



УДК 617.3:62-523:004.891.2

UDC 617.3:62-523:004.891.2

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ
БИОМЕХАТРОННЫЙ ПОДХОД
К РЕАБИЛИТАЦИИ ПАЦИЕНТОВ
ТРАВМАТОЛОГО-ОРТОПЕДИЧЕСКОГО
ПРОФИЛЯ**

**AUTOMATED BIOMECHATRONIC
APPROACH TO REHABILITATION
OF TRAUMA AND ORTHOPEDIC
PATIENTS**

*А. Ф. Лысенко, Е. О. Гаранин,
Н. И. Антонова, П. Г. Скубак*

*A. F. Lysenko, E. O. Garanin,
N. I. Antonova, P. G. Skubak*

Донской государственной технической
университет, Ростов-на-Дону, Российская
федерация

Don State Technical University, Rostov-on-Don,
Russian Federation

aflysenko@gmail.com
garanin1392@gmail.com
ant.nina.ig@gmail.com
skubak.pavel92@gmail.com

aflysenko@gmail.com
garanin1392@gmail.com
ant.nina.ig@gmail.com
skubak.pavel92@gmail.com

Проанализированы существующие на мировом рынке решения по биомехатронной реабилитации пациентов травматолого-ортопедического профиля. Сформулированы технические требования и спроектирован автоматизированный биомехатронный комплекс реабилитации. Сформулированы принципы работы интеллектуальной системы управления комплексом на основе анализа электромиографических данных.

This paper analyzes the existing on the global market solutions to biomechatronic rehabilitation of trauma and orthopedic patients. The authors have formulated technical requirements and designed the automated biomechatronic rehabilitation complex. The paper formulates the main principles of work of smart complex control system based on the analysis of electromyographic data.

Ключевые слова: СРМ-терапия, автоматизированный биомехатронный комплекс.

Keywords: CPM-therapy, automated biomechatronic complex.

Введение. В настоящее время остро стоит вопрос о повышении эффективности реабилитации больных травматолого-ортопедического профиля с нарушением функции нижней конечности после эндопротезирования коленного и тазобедренного сустава. Наиболее быстрым и безопасным видом реабилитации является продолжительная пассивная разработка суставов (СРМ-терапия). В ее основе лежат длительные движения в одном или нескольких суставах на специальном роботизированном тренажере без участия мышечной силы пациента [1]. При помощи специализированного оборудования совершаются пассивные движения в нижней конечности, благодаря чему мышцы не сокращаются активно, снижается патологический мышечный гипертонус. Это позволяет добиться улучшения кровообращения в зоне операции, безболезненного увеличения объема движений в суставах, сокращению сроков восстановительного лечения более чем в 2 раза

Основная часть. Существующие на сегодняшний день механотерапевтические аппараты основаны на использовании двух основных конструктивных принципов — маятника и блока. Каждое такое устройство создано для работы с конкретной группой мышц и суставов за счет

дозированного сопротивления. Наиболее подходящее решение в каждом случае назначает врач-ортопед.

К устройствам маятникового типа, представленным на рынке, относится комплекс Lokomat (компания Нокота, Швейцария), предназначенный для интенсивной функциональной терапии опорно-двигательного аппарата (рис. 1).



Рис. 1. Комплекс Lokomat (Нокота, Швейцария)

Данный комплекс представляет собой управляемый компьютером роботизированный ортез, который используется в процессе тренировки на беговой дорожке. Механизм регулировки настраивает работу с учетом анатомических параметров пациента и существует возможность изменения самих параметров тренировки.

Электромеханотерапевтический аппарат блочного типа Artromot K1 Standart (DJO Global США) предназначен для разработки тазобедренного и коленного суставов (с непрерывным пассивным действием) (рис. 2).



Рис. 2. Электромеханотерапевтический аппарат Artromot K1 Standart (DJO Global США)

Данный аппарат является переносным тренажером лафетного типа, который воздействует на пассивную конечность пациента согласно заданной программе. Управляется с помощью ручного программного пульта.

Существенным недостатком обоих аппаратов является отсутствие возможности оперативной оценки состояния опорно-двигательного аппарата, мышечного тонуса, автоматической адаптации параметров реабилитации в ходе тренировки [5].

Качество процесса реабилитации может быть существенно повышено при использовании программно-управляемых комплексов, позволяющих в автоматическом и полуавтоматическом режимах осуществлять широкий комплекс исследований двигательных функций конечностей при компьютерной регистрации как параметров движения, так и электромиографических сигналов. Данный подход позволяет обеспечить возможность индивидуальной настройки программы реабилитации в динамическом режиме, сделать процесс реабилитации максимально комфортным и безболезненным для самого пациента, а также избавить лечащего врача от непосредственного контроля во время реабилитации. Использование автоматизированной СРМ-терапии дает возможность начинать раннюю агрессивную реабилитацию пациента [2,3], а применение системы интеллектуального анализа динамики состояния мышц на основе электромиографических данных и учета антропометрических особенностей пациента позволяет избежать необходимости грубого воздействия на параартикулярные ткани и внутрисуставного введения лекарственных смесей с одномоментной редрессацией [4].

В связи с этим автоматизированный биомехатронный комплекс реабилитации пациентов должен отвечать следующим требованиям:

- невысокая себестоимость производства;
- высокая надежность;
- наличие интеллектуальной системы анализа сигналов и интерактивной система управления;
- возможность корректировать режим реабилитационных процедур во время тренировок.

Автоматизированный биомехатронный комплекс реабилитации пациентов должен отвечать следующим техническим требованиям:

- сгибание/разгибание колена: 10–0–120°;
- сгибание/разгибание бедра: 0–15–120°;
- скорость: настраивается с шагом 5% в диапазоне от 5 до 100% и зависит от режима работы (пассивный или активный);
- питание: 100–240 В АС / 50–60 Гц;
- наличие системы динамической диагностики на основе данных о мышечной активности;
- наличие защитных кожухов;
- материалы: АБС, полиуретан, FR4, алюминий, нержавеющая сталь, латунь.

На основании представленных требований разработан проект автоматизированного биомехатронного комплекса (рис. 3).

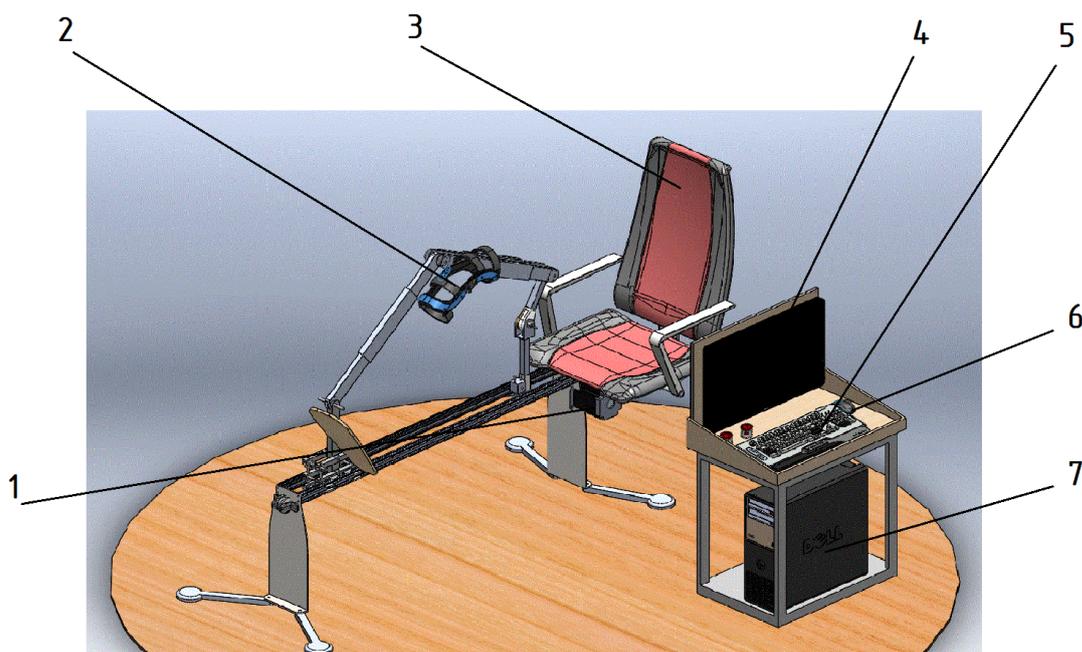


Рис. 3. Схема автоматизированного биомехатронного комплекса реабилитации пациентов (1- двигатель, 2- брейс (ложемент) на коленный сустав с полицентрическими шарнирными замками, 3- кресло, 4- графический монитор, 5- клавиатура, 6- мышь, 7- персональный компьютер)

Автоматизированный биомехатронный комплекс представлен рамой с установленным на ней регулируемым креслом. Перед креслом располагается направляющая с закрепленным на ней исполнительным механизмом, который оснащён ложементом для фиксации бедра и голени. Исполнительный механизм представляет собой двух-плечевую телескопическую конструкцию, подстраиваемую под антропометрические особенности каждого пациента. Приводной системой исполнительного механизма является связка мотор-редуктор и ременная передача. Для обеспечения синтеза системы управления с приводом комплекс должен быть оснащён датчиком углового положения вала двигателя, датчиком углового положения плечей ложемента, датчиком тока двигателя, датчиком нагрузки исполнительного элемента.

Поскольку комплекс напрямую взаимодействует с конечностью пациента, необходим контроль мышечной активности (электромиография) и его общего состояния. Использование электромиографических датчиков предполагает большой поток входных аналоговых данных, высокую зашумленность сигналов, необходимость обработки данных в режиме реального времени, а также вводит фактор неопределенности при интерпретации входных аналоговых данных от конечности пациента. В связи с этим, в комплексе предполагается использование цифрового сигнального процессора. Архитектура и характеристики таких процессоров позволяют реализовать человеко-машинный интерфейс и глобальную экспертную систему. Человеко-машинный интерфейс будет реализован как терминал, позволяющий специалисту-медику наблюдать за изменениями показателей и формировать курсы упражнений, опираясь на данные, полученные от экспертной системы.

Задачами экспертной системы для данного комплекса являются:

- представление изменяющихся во времени данных, поступающих от электромиографических датчиков, обеспечение хранения и анализа изменяющихся данных;

- протоколирование действий персонала, обеспечение восстановления системы после сбоя;
- обеспечение наполнения базы данных;
- обеспечение создания и поддержки пользовательских интерфейсов для различных категорий пользователей (пациент, лечащий врач);
- обеспечение уровня защиты информации (по категориям пользователей) и предотвращение несанкционированного доступа;
- возможность обучаться и корректировать режим реабилитации.

В основе действия комплекса реабилитации заложено повышение автономности механотерапевтических процедур посредством динамической адаптации нагрузок к реакции и состоянию пациента. Эта цель достигается использованием обратной связи в виде электромиографических данных, поступающих от мышечных тканей в специальные датчики, закрепленные в ложементе. Данные от датчиков по кабелям связи будут поступать в персональный компьютер, который будет отображать информацию для оператора (рис. 4), что позволит составлять оптимальную программу тренировок и формировать управляющее воздействие для манипулятора тренажера. Пациент, находясь в кресле, может совершать воздействие на манипулятор, которое будет измеряться с помощью тензометрических датчиков.



Рис. 4. Интерфейс оператора

При составлении программы реабилитации вводятся антропометрические параметры пациента (длина бедра, голени), задается скорость движения, максимальные углы сгибания. Гибкая система настроек автоматизированного биомехатронного комплекса позволяет начинать занятия практически в день операции, значительно сокращая сроки реабилитации пациента.

**Библиографический список.**

1. Чмутов, А. М. Обоснование алгоритмов диагностики и лечения пациентов с передней нестабильностью коленного сустава / А. М. Чмутов // *Фундаментальные исследования*. — 2013. — № 9 (часть 5). — С. 934–938.
2. Применение СРМ-терапии у пациентов после травм и ортопедических операций в амбулаторной практике / Е. Ш. Ломтатидзе [и др.] // *Вестник последипломного медицинского образования*. — 2012. — № 2. — С. 31–33.
3. V. Bruun-Olsen, K. E. Heiberg, and A. M. Mengshoel Continuous passive motion as an adjunct to active exercises in early rehabilitation following total knee arthroplasty — a randomized controlled trial. *Disabil Rehabil*, 2010; 31.
4. L. Brosseau, S. Milne, G.W., Peter Tugwell, V. Robinson, L. Casimiro Efficacy of continuous passive motion following total knee arthroplasty: a metaanalysis. *The Journal of Rheumatology* November 1, 2011 vol. 31 no. 11: 2251—2264.
5. Лечение травм колена [Электронный ресурс] : Орторент. — Режим доступа : <http://ortorent.ru/lechenie-travm-kolena> (дата обращения : 20.01.2017).