

ЭЛЕКТРОНИКА, РАДИОФИЗИКА, РАДИОТЕХНИКА, ИНФОРМАТИКА

УДК 51-76; 612.741.1; 612.76

**ТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КОМПЛЕКСНОЙ СТРУКТУРНО-
ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ ДВИЖЕНИЙ ЧЕЛОВЕКА**

Н.С. ДАВЫДОВА

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь**Поступила в редакцию 7 мая 2012*

Работа посвящена разработке алгоритма функционирования технической системы комплексной структурно-функциональной диагностики движений человека, реализующей одновременную регистрацию в реальном масштабе времени и совместный анализ электрофизиологических и биомеханических параметров движения. В соответствии с разработанным алгоритмом предложены способы технической реализации данной системы.

Ключевые слова: двигательный навык человека, структурно-функциональная диагностика, биомеханика, электрофизиология, электромиографический портрет движения.

Введение

Задача комплексной структурной и функциональной диагностики движений человека является актуальной для медицины (двигательная реабилитация, клиническая биомеханика, протезирование), спорта (спортивная медицина, эффективное обучение, прогнозирование двигательной одаренности у детей) и профессионально-трудовой деятельности (эффективные профессиональные навыки) [1–3]. Несмотря на развитие большого числа методов биомеханического (подография, стабилметрия и т.д.) и электрофизиологического (электромиография, электрокардиография и т.д.) исследования движений человека, комплексное применение данных методов наблюдается, прежде всего, в клинической практике для диагностики функционального состояния и нарушений опорно-двигательного аппарата человека. При этом перечень выполняемых движений в клинической практике ограничивается простыми бытовыми и рабочими движениями (ходьба, стояние, хватание, циклические двигательные акты) [4–5]. В области спорта и профессионально-трудовой деятельности преобладает использование биомеханических методов анализа движений человека [6]. Это связано с конструктивными особенностями технических средств электрофизиологических исследований и сложной структурно-функциональной организацией исследуемых движений. Биомеханические методы исследования позволяют оценить технику выполнения спортивного упражнения, но не дают информации о физиологических механизмах двигательного акта [7].

Таким образом, необходимо разработать алгоритмы функционирования и способы технической реализации систем комплексной структурно-функциональной диагностики двигательных способностей человека, применение которых возможно как в клинической, так и в спортивной практике вне зависимости от сложности исследуемого движения и реализующие быстрые методики анализа получаемых данных.

Основная часть

Проведенные в работах [8–10] исследования показали результативность комплексного подхода к анализу двигательных навыков человека, сущность которого сводится к совместному

рассмотрению электрофизиологических и биомеханических параметров движения, а также построению электромиографического портрета движения, который представляет собой совокупность пространственно-временных и амплитудных электромиографических характеристик движения [11].

Разработка алгоритма функционирования технической системы комплексной структурно-функциональной диагностики движений человека осуществлялась на базе предложенной автором методики построения и анализа электромиографического портрета движения, основанной на методах многоканальной электромиографии, подографии и видеосъемки [8, 9, 12, 13]. Методика включает: 1) синхронную регистрацию в реальном масштабе времени заданного количества каналов электромиограммы (выбираются мышцы, преимущественно обеспечивающие исследуемую двигательную деятельность), четырех каналов подограммы (регистрируются моменты отрыва и касания отдельно пятки и носка каждой ноги) и видеодорожки; 2) цифровую обработку полученных сигналов многоканальных электромиограмм и подограмм и построение электромиографического портрета движения; 3) анализ электромиографического портрета движения, который сводится к рассмотрению энергетического вклада каждой мышцы в формирование движения, оценке характера распределения усилий работающих мышц по фазам движения, а также вычислению общих динамических характеристик движения.

На рис. 1,а показан пример электромиографического (ЭМГ) портрета движения «прыжок вперед с места». На рисунке представлены нормированные электромиограммы мышц Rectus Femoris, Biceps Femoris, Gastrocnemius и Soleus правой ноги, а также показаны маркеры границ фаз движения, соответствующих временным моментам: «начало движения», «отрыв пятки», «отрыв носка», «касание пятки», «касание носка» и «конец движения». Для указанного движения выделены следующие фазы: фаза подседа (1) – от начала движения до отрыва пятки, фаза толчка (2) – от момента отрыва пятки до момента отрыва носка, фаза полета (3) – от момента отрыва носка до момента касания пятки, фаза приземления (4) – от момента касания пятки до момента касания носка, фаза подъема (5) – от момента касания носка до конца движения. На рис. 1,б представлены кадры синхронной видеосъемки, соответствующие выделенным фазам движения.

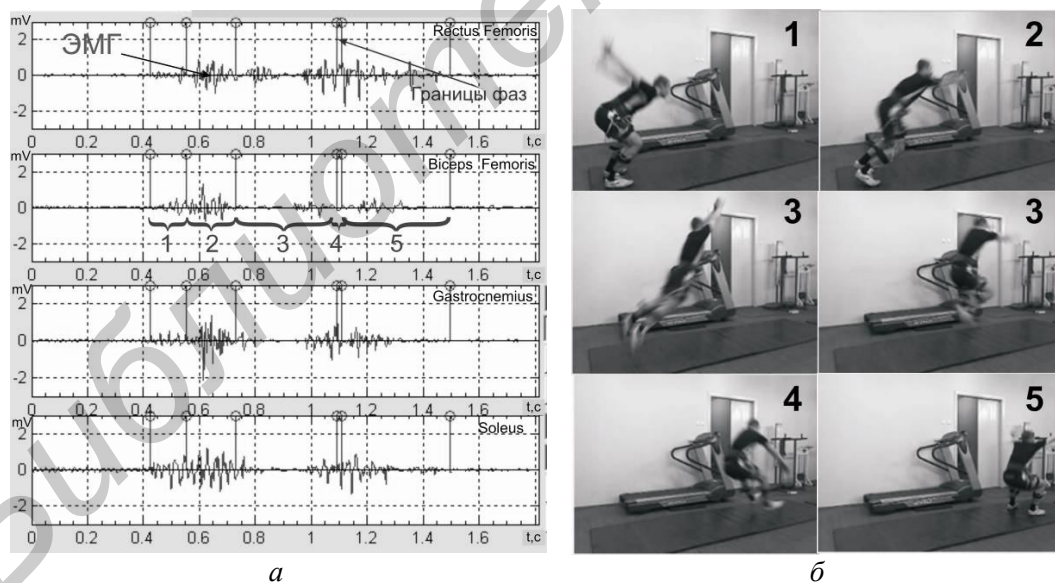


Рис. 1. Пример ЭМГ портрета движения «прыжок вперед с места» (а); кадры синхронной видеосъемки, соответствующие выделенным фазам движения (б): 1 – фаза подседа, 2 – фаза толчка, 3 – фаза полета, 4 – фаза приземления, 5 – фаза подъема

Алгоритм функционирования технической системы структурно-функциональной диагностики движений человека представлен на рис. 2. Согласно алгоритму процедура структурно-функциональной диагностики движений человека происходит в три этапа: этап задания исходных параметров; этап регистрации электрофизиологических и биомеханических сигналов в режиме реального времени; этап последующей структурно-функциональной диагностики движения.

На этапе задания исходных параметров пользователь вносит в базу данных необходимую информацию о пациенте (рост, вес, диагноз, спортивная подготовка и т.д.), выбирает необходимое количество каналов электромиограммы (ЭМГ) и производит назначение исследуемых мышц, выбирает биомеханические датчики для построения пространственно-временной структуры движения, а также указывает тип исследуемого движения.

После разрешения пользователем начала диагностической процедуры наступает этап регистрации электрофизиологических и биомеханических сигналов в режиме реального времени. На данном этапе осуществляются регистрация и графическое построение электрофизиологических и биомеханических сигналов в реальном масштабе времени.

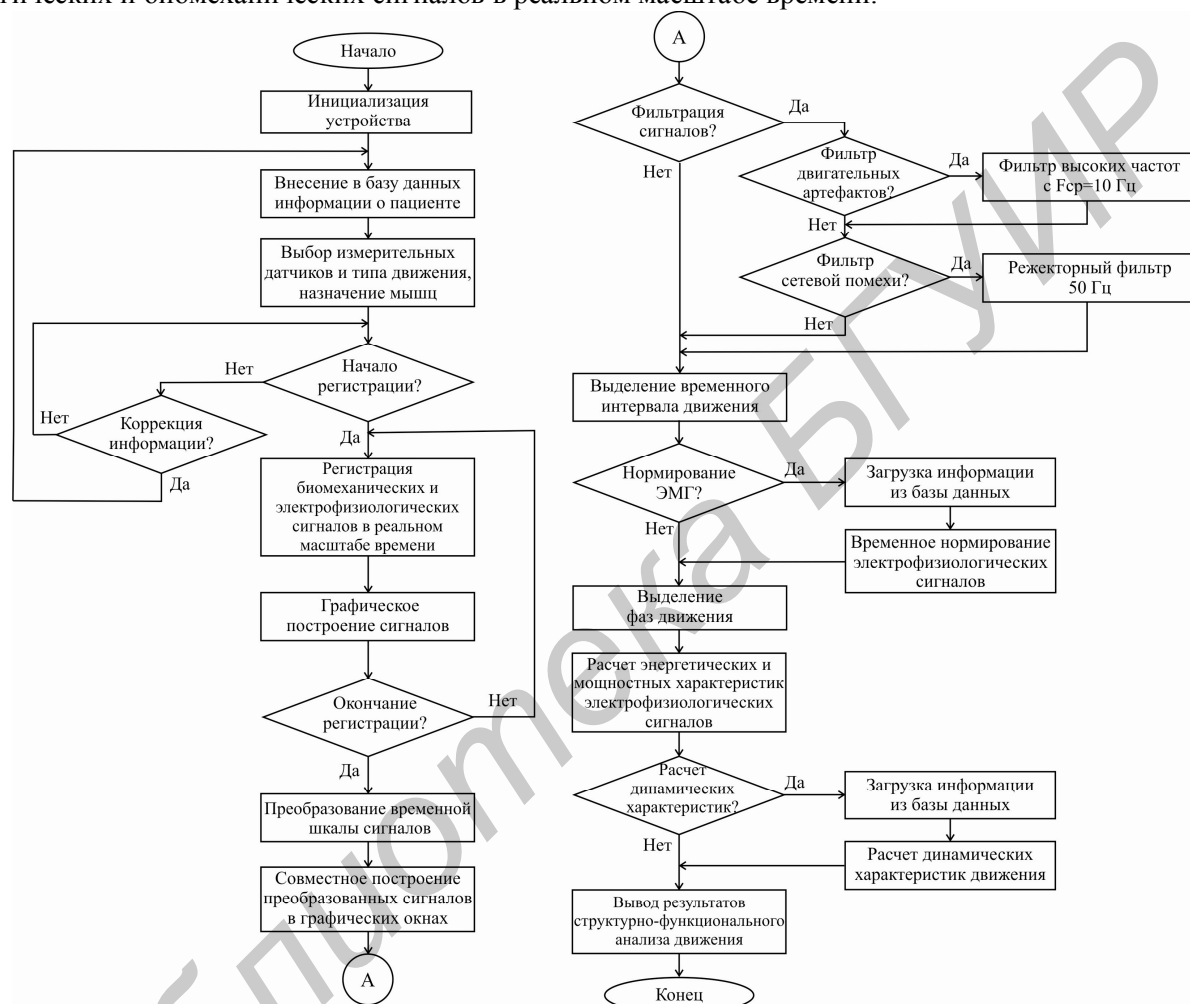


Рис. 2. Алгоритм функционирования технической системы структурно-функциональной диагностики движений человека

После разрешения пользователем окончания диагностической процедуры наступает этап структурно-функциональной диагностики движения по следующему алгоритму:

1. Совмещение электрофизиологических и биомеханических сигналов с целью совместного рассмотрения иннервационной и пространственно-временной структуры движения. При этом происходит преобразование временных шкал сигналов с учетом их частот дискретизации к общему базису и последующее построение сигналов в одних графических окнах.

2. Фильтрация сигналов многоканальных электромиограмм с целью удаления двигательных артефактов и сетевой помехи из спектра полезного сигнала. Для фильтрации двигательных артефактов используется фильтр высоких частот с частотой среза 10 Гц, для сетевой помехи – режекторный фильтр 50 Гц. При конструировании названных фильтров необходимо обеспечить минимизацию амплитудных и фазовых искажений в полосе пропускания и заданное подавление сигнала в полосе задерживания [14].

Применение фильтров необходимо ограничить случаями реального зашумления полезного сигнала, т.к. любой фильтр вносит дополнительные фазовые и/или амплитудные искажения в исходный сигнал.

3. Временное нормирование сигналов многоканальных электромиограмм для корректного сравнения электромиографического портрета одного и того же движения у разных людей. При этом пользователь интерактивно выделяет временной интервал движения, далее в зависимости от типа движения, из базы данных загружается информация о временной норме и происходит приведение сигналов многоканальных ЭМГ к выбранной норме.

Нормирование электрофизиологических сигналов не является обязательной процедурой, однако рекомендуется для унификации электромиографических портретов одного и того же движения у разных людей.

4. Выделение временных интервалов фаз движения. Фазы движения выделяются на основании пространственно-временной структуры движения (биомеханические сигналы). При этом определяются время начала и время конца каждой фазы движения.

В последствии пространственно-временная структура движения представляется в виде временных интервалов фаз движения, для которых характерно определенное положение тела человека в пространстве.

5. Расчет энергетических и мощностных характеристик ЭМГ - сигналов для определения энергетического вклада каждой мышцы в формирование движения и оценки распределения усилий работающих мышц по фазам движения. При этом рассчитываются суммарная энергия ЭМГ каждой мышцы, абсолютная и процентная доля энергии ЭМГ исследуемых мышц для каждой фазы движения, а также мощность сигнала ЭМГ работающих мышц во всех фазах движения.

6. Расчет динамических характеристик движения. При этом в зависимости от типа движения из базы данных загружается необходимая информация об испытуемом (рост, вес и т.д.) и расчетные соотношения, далее вычисляются общие динамические характеристики движения, такие как работа и мощность.

Вывод результатов структурно-функциональной диагностики движения осуществляется в заданном пользователем виде (графические карточки, табличная информация и т.д.).

В соответствии с разработанным алгоритмом предложена структурная схема технической системы структурно-функциональной диагностики движений человека (рис. 3). Согласно разработанной схеме, техническая система структурно-функциональной диагностики движений человека работает следующим образом. При выполнении человеком какого-либо двигательного действия производится регистрация электрофизиологических и биомеханических параметров движения с помощью блока регистрации иннервационной структуры движения и блока регистрации пространственно-временной структуры движения (совместно – блок регистрации данных). При этом блок регистрации иннервационной структуры движения осуществляет отведение посредством блока электродов заданного количества каналов интерференционной электромиограммы выбранных мышц. В свою очередь, блок регистрации пространственно-временной структуры движения осуществляет запись внешних двигательных проявлений. Выбор датчиков для блока регистрации пространственно-временной структуры движения зависит от типа исследуемого движения. Для исследования локомоций, связанных с перемещением тела относительно опоры (ходьба, бег, прыжки) могут использоваться подографические датчики, для исследования циклических движений (ходьба, бег, велоспорт) – гониометрические датчики, для двигательных актов, выполняемых с ускорением, предпочтительно применение акселерометрических датчиков и т.д. В зависимости от сложности структуры исследуемого движения и необходимой степени детализации возможно совместное применение датчиков различных типов.

Многоканальные аналоговые сигналы с блоков регистрации иннервационной и пространственно-временной структуры движения поступают на аналогово-цифровые преобразователи (АЦП). При этом с целью синхронизации регистрируемых электрофизиологических и биомеханических данных предусмотрен блок синхронизации, который обеспечивает запуск и тактирование АЦП с учетом необходимой частоты дискретизации для каждого блока.

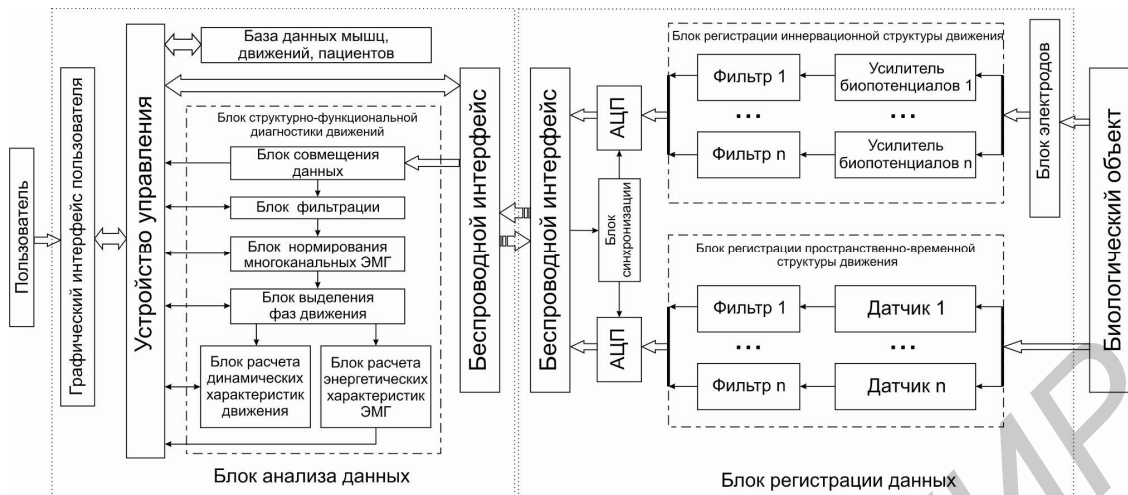


Рис. 3. Структурная схема технической системы структурно-функциональной диагностики движений человека

Конструктивно блок регистрации данных в целом и каждый измерительный датчик в отдельности должны быть выполнены с минимальными размерами и весом, а крепление последних не должно мешать естественному выполнению человеком заданного движения. Кроме того, необходимо предусмотреть автономное питание блока регистрации данных с возможностью подзарядки по требованию.

Блок регистрации данных осуществляет передачу оцифрованных электрофизиологических и биомеханических сигналов в блок анализа данных в реальном масштабе времени по беспроводному интерфейсу. Стандарт беспроводного интерфейса необходимо выбирать с позиции обеспечения максимального расстояния и максимальной скорости передачи данных при минимальном энергопотреблении.

Для корректного обмена данными между функциональными частями технической системы структурно-функциональной диагностики движений человека необходима разработка стека протоколов, который должен включать транспортные протоколы передачи данных (с учетом выбранного стандарта беспроводного интерфейса), а также программные протоколы обмена данными, регламентирующие форматы управляющих и информационных посылок данных.

В режиме реального времени в блоке анализа данных принимаемые электрофизиологические и биомеханические сигналы через устройство управления поступают на графический интерфейс пользователя с целью контроля процесса регистрации данных. При этом частота обновления графических окон зависит, во-первых, от частоты дискретизации принимаемых сигналов, а во-вторых, от размера принимаемой посылки данных. Кроме того, устройство управления служит для организации работы технической системы в целом.

Последующий анализ сигналов многоканальных электромиограмм и биомеханических параметров двигательного действия осуществляется в блоке структурно-функциональной диагностики движений в диалоге с пользователем и с привлечением информации из базы данных посредством устройства управления. База данных содержит не только внесенную пользователем информацию о пациенте (рост, вес, диагноз, спортивная подготовка и т.д.), выбранные для исследования мышцы и вид движения, но и расчетные соотношения динамических характеристик для различных движений.

Блок структурно-функциональной диагностики движений осуществляет обработку полученных электрофизиологических и биомеханических сигналов в соответствии с алгоритмом, описанным выше.

Рассмотренные алгоритм функционирования и структурная схема технической системы структурно-функциональной диагностики двигательных действий человека использованы при создании аппаратно-программного комплекса для исследования движений человека «МиоСпорт» (рис. 4).



Рис. 4. Аппаратно-программный комплекс для исследования движений человека «МиоСпорт»

Комплекс «МиоСпорт» разработан в Белорусском государственном университете информатики и радиоэлектроники и предназначен для совместного исследования иннервационной и пространственно-временной структуры движений человека путем многоканальной электромиографии и подографии с возможностью синхронной видеосъемки. Основные области применения – диагностическая медицина, реабилитационная медицина, спортивная медицина, клиническая биомеханика и биомеханика спорта.

Заключение

Разработаны алгоритм функционирования и структурная схема технической системы комплексной структурно-функциональной диагностики движений человека на основе совместного анализа электрофизиологических и биомеханических параметров двигательных действий, а также построения электромиографического портрета движения. Особенности предложенной системы являются одновременная регистрация в реальном масштабе времени электрофизиологических и биомеханических параметров движения, комплексный анализ получаемых данных, возможность исследования движений со сложной структурно-функциональной организацией.

Предложенная техническая система предназначена для изучения двигательных способностей человека в клинической и спортивной медицине (двигательная реабилитация, клиническая и спортивная биомеханика, протезирование), тренировочном процессе (контроль двигательного стереотипа спортсмена, прогнозирование двигательной одаренности у детей) и профессионально-трудовой деятельности (эффективное обучение профессиональным навыкам, профотбор).

Работа выполнена при поддержке гранта Министерства образования РБ на 2011 год «Метод и технические средства дистанционной функциональной диагностики двигательных навыков спортсменов на основе многоканальной электромиографии».

Автор выражает слова благодарности научному руководителю к.т.н., доценту Осипову А.Н. за определение целей и задач исследований, помощь в интерпретации и обобщении научных результатов; мужу и коллеге Давыдову М.В. за огромное терпение и всестороннюю поддержку, а также другу – компаньону Меженной М.М. за помощь в проведении исследований.

THE TECHNICAL SYSTEM OF THE COMPLEX STRUCTURE FUNCTIONAL DIAGNOSTICS OF THE PERSON MOTIONS

N.S. DAVYDOVA

Abstract

The article is devoted to development of the work algorithm of technical system of complex structure functional diagnostics of the person motions. The system allows synchronously recording and simultaneously analysing of the electrophysiological and biomechanical parameters of the person motions. According to the developed algorithm ways of technical realization of the system are offered.

Список литературы

1. Уилмор Дж. Х., Костилл Д.Л. Физиология спорта и двигательной активности. Киев, 1997.
2. Лукьяненко В.П. Физическая культура. Основы знаний. М., 2003.
3. Moore J. Biomedical Technology and Devices Handbook. CRC, 2004.
4. Konrad P. The ABC of EMG. A Practical Introduction to Kinesiological Electromyography. Noraxon, 2005.
5. Миронов Е.М., Витензон А.С. // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2005, №1. С. 55–61.
6. Payton C.J., Bartlett R.M. Biomechanical Evaluation of Movement in Sport and Exercise: The British Association of Sport and Exercise Sciences Guide. Routledge, 2007.
7. Levy J.H. Biomechanics: Principles, Trends and Applications. Nova Science Publishers, 2009.
8. Давыдова Н.С., Осипов А.Н., Меженная М.М. и др. // Инженерный вестник. 2010. №2(30). С. 86–91.
9. Давыдова Н.С. // Новости медико-биологических наук. 2011. Т. 4, №4. С. 178–186.
10. Давыдова Н.С., Осипов А.Н., Давыдов М.В. и др. // Докл. БГУИР. 2012. №1(63). С. 40–46.
11. Алев Л.С. «Миотон» в управлении движениями. Киев, 1980.
12. Давыдова Н.С., Осипов А.Н., Меженная М.М. и др. // Материалы республиканской научно-практической конференции «Современные проблемы курортной терапии». Гродно: ГрГМУ, 2010. С. 170–174.
13. Давыдова Н.С., Осипов А.Н., Меженная М.М. и др. // Медэлектроника 2008. Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии. 2008. С. 312–316.
14. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. СПб., 2003.