

ВОЗМОЖНОСТИ СОВРЕМЕННОЙ МЕХАНОТЕРАПИИ В КОРРЕКЦИИ ДВИГАТЕЛЬНЫХ НАРУШЕНИЙ НЕВРОЛОГИЧЕСКИХ БОЛЬНЫХ

УДК 616.8-00

^{1,2}Макарова М.Р., ^{1,3}Лядов К.В., ²Турова Е.А., ⁴Кочетков А.В.

¹ГБОУ ВПО «Первый Московский Государственный Медицинский Университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России, г. Москва, Россия

²ГБУЗ «Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины» Департамента здравоохранения города Москвы, г. Москва, Россия

³ФГУ «Лечебно-реабилитационный центр» Минздрава России, г. Москва, Россия

⁴ФГБОУ ДПО «Институт повышения квалификации» Федерального медико-биологического агентства России», г. Москва, Россия

POSSIBILITIES OF MODERN MECHANICAL THERAPY IN THE CORRECTION OF MOTOR DISORDERS OF NEUROLOGICAL PATIENTS

^{1,2}Makarova M.R., ^{1,3}Liadov K.V., ²Turova E.A., ⁴Kochetkov A.V.

¹GBOU VPO «First Moscow State Medical University n.a. I.M. Sechenov» Russian Ministry of Healthcare, Moscow, Russia

²GBUZ «Moscow Scientific and Practical Center of Medical Rehabilitation, rehabilitation and sports medicine» Moscow Healthcare Department, Moscow, Russia

³FGU «Treatment and Rehabilitation Center» Russian Ministry of Healthcare, Moscow, Russia

⁴FGBOU DPO «Institute for Advanced Studies « of the Federal Medical-Biological Agency of Russia», Moscow, Russia

Введение

Высокий темп и напряженный ритм современной жизни, нередко пренебрежительное отношение к методам профилактики заболеваний и сохранению здоровья объясняет очевидный факт отсутствия снижения распространенности заболеваний и травм нервной системы до настоящего времени. «Омоложение» больных с патологией нервной системы и увеличение продолжительности жизни этих больных на 20–40 лет после дебюта заболевания, на фоне стойкой инвалидизации с утратой двигательных возможностей в 60–80% случаях, делает задачу восстановления и/или компенсации нарушенной моторики чрезвычайно важной и первостепенной.

Развитие фундаментальных медико-биологических наук, информатизации здравоохранения наполнило новым содержанием многие давно существующие формы медицинской практики [1]. Для аппаратных методов лечебной физкультуры (ЛФК) это положение наряду с появлением изготавливаемых серийно в промышленных условиях реабилитационных тренажеров и устройств, позволили по-новому определить место и оценить роль аппаратных технологий в реабилитации. Реабилитация неврологических больных с двигательными нарушениями базируется на способности к реорганизации элементов нервной системы. Условиями реализации механизма нейропластичности являются: активное выполнение движения с определенной двигательной задачей, многократное повторение задания, биологически обратная связь, мотивированность больного, продолжительность терапии. Поэтому функциональный подход в реабилитации больных с послед-

ствиями заболеваний и травм нервной системы является одним из ведущих в возвращении к активной независимой жизнедеятельности. Кроме того функциональный подход предусматривает оценку адаптационных и функциональных резервов организма, что особенно важно для проведения персонализированной медицинской реабилитации в соответствии с доказанной их избирательной эффективностью [1].

Современные реабилитационные аппараты, независимо от степени сложности конструкции и программного обеспечения, позволяют создать индивидуальный протокол и параметры тренировки, контролировать эффективность тренировки в динамике курса лечения и на этапах реабилитации. Именно необходимость проведения адресной, дозируемой контролируемой реабилитации больных с заболеваниями нервной системы привела к оснащению региональных реабилитационных центров России современными техническими средствами двигательной реабилитации и включению этих средств в стандарты протоколов ведения больных [2]. Так, например, согласно стандарта оказания медицинской помощи больным с инсультом (Приказ Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации от 1 августа 2007 г. №513 «Об утверждении стандарта медицинской помощи больным с инсультом») и порядка оказания медицинской помощи больным с острыми нарушениями мозгового кровообращения (Приказ Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации от 06.07.2009 № 389н «Об утверждении порядка оказания медицинской помощи больным с острыми нарушениями мозгового кровообращения») реабилитация

больных, перенесших инсульт, предусматривает применение широкого спектра аппаратной реабилитации: «роботизированной механотерапии, лечебной физкультуры с использованием тренажера, аппаратов для активно-пассивной механотерапии, аппаратов для восстановления мелкой моторики и координации». Однако на практике, в подавляющем большинстве случаев, сохраняется акцент на мануальные техники ЛФК без использования аппаратных возможностей реабилитации. Отчасти это обусловлено затруднениями в понимании функциональной специализации тренажеров и недостаточно ясным представлением эффекта от их применения при лечении пациентов с двигательными нарушениями после заболеваний и травм нервной системы.

По определению Гольдблат Ю.В. [3], лечебные тренажеры представляют собой специальные устройства и приспособления, предназначенные для коррекции патологических установок туловища и конечностей, увеличения мышечной силы и подвижности в суставах, а также для повышения общей мобильности и жизненного тонуса больных. Однако, в настоящее время «парк» тренажеров представлен настолько широко, что позволяет решать не только травматолого-ортопедические, но и прочие: терапевтические, неврологические, урологические, психолого-педагогические задачи. Аппаратная реабилитация является составной частью ЛФК, поэтому наиболее простой является классификация по анатомическому принципу. Хорошо известны тренажеры для верхних, нижних конечностей, туловища и т.д.; по объему работающих мышц разделяют на тренажеры локального воздействия (включается в работу менее 1/4 мышц тела) и тренажеры глобальных двигательных актов (в работу которых вовлекается более 3/4 мускулатуры тела). По активности участия пациента в выполнении упражнения тренажеры делятся на аппараты пассивного движения, активно-помогающие устройства и тренажеры для выполнения произвольного активного действия.

Привычное деление тренажеров на циклические и силовые обозначает, в первую очередь, реакцию кардиореспираторной системы на предъявляемую нагрузку в зависимости от типа мышечного сокращения и мощности выполнения нагрузки.

При делении тренажеров по функциональному тренингу оценивают их преимущественное влияние на конкретные параметры: мышечный тонус, силу, подвижность суставов, баланс мышечных групп, позу и позотонические рефлексы, координацию произвольных движений, функцию глотания, артикуляции, мелкой моторики, ходьбы, тазовых органов и т.д.

По способу воздействия тренажеры разделяются на:

- механоаппараты, в том числе роботизированные, которые механическим способом изменяют длину конечности или тела;
- приборы для программируемой электромиостимуляции (ЭМС), где стимулирующим фактором является электрический ток;
- стабиллоплатформы, на которых, благодаря созданию неустойчивой опоры и изменению положения тела в пространстве, осуществляются тренировки вестибулярного аппарата и устойчивости тела в вертикальном положении;
- тренажеры генерализованного, глобального воздействия, которые оказывают влияние на все системы организма: нервную, кардиореспиратор-

ную, мочевыделительную, желудочно-кишечный тракт, опорно-двигательный аппарат, сочетая механическое сдавление, активизацию проприоцепции, осевую нагрузку или разгрузки по оси тела и конечностей (например, в костюмах аксиальной разгрузки и костюмах аксиального нагружения, при имитации ходьбы в подвесе в роботизированных ортезах, при ношении современных экзоскелетов);

- комбинированные, гибридные тренажеры, сочетающие механические и электрические раздражители, антигравитационный тренинг, биологическую обратную связь (например, велотренинг с синхронизированной ЭМС на RT300, ортотренировки на ERIGO®) по характеру и эффективности воздействия подобны генерализованному, глобальному тренажеру.
- тренажерные системы с использованием Интерфейс мозг-компьютер (ИМК или BCI от англ. Brain-computer interface). ИМК (BCI) – система, созданная для обмена информацией между мозгом и электронным устройством (например, компьютером) и управляемым сегментом конечности [4]. Именно этим устройствам отводится ниша в сфере управления протезами и ортезами конечностей, манипуляторами и робототехническими устройствами, а также в восстановлении дефицитарных функций мозга. ИМК-технологии используются для инвалидов-колясочников и пациентов с тетраплегией [5].

В особую группу можно выделить высокотехнологичные роботизированные тренажеры. Реабилитационные роботы – специализированные устройства, позволяющие полностью или частично заместить утраченную или нарушенную двигательную функцию человека в решении двигательной задачи. Отличительным признаком роботизированных тренажеров является обеспечение контролируемых управляемых дозированных тренировок благодаря программному обеспечению, наличию тестирующего или диагностического блока, биологически обратной связи. Следует уточнить, что роботизированные тренажеры, как правило, имеют электропривод и имеют программный блок управления заданными параметрами, более сложные модификации роботизированных аппаратов оснащены диагностическим блоком.

Современные роботизированные механотерапевтические аппараты широко применяются в лечении больных на различных этапах реабилитации. Однако в отличие от истинных роботов роботизированные механоаппараты, такие как: MOTOMED®, THERAVITAL®, KINETEC®, ARTROMOT®, ERIGO® выполняют тренировку элементарного, жестко детерминированного движения, чаще в одной плоскости, что не стимулирует выработку целостного двигательного навыка, но подготавливает к его осуществлению. Простота осуществления движения и безопасность для больного позволяют использовать аппараты на ранних стадиях восстановления, при снижении когнитивных функций, для самостоятельных занятий, в качестве профилактики вторичных осложнений.

Простейшие роботизированные механотерапевтические аппараты широко используются в условиях интенсивной терапии в острой стадии острого нарушения мозгового кровообращения (ОНМК), черепно-мозговой травмы (ЧМТ), травмы спинного мозга (СМТ). Основная цель применения аппаратов заключается в профилактике отрицательного влияния длительной гипокинезии, гипотрофии мышц, микроциркулятор-

ных нарушений, тромбоза глубоких вен нижних конечностей, нарушений эластичности мышечной и соединительной ткани связочно-суставного аппарата [6]. Конструктивные возможности современных аппаратов позволяют использовать их сразу по стабилизации состояния и снижению угрозы декомпенсации витальных функций. Учитывая циклический характер нагрузки и ее малую интенсивность, гарантируется выполнение тренировки в аэробном режиме. В условиях палаты интенсивной терапии переносимость нагрузки оценивают по частоте сердечных сокращений, артериального давления, сатурации кислорода и т.д. Рекомендуемый протокол тренировки заключается в проведении занятий по 20 мин не менее 2-х раз в день в течение всего времени пребывания в палате (блоке) интенсивной терапии [6].

Клинические исследования показали, что пассивное движение помимо местного воздействия, изменяет процессы торможения в центральной нервной системе и стимулирует осознанное поведение [7]. Так, например, у испытуемых, которые получали пассивные ритмические аппаратные сгибания и разгибания в лучезапястном суставе, было установлено локальное растворивание корковых областей [8].

Влияние аппаратной пассивной разработки плечевого сустава по основным осям движения (сгибание, отведение, наружная ротация) на повышение подвижности плечевого сустава, рост функциональной активности руки (по шкале Фуль-Мейер) и снижение болевого синдрома по эффективности не уступало традиционным общепринятым занятиям ЛФК в ранние сроки восстановления после ОНМК [9]. Было показано, что курс аппаратной пассивной разработки плечевого сустава в течение 22 дней (в безболевого режиме, по 25 минут в день, 5 раз в неделю), способствовал укреплению периартикулярной мускулатуры плечевого сустава [9, 10].

У больных с травмой спинного мозга (СМ) применение моторизованных пассивных велотренировок приводило к нормализации электрофизиологической активности мотонейронов и снижению уровня спастичности мышц нижних конечностей [11, 12].

Наиболее физиологичным на этапе ранней реабилитации неврологических больных является применение сочетания факторов в процедуре. Например, циклических роботизированных пассивно-активные тренировки в комбинации с постепенной вертикализацией больного, как на поворотном столе ERIGO®. В эксперименте с участием здоровых испытуемых было показано, что вертикализация на ERIGO® до 70 градусов в сочетании с пассивными движениями нижними конечностями и функциональной электромиостимуляцией мышц бедра и голени, приводит к увеличению частоты сердечных сокращений, подъему артериального давления и повышению кровенаполнения в абдоминальной части нижней полой вены [13]. А у больных на 3–12 день острого тяжелого полушарного ишемического инсульта динамическая вертикализация на ERIGO® способствовала снижению частоты развития гипостатической пневмонии и тромбоза глубоких вен нижних конечностей, в короткие сроки обеспечивала адаптацию пациента к вставанию с минимальными колебаниями гемодинамики. Был предложен протокол безопасной тренировки: постепенное повышение угла наклона от 20 до 60 градусов, с частотой шагов 24–32 шага в минуту, продолжительностью 12–30 минут. Курс состоял из 5–12 процедур [14]. Ана-

логичные исследования были проведены у больных в остром периоде нарушения мозгового кровообращения с применением разработанного комплексом «Вертикаль», сочетающего в себе кровать-тренажер для ног и функциональную электростимуляцию мышц. К занятиям приступали на 9 ± 4 день заболевания, продолжительность вертикализации 30 минут, по 5 раз в неделю в течение 2-х недель. После 10 сеансов лечения наблюдалась положительная динамика в виде регресса очаговой симптоматики по шкале NIH с $11,5 \pm 1,3$ до $6,3 \pm 0,7$ баллов, улучшение функционального исхода по индексу Бартел с $36,6 \pm 3,8$ до $61,9 \pm 5,3$ баллов, уменьшение степени пареза по шкале L. McPeak и M. Вейс и нарастание двигательной функции по шкале Fugl-Meyer Scale. После курса лечения при выполнении самостоятельной ходьбы в горизонтальном положении на кровати отмечали увеличение электрической активности мышц ног и объема движения в коленном и голеностопном суставах [15, 16]. Было отмечено, что активные ритмичные движения непаретичной нижней конечностью сопровождаются в ноге на стороне пареза снижением повышенной контрактильности и появлением произвольной активности [17]. В раннем периоде ЧМТ сочетание вертикализации с ритмичными шаговыми движениями в ERIGO® помимо действия на опорно-двигательный аппарат оказывали стимулирующее влияние на эмоционально-когнитивные функции больных.

Целесообразность применения комбинированного тренинга на ERIGO® в сочетании с ЭМС доказана и в промежуточном периоде восстановления. У больных СМТ тренировки способствовали достоверному снижению риска развития ортостатического коллапса даже при высокой, шейной травме позвоночника и спинного мозга, наряду с этим отмечалась стабилизация гемодинамики, снижение спастичности мышц и увеличение подвижности суставов нижних конечностей, а у больных с неполным перерывом спинного мозга – увеличение способности к самостоятельной ходьбе [18].

Ходьба по дорожке с разгрузкой массы тела (BWSTT) – по мнению многих исследователей является одним из главных методов переобучения ходьбы у больных с патологией нервной системы. Утверждение, что «ходьба тренируется только в ходьбе» подтверждается в многочисленных исследованиях [19, 20]. Силовые тренировки отдельных мышц ног («закачка») значительно менее эффективны в восстановлении ходьбы, чем функциональный тренинг больных в подвесе с разгрузкой массы тела [21].

Тот факт, что курс BWSTT после ОНМК по сравнению с общепринятой кинезиотерапией не дает достоверных преимуществ в восстановлении мобильности, хотя функциональные результаты тренировок в обеих группах сопоставимы, свидетельствует о взаимозаменяемости методов при организации программы реабилитации больных [19, 20].

Для облегчения работы инструкторов ЛФК независимо друг от друга было создано несколько роботизированных аппаратов, которые позволяют реконструировать ходьбу у больных с заболеваниями нервной системы [21, 24].

Данные о сравнительной эффективности роботизированных тренировок противоречивы, но большинство авторов отмечают, что по эффективности они не уступают традиционной терапии в восстановлении двига-

тельной функции, особенно у больных с сохраненной проводимостью кортикоспинального тракта. Так, в 2010 году Американская Ассоциация кардиологов (АНА) в руководстве по оказанию помощи при инсульте рекомендовала роботизированную терапию в качестве обязательной терапии. В руководстве указано, что в раннем восстановительном периоде инсульта робототренинг способствует улучшению двигательных функций [25]. В своей работе Hidler J., Nichols D., et. Al. (2009) [22] установили, что у пациентов с тяжелыми двигательными нарушениями после инсульта, применение роботизированной локомоторной терапии оказывает более значительное влияние на восстановление утраченной функции ходьбы. А при двигательном дефиците верхней конечности в амбулаторной и хронической стадии восстановления робототерапия является методом дополнительной терапии [22].

Из существующих роботов-ортезов восстановления ходьбы в России, как и в мировой практике наиболее широко используется ЛОКОМАТ®. Тренажер имеет мало ограничений для эксплуатации, имеет высокую степень надежности и несколько степеней защиты пациента при ходьбе, что позволяет начинать тренировки в условиях чрезвычайной слабости пациента, включая вегетативные состояния [26].

Все больше исследователей и клиницистов-реабилитологов приходят к выводу, что тренировки в роботах-ортезах ЛОКОМАТ® имеют преимущество перед мануальными методами восстановления ходьбы у пациентов после инсульта, неспособных к самостоятельной ходьбе [27]. Для «ходячих» пациентов эффективность локомоторной тренировки в роботизированных ортезах менее эффективны, чем тренировки на дорожке с мануальной с помощью кинезиотерапевтов [22, 28].

Тем не менее, исследованиями Клочкова А.С., Теленкова А.А., Черниковой Л.А. (2011) [29] доказано, что у больных с давностью инсульта 3–14 месяцев, с развитием патологической походки по типу Вернике-Манна, способных к ходьбе на тредмилле со скоростью не менее 0,5 км/час, роботизированные тренировки в системе ЛОКОМАТ® приводят к перестройке патологического локомоторного паттерна. Роботизированные тренировки обеспечивают увеличение диапазона угловой скорости сгибания-разгибания в тазобедренном и коленном суставах и уменьшение диапазона угловой скорости отведения-приведения в тазобедренном суставе. Благодаря этому в результате курса достигается достоверное снижение выраженности циркумдукции паретичной ноги в сравнении с традиционной методикой локомоторной тренировки. В предложенном протоколе двухнедельной ЛОКОМАТ®-тренировки обращает на себя внимание большая продолжительность ходьбы, равная 45 минутам, ежедневный тренинг по 5 раз в неделю, всего №10 процедур. При сравнении эффективности восстановления походки после курса функционального тренинга на роботизированном комплексе ЛОКОМАТ® (1 группа, n=50) и после курса BWSTT (2 группа, n=50) у больных, перенесших ишемический инсульт в бассейне средне-мозговой артерии спустя 30 суток от дебюта заболевания, были отмечены преимущества роботизированного функционального тренинга ходьбы. Методом транскраниальной билатеральной доплерографии средней мозговой артерий (СМА) подтверждена безопасность роботизированных тренировок в раннем восстановительном периоде

ишемического инсульта. Протокол тренировки пациентов обеих групп заключался в 40 минутных занятиях 5 дней в неделю, в течение 6 недель [30]. У пациентов в подострой стадии СМТ показано значение интенсивных роботизированных тренировок на восстановление параметров ходьбы (скорость и независимость) [31]. У пациентов с СМТ доказана необходимость и эффективность раннего начала тренировок в роботизированной ходьбе независимо от уровня и глубины поражения СМ, и показано, что результативность тренировок у пациентов с неполным перерывом СМ (ASIA C и D) выше в раннем реабилитационном периоде, чем в хроническом [32]. Получены данные, которые свидетельствуют о положительном влиянии тренировок на центральную и периферическую гемодинамику, мышечный тонус, эмоциональную сферу, мочевыделительную систему при ОНМК, СМТ, ЧМТ, ВС в разные периоды восстановления [33].

Уже более 10 лет назад было установлено, что включение в процесс реабилитации интерактивных роботизированных аппаратов существенно повышает моторное переобучение и восстановление элементов нервной системы [34, 35, 36], так как повторяющийся паттерн походки, жестко контролируемый роботом, не обеспечивает достаточную для оптимальной реорганизации центральной нервной системы изменчивость. В обзоре A.Pennycott et.al., 2012 [37], посвященном роботизированной реабилитации больных после перенесенного инсульта, рассматриваются возможные причины неудовлетворительных результатов аппаратной тренировки. Подчеркивается, что правильная постановка функциональной задачи имеет приоритетное значение для достижения максимального эффекта роботизированного локомоторного тренинга, в связи с этим способ и методика тренировки имеет большее значение, чем просто количественный фактор.

Основная критика в адрес большинства роботизированных технологий, особенно ЛОКОМАТ® и аналогичного устройства ReoAmbulator (Motorika Ltd., зарегистрированного в USA, как «AutoAmbulator», (HealthSouth, Birmingham, U.S.)), вызвана наличием только одной «рабочей» сагиттальной плоскости движений. Отсутствие движений таза, бедра, голени в других плоскостях из-за жесткой фиксации в аппарате резко лимитирует эффективность тренировки по воспитанию баланса тела и координации движений, снижает адаптацию к выбору траектории произвольного движения, перешагиванию препятствий, ходьбу по неровной поверхности. В настоящее время продолжают работу по преодолению этого конструктивного недостатка.

Эти ограничения частично решены в других роботах ходьбы. Так, применение LokoHelp (Medburg, Basel, Switzerland) – электромеханической системы, состоящей из бегущей дорожки, приспособлений для разгрузки массы тела, коротких роботизированных ортезов на голень-стопу. Таз и коленные суставы не фиксированы, и, хотя ортезы двигаются по заданной траектории, такое положение тела создает больше свободы и усложняет ходьбу. Зависимость движений пациента от скорости движения полотна бегущей дорожки больше, чем от фиксирующих ортезов. Тренировки проводятся в пассивном, активном, пассивно-активном режимах. Фазы опоры и переноса проводятся в близком к физиологическому пат-

терну. Скорость ходьбы подбирается индивидуально от 0 до 2,5 км/час. Наблюдения за пациентами с нарушениями походки неврологического генеза (ОНМК, СМТ, ЧМТ), получившими 20 тренировочных занятий за 6 недель, показали улучшение показателей силы мышц (Индекс Мотрисайти), прирост скорости ходьбы (Тест Ходьбы с регистрацией времени (10-meter walk test), повышение качества самостоятельной ходьбы (Functional Ambulation Category, FAC), увеличение индекса мобильности Ривермид, снижение спастичности (по модифицированной шкале Ашфорт). Генерируемый устройством бипедальный характер походки с активной фазой опоры и переноса позволил улучшить паттерн самостоятельной ходьбы, а у некоторых больных после перенесенного инсульта восстановить самостоятельную ходьбу. При этом отмечено повышение стабильности коленного сустава (замыкания), улучшения произвольного контроля за стадией опоры и фазы переноса. Авторы обращают внимание на тренировку рук при опоре на параллельные брусья во время ходьбы [38,39]. Группой LokoHelp разработан робот для восстановления ходьбы «Pedago», допускающий ходьбу по дорожке без разгрузки массы тела [40].

В роботизированном тренажере для восстановления ходьбы Gait Trainer (GT1) (Reha-Stim, Berlin, Germany) использование специальных управляющих платформ для стоп и фиксаторов голени позволяют воспроизводить траекторию ходьбы, формировать характерное для нормальной ходьбы жесткое соотношение фаз шага опоры к переносу (40% к 60%). В аппарате отсутствует жесткая фиксация таза и коленных суставов, что обеспечивает большую свободу движений пациента. На тренажере возможно плавное регулирование скорости в диапазоне от 0 до 70 шагов в минуту (0–2,3 м/с) [41].

В работе Pohl M. et al., 2007 [42] проанализированы результаты применения GT 1 в четырех немецких реабилитационных центрах, показано, что использовании интенсивной тренировки ходьбы с помощью GT 1 в сочетании с классической физиотерапией значительно эффективнее, чем применение только традиционного лечения. По данным Скворцовой В.И., Ивановой Г.Е., Румянцевой Н.А. и др. (2010) [43] в результате проведенного комплексного восстановительного лечения больных в остром периоде инсульта, неспособных к самостоятельной ходьбе, с применением роботизированной механотерапии в основной группе больных была выявлена достоверная ($p < 0,05$) положительная динамика по шкалам, характеризующим функциональные способности к стоянию, передвижению, самообслуживанию. Достоверных различий в глубине пареза между больными основной и контрольной групп перед выпиской из стационара не было ($p < 0,05$). При этом показатели достижений больных основной группы по шкалам, характеризующим способности к стоянию, ходьбе и самообслуживанию были достоверно ($p < 0,05$) выше, чем у пациентов контрольной группы. После проведенных тренировок на GT1 большинство больных были способны стоять на расставленных ногах более 30 с, передвигаться с опорой или полностью самостоятельно (по шкале Берга 28,4±14,5 балла); значительно улучшилась способность к самообслуживанию (по шкале Бартел 73±16 баллов). После проведенного комплексного восстановительного лечения в основной

группе больных, получавших тренинг на GT1, достоверно ($p < 0,05$) уменьшилось число больных с нарушениями проприоцептивной чувствительности и атаксией в нижних конечностях до 9,4 и 11,3% соответственно, в контрольной группе существенной положительной динамики по этим показателям не было. Аналогичные результаты были получены в исследованиях Werner C, Frankenberg S, Konrad M, Hesse S (2002) [44]. Занятия на GT также, как и ходьба по дорожке с мануальной помощью, привели к достоверному улучшению функциональных показателей ходьбы у больных в подострой стадии инсульта. Но через 6 месяцев от начала заболевания разницы в достигнутых функциональных результатах не отмечалось.

В другом роботизированном устройстве, Haptic-Walker 22(G-EO(RehaTechnologies), сам аппарат определяет степень необходимой пациенту поддержки во время проведения локомоторной нагрузки [45]. Этот робот был разработан специально для тренировки произвольных движений стопы с целью воспитания способности перемещения по неровной поверхности.

Роботизированный тренажер MotionMaker™ [46, 47] разработан в середине 2000-х, представляет собой гибридный тренажер для нижних конечностей, в котором одновременно с имитацией ходьбы в положении полулежачи в контролируемых роботизированных ортезах всех сегментов нижней конечности осуществляется функциональная электростимуляция (ФЭМС) мышц бедра и голени. Ортезы оснащены сенсорными (положение, усилие) датчиками и ЭМС системой. Датчики управляют и контролируют движения ортезов и параметры ЭМС, таким образом БОС осуществляется по мышечному усилию произвольно и электромиостимуляцией. Движения осуществляются в изокINETическом режиме с постепенным повышением сопротивления. Специально разработанная математическая модель движения позволяет постоянно рассчитывать параметры ввода на узловые точки бедра, колена, голеностопного сустава для создания расчетного усилия во время давления ногами. Алгоритм ФЭМС ягодичной мышцы, 4-х главой мышцы бедра, икроножной мышцы мышц группы гамстринг и передней большеберцовой мышцы постоянно корректируется на основании расчетных величин, текущих параметров усилия с узловых точек и длины мышцы. Возможно одновременное движение ногами (жим ногами) и встречное поочередное (велотренинг). Тренажер был разработан для восстановления ходьбы у больных с СМТ, однако в настоящее время изучается эффективность применения этой модификации роботизированных тренировок при лечении ДЦП и последствий ОНМК.

Программное обеспечение позволяет оценить изменения мышечного тонуса, определить развитие мышечного спазма и быстро внести коррекцию в программу тренировки для обеспечения безопасности пациента. Тренировки 5 пациентов с неполным моторным перерывом СМ на уровне Th6–Th12, давностью травмы более 4 лет сопровождались повышением проприоцептивного осознания движения и способностью к более точному выполнению произвольного действия во время ФЭМС. У 3-х пациентов отмечалось снижение спастичности (по шкале Ашфорт) после 1часовой процедуры с 3–46 до 0–26. У 4-х пациентов к концу курса тренировок сила мышц ног возросла на 388% на стороне б'ольшего поражения и на 193% на противоположной стороне, повысился контроль за произвольной моторики. Протокол тренировок:

продолжительность 60 минут, 2–3 раза в неделю в течение 2 месяцев. Нет сомнения в том, что максимальный эффект от применения тренажеров у пациентов с патологией нервной системы проявляется в лечебном реабилитационном комплексе.

Следует отметить, что изолированное применение отдельных аппаратов, даже самых современных комбинированных роботизированных устройств, не позволяет добиться длительного стойкого положительного результата и не заменяет многие традиционные хорошо известные методы лечения. Это положение было неоднократно подтверждено в работах отечественных и зарубежных авторов.

Не менее важно знать, что помимо влияния на двигательную систему и нервно-мышечный аппарат практически все имеющиеся в арсенале нейрореабилитации лечебные тренажеры через моторно-висцеральные и висцеро-моторные рефлексы оказывают выраженное соматическое действие, в первую очередь, на сердечно-сосудистую систему. Поэтому при подборе тренажера для данного конкретного клинического случая необходимо учитывать не только специальные, «селективные», но и общие задачи.

На смену стационарным роботам постепенно приходят управляемые костюмы – роботы-экзоскелетоны. В обзоре 2011 года [48] дано подробное описание наружных аппаратных костюмов – экзоскелетов для свободной ходьбы. Наиболее известен экзоскелет EKSO (Ekso Bionics Беркли, Калифорния, US), который представляет собой съемную гибридную систему для ходьбы, состоящую из подвижных ортезов и ЭМС. Устройство позволяет людям с парализованными или ослабленными нижними конечностями встать и пойти. Экзоскелет Berkeley Bionics признан лучшим для инвалидов колясочников в 2010 году. Портативный экзоскелет Walking Assist Device весит устройство всего 2,8 кг, батареи хватает на 2 часа непрерывной ходьбы со скоростью 4,5 км/час. Более совершенный и сложный силовой экзоскелет от Honda носит то же название, только с припиской «with Bodyweight Support System». Но в обиходе за ним прочно закрепилось название «киберноги». Пользоваться киберногами удобно – достаточно надеть ботинки, а вся остальная конструкция в пристегивании и привязывании не нуждается. Пользоваться им могут и пожилые люди, которые с трудом передвигаются, и рабочие на конвейере, вынужденные работать на корточках или в полуприседе. Данный вид экзоскелетона разработан для людей, способных к самостоятельному передвижению. Киберноги могут быть использованы у больных после обширных оперативных вмешательств.

Разработанный сотрудниками Университета Вандербилт (г. Нэшвилл, США) и Клинического Центра Шеферд (г. Атланта, США) усиленный экзоскелетон Indego™ (Parker Hannifin Corporation, USA) предназначен для передвижения и реабилитации пациентов – парализованных с неполным перерывом СМ, для больных с последствиями инсульта, ЧМТ, рассеянного склероза и другими двигательными нарушениями нейрогенной природы. Indego – носимый робот, в конструкцию которого заложена функциональная ЭМС. У пациентов с неполным перерывом СМ при использовании экзоскелетона данной конструкции отмечалось повышение силы в мышцах нижних конечностей, улучшение региональной гемодинамики, замедление темпов потери костной массы и развития гипотрофии.

Экзоскелетон весит 12 кг, в сложенном виде помещается в рюкзак. Для ношения экзоскелетона больной должен иметь подготовку к пребыванию продолжительное время в вертикальном положении, обладать достаточной силой схвата кисти и трехглавой мышцы плеча для удержания костылей, Позволяет вставать со стула, стоять и ходить, перешагивая через невысокие препятствия. Этот вид экзоскелета дает возможность больным с неполным перерывом СМ подниматься по ступеням, однако костюм не рассчитан на пациентов с полным моторным перерывом СМ.

Экзоскелетон ReWalk компании Argo Medical's (Malborough, US; Berlin, Germany; Yokneam Illit, Israel) разработан для пациентов с нарушением двигательной функции нейрогенной природы. Первоначально экзоскелетон был ориентирован на пациентов-парализованных, поэтому удерживает тело в вертикальном положении, обеспечивает ходьбу и подъем по ступеням. Данный вариант экзоскелетона может использоваться как средство ходьбы у пациентов с полным моторным перерывом СМ, ОНМК, при рассеянном склерозе, ДЦП. Экзоскелетон был разработан в Израиле, выпущен под маркой Argo Medical Technologies, прошел клинические испытания в MossRehab Филадельфии (США). Спортсменка – параплегик из Великобритании Claire Lomas в 2012 году полностью прошла в марафонскую дистанцию за 17 дней в экзоскелетоне ReWalk, несколько позже она использовала экзоскелетон для выполнения работ по дому. Экзоскелетон ReWalk контролирует движение тела по смещению центра тяжести, имитирует нормальную ходьбу и обеспечивает функциональную скорость ходьбы. В странах Европы, США и Израиле и странах Азии используются 2 модификации экзоскелетона ReWalk. В 2014 году ожидается запуск серии исследований по изучению эффективности применения экзоскелетонов в странах Азии у больных с патологией нервной системы.

Роботизированные технологии для руки развиваются не менее активно, чем для нижних конечностей. В настоящее время разработаны полимеры, позволяющие существенно уменьшить вес сенсоров и экзоскелетона руки, а пневматический 5-ти пальцевый привод обеспечивает плавность движения [49]. Однако роботизированные костюмы и перчатки еще находятся в стадии лабораторных разработок.

Заключение

В настоящее время аппаратные технологии и робототехнологии больше, чем другие технологии воплощают основные принципы современной теории двигательного обучения. Несмотря на широкое использование роботизированных технологий в нейрореабилитации их реальные возможности до конца все еще не определены, особенно с учетом быстрого развития экзоскелетов для домашнего пользования. Во всем мире и в России, в том числе, существует необходимость проведения широкомасштабных исследований, которые позволят оценить реальные показания к робот-терапии в зависимости от выраженности неврологического дефицита, стадии восстановления, нозологии и клинической картины заболевания. Внедрение роботизированных технологий и их эксплуатация во много зависит от квалификации и профессионализма специалистов в области лечебной физкультуры, без активного участия которых невозможно продвижение высоких технологий нейрореабилитации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Бобровницкий И.П., Василенко А.М. Принципы предсказательности и предсказательности в восстановительной медицине // Вестник восстановительной медицины. – №1 (53). – 2013. – С. 2–6.
2. Протокол ведения больных. Инсульт StandartGOST.ru 5ГОСТ Р 52600.5-2008: Протокол ведения больных. Инсульт.
3. Гольблат Ю.В. Медико-социальная реабилитация в неврологии. – СПб.: Политехника, 2006. – 607 с.
4. Jackson AI, Zimmermann JB. Neural interfaces for the brain and spinal cord-restoring motor function // Nature Reviews. Neurology. – 2012. – №8 (12). – P. 690–699. doi: 10.1038/nrneuro.2012.219. Epub 2012 Nov 13.
5. Ганин И.П., Шишкин С.Л., Кочетова А.Г., Каплан А.Я. Интерфейс мозг-компьютер «На волне P300»: исследование эффекта номера стимулов в последовательности их предъявления // Физиология человека. – 2012. – том 38, №2. – с. 5–13.
6. Liebesman JL, Cafarelli E. Physiology of range of motion in human joints: A critical review // Crit Rev Phys Rehabil Med. – 1994. – 6 (2). – P. 131–160.
7. Lewis GN, Byblow WD. Modulations in corticomotor excitability during passive upper-limb movement: Is there a cortical influence? // BrainRes. – 2002. 943 (2). – P. 263–275. [PMID: 12101049].
8. Stinear JW, Byblow WD. Disinhibition in the human motor cortex is enhanced by synchronous upper limb movements // J Physiol. – 2002. – 543 (Pt 1). – P. 307–316. [PMID: 12181301].
9. Volpe BT, Ferraro M, Lynch D, Christos P, Krol J, Trudell CM, Krebs HI, Hogan N. Robotics and other devices in the treatment of patients recovering from stroke // Curr Atheroscler Rep. – 2004. – 6 (4). – P. 314–319. [PMID: 15191707].
10. Lynch D, Ferraro M, Krol J, Trudell CM, Christos P, Volpe BT. Continuous passive motion improves shoulder joint integrity following stroke // Clin Rehabil. – 2005. – 19 (6). – P. 94–99.
11. Kiser TS, Reese NB, Maresh T, Hearn S, Yates C, Skinner RD, Pait TG, Garcia-Rill E. Use of a motorized bicycle exercise trainer to normalize frequency-dependent habituation of the H-reflex in spinal cord injury // J Spinal Cord Med. – 2005. – 28 (3). – P. 241–245.
12. Rayegani SM, Shojaei H, Sedighpour L, Soroush MR, Baghban M, Amirani OB. The effect of electrical passive cycling on spasticity in war veterans with spinal cord injury // Front Neurol. – 2011. – 2. – P. – 39. Epub 2011 Jun 20.
13. Chi L, Masani K, Miyatani M, Adam Thrasher T, Wayne Johnston K, Mardimae A, Kessler C, Fisher JA, Popovic MR. Cardiovascular response to functional electrical stimulation and dynamic tilt table therapy to improve orthostatic tolerance // J Electromyogr Kinesiol. – 2008. – Dec; 18 (6). – P. 900–907. Epub 2008 Oct 2.
14. Chernikova L. et al. The early activation of patients with acute ischemic stroke using tilt-table «Erigo»: the prospective randomized blinded case-control study // Neurorehabilitation and Neural Repair 22 (5). – 2008. – P. 556–557.
15. Fedin AI, Tikhonova D, Solopova IA, Grishin AA, Alekhin AI. Early motor rehabilitation with the help of a software/hardware complex «Vertical» in acute period of stroke // Zh Nevrol Psikhiatr Im S S Korsakova. – 2009. – 109 (5 Suppl 2). – P. 49–56.
16. Солопова И.А., Тихонова Д.Ю., Гришин А.А., Алехин А.И. Аппаратно-программный лечебно-диагностический комплекс «ВЕРТИКАЛЬ» в реабилитации пациентов, перенесших инсульт // Альманах клинической медицины. – 2008. – №17–2. – С. 246–249.
17. Solopova IA, Tikhonova DY, Grishin AA, Ivanenko YP. Assisted leg displacements and progressive loading by a tilt table combined with FES promote gait recovery in acute stroke // NeuroRehabilitation. – 2011; 29 (1). – P. 67–77.
18. Зимица Е.В., Алексеева Т.В., Короткова И.С., Даминов В.Д., Кузнецов А.Н. Роботизированная механотерапия в реабилитации больных с позвоночно-спинномозговой травмой // Журнал «Вестник восстановительной медицины». – 2008. – №5 (26). – С. 75–77.
19. Morone G1, Iosa M, Bragoni M, De Angelis D, Venturiero V, Coiro P, Riso R, Pratesi L, Paolucci S. Who may have durable benefit from robotic gait training?: a 2-year follow-up randomized controlled trial in patients with subacute stroke // Stroke. – 2012 Apr; 43 (4). – P. 1140–1142. doi: 10.1161/STROKEAHA.111.638148. Epub 2011 Dec 15.
20. Geroin C, Mazzoleni S, Smania N, Gandolfi M, Bonaiuto D, Gasperini G, Sale P, Munari D, Waldner A, Spidaliere R, Bovolenta F, Picelli A, Posteraro F, Molteni F, Franceschini M; Italian Robotic Neurorehabilitation Research Group. Systematic review of outcome measures of walking training using electromechanical and robotic devices in patients with stroke // J Rehabil Med. – 2013 Nov; 45 (10). – P. 987–996. doi: 10.2340/16501977-1234.
21. Sullivan KJ, Brown DA, Klassen T, Mulroy S, Ge T, Azen SP, Winstein CJ. Effects of Task-Specific Locomotor and Strength Training in Adults Who Were Ambulatory After Stroke: Results of the STEPS Randomized Clinical Trial // Phys. Therapy. – 2007. – 87. – №12. – P. 1580–1602.
22. Hidler J, Nichols D, Pelliccio M, Brady K, Campbell DD, Kahn JH, Hornby TG. Multicenter randomized clinical trial evaluating the effectiveness of the Lokomat in subacute stroke // Neurorehabil Neural Repair. – 2009 Jan; 23 (1). – P. 5–13. doi: 10.1177/1545968308326632.
23. Mehrholz J, Werner C, Kugler J, Pohl M. Electromechanical-assisted training for walking after stroke // Cochrane database of systematic reviews (Online). – 2007. – 4.
24. Mehrholz J, Kugler J, Pohl M. Locomotor training for walking after spinal cord injury // Cochrane database of systematic reviews (Online). – 2008. – 2.
25. (VA/DOD 2010) VA/DOD Clinical practice guideline for the management of stroke rehabilitation. Management of Stroke Rehabilitation Working Group // J Rehabil Res Dev. – 2010. – 47 (9). – P. 1–43.
26. Hidler J., Robert S. Role of Robotics in Neurorehabilitation // Top Spinal Cord Inj Rehabil. 2011. – 17 (1). – P. 42–49. doi:10.1310/sci1701-42.
27. Mayr A, Kofler M, Quirbach E, Matzak H, Frohlich K, Saltuari L. Prospective, Blinded, Randomized Crossover Study of Gait Rehabilitation in Stroke Patients Using the Lokomat Gait Orthosis // Neurorehabil Neural Repair. – 2007. – 21. – no. 4. – P. 307–314.
28. Hornby TG, DD Campbell, Kahn JH, Demott T, Moore JL, Roth HR. Enhanced Gait-Related Improvements After Therapist- Versus Robotic-Assisted Locomotor Training in Subjects With Chronic Stroke: A Randomized Controlled Study // Stroke. – 2008. – 39. – №6. – P. 1786–1792.
29. Ключков А.С., Теленков А.А., Черникова Л.А. Влияние тренировок на системе «Lokomat» на выраженность двигательных нарушений у пациентов, перенесших инсульт // Анналы клинической и экспериментальной неврологии. – 2011. – Том 5, №3. – С. 20–25.
30. Даминов В.Д., Канкулова Е.А., Уварова О.А., Кузнецов А.Н. Роботизированное восстановление функции ходьбы у больных с церебральным инсультом // Вестник восстановительной Медицины. – 2011. – №1. – С. 46–49.
31. Dobkin B, Apple D, Barbeau H, Basso M, Behrman A, Deforge D, et al. Weight-supported treadmill vs over-ground training for walking after acute incomplete SCI // Neurology. – 2006. – 66. – P. 484–493.
32. Dobkin B, Barbeau H, Deforge D, Ditunno J, Elashoff R, AppleD, et al. The evolution of walking-related outcomes over the first 12 weeks of rehabilitation for incomplete traumatic spinal cord injury: the multicenter randomized spinal cord injury locomotor trial // Neurorehabil Neural Repair. – 2007. – 21. – P. 25–35.
33. Tefertiller C, Pharo B, Evans N, Winchester P. Efficacy of rehabilitation robotics for walking training in neurological disorders: a review // J Rehabil Res Dev. – 2011. – 48 (4). – P. 387–416.
34. Volpe BT, Krebs HI, Hogan N, Edelstein L, Diels CM, Aisen ML. Robot training enhanced motor outcome in patients with stroke maintained over 3 years // Neurology. – 1999. – 53 (8). – P. 1874–1876. [PMID: 10563646].
35. Volpe BT, Krebs HI, Hogan N, Edelstein L, Diels C, Aisen ML. A novel approach to stroke rehabilitation: Robot-aided sensorimotor stimulation // Neurology. – 2000. – 54 (10). – P. 1938–1944. [PMID: 10822433].
36. Fasoli SE, Krebs HI, Stein J, Frontera WR, Hughes R, Hogan N. Robotic therapy for chronic motor impairments after stroke: Follow-up results // Arch Phys Med Rehabil. – 2004. – 85 (7). – 1106–1111. [PMID: 15241758].
37. Pennycott A, Wyss D, Vallery H, Klamroth-Marganska V, Riener R. Towards more effective robotic gait training for stroke rehabilitation: a review // Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation. – 2012. – 9. – P. 65.
38. Freivogel S, Mehrholz J, Husak-Sotomayor T, Schmalohr D. Gait training with the newly developed 'LokoHelp'-system is feasible for non-ambulatory patients after stroke, spinal cord and brain injury. A feasibility study // Brain Inj. – 2008. – 22 (7–8). – P. 625–632.
39. Freivogel S, Schmalohr D, Mehrholz J. Improved walking ability and reduced therapeutic stress with an electromechanical gait device // J Rehabil Med. – 2009. – 41 (9). – P. 734–739.
40. Diaz I, Gil JJ, Sánchez E. Lower-Limb Robotic Rehabilitation: Literature Review and Challenges // Journal of Robotics. – 2011. – Volume 2011, Article ID 759764, 11 pages doi:10.1155/2011/759764.
41. Vallery H, Duschau-Wicke A, Riener R. Optimized passive dynamics improve transparency of haptic devices // In IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). Kobe, Japan. – 2009. – P. 301–306.

42. Pohl M, Werner C, Holzgraefe M, Kroczeck G, Mehrholz J, Wingendorf I, Hoellig G, Koch R, Hesse S. Repetitive locomotor training and physiotherapy improve walking and basic activities of daily living after stroke: a single-blind, randomized multicentre trial (DEutsche GAngrainerStudie, DEGAS) // Clin Rehabil. – 2007. – 21 (1). – P. 17–27.
43. Скворцова В.И., Иванова Г.Е., Румянцева Н.А., Старицин А.Н., Ковражкина Е.А., Суворов А.Ю. Современный подход к восстановлению ходьбы у больных в остром периоде церебрального инсульта // Журнал неврологии и психиатрии. – 2010. – №4. – С. 25–30.
44. Werner C, Frankenberg S, Konrad M, Hesse S. Treadmill training with partial body weight support and an electromechanical gait trainer for restoration of gait in subacute stroke patients: a randomized cross-over study // Stroke. – 2002. – 33 (12). – P. 2895–2901.
45. Schmidt H, Werner C, Bernhardt R, Hesse S, Kruger J. Gait rehabilitation machines based on programmable footplates // Journal of neuroengineering and rehabilitation. – 2007. – 4:2. – P. 1–7.
46. Metrailler P, Brodard R, Clavel R, Frischknecht R. Closed loop electrical muscle stimulation in spinal cord injured Rehabilitation. Paper accepted at the 6th Mediterranean Forum of PRM, 18-21 October, Villamura, Portugal, 2006.
47. Reynard F, Nesa T, Palma RD, Al-Khodairy A. Robotic rehabilitation and recovery of motor performance in a spinal cord injured population // Gait & Posture. – 2009. – vol. 30. – P. S150.
48. del-Ama AJ, Koutsou AD, Moreno JC, de-los-Reyes A, Gil-Agudo A, Pons JL. Review of hybrid exoskeletons to restore gait following spinal cord injury // J Rehabil Res Dev. – 2012. – 49 (4). – P. 497–514. <http://dx.doi.org/10.1682/JRRD.2011.03.0043>.
49. Tjahjono AP, Aw KC, Devaraj H, Surendra W, Haemmerle E, Travas-Sejdic J. A five-fingered hand exoskeleton driven by pneumatic artificial muscles with novel polypyrrole sensors // Industrial Robot: An International Journal. – 2013. – Vol. 40 (30). – P. 251–260.

REFERENCES:

1. Bobrovnikskiy I.P., Vasilenko A.M. [Predictive principles and predictivity in regenerative medicine] // Vestnik Vosstanovitelnoy Mediciny (VVM) Journal. – №1 (53). – 2013. – p. 2–6.
2. Treatment Protocol. Stroke StandartGOST.ru 5ГОСТ P 52600. 5-2008: Treatment protocol. Stroke.
3. Golblat Yu.V. [Medical and social rehabilitation in neurology]. – Saint-Petersburg: Politekhnik, 2006. – 607 p.
4. Jackson AI, Zimmermann JB. Neural interfaces for the brain and spinal cord-restoring motor function // Nature Reviews. Neurology. – 2012. – №8 (12). – P. 690–699. doi: 10.1038/nrneuro.2012.219. Epub 2012 Nov 13.
5. Ganin I.P., Shishikin S.L., Kochetova A.G., Kaplan A.Ya. [Brain-computer interface «On the wave of P300»: study of the effect of incentives in the sequence numbers of their presentation] // Fiziologiya cheloveka [Human physiology]. – 2012. – vol 38, № 2. – p. 5–13.
6. Liebesman JL, Cafarelli E. Physiology of range of motion in human joints: A critical review // Crit Rev Phys Rehabil Med. – 1994. – 6 (2). – P. 131–160.
7. Lewis GN, Byblow WD. Modulations in corticomotor excitability during passive upper-limb movement: Is there a cortical influence? // BrainRes. – 2002. – 943 (2). – P. 263–275. [PMID: 12101049].
8. Stinear JW, Byblow WD. Disinhibition in the human motor cortex is enhanced by synchronous upper limb movements // J Physiol. – 2002. – 543 (Pt 1). – P. 307–316. [PMID: 12181301].
9. Volpe BT, Ferraro M, Lynch D, Christos P, Krol J, Trudell CM, Krebs HI, Hogan N. Robotics and other devices in the treatment of patients recovering from stroke // Curr Atheroscler Rep. – 2004. – 6 (4). – P. 314–319. [PMID: 15191707].
10. Lynch D, Ferraro M, Krol J, Trudell CM, Christos P, Volpe BT. Continuous passive motion improves shoulder joint integrity following stroke // Clin Rehabil. – 2005. – 19 (6). – P. 94–99.
11. Kiser TS, Reese NB, Maresh T, Hearn S, Yates C, Skinner RD, Pait TG, Garcia-Rill E. Use of a motorized bicycle exercise trainer to normalize frequency-dependent habituation of the H-reflex in spinal cord injury // J Spinal Cord Med. – 2005. – 28 (3). – P. 241–245.
12. Rayegani SM, Shojaee H, Sedighipour L, Soroush MR, Baghbani M, Amirani OB. The effect of electrical passive cycling on spasticity in war veterans with spinal cord injury // Front Neurol. – 2011. – 2. – P. 39. Epub 2011 Jun 20.
13. Chi L, Masani K, Miyatani M, Adam Thrasher T, Wayne Johnston K, Mardimae A, Kessler C, Fisher JA, Popovic MR. Cardiovascular response to functional electrical stimulation and dynamic tilt table therapy to improve orthostatic tolerance // J Electromyogr Kinesiol. – 2008. – Dec; 18 (6). – P. 900–907. Epub 2008 Oct 2.
14. Chernikova L. et al. The early activation of patients with acute ischemic stroke using tilt-table «Erigo»: the prospective randomized blinded case-control study // Neurorehabilitation and Neural Repair 22(5). – 2008. – P. 556–557.
15. Fedin AI, Tikhonova D.Yu., Solopova IA, Grishin AA, Alekhin AI. Early motor rehabilitation with the help of a software/hardware complex «Vertical» in acute period of stroke // Zh Nevrol Psikhiatr Im S S Korsakova. – 2009. – 109 (5 Suppl 2). – P. 49–56.
16. Solopova I.A., Tikhonova D.Yu., Grishin A.A., Alehin A.I. [Hardware and software diagnostic and treatment complex «Vertical» in rehabilitation of stroke patients] // Almanakh klinicheskoi meditsiny [Almanac of clinical medicine]. – 2008. – №17–2. – p. 246–249.
17. Solopova IA, Tikhonova DY, Grishin AA, Ivanenko YP. Assisted leg displacements and progressive loading by a tilt table combined with FES promote gait recovery in acute stroke // NeuroRehabilitation. – 2011; 29 (1). – P. 67–77.
18. Zimina E.V., Alekseeva T.V., Korotkova I.S., Daminov V.D., Kuznetsov A.N. [Robotic mechanotherapy in the rehabilitation of patients with spinal cord injuries] // Vestnik Vosstanovitelnoy Mediciny (VVM) Journal. – 2008. – № 5 (26). – p. 75–77.
19. Morone G1, Iosa M, Bragoni M, De Angelis D, Venturiero V, Coiro P, Riso R, Pratesi L, Paolucci S. Who may have durable benefit from robotic gait training?: a 2-year follow-up randomized controlled trial in patients with subacute stroke // Stroke. – 2012 Apr; 43 (4). – P. 1140–1142. doi: 10.1161/STROKEAHA.111.638148. Epub 2011 Dec 15.
20. Geroin C, Mazzoleni S, Smania N, Gandolfi M, Bonaiuti D, Gasperini G, Sale P, Munari D, Waldner A, Spidalieri R, Bovolenta F, Picelli A, Posteraro F, Molteni F, Franceschini M; Italian Robotic Neurorehabilitation Research Group. Systematic review of outcome measures of walking training using electromechanical and robotic devices in patients with stroke // J Rehabil Med. – 2013 Nov; 45 (10). – P. 987–996. doi: 10.2340/16501977-1234.
21. Sullivan KJ, Brown DA, Klassen T, Mulroy S, Ge T, Azen SP, Winstein CJ. Effects of Task-Specific Locomotor and Strength Training in Adults Who Were Ambulatory After Stroke: Results of the STEPS Randomized Clinical Trial // Phys. Therapy. – 2007. – 87. – №12. – P. 1580–1602.
22. Hidler J, Nichols D, Pelliccio M, Brady K, Campbell DD, Kahn JH, Hornby TG. Multicenter randomized clinical trial evaluating the effectiveness of the Lokomat in subacute stroke // Neurorehabil Neural Repair. – 2009 Jan; 23 (1). – P. 5–13. doi: 10.1177/1545968308326632.
23. Mehrholz J, Werner C, Kugler J, Pohl M. Electromechanical-assisted training for walking after stroke // Cochrane database of systematic reviews (Online). – 2007. – 4.
24. Mehrholz J, Kugler J, Pohl M. Locomotor training for walking after spinal cord injury // Cochrane database of systematic reviews (Online). – 2008. – 2.
25. (VA/DOD 2010) VA/DOD Clinical practice guideline for the management of stroke rehabilitation. Management of Stroke Rehabilitation Working Group // J Rehabil Res Dev. – 2010. – 47 (9). – P. 1–43.
26. Hidler J., Robert S. Role of Robotics in Neurorehabilitation // Top Spinal Cord Inj Rehabil. 2011. – 17 (1). – P. 42–49. doi:10.1310/sci1701-42.
27. Mayr A, Kofler M, Quirbach E, Matzak H, Frohlich K, Saltuari L. Prospective, Blinded, Randomized Crossover Study of Gait Rehabilitation in Stroke Patients Using the Lokomat Gait Orthosis // Neurorehabil Neural Repair. – 2007. – 21. – no. 4. – P. 307–314.
28. Hornby TG, DD Campbell, Kahn JH, Demott T, Moore JL, Roth HR. Enhanced Gait-Related Improvements After Therapist-Versus Robotic-Assisted Locomotor Training in Subjects With Chronic Stroke: A Randomized Controlled Study // Stroke. – 2008. – 39. – №6. – P. 1786–1792.
29. Klochkov A.S., Telenkov A.A., Chernikova L.A. [Effect of training on the system «Lokomat» on the severity of motor disorders in stroke patients] // The annals of Clinical and Experimental Neurology. – 2011. – Vol 5, №3. – p. 20–25.
30. Daminov V.D., Kankulova E.A., Uvarova O.A., Kuznetsov A.N. [Robotic recovery of gait in patients with cerebral stroke] // Vestnik Vosstanovitelnoy Mediciny (VVM) Journal. – 2011. – №1. – p. 46–49.
31. Dobkin B, Apple D, Barbeau H, Basso M, Behrman A, Deforge D, et al. Weight-supported treadmill vs over-ground training for walking after acute incomplete SCI // Neurology. – 2006. – 66. – P. 484–493.

32. Dobkin B, Barbeau H, Deforge D, Ditunno J, Elashoff R, AppleD, et al. The evolution of walking-related outcomes over the first 12 weeks of rehabilitation for incomplete traumatic spinal cord injury: the multicenter randomized spinal cord injury locomotor trial // *Neurorehabil Neural Repair*. – 2007. – 21. – P. 25–35.
33. Tefertiller C, Pharo B, Evans N, Winchester P. Efficacy of rehabilitation robotics for walking training in neurological disorders: a review // *J Rehabil Res Dev*. – 2011. – 48 (4). – P. 387–416.
34. Volpe BT, Krebs HI, Hogan N, Edelstein L, Diels CM, Aisen ML. Robot training enhanced motor outcome in patients with stroke maintained over 3 years // *Neurology*. – 1999. – 53 (8). – P. 1874–1876. [PMID: 10563646].
35. Volpe BT, Krebs HI, Hogan N, Edelstein L, Diels C, Aisen ML. A novel approach to stroke rehabilitation: Robot-aided sensorimotor stimulation // *Neurology*. – 2000. – 54 (10). – P. 1938–1944. [PMID: 10822433].
36. Fasoli SE, Krebs HI, Stein J, Frontera WR, Hughes R, Hogan N. Robotic therapy for chronic motor impairments after stroke: Follow-up results // *Arch Phys Med Rehabil*. – 2004. – 85 (7). – 1106–1111. [PMID: 15241758].
37. Pennycott A, Wyss D, Vallery H, Klamroth-Marganska V, Riener R. Towards more effective robotic gait training for stroke rehabilitation: a review // *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. – 2012. – 9. – P. 65.
38. Freivogel S, Mehrholz J, Husak-Sotomayor T, Schmalohr D. Gait training with the newly developed 'LokoHelp'-system is feasible for non-ambulatory patients after stroke, spinal cord and brain injury. A feasibility study // *Brain Inj*. – 2008. – 22 (7–8). – P.625–632.
39. Freivogel S, Schmalohr D, Mehrholz J. Improved walking ability and reduced therapeutic stress with an electromechanical gait device // *J Rehabil Med*. – 2009. – 41 (9). – P. 734–739.
40. Díaz I, Gil JJ, Sánchez E. Lower-Limb Robotic Rehabilitation: Literature Review and Challenges // *Journal of Robotics*. – 2011. – Volume 2011, Article ID 759764, 11 pages doi:10.1155/2011/759764.
41. Vallery H, Duschau-Wicke A, Riener R. Optimized passive dynamics improve transparency of haptic devices // In *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*. Kobe, Japan. – 2009. – P. 301–306.
42. Pohl M, Werner C, Holzgraefe M, Kroczeck G, Mehrholz J, Wingendorf I, Hoölig G, Koch R, Hesse S. Repetitive locomotor training and physiotherapy improve walking and basic activities of daily living after stroke: a single-blind, randomized multicentre trial (DEutsche GANtrainerStudie, DEGAS) // *Clin Rehabil*. – 2007. – 21 (1). – P. 17–27.
43. Skvortsova V.I., Ivanova G.E., Rumyantseva N.A., Staritsin A.N., Kovrazhkina E.A., Suvorov A.Yu. [Modern approach to restoring gait in patients with acute cerebral stroke] // *Journal of Neurology and Psychiatry*. – 2010. – №4. – p. 25–30.
44. Werner C, Frankenberg S, Konrad M, Hesse S. Treadmill training with partial body weight support and an electromechanical gait trainer for restoration of gait in subacute stroke patients: a randomized cross-over study // *Stroke*. – 2002. – 33 (12). – P. 2895–2901.
45. Schmidt H, Werner C, Bernhardt R, Hesse S, Kruger J. Gait rehabilitation machines based on programmable footplates // *Journal of neuroengineering and rehabilitation*. – 2007. – 4:2. – P. 1–7.
46. Metrailler P, Brodard R, Clavel R, Frischknecht R. Closed loop electrical muscle stimulation in spinal cord injured Rehabilitation. Paper accepted at the 6th Mediterranean Forum of PRM, 18–21 October, Villamura, Portugal, 2006.
47. Reynard F, Nesa T, Palma RD, Al-Khodairy A. Robotic rehabilitation and recovery of motor performance in a spinal cord injured population // *Gait & Posture*. – 2009. – vol. 30. – P. S150.
48. Del-Ama AJ, Koutsou AD, Moreno JC, de-los-Reyes A, Gil-Agudo A, Pons JL. Review of hybrid exoskeletons to restore gait following spinal cord injury // *J Rehabil Res Dev*. – 2012. – 49 (4). – P. 497–514. <http://dx.doi.org/10.1682/JRRD.2011.03.0043>.
49. Tjahyono AP, Aw KC, Devaraj H, Surendra W, Haemmerle E, Travas-Sejdic J. A five-fingered hand exoskeleton driven by pneumatic artificial muscles with novel polypyrrole sensors // *Industrial Robot: An International Journal*. – 2013. – Vol. 40 (30). – P. 251–260.

РЕЗЮМЕ

Целью данного обзора явилось обобщение данных литературы о применении роботизированной механотерапии в различные периоды восстановления после повреждения нервной системы. В настоящее время очевидно, что восстановление двигательной функции человека, утраченной в результате заболевания или травмы нервной системы, возможно только в результате интенсивных многократно повторяющихся продолжительных занятий. В представленном обзоре подчеркивается необходимость применения роботизированных технологий в раннем восстановительном периоде, дан перечень наиболее часто используемых устройств, приведены технические особенности механоаппаратов для восстановления ходьбы. В обзоре подчеркивается признание методов роботизированной двигательной терапии, как метода выбора, особенно у пациентов с тяжелым моторным дефицитом, приведены наиболее распространенные протоколы тренировок на реабилитационных тренажерах. Дана характеристика экзоскелетов, применение которых расширит двигательные возможности и независимость пациентов в повседневной жизни.

Ключевые слова: механотерапия, роботизированная механотерапия, экзоскелетон, реабилитация, инсульт, травма спинного мозга, протокол тренировки.

ABSTRACT

The objective of this review is to summarise the data of literature regarding use of robotic mechanical therapy in different periods of recovery after damage of the nervous system. It is apparent that a recovery of motor function lesion as a result of illness or injury of the nervous system, can only be the result of intense repetitive prolonged training. This review highlights the need to use robotic technology in the early recovery period, provides a list of the most commonly used devices and describes technical features essential in mechanical apparatus for gait restoration. Also, this review highlights methods of robotic movement therapy as a method of choice, especially in patients with severe motor deficits, as well as describes the most common protocols for use of rehabilitation training simulators. Additionally, the review provides characteristics of exoskeletons, which will expand the use of motor capabilities and independence of patients in everyday life.

Keywords: rehabilitation device, robotic based therapy, exoskeleton, rehabilitation, stroke, spinal cord injury, exercise protocol.

Контакты:

Макарова Марина Ростиславовна. E-mail: makarovamr@mail.ru