

Методики и аппаратура для активно-пассивной механотерапии в здоровьесберегающих технологиях

© Ю.Г. Герцик¹, Г.Е. Иванова², А.Ю. Суворов²

¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

² РНИМУ им. Н.И. Пирогова, Москва, 117997, Россия

Целью данной статьи является обобщение исследований по методикам и аппаратно-программным решениям высокотехнологичных медицинских изделий для механотерапии, включающей активную и активно-пассивную механотерапию. Анализ полученной информации показал, что в настоящее время имеются и ведутся разработки в области создания соответствующего оборудования и его клинического применения. Публикации в медицинских изданиях, описывающие клиническое применение медицинских изделий данного типа, свидетельствуют об актуальности внедрения оборудования для активно-пассивной механотерапии как в клиническую практику, так и в практику спортивной, восстановительной и реабилитационной медицины, в практическое обеспечение здоровьесберегающих технологий, а также для индивидуального пользования в домашних условиях по назначению врача.

***Ключевые слова:** высокотехнологическое медицинское изделие, активно-пассивная механотерапия, восстановительная и реабилитационная медицина*

Введение. Необходимо отметить, что механотерапия относится и к активным, и к пассивным видам лечебной физкультуры, обеспечивающей реализацию здоровьесберегающих технологий. Она также может применяться для облегчения выполнения какого-либо движения при недостаточности двигательной функции (роботизированная пассивная механотерапия) и в целях тренировки с возрастающей интенсивностью, направленной на укрепление двигательной, сердечно-сосудистой и дыхательной систем (активная механотерапия). Согласно современной концепции медицинской реабилитации (Иванова Г.Е., Черникова Л.А. и др.) мероприятия по восстановлению должны быть начаты в первые 12–48 часов после развития заболевания или повреждения и быть регулярными (так же, как и оздоровительные мероприятия).

1. Актуальность тематики. Основные функциональные и эксплуатационные характеристики оборудования для активно-пассивной механотерапии. Организация объединенных наций (ООН) объявила основными причинами смертей в мире не инфекции, а неинфекционные заболевания. К их числу относятся рак, диабет, болезни сердца, легких и др. В докладе экспертов ООН эти группы заболеваний названы причиной 2/3 смертей в мире. Эксперты прогно-

зируют рост смертности от неинфекционных заболеваний к 2030 году до 52 миллионов человек, притом, что только в 2008 г. от них умерли 36 миллионов человек. Распространенность этих заболеваний быстро увеличивается, принося мировой экономике едва ли не триллионные потери [1].

ВОЗ к показателям здоровья населения относит показатели смертности, заболеваемости, инвалидности и физического развития. Первые три показателя характеризуют собственно нездоровье и лишь последний, традиционно позволяет оценить совокупность морфологических и функциональных свойств организма, определяющих запас его физических сил, выносливость и дееспособность. Физическое развитие является одним из важнейших показателей состояния здоровья [2]. Из шести регионов, анализируемых ВОЗ, Европейский регион в наибольшей степени находится под воздействием неинфекционных заболеваний. Также предметом серьезной озабоченности медиков являются масштабы неблагоприятного влияния наиболее распространенных неинфекционных заболеваний, таких как диабет, сердечно-сосудистые заболевания, рак, хронические респираторные болезни и психические расстройства на здоровье населения. По совокупности на эти пять состояний приходится приблизительно 86% всей смертности и 77% болезней в регионе. К 2030 году смертность от хронических неинфекционных заболеваний, как ожидается, увеличится до 52 млн. человек в год, а смертность от инфекционных заболеваний, материнских и перинатальных состояний и недостаточного питания, как ожидается, сократится на 7 миллионов в год в течение того же периода. Безусловно, подобные заболевания приводят к увеличению числа людей с ограниченными возможностями здоровья. Инвалидность и инвалидизация населения являются важнейшими показателями общественного здоровья, имеют важное медицинское и социально-экономическое значение, как в Российской Федерации, так и во всем мире [3]. Неинфекционные заболевания объединены общими факторами риска, глубинными детерминантами и возможностями для вмешательств: повышенное кровяное давление, употребление табака, вредное употребление алкоголя, высокое содержание холестерина в крови, избыточный вес, нездоровое питание и гиподинамия — факторы, негативные последствия которых резко возрастают под влиянием изменений образа жизни и демографических показателей [3–4]. В настоящее время имеется значительный контингент больных с различными степенями ортопедической, суставной, неврологической и нейромышечной патологией, остеохондрозом позвоночника и другими заболеваниями центральной и периферической нервной систем, которые могут быть интерпретированы

как заболевания, характеризующиеся нарушениями двигательной активности человека. Для реабилитации таких больных широкое применение и находят методы активно — пассивной механотерапии. Активная — заключается в использовании имеющихся у пациента двигательных навыков и способностей, обеспечивающих ему возможность приводить в движение те или иные исполнительные устройства (механические, электромеханические, электромагнитные, гидравлические, пневматические и др.) тренажеров для механотерапии. Пассивная — в использовании энергии движущихся элементов устройств (исполнительных устройств) для механотерапии с целью обеспечения возможности принудительного движения конечностей человека для восстановления нарушенной двигательной активности [5]. Механотерапия также эффективна при поражениях спинного мозга, устройства и методики разработки таких аппаратов для пассивной механотерапии проводились и проводятся в МГТУ им. Н.Э. Баумана (Семикин Г.И., Мысина Г.А.) [6–7].

Механотерапия может быть использована в различных областях клинической медицины (в травматологии и ортопедии, кардиологии, неврологии, эндокринологии, пульмонологии, педиатрии, онкологии, геронтологии и др.), в велнес- и фитнес технологиях только под контролем изменения показателей сердечно-сосудистой системы (ЧСС, АД, сатурация O_2). Невозможность выполнения активной работы на тренажере может быть как временным этапом восстановительного процесса, так и окончательным исходом заболевания или травмы опорно-двигательного аппарата, ЦНС, сердечно-сосудистой или дыхательной систем, в этом случае возможно выполнение только пассивной механотерапии.

Принципы механотерапии были сформулированы И. В. Заблудовским и другими российскими врачами в начале XX в., когда появились первые механотерапевтические аппараты. В современной редакции они могут быть изложены следующим образом:

1) исходное положение пациента должно учитывать его конституциональные особенности и характер решаемых лечебно-профилактических задач, что определяет необходимость четкой регламентации опорных и фиксационных элементов аппарата и тренажера;

2) движения и физические упражнения, выполняемые на тренажере, должны, по возможности, максимально соответствовать анатомическим, физиологическим и биомеханическим требованиям;

3) воздействие должно дозироваться и контролироваться (по показателям сопротивления при движениях с сопротивлением, амплитудно-частотным характеристикам — при коррекционных упражнениях и пр.);

4) нагрузочное усилие исполнительных механизмов тренажеров в ходе упражнений должно изменяться согласно законам биомеханики и мышечной деятельности.

Авторы придерживаются следующей классификация аппаратов механотерапии (В.И. Довгань, И.Б. Темкин, 1981) [5, 8,9], аппараты:

1) позволяющие учитывать и точно оценивать качество движения и двигательного восстановления — диагностические аппараты и аппараты с биологической обратной связью;

2) позволяющие выделять отдельные фазы произвольных движений — поддерживающие, фиксирующие аппараты;

3) позволяющие дозировать механическую нагрузку при выполнении движений и упражнений — тренировочные аппараты и тренажеры;

4) позволяющие моделировать не только отдельные движения, но и целостные локомоторные акты, в том числе, с использованием стабیلлографических платформ и обратной связи, — комбинированные аппараты.

Двигательная функция человека представляется чрезвычайно сложной. Движения обеспечиваются взаимосвязанными процессами, протекающими во внутренней среде организма на клеточном, тканевом, органном и системном уровнях с потреблением и образованием энергии макроэргических соединений. В одних случаях, движения примитивные, происходят непроизвольно по типу простого рефлекторного акта и осуществляются при участии сегментарного аппарата (спинного мозга, мозгового ствола). Циклические вращательные движения нижних конечностей являются движениями, подготавливающими пациента к выполнению важнейшей функции ходьбы и являются тем видом мышечной работы, который способствует тренировке сердечно-сосудистой и дыхательной систем, увеличивает мощность аэробного источника энергопродукции при выполнении работы. Так, например, ходьба является глобальной (участвует > 2/3 общей массы мускулатуры тела) и одной из важнейших в самообслуживании, хорошо автоматизированной, циклической, филогенетически древней локомоцией, а также, что очень важно, легко доступной непосредственному визуальному наблюдению и аппаратному исследованию. Задача двигательной реабилитации состоит в экономизации роли подстроечных механизмов, что позволяет максимально использовать сохранившиеся двигательные функции и добиваться более энергетически экономичных и биомеханически правильных режимов ходьбы. Это, прежде всего, повышение динамической устойчивости пораженной конечности (паретичной, протезированной и т. д.) [9–10]. Движение с оптимальной скоростью должно быть симметричным,

плавным, равномерным, полным по активно — возможной его амплитуде и частоте.

Согласно вышеуказанной медико-физиологической классификации проводится выбор и обоснование ключевых функциональных характеристик с учетом возможных параметров комплектации, поставки, сервисного и послегарантийного обслуживания аппаратов, к которым можно отнести:

- наличие опции для активно-пассивной тренировки верхних конечностей;

- наличие опции для активно-пассивной тренировки нижних конечностей;

- возможность регулировать скорость вращения педалей и крутящего момента в заданном диапазоне;

- автоматическая настройка скорости;

- определение спастичности (повышенный мышечный тонус/спазм) и последующее автоматическое отключение сервопривода;

- наличие специализированного программного обеспечения, осуществляющего коммуникации с блоком управления, датчиками, устройством визуализации параметров тренировки, хранение и обработку базы данных пациентов с возможностью формирования индивидуальных программ тренировок и возможностью интеграции в клиническую информационную систему;

- наличие биологической обратной связи по скорости, нагрузке, физиологическим параметрам пациента;

- наличие мотивирующих программ тренировок, рассчитанных на различные группы пациентов, в зависимости от их возраста, гендерных различий и патологии;

- наличие модуля функциональной электростимуляции, сочетанной с вращением привода тренажера;

- наличие кардиологического модуля и т. д.

Более обобщенно вопросы управления работой тренажера включают описание функционирования блока управления тренажером, обычно представляющего собой дисплей с электронным блоком, элементами световой, звуковой индикации и механическими элементами управления. В современных тренажерах широко используются дисплеи с чувствительными сенсорными экранами, позволяющими путем механического прикосновения к поверхности дисплея управлять тренажером. Как указывалось выше, такие блоки управления позволяют максимально вовлечь пациента в процесс тренировки, превращая тренировку в игру или соревнование, а воспроизведение музыки во время тренировки в наушники позволит повысить комфорт проведения процедуры для пациента.

Патенто-библиографический анализ показал, что современные тренажеры также обладают гибкой системой контроля наличия спазматического состояния. При этом состоянии у пациента наблюдается спазм мышц и дальнейшее движение спазмированной конечности невозможно. Для детектирования наличия спазма применяется система контроля превышения максимального допустимого момента (усилия) на исполнительных механизмах тренажера, а также система аварийной остановки тренажера с использованием звукового сигнала, при необходимости, подаваемого пациентом [10–11]. Для аварийной остановки посредством звукового сигнала в тренажере могут быть установлены микрофоны, которые позволят выявить звуковой сигнал, заданной интенсивности, например, крик пользователя, при этом, не реагируя на типичный звуковой фон (например, спокойный разговор).

В современных тренажерах обязательным является наличие биологической обратной связи по различным физиологическим параметрам. При этом, функциональные возможности предоставляемые за счет наличия биологической обратной связи могут сочетаться в различных комбинациях:

- контроль состояния пациента;
- адаптация тренировки для каждого конкретного пациента;
- диагностика посредством физической пробы;
- краткосрочная диагностика за период одной тренировки;
- долгосрочный диагностический анализ за несколько тренировок.

При работе на тренажере пациент находится под действием физической нагрузки. При этом уровень и продолжительность нагрузки для каждого пациента сугубо индивидуальны. При превышении уровня нагрузки у пациента может ухудшиться состояние и это приведет либо к дискомфорту, либо к серьезному ухудшению его состояния. Во избежание этого, уровень физической нагрузки, а также ее продолжительность должны адаптироваться для каждого конкретного пациента. Например, возможно измерение параметров ЭКГ, частоты пульса, уровня артериального давления, сатурации кислорода в артериальной крови, а также содержание углекислого газа во вдыхаемом и выдыхаемом воздухе для определения удельного содержания молочной кислоты в мышцах пользователя. Сильное превышение уровня молочной кислоты может привести к боли в мышцах, а также вызвать болевой дискомфорт на следующей тренировке. К тому же повышение содержания молочной кислоты может изменить уровень рН крови, что в свою очередь может повлиять на состояние пациента. Уровень адаптации процедуры для конкретного пациента может быть различным. В самых простых системах, измеряющих частоту пульса, происходит уменьшение

нагрузки при достижении частоты пульса установленного уровня. В более сложных системах возможно вычисление функциональной зависимости уровня нагрузки от физиологических показателей во время тренировки и априорных данных до тренировки (рост, вес, возраст, пол и пр.). При выполнении физических упражнений с тренажером в режиме адаптации и без него, возможно резкое изменение состояния пациента, например, сильное нарушение ритма работы сердца. При резком ухудшении состояния пациента тренировку необходимо немедленно прекратить. Функция контроля состояния пользователя является необходимой для тренажеров механотерапии и осуществляется системой мониторинга. Системы мониторинга позволяют регистрировать физиологические параметры по время выполнения физических нагрузок. Зарегистрированные данные можно в дальнейшем анализировать в целях диагностики состояния пациента при нагрузочной пробе. К тому же возможно анализировать не только данные одной тренировки, но и просмотреть динамику изменения физиологических показателей пользователя в течение нескольких сеансов механотерапии.

Сохранение зарегистрированных физиологических параметров в единой базе позволит набирать большой объем статистики для корректировки методик процедур механотерапии.

Одним из важнейших параметров, требующий метрологического контроля является контроль насыщения кислородом биотканей в процессе механотерапии. В частности, для этого вводится *модуль пульс-оксиметрии*. В настоящее время сигналы тревоги пульс-оксиметра не применяются в странах, требующих наличия знака соответствия европейским директивам качества и не поставляются европейскими производителями.

Таблица 1

**Параметры контроля сатурации кислорода
при одновременном контроле ЧСС**

Параметр	Описание	Ед. изм.	Диапазон	Шаг изменения	Значение по умолчанию
<i>Верхний предел частоты пульса</i>	Тревожный сигнал превышения верхнего предела частоты пульса	уд/мин	80–165	1	Не задан
<i>Нижний предел частоты пульса</i>	Тревожный сигнал недопустимого снижения частоты пульса	уд/мин	40–80	1	Не задан
<i>Нижний предел сатурации</i>	Тревожный сигнал недопустимого снижения сатурации	%	80–100%	1	Не задан

2. Анализ существующих и перспективных функциональных и эксплуатационных основных параметров применяемого в клинике оборудования для активно-пассивной механотерапии. Можно сформировать перечень функциональных и технических характеристик предполагаемого к разработке оборудования для активно-пассивной механотерапии.

1. Тренажеры для активно-пассивной механотерапии должны обеспечивать удобство в обслуживании и эксплуатации. Устройства вывода информации должны обеспечивать высокую контрастность изображения, подобранные цветовые схемы и достаточный размер буквенно-цифровых значений на экране. Сенсорный экран делает управление тренажером проще и понятнее для ослабленных пациентов. Наличие сенсорного дисплея дополнительно облегчает задачу выбора требуемого режима тренировки для пациента и для врача при большом потоке пациентов, способствует меньшей зрительной утомляемости и более быстрому принятию решений в экстренных ситуациях, а также при анализе результатов тренировки. (данная функциональная особенность реализована только в оборудовании компании medica medizintechnik GmbH).

2. Наличие возможности одновременной тренировки верхних и нижних конечностей может являться конкурентным преимуществом, хотя число пациентов, нуждающихся в такой терапии гораздо меньше, чем требующих реабилитации верхних и нижних конечностей по отдельности (данное свойство реализовано только в оборудовании компании RECK MOTOMed GmbH).

3. Тренировка на тренажере более одного пациента накладывает дополнительные ограничения на обеспечение безопасности тренировки и требует также повышенного внимания врача, в случае, если с одним аппаратом работает только один специалист (данное свойство реализовано только в оборудовании компании RECK MOTOMed GmbH).

4. Наличие биологической обратной связи (БОС), возможность выбора режима тренировок («нейро», «орто», «кардио», «кинетика»)-опция, доступная только для оборудования компании medica medizintechnik GmbH), сохранение результатов пациента в базе данных, перенос записей с пульта управления на персональный компьютер, расширенная программа определения спастики с возможностью настройки чувствительности тренажера к спастике (опция, доступная только для оборудования компании medica medizintechnik GmbH).

5. К дополнительным функциям, которые можно было бы добавить к существующим моделям оборудования ведущих компаний-произво-

дителей реабилитационного оборудования для активно-пассивной механотерапии, можно отнести:

а) изучение возможности создания принадлежности для разработки проксимальных отделов верхних конечностей с одновременной фиксацией локтевого сустава;

б) разработка модуля для терапии верхних конечностей для прикроватных моделей оборудования;

в) регистрация сатурации кислорода, кардиоинтервалография (метод оценки вегетативного баланса организма путем анализа изменений ритма сердца) для отдельных комплектаций прикроватных моделей и моделей для ранней реабилитации; регистрация дыхательных движений;

г) обеспечение возможности симметричного вращения педалей;

д) обеспечение возможности изменять размер педалей, межпедального расстояния;

е) обеспечение возможности измерения симметричности нагрузки для модуля тренировки верхних и нижних конечностей конечностей.

Заключение. По данным современных литературных источников, производство высокотехнологичной продукции обеспечивает примерно 50 макротехнологий. Основными их владельцами являются 7 наиболее развитых стран: США, ФРГ, Великобритания, Франция, Япония. Перечисленные страны владеют 46 макротехнологиями, на остальные, включая Россию, приходится только 4. При этом, к высокотехнологичной продукции относится продукция с высокой долей в себестоимости расходов на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР). Первоначально этот термин связывали с такими видами продукции как полупроводники, системы электронной обработки информации, телекоммуникационное оборудование, программное обеспечение. Сейчас этот термин трактуется шире, признано, что высокие технологии существуют, как часть технологической базы во всех отраслях современной экономики (в первую очередь, фармакологии, биотехнике и в производстве медицинских изделий). Анализ существующих требований к эффективности и безопасности эксплуатации медицинских изделий для активно-пассивной механотерапии, а также ключевых функциональных и эксплуатационных характеристик медицинских изделий для активно-пассивной механотерапии основных мировых производителей показал необходимость учета возможных параметров комплектации, поставки и сервисного обслуживания, анализа используемых в настоящее время мировыми и российскими производителями технологий, включая смежные с рассматриваемыми в тематике данной работы отраслями науки и технологий.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Овчаренко С.А. и др. Социально-гигиеническая характеристика факторов риска инвалидизации населения активного трудоспособного возраста. В сб. научных трудов «Актуальные проблемы инвалидности». М., ЦИЭТИН, 2004.
- [2] Агабабова Э.Р. Реактивные артриты. Врач, 1999, № 5. с. 19–22.
- [3] Добромыслова О. Российские болезни. «Российская газета», 3 апреля 2008 г., № 72.
- [4] Рыбалко Н.В., Даминов В.Д., Горохова И.Г., Кузнецов А.Н. Оценка эффективности и безопасности применения роботизированной механотерапии в остром периоде ишемического инсульта. Матер. I международного конгресса «Нейрореабилитация-2009». М., 2009, с. 96–97.
- [5] Довгань В.И., Темкин И.Б. Механотерапия. М., Медицина, 1981, 128 с.
- [6] Мысина Г.А., Семикин Г.И. Проектирование биотехнических систем для массажа мышц спины и вытяжения позвоночника. Учебное пособие. М., МГТУ, 2005.
- [7] Мысина Г.А. Разработка биотехнической системы комплексной механотерапии заболеваний опорно-двигательного аппарата системы человека. Материалы 5-й международной научно-технической конференции «Медико-технические технологии в здравоохранении». Египет, 2003.
- [8] Шанина Т.В., Петрова Е.А., Скворцова В.И. «Изменение содержания моноаминов при различных вариантах развития ишемического инсульта». Актуальные проблемы цереброваскулярной патологии (Материалы Сибирской научно-практической конференции неврологов). Иркутск, 2005, с. 107.
- [9] Соколов А.В. Современные направления и перспективы развития аппаратных средств биоуправления. Медицинская техника, 2007, № 4, с. 39–41.
- [10] Скворцова В.И., Гудкова В.В., Иванова Г.Е., Кирильченко Т.Д. с соавт. Принципы ранней реабилитации больных с инсультом. Журн. неврологии и психиатрии имени С.С. Корсакова, 2002, № 7, с. 28–33.
- [11] Разработка технологии и программно-аппаратного комплекса биорадиолокационного мониторинга двигательной активности, дыхания и пульса. Автореф. дисс. ... к.т.н. Анищенко Л.Н. М., Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009, 177 с.

Статья поступила в редакцию 05.08.2013

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Герцик Ю.Г., Иванова Г.А., Суворов А.Ю. Методики и аппаратура для активно-пассивной механотерапии в здоровьесберегающих технологиях. *Гуманитарный вестник*, 2013, вып. 4. URL: <http://hmbul.bmstu.ru/catalog/prmed/hidden/57.html>

Герцик Юрий Генрихович — канд. биол. наук, доцент кафедры «Валеология» МГТУ им. Н.Э. Баумана. ygerzik@gmail.com

Иванова Галина Евгеньевна — д-р мед. наук, профессор.

Суворов Андрей Юрьевич — канд. мед. наук, доцент.