

УДК 616.77: 616.78

Медицинская робототехника: первые шаги медицинских роботов

Краевский С.В., Рогаткин Д.А.

ГУ МОНИКИ им. М.Ф. Владимирского, г. Москва

АННОТАЦИЯ

Стремительное развитие робототехники в мире открывает новые возможности во многих областях, в том числе и в медицине. В статье представлен краткий обзор появляющихся в мире тенденций в развитии медицинских роботов как нового направления в медицинском приборостроении, предложено авторское определение понятию медицинского робота, показаны последние и наиболее интересные области применений медицинских роботов в учреждениях здравоохранения. На этой основе приведена уточненная классификация медицинских роботов, а также сделан прогноз развития медицинской робототехники в нашей стране на ближайшие годы.

Введение.

Стремительное развитие робототехники в мире открывает новые возможности во многих областях, в том числе и в медицине [1]. Если проанализировать недавние профессиональные научные публикации по тематике медицинских роботов [2-5], а также последние информационные сообщения на популярных интернет порталах о медицинских применениях роботов (например, [6, 7] и др.), то можно заметить, что последние 2-3 года наблюдается резкий скачок в развитии рынка реальных медицинских роботов, поставляемых непосредственно для работы в клиники. Будущее, в котором в больницах работают всевозможные роботы, а также многочисленные инженеры по их технической поддержке, становится всё более реальным. По меткому выражению американского инженера и предпринимателя Д.Энгельбергера, получившего титул «отца робототехники» за создание первой в мире частной фирмы по производству программируемых автоматов, больницы – это идеальное место и идеальная окружающая среда для использования роботов [8].

Полностью заменить человека роботы в обозримом будущем, к счастью, пока не способны, тем более в медицине, однако быть курьером в пределах одной больни-

цы, брать интервью и собирать жалобы у пациентов, помогать им передвигаться в пределах клиники роботы могут уже сегодня. Например, в США, где проблема нехватки медсестёр ощущается не менее остро чем в России, роботы всерьёз рассматриваются в качестве возможного варианта ее решения [9]. Более того, уже существует успешный опыт работы подобного робота [10], выполняющего функции разносчика в медицинском центре «Veterans Affairs Medical Center» для ветеранов. Роботы-хирурги, роботы-физиотерапевты, роботы-санитары – фантастика это, или уже реальность? Можно ли сегодня всерьёз говорить о появлении устойчивой тенденции в развитии нового направления в медицинском приборостроении – направления по медицинским роботам, - или пока это только поисковые НИР и НИОКР?

Данный обзор ставит своей целью глубоко не вдаваясь в технические подробности конструкции того или иного робота кратко очертить последние тенденции в развитии медицинских роботов, предметно классифицировать медицинские роботы и описать наиболее интересные с точки зрения медицинских приложений разработки в данной области, сделав возможный прогноз развития на ближайшие годы. В отечественных публикациях [3-5] частично уже затрагивалась эта тема и, в частности, предлагалась классификация в медицинской робототехнике по основным направлениям ее развития и применения. Однако с каждым годом эта область медицинского приборостроения пополняется все новыми и новыми идеями, разработками и взглядами на проблему, причем с очень большой скоростью. Поэтому такие обзоры быстро устаревают. Кроме того, в указанных публикациях автор, как технический специалист-разработчик, в большей степени затронул технические аспекты проектирования и создания роботов с позиций классического биотехнического подхода. Представленный же обзор предлагает читателю взгляд на проблему со стороны пользователя – врача, научного сотрудника или инженера в клинике. И одной из задач данного обзора является осмысление ситуации для практического здравоохранения: оправдано ли появление роботов в клинике? Следует ли рассчитывать на российские разработки, принимать участие в таких разработках в качестве медицинского соисполнителя, или целесообразнее сразу ориентироваться на закупки роботов за рубежом?

Термины и определения.

Что такое робот? Существующие толковые и энциклопедические словари несколько расходятся в определении понятия «робот». Например, словарь по естественным наукам дает следующее пространное определение: «Робот – это электронно-механическое устройство, способное к целесообразному поведению в условиях изменяющейся внешней обстановки и выполняющее рабочие операции со сложными пространственными перемещениями» [6]. Толково-словообразовательный словарь русского языка дает другое определение роботу: «Робот – автоматическое устройство с антропоморфным действием, которое частично или полностью заменяет человека при выполнении работ в опасных для жизни условиях или при относительной недоступности объекта» [7]. Толковый словарь русского языка определяет робота как «автомат, осуществляющий действия, подобные действиям человека». [8]. Большая советская энциклопедия даёт схожее определение, но с рядом интересных дополнений: «Термин "робот" был впервые введён К. Чапеком в пьесе "R. U. R." (1920г.), где роботами называли механических людей. С развитием робототехники определились 3 разновидности роботов: с жёсткой программой действий; управляемые человеком-оператором и с искусственным интеллектом (иногда называемые интегральными), которые действуют целенаправленно ("разумно") без вмешательства человека». [9].

В интернете сегодня также можно найти много разных определений понятию робот. Выделим из них еще два, отличных от уже приведенных выше:

1. Робот (в обычном понимании) — это механическое устройство, предназначенное для автоматического выполнения операций [10];

2. Робот или Бот (часто используемое в сети жаргонное сокращение) — специальная программа, выполняющая автоматически и/или по заданному расписанию, какие-либо действия через те же интерфейсы, что и обычные пользователи [11, 12];

Как видим, роботами называют и программы автоматической рассылки электронной почты, и манипуляторы, предназначенные для автоматического подъема тяжелых грузов, и различные самоходные тележки и вездеходы. В сборнике [1] предложено, например, некое свое, специализированное, техническое определение медицинским роботам через понятия мехатронных действий и сенсорных технологий. Однако авторам не удалось найти в литературе сколько-нибудь приемлемого простого опре-

деления понятию медицинского робота, доступного специалисту не технического, а медицинского профиля. Как будет ясно из последующего изложения, функции медицинских роботов, их отличительные конструктивные признаки и закладываемые в них целевые возможности могут меняться в очень широких пределах, от роботов-протезов до роботов-хирургов и медсестер. Подобрать единое для всех них и емкое определение действительно весьма непросто. Пожалуй, единственное, что их всех объединяет, – это электронно-механическая внутренняя «начинка» и служение целям и задачам медицины. Поэтому, в данной статье под медицинскими роботами мы так и будем понимать электронно-механические устройства, которые частично или полностью выполняют функции человека или его отдельных органов и систем (иногда животного) при решении различных медицинских задач.

Развитие медицинской робототехники на рубеже XX-XXI веков.

Первые намёки на специализированные медицинские роботы появились в конце 1980-х - начале 1990-х годов в виде хирургических манипуляторов. Механические руки значительно уменьшили разрез и кровопотери при операции, повысили точность движений, снизили время операции и послеоперационной реабилитации. Наибольшее распространение по всему миру на данный момент времени получила уже ставшая широко известной система хирургических манипуляторов «Да Винчи» («da Vinci»)



Рис. 1. Хирургический манипулятор «Да Винчи».

(рис.1). Она состоит из операционной консоли с четырьмя рабочими манипуляторами, управляющей панели и приборной доски. С помощью джойстика ведется управление действиями механических манипуляторов. В режиме реального времени робот копиру-

ет движения хирурга, сидящего за пультом управления. Специальная видеокамера позволяет проецировать на экран трехмерную картину происходящего в операционном поле. Именно создание технологии трехмерного видения сделало возможным весь этот проект, т.к. обычная двумерная картинка на экране монитора не позволяет оператору точно позиционировать хирургический инструмент в пространстве, особенно по «глубине» изображения. Основное преимущество этого «робота-хирурга» – создание возможности человеку-хирургу проводить дистанционно микроманипуляции с любым инструментом без опасности совершить случайное неловкое движение (робот блокирует такие движения), в том числе - возможность проводить сложные хирургические операции дистанционно, например, не входя непосредственно в операционный блок (там находятся лишь ассистенты и младший медперсонал), т.е. не теряя время на длительную предоперационную подготовку (переодевание, дезинфекция рук и пр.). Только в Европе и США насчитывается сегодня в работе около 800 таких систем. В России робот «Да Винчи» также присутствует по данным авторов, как минимум, в Свердловске и Ханты-Мансийске [13].

Еще один пример подобного «робота-врача-манипулятора» - новозеландский робот-терапевт (рис.2). По командам оператора он умеет измерять давление и температуру пациента, умеет прослушивать хрипы в легких, выполнять ряд других операций. Летом 2008г. артериальное давление этот робот измерил министру науки и техники Новой Зеландии, чем по-настоящему поразил его. Эти фантастические возможности стали реальностью благодаря использованию корейских технологий и разработок в специально открытой лаборатории в Окленде. Инвестиции в проект составили 1,8 миллионов долларов с новозеландской стороны и 3,7 миллиона — с корейской [2].



Рис. 2. Новозеландский робот манипулятор-терапевт.

В США пациенты одной из клиник Балтимора также стали участниками подобного эксперимента. В отделении нейрохирургии клиники в отсутствие лечащего врача пациентов навещает не обычный дежурный, а электронный кибер-врач “RP-7” (рис. 3). «Доктор робот», как его называют в клинике, осматривает пациентов, расспрашивает их о проблемах и даже дает советы медицинским сестрам. Этот робот-манипулятор оборудован камерами, экраном и микрофоном и позволяет лечащему врачу проверять состояние больных и общаться с ними, находясь в любой точке земного шара [2]. У пациентов, наблюдавшихся с помощью “RP-7”, достоверно уменьшался срок послеоперационной реабилитации.



Рис. 3. Доктор робот «Бари» (проект “RP-7”).

Благодаря появлению роботов-манипуляторов новый импульс развития в XXI веке получила и лучевая терапия онкологических больных. Высокая точность позиционирования пучка ионизирующего излучения и возможность следить за подвижной мишенью критически важны при облучении опухоли на таких органах как мозг, сердце или легкие. Радиохирургический робот «Cyberknife» позволяет проводить подобные процедуры в автоматическом режиме. Встроенная система синхронизации следит за движениями пациента и его органов с помощью рентгеновской камеры и оптических маркеров на коже пациента, а точно направленный пучок частиц из небольшого

линейного ускорителя разрушает раковые клетки, не задевая здоровую ткань даже при значительных смещениях пациента [14]. Имеются сообщения в литературе о работающих в больницах по всему миру порядка 150 подобных роботов (из них около 100 в США), а также десятках их разновидностей – роботов «RoboCouch» и «Gamma Knife».

В 1998г. в Медицинском Центре для ветеранов штата Северная Каролина появился робот «HelpMate», т.е. помощник [5]. Он представляет собой 180 килограммовый шкаф на подвижной платформе (рис 4). Основная функция данного робота - доставка различных лекарств, анализов, историй болезни и других, неотъемлемых для больницы вещей, в различные подразделения Центра. «Помощник» хорошо ориентируется в окружающей среде, умеет пользоваться лифтом и объезжать препятствия, а будучи загнанным в угол игривыми пациентами сообщает баритоном фразу, которую



перевести на русский язык можно как: «Мой путь заблокирован». Этот робот изначально был приобретен в целях экономии. Робот при цене от производителя в \$110,000 обходится в целом дешевле курьера-человека (курьер «стоит» около \$5 в час), ему не нужен отпуск, страховка, социальные гарантии, Следит за роботом техник, который на складе заполняет его различными лекарствами и указывает пункт их доставки. Маршрут при этом робот выбирает сам [15].

Рис. 4. Робот курьер «Helpmate».

Самые последние разработки помогают транспортировать по больнице уже не только лекарства, но и больных. Инженеры из Института Физических и Химических Исследований Японии (Japan's Institute of Physical and Chemical Research, RIKEN), совместно с компанией "Tokai Rubber Industries" разработали робота RIBA (сокращенно от Robot for Interactive Body Assistance) [16]. Этот робот способен поднять пациента весом до 60 кг из инвалидного кресла, перенести и бережно уложить его на кровать (рис. 5). Кроме того, робот способен помочь больному встать и поддержать его при

ходьбе. Медведеподобная машина оснащена множеством осязательных датчиков, которые позволяют оптимально реагировать на вес больного и его положение. Оболочка сделана из мягкого полиуретанового пластика. Тележка робота, оборудованная колесами, которые могут двигаться во всех направлениях, придает роботу неплохую маневренность. Встроенная интеллектуальная система управления может распознавать голоса и лица пациентов, выполнять голосовые команды и т.п.

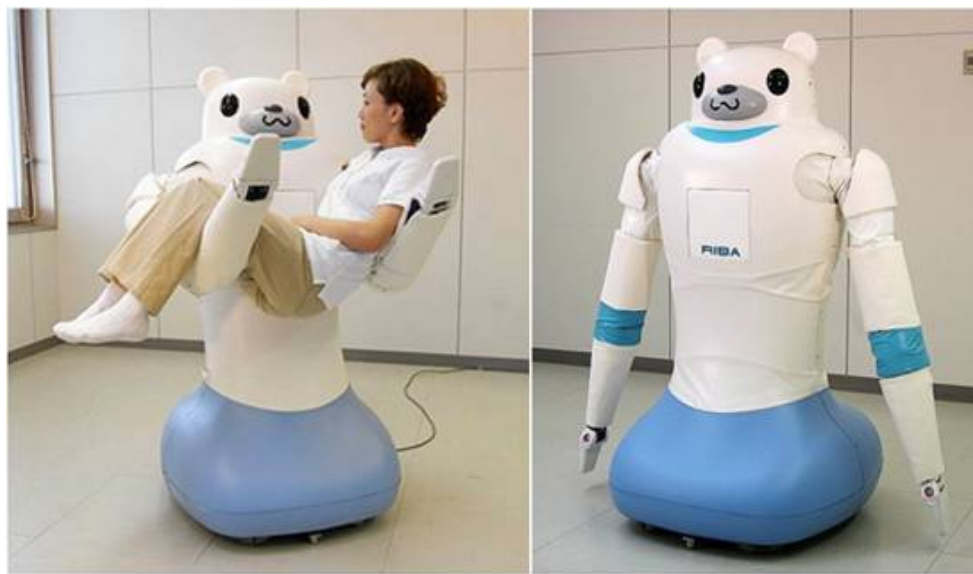


Рис. 5. Робот-помощник «RIBA».

Часть функций операционной сестры сегодня уже может взять на себя робот-манипулятор «Пенелопа» разработки Нью-Йоркского инженера М.Брэди и хирурга М.Трита) (рис. 6). Это устройство способно реагировать на голос хирурга, подавать и принимать необходимый хирургический инструмент во время операции [17]. Особо следует отметить, что в данном случае исключены любые ошибки подачи не того инструмента, даже если робот работает в операционной по 24 часа в сутки без перерыва.

Осенью 2007г. в Ontario Science Center был представлен первый в мире андроид “Aiko”, который может имитировать боль и реагировать на нее [1]. Данная технология по заверениям разработчиков является первым шагом на пути создания "живых" искусственных конечностей, которые наделены физическими ощущениями [18]. С этого момента появилось несколько различных медицинских роботов-симуляторов (имитаторов) человека со схожей идеей реагирования на боль. Они служат интеллектуальными манекенами для тренировок молодых специалистов-врачей, т.к. способны

«живо» реагировать на совершаемые над ним манипуляции. Так, на Международной выставке в Токио в 2007г. состоялась презентация робота-девушки «Simroid» (сокращение от "Simulator Humanoid"), созданного доктором N.Shibui совместно с компанией «Кокото». Робот предназначен для студентов-дантистов. «Simroid» открывает и закрывает рот при помощи аэромышц, которые покрыты силиконовой кожей (рис. 7). Весь рот робота заполнен сенсорами, поэтому если студент-стоматолог допускает ошибку, механическая девушка корчит гримасу, показывая дискомфорт [19].



Рис. 6. Робот помощник хирурга для подачи инструмента «Пенелопа».



Рис. 7. Робот – манекен человека «Simroid».

Норвежская фирма «Laerdal» в Сан-Диего в 2009 г. на специализированной выставке «International Meeting on Simulation in Healthcare» представила свою последнюю модель манекена-тренажера «SimMan 3G». Он может истекать кровью, хрипеть и стонать – то есть воспроизводить разные реальные реакции человека. Во время занятий он может имитировать типичную для несчастных случаев пульсацию сердца, нормальные и патологические движения легких, сокращения кишечника и т.п. [20].

Физиотерапевты тоже в скором времени могут значительно расширить свой арсенал за счет робототерапии. На данный момент известен ряд завершенных разработок роботов, призванных помочь людям при таких заболеваниях, как инсульт, аутизм, болезнь Альцгеймера [2]. Вот некоторые из них. В Калифорнийском университете ведутся исследования, как роботы могут помочь жертвам инсультов восстановить мобильность их конечностей. В этом исследовании уже приняло участие 15 пациентов. Все они страдали от инсульта не менее 10 лет. Пациенты проходили лечение у робота, который помогал человеку сжимать свою руку (рис.8). Робот создает условия для формирования различных положений кисти руки и помогает через разные упражне-



Рис. 8. Роботизированное устройство для реабилитации больных после инсульта.

ния работе соответствующих мышц пальцев. А это позволяет дать сигналы мозгу о правильном действии мышц руки. После нескольких месяцев лечения состояние пациентов улучшалось. Следует отметить, что эта технология может существенно снизить время потери трудоспособности больного после инсульта.

Испытания схожей установки проходят сегодня и в отделении реабилитации Бостонского городского госпиталя. Выздоровливающему от инсульта пациенту предлагается с помощью джойстика перемещать на экране по заданной траектории небольшой курсор. Если человек не может этого сделать, управляемый компьютером джойстик с помощью встроенных электромоторов сам переместит его руку в необходимое положение. Врачи остались довольны работой новинки. В отличие от человека, робот может совершать одни и те же движения тысячи раз в день и при

этом не уставать [21].

Японские же ученые из университета города Tsukuba представили еще в 2006г. более универсальный вид робота, который буквально можно будет одеть на человека (рис. 9). Данный *экзоскелет*, называемый «HAL» (сокращенно от Hybrid Assistive Limb), дает возможность своему пользователю свободно перемещаться в пространстве и поднимать груз, в десять раз превышающий норму, которую тот мог бы поднять без него. По словам одного из разработчиков, профессора Yoshiyuki Sankai [1], принцип работы экзоскелета строится на наблюдении за напряжением мышц человека. Грубо говоря, он просто повторяет движения пользователя. Командные сигналы мозга людей передаются к мускулам через моторные нейроны. Экзоскелет способен обнаружить их и, переработав информацию, помочь владельцу двигаться. Иногда аппарат даже способен сделать движение до того, как мускулы человека начинают сокращаться. Очевидно, что данный робот также можно будет использовать и при реабилитации после инсульта. Стоимость таких экзоскелетов составляет примерно 45 тыс. долларов США [22]. Производители предлагают также использовать HAL медсестрам при обслуживании лежачих больных.

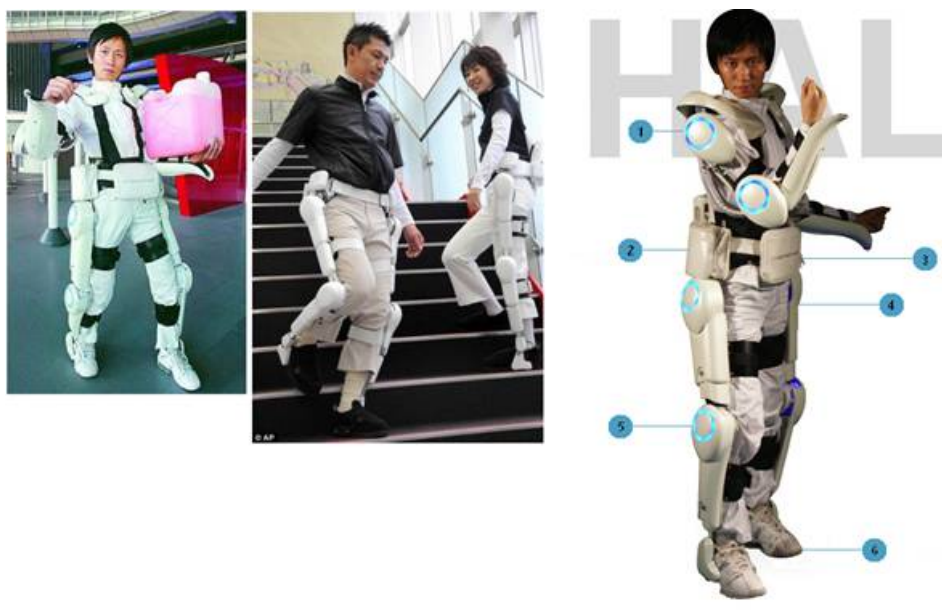


Рис. 9. Роботизированный экзоскелет «HAL».

- 1) Блок питания верхних конечностей (+ датчик угла сгиба).
- 2) Батареи.
- 3) Блок управления, расположенный на спине.
- 4) Датчик био-электрических сигналов.
- 5) Блок питания нижних конечностей (+ датчик угла сгиба).
- 6) Датчик силы реакции опоры со стороны пола.

Более перспективной идеей обладает подобный экзоскелет, который сам, используя технологию «искусственного интеллекта» и роботов-андроидов (по типу известного уже всем робота Asimo), перемещается в пространстве как человек по заданному пути и перемещает внутри себя пациента-инвалида. Это позволит в будущем пациентам не просто избавиться от инвалидных колясок и неудобств их использования при поездках на транспорте, подъемах по лестницам, посещении ванны или туалета, а откроет возможность пеших прогулок по лесу, возможность работы на загородном приусадебном участке и т.д.

Набирает обороты и робототерапия детей больных аутизмом. Проблема отслеживания эмоционального состояния детей и адекватного автоматического реагирования на эти изменения вполне решаема. Это демонстрируют новейшие разработки, призванные помочь больным детям освоить социальные навыки. Пример - робот с искусственной чувствительной кожей «KASPAR» (Kinesics and Synchronization in Personal Assistant Robotics). Его сенсоры позволяют обнаруживать и различать различные виды тактильной связи, и, соответственно, определенным способом взаимодействовать с ребенком. Разработка принадлежит Профессору К. Dautenhahn и его команде из Университета Компьютерных наук (University's School of Computer Science), которые уже несколько лет работают над проектом создания роботов с искусственной кожей с тактильными сенсорами (roboskin).

«Самый лечебный робот» по версии Книги рекордов Гиннеса [23] – робот «Paro» - недавно поступил в широкую продажу в США. Его стоимость – всего \$5000. Разработан он был в Японии, где в настоящий момент уже используется несколько тысяч экземпляров данной модели для лечения болезни Альцгеймера. Эти роботы ручной сборки. Они оснащены световыми, звуковыми, тактильными датчиками, а также датчиками давления, что позволяет им реагировать на воздействия самого разного рода. При общении с людьми робот ведет себя как живой, настоящий тюлененок, двигая головой, лапками и произнося правдоподобные звуки (рис. 10). Прототипом робота была выбрана порода гренландского тюленя. Выбор животного в данном случае не случаен. Кроме обаятельности у такого робота есть и еще одно значительное преимущество перед всевозможными роботами-собаками и роботами-кошками:

при сравнении возможностей электронного питомца и живого существа выигрывает пока явно не робот. Однако проводить такое сравнение в случае с тюленем простому человеку гораздо сложнее. С живым тюлененком мало кто общался, поэтому обычно у пациента нет возможности и нет живого образа для сравнения. Поэтому тюлененок оказывается на высоте. Этот факт помогает избежать излишнего скептицизма и усилить эмоциональный контакт с роботом [2].



Рис. 10. Самый лечебный робот – тюлененок «Paro».

Большой интерес сегодня во всем мире вызывают роботизированные протезы. В данной области медицинской робототехники появляется сегодня, пожалуй, самое большое количество разработок, и прежде всего в США. Это связано как с общим опережающим техническим развитием данной страны, так и с последними военными действиями, которые она ведет. Около 1600 военнослужащих, вернувшихся из Ирака, оказались без руки (из них 24 человека потеряли обе руки). Это подстегнуло министерство обороны США выделить значительные средства на разработку протезов, способных полностью заменить отсутствующую верхнюю конечность [2]. Принципиально по своей электронно-механической конструкции многие такие известные протезы схожи, однако различные производители предлагают разные интерфейсы их управления. Например, Д.Камен, разработчик популярных скутеров «Segway» и вла-

делец исследовательской компании «Deка», представил свою версию роботизированной руки для армии США. В основе принципа работы его изобретения лежит специальная вибрационная панель, которая крепится к ступне. Панель работает наподобие джойстика, только управляется ногой. В зависимости от величины давления ногой на различные участки подошвы рука поднимается или опускается, ведет вправо или влево [24]. Фирма «Deка» уже изготавливает несколько вариантов протезов - для тех, кто лишился руки почти от плеча, для тех, кто имеет ампутированную конечность от предплечья или для тех, кто лишился лишь кисти. Оснащен протез и механизмом обратной связи. Путем вибрации человек может тактильно определить гладкость поверхности касаемого материала. Овладеть новым протезом конечно нелегко, но после получения соответствующих навыков его можно использовать для удержания даже самых маленьких предметов, например карандашей.

Другая существующая версия такого протеза была разработана американскими учеными из Чикагского реабилитационного института. Их идея состоит в том, чтобы хирургическим путем соединить уцелевшие в области плеч нервные окончания с мускулами грудной клетки и вживить туда электроды, фиксирующие электрические сигналы во время сокращений мышц. Чтобы протезы пришли в движение, пациенту достаточно просто об этом подумать. Посылаемые мозгом сигналы иннервируют мышцы, и соответствующие электрические импульсы фиксируются электродами [25]. Есть попытки создать по этой «умной» технологии и ряд роботизированных протезов для ног (рис.11).



Рис. 11. Роботизированный протез нижней конечности.

В большом количестве публикаций упоминаются сегодня загадочные «нанороботы» [2, 15, 26, 27 и др.] Предполагается, что за счет своих миниатюрных размеров они легко могут быть внедрены внутрь организма человека, а то и внутрь отдельных

его клеток или их органелл. Первым упоминанием искусственного механизма, способного циркулировать в крови человека, считается работа [27]. В ней авторы описывают методику создания искусственного красного кровяного тельца. Наибольшую известность в этой области получил ряд работ по использованию нанороботов для точечной доставки лекарств, например, работа [28]. Возможность использования данной методики для доставки лекарств к раковым клеткам представляет огромный практический интерес. Однако ей присущ и весь комплекс очевидных недостатков нанороботов: сложность управления им внутри человека, ограниченные функциональные возможности, огромная вероятность быть атакованным иммунной системой, вероятность застрять где-то внутри сосудов и клеток и т.д.

Интересная разработка микророботов была представлена южнокорейскими учеными из университета Nonam [15]. Микроробот, похожий на краба, с шестью лапами призван прочищать кровеносные сосуды. Встретившись с препятствием в артерии, скажем с атеросклеротической бляшкой, он химическим методом должен растворить это патологическое образование, восстановить просвет в артерии и укрепить её стенки. Недостатки у этого робота те же, что и у других нано- и микро-механизмов.

Увы, но яркие российские разработки в области медицинских роботов сегодня показать читателям журнала практически не представляется возможным. Роботы-сапёры, роботы-космонавты, роботы-тележки и т.п. промышленно-военные роботы, и даже отечественные роботы-андроиды в России встретить еще можно (10.12.08 первый андроидный российский робот AR-600 был представлен президенту России Д. А.Медведеву). Однако в медицинской сфере наблюдается сегодня полный и беспросветный пробел в этой области. Более или менее специализированная российская медицинская «робототехника» реально представлена сегодня, пожалуй, лишь на сайте Центрального научно-исследовательского института робототехники и технической кибернетики (ЦНИИ РТК, г. Санкт-Петербург) двумя разработками – мехатронным перфузионным модулем «Марс» и комплексной системой поддержания жизнедеятельности «Геркулес» [29].

В 1989г. решением Правительства в России возложено создание современных средств протезирования для людей с поражением опорно-двигательного аппарата на

РКК "Энергия". Опираясь на высокий научно-технический потенциал НИИ протезирования Москвы и Санкт-Петербурга, используя новейшие технологии и материалы, при поддержке Минэкономики и Минтруда РФ за это время РКК "Энергия" наладила выпуск широкой номенклатуры современных модулей, узлов и деталей для протезов [30]. Создана целая система новых протезно-ортопедических изделий, основанная на модульном принципе. В развитии протезно-ортопедического направления участвуют Конструкторское бюро, завод Экспериментального машиностроения, Экспериментальный Центр протезирования, а также дочерняя фирма "Ортопедическая индустрия Москва Энергия", созданная в 1991г. Но современных роботизированных протезов найти внутри этой кооперации не удалось.

В теоретическом плане известен сегодня медицинский российский эндовазальный мини-робот (МГТУ им. Н.Э.Баумана) [31]. Он содержит измерительный модуль, на котором размещены средства контроля, включающие в себя видеодатчик и тактильные датчики для контроля за состоянием внутренней полости трубчатого органа, один воздействующий модуль, на котором установлены средства воздействия, и три транспортных модуля, которые представляют собой тонкостенные конструкции, содержащие оболочечные деформируемые и упругие деформируемые элементы и т.д.. К числу инструментальных модулей относится шнековая обрабатывающая головка с переменным диаметром, ангиопластический модуль, выполняющий роль баллона при ангиопластической процедуре, а также иные модули. Состав модулей может компоноваться в зависимости от решаемых задач и назначенной хирургом процедуры. Для перемещения мини-робота используется принцип перистальтики. Однако практическая реализация этого робота авторам статьи не известна.

Попадают также описываемые в СМИ, мягко говоря, сомнительные российские изобретения и медицинских «микророботов». Пример - микроробот «Кремлёвская таблетка» - автономный «электростимулятор кишечника».

И только из попавшихся авторам доступных публикаций информационная страничка на [32] рассказывает, что в 2004г. в Московском Государственном Индустриальном Университете совместно с Российским Научным Центром восстановительной медицины и курортологии был разработан первый реальный российский медицинский робот, предназначенный для демонстрации различных техник мануальной

терапии и массажа. Робот снабжен сменным инструментом для захвата мягких тканей при массаже, захвата конечностей пациента в пассивных движениях, для имитации частей рук врача: подушечки большого пальца, плоскости ребра ладони, роликов и иглолок для имитации рефлексотерапии [33]. Как носитель робот может перемещать вдоль поверхности тела с заданным усилием различные диагностические приборы, насадки для стимуляции. Позиционно-силовая система управления робота обеспечивает взаимодействие робота и пациента с задаваемыми усилиями в диапазоне до 100Н. Режимы обучения и самообучения адаптируют робот к любому пациенту. Безопасность робота обеспечивается специальной системой, которая использует измерение усилия и податливость робота. Пока существует только опытный образец робота. Дальнейшая его судьба, а также будет ли производство таких роботов поставлено на поток – не известны.

Классификация медицинских роботов и перспективы развития

Основываясь на выполненном обзоре, можно сказать, что сегодня, среди всего многообразия медицинских роботов, можно более обоснованно вычленить те отдельные специализированные направления, опираясь на которые возможна общедоступная классификация медицинских роботов по типу решаемых роботами задач:

1. **Робот манипулятор-врач** («хирург», «терапевт» и т.п.) — автоматизированные электронно-механические манипуляторы, способные проводить хирургические операции, диагностическое обследование или терапевтическое лечение под непосредственным контролем и управлением со стороны человека-врача.

2. **Робот манекен** – робот-симулятор анатомического строения, функциональной организации и поведения человека, предназначенный для обучения медработников.

3. **Реабилитационный робот** — робот, предназначенный для занятий с больным в целях ускорения реабилитации пациентов после различных заболеваний.

4. **Роботизированные протезы, включая целые экзоскелеты**, — «интеллектуальные» электронно-механические устройства, исполняющие у пациента роль утраченной или потерявшей работоспособность части тела, органа, конечности.

5. **Роботы помощники** — роботы, запрограммированные самостоятельно вы-

полнять работу низкой и средней квалификации, поддающуюся точной алгоритмизации: отнести документы, подать нужный инструмент хирургу, рассортировать лекарства, взять интервью у больного по определённому шаблону, измерить ему температуру и т. п.

6. Медицинские микро- и нанороботы - роботы малых размеров, способные выполнять различные медицинские задачи внутри организма пациента.

Предложенная классификация, с нашей точки зрения, наиболее дружелюбна по отношению к медицинским работникам, не имеющим специального технического образования. Она позволяет ориентироваться в проблеме и понимать перспективные пути развития современной медицинской робототехники. Весь развитый мир идет сегодня по пути интенсивной роботизации не только медицины, но и всей повседневной жизни. Поэтому, важно понимать существующие тенденции и быть к ним готовыми.

В частности, для нашей страны, в первую очередь, следует ожидать в ближайшем будущем (ближайшие 5 лет) «наплыва» зарубежных роботизированных протезов. Потребителей много, а качество российской техники и ее функциональные возможности оставляют желать лучшего. Крупные учебные и научные медицинские центры, видимо, начнут закупать в ближайшее время и единичные экземпляры роботоманипуляторов и роботов-манекенов. А вот роботы-помощники будут появляться в последнюю очередь, в основном, только в самых успешных клиниках, и то при наличии специального финансирования или в условиях сильного удорожания или невозможности использования (ввиду отсутствия предложения) услуг среднего и младшего медперсонала. Появление же нанороботов в практической медицине – это пока лишь только фантазия и исключительно поисковые разработки на ближайшие 5-10 лет.

А что же российские разработчики медицинской робототехники? Можно ли им найти свою нишу на этом зарождающемся новом рынке? Вопрос, скорее, риторический. Потенциально, например, объединение усилий специалистов РКК «Энергия» и ЦНИИ РТК способно привести к созданию мощного сегмента российских роботизированных протезов. Но найдет ли государство деньги на развитие и поддержку этого направления? Энтузиасты от малых фирм-разработчиков могут рассчитывать на контракты с зарубежными фирмами, выступая в роли их дистрибьютеров и сервисных центров. Но серьезно конкурировать с европейскими, японскими, корейскими или

американскими производителями медицинских роботов мы сегодня уже, скорее всего, не сможем. Наша страна существенно отстает уже и по уровню развития производства, и по уровню обучения и подготовки специалистов. Достаточно сказать, что в стране практически нет уже в целом как такового медицинского приборостроения. Оставшиеся без финансирования, разоренные и разрозненные единичные предприятия-производители медтехники, равно как и горстка малых «инновационных» предприятий, не смогут в перспективе конкурировать с такими гигантами западного медпрома как “Siemens”, “GE” и другими. Пожалуй, только одна возможность остается сегодня для наших российских энтузиастов и малых предприятий – создание более совершенного программного обеспечения под «железо» зарубежных производителей.

Авторы выражают свою признательность проф. Селищеву С.В. за полезные замечания и советы при обсуждении чернового варианта статьи.

Medical robotics: the first steps of medical robots

Kraevsky S.V. Rogatkin D. A.

“MONIKI” named after M.F.Vladimirskiy

ABSTRACT

The world’s onrush of robotics provides new possibilities in many areas including medicine. This brief review deals with new tendencies in medical device engineering – the medical robots. The simple classification of medical robots and predictions of development of them is offered. The most interesting field of application of robots in the Health Care Industry is shown.

Литература

1. Taylor R. H. A perspective on medical robotics // Proc. IEEE, Special issue "Medical Robotics", Ed. By T. Kanade, B. Davis, and C.N.Riviere, Vol.94, No.9, 2006. – p.1652-1664.
2. Wang Y., Butner S.E., and Darzi The developing market for medical robotics // Proc. IEEE, Special issue "Medical Robotics", Ed. By T. Kanade, B. Davis, and C.N.Riviere, Vol.94, No.9, 2006. – p.1763-1770.
3. Саврасов Г.В., Ющенко А.С. Основные направления развития медицинской робототехники // Мехатроника, № 4, 2000. – с. 34-39.
4. Саврасов Г. В. Медицинская робототехника: учеб. Пособие. Ч.1. - М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003. - 35с.
5. Саврасов Г.В. Тенденции развития медицинской робототехники // Биомедицинская радиоэлектроника, 2007, № 10. - с.42-46.
6. Роботы, робототехника, микроконтроллеры // myrobot.ru: интернет портал. 2005-2010. URL: <http://www.myrobot.ru/> (дата обращения 14.01.2010).
7. Роботы, робототехника // roboting.ru: интернет портал. 2008-2010. URL <http://roboting.ru/> (дата обращения 14.01.2010).
8. Новиков К. Технологический надрыв // журнал «Деньги», 2005, №45(550), с. 38.
9. Tucker I. B. Survey of Economics. Sixth Edition. – Florence: Cengage Learning, 2008. – p. 249.
10. Okie S. Robots Make the Rounds to Ease Hospitals' Costs // The Washington Post, April 3, 2002, p. A3.
11. Словарь по естественным наукам. Глоссарий.ру // Служба тематических толковых словарей. 2000-2009. URL: http://www.glossary.ru/cgi-bin/gl_find.cgi?ph=%D0%EE%E1%EE%F2&action.x=0&action.y=0#thetop (дата обращения: 14.01.2010).
12. Ефремова Т. Ф. Новый толково-словообразовательный словарь русского языка. – Дрофа, Русский язык, 2000. - 1233с.
13. Ожегов С.И., Шведова Н.Ю. Толковый словарь русского языка. // РАН: Институт русского языка им. В.В. Виноградова. – 4-е изд., доп. – М.: ООО «ИТИ ТЕХНОЛОГИИ», 2003. – 944с.
14. Большая советская энциклопедия. Т.22 // 3-е изд. в 30 томах. – М.: БСЭ, 1969-1978. - 628 с.
15. Броня и роботы // www.sa100.ru 2006-2010. URL:

http://sa100.ru/Robot/Articles/Drovosek/Drowosek_2.html (дата обращения: 14.01.2010).

16. Боты для он-лайн игр // интернет проект www.botovod.ru. 2008-2009. URL: <http://www.botovod.ru/> (дата обращения: 14.01.2010).

17. Словари и энциклопедии на Академике // dic.academic.ru. 2008-2010. URL: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/6239> (дата обращения: 14.01.2010).

18. Тарасова Л. “Да Винчи” в тандеме с хирургом. // Медицинский вестник. №8. 2008. с. 435.

19. Stanford Hospital and Clinics – Stanford Medicine // www.stanfordhospital.org 2010. URL: <http://stanfordhospital.org/clinicsmedServices/COE/cyberknife/> (дата обращения: 14.01.2010).

20. MEMBRANA: Люди. Идеи. Технологии. // www.membrana.ru интернет портал. 2001-2010. URL: <http://www.membrana.ru/> (дата обращения: 14.01.2010).

21. DailyTechinfo – Новости науки и технологий, новинки техники. // интернет проект [dailytechinfo](http://www.dailytechinfo.org). 2009. URL: <http://www.dailytechinfo.org/medic/520-robot-medsestra-riba-novinka-v-yaponskix-bolnicax.html> (дата обращения: 14.01.2010).

22. Robotic system and technologies, Inc. // www.roboticsystech.com 2009. URL: <http://www.roboticsystech.com/> (дата обращения: 14.01.2010).

23. Project aiko // Aiko innovation Inc. 2007-2010. URL: <http://www.projectaiko.com/> (дата обращения: 14.01.2010).

24. Simroid: Dentistry in the uncanny valley // Pink Tentacle. 29.11.2007. URL: <http://pinktentacle.com/2007/11/simroid-dentistry-in-the-uncanny-valley-video/> (дата обращения: 14.01.2010).

25. SimMan 3G Patient Simulator Gets a Serious Upgrade // medGadget internet journal of emerging medical technologies. 07.05.2009. URL: http://www.medgadget.com/archives/2009/05/simman_3g_patient_simulator_gets_a_serious_upgrade.html (дата обращения: 14.01.2010).

26. Медицинские роботы // Интернет портал JOHO Роботы от А до Я. 2007-2010 URL: <http://www.joho.ru/medicina.htm> (дата обращения: 14.01.2010).

27. HAL-5 Exoskeleton To Carry Mountain Climber // Technovelgy LLC 2006-2010. URL: <http://www.technovelgy.com/ct/Science-Fiction-News.asp?NewsNum=587> (дата обращения: 14.01.2010).

28. Робот Раго // Новости технологий techvesti.ru. 2008-2010. URL: <http://techvesti.ru/node/1220> (дата обращения: 14.01.2010).

29. Новый роботизированный протез способен заменить настоящую руку // Новости

высоких технологий CyberSecurity. 28.05.2009. URL: <http://www.cybersecurity.ru/armament/71206.html> (дата обращения: 14.01.2010).

30. Парамонов В. Созданы роботизированные протезы, управляемые "силой мысли". // Портал «Компьютерра–Онлайн». 27.06.2005. URL: <http://science.compulenta.ru/189054/> (дата обращения: 14.01.2010).

31. Robert A. Freitas Jr. Nanomedicine Book Site. 2003-2010. URL: <http://www.nanomedicine.com/> (дата обращения: 14.01.2010).

32. Robert A. Freitas Jr. Exploratory Design in Medical Nanotechnology: A Mechanical Artificial Red Cell, Artificial Cells, Blood Substitutes, and Immobil. // Biotech., vol.26., 1998. - p. 411-430.

33. Robert A. Freitas Jr. Phamacytes: An Ideal Vehicle for Targeted Drug Delivery. // J. Nanosci. Nanotechnol. №6(September/October), 2006. - p. 2769-2775.

34. В.А. Лопота, А.С. Кондратьев, В.В. Кириченко, В.Б. Митренин, К.Ю. Сенчик, А.Д. Юхнев. Разработка нового поколения медицинских аппаратных комплексов на основе перфузионных насосов "МАРС" // Современные наукоемкие технологии. №4. 2004. с. 39-40.

35. Официальный сайт РКК "Энергия" им. С.П. Королева. 2000-2010. URL: <http://www.energia.ru/> (дата обращения: 14.01.2010).

36. Саврасов Г.В.; Покровский А.В.; Гаврюшин С.С.; Нарайкин О.С.; Ющенко А.С.; Поспелов В.И. Эндовазальный мини-робот. // Патент РФ RU2218191 с приоритетом от 11.04.2002, МПК⁷ А61М29/00, Опубл. 10.12.2003, Бюлл. № 16/2003.

37. Робот для массажа. URL: <http://www.medicalrobot.narod.ru/> (дата обращения: 14.01.2010).

38. Рачков М. Ю. Измерительное захватное устройство медицинского робота. // Свидетельство на полезную модель РФ №75608, Заявка 2008112404/22 от 31.03.2008, МПК В25J15/02 (2006/01), Опубл. 20.08.2008, Бюлл. №23/2008.