

ЭНТРОПИЙНЫЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ ЭЛЕКТРОМИОГРАФИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Кощей А.В.

Научные руководители – к.т.н., доц. Жемчужкина Т.В.,
к.т.н., доц. Носова Т.В.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники
(61166, Харьков, просп. Науки, 14, каф. БМИ, тел. (057) 702-13-64)
e-mail: oleksandra.koshchei@nure.ua.

The work is devoted to the analysis of electromyographic signals in order to differentiate patients with low back pain. The electromyographic signal is a random non-stationary signal. It is advisable to use the methods of nonlinear dynamics for its analysis. The entropy approach can be used to analyze time series. Entropy has many interdisciplinary applications. Typically, biological time series are complex data needed to be converted into useful information. Nonlinear analysis using fractal geometry and random walk theory has proven useful in analyzing time series.

Боль в пояснице (БП) является одной из самых распространенных видов скелетно-мышечной боли. Сердечно-сосудистые проблемы при хронических заболеваниях БП считаются наиболее опасными для здоровья человека. Одной из физических характеристик субъектов с хронической болью в пояснице является повышенная утомляемость мышц разгибателей спины во время теста на выносливость нижней части спины. Клиническая оценка БП важна для объективной идентификации субъектов с болью и оценки эффективности терапевтических вмешательств. Поверхностная электромиография (ЭМГ) является относительно простым и недорогим, но при этом достаточно эффективным методом диагностики заболеваний у пациентов с жалобами на БП [1].

Большинство случайных сигналов на практике имеют в целом нестационарный характер, в том числе и сигнал поверхностной ЭМГ. В [2] показано, что интервал стационарности ЭМГ сигнала менее 20 мс. В связи с чем предлагается использовать методы нелинейной динамики для анализа сигналов ЭМГ [3]-[4].

Энтропийный подход может быть использован для анализа временных рядов. В [5] авторы исследовали временные ряды, порожденные электрической активностью мышц спины здоровых людей и с БП с целью разработки инструмента оценки БП.

Энтропия – мера неопределённости, величина обратная количеству информации. В теории информации энтропия Реньи – обобщение энтропии Шеннона – является семейством функционалов, используемых в качестве меры количественного разнообразия, неопределённости или случайности некоторой системы. Если некоторая система имеет дискретное множество доступных состояний $X = \{x_1, \dots, x_M\}$, которому соответствует распределение вероятностей p_i для $i=1, \dots, M$ (p_i – вероятности пребывания

системы в состояниях x_i), тогда энтропия Реньи с параметром β (при $\beta \geq 0$ и $\beta \neq 1$) системы определяется как:

$$S(\beta) = \frac{1}{1-\beta} \ln \left(\sum_{j=1}^M p_j^\beta \right).$$

В [5] авторы показали зависимость энтропии от длительности временного интервала. Для более длительных временных интервалов ($0,01 \text{ с} < t < 1 \text{ с}$) энтропии демонстрируют плато. Плато возникает при значении энтропии значительно ниже максимально возможного значения энтропии ($\ln M$). Следовательно, оно не является артефактом способа, которым мы оцениваем энтропию, а является внутренним свойством временного ряда.

Зависимость энтропии от времени представляет собой потенциальный инструмент для дифференцирования здоровых людей и людей с БП. Значения энтропийного плато выше у здорового человека, чем у человека с БП. Вопрос о том, является ли энтропия полезным инструментом диагностики БП, требует дальнейшего изучения с участием больших групп людей, сопоставимых по возрасту, полу, индексу массы тела и т.д.

Литература

1. Zhemchuzhkina, T.V., Nosova, T.V., Pinaieva, O.Y., Wójcik, W., Tergeuszova, A. Designing a biomedical electromyographic complex with a pain level control / Wójcik, W., Pavlov, S., Kalimoldayev, M. (eds) Information Technology in Medical Diagnostics II, CRC Press, London, 2019, pp. 229-235. <https://doi.org/10.1201/9780429057618-27>.
2. Шпакович, Ю.С., Жемчужкина, Т.В., Носова, Т.В. "К вопросу о применимости методов анализа электромиографических сигналов", Вісник Національного технічного університету "ХПІ", 21 (1243), pp. 117-123, 2017. <https://doi.org/10.20998/2411-0558.2017.21.10>.
3. Zhemchuzhkina, T.V., Zlepko, S.M., Nosova, T.V., Semenets, V.V., Kirichek, O.V., Maciejewski, M., Ormanbekova A. Application of EMG-signal phase portraits for differentiation of musculoskeletal system diseases / Proc. SPIE 11176, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2019, 1117632 (6 Nov. 2019); <https://doi.org/10.1117/12.2537338>.
4. Топчий, В.С., Жемчужкина, Т.В., Носова, Т.В. Статистический анализ показателей фазового портрета ЭМГ-сигнала с целью дифференцирования заболеваний опорно-двигательного аппарата // Міжвузівський збірник "Наукові нотатки". Луцьк, 2018. Випуск № 64. – С.217-222.
5. Kaufman, M., Zurcher U., Sung P.S. Entropy of electromyography time series // Physica A 386 (2007) pp. 698–707. doi:10.1016/j.physa.2007.07.045.