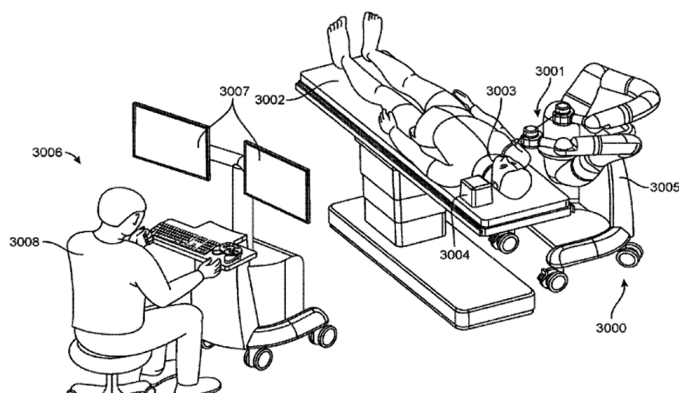


Рис. 5. Роботизированная катетерная система

Основание 206 соединено с управляемой оболочкой 210 для введения эндоскопа. Основание 208 имеет гибкий направляющий проводник 212 для эндоскопа, соединенный с последним.

Манипуляторы 202 и 204 выравнивают основания инструментов 206 и 208 таким образом, чтобы проксимальный конец 216 оболочки 210 являлся дистальной частью проксимального конца 222 направляющего проводника 212 и чтобы проводник 212 оставался выровненным в осевом направлении с оболочкой 210 приблизительно под углом 180° между двумя манипуляторами, в результате чего образуется «виртуальная направляющая», состоящая из оболочки 210 и проводника 212, расположенная приблизительно по прямой линии или под углом 180°.

Оболочка 210 с направляющим проводником 212, расположенным в ней с возможностью скольжения с помощью робота, вводится через полость рта, трахею (не показана) и внутрь пациента 211 и в конечном счете в бронхиальное дерево пациента, при этом постоянно сохраняя положение виртуальной направляющей во время введения и навигации.

Манипуляторы могут перемещать оболочку 210 и направляющий проводник 212 с эндоскопом в осевом направлении друг относительно друга и внутрь или наружу пациента 211 под контролем врача.

Для обеспечения точного наведения инструмента необходимы соответствующие навигационные средства. Например, в приведенном патенте США US9737371 представлена также роботизированная катетерная система (рис. 5), в которой используется электромагнитное устройство, отслеживающее положение катетера (трекер), работающее совместно с генератором электромагнитного поля. Когда роботизированная система 3000 вводит катетер 3001 с роботизированным приводом в пациента 3002, электромагнитное отслеживающее устройство 3003 на дистальном конце роботизированного катетера 3001 может обнаруживать электромагнитное поле, создаваемое генератором электромагнитного поля 3004.

Данные с устройства 3003 могут передаваться по стволу роботизированного катетера 3001 на системную тележку 3005 и на командный модуль 3006 (который содержит соответствующие программные модули, центральный процессор, шину данных и память) для интерпретации и анализа. С использованием данных устройства 3003 дисплеи 3007 могут отображать относительное положение устройства 3003 и катетера 3001 в предусмотренной трехмерной модели для просмотра оператором 3008.

В заявке Австралии AU2021218253 [4] представлено устройство для роботизированной микрохирургии, содержащее два моторизованных манипулятора со средствами крепления хирургических инструментов, имеющими возможность линейного перемещения. Манипуляторы закреплены на роботизированном рычаге, установленном на тележке. Управление манипуляторами осуществляется под контролем операционного микроскопа. Положение инструмента отслеживается с помощью электромагнитных или оптических средств.

Анализ патентных документов показывает, что продолжается совершенствование роботов-манипуляторов, применяемых в медицине. Современные роботизированные манипуляторы, управляемые движениями хирурга, имеют достаточный набор кинематических звеньев, обладающих значительным числом степеней свободы и обеспечивающих перемещение хирургических инструментов в нужное место воздействия. При этом с помощью соответствующих датчиков и процессоров при перемещении инструментов контролируются их положение, усилия и вращающие моменты.

Для осмотра и хирургических вмешательств на внутренних органах с использованием гибких эндоскопов или катетеров, а также в микрохирургии применяются хирургические роботизированные системы, состоящие из нескольких манипуляторов, обеспечивающих сложное по траектории перемещение инструмента с высокой точностью.

Использование навигационных средств, в частности катетерных систем при проведении роботоассистированной операции, помогает наиболее точно производить наведение инструментов при выполнении хирургического вмешательства.

Таким образом, современные роботизированные манипуляторы находят применение в нейрохирургии, хирургии уха, урологии, малоинвазивной хирургии и других областях медицины, где требуются высокоточные оперативные вмешательства.

*Конфликт интересов отсутствует.*

## Литература

1. Мосоян М.С. и др. Современная робототехника в медицине // Трансляционная медицина. – 2020. – Т. 7. – № 5. – С. 91–108. [Mosoyan M.S. et al. Modern robotics in medicine // Translyacionnaya medicina (Translational Medicine). – 2020. – V. 7. – № 5. – P. 91–108. In Russian]. doi: 10.18705/2311-4495-2020-7-5-91-108.
2. Charles S.T. et al. Microdexterity systems INC. USA; 2009. URL: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/022995526/publication/US7625383B2?q=US7625383>.
3. Romo E. et al. Auris surgical robotics INC. USA; 2017. URL: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/055631453/publication/US9737371B2?q=US9737371>.
4. Bagheri G.M. et al. Medical microinstruments INC. USA; 2022. URL: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/070738820/publication/AU2021218253A1?q=AU2021218253>.