

Робот принимает пациентов

Можно ли в действительности применить роботов в помощь человеку для повышения эффективности физиотерапевтических процедур?

Андраш Тот, Иван Ермолаев

Промышленные роботы могут выполнять самые разнообразные движения в трехмерной системе координат. Они точны, обучаемы, обладают значительной мощностью и могут выполнять множество рутинных, повторяющихся операций, которые приходится производить физиотерапевтам. Идея использовать роботов в помощь физиотерапевтам при лечении пациентов с нарушениями двигательных функций конечностей очень привлекательна, но не слишком ли мы все упрощаем? Именно этот вопрос был поставлен во главу исследовательского проекта, в котором применялись промышленные роботы производства АББ. С возникновением массового производства высоконадежных роботов, перспективы применения роботов в физиотерапевтических процедурах при реабилитации неврологических больных стали реальностью.

Изобретательство и медицина

Физическая реабилитация пациентов, страдающих спастическим гемипарезом (односторонним параличом тела) – задача из сложнейших. Паралич может быть вызван рядом причин, включая кровоизлияние или инфаркт головного мозга (инсульт), травмы, опухоли, рассеянный склероз и врожденные пороки развития. Наиболее распространенной причиной является инсульт, который может привести к необратимым изменениям. Инсульт – это одно из самых распространенных неврологических заболеваний среди жителей Европы. У 80 процентов выживших больных сохраняются те или иные серьезные неврологические нарушения, а 31% нуждается в помощи в быту. В Европейском союзе (ЕС) заболеваемость в среднем составляет от 150 до 400 случаев на 100 тыс. человек, однако наблюдается значительный разброс этого показателя по регионам. В Нидерландах заболеваемость на 100 тыс. человек составляет 526 случаев, в Швеции – 941 случай. В Средней Азии и бывших республиках СССР частота заболевания составляет 600 случаев, тогда как в США – 214. Эти пациенты нуждаются в усовершенствовании методов лечения, причем это касается не только терапии в остром периоде, но и на этапе реабилитации.

У пациентов, переживших инсульт, наблюдается положительная реакция на пассивные перемещения пострадавших конечностей: происходит переобучение головного мозга, за счет чего можно достичь некоторого восстановления функций. В случае с верхними конечностями, например, пассивное движение предполагает следующие действия: физиотерапевт берет руку пациента одновременно за локтевой и запястные суставы и выполняет сгибание и разгибание руки в течение 40–45 минут. Чтобы достичь эффекта от реабилитации, такие пассивные упражнения необходимо повторять два раза в день в течение по меньшей мере месяца, после чего несколько месяцев подряд следует выполнять активные упражнения в сочетании со значительным физическим вкладом со стороны терапевта. Заботу о пациенте в таком объеме зачастую обеспечить невозможно, но даже и в том случае, когда пациент может воспользоваться услугами квалифицированных физиотерапевтов, эффективность лечения можно значительно повысить за счет привлечения роботов.

У пациентов, переживших инсульт, наблюдается положительная реакция на пассивные перемещения пострадавших конечностей: происходит переобучение головного мозга, за счет чего можно достичь некоторого восстановления функций.

организации из Венгрии, Великобритании, Германии и Болгарии. Началась работа над созданием коммерчески рентабельной робототехнической системы с двумя манипуляторами. Стояла задача обеспечить терапию с индивидуализированными трехмерными схемами движения верхних конечностей у пациентов, страдающих спастическим гемипарезом и другими нарушениями функций конечностей. Первоначально проект получал дополнительное финансирование от Европейской комиссии и ее членов, а дальнейшие работы финансировались Советом по медицинским исследованиям Венгрии.

Терапевтическая система REHAROB

Коммерческий успех проекта зависит от применения доступных серийно выпускаемых подсистем. Поэтому система REHAROB была построена на основе двух взаимодействующих промышленных роботов производства АББ, которые предусматривают программирование обучением за счет применения датчиков усилия и крутящего момента. Эти роботы представляют собой перепрограммируемые манипуляторы, способные перемещать детали или инструменты по заданному пути с определенной скоростью и в определенном пространственном положении. При использовании в роли терапевтических роботов их возможности могут быть использованы для перемещения руки пациента, однако здесь возникает дополнительное требование: забота о безопасности пациента и оператора. В связи с этим компоненты терапевтической системы REHAROB были выбраны из ряда сертифицированных, высоконадежных серийных устройств, а сама система была снабжена множеством дублированных средств обеспечения безопасности. Помимо этого, разработчики системы REHAROB снизили максимальную скорость перемещения манипулятора с 3 м/с до 0,25 м/с.

Прототип системы REHAROB показан на рис. 1, а снабженные измерительными приборами ортопедические держатели (изготавливаемые по индивидуальной мерке захваты), удерживающие плечо и запястье пациента в ходе процедуры, показаны на рис. 2а. Держатели снабжены стандартным шестикоординатным датчиком усилия и крутящего момента, а также механизмом аварийной разблокировки. Этот механизм может быть запущен как по аварийному сигналу от пациента или физиотерапевта, так и самой системой. Реакция машины заключается в немедленном отсоединении конечности пациента от манипуляторов робота, при этом конечность остается в держателях (см. рис. 2б).

Процедура с применением робота осуществляется в три основных этапа: физиотерапевт программирует роботы путем демонстрации ряда базовых упражнений, при этом пациент уже находится

1 Терапевтическая система REHAROB

- а** Станина
- б** Промышленный робот IRB 140
- в** Промышленный робот IRB 1400H
- г** Измерительный держатель плеча
- д** Измерительный держатель предплечья
- е** Кресло
- ж** Пульт управления
- з** Устройство разблокировки (рукоятка с кнопкой безопасности)



Первые шаги

Реабилитационная робототехника ведет свое начало с 1980-х годов. Однако в связи с субъ-ективно большим числом несчастных случаев, связанных с их применением, а также грубым характером движений промышленные роботы в этот период были признаны неподходящими для применения в реабилитации больных. И только в 1999 году у исследователей Будапештского университета технологии и экономики (Венгрия) возникла идея об использовании стандартных полномасштабных промышленных роботов в лечебно-оздоровительных процедурах. Проект REHAROB – первый в мире проект, подразумевающий использование стандартных серийно изготавливаемых промышленных роботов для проведения физиотерапевтических процедур у пациентов со спастическим гемипарезом, явившимся следствием инсульта. Был организован коммерческий консорциум, в который вошли

в кресле. Затем производится корректировка отдельных упражнений в зависимости от потребностей конкретного пациента, и эти упражнения объединяются в сложную индивидуальную программу терапии. Наконец, роботы воспроизводят записанную программу, при этом физиотерапевт может изменить порядок, скорость выполнения и число повторений каждого движения (рис. 3). Поскольку пациент присутствует уже на стадии программирования, каждый режим терапии идеально адаптируется к особенностям пациента, и в дальнейшем терапевтическая система REHAROB может выполнять процедуры без непрерывного личного контроля медицинского персонала.

У всех испытуемых наблюдалось значительное улучшение состояния, определяемое по ряду признаков нарушений и расстройств. Пациенты находят упражнения с роботом не менее эффективными и успокаивающими, чем традиционные ручные пассивные упражнения.

Роботы характеризуются высокой гибкостью, однако вследствие того, что они закреплены на станине терапевтической системы, а кроме того, работают в согласованном режиме, существуют определенные ограничения по весу и росту пациента. Вес пациента должен составлять не более 150 кг, а рост – находиться в диапазоне от 160 до 190 см. Ограничение по росту обусловлено ограничением области движения манипуляторов робота, а не соображениями безопасности: если рост пациента слишком мал или слишком велик, манипуляторы робота не смогут обеспечить диапазон перемещений, необходимый для проведения терапии. Эти сложности будут обнаружены сразу на стадии программирования – в ходе обучения терапевт получит сигнал «сустав вышел за пределы доступной зоны».

Клинические испытания

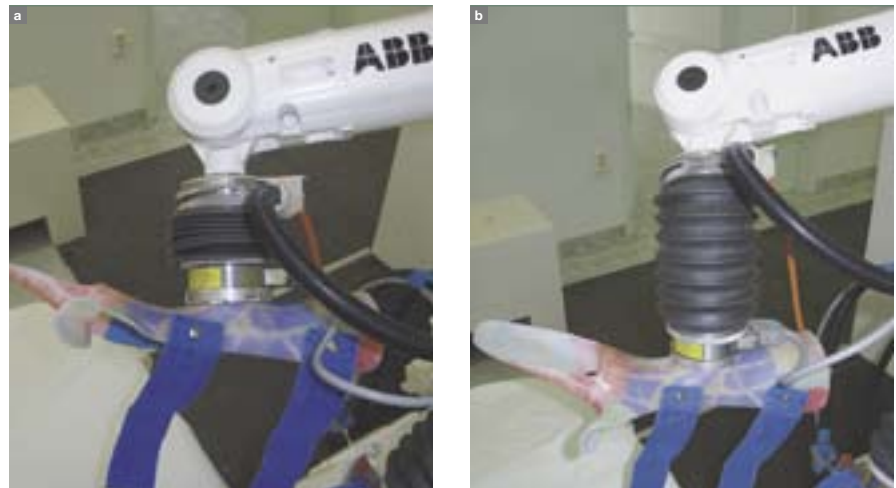
Клинические испытания терапевтической системы REHAROB были проведены в Национальном институте медицинской реабилитации в г. Будапешт (Венгрия) в соответствии с Хельсинкской декларацией [1], а также правилами, установленными местным и государственным комитетами по научно-исследовательской этике. Первые испытания, проведенные в течение четырех месяцев, показали, что робототехническая система физиотерапии работает надежно и безопасно,

пациенты не боятся робота, а физиотерапевты не испытывают сложностей при обучении работе с новой системой. Двенадцать испытуемых, страдающих нарушениями различной степени, прошли в общей сложности 240 сеансов физиотерапии с применением робота (каждый испытуемый – по 20 сеансов продолжительностью 30 минут). У всех испытуемых наблюдалось значительное улучшение состояния, определяемое по ряду признаков нарушений и расстройств¹⁾. Пациенты находят упражнения с роботом не менее эффективными и успокаивающими, чем традиционные ручные пассивные упражнения.

После завершения первых клинических испытаний в рамках проекта FIZIOROBOT были внесены

изменения в работу регулятора усилия системы, графический интерфейс, измерительные держатели и устройство разблокировки пациента (рукоятка с кнопкой безопасности, срабатывающая при снятии усилия пациента). Для определения эффективности новой системы было проведено клиническое исследование в контролируемых условиях с соблюдением тех же процедур согласования этики, что и в первом исследовании. В новом исследовании 30 пациентов, страдающих гемипарезом, были случайным образом разбиты на две группы по 15 человек – группу, проходящую роботизированную терапию, и контрольную. Пациенты каждой группы проходили ежедневно 30 минут «Бобат-терапии»²⁾ в течение 20 рабочих дней подряд. Участники «роботизированной»

2 Измерительный держатель для терапевтической системы REHAROB.



3 Интерфейс оператора – пульт управления системы REHAROB.



Изобретательство и медицина

группы получали дополнительно 30 минут терапии с применением роботов на протяжении тех же 20 дней. Эти пациенты в общей сложности получили 150 часов роботизированной терапии, в ходе которых не произошло ни одного неблагоприятного события. Для оценки эффективности терапии проводилось определение ряда параметров. Наблюдалось значительное улучшение показателя Эшворта (Ashworth) ³⁾ приводящих мышц плеча в обеих группах, но более заметное улучшение наблюдалось в группе, проходившей терапию с применением роботов. Для локтевых мышц-сгибателей этот показатель в контрольной группе не изменился и, хотя в «роботизированной» группе наблюдалось небольшое улучшение, оно не было статистически значимым. Однако в целом результаты исследования свидетельствуют о том, что по большинству контролируемых показателей улучшения, замеченные в группе, проходившей терапию на робототехнической системе, больше (т.е. средние величины выше), чем в контрольной.

4 Проведение сеанса роботизированной физиотерапии в Национальном институте медицинской реабилитации (Будапешт, Венгрия).



Перспективы развития системы REHAROB

В ближайшее время планируется модернизация системы с установкой нового контроллера производства АББ. Единый блок управления IRC5 с функцией MultiMove заменит собой два контроллера S4C Plus. Следующая по плану задача – получение медицинского сертификата в венгерском надзорном органе ORKI, который даст возможность использовать систему для регулярной работы с пациентами. По результатам второго контролируемого клинического испытания, запланированного на 2007 год, по словам д-ра Густава Арца, координатора проекта REHAROB, система будет доработана и подготовлена к массовому производству. Перед выходом на массовый рынок с новым изделием будет проведено подробное маркетинговое исследование. Д-р Арц добавляет: «В зачаточном состоянии бизнес-планы внедрения системы появились, но высока вероятность того, что для развертывания производства и выхода на массовый рынок с новой системой потребуются привлечь сторонних инвесторов».

Роботы помогают контролировать достигнутые в ходе лечения результаты, благодаря возможности сохранить подробные данные о режимах упражнений и реакции пациента.

Терапевтическая система REHAROB открывает потенциальные возможности биомеханического лечения верхних конечностей по назначению физиотерапевта с учетом достижений интеллектуальной робототехнической физиотерапии. Робот предназначен не для замены физиотерапевта, а скорее для расширения его возможностей. Кроме того, роботы помогают контролировать достигнутые в ходе лечения результаты, благодаря возможности сохранить подробные данные о режимах упражнений и реакции пациента. Это помогает усовершенствовать программы лечения

и может в дальнейшем помочь в разработке стратегий реабилитации при других нейромоторных нарушениях. Разработка новых методов лечения – это и есть основная цель дальнейшей работы после получения медицинских сертификатов и внедрения терапевтической системы REHAROB в регулярную клиническую практику.

Андраш Тот

Будапештский университет технологии и экономики

Будапешт, Венгрия
toth@manuf.bme.hu

Иван Ермолаев

Подразделение ABB Robotics
Москва, Россия
ivan_ermolaev@ru.abb.com

Андраш Тот

Андраш Тот – старший научный сотрудник Факультета машиностроения Будапештского университета технологии и экономики (Венгрия). Его основные интересы лежат в области изучения нестандартных особенностей роботов и применения их в биомедицинских целях, для обезвреживания взрывных устройств и проведения спасательных работ. Дополнительную информацию вы можете получить по адресам: <http://reharob.manuf.bme> <http://www.rescuer-ist.net>

Благодарности

Работа частично финансировалась Европейским Союзом в рамках грантов IST-1999-13109 и ETT-073/2003 FIZIOROBOT.

¹⁾ Среди таких показателей – результаты измерения амплитуды движения, показатель FIM (меры функциональной независимости), показатель удобства ухода за собой, и индекс Барте-ла, характеризующий выполнение повседневных действий.

²⁾ Бобат-терапия – широко распространенный междисциплинарный подход к лечению пациентов с нарушениями моторной функции, связанными с повреждением головного или спинного мозга [2].

³⁾ Шестибалльная шкала определения мышечного тонуса.

Литература

[1] <http://www.wma.net/e/policy/b3.htm>

[2] Bobath B. Adult Hemiplegia: Evaluation and Treatment. 3rd edition. Butterworth-Heinemann. Oxford. (Гемиплегия у взрослых: обследование и лечение. Издание 3-е.)