Entropía en señales de acelerometría en enfermedad de Parkinson como emergente de un sistema en estado crítico

• Gianfranco Bianchi,[1] Daniela S. Andres[1]

[1] *Laboratorio de Neuroingeniería, Escuela de Ciencia y Tecnología, Universidad Nacional de San Martín*

Propiedades no-lineales de series temporales, como entropía, exponentes de Lyapunov o dimensiones fractales, han sido utilizadas desde hace años por diversos autores para caracterizar el comportamiento de sistemas neuronales [1,2]. A su vez el ruido de tipo $1/f$ está presente en estos sistemas, lo que al estudiar el espectro de potencias se manifiesta como la ley de potencias asociada $P(f) \propto f^{-\beta}$ a lo largo de múltiples escalas, implicando un comportamiento crítico [3,4]. En enfermedad de Parkinson las propiedades no-lineales de la actividad neuronal en los ganglios de la base muestran alteraciones típicas, asociándose al deterioro del control motor característico de la enfermedad [5]. Para estudiar la alteración de propiedades no lineales en el sistema motor en enfermedad de Parkinson, en trabajos previos generamos una base de señales acelerométricas con un sistema compuesto por una pulsera *wearable* y una aplicación móvil. Se estudiaron dos grupos de personas, uno de pacientes con enfermedad de Parkinson y otro de sujetos sanos de edades similares [6]. Medimos la ley de potencias para ambos grupos de señales, analizando el espectro en escala doble logarítmica con el objetivo de poner en evidencia el comportamiento crítico del sistema y determinar el exponente -β. Encontramos una diferencia significativa en la magnitud de -β, el que disminuye en las señales del grupo de pacientes parkinsonianos. Dado que en otros sistemas fisiológicos este aplanamiento del espectro $1/f$ se asocia a un aumento de entropía [7], surge la hipótesis de un aumento de entropía de las señales acelerométricas en enfermedad Parkinson. Para el cálculo de entropía seleccionamos el método de entropía de permutación, dado que presenta las ventajas de ser robusto ante señales cortas y variaciones en el nivel de ruido. Este método sigue una lógica simbólica, discretizando la señal en valores arbitrarios predefinidos como niveles, lo que se conoce como *coarse-graining*. De esta manera todas las señales quedan discretizadas en la misma cantidad de niveles o símbolos. El objetivo es encontrar patrones repetitivos dentro de la señal, definiendo patrón como conjunto de símbolos de largo o dimensión *m*. Para cada una de las señales se calcula la probabilidad de los patrones de dimensión *m* presentes y se calcula la entropía de permutación como: $H_p = -\sum Pd \log(Pd)$, donde H_p es entropía de permutación, y P_d la probabilidad de aparición de cada patrón. Al realizar la comparación estadística entre grupos poblacionales se observó un aumento de entropía en las señales de pacientes con enfermedad de Parkinson. Dado que las propiedades no-lineales de los sistemas dinámicos están relacionadas entre sí y también con el nivel de caos de los sistemas complejos, es esperable predecir correctamente las variaciones de una medida no-lineal a partir de otras [8,9]. El aumento de entropía en las señales acelerométricas en enfermedad de Parkinson coincide con lo esperado, lo que sumado al aplanamiento del espectro de potencias en estos pacientes contribuye a la hipótesis de que el sistema integrado neuromotor se encuentra en estado crítico. El nivel de entropía se transmite de los ganglios basales al sistema motor, por lo que se manifiesta como un emergente en señales de acelerometría de este sistema. Estos resultados sugieren un uso clínico de la entropía de permutación a partir de señales de acelerometría obtenidas con un dispositivo *wearable* como método diagnóstico cuantitativo en enfermedad de Parkinson.

Referencias:

[1] O. Darbin, Brain Res, (2006).
[2] J. K. H. Tang, E. Moro, N. Mahant *et al.*, J. of Neurophysiology, (2007).
[3] J. M. Beggs and D. Plenz, J. Neurosci, (2003).
[4] Bak, P., Tang, C., and Wiesenfeld, K., Phys. Rev. Lett. **59**, 381 (1987).
[5] D. S. Andres, D. Cerquetti, and M. Merello, J. of Neural Eng. **12**, 026004 (2015).
[6] G. Bianchi *et al.*, Revista Argentina de Bioingeniería, **24** (2020).

[7] M. Costa *et al.*, Phys. rev. lett. **12**, 026004 (2002).
[8] J.P. Eckmann and D. Ruelle, *The theory of chaotic attractors*, Springer, New York, (1985).
[9] L.S. Young, Phys. A, (1984).