

Учреждение образования
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

УДК 612.741.1: 615.841

МЕЖЕННАЯ
Марина Михайловна

**АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИИ
ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ЧЕЛОВЕКА
НА ОСНОВЕ ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОГО АНАЛИЗА
БИОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ МЫШЦ**

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: **Колешко Владимир Михайлович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Интеллектуальные системы» Белорусского национального технического университета

Драпеца Александр Иванович, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник кафедры биофизики Белорусского государственного университета

Государственное учреждение «Республиканский научно-практический центр неврологии и нейрохирургии» Министерства здравоохранения Республики Беларусь

Защита состоится «1» ноября 2012 г. в 14.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.15.06 при учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220113, г. Минск, ул. П. Бровки, 6, корп. 1, ауд. 232, тел. 293-89-89, e-mail: dissovet@bsuir.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Электростимуляция опорно-двигательного аппарата человека (электромиостимуляция) основана на использовании низкочастотных электрических сигналов с целью профилактики и лечения поражений мышц опорно-двигательного аппарата, тренировки мышечных групп. Физиологический эффект электромиостимуляции зависит от выбора параметров воздействующего сигнала, которые должны быть адекватны функциональному состоянию стимулируемых мышц. Основная сложность использования физиотерапевтической аппаратуры для электромиостимуляции состоит в отсутствии научно обоснованных способов определения параметров электрического сигнала. Приоритетным направлением решения данной проблемы является создание аппаратно-программных комплексов электромиостимуляции, осуществляющих выбор параметров стимулирующего сигнала в зависимости от индивидуального состояния мышцы, что требует разработки новых подходов в экспресс-диагностике объекта стимуляции – нервно-мышечного аппарата человека.

Суммарная (поверхностная или глобальная) электромиография (ЭМГ) является традиционным методом электрофизиологического исследования нервно-мышечной системы человека, основанным на регистрации с помощью накожных электродов и качественно-количественном анализе суммарной биоэлектрической активности совокупности двигательных единиц мышцы. Внедрение информационных технологий в медицинскую практику способствовало реализации цифровой обработки биомедицинских сигналов в автоматическом режиме и как результат – расширению возможностей электрофизиологических исследований. Для экспресс-анализа состояния мышцы человека целесообразно использовать частотно-временное представление суммарного ЭМГ-сигнала.

С целью выявления диагностических признаков состояния мышечной ткани на основе частотно-временного анализа требуется провести исследования параметров частотно-временного представления суммарных электромиограмм мышц человека в норме и патологии, что позволит осуществить разработку лечебно-диагностического аппаратно-программного комплекса для диагностики и контроля динамики функционального состояния нервно-мышечной системы человека на основе частотно-временной обработки суммарной электромиограммы; для тренировки, профилактики и лечения поражений мышц опорно-двигательного аппарата человека посредством воздействия сигналами электромиостимуляции, адекватными индивидуальному состоянию стимулируемой мышцы. Таким образом, тема диссертационной работы является актуальной, определяет цель и задачи исследований.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами, темами

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

Работа выполнялась в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» в рамках ГПНИ «Современные технологии в медицине» (2009–2010 гг., № ГР 20066832), ГПНИ «Электроника и фотоника» (2011–2012 гг., № ГР 20120401), гранта Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований «Наука М» «Моделирование магнитотерапевтического воздействия на мозг человека для повышения эффективности транскраниальной магнитной стимуляции» (2011 г., № ГР 20121077); гранта Министерства образования для аспирантов «Метод и аппаратно-программные средства адаптивной электростимуляции нервно-мышечного аппарата человека на основе электромиографии» (2011 г., № ГР 20121085), гранта Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований «БРФФИ–Минобразование М» «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 технических средств для повышения эффективности электростимуляции опорно-двигательного аппарата человека на основе согласования параметров сигнала воздействия с индивидуальным функциональным состоянием стимулируемой мышцы.

Для достижения поставленной цели потребовалось решить следующие задачи:

1. Разработать методики диагностики и контроля динамики функционального состояния нервно-мышечного аппарата человека, основанные на частотно-временной обработке суммарной электромиограммы.
2. Разработать способ электростимуляции сигналами различной сократительной способности в зависимости от индивидуального функционального состояния стимулируемой мышцы.
3. Разработать лечебно-диагностический аппаратно-программный комплекс, содержащий электромиограф с частотно-временной обработкой

суммарной электромиограммы и электромиостимулятор с формированием стимулирующего сигнала различной сократительной способности на основе анализа биоэлектрической активности мышцы.

Объектами исследования и разработки выбраны методики и технические средства электромиографии и электромиостимуляции, базирующиеся на частотно-временном анализе суммарной электромиограммы нервно-мышечного аппарата человека.

Предметом исследования являются спектрограмма, амплитудные и частотные параметры суммарной электромиограммы нервно-мышечного аппарата человека, сигналы электромиостимуляции различной частоты и формы.

Положения, выносимые на защиту

1. Теоретическое и экспериментальное обоснование использования амплитудно-частотного коэффициента суммарной электромиограммы, основанного на частотно-временном анализе сигнала биоэлектрической активности мышцы, для диагностики и контроля динамики функционального состояния нервно-мышечного аппарата человека (амплитудно-частотный коэффициент суммарной электромиограммы мышцы *m. gastrocnemius medialis* составляет в норме $(98 \pm 52) \cdot 10^{-2}$ мкВ/Гц, при ослабленном состоянии $(15,7 \pm 6,3) \cdot 10^{-2}$ мкВ/Гц, при патологии $(5,3 \pm 1,8) \cdot 10^{-2}$ мкВ/Гц), что позволяет сократить время диагностической процедуры до 3 минут.

2. Способ электромиостимуляции на основе частотно-временного анализа суммарной электромиограммы стимулируемой мышцы, осуществляющий выбор сигнала воздействия в частотном диапазоне 10 Гц – 10 кГц с сократительной способностью, адекватной по своему физиологическому действию индивидуальному функциональному состоянию нервно-мышечного аппарата человека, что позволяет повысить эффективность тренировки, профилактики и лечения поражений мышц опорно-двигательного аппарата за счет согласования спектральных параметров сигнала электромиостимуляции с функциональным состоянием объекта воздействия.

3. Алгоритм функционирования лечебно-диагностического аппаратно-программного комплекса, реализующего количественную оценку и контроль динамики функционального состояния нервно-мышечного аппарата человека на основе частотно-временного анализа суммарной электромиограммы и осуществляющего воздействие сигналами электромиостимуляции различной сократительной способности в зависимости от функционального состояния стимулируемой мышцы.

Личный вклад соискателя

Все основные результаты, изложенные в диссертационной работе, получены автором самостоятельно. Личный вклад заключается в обосновании направлений решения научных проблем; разработке методик проведения исследований; проведении исследований; обработке и анализе результатов исследований; разработке методик диагностики и контроля динамики функционального состояния нервно-мышечного аппарата человека на основе частотно-временного анализа суммарной электромиограммы; разработке способа электромиостимуляции сигналами различной сократительной способности в зависимости от функционального состояния стимулируемой мышцы; разработке лечебно-диагностического аппаратно-программного комплекса суммарной электромиографии и электромиостимуляции на основе анализа биоэлектрической активности мышц.

Определение целей и задач исследований, интерпретация и обобщение научных результатов проводились совместно с научным руководителем, канд. техн. наук, доц. А.Н. Осиповым. Основными соавторами опубликованных работ являются канд. техн. наук А.Н. Осипов, канд. техн. наук М.В. Давыдов, Н.С. Давыдова, д-р биол. наук И.А. Ильясевич, д-р мед. наук В.А. Кульчицкий.

Апробация результатов диссертации

Основные положения диссертации обсуждались на 6-й Международной молодежной научно-технической конференции «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ-2010» (Севастополь, Украина, 2010 г.); XV Международной научно-технической конференции «Современные средства связи» (Минск, Беларусь, 2010 г.); 7th International Conference «Digital Technologies 2010» (Zilina, Slovakia, 2010 г.); XVIII Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2011» (Москва, Россия, 2011 г.); 7-й Международной молодежной научно-технической конференции «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ-2011» (Севастополь, Украина, 2011 г.); 4-й Международной научно-технической конференции «Приборостроение-2011» (Минск, Беларусь, 2011 г.); II Международной молодежной научно-практической конференции «Научные стремления 2011» (Минск, Беларусь, 2011 г.), 55th Scientific Conference for Young Students of Physics and Natural Sciences (Vilnius, Lithuania, 2012 г.), 8-й Международной молодежной научно-технической конференции «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ-2012» (Севастополь, Украина, 2012 г.).

Опубликованность результатов диссертации

По материалам диссертации опубликовано 17 печатных работ, в том числе 7 статей в научных журналах, рекомендованных ВАК для опубликования результатов диссертационных исследований, 5 статей в сборниках научных статей и материалов конференций, 5 тезисов докладов. Получен 1 патент Республики Беларусь на полезную модель. Без соавторов опубликованы 2 работы в научных журналах. Общий объем публикаций по теме диссертации, соответствующих пункту 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоения ученых званий в Республике Беларусь, составляет 4,3 авторских листа.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав с краткими выводами по каждой главе, заключения, библиографического списка и двух приложений. В первой главе проведен анализ эффективности сигналов электромиостимуляции с различными параметрами, рассмотрены методы управления параметрами сигнала воздействия исходя из состояния объекта стимуляции, изучены существующие подходы к анализу суммарной электромиограммы, применяемые для оценки функционального состояния мышцы. Во второй главе приводится описание разработанных методик проведения исследований. Третья глава содержит результаты частотно-временного анализа суммарной электромиограммы нервно-мышечного аппарата человека в норме и патологии. Разработанные методики и аппаратно-программные средства электромиографии и электромиостимуляции, базирующиеся на частотно-временном анализе суммарной электромиограммы, представлены в четвертой главе.

Общий объем диссертационной работы составляет 163 страницы, включая 99 страниц машинописного текста, 61 иллюстрацию на 32 страницах, 24 таблицы на 9 страницах, список использованных источников из 120 наименований на 9 страницах, 18 собственных публикаций автора на 3 страницах, 2 приложения на 11 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

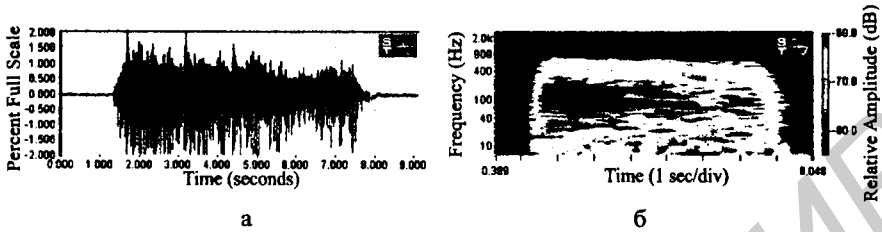
Во введении обоснована актуальность темы диссертации, определены основные направления развития электромиостимуляции, показана необходимость частотно-временного анализа суммарной электромиограммы для оценки функционального состояния стимулируемой мышцы.

В первой главе рассматривается современное состояние методов и средств электромиостимуляции и суммарной электромиографии. Показано, что многообразие применяемых в клинической и спортивной медицине сигналов электромиостимуляции обуславливает проблему выбора эффективных параметров воздействия. Отмечено, что перспективным направлением решения данной проблемы является согласование параметров электрического сигнала и физиологических характеристик объекта стимуляции. Однако существующие методы управления несущей частотой стимулирующего сигнала на основе анализа фазочастотной характеристики биоткани, длительностью сигнала на основе измерения времени релаксации тока в зоне расположения электродов не позволяют осуществлять выбор параметров сигнала воздействия исходя из анализа функционального состояния стимулируемой мышцы.

Исследование функционального состояния нервно-мышечного аппарата человека традиционно выполняется с помощью суммарной электромиографии. Применяемый на практике анализ суммарного ЭМГ-сигнала базируется на расчете средней амплитуды и среднего количества пересечений ЭМГ-сигналом нулевой линии, а также визуальной оценке электромиограммы в соответствии с классификацией Ю.С. Юсевич. При этом визуальная интерпретация ЭМГ-сигнала зависит от опыта и квалификации врача, а методы количественной оценки рассматривают суммарные ЭМГ-сигналы как стационарные, что не позволяет охарактеризовать их частотно-временную структуру и динамику изменения параметров в течение периода мышечного сокращения. Частотно-временной анализ решает проблему нестационарности биомедицинских сигналов, однако применительно к суммарной электромиограмме требует дополнительного исследования для выявления диагностических признаков функционального состояния мышечной ткани на основе данного метода.

Во второй главе разработана методика частотно-временного анализа суммарной электромиограммы нервно-мышечного аппарата человека на базе быстрого оконного преобразования Фурье, реализующая функции построения спектрограммы и расчета амплитудно-частотных параметров ЭМГ-сигнала.

Спектрограмма представляет собой двумерную матрицу, строки которой соответствуют временным отсчетам t от 0 секунд до окончания времени регистрации ЭМГ-сигнала, столбцы – частотам f от 0 до 1000 Гц, а элементы матрицы – амплитуде спектральных отсчетов электромиограммы $A[f, t]$. Спектрограмма позволяет графически отобразить амплитудную, частотную и временную составляющие суммарной электромиограммы исследуемой мышцы (рисунок 1): на спектрограмме по оси абсцисс указывается время (с), по оси ординат – логарифмическая шкала частоты (Гц), цвет соответствует уровню сигнала на данной частоте: в черно-белом варианте по мере увеличения сигнала цвет изменяется от темно-серого (-85 дБ) до черного (-60 дБ).



а – суммарная электромиограмма (временное представление сигнала);
 б – спектрограмма (частотно-временное представление сигнала)

**Рисунок 1 – Формы представления сигнала биоэлектрической активности
 мышцы *m. tibialis anterior***

Количественный анализ суммарной электромиограммы базируется на расчете амплитудных и частотных показателей ЭМГ-сигнала (нижней и верхней граничных частот, медианной частоты, эффективной ширины спектра). Средняя амплитуда A_{cp} вычисляется как среднеарифметическое значение всех отсчетов ЭМГ-сигнала, взятых по модулю. Нижняя и верхняя граничные частоты определяют эффективную ширину спектра – область частот, в которой сосредоточено не менее 90 % мощности сигнала (устанавливается значение 95 %). Для определения требуемых параметров в каждом столбце спектрограммы $j = 0 \dots T - 1$: 1) вычисляют среднее значение амплитуды A_j для построения огибающей сигнала; 2) выполняют поиск медианной частоты f_{m_j} исходя из определения: медианной является частота, делящая площадь под кривой спектральной плотности энергии на две равные части; 3) вычисляют значения нижней f_{n_j} и верхней f_{o_j} граничных частот исходя из условия: энергия, сосредоточенная между граничными частотами и медианной частотой, составляет 47,5 %; 4) вычисляют значение эффективной ширины спектра: $\Delta f_j = f_{o_j} - f_{n_j}$. Результатами расчетов являются одномерные массивы зависимостей нижней граничной частоты, медианной частоты, верхней граничной частоты, эффективной ширины спектра и средней амплитуды электромиограммы от времени – $f_n[t], f_m[t], f_o[t], \Delta f[t], A[t]$, а также средние показатели $f_{n_{cp}}, f_{m_{cp}}, f_{o_{cp}}, \Delta f_{cp}, A_{cp_{озуб}}$. Итоговый комплексный параметр – амплитудно-частотный коэффициент AFK – вычисляется по формуле

$$AFK = \frac{A_{cp}}{\Delta f_{cp}}. \quad (1)$$

Разработана методика количественной оценки мышечного тонуса человека на основе коэффициента вариации огибающей ЭМГ-сигнала. Коэффициент вариации c отражает степень рассеяния значений огибающей суммарной электромиограммы A_j , $j = 0 \dots T-1$ относительно средней арифметической величины $A_{cp\ oгиб}$ и рассчитывается по формуле

$$c = \sqrt{\frac{\sum_{j=0}^{T-1} (A_j - A_{cp\ oгиб})^2}{T \cdot A_{cp\ oгиб}^2}}. \quad (2)$$

Разработана методика количественной оценки динамики функционального состояния мышцы на основе показателя относительного изменения амплитудно-частотного коэффициента суммарных ЭМГ-сигналов, зарегистрированных до и после лечения:

$$\Delta AFK_{отн} = \frac{AFK_{кон} - AFK_{нач}}{AFK_{нач}}, \quad (3)$$

где $AFK_{кон}$ – амплитудно-частотный коэффициент суммарного ЭМГ-сигнала, зарегистрированного после лечения;

$AFK_{нач}$ – амплитудно-частотный коэффициент суммарного ЭМГ-сигнала, зарегистрированного до лечения.

Расчет величины изменения амплитудно-частотного коэффициента относительно первоначально зафиксированного значения служит основой универсального подхода к интерпретации получаемых результатов для лиц с различным исходным функциональным состоянием исследуемой мышцы.

Для регистрации и анализа суммарных электромиограмм разработан двухканальный аппаратно-программный комплекс, реализующий возможность одновременного отведения биоэлектрической активности двух мышц человека, усиление и фильтрацию ЭМГ-сигналов, построение спектрограмм в реальном режиме времени в среде SpectraPRO, расчет параметров частотно-временного представления ЭМГ-сигналов в автоматическом режиме с помощью специально разработанного в среде MatLab программного обеспечения.

В третьей главе приведены результаты частотно-временного анализа суммарной электромиограммы, зарегистрированной в группе здоровых лиц и у пациентов с нарушением двигательной функции мышц нижних конечностей. Группа здоровых лиц включала тренированных испытуемых (11 человек; средний возраст 20 лет), нетренированных испытуемых в возрасте до 45 лет (26

человек; средний возраст 21 год) и нетренированных испытуемых в возрасте более 45 лет (10 человек; средний возраст 51 год). Группа лиц с нарушением двигательной функции мышц нижних конечностей включала пациентов с патологиями позвоночника (13 человек; средний возраст 53 года) и пациентов с патологиями суставов (21 человек; средний возраст 48 лет), находящихся на лечении в ГУ «РНПЦ травматологии и ортопедии» МЗ РБ. Биоэлектрическую активность билатеральных мышц нижних конечностей (*m. gastrocnemius medialis*, *m. tibialis anterior*, *m. rectus femoris*, *m. vastus lateralis*) регистрировали при их максимальном произвольном концентрическом напряжении.

Суммарные ЭМГ-сигналы, зарегистрированные в группе пациентов с нарушением двигательной функции мышц нижних конечностей, включали интерференционную, редуцированную и атипичную электромиограммы в зависимости от характера изменения амплитудных и частотных показателей биоэлектрической активности мышцы. Интерференционная электромиограмма по типу генерации соответствует норме и отражает суммарную активность большого числа двигательных единиц мышцы. У пациентов с ослабленным состоянием мышечной ткани наблюдался тип биоэлектрической активности, значительно сниженной по сравнению с нормой (редуцированный). ЭМГ-сигналы, состоящие из отдельных потенциалов действия двигательных единиц мышцы и характеризующиеся амплитудой менее 30 мкВ, а также полное биоэлектрическое молчание, объединялись в группу атипичных ЭМГ.

Установлены следующие закономерности параметров частотно-временного представления суммарной электромиограммы нервно-мышечного аппарата человека в норме и патологии:

1. Суммарная активность совокупности двигательных единиц мышцы, соответствующая норме, характеризуется высокими значениями средней амплитуды и узкой средней эффективной шириной спектра (см. параметры ЭМГ-сигналов в норме и интерференционных ЭМГ-сигналов при патологии в таблице 1).

2. Ослабленное состояние мышечной ткани сопровождается уменьшением средней амплитуды и расширением средней эффективной ширины спектра (см. параметры редуцированных ЭМГ-сигналов в таблице 1).

3. Патологические изменения мышечной ткани сопровождаются значительным снижением средней амплитуды и сужением средней эффективной ширины спектра по сравнению с нормой (см. параметры атипичных ЭМГ-сигналов в таблице 1).

С учетом установленных закономерностей обосновано использование амплитудно-частотного коэффициента AFK (1) в качестве количественного критерия функционального состояния нервно-мышечного аппарата человека. Амплитудно-частотный коэффициент является комплексным показателем,

учитывающим основные параметры биоэлектрического сигнала (амплитуду и частоту), и позволяет однозначно определить функциональное состояние мышцы, а именно: достигает максимальных значений в норме, уменьшается в случае ослабленного состояния мышечной ткани и минимален при патологии высокой степени выраженности (таблица 1).

Таблица 1 – Значения параметров суммарных ЭМГ-сигналов мышцы *m. gastrocnemius medialis* в норме и патологии

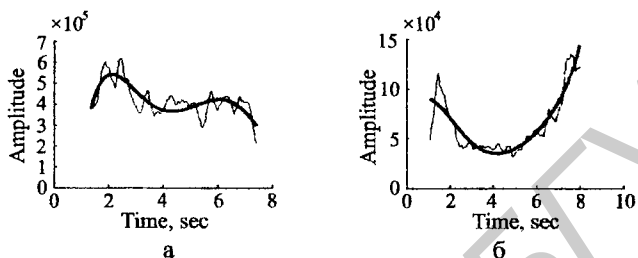
ЭМГ-сигналы различных групп испытуемых	A_{cp} , мкВ	Δf_{cp} , Гц	AFK , 10^{-2} мкВ/Гц
Параметры ЭМГ-сигналов в норме			
Тренированные испытуемые	354 ± 150	386 ± 70	98 ± 52
Нетренированные испытуемые в возрасте до 45 лет	197 ± 87	414 ± 64	51 ± 29
Нетренированные испытуемые в возрасте более 45 лет	156 ± 88	440 ± 62	36 ± 23
Параметры ЭМГ-сигналов при патологии суставов			
Интерференционная ЭМГ	156 ± 27	398 ± 69	41 ± 16
Редуцированная ЭМГ	68 ± 27	444 ± 88	15,7 ± 6,3
Атипичная ЭМГ	19,8 ± 7,4	368 ± 87	5,3 ± 1,8
Параметры ЭМГ-сигналов при патологии позвоночника			
Интерференционная ЭМГ	153 ± 20	424 ± 60	37,0 ± 8,2
Редуцированная ЭМГ	59 ± 21	450 ± 65	13,6 ± 5,4
Атипичная ЭМГ	13 ± 12	382 ± 45	3,2 ± 2,5

Результаты анализа спектрограмм ЭМГ-сигналов билатеральных мышц *m. gastrocnemius medialis*, *m. tibialis anterior*, *m. rectus femoris*, *m. vastus lateralis* человека в норме и патологии позволяют визуально оценить амплитуду и частоту электромиограммы, а также тонус мышцы в реальном режиме времени, а в итоге – усиливают диагностическую значимость количественных данных.

Экспериментально установлено, что амплитудно-частотный коэффициент суммарной электромиограммы AFK (1) позволяет количественно оценить развиваемое мышцей усилие: с увеличением мышечного усилия от 0 до 10 кг амплитудно-частотный коэффициент ЭМГ-сигнала мышцы *m. biceps brachii* в группе здоровых лиц (8 человек, средний возраст 35 лет) возрастает с $(33 \pm 11) \cdot 10^{-2}$ до $(386 \pm 54) \cdot 10^{-2}$ мкВ/Гц.

Обосновано использование коэффициента вариации амплитудной огибающей суммарной электромиограммы s (2) в количественной оценке мышечного тонуса человека: указанный показатель для ЭМГ-сигналов мышцы *m. gastrocnemius medialis*, зарегистрированных в группе здоровых лиц (25 человек; средний возраст 21 год), составил $20,9 \pm 5,2$ %, что свидетельствует о среднем рассеянии отсчетов огибающей электромиограммы относительно средней арифметической величины при нормальной функции

мышечного тонуса (рисунок 2, а); а в группе пациентов с нарушением двигательной функции мышц нижних конечностей (25 человек; средний возраст 53 года) достиг $34 \pm 11 \%$, что свидетельствует о сильном рассеянии отсчетов огибающей ЭМГ-сигнала относительно средней арифметической величины при ослабленной функции мышечного тонуса (рисунок 2, б).



а – при нормальной функции мышечного тонуса ($c=18 \%$);
 б – при ослабленной функции мышечного тонуса ($c=38 \%$)

**Рисунок 2 – Графики огибающей суммарных электромиограмм
 мышцы *m. gastrocnemius medialis***

Частотно-временной анализ суммарных ЭМГ-сигналов билатеральных мышц *m. gastrocnemius medialis*, *m. tibialis anterior*, *m. rectus femoris*, *m. vastus lateralis* до и после лечения, выполненный индивидуально для каждого пациента из группы лиц с нарушениями двигательных функций мышц нижних конечностей (21 человек, средний возраст 53 года), подтвердил целесообразность использования относительного изменения амплитудно-частотного коэффициента суммарной электромиограммы $\Delta AFK_{отн}$ (3) в качестве количественного критерия динамики функционального состояния мышцы: значение указанного показателя менее $-0,15$ свидетельствует об ухудшении функционального состояния исследуемой мышцы, более $0,15$ – об улучшении функционального состояния мышцы, относительное изменение амплитудно-частотного коэффициента в диапазоне $-0,15 \dots 0,15$ свидетельствует об отсутствии существенных изменений. Результаты визуальной оценки спектрограмм ЭМГ-сигналов, зарегистрированных до и после лечения, усиливают диагностическую значимость количественных данных.

Проведенные в группе здоровых лиц (51 человек; средний возраст 19 лет) исследования влияния прямоугольных биполярных импульсов и синусоидально-модулированных токов (СМТ) с различными частотами на мышцу *m. gastrocnemius medialis* доказали целесообразность использования относительного изменения амплитудно-частотного коэффициента суммарных ЭМГ-сигналов, зарегистрированных до начала и после окончания курса

электротерапии, в качестве меры количественной оценки воздействия сигналов электромиостимуляции с различными параметрами на функциональное состояние стимулируемой мышцы:

1. При увеличении частоты прямоугольных биполярных импульсов от 50 до 1000 Гц показатель относительного изменения амплитудно-частотного коэффициента ЭМГ-сигналов мышцы *m. gastrocnemius medialis* уменьшается с $1,18 \pm 0,62$ до $0,08 \pm 0,23$. Таким образом, функциональное состояние мышцы улучшается с уменьшением частоты прямоугольных биполярных импульсов от 1000 до 50 Гц (коэффициент корреляции Пирсона равен $-0,65$).

2. При увеличении частоты модуляции СМТ (с несущей частотой 2 кГц) от 25 до 150 Гц показатель относительного изменения амплитудно-частотного коэффициента ЭМГ-сигналов мышцы *m. gastrocnemius medialis* увеличивается от $-0,04 \pm 0,36$ до $0,72 \pm 0,25$. Таким образом, функциональное состояние мышцы улучшается с увеличением частоты модуляции СМТ (с несущей частотой 2 кГц) от 25 до 150 Гц (коэффициент корреляции Пирсона равен $0,79$).

3. При увеличении частоты модуляции СМТ (с несущей частотой 5 кГц) от 25 до 150 Гц показатель относительного изменения амплитудно-частотного коэффициента ЭМГ-сигналов мышцы *m. gastrocnemius medialis* увеличивается от $0,25 \pm 0,32$ до $1,66 \pm 0,32$. Таким образом, функциональное состояние мышцы улучшается с увеличением частоты модуляции СМТ (с несущей частотой 5 кГц) от 25 до 150 Гц (коэффициент корреляции Пирсона равен $0,87$).

В четвертой главе разработана методика диагностики функционального состояния нервно-мышечного аппарата человека на основе результатов частотно-временного анализа суммарной электромиограммы исследуемой мышцы – спектрограммы и амплитудно-частотных параметров ЭМГ-сигнала (средней амплитуды, средней эффективной ширины спектра, амплитудно-частотного коэффициента). Реализована возможность количественной оценки мышечного тонуса человека на основе коэффициента вариации огибающей суммарной электромиограммы, что позволяет избежать дополнительных исследований с использованием тонусометров. Заключение о функциональном состоянии исследуемой мышцы производится по результатам сравнения рассчитанного амплитудно-частотного коэффициента с соответствующими показателями электромиограммы данной мышцы, зарегистрированной в норме, при ослабленном состоянии и патологии. Разработанная методика позволяет сформировать объективное диагностическое заключение за короткий период времени (до 3 мин) и использовать полученную информацию для прогнозирования сроков восстановления нарушенных двигательных функций, в качестве критерия при выборе средств физической реабилитации.

Разработана методика контроля динамики функционального состояния нервно-мышечного аппарата человека на основе сравнительного анализа

результатов частотно-временной обработки исходной и текущей суммарных электромиограмм исследуемой мышцы – спектрограмм и амплитудно-частотных параметров ЭМГ-сигналов (средней амплитуды, средней эффективной ширины спектра, коэффициента вариации огибающей ЭМГ-сигнала). Заключение о характере динамики функционального состояния исследуемой мышцы производится на основании относительного изменения амплитудно-частотного коэффициента. Разработанная методика позволяет оценить процесс восстановления нарушенных функций мышц в клинической медицине, а также процесс тренировки мышц в спортивной медицине.

Разработан способ электромиостимуляции сигналами различной сократительной способности на основе частотно-временного анализа суммарной электромиограммы стимулируемой мышцы. Сущность способа заключается в выборе сигнала электромиостимуляции в частотном диапазоне 10 Гц – 10 кГц с сократительной способностью, адекватной по своему физиологическому действию индивидуальному функциональному состоянию нервно-мышечного аппарата человека. Для здоровых мышц, амплитудно-частотный коэффициент ЭМГ-сигнала которых равен или превышает порог нормы ($AFK \geq AFK_{norm}$), с целью тренировки и увеличения мышечной силы формируются сигналы с высокой сократительной способностью. Для мышц с патологическими изменениями, характеризующихся амплитудно-частотным коэффициентом менее порога патологии ($AFK < AFK_{patology}$), с целью лечения формируются сигналы с низкой сократительной способностью. Для ослабленных мышц, амплитудно-частотный коэффициент ЭМГ-сигнала которых удовлетворяет условию $AFK_{patology} \leq AFK < AFK_{norm}$, с целью реабилитации формируются сигналы со средней сократительной способностью. Оценка сократительной способности сигналов электромиостимуляции осуществляется на основании взвешенного коэффициента вариации огибающей спектра V_g и эффективной ширины спектра ΔF сигнала воздействия. Предусмотрен контроль эффективности электротерапии по результатам расчета относительного изменения амплитудно-частотного коэффициента. Предложенный способ позволяет повысить эффективность тренировки, профилактики и лечения поражений мышц опорно-двигательного аппарата за счет согласования спектральных параметров сигнала электромиостимуляции (V_g и ΔF) с функциональным состоянием объекта воздействия.

Разработан лечебно-диагностический аппаратно-программный комплекс, содержащий электромиограф с частотно-временной обработкой суммарной электромиограммы и электромиостимулятор с формированием стимулирующего сигнала различной сократительной способности на основе анализа биоэлектрической активности мышцы (рисунок 3). Предусмотрено два

Беларусь (2008 г., 2009 г.), грамота 46-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР (2010 г.), диплом Международного Алфёровского фонда поддержки образования и науки (2010 г.).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Установлены зависимости параметров частотно-временного представления суммарной электромиограммы (средней амплитуды, средней эффективной ширины спектра, коэффициента вариации огибающей ЭМГ-сигнала, амплитудно-частотного коэффициента) от функционального состояния нервно-мышечного аппарата человека. Показано, что в качестве количественного критерия функционального состояния мышечной ткани целесообразно использовать амплитудно-частотный коэффициент – показатель отношения средней амплитуды к средней эффективной ширине спектра суммарной электромиограммы. Амплитудно-частотный коэффициент учитывает основные параметры биоэлектрического сигнала (амплитуду и частоту), достигает максимальных значений в норме: $(98 \pm 52) \cdot 10^{-2}$ мкВ/Гц; уменьшается в случае ослабленного состояния мышечной ткани: $(15,7 \pm 6,3) \cdot 10^{-2}$ мкВ/Гц; и минимален при патологии: $(5,3 \pm 1,8) \cdot 10^{-2}$ мкВ/Гц (значения соответствуют ЭМГ-сигналам мышцы *m. gastrocnemius medialis*). Данный показатель является мерой количественной оценки развиваемого мышцей усилия: с увеличением мышечного усилия от 0 до 10 кг амплитудно-частотный коэффициент суммарного ЭМГ-сигнала мышцы *m. biceps brachii* возрастает с $(33 \pm 11) \cdot 10^{-2}$ до $(386 \pm 54) \cdot 10^{-2}$ мкВ/Гц. Обоснована целесообразность применения коэффициента вариации огибающей суммарной электромиограммы в количественной оценке мышечного тонуса человека: для ЭМГ-сигналов мышцы *m. gastrocnemius medialis* в норме указанный показатель составляет $20,9 \pm 5,2$ %, при патологии достигает 34 ± 11 % [1–А, 3–А, 5–А, 6–А, 8–А – 10–А, 13–А, 14–А].

2. Установлено, что показатель относительного изменения амплитудно-частотного коэффициента суммарных электромиограмм, зарегистрированных до и после лечения, позволяет количественно оценить характер динамики функционального состояния исследуемой мышцы: значение указанного показателя менее $-0,15$ свидетельствует об отрицательной динамике функционального состояния мышцы, более $0,15$ – о положительной динамике, относительное изменение амплитудно-частотного коэффициента в диапазоне $-0,15 \dots 0,15$ свидетельствует об отсутствии изменений. Обосновано использование относительного изменения амплитудно-частотного

коэффициента в оценке влияния сигналов электромиостимуляции с различными параметрами на функциональное состояние стимулируемой мышцы [2-А, 7-А, 11-А, 15-А].

3. Разработаны методики диагностики и контроля динамики функционального состояния нервно-мышечного аппарата человека на основе частотно-временного анализа суммарной электромиограммы, позволяющие сформировать объективное диагностическое заключение за короткий период времени (до 3 мин) и использовать полученную информацию для прогнозирования сроков восстановления нарушенных двигательных функций, в качестве критерия при выборе средств физической реабилитации, для оценки процесса лечения и тренировки мышц [6-А, 12-А, 18-А].

4. Разработан способ электромиостимуляции на основе частотно-временного анализа суммарной электромиограммы стимулируемой мышцы, осуществляющий выбор сигнала воздействия в частотном диапазоне 10 Гц – 10 кГц с требуемой сократительной способностью в зависимости от функционального состояния нервно-мышечного аппарата человека (на основе амплитудно-частотного коэффициента ЭМГ-сигнала стимулируемой мышцы) и контроль эффективности электротерапии (на основе относительного изменения амплитудно-частотного коэффициента). Предложенный способ позволяет повысить эффективность тренировки, профилактики и лечения поражений мышц опорно-двигательного аппарата человека за счет согласования спектральных параметров сигнала электромиостимуляции с функциональным состоянием объекта воздействия [4-А, 16-А, 17-А].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Разработанную методику расчета параметров частотно-временного представления суммарной электромиограммы нервно-мышечного аппарата человека целесообразно использовать в качестве основы для дальнейших исследований амплитудных и частотных показателей биоэлектрической активности мышц человека при различных патологических состояниях, процессах мышечной усталости, а также для анализа других биоэлектрических сигналов [1-А, 3-А, 5-А, 8-А, 13-А].

2. Разработанный лечебно-диагностический аппаратно-программный комплекс целесообразно использовать для диагностики и контроля динамики функционального состояния нервно-мышечной системы человека на основе частотно-временного анализа суммарной электромиограммы; для тренировки, профилактики и лечения поражений мышц опорно-двигательного аппарата посредством воздействия сигналами электромиостимуляции, адекватными индивидуальному состоянию стимулируемой мышцы [4-А, 12-А, 18-А].

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых научных журналах

1–А. Меженная, М.М. Частотно-временной анализ электронистагмограмм / М.М. Меженная, С.А. Лихачев, А.Н. Осипов, В.А.Кульчицкий, Н.С. Савченко, М.В. Давыдов // Инженерный вестник. – 2009. – № 1 (27). – С. 59–65.

2–А. Меженная, М.М. Частотно-временной анализ интерференционных электромиограмм в оценке эффективности лечения и реабилитации пациентов / М.М. Меженная, Н.С. Давыдова, М.В. Давыдов, А.Н. Осипов // Инженерный вестник. – 2010. – № 2 (30). – С. 92–96.

3–А. Меженная, М.М. Современные методы анализа суммарной электромиограммы нервно-мышечного аппарата человека в норме и при патологии / М.М. Меженная // Новости медико-биологических наук. – 2011. – № 3. – С. 49–58.

4–А. Меженная, М.М. Метод и техническое обеспечение адаптивной электромиостимуляции на основе суммарной электромиографии нервно-мышечного аппарата человека / М.М. Меженная, А.Н. Осипов, М.В. Давыдов, Н.С. Давыдова // Доклады БГУИР. – 2012. – № 2 (64). – С. 46–52.

5–А. Меженная, М.М. Метод частотно-временного анализа суммарной электромиограммы в оценке функционального состояния нервно-мышечного аппарата человека / М.М. Меженная, А.Н. Осипов, И.А. Ильясевич, Н.С. Давыдова, М.В. Давыдов, В.А. Кульчицкий // Проблемы физики, математики и техники. – 2012. – № 1 (10). – С. 105–112.

6–А. Меженная, М.М. Частотно-временной анализ суммарной электромиограммы в качественной и количественной оценке функционального состояния нервно-мышечного аппарата человека / М.М. Меженная, А.Н. Осипов, И.А. Ильясевич, Н.С. Давыдова, М.В. Давыдов, В.А. Кульчицкий // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2012. – № 2. – С. 3–11.

7–А. Меженная, М.М. Оценка эффективности сигналов электромиостимуляции на основе частотно-временного анализа суммарной электромиограммы стимулируемой мышцы / М.М. Меженная // Доклады БГУИР. – 2012. – № 4 (66). – С. 42–48.

Статьи в сборниках и материалах конференций

8–А. Меженная, М.М. Информативность параметров частотно-временного представления интерференционных электромиограмм человека /

М.М. Меженная, Н.С. Давыдова, А.Н. Осипов // Современные средства связи: материалы XV Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 28–30 сент. 2010 г. / БГУИР, ВГКС; редкол.: А.О. Зеневич [и др.]. – Минск, 2010. – С. 136–137.

9–А. Mezhenayа, M.M. Time-Frequency Analysis of Interferential Electromyogram Signals in Qualitative and Quantitative Estimation of Human Neuromuscular System Functional Condition / M.M. Mezhenayа, A.N. Osipov, I.A. Ilyasevich, N.S. Davydova, V.A. Kulchickiy // Digital Technologies 2010 [Электронный ресурс] : proceedings of the 7th International Conference, Zilina, Slovakia, 11–12 Nov. 2010. – Электрон. дан. и прогр. (512 Мб). – Zilina, 2010. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) : зв., цв.

10–А. Меженная, М.М. Качественная и количественная оценка функционального состояния нервно-мышечного аппарата человека на основе частотно-временного анализа суммарной электромиограммы / М.М. Меженная, А.Н. Осипов, И.А. Ильясевич, Н.С. Давыдова, Э.С. Кашицкий // Научные труды НИИ физической культуры и спорта Республики Беларусь: сб. науч. тр. / ГУ «РУМЦ ФВН»; редкол.: Н.Г. Кручинский [и др.]. – Минск, 2011. – № 10. – С. 362–367.

11–А. Меженная, М.М. Количественная оценка воздействия сигналов электромиостимуляции различной частоты и формы на функциональное состояние нервно-мышечного аппарата человека / М.М. Меженная, А.Н. Осипов, Н.С. Давыдова, М.В. Давыдов // Приборостроение–2011: материалы 4-й Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 11–13 нояб. 2011 г. / БНТУ; редкол.: О.К. Гусев [и др.]. – Минск, 2011. – С. 368–370.

12–А. Меженная, М.М. Электромиограф с функцией автоматического частотно-временного анализа биоэлектрической активности нервно-мышечного аппарата человека / М.М. Меженная, А.Н. Осипов, Н.С. Давыдова, М.В. Давыдов // Научные стремления – 2011: материалы II Междунар. науч.-практ. конф. мол. ученых, Минск, 14–18 нояб. 2011 г. : в 2 т. / Минск : Белорусская наука, 2011. – Т.1. – С. 682–685.

Тезисы докладов

13–А. Меженная, М.М. Выбор параметров частотно-временной обработки электромиограмм нервно-мышечного аппарата / М.М. Меженная, Н.С. Давыдова, М.В. Давыдов, А.Н. Осипов // 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. 464.

14–А. Меженная, М.М. Частотно-временной анализ суммарной электромиограммы нервно-мышечного аппарата человека в норме и при

патологии / М.М. Меженная // Ломоносов–2011: материалы XVIII Междунар. науч. конф. студ., асп. и мол. ученых, Москва, 11–15 апр. 2011 г. / МГУ им. Ломоносова; редкол.: А.И. Андреев [и др.]. – [Электронный ресурс]. – 2011. – Режим доступа : http://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov_2011/structure_30_1342.htm. – Дата доступа : 15.04.2012.

15–А. Меженная, М.М. Воздействие сигналов электромиостимуляции на частотно-временные параметры суммарных электромиограмм нервно-мышечного аппарата человека / М.М. Меженная, Н.С. Давыдова, М.В. Давыдов, А.Н. Осипов // 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. 349.

16–А. Mezhenyaya, M. Adaptive functional electrical stimulation on the base of time-frequency analyses of stimulated muscle global electromyogram / M. Mezhenyaya, A. Osipov, M. Davydov, N. Davydova // Book of Abstracts of the 55th Scientific Conference for Young Students of Physics and Natural Sciences, Vilnius, Lithuania, 28–31 March 2012 / Vilnius University. – Vilnius, 2012. – P. 124.

17–А. Mezhenyaya, M. Method of adaptive functional electrical stimulation on the base of global electromyography / M. Mezhenyaya, A. Osipov, M. Davydov, N. Davydova // Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ–2012: материалы 8-й Междунар. молодежн. науч.-техн. конф., Севастополь, 23–27 апр. 2012 г. / СевНТУ; редкол.: Е.В. Пашков [и др.]. – Севастополь, 2012. – С. 373.

Патенты

18–А. Устройство электромиографии : пат. 7118 Респ. Беларусь, МПК7 А 61 В 5/0488 / А.Н. Осипов, В.А. Кульчицкий, И.А. Ильясевич, М.М. Меженная, М.В. Давыдов, Н.С. Давыдова ; заявитель учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники». – № и 20100556; заявл. 15.06.10, опубл. 30.04.11 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2011. – № 2 (79). – С. 161.



РЭЗЬЮМЭ

Мяжэнная Марына Міхайлаўна

Апаратна-праграмныя сродкі электрастымуляцыі апорна-рухальнага апарата чалавека на аснове частотна-часовага аналізу біяэлектрычнай актыўнасці мышцаў

Ключавыя словы: электрастымуляцыя, электраміяграфія, сумарная электраміяграма, частотна-часовы аналіз, спектраграма.

Мэта працы: распрацоўка тэхнічных сродкаў для павышэння эфектыўнасці электрастымуляцыі апорна-рухальнага апарата чалавека на аснове ўзгаднення параметраў сігнала ўздзеяння з індывідуальным функцыянальным станам стымулюемай мышцы.

Метады даследавання і абсталяванне: рэгістрацыя і апрацоўка сумарнай электраміяграмы праводзіліся з выкарыстаннем распрацаванага двухканальнага апаратна-праграмнага комплексу забеспячэння электраміяграфічных даследаванняў. Частотна-часовы аналіз сумарнай электраміяграмы выконваўся ў асяроддзі SpectraPro і асяроддзі Matlab.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: эксперыментальна ўсталяваны раней невядомы залежнасці параметраў сумарнай электраміяграмы (сярэдняй амплітуды, сярэдняй эфектыўнай шырыні спектра, каэфіцыента варыяцыі абгінаючай сігнала, амплітудна-частотнага каэфіцыента) ад функцыянальнага стану нервова-мышачнага апарата чалавека, што дазволіла стварыць лячэбна-дыягнастычны апаратна-праграмны комплекс для ацэнкі і кантролю дынамікі функцыянальнага стану нярова-мышачнай сістэмы чалавека на аснове частотна-часовага аналізу сумарнай электраміяграмы, для трэніроўкі, прафілактыкі і лячэння паражэнняў мышцаў апорна-рухальнага апарата чалавека з дапамогай уздзеяння сігналамі электраміястымуляцыі з скарачальнай здольнасцю, адэкватнай па сваім фізіялагічным дзеянні індывідуальнаму функцыянальнаму стану стымулюемай мышцы.

Ступень выкарыстання: вынікі працы ўжыты ў клінічнай электрафізіялогіі ДУ «РНПЦ траўматалогіі і арталеды» Міністэрства аховы здароўя Рэспублікі Беларусь, у электрафізіялогіі мышачнай дзейнасці ДУ «НД фізічнай культуры і спорту Рэспублікі Беларусь», у сферы прафесійнага адбору ДУ «Мінскае сувораўскае ваеннае вучылішча».

Вобласць ужывання: дыягностыка нервова-мышачнай сістэмы чалавека; трэніроўка, прафілактыка, лячэнне паражэнняў мышцаў апорна-рухальнага апарата чалавека.

РЕЗЮМЕ

Меженная Марина Михайловна

Аппаратно-программные средства электростимуляции опорно-двигательного аппарата человека на основе частотно-временного анализа биоэлектрической активности мышц

Ключевые слова: электростимуляция, электромиография, суммарная электромиограмма, частотно-временной анализ, спектрограмма.

Цель работы: разработка технических средств для повышения эффективности электростимуляции опорно-двигательного аппарата человека на основе согласования параметров сигнала воздействия с индивидуальным функциональным состоянием стимулируемой мышцы.

Методы исследования и оборудование: регистрация и обработка суммарной электромиограммы проводилась с использованием разработанного двухканального аппаратно-программного комплекса обеспечения электромиографических исследований. Частотно-временной анализ суммарной электромиограммы выполнялся в среде SpectraPro и среде Matlab.

Полученные результаты и их новизна: экспериментально установлены ранее неизвестные зависимости параметров суммарной электромиограммы (средней амплитуды, средней эффективной ширины спектра, коэффициента вариации огибающей сигнала, амплитудно-частотного коэффициента) от функционального состояния нервно-мышечного аппарата человека, что позволило создать лечебно-диагностический аппаратно-программный комплекс для оценки и контроля динамики функционального состояния нервно-мышечной системы человека на основе частотно-временного анализа суммарной электромиограммы, для тренировки, профилактики и лечения поражений мышц опорно-двигательного аппарата человека посредством воздействия сигналами электромиостимуляции с сократительной способностью, адекватной по своему физиологическому действию индивидуальному функциональному состоянию стимулируемой мышцы.

Степень использования: результаты работы применены в клинической электрофизиологии ГУ «РНПЦ Травматологии и ортопедии» МЗ Республики Беларусь, в электрофизиологии мышечной деятельности ГУ «НИИ физической культуры и спорта Республики Беларусь», в сфере профессионального отбора ГУ «Минское суворовское военное училище».

Область применения: диагностика нервно-мышечной системы человека; тренировка, профилактика, лечение поражений мышц опорно-двигательного аппарата человека.

SUMMARY

Mezhennaya Marina Mikhailovna

Hardware and software means of electrostimulation of human musculoskeletal system on the basis of time-frequency analysis of muscle bioelectric activity

Keywords: electrostimulation, electromyography, total electromyogram, time-frequency analysis, spectrogram.

Aim of the work: development of technical means for improvement of efficiency of human musculoskeletal system electrostimulation on the basis of coordination the stimulation parameters with individual functional condition of stimulated muscle.

Research methods and equipment: the registration and processing of total electromyogram were performed using the developed two-channel hardware-software complex for electromyography researches. The time-frequency analysis of total electromyogram was carried out in SpectraPro and Matlab.

The obtained results and their novelty: the earlier unknown dependences of the total electromyogram parameters (average amplitude, average effective width of spectrum, factor of variation bending around electromyogram, amplitude-frequency factor) from human neuromuscular system functional condition have been experimentally established. These results have allowed to create the therapy and diagnostic hardware-software complex for the assessment and control of dynamics of human neuromuscular system functional condition on the basis of total electromyogram time-frequency analysis, for training, prevention and treatment of the defeats of muscles of human musculoskeletal device by means of influence the stimulation signals with the reduction ability adequate on their physiological action to individual functional condition of stimulated muscle.

Extent of usage: the results of the work are applied in clinical electrophysiology of the Republican Academic and Research Center of Traumatology and Orthopedics of the Ministry of Health of the Republic of Belarus, in electrophysiology of muscular activity of the Scientific Research Institute of Physical Culture and Sport of the Republic of Belarus, in the sphere of professional selection of the Minsk Suvorovsky Military College.

Field of application: diagnostics of human neuromuscular system; training, prevention, treatment of the defeats of muscles of human musculoskeletal device.

Научное издание

МЕЖЕННАЯ МАРИНА МИХАЙЛОВНА

**АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИИ
ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ЧЕЛОВЕКА
НА ОСНОВЕ ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОГО АНАЛИЗА
БИОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ МЫШЦ**

Специальность 05.11.17 – Приборы, системы и изделия
медицинского назначения

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

Подписано в печать 25.09.2012.	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 463.

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. Бровки, 6.