

La sincronización de neuronas motoras reduce la capacidad de extraer entradas comunes

Javier Yanguas Mayo, Pablo Laguna, Jaime Ibáñez

Afiliación: Biomedical Signal Interpretation and Computational Simulation (BSICoS)

Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A)

Universidad de Zaragoza, Mariano Esquillor s/n, 50018, Zaragoza, Spain.

Tel. +34-976762707, e-mail jyanguas@unizar.es

Resumen

Las neuronas motoras espinales (NM) pueden actuar como un sistema lineal que transmite señales comunes a los músculos. La sincronización entre NM puede afectar la transmisión de estas señales. Mediante modelado computacional, simulamos diferentes niveles de sincronización y estudiamos cómo afectan a la transmisión lineal de entradas comunes.

Introducción

El conjunto de las entradas neuronales que reciben las NM puede modelarse de manera simplificada como una combinación de entradas comunes (iguales para todas las NM) e independientes (diferentes para cada una) [1]. Debido a las diferencias en estas entradas y las propiedades biofísicas de las neuronas, la manera en la que muestrean cada entrada común es independiente. Esta propiedad de las poblaciones de NM intervando un músculo hace que la suma de la actividad de las NM activas proporcione una representación amplificada de la entrada común. Esta propiedad es clave para facilitar el control motor, permitiendo que las entradas neuronales comunes de baja frecuencia (0-10 Hz), que son las que van a producir un cambio efectivo en la contracción muscular, se transmitan de manera fiable a los músculos para generar movimientos. No obstante, los músculos no solo reciben entradas comunes a bajas frecuencias, sino que también reciben entradas a frecuencias más altas, como en las bandas beta y gamma (entre 13 y 50 Hz), que probablemente se originan en regiones corticales [2]. Del mismo modo que las bajas frecuencias que producen cambios motores, estas entradas comunes de mayor frecuencia son amplificadas y transmitidas a los músculos por los conjuntos de NM que lo inervan. Como estas señales corticales son transmitidas teóricamente sin alterar a los músculos, esto implica que podría ser posible caracterizar actividad cerebral en base a las actividades comunes de un conjunto de NM. Sin embargo, para que esto sea posible, es necesario que la actividad de las NM sea independiente de las

demás. Sin embargo, los efectos de la sincronización (neuronas disparando de manera simultánea) en la transmisión de señales de mayores frecuencias no están adecuadamente descritos. Se desconoce de qué manera la sincronización entre NM influye en la capacidad de extraer entradas comunes desde los trenes de pulsos de las señales de las NM.

En este estudio simulamos diferentes niveles de sincronización de NM en un modelo computacional para describir la influencia de este efecto en la extracción de entradas comunes. El principal objetivo es el de detectar si la sincronización entre NM empeora la representación que el conjunto de las NM hace de las entradas comunes que reciben. De esta manera, potencialmente se podrán desarrollar mejores métricas para extraer entradas comunes (información cortical) teniendo en cuenta los efectos que impone la sincronización.

Métodos

Modelo computacional

El modelo utilizado para las simulaciones es el mismo que se utilizó en [3]. El modelo simula un conjunto de 177 MN de tipo lento. Estas son el tipo de MN activas durante fuerzas de bajo nivel. Cada uno de las 177 MN se representa como un modelo de dos compartimentos basado en conductancias.

Diseño de las entradas

En este estudio, simulamos dos entradas comunes diferentes filtrando ruidos blancos gaussianos con filtros de Butterworth de tercer orden. La primera fue la señal de sincronización (0-10 Hz, como la señal de control motor) y la otra fue una entrada en la frecuencia beta (26 Hz), la entrada que debía ser decodificada a partir de la actividad de las NM. La sincronización entre las NM fue inducida aumentando la potencia de la señal de 0-10 Hz en relación con la potencia de las entradas independientes. La potencia de la señal beta se

mantuvo sin cambios en todas las condiciones para estudiar cómo afecta la sincronización a la extracción de la entrada beta. Las entradas comunes se normalizaron por la raíz cuadrada de la desviación típica y se escalaron por la potencia deseada. Evaluamos tres potencias diferentes para la señal de sincronización (0, 0.5 y 1 μA). Las entradas independientes se simularon como ruido blanco con media igual a varianza. La media de las entradas independientes se ajustó para que la tasa de disparo media de todas las NM fuera de aproximadamente 11 Hz.

Correlación

Para evaluar la efectividad de la transmisión de la entrada común de 26 Hz en diferentes niveles de sincronización, se calculó el coeficiente de correlación de Pearson entre la amplitud instantánea del tren de pulsos acumulado filtrado y la entrada común a 26 Hz filtrada. El tren de pulsos acumulado se obtuvo sumando los trenes de pulsos de las neuronas motoras individuales. La correlación en amplitud se calculó en función del número de NM (seleccionadas al azar) utilizadas para construir el tren acumulado de disparos. Los resultados se promediaron en 50 iteraciones. El espectro de potencias poblacional se calculó como el espectro de potencias de la suma de los trenes de pulsos de las NM implicadas.

Resultados

La Figura 1 muestra el efecto que produce aumentar la potencia de la señal común de baja frecuencia (0-10 Hz). A medida que la potencia de esta entrada común aumenta, las NM comienzan a disparar de manera sincrónica. Esto se refleja en el aumento de la potencia en la frecuencia que coincide con la tasa de disparo promedio en el espectro de potencias

poblacional (alrededor de 11 Hz, Fig. 1 izquierda). La consecuencia de estos niveles aumentados de sincronización es una menor capacidad de transmitir adecuadamente otras frecuencias por parte del conjunto de neuronas motoras, como revela la menor correlación obtenida entre el tren de pulsos acumulado filtrado y la entrada común a 26 Hz (Fig.1 derecha). Estos resultados muestran que la sincronización empeora explícitamente la extracción de la señal beta, y sugieren que la independencia en la actividad de las NM puede ser una condición necesaria para la extracción de la entrada común.

Conclusiones

En este trabajo, estudiamos cómo la sincronización (modelada aumentando la potencia de las entradas comunes de baja frecuencia) afecta la extracción de señales en la banda beta. La principal conclusión de este estudio es que la sincronización de las NM reduce la capacidad del conjunto de NM para transmitir linealmente entradas comunes en entradas de frecuencias no motoras, como en la banda beta.

Referencias

- [1] FARINA, Dario; NEGRO, Francesco. Common synaptic input to motor neurons, motor unit synchronization, and force control. *Exercise and sport sciences reviews*, 2015, vol. 43, no 1, p. 23-33.
- [2] BRÄCKLEIN, Mario, et al. Reading and modulating cortical β bursts from motor unit spiking activity. *Journal of Neuroscience*, 2022, vol. 42, no 17, p. 3611-3621.
- [3] WILLIAMS, Elizabeth R.; BAKER, Stuart N. Circuits generating corticomuscular coherence investigated using a biophysically based computational model. I. Descending systems. *Journal of neurophysiology*, 2009, vol. 101, no 1, p. 31-41.

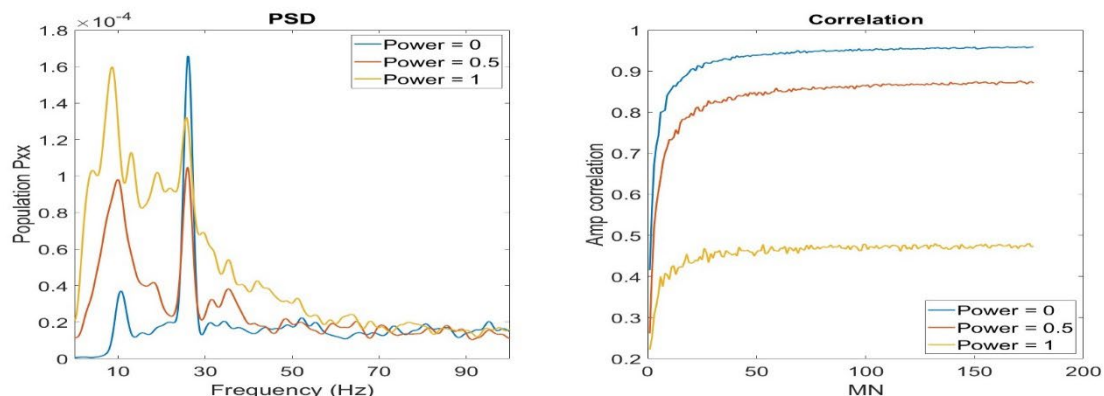


Figura 1. Espectro de potencias poblacional (30 NM) a diferentes potencias de la señal común de 0-10Hz (izquierda) y correlación en amplitud entre el tren de pulsos acumulado y la entrada común a 26 Hz a esos niveles de sincronización.