

ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ СИГНАЛОВ ЭЛЕКТРОМИОГРАММ ПРИ УТОМЛЕНИИ СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦ

Г.В.Атрашкова, Н.И.Протасеня, М.В.Давыдов, Д.Ф. Кузнецов, А.Н.Осипов

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ул. П. Бровки, 6, БГУИР, каф. ЭТТ, 220013, Минск, Беларусь, e-mail: ra-galios@ya.ru

Аннотация. Приведены результаты исследования частотно-временных параметров электромиографических сигналов при утомлении скелетных мышц в процессе выполнения физических упражнений. Выявлены два основных типа сигналов электромиограмм при утомляемости, а также приведена методика контроля утомляемости мышц.

Важными условиями эффективной физической подготовки спортсменов являются контроль физиологического состояния, прогнозирование возможностей организма и планирование объема нагрузки. Эти задачи эффективно решаются с использованием автоматизированных физиологических методик [1]. В рамках разработки программно-аппаратного комплекса контроля утомляемости мышц проведено исследование и анализ частотно-временных параметров сигналов электромиограмм с целью выработать на их основе новые показатели утомления скелетных мышц.

Для изучения утомления мышц был выполнен сбор сигналов электромиограмм у двух групп испытуемых по 10 человек: тренированных и нетренированных. Группа тренированных испытуемых состояла из спортсменов Олимпийского резерва Республики Беларусь и курсантов военного факультета БГУИР. Группа испытуемых средней физической подготовки состояла из студентов, занимающихся на кафедре физической культуры БГУИР. Для получения сигналов использовался двухканальный электромиограф на основе усилителя AD620. Данные фиксировались и обрабатывались с помощью программы SpectraPLUS и программного обеспечения, реализованного в среде MatLAB[2], [3].

Анализ построенных спектрограмм и полученных данных выявил следующие закономерности: у физически подготовленных испытуемых отмечались более короткие и концентрированные периоды импульсации мышц с выраженным пиком активности в основной фазе движения по сравнению испытуемыми средней физической подготовки. Наиболее высокие амплитуды сигналов, снятых с тренированных испытуемых, находятся в области 20-100Гц, в то время как у участников эксперимента со средней физической подготовкой наблюдается разброс повышенной активности на более широком спектре частот без выраженного пика активности. Средняя амплитуда электромиограмм подготовленных испытуемых ниже, чем неподготовленных, а верхняя и нижняя граничные частоты – выше. Полученные результаты подтверждают факт повышения экономичности и эффективности выполняемых спортсменами двигательных действий в процессе адаптации к мышечной деятельности, отмеченный в работе Капилевича Л.В. [1] Подготовленные участники эксперимента выполняют упражнение качественнее, правильнее и с меньшей затратой энергетических ресурсов, так как лучше координируют свою мышечную деятельность.

Анализ спектрограмм выявил заметное увеличение амплитуды сигнала ближе к концу упражнения у обеих групп испытуемых. После этого наблюдается спад активности и уменьшение амплитуд.

Для более детального рассмотрения динамики изменения параметров было принято решение о разбиении каждого сигнала на несколько равных частей. По полученным данным с помощью средств программы Microsoft Excel 2010 был построен ряд частотно-временных зависимостей и выявлено несколько типов электромиограммы, из которых два встречаются наиболее часто.

Первый тип электромиограмм – относительно длинный сигнал с наступившей усталостью. Пример первого типа сигналов представлен на рисунке 1. Слева представлена динамика изменения средней амплитуды во времени. Справа – медианной частоты. Ось абсцисс представлена номерами интервалов разбитого сигнала.

Амплитуда сигналов данного типа на обоих каналах сначала повышается, затем уменьшается, снова растет, а после опять падает. Это обусловлено нарастанием мышечного усилия в начале упражнения, затем – началом утомления, сопровождающимся снижением мышечного усилия. Далее амплитуда растет, что объясняется подключением дополнительных резервных двигательных единиц для поддержания заданного темпа выполнения упражнения [1]. Затем амплитуда сигнала вновь начинает уменьшаться, что обусловлено наступлением усталости мышцы. В момент наибольшей активности мышц наблюдается повышение медианной частоты, после чего следует ее спад. При наступлении усталости наблюдается увеличение верхней граничной частоты и рост медианной частоты, что обусловлено появлением тремора [1].

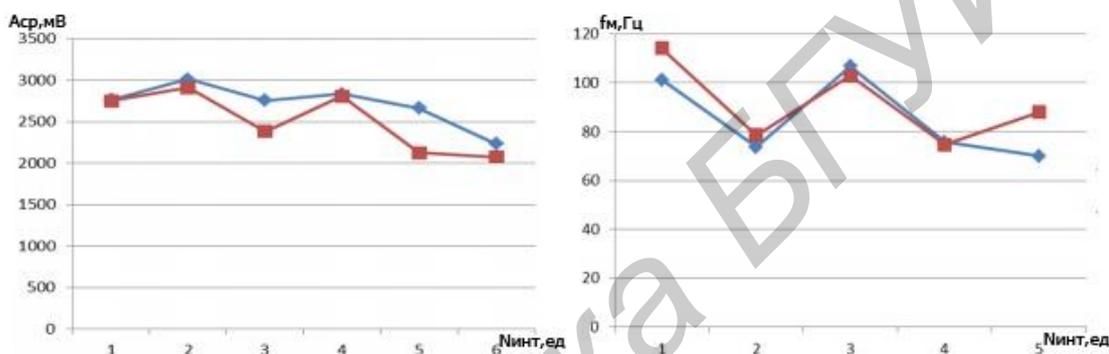


Рисунок 1 – Графики, отражающие динамику изменения средней амплитуды (слева) и медианной частоты (справа) электромиограммы первого типа.

Второй наиболее распространенный тип электромиограмм продемонстрирован на рисунке 2. Слева представлена динамика изменения средней амплитуды во времени. Справа – медианной частоты. Ось абсцисс представлена номерами интервалов разбитого сигнала.

Сигналы второго типа – это относительно короткие сигналы с наблюдаемой тенденцией прекращать упражнение на этапе включения в работу дополнительных (резервных) двигательных единиц. Дополнительное усилие мышц принималось испытуемыми за наступление усталости. Это может быть объяснено тем, что активация резервных двигательных единиц предшествует моменту наступления утомления [1].

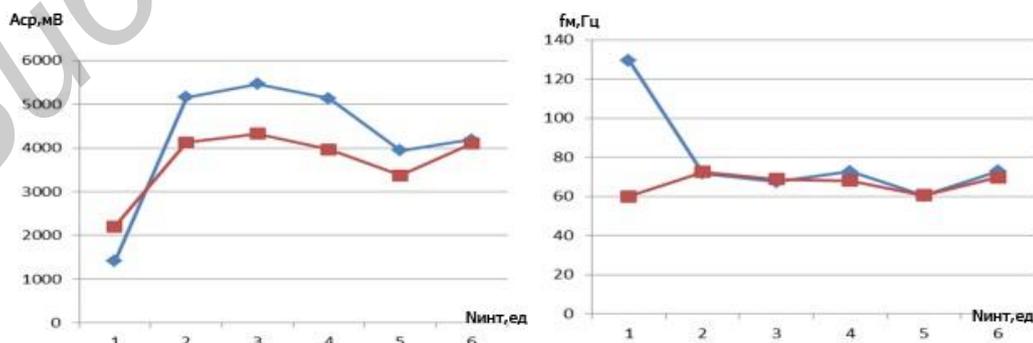


Рисунок 2 – Графики, отражающие динамику изменения средней амплитуды (слева) и медианной частоты (справа) электромиограммы второго типа

В ходе эксперимента установлено, что в большинстве случаев эффективная ширина спектра в конце выполнения упражнения значительно (на 5-15%) меньше, чем в начале. Это также может служить критерием наступления усталости. На рисунке 3 изображен график, демонстрирующий данную закономерность. Ось ординат здесь представлена частотой (Гц), а ось абсцисс – временем (с). Однако наблюдение данного критерия может быть затруднено в связи с возникновением явления тремора мышц испытуемого в конце выполнения упражнения. Его появление при снижении работоспособности мышц обуславливает не только рост медианной частоты, но и увеличение всей эффективной ширины спектра, что хорошо видно на рисунке 3 в интервале от 30 до 35 с.

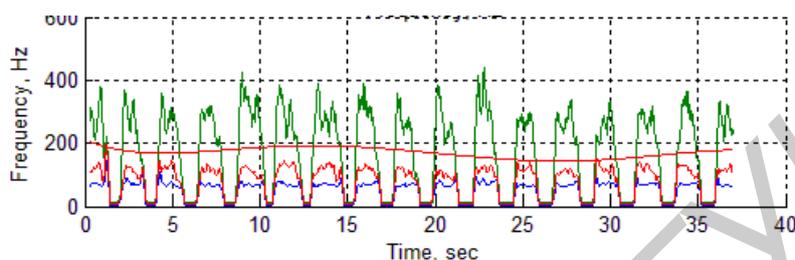


Рисунок 3 – График, отражающий динамику изменения нижней граничной, медианной и верхней граничной частот, а также эффективной ширины спектра (красная линия) на правом канале для испытуемого из группы со средней физической подготовкой

После изучения закономерностей, проявляющихся в сигналах электромиограмм, предлагается методика контроля утомляемости скелетных мышц, базирующаяся на взаимосвязи параметров частотно-временного представления суммарной электромиограммы (средней амплитуды, средней эффективной ширины спектра, медианной частоты) и наступления усталости исследуемой мышцы. Исследования показали, что для предотвращения наступления усталости рационально прекращать упражнение на моменте включения в работу дополнительных двигательных единиц, что сопровождается повышением средней амплитуды, уменьшением медианной частоты и уменьшением эффективной ширины спектра. Суть методики заключается в оценке усталости мышцы человека на основе результатов частотно-временной обработки суммарной электромиограммы исследуемой мышцы.

Кроме того, полученные данные анализа параметров электромиограмм целесообразно использовать для усовершенствования существующей адаптивной программной модели электромиографического сигнала мышцы, адекватной естественному механизму формирования электромиограммы. Данная модель может быть использована для практических задач, таких как, оценка процентного соотношения быстрых и медленных двигательных волокон, а также наличие патологий в мышце по ее электромиографическому сигналу.

Литература

3. Капилевич Л.В. Физиологические методы контроля в спорте / Л.В.Капилевич, К.В.Давлетьярова, Е.В.Кошельская, Ю.П.Бредихина, В.И.Андреев – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 172 с.
4. Рангайян, Р.М. Анализ биомедицинских сигналов. Практический подход / Р.М. Рангайян; пер. с англ. под ред. А.П. Немирко. – М.: Физмаилит, 2007. – 440 с.
5. Меженная, М. М. Аппаратно-программные средства электростимуляции опорно-двигательного аппарата человека на основе частотно-временного анализа биоэлектрической активности мышц : автореферат / М. М. Меженная. – Минск. : БГУИР, 2012. – 21 с.