

УДК: 57.02.001.57

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ СРЕДНЕЙ ЧАСТОТЫ СЛЕДОВАНИЯ МИОИМПУЛЬСОВ ПО ПОВЕРХНОСТНОЙ ЭЛЕКТРОМИОГРАММЕ

А. М. Шайдук, С. А. Останин, Е. Р. Юсупов

ГОУ ВПО «Алтайский государственный университет», г. Барнаул

Получена 9 сентября 2011 г., после доработки – 21 сентября 2011 г.

Аннотация. Представлены результаты экспериментов по регистрации поверхностных электромиограмм и их средние спектры мощности. Показано, что в структуре спектра мощности поверхностной электромиограммы обнаруживается спектральная линия, соответствующая частоте следования импульсов отдельных двигательных единиц. Экспериментально доказана возможность исследовать зависимость частоты следования импульсов отдельных двигательных единиц от величины механической нагрузки на мышцу.

Ключевые слова: поверхностная электромиография, спектральный анализ случайных сигналов, квазипериодические сигналы.

Abstract. We present here experimental records of surface electromyogramms (sEMG) and their average power spectra. We demonstrate that the detailed analysis of all sEMG power spectra reveals significant peaks at the characteristic position. This position can be associated with the average repetition rate of a single motor unit action potential. Also, we prove here the possibility to measure the dependence of the myo-pulse repetition rate on the muscle mechanical load.

Keywords: sEMG pulse simulations, spectral analysis of electromyographical signals.

Результаты спектрального анализа численно и аналитически моделированных электромиограмм показывают, что в сложной структуре среднего спектра мощности содержится спектральная линия, расположенная в низкочастотной области [1-4]. Утверждается, что если последовательность

миоимпульсов достаточно периодична (отношение стандартного отклонения частоты следования миоимпульсов к среднему значению частоты менее 0,2), максимум первой спектральной линии среднего спектра мощности электромиограммы соответствует частоте следования миоимпульсов.

Нами экспериментально обнаружена устойчивая спектральная линия для всех испытуемых, представлены результаты, подтверждающие адекватность модельных представлений о структуре спектра электромиограмм [1-4].

Для экспериментального обнаружения средней частоты следования миоимпульсов по поверхностной электромиограмме был выполнен спектральный анализ поверхностных электромиограмм, зарегистрированных с бицепса испытуемых разного возраста и пола. В качестве механической нагрузки для мышцы служил груз, удерживаемый кистью руки испытуемого. Угол между направлением плеча и локтя – около 90 градусов. Продолжительность регистрации электромиограммы – 1с. Количество регистрируемых электромиограмм – 15. Регистрация электромиограмм осуществлялась компьютерным электромиографом [5]. Частота дискретизации аналогового сигнала составляла 10 кГц. Для съема потенциалов использовались три плоских прямоугольных электрода с размером сторон 5мм и 40мм, изготовлены травлением меди на пластине стеклотекстолита. Электроды располагались параллельно друг другу (референтный электрод – средний), расстояние между длинными сторонами – 5мм. Электроды накладывались на расстоянии 6см от локтевого сгиба (рисунок 1).

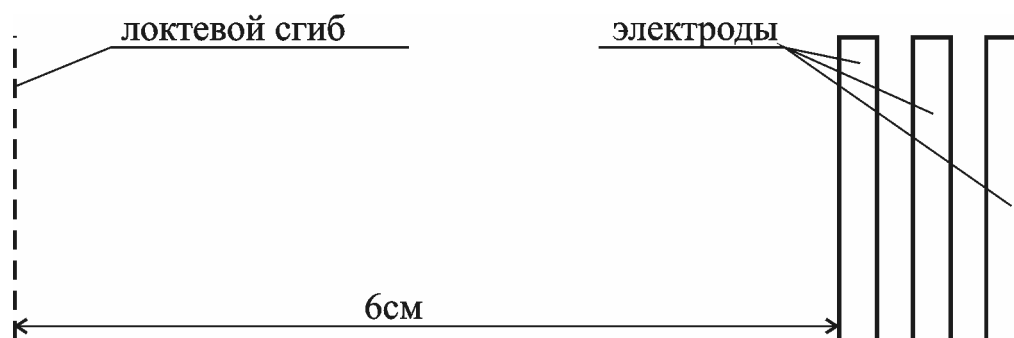
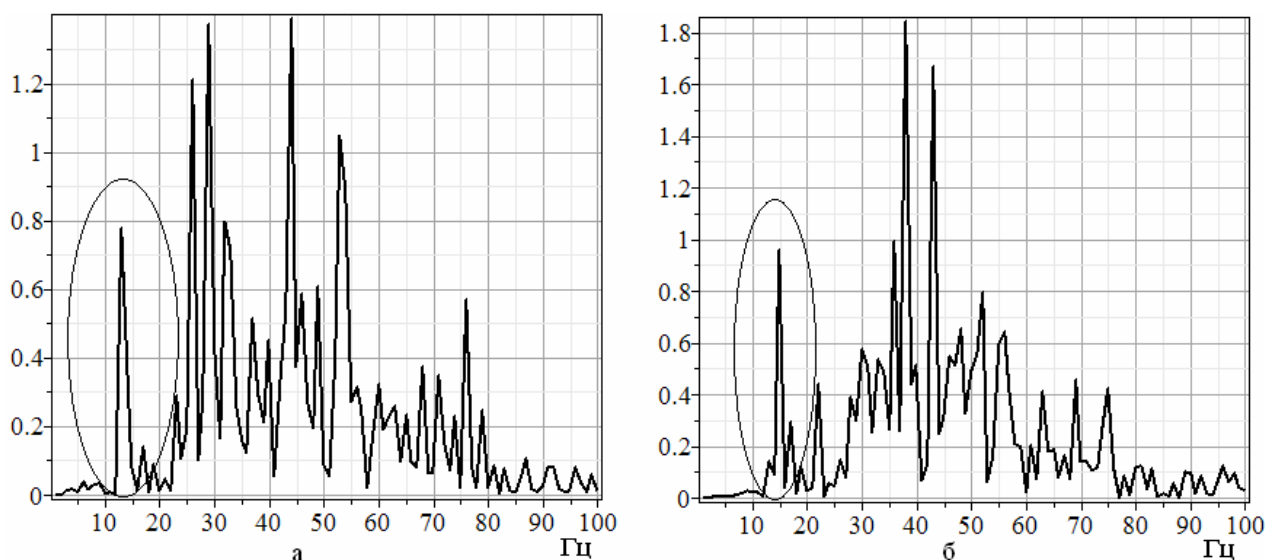


Рис. 1. Схема расположения электродов на бицепсе испытуемого.

Для получения среднего спектра мощности электромиосигнала выполнялись следующие процедуры: для каждой электромиограммы выполнялось центрирование и устранение тренда, вычислялся спектр мощности каждой электромиограммы, производилась отбраковка тех электромиограмм, для которых не удалось выполнить устранение тренда, спектры мощности электромиограмм усреднялись по количеству реализаций спектра. На рисунке 2 приведены примеры спектров мощности электромиосигнала длительностью 1с (а-г) и спектр мощности, усредненный по реализациям (д).

Как видно из рисунков, в низкочастотных областях спектров обнаруживаются отдельные спектральные линии, первая из которых (на графиках ограничена овалом) существует практически во всех реализациях (около 300) и определяется средним значением частоты следования отдельных миоимпульсов отдельных двигательных единиц.

Если низкочастотная часть спектра носит не случайный характер, с ростом механической нагрузки на мышцу должна расти частота следования миоимпульсов отдельных двигательных единиц [6]. С увеличением механической нагрузки на мышцу первая линия в спектре мощности поверхностной электромиограммы будет смещаться в область высоких частот.



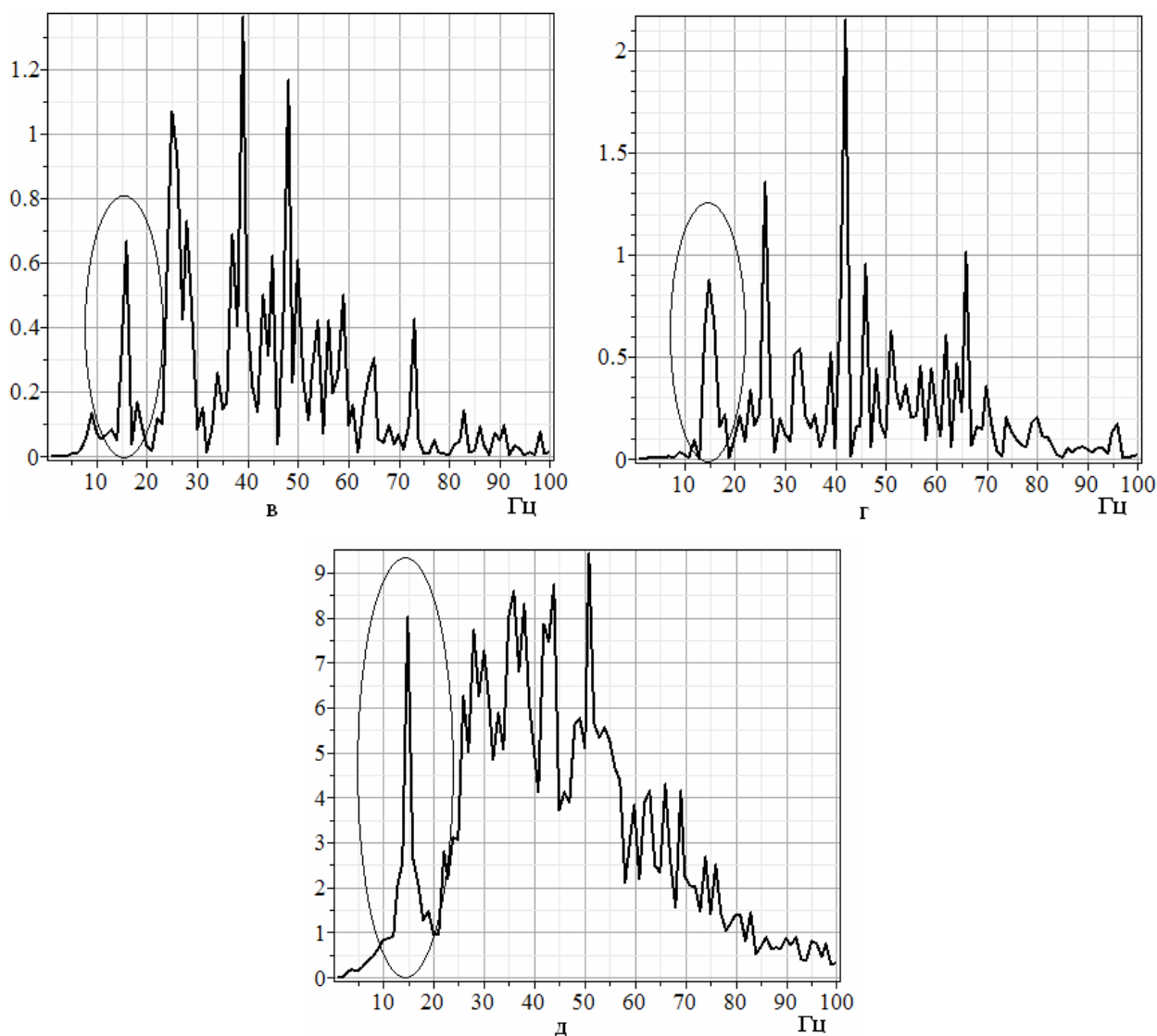


Рис. 2. а-г – реализации спектров мощности электромиограмм Светланы Л. (возраст - 32 года), длительностью 1с, масса груза – 1кг; д – средний спектр мощности электромиограмм.

Для идентификации первой спектральной линии для разных испытуемых были получены средние спектры мощности электромиограмм бицепса, находящегося под статической механической нагрузкой и определены средние частоты следования миоимпульсов. Величина нагрузки изменялась дискретно, с шагом 1кг, путем замены удерживаемого груза. Результаты спектрального анализа электромиограмм разных испытуемых показаны на рисунках 3 и 4.

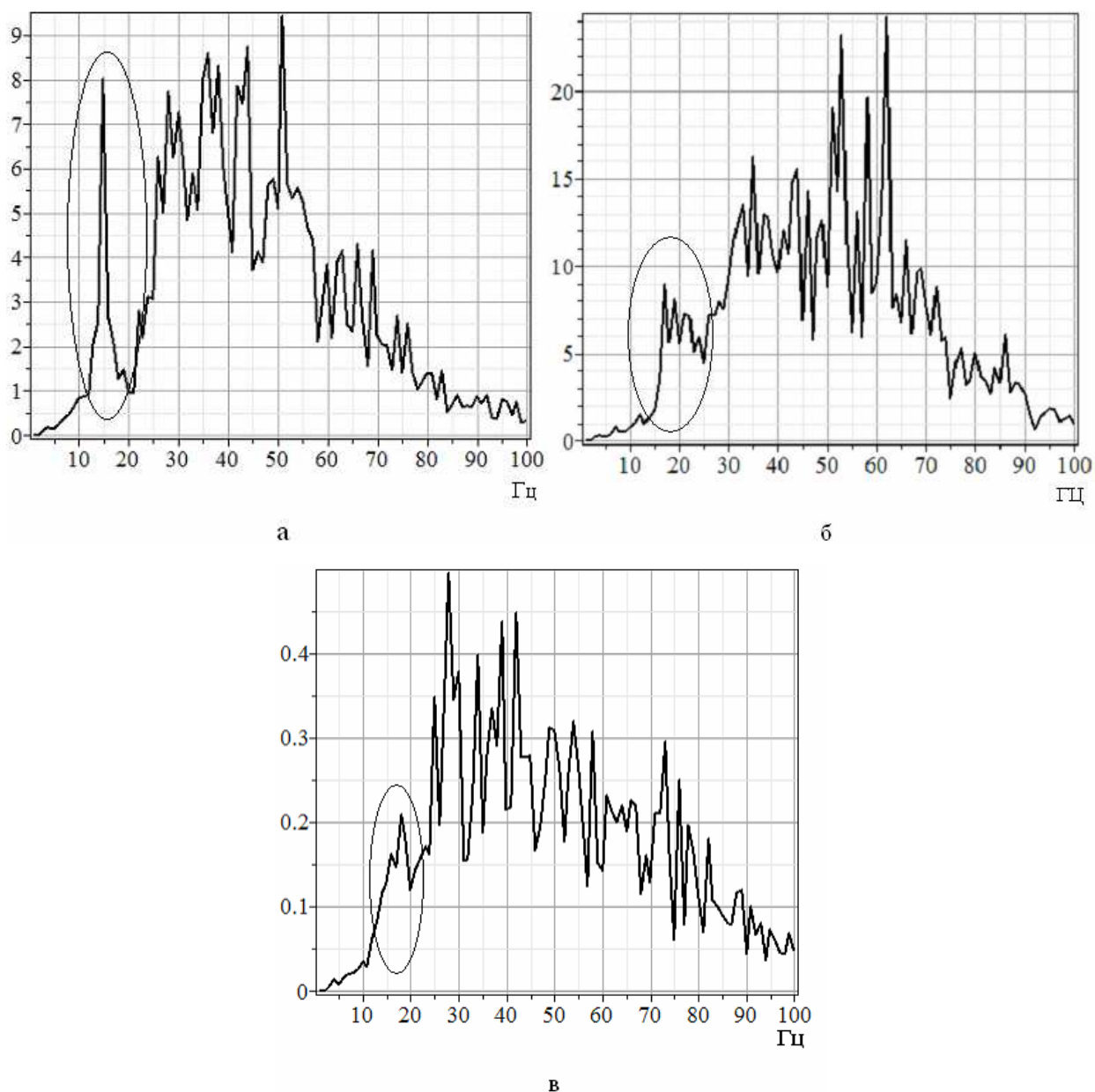


Рис. 3. Средние спектры мощности электромиограмм Светланы Л. (возраст - 32 года) при различной массе удерживаемого груза. а – масса груза 1кг; б – масса груза 2кг; в – масса груза 3кг.

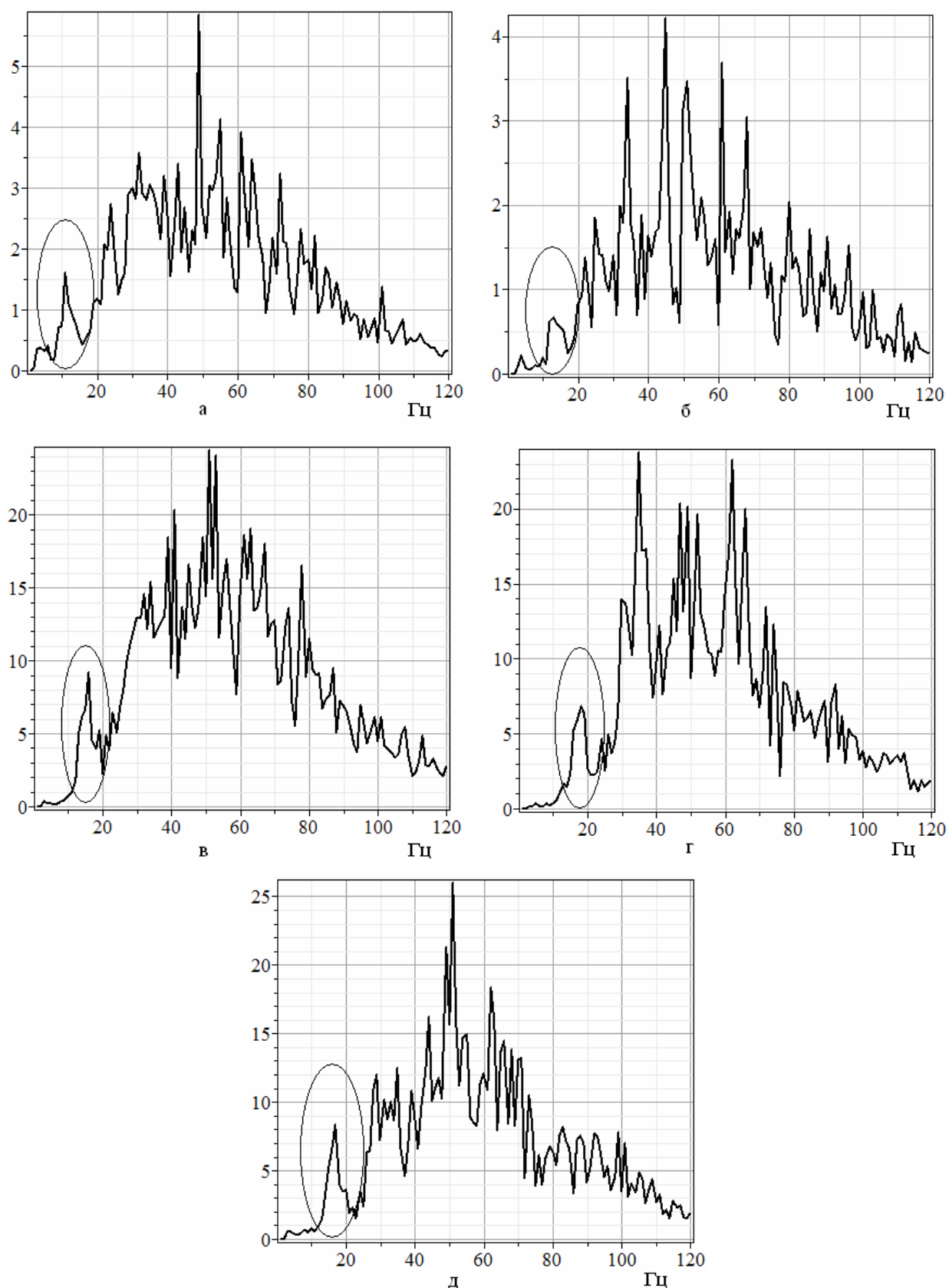


Рис. 4. Средние спектры мощности электромиограмм Александра Ш. (возраст - 54 года) при различной массе удерживаемого груза. а – масса груза 1кг; б – масса груза 2кг; в – масса груза 3кг; г – масса груза 4кг; д – масса груза 5кг.

По средним спектрам мощности поверхностной электромиограммы были определены частоты следования миоимпульсов при различных нагрузках. На рисунке 5 показана зависимость средней частоты следования миоимпульсов отдельных двигательных единиц от величины механической нагрузки на мышцу. Полученные результаты находятся в удовлетворительном согласии с данными, опубликованными другими авторами [7-8].

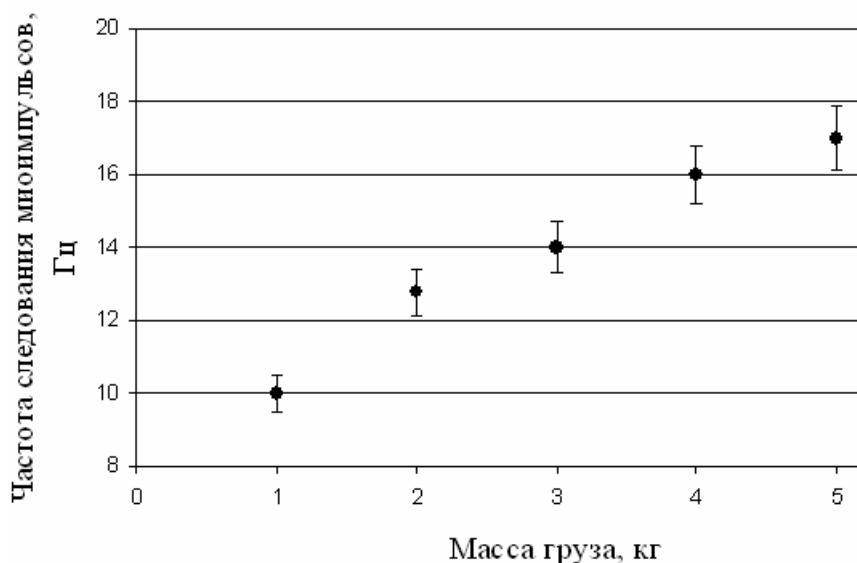


Рис. 5. Зависимость частоты следования миоимпульсов одной двигательной единицы от механической нагрузки (величины удерживаемого груза) на бицепс Александра Ш. (возраст - 54 года).

Таким образом, получены доказательства возможности определения частоты следования миоимпульсов отдельных двигательных единиц по среднему спектру мощности поверхностной электромиограммы.

Благодарим студента физико-технического факультета Алтайского государственного университета Калашникова Евгения Александровича за помощь в обработке результатов измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рангайян Р.М. Анализ биомедицинских сигналов. Практический подход – Пер. с англ. под ред. А.П. Немирко – М.: ФИЗМАТЛИТ. – 2007. – 440 с.
2. Farina D., Merletti R., Enoka R. M. The extraction of neural strategies from the surface EMG // J Appl Physiol. – 2004. – V. 96.
3. Шайдук А.М., Останин С.А. Моделирование электромиографического сигнала средствами LabVIEW. Известия Алтайского государственного университета. – Барнаул: Изд.-во АлтГУ – Ч.1(65), 2010. – С. 195 – 201.
4. Шайдук А.М., Останин С.А. Восстановление параметров электромиографического сигнала средствами LabVIEW // Известия Алтайского государственного университета. – Барнаул: Изд.-во Алт. гос. ун.-та. – Ч.1(69), 2011. – С. 200-204.
5. Останин С.А. LabVIEW в биомедицине. – Барнаул: Изд-во АГМУ, 2009. – 226 с.
6. Физиология человека / Под ред. Косицкого Г.И. – М.: Медицина, 1985. – 544с.
7. Aagaard P. Training-induced changes in neuronal function // Exercise and Sport Sciences Reviews. – 2003. – V.31, №2.
8. Zhou P., Zev Rymer W. Can standard surface EMG processing parameters be used to estimate motor unit global firing rate? – 2004. – J. Neural Eng. – V.31, №2