



АССИСТИРУЮЩИЕ РОБОТЫ В РЕАБИЛИТАЦИИ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

УДК 616-089.227:577.2

Щербак С.Г., главный врач, д.м.н., профессор

Терешин А.Е., заместитель главного врача по реабилитации, к.м.н, эл.адрес: aet-spb@rambler.ru, ГОЛОТА А.С., начальник научно-методического отдела организации восстановительного лечения и реабилитации, к.м.н.

Крассий А.Б., специалист научно-методического отдела организации восстановительного лечения и реабилитации, к.м.н.

Санкт-Петербургское государственное учреждение здравоохранения «Городская больница № 40 Курортного административного района», Санкт-Петербург, г. Сестрорецк, Россия

ВВЕДЕНИЕ

Использование ассистирующих роботов (локомоторов) в реабилитации больных, а именно в восстановлении их способности к передвижению, сравнительно молодое (ему около 15 лет), но быстро развивающееся направление физиотерапии. Динамика публикаций по этой теме с 1996 г., знаменательного основанием фирмы Носота – производителя известного ассистирующего робота Lokomat, когда авторы не выявили ни одной статьи, по 2007 г. имеет экспоненциальный характер. В том, что так оно и есть, каждый может убедиться, проведя поиск в “Google Scholar”, например, по пересечению ключевых слов “robot AND stroke”. На 14 марта 2010 г. только за один 2009 г. этот браузер выдает более 2200 научных статей по данному запросу.

По состоянию на июнь 2009 г. в мире насчитывается около 240 роботов Lokomat [14].

Ряд медицинских учреждений, помимо терапевтического применения аппарата, проводит также научные исследования, связанные с использованием робота. По состоянию на 6 марта 2010 г. на официальном сайте ClinicalTrials.gov Национальных институтов здоровья США зарегистрировано 11 клинических испытаний с применением Lokomat в активной фазе. В тематический круг исследований входят следующие нозологические формы: инсульт, неполный перерыв спинного мозга, тяжелое травматическое повреждение головного мозга, рассеянный склероз, болезнь Паркинсона, детский церебральный паралич, а также изучение взаимодействия аппарата и пациента [9,27].

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОСЛЕДНИХ КЛИНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

Как это всегда случается с новым методом, после первоначального «триумфального шествия» наступают прагматичные будни. Так, группа исследователей отделения ранней реабилитации клиник «Бавария», г. Крейша, Саксония, Германия, провела систематический поиск в Кохрейновской базе данных, в ходе которого проанализированы истории болезни 222 пациентов с травмой спинного мозга, участвовавших в рандомизированных контролируемых испытаниях по оценке эффективности различных методов восстановления способности больных к передвижению в сравнении с больными, вообще не получавшими никакого специального лечения. Авторы метаанализа пришли к выводу, что ни один из существующих физиотерапевтических методов, включая мануальную или робот-ассистированную поддержку тренировки на тредмиле в сочетании или без функциональной электрической стимуляции, не способны достоверно улучшить двигательную функцию больных в сравнении с контрольной группой [15].

В другом испытании в совместной рандомизированной оценке сравнительной эффективности включения в реабилитацию больных после инсульта ассистирующего робота Lokomat принимали участие отделение биомеханической техники Католического университета и Центр прикладной биомеханики и изучения реабилитации Национального реабилитационного госпиталя, оба учреждения в г. Вашингтоне, федеральный округ Колумбия, США. Общее число участников 63, из которых 34 прошли реабилитацию только с помощью Lokomat'a, а 29 только обычными методами. Лечебные занятия проводились 3 раза в неделю по полтора часа, курс 8–10 недель. В результате установлено (к удивлению авторов!), что использование робота в качестве монотерапии дает даже худшие результаты, чем традиционный курс лечения [16].

Еще в одном рандомизированном контролируемом испытании, проведенном в отделе физиотерапии Иллинойского университета, Чикаго, США, с участием 48 больных с постинсультным гемипарезом, также отмечается, что изолированное применение ассистирующего робота Lokomat в реабилитации перенесших инсульт дает худшие результаты по сравнению с обычными тренировками, в которых поддерживают и водят больных медицинские работники [7].

Сходные результаты клинических испытаний эффективности использования робота Lokomat получены также в отношении рассеянного склероза, в физиотерапии которого также применяется данный робот. Так, сотрудники отделения клинических нейродисциплин Броунского университета и Медицинского центра Администрации по делам ветеранов, г. Провиденс, штат Род-Айленд, США, провели сравнительный анализ эффективности тренировок на тредмиле больных с рассеянным склерозом с помощью физиотерапевта и ассистирующего робота. В результате установлено, что, хотя обе опции приводят к значительному улучшению функционального состояния больных, достоверных различий между двумя подходами не найдено [13].

Еще один коллектив ученых, на этот раз отделения детской неврологии и медицины развития детской больницы Мюнхенского университета, Германия, провел исследование с целью уточнить, какие клинические показатели определяют эффективность лечебного применения ассистирующего робота Lokomat у детей с церебральным параличом. В исследовании участвовало 20 детей с двухсторонним спастическим параличом, средний возраст 11 лет. Больные прошли 12 сеансов ассистированного тредмила в течение 3 недель. Установлено, что прогноз эффективности интервенции обратно пропорционален степени тяжести исходных функцио-

нальных нарушений, что, в общем-то, очевидно a priori. Никаких других зацепок ученым выявить не удалось. Таким образом, по данным этого исследования, Lokomat не имеет особых преимуществ перед традиционными методами физиотерапии детского церебрального паралича [21].

Иные результаты получены научной группой отделения физической медицины и реабилитации университетского госпиталя Хадасса, Иерусалим, Израиль, изучавшей эффективность реабилитации больных после острого инсульта с дополнительным применением ассистирующего робота Lokomat (37 больных) в сравнении с обычными методами (30 больных). Исследование было рандомизированным и проспективным по дизайну. Курс лечения: 6 недель 3 раза в неделю по 30 минут. Оказалось, что в когорте с роботом больные не только достоверно чаще достигали способности к независимому передвижению, но и положительная динамика их неврологического статуса была более быстрой [29].

Чем объяснить очевидную противоречивость результатов клинических испытаний? Частично ответ на этот вопрос дают сами авторы упомянутых выше работ. Например, участники кохрейновского метаанализа из клиники «Бавария» предупреждают о необходимости весьма осторожной оценки полученных ими выводов в связи с тем, что, прежде всего, еще не установлено, что тредмил является оптимальным методом восстановления способности к передвижению у больных с травмой спинного мозга, а также, в известной мере, гетерогенным составом больных, участвовавших в испытаниях.

Авторы Вашингтонской группы объясняют полученные результаты не вполне физиологичными особенностями робота: в частности, Lokomat, во-первых, фиксируя тело в области тазобедренных суставов, нарушает нормальное распределение весовой нагрузки на нижние конечности, во-вторых, исключает физиологический паттерн взаимодействия верхних и нижних конечностей при ходьбе, т.к. пациент должен держаться за поручни робота обеими руками.

Чикагская группа объясняет свои выводы тем, что, во-первых, применение робота предопределяет большую пассивность пациента, что отрицательно сказывается на оксигенации паретической мускулатуры и, в конечном счете, на функциональной репарации. Во-вторых, та же пассивность больного снижает активизирующее влияние тренировки на супраспинальные структуры нервной системы. В-третьих, как и Вашингтонская группа, недостаток робота авторы видят в скованности пациента во фронтальной плоскости. Это приводит, с одной стороны, к сильному ограничению естественных при ходьбе движений таза и корпуса, с другой стороны, к искажению физиологичных траекторий движения тазобедренного и коленного суставов.

Обращает на себя внимание малое, двузначное (а иногда и однозначное!) количество участников клинических испытаний, что не может не снижать достоверность полученных результатов. Комментируя это обстоятельство, все авторы указывают на отсутствие адекватного финансирования. Производители роботов и страховые компании, прежде всего, заинтересованы в получении прибыли, а правительственное финансирование очень ограничено и труднодоступно [22].

ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ АССИСТИРУЮЩИХ РОБОТОВ

В работе сотрудников Отдела биомедицинской техники американского Католического университета, г. Вашингтон, Федеральный округ Колумбия, США, анализируются плюсы и минусы применения ассистирующих роботов.

Когда речь идет о роботах для верхней конечности, ясно, что, хотя аппаратная реабилитация в принципе

способна улучшить процесс восстановления функций за счет более тонкого использования обратной связи, все-таки многое можно сделать и без такой сложной аппаратуры, как робототехника.

Другое дело – нарушение функций нижних конечностей. В этом случае реабилитация, очевидно, осложняется тем, что нижние конечности, кроме движения, выполняют еще и опорную функцию, а также тем, что больному одновременно необходимо удерживать равновесие. Ассистирующий робот в данном случае, обеспечивая необходимую дозировку весовой нагрузки и страховку от падения, позволяет проводить более целенаправленные, более ранние, длительные и напряженные тренировки. А как установлено, именно более ранняя и более интенсивная интервенция являются решающими факторами результативности использования ассистирующих роботов.

Обычно оценку эффективности применения реабилитационных роботов ограничивают достижением того или иного неврологического прогресса. В то же время следует иметь в виду, что раннее применение робота в процессе реабилитации способствует профилактике ряда серьезных нарушений за пределами нервной системы, таких как тромбоз глубоких вен нижних конечностей, пневмония, мышечная атрофия, остеопороз, кардиоваскулярные расстройства, связанные с гипокинезией и горизонтальным положением тела больного. Также не следует преуменьшать роль положительного психологического воздействия на больного, оказываемого ранней вертикализацией.

К недостаткам ассистирующих роботов следует отнести их высокую стоимость, необходимость систематического инженерного сопровождения и, самое главное, отсутствие человеческого сопереживания, вносимого проводящим процедуру медицинским работником. Однако уже на подходе более совершенные роботы, обладающие новыми возможностями обратной связи, использующие концепцию виртуальной реальности, позволяющие количественно отражать такие параметры, как слабость и спастичность и пр. [4].

Обсуждение продолжается в статье, вышедшей из Лаборатории характеристики движения отдела неврологии неврологического института Колумбийского университета, г. Нью-Йорк, штат Нью-Йорк, США, авторы анализируют ряд исследований об эффективности ассистирующих роботов. В частности, в вышеупомянутых статьях установлена своеобразная диссоциация между заметным улучшением конкретных нейромышечных показателей в результате робототерапии и отсутствием существенного функционального прогресса у больных, например, в осуществлении самообслуживания. Авторы данной статьи объясняют это тем, что существующая физиотерапевтическая парадигма слишком спешит с функциональной компенсацией, что может мешать продолжающемуся восстановлению нервно-мышечной системы.

В связи с важностью последнего замечания поясним его подробнее. Речь идет, с одной стороны, о квантификации степени неврологического дефицита и дальнейшем наблюдении за динамикой его уменьшения, с другой стороны, о квантификации выполнения бытовых функций и наблюдения за динамикой их улучшения. Что имеется в виду? Например, с помощью упоминаемого авторами статьи теста Фугл-Мейер (количественный тест, определяющий степень неврологического дефицита у постинсультных больных, предложен шведскими исследователями Fugl-Meyer A.R. et al. в 1975 г.) у одного больного после проведенного курса реабилитации может отмечаться существенная положительная динамика неврологического статуса, связанная с увеличением объема, силы, точности движения конечностей и улуч-

шения поддержания равновесия. В то же время данный больной может уступать во времени выполнения, скажем, 10-метрового теста другому пациенту, демонстрирующему более скромную положительную динамику при тестировании по Фугл-Мейер, но зато прошедшему интенсивное «натаскивание» на 10-метровом тесте. В результате этот последний «чемпион» оказывается неспособным повернуться на 180° и после этого пройти те же 10 метров в обратном направлении, что, хотя и медленно, но, безусловно, может выполнить «отстающий» [30, 26].

Очевидное преимущество робототерапии состоит в том, что она позволяет безопасно проводить тренировки на субмаксимальном уровне, как по объему, так и по интенсивности, а именно объем и интенсивность нагрузки являются теми критическими параметрами, которые влияют на динамику реконвалесценции.

Еще одним преимуществом ассистирующих роботов является их способность точно контролировать правильность траектории движения, а также точно измерять параметры движения. Авторы предвидят, что в дальнейшем будут составлены своего рода «партитуры» тех или иных движений, и роботы будут «запоминать исполнение» каждого больного и доводить это «исполнение» до кондиции образца [12].

Ученые отделения биомеханической техники Католического университета, г. Вашингтон, федеральный округ Колумбия, США, исследовали кинематику упражнений на тредмиле *per se* в сравнении с упражнениями с помощью робота Lokomat. В эксперименте участвовали 6 здоровых субъектов. В результате установлено, что ассистирующий робот, существенно сковывая как движения нижних конечностей, так и малого таза, ограничивает вариативность двигательных паттернов. Широко варьирующее двигательное цикла в настоящее время рассматривается как важный стимулятор пластического потенциала нервной системы, ответственного за восстановление нарушенной функции, путем запуска резервных функциональных шунтов [11].

Сковывающее действие ассистирующего робота приводит также к нарушению координации между взаимодействием тазобедренного и коленного суставов. Об этом свидетельствует работа группы специалистов отдела физиотерапии факультета объединенных медицинских дисциплин университета Сев. Каролины, Чэпл Хилл, штат Сев. Каролина, США, исследовавших координацию движений в тазобедренном и коленном суставах у постинсультных больных с гемипарезом при тренировках хождения с ручной поддержкой и Lokomat-ассистированной. Оказалось, что улучшение координации кинематики суставов дает только ручная поддержка. Отсутствие улучшения кинематики при поддержке роботом авторы объясняют механически фиксированным характером этой поддержки [2].

Как уже отмечалось выше [16], одним из недостатков Lokomat'a является фиксация верхних конечностей, что нарушает координацию движения рук и ног.

Необходимость держаться за поручни аппарата приводит также к существенному обездвиживанию корпуса пациента, что ограничивает, во-первых, его роль в общем паттерне акта поддержания равновесия и, во-вторых, препятствует тренировке самого торса, функция которого, как правило, нарушается при инсульте. Этот вопрос детально прорабатывается в статье большого коллектива авторов из 7 научно-медицинских учреждений США, установивших, что пациенты, перенесшие инсульт, страдают существенным нарушением чувства позиции торса в сагиттальной и фронтальной плоскостях. И это следует иметь в виду при планировании и проведении реабилитационных мероприятий [3].

Отрицательное воздействие фиксации рук в акте движения при упражнении на Lokomat'e на глобальную архитектуру двигательного акта человека в последнее время получило неожиданное обоснование филогенетического плана. Долгое время почиталось за аксиому утверждение о том, что двуногое прямохождение было воспринято человеком от его непосредственных предков типа современных человекообразных обезьян. Открытие синдрома Унертана в 2005 г. показывает, что нашими непосредственными предками были четвероногие приматы, от которых современный человек произошел в результате нескольких спонтанных мутаций в хромосомах 9 и 17 [23, 17, 24, 25].

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АССИСТИРУЮЩИХ РОБОТОВ В РЕАБИЛИТАЦИИ

Рассмотрим некоторые направления дальнейшего прогресса в использовании ассистирующих роботов для физиотерапии нарушений моторики:

1. Совершенствование методики применения действующих локомотороботов. Например, группа исследователей Школы кинематики человека университета Британской Колумбии, Ванкувер, Канада, изучала взаимодействие ассистирующего робота Lokomat с пациентом в ходе выполнения тренировочных заданий на тредмиле. Анализировались комбинации 2 параметров, задаваемых роботом: (1) степень поддержки веса тела и (2) частота шага. Первый параметр варьировал в диапазоне от 0 до 100%, второй – от 24 до 32 шагов в 1 мин. Мышечная реакция оценивалась по данным электромиографии мышц нижних конечностей. В эксперименте участвовали 8 здоровых субъектов. В результате оказалось, что координация мышц улучшается, если сочетать большую степень весовой поддержки с большей частотой ходьбы или, наоборот, меньшую степень весовой поддержки с меньшей частотой ходьбы. По мнению авторов, полученные данные могут помочь при оптимизации реабилитации больных с использованием ассистирующих роботов [19].

2. Индивидуализация подбора больных. Суть дела поясняет следующая публикация. Группа ученых Отдела физиотерапии Юго-западного медицинского центра Техасского университета, Даллас, штат Техас, США, изучала больных с неполным перерывом спинного мозга с точки зрения перспективы улучшения их функционального состояния от применения ассистирующего робота Lokomat. Занятия с роботом проводились по 1 часу 3 раза в неделю в течение 3 месяцев. Оказалось, что значимое улучшение от робототерапии могут получить больные, которые на начало лечения: (1) передвигаются с большей скоростью, (2) контролируют мочеиспускание и дефекацию, (3) обладают меньшей спастичностью нижних конечностей, (4) имеют меньшую продолжительность заболевания. Предлагается математическая формула, прогнозирующая максимальную скорость передвижения больного по окончании 3-месячного курса лечения, с учетом всех четырех вышеперечисленных параметров. Успешная верификация формулы проведена на проспективном исследовании 8 больных [1].

3. Включение больного в контур обратной связи. Вкладке сотрудников Лаборатории сенсорно-моторных систем Федерального технологического института, Цюрих, Швейцария, на международной конференции по реабилитационным роботам 23–26 июня 2009 г. в Киото, Япония, была представлена концепция т.н. биокооперативного контроля как одного из методов совершенствования ассистирующих роботов. Суть концепции состоит во включении больного в петлю обратной связи регуляции ассистирующей активности робота. Например, действующий в настоящее время робот Lokomat обеспечивает заранее фиксированный процент весовой поддержки. Биокооперативный контроль позволит роботу плавно

менять степень поддержки в зависимости от реакции больного. Эксперимент со здоровыми добровольцами показал, что в вышеупомянутом режиме в случае, когда испытуемый симулировал внезапно наступившую мышечную слабость, робот тут же повышал до необходимого уровня степень его поддержки. Т.о., данный режим, с одной стороны, повышает безопасность тренировки, с другой стороны, способствует активизации пациента, позволяя более уверенно проводить занятия в условиях субмаксимальных нагрузок [6].

4. Разработка обучаемо-обучающих локомотивов. С принципом действия нового поколения роботов и результатами НИОКР в этом направлении можно познакомиться в статье, вышедшей из отдела биомедицинской техники Калифорнийского университета, Ирвин, США [8], а также в презентации группы голландских специалистов на международном нейрореабилитационном симпозиуме в Цюрихе, Швейцария, 12–14 февраля 2009 г. [28].

Техническая идея состоит в том, что сначала одетый на больного в виде экзоскелета робот запоминает правильный паттерн движения, которому больной вручную обучается физиотерапевтом. Затем обученный робот уже сам помогает больному достичь совершенного выполнения движения, подсказывая только в случае, когда больной уклоняется от предписанного образца.

5. Увеличение количества степеней свободы ассистируемого больного. Примером данного подхода может служить продолжающийся НИОКР по созданию первого ассистирующего потолочного робота ZeroG, дающего больному не только большую маневренность во фронтальной плоскости, вплоть до способности обходить препятствия, но также возможность перемещаться и в трехмерном пространстве, например, по лестнице [31, 5, 14].

ZeroG создан под руководством д-ра Джозефа Гайдлера, являющегося директором Центра прикладных исследований по биомеханике и реабилитации при Национальном реабилитационном госпитале в г. Вашингтоне, федеральный округ Колумбия, США.

В настоящее время в центре, на базе ZeroG запущен научно-исследовательский проект, цель которого вы-

яснить, дает ли применение данного робота какие-либо преимущества в реабилитации больных острым инсультом по сравнению со стандартным физиотерапевтическим курсом. Для этого группу из 60 больных острым инсультом случайным образом разделяют на 2 части.

Больные первой, контрольной, подгруппы получают обычный курс физиотерапии: 2 часа в день, 5 раз в неделю в течение 2 недель. При этом один час в день физиотерапия проводится штатной медсестрой госпиталя, второй час – сотрудником центра. Больные второй, экспериментальной, подгруппы, в отличие от первой подгруппы, во время второго часа получают физиотерапию с помощью робота.

Прогресс в состоянии больных оценивается по улучшению способности к ходьбе и положительной динамике двигательных функций нижних конечностей. Показатели включают скорость передвижения, объем необходимой при этом посторонней помощи, выносливость, устойчивость и пр. [18].

Пока (по состоянию на 6 марта 2010) данное экспериментальное исследование не зарегистрировано на официальном сайте ClinicalTrials.gov Национальных институтов здоровья США [10].

Видеоматериалы, иллюстрирующие практическое использование ZeroG в реабилитации больных, свободно доступны в Интернете на сайте центра [32].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на скромные результаты, продемонстрированные до настоящего времени ассистирующими роботами в физиотерапии двигательных расстройств, они являются весьма перспективным направлением в реабилитации.

Как указывается в обзорной статье, подготовленной сотрудниками отдела биотехники Чикагского института реабилитации Иллинойского университета, г. Чикаго, США, по проблемам инсульта для биоинженеров, в настоящее время мы все еще находимся в самом начале эпохи робототерапии, поэтому главная задача сейчас состоит в систематическом накоплении и анализе научных фактов, а не в погоне за все более дорогими и усложненными аппаратами [20].

ЛИТЕРАТУРА

1. A prediction model for determining over ground walking speed after locomotor training in persons with motor incomplete spinal cord injury / Winchester P. et al. // J Spinal Cord Med. 2009. Vol. 32, No 1. P. 63–71. PDF. URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2647503/pdf/ii079-0268-32-1-63.pdf> (дата обращения: 16.01.2010).
2. Allowing intralimb kinematic variability during locomotor training poststroke improves kinematic consistency: a subgroup analysis from a randomized clinical trial / Lewek M.D. et al. // Phys Ther. 2009. Vol. 89, No 8. P. 829–839. HTML. URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2719436/?tool=pubmed> (дата обращения: 16.01.2010).
3. Altered Trunk Position Sense and Its Relation to Balance Functions in People Post-Stroke / Ryerson S. et al. // J Neurol Phys Ther. 2008. Vol. 32, No 1. P. 14–20. PDF. URL: <http://journals.lww.com/jnpt/toc/2008/03000> (дата обращения: 09.03.2010).
4. Automating activity-based interventions: the role of robotics / Hidler J. et al. // J Rehabil Res Dev. 2008. Vol. 45, No 2. P. 337–344. HTML. URL: <http://www.rehab.research.va.gov/jour/08/45/2/Hidler.html> (дата обращения: 16.01.2010).
5. Dr. Gery Colombo. Technology-assisted Neurological Rehabilitation // 3rd Intern Convention on Rehab Engineering & Assistive Technology. Singapore. 2009, 22–26 April. URL: http://images.google.com/imgres?imgurl=http://icreate.start-centre.com/icreate2009/images/Dr_Gery_Colombo-w120.jpg&imgrefurl=http://icreate.start-centre.com/icreate2009/plenary.php&usq=__c9AHWWrR--1myG1dpWZe2EF_7UU=&h=116&w=120&sz=3&hl=en&start=8&um=1&itbs=1&tbnid=jFJvg4SqxuOgmM:&tbnh=85&tbnw=88&prev=/images%3Fq%3DGery%2BColombo%2BLokomat%26um%3D1%26hl%3Den%26sa%3DN%26tbs%3Disch:1 (дата обращения: 01.03.2010).
6. Duschau-Wicke A. Felsenstein S. Riener R. Adaptive body weight support controls human activity during robot-aided gait training // Rehabilitation Robotics. 2009, 23–26 June / IEEE. P. 413–418. ISSN: 1945-7898. Abstr. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/login.jsp?url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel5%2F5188775%2F5209456%2F05209619.pdf%3Farnumber%3D5209619&authDecision=-203> (дата обращения: 10.03.2010).
7. Enhanced gait-related improvements after therapist- versus robotic-assisted locomotor training in subjects with chronic stroke: a randomized controlled study / Hornby T.G. et al. // Stroke. 2008. Vol. 39, No 6. P. 1786–1792. PDF. URL: <http://stroke.ahajournals.org/cgi/reprint/39/6/1786> (дата обращения: 16.01.2010).
8. Feasibility of manual teach-and-replay and continuous impedance shaping for robotic locomotor training following spinal cord injury / Emken J.L. et al. // IEEE Trans Biomed Eng. 2008. Vol. 55, No 1. P. 322–334. PDF. URL: <http://authors.library.caltech.edu/9546/1/EMKieetbe08.pdf> (дата обращения: 13.03.2010).
9. Found 17 studies with search of: Lokomat // ClinicalTrials.gov / US National Institutes of Health. URL: <http://clinicaltrials.gov/ct2/results?term=Lokomat> (дата обращения: 06.03.2010).
10. Found no studies with search of: ZeroG // ClinicalTrials.gov / US National Institutes of Health. URL: <http://clinicaltrials.gov/ct2/results?term=ZeroG> (дата обращения: 06.03.2010).
11. Hidler J., Wisman W., Neckel N. Kinematic trajectories while walking within the Lokomat robotic gait-orthosis // Clin Biomech (Bristol, Avon). 2008. Vol. 23, No 10. P. 1251–1259. URL: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18849098?itool=EntrezSystem2.PEntrez.Pubmed.Pubmed_ResultsPanel.Pubmed_RVDocSum&ordinalpos=16 (дата обращения: 16.01.2010).
12. Huang V.S., Krakauer J.W. Robotic neurorehabilitation: a computational motor learning perspective // J Neuroeng Rehabil. 2009, Feb 25. Vol. 6, No 5. 13 p. PDF. URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2653497/pdf/1743-0003-6-5.pdf> (дата обращения: 16.01.2010).

13. Lo A.C., Triche E.W. Improving gait in multiple sclerosis using robot-assisted, body weight supported treadmill training // *Neurorehabil Neural Repair*. 2008. Vol. 22, No 6. P. 661–671. URL: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18971381?itool=EntrezSystem2.PEntrez.Pubmed.Pubmed_ResultsPanel.Pubmed_RVDocSum&ordinalpos=15 (дата обращения: 16.01.2010).
14. Lokomat and Pediatric Lokomat Reference List. Rev. Dec. 2009 // Rehabilitation Institute of Chicago. URL: <http://lifecenter.ric.org/index.php?tray=content&tid=top1&cid=5722> (дата обращения: 04.03.2010).
15. Mehrholz J., Kugler J., Pohl M. Locomotor training for walking after spinal cord injury // *Cochrane Database Syst Rev*. 2008, Apr 16. No 2. CD006676. URL: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18425962?itool=EntrezSystem2.PEntrez.Pubmed.Pubmed_ResultsPanel.Pubmed_RVDocSum&ordinalpos=20 (дата обращения: 16.01.2010).
16. Multicenter randomized clinical trial evaluating the effectiveness of the Lokomat in subacute stroke / Hilder J. et al. // *Neurorehabil Neural Repair*. 2009. Vol. 23, No 1. P. 5–13. URL: [http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19109447?ordinalpos=1&itool=EntrezSystem2.PEntrez.Pubmed.Pubmed_ResultsPanel.Pubmed_SingleItemSuppl.Pubmed_Discovery_RA&linkpos=2&log\\$=relatedarticles&logdbfrom=pubmed](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19109447?ordinalpos=1&itool=EntrezSystem2.PEntrez.Pubmed.Pubmed_ResultsPanel.Pubmed_SingleItemSuppl.Pubmed_Discovery_RA&linkpos=2&log$=relatedarticles&logdbfrom=pubmed) (дата обращения: 10.02.2010).
17. Mutations in the very low-density lipoprotein receptor VLDLR cause cerebellar hypoplasia and quadrupedal locomotion in humans / Ozcelik T. et al. // *PNAS*. 2008. Vol. 105, No 11. P. 4232–4236. PDF. URL: <http://www.pnas.org/content/105/11/4232.full.pdf+html> (дата обращения: 07.03.2010).
18. Over-ground gait training with a novel dynamic body-weight support system // *The CABRR*. URL: <http://cabrr.cua.edu/research/RehabilitationRobotics.cfm> (дата обращения: 21.02.2010).
19. Patterns of muscle coordination vary with stride frequency during weight assisted treadmill walking / Klarner T. et al. // *Gait Posture*. 2010. Vol. 31, No 3. P. 360–365. URL: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20097076?itool=EntrezSystem2.PEntrez.Pubmed.Pubmed_ResultsPanel.Pubmed_RVDocSum&ordinalpos=1 (дата обращения: 10.02.2010).
20. Patton J., Small S.L., Zev Rymer W. Functional restoration for the stroke survivor: informing the efforts of engineers // *Top Stroke Rehabil*. 2008. Vol. 15, No 6. P. 521–541. PDF. URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2703465/pdf/nihms107181.pdf> (дата обращения: 16.01.2010).
21. Robotic-assisted treadmill therapy improves walking and standing performance in children and adolescents with cerebral palsy / Borggraefe I. et al. // *Eur J Paediatr Neurol*. 2010, Feb 5. [Epub ahead of print]. URL: [http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20138788?ordinalpos=1&itool=EntrezSystem2.PEntrez.Pubmed.Pubmed_ResultsPanel.Pubmed_SingleItemSuppl.Pubmed_Discovery_RA&linkpos=2&log\\$=relatedarticles&logdbfrom=pubmed](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20138788?ordinalpos=1&itool=EntrezSystem2.PEntrez.Pubmed.Pubmed_ResultsPanel.Pubmed_SingleItemSuppl.Pubmed_Discovery_RA&linkpos=2&log$=relatedarticles&logdbfrom=pubmed) (дата обращения: 08.03.2010).
22. Stein J. Adopting new technologies in stroke rehabilitation: the influence of the US health care system // *Eur J Phys Rehabil Med*. 2009. Vol. 45, No 2. P. 255–258. PDF. URL: <http://www.minervamedica.it/en/journals/europa-medicophysica/article.php?cod=R33Y2009N02A0255> (дата обращения: 16.01.2010).
23. Tan U. A wrist-walker exhibiting no “uner tan syndrome”: a theory for possible mechanisms of human devolution toward the atavistic walking patterns // *Int J Dev Neurosci*. 2007. Vol. 117, No 1. P. 147–156. URL: <http://informahealthcare.com/doi/abs/10.1080/00207450600936866> (дата обращения: 13.03.2010).
24. Tan U. Discovery of Unertan Syndrome and Reverse Evolution: As An “Aha!” Experience // *NeuroQuantol*. 2008. Vol. 6, No 2. P. 80–83. PDF. URL: <http://neuroquantology.com/journal/index.php/nq/article/viewFile/255/257> (дата обращения: 13.03.2010).
25. Tan U., Tan M. Unertan Syndrome: A New Variant of Unertan Syndrome: Running on All Fours in Two Upright-Walking Children // *Int J Dev Neurosci*. 2009. Vol. 119, No 7. P. 909–918. URL: <http://informahealthcare.com/doi/abs/10.1080/00207450902828050> (дата обращения: 13.03.2010).
26. Ten meter walk test // *Locomotor Experience Applied Post-Stroke*. URL: http://leaps.usc.edu/Portals/0/files/misc/Clinical_Outcome_Measures_and_Procedures/Ten_Meter_Walk_2009_1_30.pdf (дата обращения: 12.03.2010).
27. The ATLET Study: Can Subjects With Incomplete Spinal Cord Injury Learn to Walk? / North Norway Rehabilitation Center // *ClinicalTrials.gov*. URL: <http://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT00854555?term=lokomat&rank=14> (дата обращения: 04.03.2010).
28. The effect of assist-as-needed in robotic gait therapy: a pilot study / van der Kooij et al. // *International Neurorehabilitation Symposium*. 2009, February 12–14. University of Zurich, Campus Irchel, Switzerland. PDF. 20 p. URL: http://www.inrs2009.com/fileadmin/user/PDF/INRS/Van_der_Kooij_HocomaSymposium_forwebsite_.pdf (дата обращения: 13.03.2010).
29. The effectiveness of locomotor therapy using robotic-assisted gait training in subacute stroke patients: a randomized controlled trial / Schwartz I. et al. // *PM R*. 2009. Vol. 1, No 6. P. 516–523. URL: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19627940?itool=EntrezSystem2.PEntrez.Pubmed.Pubmed_ResultsPanel.Pubmed_RVDocSum&ordinalpos=4 (дата обращения: 10.02.2010).
30. The Fugl-Meyer Assessment (FMA) // *StrokEngine*. URL: http://www.medicine.mcgill.ca/strokengine-assess/module_fma_indepth-en.html (дата обращения: 12.03.2010).
31. Using robotics to learn how to walk again // *Gizmag.com*. URL: <http://www.gizmag.com/go/3333/picture/6703/> (дата обращения: 01.03.2010).
32. ZeroG videos // *The CABRR site*. URL: <http://cabrr.cua.edu/gallery.cfm> (дата обращения: 23.02.2010).

Резюме. Настоящий обзор посвящен современному состоянию проблемы применения ассистирующих роботов для реабилитации больных с нарушениями передвижения. Основу обзора составляют научно-медицинские публикации за 2008–2010 гг.

Ключевые слова: реабилитация, вертикализация, робот, инсульт, травма головного мозга, спинальная травма, болезнь Паркинсона, рассеянный склероз, детский церебральный паралич.

Abstract. This is a review of the 2008–2010 scientific medical publications dedicated to the problem of application of robotic systems in rehabilitation of the patients with various movement disorders.

Key words: rehabilitation, verticalization, robot, stroke, brain injury, spinal injury, Parkinson’s disease, multiple sclerosis, cerebral palsy.

КОНТАКТЫ

Щербак Сергей Григорьевич – 197706, Санкт-Петербург, г. Сестрорецк, ул. Борисова, д. 9. Электронный адрес: hospital40@rambler.ru. Тел.: (812) 437-10-35.

Терешин Алексей Евгеньевич – 197706, Санкт-Петербург, г. Сестрорецк, ул. Борисова, д. 9. Электронный адрес: aet-spb@rambler.ru. Тел. (812) 437-43-60.

Голота Александр Сергеевич – 197706, Санкт-Петербург, г. Сестрорецк, ул. Борисова, д. 9. Электронный адрес: yuhcam@mail.ru. Тел.: (812) 434-31-47.

Крассий Александр Борисович – 197706, Санкт-Петербург, г. Сестрорецк, ул. Борисова, д. 9. Электронный адрес: ramzai2002@mail.ru. Тел. (812) 437-43-60.