

УДК 615.47-114:616-07-08

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАБИЛИТАЦИОННОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ МЕХАНОТЕРАПИИ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ

¹Яцун С.М., ²Яцун А.С., ²Турлапов Р.Н.

¹ГОУ ВПО «Курский государственный университет», Курск, e-mail: mbd155@mail.ru;

²ГОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет», Курск, e-mail: teormech@inbox.ru

В статье рассмотрены вопросы построения математической модели, разработки и исследования опытного образца биомехатронного устройства для реабилитации нижних конечностей человека. Поставленные задачи решаются с применением методов теоретической и прикладной механики, математического моделирования и систем управления. Проведен анализ существующих аппаратных систем. Сущность предложенных нововведений в рассматриваемом реабилитационном устройстве заключается в реализации независимого вращения трех шарниров за счёт использования индивидуальных приводов. Предлагаемое механотерапевтическое устройство обеспечивает заданную биомеханику движений совместно с нижней конечностью человека. Приведено описание реабилитационного устройства и методика его использования. Данное устройство может быть использовано для реабилитации пациентов в кинезиологии и физиотерапии.

Ключевые слова: механотерапия, биомехатронное устройство, реабилитация, нижние конечности человека

DEVELOPMENT AND STUDY OF REHABILITATION DEVICES MECHANOTHERAPY LOWER LIMB

¹Yatsun S.M., ²Yatsun A.S., ²Turlapov R.N.

¹Kursk State University, Kursk, e-mail: mbd155@mail.ru;

²South-West State University, Kursk, e-mail: teormech@inbox.ru

The paper deals with a mathematical model and the research and development of a prototype biomechatronic device for the rehabilitation of the lower limbs of man. The problem is solved using the methods of theoretical and applied mechanics, mathematical modeling and control systems. The analysis of existing hardware systems. The essence of the proposed innovation is to implement the independent rotation of three joints due to the use of individual drives. Studied device provides the desired biomechanics of movement in conjunction with the human limb. The description of the device for rehabilitation and method of use. The proposed device can be used for rehabilitation in kinesiology and physical therapy.

Keywords: mechanotreatment, biomechatronic device, rehabilitation, human lower limbs

В последние годы ведущие мировые медицинские центры проводят исследования в области создания реабилитационных систем для пациентов, перенесших инсульты, травмы или хирургические вмешательства, повлекшие за собой нарушения двигательных функций.

Одним из перспективнейших направлений в этой сфере является метод лечебной физкультуры, основанный на выполнении дозированных движений. Зачастую травма (и вынужденная обездвиженность) приводит к частичной атрофии мышц и связочного аппарата. Реабилитация призвана решить две основные проблемы: возобновление полного объема движений в суставе и восстановление правильного стереотипа движений в нем. Существует большое количество различных тренажеров, методик и реабилитационных систем, которые позволяют проводить механотерапию [2].

В большинстве случаев тренажеры представляют собой системы для пассивной реабилитации, которые лишь сгибают и разгибают сустав в пределах заданного угла [3]. При этом практически отсутству-

ют аппараты, локально воздействующие на группы мышц в заданные фазы движения суставов для формирования правильного стереотипа ходьбы и активизирующие мышцы, необходимые для стабилизации пациента в пространстве.

Актуальным направлением в области создания медицинской техники является разработка устройств, сочетающих в себе узлы точной механики, сенсорные системы осязания и интеллектуальные блоки управления, используемые в механотерапии. Такие устройства способны не только облегчить труд врача-физиотерапевта, но и существенно расширить его возможности, позволяя имитировать естественные движения человека, подбирать индивидуальные программы для каждого пациента, осуществлять непрерывный контроль за состоянием пациента во время проведения процедур [5].

Цель – построение математической модели, разработка и создание опытного образца принципиально нового типа устройства для механотерапии и проведение численных и натурных экспериментов

по исследованию динамики предлагаемого устройства.

Материалы и методы исследования

Поставленные задачи решаются с применением методов теоретической и прикладной механики, теории робототехнических систем, математического моделирования и систем управления.

Основная задача механотерапии на аппаратах пассивного действия — увеличение подвижности в суставе, что достигается дозированным растяжением параартикулярных тканей, при условии мышечного расслабления. Основным преимуществом аппаратов данного типа является возможность более раннего их использования по сравнению с прочими видами механотерапии [1]. За счет расслабления мышц во время пассивного движения значительно снижается контактное взаимодействие суставных поверхностей, что является необходимым условием успешной терапии при патологических состояниях в области суставов.

С целью изучения динамических процессов, протекающих в устройстве, а также с целью расширения функциональных возможностей реабилитационного аппарата в настоящей работе представлен опытный образец, представляющий собой модернизацию су-

ществующих аналогов. Сущность предложенных нововведений в данном устройстве заключается в реализации независимого вращения трех шарниров за счёт использования индивидуальных приводов [4].

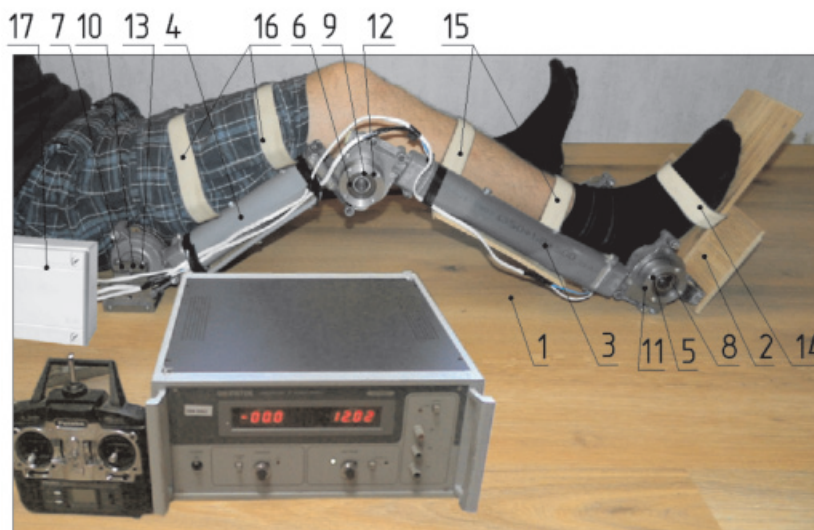
Результаты исследования и их обсуждение

Опытный образец устройства для реабилитации был изготовлен с учетом усредненных геометрических параметров, а также биомеханических особенностей нижних конечностей человека.

Экспериментальная установка состоит из основания стола 1, штанг 2–4, соединенных между собой электроприводами вращательного движения 5–7, манжет 14–16, которые фиксируют ногу человека.

Для устройства разработана система автоматического управления, которая представляет собой комплекс, включающий в себя:

- 1) датчики тока 8–10, датчики углов поворота 11–13;
- 2) блок электроприводов;
- 3) блок управления.



Внешний вид опытного образца для реабилитации нижних конечностей человека

Разработанный программный комплекс, моделирующий динамику системы «реабилитационное устройство – нижняя конечность человека», может использоваться для проведения численных экспериментов по отработке различных программ реабилитации. Моделируя различные характеристики мышц, а также варьируя законами управления, можно исследовать методики реабилитации и подобрать оптимальные параметры нагрузки на мышечно-суставной аппарат исследуемой области.

В ходе исследования был теоретически обоснован принцип движения реби-

литационного устройства, основанный на биомеханических возможностях человека и соответствующий фазам движения конечности. Разработана математическая модель плоского трехзвенного стационарного аппарата, отличительной особенностью которой является учет динамических процессов, протекающих в электроприводах, сил реакции опоры, возникающих в точках контакта ноги аппарата и шероховатой поверхности, динамических процессов протекающих в устройстве при перемещении звеньев в соответствии с биомеханическими возможностями человека.

Проведена методика расчета параметров конструкции. Определены мощности двигателей, осуществлен синтез параметров регулятора системы автоматического управления приводами устройства, учитывающий процессы взаимодействия устройства с внешней средой. Отклонение экспериментальных данных от значений, полученных в ходе математического моделирования, связано с погрешностью измерений и составляет в среднем 8–10%.

Выводы

Таким образом, нами разработан опытный образец механотерапевтического устройства и исследованы заданные режимы движения трехзвенного механизма с активными тазобедренным, коленным и голеностопным суставами, работа которого осуществляется в сопряжении с основными принципами движения нижней конечности человека. Полученные результаты экспериментов подтверждают правильность предложенной математической модели, моделирующей динамику системы «реабилитационное устройство – нога человека», что может быть использовано для проведения численных экспериментов по отработке различных программ реабилитации в кинезиологии и физиотерапии.

Список литературы

1. Понедельченко М.С. Разработка и проектирование конструкции шагающего робота // Управляемые вибрационные технологии и машины: сборник научных статей X научно-технической конференции Вибрация. – 2012. – Ч. 2. – С. 134–144.
2. Уткин В.Л. Биомеханика физических упражнений: учеб. пособие для студентов фак. физ. воспитания пед. ин-тов и для ин-тов физ. культуры. – М.: Просвещение, 1989. – 210 с.

3. Яцун С.Ф. Динамические особенности управляемого движения аппарата для реабилитации нижних конечностей человека в режиме пассивно-активной реабилитации // XI Заочная научная конференция «Теория и практика современной науки». – 2013. – С. 69–76.

4. Черноусько Ф.Л. Волнообразные движения многозвенника по горизонтальной плоскости // Прикладная математика и механика. – 2000. – Т. 64, Вып. 4. – С. 518–531.

5. Yatsun S. Development bioengineering mechatronic module for exoskeleton human leg / S. Yatsun, A. Rukavitsyn // NaukaiStudia. – 2013. – NR 17 (85), Przemysł (Польша). – P. 39–46.

References

1. Ponedel'chenko M.S. Razrabotka i proektirovanie konstrukcii shagajushhego robota // Upravljajemye vibracionnye tehnologii i mashiny: sbornik nauchnyh statej H nauchno-technicheskoy konferencii Vibracija 2012. Ch. 2. pp. 134–144.

2. Utkin V.L. Biomehanika fizicheskikh uprazhnenij: Ucheb. posobie dlja studentov fak. fiz. vospitanija ped. in-tov i dlja intov fiz. kul'tury. M.: Prosveshhenie, 1989. 210 p.

3. Jacun S.F. Dinamicheskie osobennosti upravljajemogo dvizhenija apparata dlja reabilitacii nizhnih konechnostej cheloveka v rezhime passivno-aktivnoj reabilitacii // XI Zaochnaja nauchnaja konferencija «Teorija i praktika sovremennoj nauki». 2013. pp. 69–76.

4. Chernous'ko F.L. Volnoobraznye dvizhenija mnogozvennika po gorizonta'noj ploskosti. // Prikladnaja matematika i mehanika, T. 64, vyp. 4, 2000. pp. 518–531.

5. Yatsun S. Development bioengineering mechatronic module for exoskeleton human leg / S. Yatsun, A. Rukavitsyn // NaukaiStudia, 2013. NR 17 (85), Przemysł (Pol'sha). P. 39–46.

Рецензенты:

Савин Л.А., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Мехатроника и международный инжиниринг», ФГБОУ ВПО «Государственный университет ГНПК», г. Орел;

Пановко Г.Я., д.т.н., профессор, зав. лабораторией, ФГБУН «Институт машиноведения им. А.А. Благонравова» Российской академии наук, г. Москва.

Работа поступила в редакцию 28.12.2014.