

Frecuencia de operación de la actividad espontánea registrada en la médula espinal del gato



García Guerrero Reynel¹, Rodríguez Torres Erika Elizabeth², Castellanos Sánchez Claudio³, Hernández Gracida Carlos Arturo³, Rudomin Pablo⁴, Jiménez Estrada Ismael⁴

¹ Instituto Tecnológico de Cd. Victoria, ² Centro de Investigación en Matemáticas, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, ³ División de Estudios de posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Cd. Victoria, ⁴ Departamento de Fisiología, Biofísica y Neurociencias, CINVESTAV-IPN.



INTRODUCCIÓN

Se ha propuesto que los distintos registros electrofisiológicos (ECG, EMG o EEG) mantienen una distribución de energía similar entre sí, independientemente de la posición del electrodo que monitorea la actividad de un conjunto, relativamente grande o pequeño de células excitables.

El objetivo del presente estudio es el de establecer la frecuencia de captura más apropiada de los registros de la actividad espontánea en el dorso de la médula espinal del gato anestesiado.

Los registros analizados fueron obtenidos con las frecuencias de muestreo 1.66 KHz, 5 KHz y 10 KHz, en experimentos separados. Nuestras observaciones muestran que las frecuencias de muestreo por encima de los 5 KHz y menores a 156 Hz, provocan una pérdida importante de información. Tomando como base el teorema de Nyquist, la frecuencia de captura debe ser de al menos del doble de la frecuencia de operación.

Para determinar la frecuencia de operación de conglomerados neuronales en la médula espinal utilizamos tanto el método para generar fractales a partir de las señales electrofisiológicas, y el DFA para encontrar la frecuencia más adecuada.

1 Cambios en la sincronización segmental producidos por la sección de nervios cutáneos y lesiones espinales bilaterales.

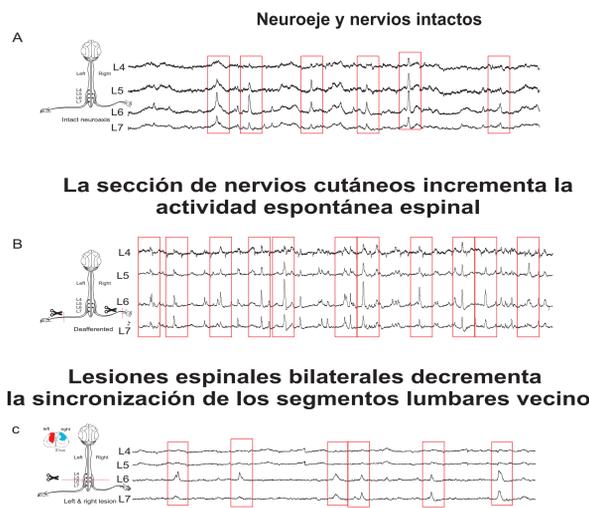


Figura Registros de los segmentos lumbares de L4 a L7. **A.** Representación esquemática el sistema nervioso central (cerebro y médula espinal). En los recuadros se observan algunos de los CDPs espontáneos sincronizados, altamente correlacionados, y con mayor amplitud de los CDPs espontáneos de L5 y L6. **B.** Distribución similar a A. La sección aguda de los nervios sural (SU) y peroneo superficial (SP). **C.** Misma distribución, lesiones bilaterales como lo ilustra el inserto. Reduce la sincronización intersegmental.

MÉTODOS

Procedimientos Experimentales Generales

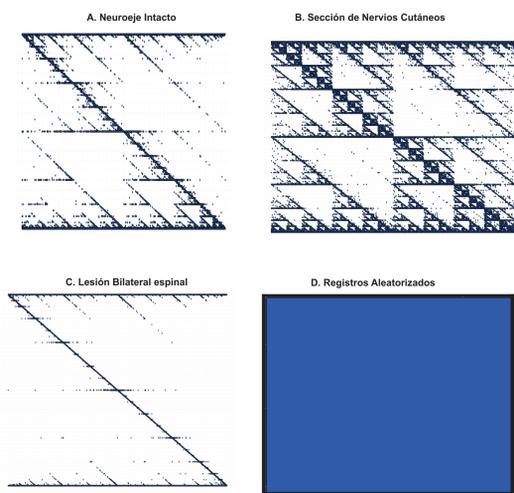
La actividad espontánea, fue registrada mediante pares de electrodos de plata colocados sobre el dorso de varios segmentos de la médula espinal (entre L3 y S1). El número de electrodos fueron 6 de acuerdo al protocolo de registro del experimento, y fueron colocados bilateralmente.

Análisis de fluctuaciones sin tendencia (DFA)

La metodología del DFA se describe a continuación: Se inicia con una serie de tiempo $x(i)$ para $i=1,2,\dots,N$. Después se integran los valores de esta serie de datos obteniendo una nueva serie de tiempo $y(k) = \sum_{i=1}^k (x(i) - \bar{x})$ (1) donde $\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x(i)$ es el valor promedio de x .

El valor de la coordenada y de la línea recta se denota por $y_x(k)$ Nota 1. Para eliminar la tendencia de la serie de tiempo integrada $y(k)$, para cada ventana, se sustrae la tendencia local lineal $y_x(k)$. Para cada tamaño de ventana n , la escala característica para las fluctuaciones en la serie integrada y sin tendencia es $F(n)$ dada por: $F(n) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^n (y(k) - y_x(k))^2}$. (2) Este cálculo se repite en todas las escalas de tiempo (tamaños de cajas o ventanas ver figura) para proporcionar una relación entre $F(n)$ y ventana de tamaño n . La pendiente de la línea en relación $\log F(n)$ y $\log(n)$ determina el exponente de escalamiento o parámetro de auto-similitud α , tal como se señaló previamente. Matemáticamente: $F(n) \sim n^\alpha$. (3) Se puede aproximar como la pendiente de la línea relacionada $\log F(n)$ y $\log(n)$. Un valor α mayor que 0.5 indica la presencia de una correlación de largo alcance. Corresponde, 1, al ruido tipo $1/f$. Finalmente, el caso $0 < \alpha < 0.5$ denota la presencia de anticorrelaciones.

2 La estructura fractal de los potenciales registrados en el dorso de la médula espinal se incrementa después del corte de los nervios cutáneos y se reduce con las lesiones bilaterales espinales



Figuras fractales A. Neuroeje y nervios periféricos intactos. B. Después de la sección de nervios cutáneos SP (peroneo superficial) y SU (sural principal) se observa un incremento en variabilidad. C. Lesión bilateral muestra una reducción comparadas con A y B. D. Mismo registro que en A ordenado aleatoriamente.

3 Los potenciales registrados sobre el dorso de la médula espinal no tienen un comportamiento aleatorio de acuerdo al método DFA

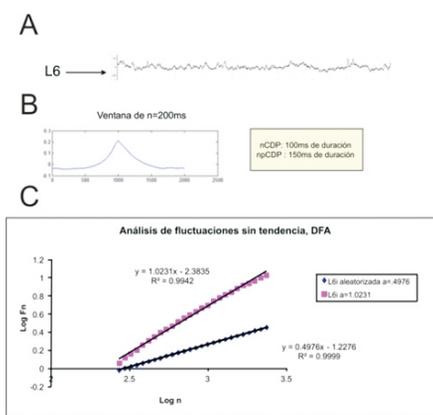


Figura. Análisis de actividad espontánea con base en su estructura fractal usando DFA.

4 Figuras fractales de registros con distintos tipos de ruidos

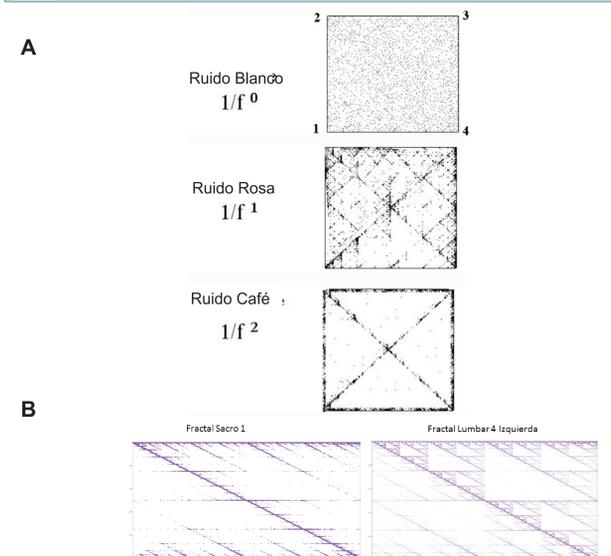


Figura A. Tipos de ruidos, ruido blanco similar a $\alpha=0.5$, el cual se obtiene en un registro aleatorio. Ruido rosa es el ruido, a cercano a 1 que se encuentra en registros electrofisiológicos. Ruido café, $\alpha=1.5$. **B.** Figuras fractales de 2 registros del dorso.

5 Figuras fractales de un mismo registro con distintas frecuencias de muestreo

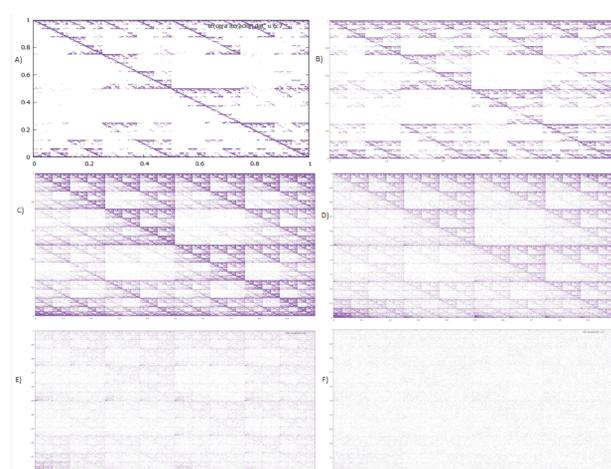


Figura Se muestran las diferencias entre las figuras fractales a partir de un experimento capturado originalmente a 10 KHz. A). Fractal a 10 KHz. B). Fractal a 5 KHz. C). Fractal a 2.5 KHz. D). Fractal a 1.25 KHz. E). Fractal a 156.25 Hz. F). Fractal a 78.125 Hz.

6 Análisis de frecuencias de muestreo para el registro obtenido en el dorso del segmento lumbar 5 de la médula espinal del gato anestesiado

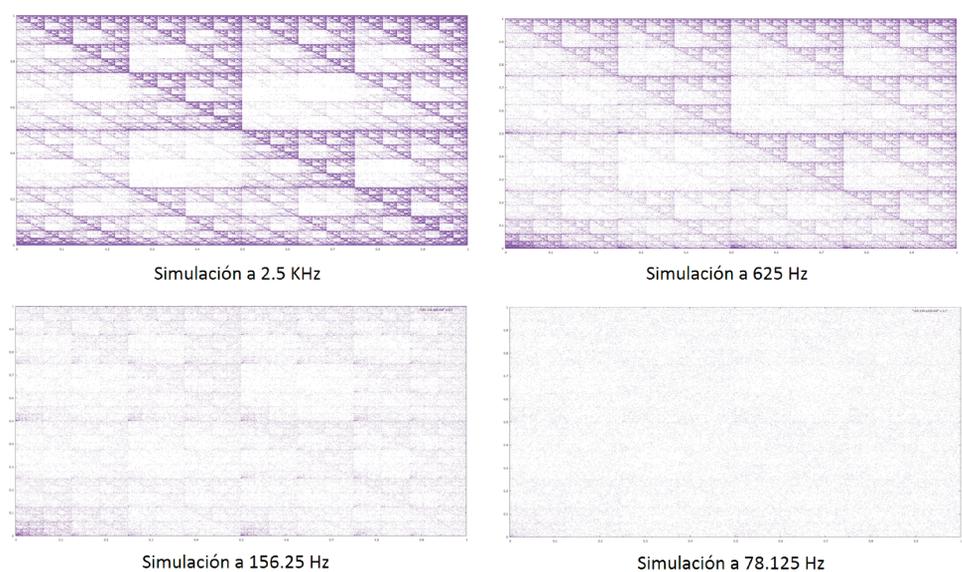


Figura Se muestran figuras fractales del registro obtenido de la lumbar L5 con frecuencias disminuidas artificialmente como se muestra en la figura anterior.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten proponer que las frecuencias en el rango de 550 a 1250Hz son las más adecuadas para la captura de la actividad espontánea en el dorso de la médula espinal del gato anestesiado.

Agradecimientos

Estudio apoyado parcialmente por: SNI a PRZ, CCS, ERT, e IJE, donativo PROMEP-1006 a ERT, Premio Sofía Kovalévskaya a ERT.