

СПОСОБ ЭЛЕКТРОМИОСТИМУЛЯЦИИ СИГНАЛАМИ РАЗЛИЧНОЙ СОКРАТИТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ НА ОСНОВЕ ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОГО АНАЛИЗА СУММАРНОЙ ЭЛЕКТРОМИОГРАММЫ МЫШЦЫ

Меженная М.М., Осипов А.Н., Давыдов М.В., Давыдова Н.С.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
ул. П. Бровки, 6, БГУИР, каф. ЭТТ, 220013, Минск, Беларусь, тел. +375 17 2938540
E-mail: mezhennaya@bsuir.by*

Abstract. The electrical stimulation method has been designed on the base of the amplitude and frequency parameter analyses of global electromyogram of stimulated muscle. The electrical stimulator carries out influence by the stimulating signals various reduction abilities taking into account the individual human neuromuscular system functional condition and control of the efficiency of therapeutic procedures. The results of this work can be interesting for developer of the electromyography and electrical stimulation systems.

Введение. Создание новых способов лечения должно опираться на возможности современных технологий, с одной стороны, и глубокое понимание явлений, происходящих при взаимодействии технических средств и живого организма, с другой стороны. Изучение такого взаимодействия требует системного подхода, в соответствии с которым технические и биологические звенья должны рассматриваться взаимосвязано с целью согласования параметров биообъекта и технических компонентов системы, выработки оптимального лечебного воздействия [1-4]. С учетом вышеизложенного эффективная электромиостимуляция должна быть основана на согласовании параметров электрического сигнала с физиологическими характеристиками стимулируемых мышц. Объективным диагностическим показателем функционального состояния мышцы служат параметры суммарного электромиографического сигнала [5-6]. В связи с этим целесообразно разрабатывать автоматизированные лечебно-диагностические комплексы, предусматривающие оценку функционального состояния нервно-мышечной системы человека методом суммарной электромиографии и воздействие на опорно-двигательный аппарат сигналами электромиостимуляции, адекватными индивидуальному состоянию стимулируемых мышц.

Для реализации поставленной задачи разработан способ электромиостимуляции сигналами различной сократительной способности на основе частотно-временного анализа суммарной электромиограммы стимулируемой мышцы.

Основная часть. Разработанный способ электромиостимуляции сигналами различной сократительной способности на основе частотно-временного анализа суммарной электромиограммы стимулируемой мышцы базируется на следующих положениях: взаимосвязь амплитудно-частотного коэффициента суммарной электромиограммы и функционального состояния исследуемой мышцы, установленная авторами в работе [7]; взаимосвязь функционального состояния мышцы и сократительной способности (миостимулирующих свойств) воздействующего сигнала, требуемых для проведения эффективной электротерапии [8]; взаимосвязь взвешенного коэффициента вариации огибающей спектра сигнала электромиостимуляции и его сократительной способности [9].

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. Разработанный способ электромиостимуляции включает следующие этапы: 1) диагностика функционального состояния стимулируемой мышцы; 2) контроль эффективности физиотерапевтического воздействия; 3) выбор сигнала электромиостимуляции с требуемой сократительной способностью; 4) проведение сеанса электромиостимуляции (рисунок 1).



Рисунок 1 – Способ электромиостимуляции сигналами различной сократительной способности на основе частотно-временного анализа суммарной электромиограммы стимулируемой мышцы

Для реализации разработанного способа предложен алгоритм электромиостимуляции сигналами различной сократительной способности на основе частотно-временного анализа суммарной электромиограммы стимулируемой мышцы (рисунок 2).

На этапе диагностики функционального состояния нервно-мышечного аппарата человека выполняется регистрация суммарной электромиограммы стимулируемой мышцы, построение спектрограммы методом частотно-временного преобразования и расчет амплитудно-частотного коэффициента ЭМГ-сигнала. При этом частотно-временная обработка электромиограммы и определение амплитудно-частотных параметров производится в соответствии с разработанной авторами методикой [7].

Вывод спектрограммы в режиме реального времени дает возможность врачу контролировать процесс проведения процедуры электромиографии, позволяет выполнить экспресс-оценку основных параметров биомедицинского сигнала – амплитуды и частоты, а также проанализировать состояние мышечного тонуса. Результаты анализа спектрограммы используются для усиления диагностической значимости количественных данных.

Количественная оценка функционального состояния стимулируемой мышцы основана на расчете амплитудно-частотного коэффициента AFK суммарной электромиограммы, равного отношению средней амплитуды ЭМГ-сигнала A_{avr} к средней эффективной ширине спектра Δf_{avr} и вычисляемого по результатам частотно-временной обработки:

$$AFK = A_{avr} / \Delta f_{avr}. \quad (1)$$

Целесообразность расчета данного показателя выявлена в результате проведенных авторами исследований параметров частотно-временного представления суммарной электромиограммы нервно-мышечного аппарата человека в норме и патологии: отношение средней амплитуды к средней эффективной ширине спектра суммарного ЭМГ-сигнала достигает максимальных значений в норме, уменьшается в случае ослабленного состояния мышечной ткани и значительно снижается в случае патологии высокой степени выраженности. Таким образом, амплитудно-частотный коэффициент служит критерием функционального состояния нервно-мышечного аппарата человека [7].

В качестве уровней градации функционального состояния стимулируемой мышцы используются состояние нормы, состояние ослабленной ткани, состояние патологии. Заключение о функциональном состоянии исследуемой мышцы формируется по результатам сравнения рассчитанного амплитудно-частотного коэффициента с соответствующими

показателями суммарной электромиограммы этой мышцы, зарегистрированной в норме, при ослабленном состоянии и патологии.

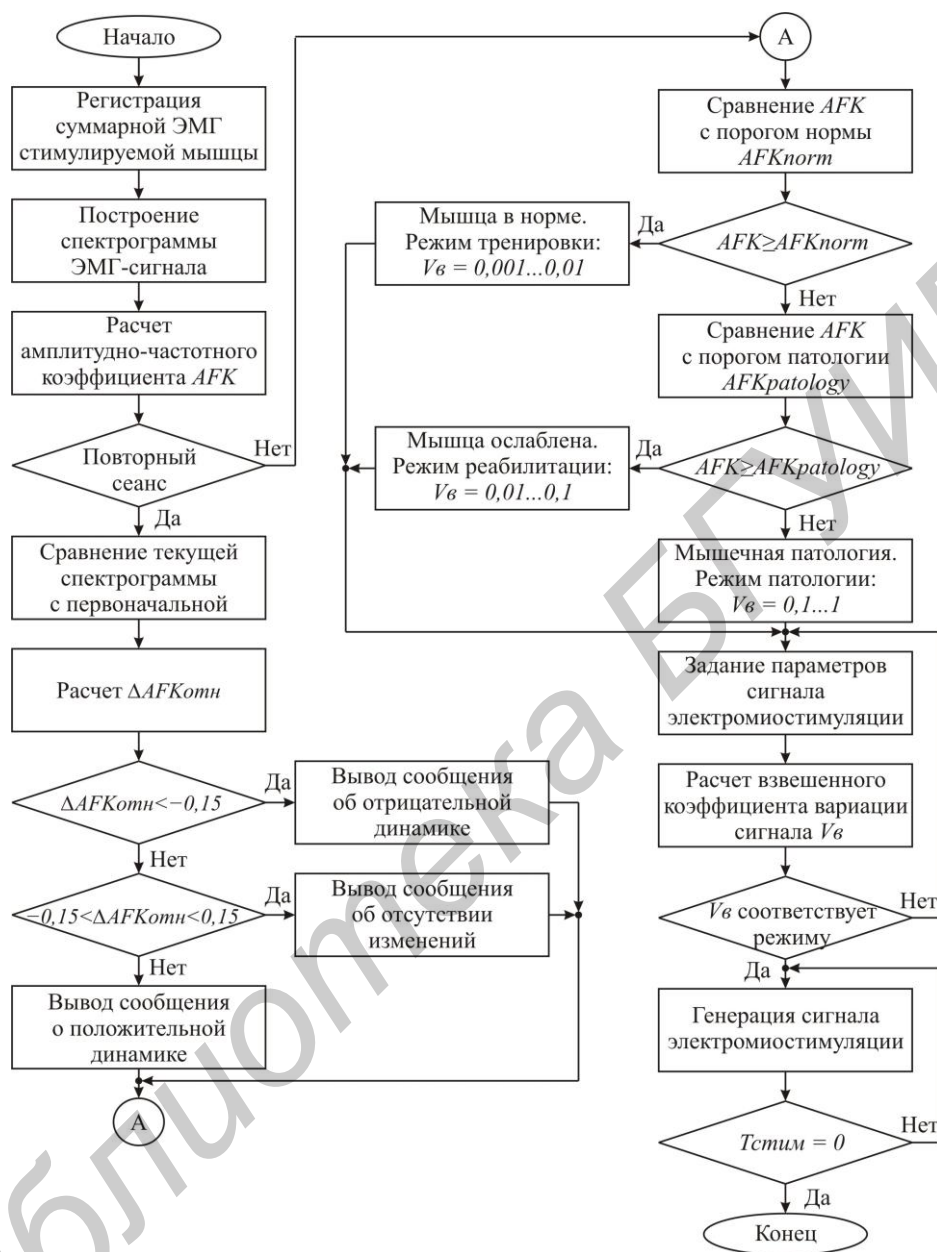


Рисунок 2 – Алгоритм электромиостимуляции сигналами различной сократительной способности на основе частотно-временного анализа суммарной электромиограммы стимулируемой мышцы

Этап контроля эффективности физиотерапевтического воздействия выполняется при проведении повторных сеансов электромиостимуляции и предусматривает наличие диагностической информации, полученной на первом этапе. Контроль эффективности электротерапии базируется на анализе динамики функционального состояния стимулируемой мышцы. Для этого выполняется визуальное сравнение текущей и исходной спектрограмм с целью усиления диагностической значимости количественных данных, и рассчитывается показатель относительного изменения амплитудно-частотного коэффициента суммарной электромиограммы под действием электромиостимуляции:

$$\Delta AFK = (AFK_i - AFK_0) / AFK_0, \quad (2)$$

где AFK_i – амплитудно-частотный коэффициент ЭМГ-сигнала, зарегистрированного перед текущим сеансом электромиостимуляции, AFK_0 – амплитудно-частотный коэффициент исходной электромиограммы, зарегистрированной до начала курса электромиостимуляционной терапии.

Расчет величины изменения амплитудно-частотного коэффициента относительно первоначального значения позволяет учесть исходное функциональное состояние стимулируемой мышцы, а в результате – обеспечить сопоставимость данных как для пациентов с нарушением двигательных функций, так и для здоровых лиц, решающих задачу тренировки нервно-мышечного аппарата.

Величина относительного изменения амплитудно-частотного коэффициента менее – 0,15 свидетельствует об ухудшении параметров стимулируемой мышц; свыше 0,15 – об улучшении параметров стимулируемой мышцы. Если рассчитанный показатель находится в пределах –0,15..0,15, то выводится сообщение об отсутствии изменений в функциональном состоянии стимулируемой мышцы.

Этап выбора сигнала электромиостимуляции с требуемой сократительной способностью реализуется в соответствии с рассчитанным на первом этапе амплитудно-частотным коэффициентом. 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.

Выбор параметров стимула, обеспечивающих требуемую сократительную способность сигнала воздействия, осуществляется на основании выявленной в работе [9] взаимосвязи между спектральными характеристиками сигналов электростимуляции (взвешенного коэффициента вариации огибающей спектра V_g и эффективной ширины спектра ΔF сигнала воздействия) и их физиологической эффективностью при воздействии на мышечную ткань. Для реализации режима тренировки мышцы взвешенный коэффициент вариации стимулирующего сигнала должен находиться в пределах $V_g=0,001...0,01$ (сигналы электромиостимуляции с высокой сократительной способностью). В режиме реабилитации взвешенный коэффициент вариации стимулирующего сигнала должен равняться $V_g=0,01...0,1$ (сигналы электромиостимуляции со средней сократительной способностью). В режиме патологии взвешенный коэффициент вариации стимулирующего сигнала должен задаваться в диапазоне $V_g=0,1...1$ (сигналы электромиостимуляции с низкой сократительной способностью).

Задание параметров стимулирующего сигнала (выбор формы, частоты сигнала) производится врачом. Далее выполняется проверка соответствия сигнала электромиостимуляции рекомендованному режиму (тренировки, реабилитации или патологии) путем расчета взвешенного коэффициента вариации V_g стимулирующего сигнала: если полученное значение коэффициента вариации не удовлетворяет заданному, производится корректировка параметров воздействия.

Этап проведения сеанса электромиостимуляции осуществляется посредством воздействия стимулирующим сигналом с требуемой сократительной способностью на мышцу человека в течение заданного промежутка времени.

Заключение. 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 $AFK_{patology} \leq AFK < AFK_{nom}$, с целью реабилитации формируются сигналы со средней сократительной способностью. Оценка сократительной способности сигналов электромиостимуляции осуществляется на основании взвешенного коэффициента вариации огибающей спектра и эффективной ширины спектра сигнала воздействия.

Предложенный способ позволяет повысить качество тренировки, профилактики и лечения поражений мышц опорно-двигательного аппарата человека за счет согласования спектральных параметров сигнала электромиостимуляции (взвешенного коэффициента вариации огибающей спектра и эффективной ширины спектра) с функциональным состоянием объекта воздействия. Полученные результаты представляют интерес для инженеров, специализирующихся в области разработки систем электромиографии и электромиостимуляции.

Литература

1. **Основы** физиологии функциональных систем / под ред. К.В. Судакова. – М. : Медицина, 1985. – 219 с.
2. **Биотехнические** системы: теория и проектирование / под ред. В.М. Ахутина. – Л. : Изд-во ЛГУ, 1981. – 220 с.
3. **Системы** комплексной электромагнитотерапии / В. И. Жулева [и др.] ; под ред. А. М. Беркутова. – М. : Лаборатория Базовых Знаний, 2000. – 376 с.
4. **Осипов, А.Н.** Сложная биотехническая обратная связь в системах электростимуляции / А.Н. Осипов, С.К. Дик, К.Г. Сеньковский // Медицинская техника. – 2002. – № 6. – С. 27–29.
5. **Николаев, С.Г.** Практикум по клинической электромиографии / С.Г. Николаев. – Иваново, 2003. – 264 с.
6. **Гехт, Б.М.** Теоретическая и клиническая электромиография / Б.М. Гехт. – Ленинград : Наука, 1990. – 229 с.
7. **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.
8. **Улащик, В.С.** Общая физиотерапия. / В.С. Улащик, И.В. Лукомский. – М. : Интерпрес-сервис, 2004. – 512 с.
9. **Давыдов, М.В.** Методы и технические средства электромиостимуляции на основе импедансных характеристик биотканей : дис. ... канд. техн. наук : 05.11.17 / М.В. Давыдов; Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2009. – 143 л.