

Учреждение образования
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

УДК 51-76; 612.741.1; 612.76

ДАВЫДОВА
Надежда Сергеевна

**АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС МНОГОКАНАЛЬНОЙ
ЭЛЕКТРОМИОГРАФИИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ДВИГАТЕЛЬНЫХ
НАВЫКОВ ЧЕЛОВЕКА**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.11.17 – Приборы, системы и изделия медицинского
назначения

Минск 2012

Работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Научный руководитель

Осипов Анатолий Николаевич, кандидат технических наук, доцент, первый проректор учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Официальные оппоненты:

Борботько Тимофей Валентинович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры защиты информации учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Кашицкий Эдуард Степанович, кандидат медицинских наук, доцент, ведущий научный сотрудник ГНУ «Институт физиологии НАН Беларуси»

Оппонирующая организация

Белорусский национальный технический университет

Защита состоится « 29 » ноября 2012 г. в 16.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.15.06 при учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 6, корп. 1, ауд. 232, тел. 293-89-89, e-mail: dissovet@bsuir.by.

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Двигательные навыки, являясь автоматизированной формой владения двигательным действием, имеют исключительно большое значение во всех сферах деятельности человека. Задача анализа внешних двигательных проявлений (кинематических, динамических, временных и пространственных параметров движения) и внутренних механизмов управления движениями (мышечная активность) является актуальной для медицины, спорта и ряда областей профессионально-трудовой деятельности. Функциональная сложность и многокомпонентность организации двигательной системы человека определяет необходимость комплексного подхода к изучению движений человека, сущность которого сводится к совместному рассмотрению синхронно регистрируемых электрофизиологических и биомеханических параметров движения.

Существующие методы и технические решения для изучения движений человека, основанные на применении электрофизиологических и биомеханических методов, используются прежде всего в клинической практике для диагностики функционального состояния и нарушений опорно-двигательного аппарата человека. В области спорта преобладает использование биомеханических методов анализа движений человека, которые позволяют оценить технику выполнения спортивного упражнения, но не дают информации о физиологических механизмах двигательного акта. Применение комплексного подхода в области спорта ограничено сложной структурно-функциональной организацией исследуемых движений, отсутствием автоматизированных алгоритмов совместного анализа биомеханических и электрофизиологических данных, конструктивными и техническими особенностями требуемых средств электрофизиологических исследований (необходима многоканальность, компактность, автономное питание, беспроводная передача данных).

Таким образом, диссертационная работа посвящена разработке методов и технических систем комплексной структурно-функциональной диагностики двигательных навыков человека, которые реализуют синхронную регистрацию в реальном масштабе времени электрофизиологических и биомеханических параметров движения и последующий совместный анализ получаемых данных, применение которых возможно в клинической и спортивной практике вне зависимости от сложности исследуемого движения.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами и темами

Тема диссертационной работы утверждена приказом ректора учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» № 370-о от 31.12.2009.

Работа выполнялась в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» в рамках научно-исследовательских госбюджетных тем: 1. ГБЦ № 08-3062 «Исследование спектральных характеристик сигналов электромиографии в норме и патологии» (2008 г., № ГР 20080797). 2. ГБЦ № 06-3037 «На основе сочетания электростимуляции скелетных мышц и нистагмографии разработать технические средства для повышения эффективности восстановления двигательных функций у больных» (2009–2010 гг., № ГР 20066832). 3. ГБЦ № 11-3114 «Вероятностно-статистические методы анализа временных рядов многоканальных нейрограмм для выявления и оценки состояний, сопровождающихся нарушением деятельности мозга» (2011–2012 гг., № ГР 20121100). 4. ГБЦ № 11-3130 «Метод и технические средства дистанционной функциональной диагностики двигательных навыков спортсменов на основе многоканальной электромиографии» (2011 г., № ГР 20120957). 5. ГБЦ № 12-3095 «Метод и технические средства управляемого изменения двигательного навыка спортсмена на основе многоканальной электростимуляции и биологической обратной связи» (2012 г., № ГР 20121836). 6. ГБЦ № 12-7032 «Моделирование биоэлектрической активности нервно-мышечного аппарата человека для повышения эффективности электромиографии и определения композиционного состава мышц» (2012–2013 гг., № ГР 20122715).

Цель и задачи исследования

Целью диссертационной работы является разработка методов и технических систем комплексной структурно-функциональной диагностики двигательных навыков человека на основе совместного анализа синхронно регистрируемых электрофизиологических и биомеханических параметров движения.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Разработать способ комплексной структурно-функциональной диагностики двигательных навыков человека, основанный на синхронной

регистрации в реальном масштабе времени электрофизиологических и биомеханических параметров движения и последующем совместном анализе получаемых данных.

2. Разработать метод оценки воспроизводимости двигательных навыков человека на основе анализа электрофизиологических и биомеханических параметров неоднократно повторяемого движения.

3. Разработать алгоритмы функционирования и структурные схемы технических систем комплексной структурно-функциональной диагностики движений человека для анализа согласованности работы мышц при выполнении движения, определения стабильности результата двигательного действия и оценки уровня физической подготовленности человека.

4. Разработать аппаратно-программный комплекс для синхронной регистрации в реальном масштабе времени электрофизиологических и биомеханических параметров движений человека посредством многоканальной электромиографии и подографии с синхронной записью видеоизображения.

Объектом исследования являются двигательные навыки человека.

Предметом исследования являются электрофизиологические (многоканальные интерференционные электромиограммы) и биомеханические (многоканальные подограммы, видеоизображения) характеристики движений человека.

Положения, выносимые на защиту

1. Способ комплексной структурно-функциональной диагностики двигательных навыков человека, основанный на совместном анализе электрофизиологических параметров движения (совокупности многоканальных электромиограмм в диапазоне амплитуд 30 мкВ – 5 мВ) и индивидуальных биомеханических характеристик движения человека (совокупности многоканальных подограмм с временным разрешением 3,125 мс), позволяющий производить оценку энергетического вклада каждой мышцы в формирование движения, вычислять распределение усилий работающих мышц по фазам движения и рассчитывать общие энергетические характеристики движения (энергия и мощность движения).

2. Метод оценки воспроизводимости двигательных навыков человека на основе статистического анализа параметров электромиографических портретов неоднократно повторяемого движения, позволяющий определить стабильность двигательного действия вне зависимости от силы выполнения движения и учитывающий степень участия мышц в каждой фазе движения, что позволило установить взаимосвязь между коэффициентом вариабельности (K)

двигательного навыка человека и уровнем его физической подготовленности (группа общей физической подготовленности $K = 8,06 \pm 1,82$, группа хорошей физической подготовленности – $4,80 \pm 1,04$, группа спортсменов – $3,93 \pm 0,67$), а также корреляцию между коэффициентом варибельности двигательного навыка человека и энергией, развиваемой при выполнении движения (коэффициент линейной корреляции Пирсона $r = -0,676$, $p \leq 0,05$).

3. Алгоритмы функционирования технических систем комплексной структурно-функциональной диагностики двигательных способностей человека, особенностью которых является совместный анализ электрофизиологических и биомеханических параметров движений, а также анализ воспроизводимости двигательных навыков человека, на основании которых разработан аппаратно-программный комплекс многоканальной электромиографии для диагностики двигательных навыков человека, осуществляющий регистрацию в реальном масштабе времени 4-х каналов электромиограммы и 4-х каналов подограммы, беспроводную передачу данных на расстояние до 100 м и синхронизированную запись видеозображения, позволяющий оценить согласованность работы мышц при выполнении движения, определить стабильность результата двигательного действия и оценить уровень физической подготовленности человека.

Личный вклад соискателя

Все результаты, приведенные в диссертации, получены автором самостоятельно. Автором лично предложен способ комплексной структурно-функциональной диагностики двигательных навыков человека, метод оценки воспроизводимости двигательных навыков человека; разработаны алгоритмы функционирования и структурные схемы технических систем комплексной структурно-функциональной диагностики двигательных способностей человека, а также аппаратно-программный комплекс многоканальной электромиографии и подографии с синхронной записью видеозображения. В совместно опубликованных работах автором осуществлялась постановка задачи, разработка методик проведения экспериментов, непосредственное проведение исследований, анализ результатов и формулировка выводов.

Определение целей и задач исследований, анализ методик проведения исследований, интерпретация и обобщение научных результатов проводились совместно с научным руководителем диссертации канд. техн. наук А.Н. Осиповым. Соавторами опубликованных работ являются канд. техн. наук А.Н. Осипов, канд. техн. наук М.В. Давыдов, аспирант БГУИР М.М. Меженная. В совместно опубликованных работах М.В. Давыдовым осуществлялась

разработка алгоритма управления параметрами сигналов электростимуляции для коррекции двигательного навыка человека, М.М. Меженной – спектральный анализ интерференционных электромиограмм мышц в норме и при патологии. Результаты, полученные соавторами работ, в диссертацию не вошли.

Апробация результатов диссертации

Материалы диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих научных конференциях и симпозиумах: V Международная научно-техническая конференция «Медэлектроника – 2008» (Минск, Беларусь, 2008 г.); 5-я Международная молодежная научно-техническая конференция «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ-2009» (Севастополь, Украина, 2009 г.); 2-я Международная студенческая научно-техническая конференция «Новые направления развития приборостроения» (Минск, Беларусь, 2009 г.); 6-я Международная молодежная научно-техническая конференция «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ-2010» (Севастополь, Украина, 2010 г.); VIII Белорусско-российская научно-техническая конференция «Технические средства защиты информации» (Браслав, Беларусь, 2010 г.); 3-я Международная научно-техническая конференция «Приборостроение – 2010» (Минск, Беларусь, 2010 г.); VI Международная научно-техническая конференция «Медэлектроника – 2010» (Минск, Беларусь, 2010 г.); 7th International Conference «Digital Technologies 2010» (Zilina, Slovakia, 2010 г.); 7-я Международная молодежная научно-техническая конференция «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ-2011» (Севастополь, Украина, 2011 г.); II Международная молодежная научно-практическая конференция «Научные стремления 2011» (Минск, Беларусь, 2011 г.); 54-th Scientific Conference for Young Students of Physics and Natural Sciences (March 28-31, Vilnius, Lithuania, 2012 г.).

Опубликованность результатов диссертации

Основные результаты по теме диссертации опубликованы в 19 печатных работах: 6 статей в научных журналах, рекомендованных ВАК для опубликования результатов диссертационных исследований, 10 статей в сборниках материалов конференций, 3 тезисов докладов. Получен 1 патент Республики Беларусь на полезную модель. Без соавторства опубликованы 2 работы в научных журналах. Общий объем опубликованных работ составляет 5,2 авторского листа.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав с краткими выводами по каждой главе, заключения, библиографического списка, списка публикаций автора и приложений. В первой главе проведен анализ основных биомеханических и электрофизиологических методов исследования двигательной активности человека. Во второй главе предложены методы структурно-функциональной диагностики движений человека. Третья глава содержит результаты исследования двигательных навыков человека. В четвертой главе представлены разработанные алгоритмы функционирования и структурные схемы технических систем комплексной структурно-функциональной диагностики двигательных способностей человека. Общий объем диссертационной работы составляет 141 страницу, включая 85 страниц основного текста, 39 иллюстраций на 26 страницах, 8 таблиц на 3 страницах, библиографический список из 163 наименований на 12 страницах, список публикаций автора, содержащий основные научные результаты диссертации из 20 наименований на 3 страницах, 2 приложения на 12 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, рассмотрены основные направления исследований движений человека, поставлена задача исследований и приведены методы ее решения.

В первой главе обобщена теоретическая информация о пространственно-временных особенностях и физиологических механизмах формирования двигательного акта человека. Показано, что движение человека представляет собой результат согласованной работы целостной совокупности функциональных механизмов и процессов, которая складывается в ходе построения действия при ведущей роли высших отделов центральной нервной системы и обеспечивает консолидацию всех систем организма, участвующих в его осуществлении. Соответственно для изучения такой сложноорганизованной системы требуется комплексный подход, сущность которого сводится к совместному рассмотрению синхронно регистрируемых электрофизиологических и биомеханических параметров движения человека.

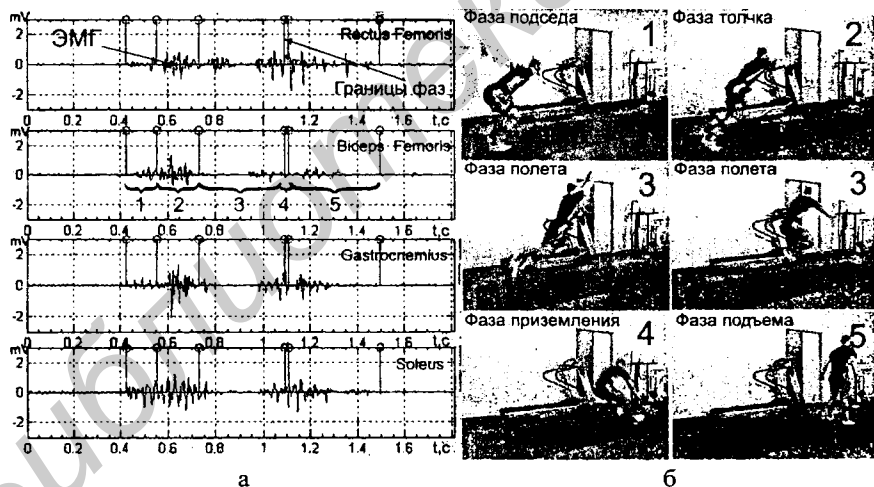
Анализ основных методов исследования двигательной активности человека позволил обоснованно выбрать в качестве метода исследования электрофизиологических параметров движения метод многоканальной интерференционной электромиографии. Для исследования биомеханических параметров движения выбраны методы подографии и видеосъемки.

Комплексное применение названных методов позволяет строить электромиографический портрет движения человека, представляющий собой совокупность временных, пространственных и амплитудных электромиографических характеристик движения.

Во второй главе приведена методика построения электромиографического портрета движения человека на основе совместного анализа синхронно регистрируемых сигналов многоканальных электромиограмм (ЭМГ) и подограмм, а также видеосъемки регистрируемого движения. Методика включает следующие этапы:

1. Выбор мышечных групп, преимущественно обеспечивающих исследуемую двигательную деятельность.
2. Построение иннервационной структуры движения на основе многоканальной интерференционной электромиографии.
3. Построение пространственно-временной структуры движения на основе подографии и синхронной видеосъемки.
4. Построение электромиографического портрета движения.

Пример построения электромиографического портрета тестового движения «прыжок вперед с места» представлен на рисунке 1.



а – электромиографический портрет тестового движения; б – кадры синхронной видеосъемки, соответствующие выделенным фазам движения

Рисунок 1 – Построение электромиографического портрета тестового движения «прыжок вперед с места»

Предлагается способ комплексной структурно-функциональной диагностики двигательных навыков человека на основе анализа электромиографического портрета движения. Данный способ включает анализ энергетического вклада каждой мышцы в формирование движения, оценку распределения усилий работающих мышц по фазам движения, а также вычисление общих энергетических характеристик движения. Производится расчет энергии электромиографического сигнала каждой мышцы, абсолютной и процентной доли энергии электромиографического сигнала исследуемых мышц для каждой фазы движения. Кроме того, рассчитываются общая энергия и мощность движения. Для качественного анализа электромиографического портрета движения строятся графики энергии электромиографического сигнала исследуемых мышц с накоплением.

Предлагается метод оценки воспроизводимости двигательных навыков человека на основе статистической обработки данных электромиографических портретов исследуемого движения, повторяемого в течение заданного количества раз. Метод позволяет определить стабильность результата двигательного действия вне зависимости от силы выполнения движения с учетом степени участия исследуемых мышц и степени значимости каждой фазы движения. При этом количественная оценка воспроизводимости двигательных навыков человека выражается одним коэффициентом варибельности двигательного навыка. Предлагаемый метод включает следующие этапы:

1. Анализ варибельности распределения мышечных усилий по фазам движения.

Для каждой мышцы (m) во всех фазах (f) движения находится среднее значение $E_{m,f}^{cp\%}$ и среднеквадратичное отклонение $\sigma_{m,f}^{cp\%}$ доли энергии электромиографического сигнала, сосредоточенной в рассматриваемой фазе, в процентах от общей энергии сигнала. Среднеквадратичное отклонение доли энергии электромиографического сигнала ($\sigma_{m,f}^{cp\%}$) исследуемых мышц во всех фазах движения характеризует степень варибельности распределения мышечных усилий по фазам движения.

2. Определение коэффициентов значимости исследуемых мышц.

Для каждой мышцы определяется коэффициент значимости k_m как доля средней энергии электромиографического сигнала каждой мышцы E_m^{cp} от суммарной энергии электромиографического портрета движения E_{Σ}^{cp} :

$$k_m = E_m^{cp} / E_{\Sigma}^{cp} . \quad (1)$$

Коэффициенты значимости мышц k_m имеют значение в диапазоне [0...1].

3. Определение коэффициентов значимости фаз исследуемого движения.

Для каждой фазы определяется коэффициент значимости k_f как доля средней энергии электромиографических сигналов мышц в фазе движения E_f^{cp} от суммарной энергии электромиографического портрета движения E_{Σ}^{cp} :

$$k_f = E_f^{cp} / E_{\Sigma}^{cp}. \quad (2)$$

Коэффициенты значимости фаз движения k_f имеют значение в диапазоне [0...1].

4. Расчет коэффициента вариабельности двигательного навыка.

Коэффициент вариабельности двигательного навыка K рассчитывается как сумма взвешенных среднеквадратичных отклонений доли энергии электромиографического сигнала исследуемых мышц во всех фазах движения:

$$K = \sum_{m=1}^M \sum_{f=1}^F k_f \cdot k_m \cdot \sigma_{m,f}^{cp\%}, \quad (3)$$

где M – количество исследуемых мышц;

F – количество фаз движения.

В третьей главе представлены результаты структурно-функциональной диагностики двигательных навыков человека при выполнении тестового движения «прыжок вверх с места». Данное движение является скоростно-силовым упражнением и используется как тестовое движение для оценки двигательных способностей при отборе спортсменов в скоростно-силовых видах спорта либо как тренировочное упражнение для развития взрывной силы мышц нижних конечностей, прыгучести и умения концентрировать мышечные усилия, сочетая силу с быстротой.

Исследования проводились на базе спортивного комплекса Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники при участии игроков сборной БГУИР по баскетболу. В исследованиях принимали участие 42 человека (7 женщин, 35 мужчин) в возрасте 17 – 25 лет, из них 8 человек – кандидаты в мастера спорта по баскетболу. Исследовались мышцы *m. rectus femoris*, *m. biceps femoris*, *m. gastrocnemius lateralis* и *m. soleus* толчковой ноги.

Представленные в главе результаты исследований доказывают эффективность предложенного способа комплексной структурно-функциональной диагностики двигательных навыков человека, который

позволяет проводить классификацию типов двигательного навыка испытуемых по следующим основаниям: 1) энергетическому вкладу исследуемых мышц при выполнении движения; 2) распределению усилий исследуемых мышц по фазам движения; 3) временной структуре движения.

Проведены исследования воспроизводимости двигательного навыка человека при выполнении тестового движения «прыжок вверх с места» для группы испытуемых с различной физической подготовленностью. Установлено, что наибольшее значение коэффициента вариальности двигательного навыка характерно для группы испытуемых с общей физической подготовленностью (коэффициент вариальности двигательного навыка $K = 8,06 \pm 1,82$). Для групп хорошей физической подготовленности и спортсменов значение коэффициента вариальности двигательного навыка значительно ниже ($K = 4,80 \pm 1,04$ и $K = 3,93 \pm 0,67$ соответственно). Установлена корреляция между коэффициентом вариальности двигательного навыка человека и общей энергией, затраченной на выполнение тестового движения (рисунок 2).

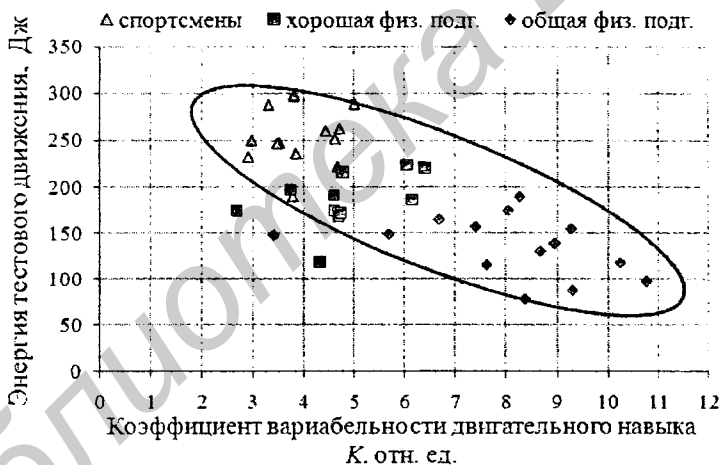


Рисунок 2 – Зависимость между коэффициентом вариальности двигательного навыка человека и энергией тестового движения

Коэффициент линейной корреляции Пирсона для указанных параметров составляет $r = -0,676$ (уровень значимости $p \leq 0,05$), что позволяет сделать вывод о значимой корреляции между коэффициентом вариальности двигательного навыка человека и общей энергией тестового движения. Полученные результаты позволяют разработать алгоритм количественной

оценки физической подготовленности человека и предложить соответствующую техническую систему.

В четвертой главе представлены разработанные алгоритмы функционирования и структурные схемы технических систем комплексной структурно-функциональной диагностики двигательных способностей человека:

1) технической системы комплексной структурно-функциональной диагностики двигательных навыков человека на основе анализа иннервационной и пространственно-временной структуры двигательных действий и построения электромиографического портрета движения;

2) технической системы для количественной оценки физической подготовленности человека на основе анализа воспроизводимости его двигательных навыков.

В основу алгоритма функционирования технической системы комплексной структурно-функциональной диагностики двигательных навыков человека положен разработанный способ комплексной структурно-функциональной диагностики двигательных навыков человека. Согласно разработанному алгоритму процедура структурно-функциональной диагностики двигательных навыков человека происходит в три этапа:

1) этап задания исходных параметров, на котором пользователь вносит в базу данных информацию о пациенте, выбирает необходимые каналы электромиограммы и производит назначение исследуемых мышц, выбирает биомеханические датчики для построения пространственно-временной структуры движения, а также указывает тип исследуемого движения;

2) этап регистрации электрофизиологических и биомеханических сигналов в режиме реального времени;

3) этап последующей структурно-функциональной диагностики движения, на котором производится построение электромиографического портрета исследуемого движения, расчет энергетических характеристик электромиографических сигналов исследуемых мышц, расчет энергетических характеристик движения, а также вывод результатов структурно-функциональной диагностики движения в заданном виде (графические карточки, табличная информация и т.д.).

В соответствии с разработанным алгоритмом предложена структурная схема технической системы комплексной структурно-функциональной диагностики двигательных навыков человека (рисунок 3).

В основу предложенного алгоритма функционирования технической системы для количественной оценки физической подготовленности человека положены разработанный метод оценки воспроизводимости двигательных

навыков человека и установленная взаимосвязь между коэффициентом вариабельности двигательного навыка человека и уровнем его физической подготовленности. Техническая система позволяет определить стабильность результата двигательного действия вне зависимости от силы выполнения движения с учетом степени участия исследуемых мышц и степени значимости каждой фазы движения и на основании рассчитанного коэффициента вариабельности оценить уровень физической подготовленности человека.

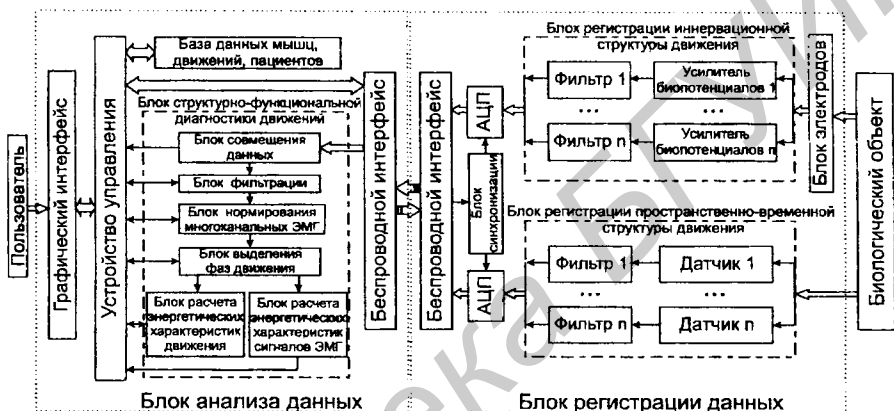


Рисунок 3 – Структурная схема технической системы комплексной структурно-функциональной диагностики двигательных навыков человека

Согласно разработанному алгоритму процедура количественной оценки физической подготовленности человека происходит в три этапа:

1) этап задания исходных параметров аналогичен одноименному этапу алгоритма функционирования технической системы комплексной структурно-функциональной диагностики двигательных навыков человека; отличительной особенностью является дополнительное задание количества попыток выполнения исследуемого движения;

2) этап структурно-функциональной диагностики движения, на котором осуществляется регистрация электрофизиологических и биомеханических сигналов в режиме реального времени и последующий структурно-функциональный анализ тестового движения в соответствии с алгоритмом функционирования технической системы комплексной структурно-функциональной диагностики двигательных навыков человека;

3) этап непосредственной оценки физической подготовленности человека, на котором производится статистический анализ электрофизиологических и биомеханических параметров движения с учетом всех попыток выполнения последнего, вычисление коэффициента варибельности двигательного навыка и окончательное определение физической подготовленности человека путем сравнения рассчитанного коэффициента варибельности двигательного навыка с граничными значениями диапазонов уровней физической подготовленности.

В соответствии с разработанным алгоритмом предложена структурная схема технической системы для количественной оценки физической подготовленности человека.

Представленные в диссертационной работе алгоритмы функционирования технических систем комплексной структурно-функциональной диагностики движений человека использованы при создании аппаратно-программного комплекса многоканальной электромиографии для диагностики двигательных навыков человека «МيوСпорт». Разработанный комплекс включает систему многоканальной электромиографии с синхронной регистрацией пространственно-временной структуры движения путем многоканальной подографии и видеосъемки, а также программное обеспечение для визуализации и анализа результатов. Комплекс позволяет регистрировать в реальном масштабе времени 4 канала электромиограммы с чувствительностью 30 мкВ в частотном диапазоне 0,1 – 800 Гц, 4 канала подограммы с временным разрешением 3,125 мс, передавать данные по беспроводному интерфейсу на расстоянии до 100 м, производить синхронизированную запись видеоизображения. Отличительными особенностями комплекса являются: конструктивное исполнение в виде децентрализованной системы с разнесенными датчиками, автономность, малые габариты и вес, высокая чувствительность, низкое энергопотребление, безопасность, беспроводная связь с персональным компьютером, сенсорные подографические датчики.

В приложениях представлены акты о практическом использовании результатов диссертационной работы, акты внедрения результатов диссертационной работы в учебный процесс, грамоты и дипломы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Разработан способ комплексной структурно-функциональной диагностики двигательных навыков человека, основанный на анализе электромиографического портрета движения. При этом анализ сигналов

многоканальных электромиограмм исследуемых мышц осуществляется во временной области, что связано с необходимостью сопоставления иннервационной структуры движения с пространственно-временными характеристиками выполняемых действий. Предложенный способ позволяет производить оценку энергетического вклада каждой мышцы в формирование движения, вычислять распределение усилий работающих мышц по фазам движения и рассчитывать общие энергетические характеристики движения. Производится расчет энергии электромиографического сигнала каждой мышцы, а также абсолютной и процентной доли энергии электромиографического сигнала исследуемых мышц для каждой фазы движения. Кроме того, рассчитываются общая энергия и мощность движения [1–А – 3–А, 5–А, 9–А – 11–А, 13–А, 15–А, 16–А, 18–А, 19–А].

2. Предложен метод оценки воспроизводимости двигательных навыков человека на основе статистического анализа параметров электромиографических портретов неоднократно повторяемого движения. Метод основывается на анализе долевого распределения энергии электромиографического сигнала исследуемых мышц по фазам неоднократно повторяемого движения. Такой подход позволяет оценить воспроизводимость двигательного навыка человека вне зависимости от силы выполнения движения. Кроме того, предложенный метод учитывает степень вклада каждой мышцы в формирование исследуемого движения, а также степень значимости каждой фазы движения. При этом количественная оценка воспроизводимости двигательного навыка человека выражается одним коэффициентом вариабельности двигательного навыка [1–А, 3–А, 4–А, 15–А, 18–А, 19–А].

3. Установлена взаимосвязь между коэффициентом вариабельности двигательного навыка человека и уровнем его физической подготовленности. Для группы испытуемых с общей физической подготовленностью коэффициент вариабельности двигательного навыка $K = 8,06 \pm 1,82$, для групп хорошей физической подготовленности и спортсменов значение коэффициента вариабельности двигательного навыка значительно ниже ($K = 4,80 \pm 1,04$ и $K = 3,93 \pm 0,67$ соответственно) [4–А].

Установлена корреляция между коэффициентом вариабельности двигательного навыка человека и общей энергией, затраченной на выполнение тестового движения. Коэффициент линейной корреляции Пирсона для указанных параметров составляет $r = -0,676$ (уровень значимости $p \leq 0,05$), что позволяет сделать вывод о значимой корреляции между коэффициентом вариабельности двигательного навыка человека и общей энергией тестового движения [4–А].

4. Разработаны алгоритм функционирования и структурная схема технической системы комплексной структурно-функциональной диагностики двигательных навыков человека. Особенности предложенной системы являются: одновременная регистрация в реальном масштабе времени электрофизиологических и биомеханических параметров движения и комплексный анализ получаемых данных (построение и анализ электромиографического портрета движения), наглядность и информативность представления данных (табличные формы, карточки экспресс - диагностики), возможность исследования движений со сложной структурно-функциональной организацией в естественных условиях (за счет введения беспроводного интерфейса передачи данных) [3-А, 6-А – 8-А, 15-А, 16-А, 18-А, 19-А].

Разработаны алгоритм функционирования и структурная схема технической системы для количественной оценки физической подготовленности человека. Особенности предложенной системы являются: анализ воспроизводимости двигательных навыков человека на основе статистической обработки значимых электрофизиологических и биомеханических параметров неоднократно повторяемого движения, количественная оценка физической подготовленности человека на основании значения рассчитанного коэффициента вариабельности двигательного навыка [3-А, 4-А, 12-А, 14-А, 15-А, 17-А, 18-А].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Разработанный аппаратно-программный комплекс многоканальной электромиографии для диагностики двигательных навыков человека, позволяющий регистрировать в реальном масштабе времени 4 канала электромиограммы с чувствительностью 30 мкВ в частотном диапазоне 0,1 – 800 Гц, 4 канала подограммы с временным разрешением 3,125 мс, передавать данные по беспроводному интерфейсу на расстоянии до 100 м и производить синхронизированную запись видеозображения, может применяться для оценки согласованности работы мышц при выполнении движения, определения стабильности результата двигательного действия и оценки уровня физической подготовленности человека [3-А, 4-А, 7-А, 8-А, 14-А, 15-А, 17-А, 20-А].

Разработанный аппаратно-программный комплекс может использоваться 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).

2. Разработанный способ комплексной структурно-функциональной диагностики двигательных навыков человека позволил установить закономерности в иннервационной и пространственно-временной структуре тестового движения «прыжок вверх с места», заключающиеся в различном энергетическом вкладе мышц *m. rectus femoris*, *m. gastrocnemius lateralis* и *m. soleus* в процесс выполнения движения, а также в различном распределении усилий мышц по фазам движения, что позволяет выделить различные типы двигательных навыков человека и может использоваться при создании методов и технических средств для оценки двигательных способностей человека при отборе в скоростно-силовых видах спорта [1–А, 3–А, 9–А, 12–А, 15–А, 16–А, 18–А, 19–А].

Предложенный способ комплексной структурно-функциональной диагностики двигательных навыков человека использован при разработке методики оценки специфических координационных способностей спортсменов в условиях выполнения строго регламентированных комбинированных заданий на базе ГУ «НИИ физической культуры и спорта Республики Беларусь».

3. Предложенный метод оценки воспроизводимости двигательных навыков человека использован при создании нового способа электрофизиологической оценки межмышечной координации лиц, участвующих в профессиональном отборе к экстремальным видам трудовой деятельности, на базе ГУ «Минское суворовское военное училище».

4. Разработанные алгоритмы функционирования и структурные схемы технической системы комплексной структурно-функциональной диагностики двигательных навыков человека и технической системы для оценки физической подготовленности человека могут использоваться при проектировании новых специализированных технических и программных средств контроля медико-биологических параметров для точной и быстрой диагностики двигательных навыков человека [3–А, 4–А, 6–А, 7–А, 15–А, 16–А, 18–А, 19–А].

Алгоритмы цифровой обработки многоканальных интерференционных электромиограмм нервно-мышечного аппарата человека, положенные в основу предложенных алгоритмов функционирования технических систем комплексной структурно-функциональной диагностики двигательных способностей человека, использованы при разработке нового способа электрофизиологического контроля восстановления двигательной функции с применением современных методов цифровой обработки биопотенциалов на базе ГУ «РНПЦ Травматологии и ортопедии» МЗ Республики Беларусь.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых научных изданиях

1–А. Давыдова, Н.С. Экспресс-диагностика функционального состояния нервно-мышечного аппарата спортсмена на основе построения и анализа электромиографического портрета прыжка / Н.С. Давыдова, М.М. Меженная, М.В. Давыдов, А.Н. Осипов // Инженерный вестник. – 2010. – № 2 (30). – С. 86–91.

2–А. Давыдова, Н.С. Комплексное применение электростимуляции и механического массажа для изменения двигательного навыка человека / Н.С. Давыдова, Е.И. Лабунь, М.Г. Киселев, А.Н. Осипов, М.М. Меженная, М.В. Давыдов // Приборы и методы измерений. – 2010. – № 1. – С. 99–106.

3–А. Давыдова, Н.С. Структурно-функциональная диагностика двигательных навыков человека на основе построения и анализа электромиографического портрета движения / Н.С. Давыдова // Новости медико-биологических наук. – 2011. – Т. 4. – № 4. – С. 178–186.

4–А. Давыдова, Н.С. Оценка вариабельности двигательного навыка человека на основе электрофизиологических и биомеханических параметров движения / Н.С. Давыдова, А.Н. Осипов, В.А. Кульчицкий, М.В. Давыдов, М.М. Меженная // Доклады БГУИР. – 2012. – № 1 (63). – С. 40–46.

5–А. Давыдова, Н.С. Метод и технические средства управляемого изменения двигательного навыка человека на основе многоканальной электростимуляции / Н.С. Давыдова, А.Н. Осипов, М.В. Давыдов, М.М. Меженная // Вестник ПГУ. – 2012. – № 4. – С. 10–15.

6–А. Давыдова, Н.С. Техническая система комплексной структурно-функциональной диагностики движений человека / Н.С. Давыдова // Доклады БГУИР. – 2012. – № 4 (66). – С. 5–11.

Статьи в сборниках и материалах конференций

7–А. Савченко, Н.С. Аппаратно-программное обеспечение исследований многоканальных электромиограмм опорно-двигательного аппарата / Н.С. Савченко, М.М. Меженная, Д.В. Селех, П.В. Белецкий, М.В. Давыдов, А.Н. Осипов // Медэлектроника – 2008: сб. науч. ст. V Междунар. науч.-тех. конф., Минск, 11–12 дек. 2008 г. / БГУИР; редкол.: В.С. Улащик [и др.]. – Минск, 2008. – С. 312–316.

8–А. Савченко, Н.С. Микропроцессорный блок управления системой многоканальной электромиографии / Н.С. Савченко, М.М. Меженная,

М.В. Давыдов // Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ-2009: материалы 5-й Междунар. молодеж. науч.-техн. конф., Севастополь, 20–25 апр. 2009 г. / СевНТУ; редкол.: Ю.А. Гимпилевич [и др.]. – Севастополь, 2009. – С. 300.

9–А. Давыдова, Н.С. Исследование многоканальных электромиограмм опорно-двигательного аппарата на основе частотно-временных методов / Н.С. Давыдова, А.Н. Осипов, М.В. Давыдов // НИРС 2009: сб. науч. работ студентов высш. учеб. заведений Респ. Беларусь / Белорус. гос. ун-т; под ред. А.И. Жук [и др.]. – Минск, 2010. – С. 120–123.

10–А. Давыдова, Н.С. Методика оценки взрывной силы мышц нижних конечностей на основе анализа электромиографических профилей двигательных групп / Н.С. Давыдова, М.М. Меженная, М.В. Давыдов // Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ-2010: материалы 6-й Междунар. молодеж. науч.-техн. конф., Севастополь, 19–24 апр. 2010 г. / СевНТУ; редкол.: Е.В. Пашков [и др.]. – Севастополь, 2010. – С. 465.

11–А. Давыдова, Н.С. Изменение двигательного навыка человека на основе сочетанной электро- и механотерапии / Н.С. Давыдова, М.М. Меженная, М.В. Давыдов, А.Н. Осипов, Е.И. Лабунь, М.Г. Киселев // Приборостроение-2010: материалы 3-й Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 10–12 нояб. 2010 г. / БНТУ; редкол.: О.К. Гусев [и др.]. – Минск, 2010. – С. 134–135.

12–А. Давыдова, Н.С. Программная модель электромиографического сигнала мышцы с заданным композиционным составом / Н.С. Давыдова, А.Н. Осипов, Е.А. Остроух, М.М. Меженная // Медэлектроника – 2010: сб. науч. ст. VI Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 8–9 дек. 2010 г. / БГУИР; редкол.: В.С. Улащик [и др.]. – Минск, 2010. – С. 130–137.

13–А. Давыдова, Н.С. Программа коррекции двигательного навыка человека на основе многоканальной электростимуляции // Н.С. Давыдова, А.Н. Осипов, Е.Н. Доюженко, М.М. Меженная // Медэлектроника – 2010: сб. науч. ст. VI Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 8–9 дек. 2010 г. / БГУИР; редкол.: В.С. Улащик [и др.]. – Минск, 2010. – С. 289–295.

14–А. Давыдова, Н.С. Протоколы передачи данных в беспроводной многоканальной системе регистрации электрической активности мышц / Н.С. Давыдова, М.М. Меженная, М.В. Давыдов // Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ-2011: материалы 7-й Междунар. молодеж. науч.-техн. конф., Севастополь, 11–15 апр. 2011 г. / СевНТУ; редкол.: Е.В. Пашков [и др.]. – Севастополь, 2011. – С. 97.

15–А. Давыдова, Н.С. Дистанционная структурно-функциональная диагностика двигательных навыков человека / Н.С. Давыдова, А.Н. Осипов, М.М. Меженная // Научные стремления – 2011: сб. материалов II Междунар.

науч.-практ. конф. молодых ученых, Минск, 14–18 нояб. 2011 г. / НАН Беларуси; редкол.: А.Н. Волченко [и др.]. – Минск, 2011. – С. 639–642.

16–А. Davydova, N.S. Structurally functional diagnostics of the person's motional abilities / N.S. Davydova, A.N. Osipov, M.M. Mezhenayaya, M.V. Davydov // Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ-2012; материалы 8-й Междунар. молодеж. науч.-техн. конф., Севастополь, 23–27 апр. 2012 г. / СевНТУ; редкол.: Е.В. Пашков [и др.]. – Севастополь, 2012. – С. 372.

Тезисы докладов

17–А. Давыдова, Н.С. Беспроводной интерфейс обмена данными в системе многоканальной электромиографии / Н.С. Давыдова, М.М. Меженая, М.В. Давыдов, А.Н. Осипов // Технические средства защиты информации: тез. докл. VIII Белорус.-российск. науч.-техн. конф., Минск, 24–28 мая 2010 г. / БГУИР; редкол.: В.Ф. Голиков [и др.]. – Минск, 2010. – С. 90.

18–А. Davydova, N.S. Construction of the electromyography pattern of movement in the sports biomechanics / N.S. Davydova, M.M. Mezhenayaya, M.V. Davydov, A.N. Osipov // Digital Technologies 2010: book of abstracts of the 7th International workshop, Zilina, Slovakia, 11–12 Nov. 2010 / University of Zilina; ed.: D. Ticha [et al.]. – Zilina, 2010. – P. 21.

19–А. Davydova, N. Remote functional diagnostics of the person motions / N. Davydova, A. Osipov, M. Davydov, M. Mezhenayaya // OpenReadings-2012: book of abstracts of the 55th Scientific Conference for young students of physics and natural sciences, Vilnius, Lithuania, 28–31 March 2012 / Vilnius University; ed.: V. Butkus [et al.]. – Vilnius, 2012. – P. 117.

Патенты

20–А. Устройство электронистагмографии: пат. 6758 Респ. Беларусь, МПК А 61В 5/0496 / А.Н. Осипов, С.А. Лихачев, О.А. Аленикова, М.М. Меженая, М.В. Давыдов, Н.С. Давыдова; заявитель учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники». – № u20100336; заявл. 05.04.10., опубл. 30.10.10 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2010. – № 5 (76). – С. 165.



Давыдава Надзея Сяргееўна

Апаратна-праграмны комплекс шматканальнай электраміяграфіі для дыягностыкі рухальных навыкаў чалавека

Ключавыя словы: рухальны навык, шматканальная электраміяграфія, электраміяграфічны партрэт руху.

Мэта працы: распрацоўка метадаў і тэхнічных сістэм комплекснай структурна-функцыянальнай дыягностыкі рухальных навыкаў чалавека на аснове сумеснага аналізу сінхронна запісаных электрафізіялагічных і біямеханічных параметраў руху.

Метады даследавання і апаратура: пабудова і аналіз электраміяграфічнага партрэта руху чалавека вырабляліся з выкарыстаннем распрацаванага апаратна-праграмнага комплексу шматканальнай электраміяграфіі. Часавы, статыстычны і спектральны аналіз шматканальных электраміяграм доследных цягліц ажыццяўляўся ў асяроддзі матэматычнага праграмавання MatLab.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: распрацаваны новы спосаб комплекснай структурна-функцыянальнай дыягностыкі рухальных навыкаў чалавека і арыгінальны метады ацэнкі ўзнаўляльнасці рухальных навыкаў чалавека, на падставе якіх устаноўлены раней не вядомая ўзаемасувязь паміж каэфіцыентам варыябельнасці рухальнага навыку чалавека і ўзроўнем яго фізічнай падрыхтаванасці, а таксама значная карэляцыя паміж каэфіцыентам варыябельнасці рухальнага навыку чалавека і агульнай энергіяй руху, што ў сукупнасці дазволіла распрацаваць апаратна-праграмны комплекс шматканальнай электраміяграфіі для дыягностыкі рухальных навыкаў чалавека, які можа прымяняцца для ацэнкі узгодненасці працы цягліц пры выкананні руху, вызначэння стабільнасці выніку рухальнага дзеяння і ацэнкі ўзроўню фізічнай падрыхтаванасці чалавека.

Ступень выкарыстання: вынікі працы выкарыстаны ў ДУ «НДД фізічнай культуры і спорту Рэспублікі Беларусь», у ДУ «Мінскае сувораўскае ваеннае вучылішча», у ДУ «РНПЦ траўматалогіі і артапедыі» МЗ Рэспублікі Беларусь.

Вобласць ўжывання: дыягнастычная і рэабілітацыйная медыцына, спартыўная медыцына, клінічная біямеханіка і біямеханіка спорту.

РЕЗЮМЕ

Давыдова Надежда Сергеевна

Аппаратно-программный комплекс многоканальной электромиографии для диагностики двигательных навыков человека

Ключевые слова: двигательный навык, многоканальная электромиография, электромиографический портрет движения.

Цель работы: разработка методов и технических систем комплексной структурно-функциональной диагностики двигательных навыков человека на основе совместного анализа синхронно регистрируемых электрофизиологических и биомеханических параметров движения.

Методы исследования и оборудование: построение и анализ электромиографического портрета движения человека производились с использованием разработанного аппаратно-программного комплекса многоканальной электромиографии. Временной, статистический и спектральный анализ многоканальных электромиограмм исследуемых мышц осуществлялся в среде математического программирования MatLab.

Полученные результаты и их новизна: разработан новый способ комплексной структурно-функциональной диагностики двигательных навыков человека и оригинальный метод оценки воспроизводимости двигательных навыков человека, на основании которых установлены ранее не известная взаимосвязь между коэффициентом вариабельности двигательного навыка человека и уровнем его физической подготовленности, а также значимая корреляция между коэффициентом вариабельности двигательного навыка человека и общей энергией движения, что в совокупности позволило разработать аппаратно-программный комплекс многоканальной электромиографии для диагностики двигательных навыков человека, который может применяться для оценки согласованности работы мышц при выполнении движения, определения стабильности результата двигательного действия и оценки уровня физической подготовленности человека.

Степень использования: результаты работы использованы в ГУ «НИИ физической культуры и спорта Республики Беларусь», в ГУ «Минское суворовское военное училище», в ГУ «РНПЦ Травматологии и ортопедии» МЗ Республики Беларусь.

Область применения: диагностическая и реабилитационная медицина, спортивная медицина, клиническая биомеханика и биомеханика спорта.

SUMMARY

Davydova Nadezhda Sergeevna

The hardware-software complex of multichannel electromyography for the diagnostics of human motor skills

Keywords: motor skill, multichannel electromyography, electromyography motion pattern.

Aim of the work: the development of the methods and technical systems of complex structurally functional diagnostics of human motor skills on the basis of the combined analysis of synchronously registered electrophysiological and biomechanical motion parameters.

Research methods and equipment: Construction and the analysis of the electromyography motion pattern of the person were made using of the developed hardware-software complex of multichannel electromyography. The time, statistical and spectral analysis of the investigated muscles' multichannel electromyograms was carried out in the mathematical programming environment MatLab.

The obtained results and their novelty: The new method of complex structurally functional diagnostics of human motor skills and the original method of estimation of the human motor skills' reproducibility, on which basis have been discovered unknown interrelation between the coefficient of human motor skills' variability and the level of human physical training, and also significant correlation between the coefficient of human motor skills' variability and the general energy of motion. All this results have allowed to develop the hardware-software complex of multichannel electromyography for the diagnostics of human motor skills which can be applied for the estimation of muscles work coordination at motion performance, for the determine of the action result's stability and the estimation of physical training level of the person.

Extent of usage: the results of researches have been used in the Scientific Research Institute of Physical Training and Sports of Republic of Belarus, in the Minsk Suvorov Military School, in the Republican Scientific and Practical Centre for Traumatology and Orthopedics of Republic of Belarus.

Field of application: diagnostic and rehabilitation medicine, sports medicine, clinical and sports biomechanics.

ДАВЫДОВА НАДЕЖДА СЕРГЕЕВНА

**АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС МНОГОКАНАЛЬНОЙ
ЭЛЕКТРОМИОГРАФИИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ДВИГАТЕЛЬНЫХ
НАВЫКОВ ЧЕЛОВЕКА**

Специальность 05.11.17 – Приборы, системы и изделия
медицинского назначения

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Подписано в печать 03.10.2012.	Формат 60x84 ¹ / ₁₆ .	Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».	Отпечатано на ризографе.	Усл. печ. л. 1,63.
Уч.-изд. л. 1,4.	Тираж 60 экз.	Заказ 476.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
ЛИ №02330/0494371 от 16.03.2009. ЛП №02330/0494175 от 03.04.2009.
220013, Минск, П. Бровка, 6