

АНАЛІЗ СИГНАЛУ ПОВЕРХНЕВОЇ ЕЛЕКТРОМІОГРАФІЇ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗВАНТАЖУВАЛЬНИХ ОРТЕЗІВ КОЛІННОГО СУГЛОБУ¹Національний університет «Одеська політехніка»²Національний університет біоресурсів і природокористування України**Анотація**

У роботі представлений метод оцінювання ефективності розвантажувальних ортезів колінного суглобу на основі аналізу сигналів поверхневої електроміографії. Для збору та обробки даних використано модуль реєстрації електроміографічних сигналів компанії *iiitech* та програмне забезпечення *Spike Recorder*. Особливу увагу приділено цифровій обробці сигналів, зокрема аналізу значень середньоквадратичного значення амплітуди поверхневої електроміографії, що дозволяє об'єктивно оцінити рівень м'язової втоми.

Ключові слова: коефіцієнт лінійної регресії, м'язова втома, ортезування, поверхнева електроміографія, цифрова обробка сигналів.

Використання розвантажувальних ортезів для колінного суглобу стає все більш актуальним засобом для зменшення м'язової втоми. Для оцінки ефективності застосування ортеза важливо визначити об'єктивні методи, які дозволяють точно вимірювати фізичну активність м'язів та настання м'язової втоми. Одним з таких методів є поверхнева електроміографія (*sEMG*), що дає можливість неінвазивно оцінити електричну активність м'язів [1, 2]. Важливим аспектом є цифрова обробка отриманих сигналів, що дозволяє більш точно інтерпретувати отримані дані та визначати ефективність застосування ортезів [3].

Для вимірювання електричної активності м'язів використано біполярний метод *sEMG* за допомогою модуля від компанії *iiitech* (Рис. 1, а), який являє собою регістратор електричних сигналів з вбудованими електронними фільтрами, що дозволяє проводити відповідні корективи сигналу, що фіксується.

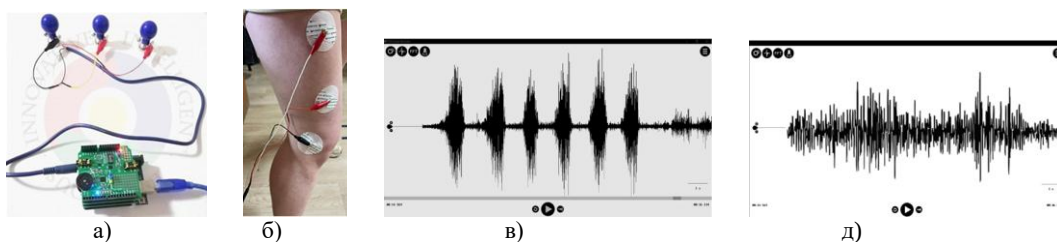


Рисунок 1 – модуль зчитування електроміографічних показників *iiitech*: загальний вигляд (а); кріплення електродів (б); запис електроміограм у середовищі *Spike Recorder*: серії рухів (в); один рух з серії (д).

Зчитування сигналів здійснюється з трьох електродів, що фіксуються на м'язах, відповідно до запланованих рухів в експерименті. В даному випадку електроди кріпились над чотириголовим м'язом стегна з попередньою обробкою шкіри в місцях кріплення (Рис. 1, б).

Для запису та візуалізації даних *sEMG* модуль зчитування комплектується програмним забезпеченням *Spike Recorder* (Рис. 1, в) що, дозволяє вказувати параметри фільтрації сигналу для усунення шумів і артефактів з сигналу *sEMG*. Такий підхід покращує точність вимірювань та підвищує якість отриманих даних.

Запис сигналу за допомогою представленого програмного забезпечення дозволяє виділити та масштабувати певні фрагменти сигналу з метою визначення його особливостей (Рис. 1, д). Амплітуда сигналів *sEMG* є стохастичною за своєю природою і тому потрібна відповідна

обробка для інтерпретації та використання [4].

Програмне забезпечення дозволяє визначити такі інформаційні складові як: кількість виконаних рухів, час в виконання одного руху, час всієї серії, амплітуду електричних імпульсів, частоту електричних імпульсів (Гц), кількість електричних імпульсів, а також розраховує середньоквадратичне значення (*RMS*) амплітуди сигналів *sEMG* (мВ).

Зміна *RMS* амплітуди *sEMG* на початку деякого часового інтервалу та його кінці ($A_{(B)RMS}$ та $A_{(E)RMS}$) віднесене до тривалості, яка визначається деяким початковим і кінцевим часом вимірювання (t_B і t_E), дозволяє отримати значення критерію периферичної втоми м'язів [5, 6, 7].

$$V_F = \frac{A_{(E)RMS} - A_{(B)RMS}}{t_{(E)} - t_{(B)}} \quad (1)$$

Цей критерій використовується в статистичній моделі «критичної втоми», яка характеризується нульовим значенням амплітуди електроміографічного сигналу:

$$A_{CF} = V_F t + b = 0 \quad (2)$$

де V_F – коефіцієнт лінійної регресії, що визначає нахил лінійної залежності; t – час розвитку втоми; b – величина, що визначає перетин аналізованої лінійної залежності з віссю A_{CF} .

Коефіцієнт лінійної регресії V_F на основі зібраних даних сигналу методом *sEMG* дає змогу об'єктивно визначити час настання м'язової втоми та оцінити ефективність ортезування.

Запропонований метод аналізу ефективності ортезування за допомогою *sEMG* та цифрових методів обробки сигналів, реалізований через програмне забезпечення *Spike Recorder* та модуль зчитування *iiitech*, є дієвим інструментом для оцінки фізичної активності м'язів і рівня їх втоми. Цей підхід має значний потенціал для застосування в біомедичних технологіях, зокрема у вдосконаленні конструкції та функціональності розвантажувальних пристроїв.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Bolgla L. A., Uhl T. L. Reliability of electromyographic normalization methods for evaluating the hip musculature // *Journal of Electromyography and Kinesiology*. – 2007. – Vol. 17, No. 1. – P. 102–111. – DOI: 10.1016/j.jelekin.2005.11.007.
2. Burden A., Bartlett R. Normalisation of EMG amplitude: an evaluation and comparison of old and new methods // *Medical Engineering & Physics*. – 1999. – Vol. 21, No. 4. – P. 247–257. – DOI: 10.1016/s1350-4533(99)00054-5.
3. Rodrigues S. et al. EMG Signal Processing for the Study of Localized Muscle // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2022. – Vol. 19. – Article ID 13270. – DOI: 10.3390/ijerph192013270.
4. Masuda K. et al. Changes in surface EMG parameters during static and dynamic fatiguing contractions // *Journal of Electromyography and Kinesiology*. – 1999. – Vol. 9, No. 1. – P. 39–46. – DOI: 10.1016/s1050-6411(98)00021-2.
5. Hendrix C. R. et al. Comparison of Critical Force to EMG Fatigue Thresholds during Isometric Leg Extension // *Medicine & Science in Sports & Exercise*. – 2009. – Vol. 41, No. 4. – P. 956–964. – DOI: 10.1249/mss.0b013e318190bdf7.
6. Shair E. F., Ahmad S. A., Marhaban M. H., Mohd Tamrin S. B., Abdullah A. R. EMG Processing Based Measures of Fatigue Assessment during Manual Lifting // *BioMed Research International*. – 2017. – Vol. 2017. – Article ID 3937254. – DOI: 10.1155/2017/3937254.
7. Maïsetti O., Guével A., Legros P., Hogrel J.-Y. Prediction of endurance capacity of quadriceps muscles in humans using surface electromyogram spectrum analysis during submaximal voluntary isometric contractions // *European Journal of Applied Physiology*. – 2002. – Vol. 87, No. 6. – P. 509–519. – DOI: 10.1007/s00421-002-0645-x.

Сидоренко Ігор Іванович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри інформаційних технологій проектування та дизайну Національного університету «Одеська політехніка», Одеса, sii@op.edu.ua

Ковбан Софія Вікторівна, аспірант Національного університету «Одеська політехніка», Одеса, sofie.kovban@op.edu.ua

Кривоносов Валерій Єгорович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри інженерії енергосистем Національного університету біоресурсів і природокористування України, Київ, kryvonosov@nubip.edu.ua

ANALYSIS OF SURFACE ELECTROMYOGRAPHY SIGNAL FOR ASSESSING THE EFFECTIVENESS OF UNLOADING KNEE JOINT ORTHOSES

Abstract

The study presents a method for assessing the effectiveness of unloading knee orthoses based on the analysis of surface electromyography signals. The *iiitech* electromyographic signal registration module and the *Spike Recorder* software were used for data collection and processing. Special attention is given to digital signal

processing, particularly the analysis of the root mean square value of surface electromyography amplitude, which enables an objective evaluation of muscle fatigue levels.

Keywords: digital signal processing, linear regression coefficient, muscle fatigue, orthoses, surface electromyography,

Sydorenko Igor Ivanovych, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Design Information Technologies and Design, Odesa Polytechnic National University, Odesa, sii@op.edu.ua

Kovban Sofiia Viktorivna, postgraduate student at the Odesa Polytechnic National University, Odesa, sofie.kovban@op.edu.ua

Kryvonosov Valerii Yehorovych, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Energy Systems Engineering, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, kryvonosov@nubip.edu.ua