

Secuencia de activación de los músculos del miembro inferior detectada por electromiografía de superficie.

Mauro Cocchiararo¹, Carlo M. Biancardi²,
Isabel Morales, Andrea Mattiozzi³ y Franco Simini³

¹*Estudiante del XXX Seminario de Ingeniería Biomédica 2021.*

²*Conferencista del Seminario del día 7 de abril de 2021 de título “Control de locomoción: Introducción a la teoría modular y su abordaje desde la electromiografía de superficie”, Laboratorio de Investigación en Biomecánica y Análisis del Movimiento, Dep. de Ciencias Biológicas, CENUR L.N., Universidad de la República, Paysandú, Uruguay.*

³*Docentes del XXX Seminario de Ingeniería Biomédica 2021.*

Resumen - En esta monografía se estudiará el análisis de la marcha mediante el uso de electromiografía (EMG) de superficie. Se muestra el circuito amplificador de la EMG y distintas configuraciones que pueden conectarse a las sondas. Estas señales obtenidas pasan a través de diversos procesos de filtrado y recepción. Se presentan los distintos músculos de los miembros inferiores y su respectiva secuencia de activación. La marcha se puede representar como un ciclo con diversas etapas.

Las distintas configuraciones del circuito de EMG se caracterizan por distintas aplicaciones y tipos de recepción en donde se presentan en los resultados. Las medidas del EMG permiten observar diversos patrones de activación y de la magnitud de las señales. Esto permite realizar análisis en el desgaste muscular y eficiencia energética.

Palabras clave – Electromiografía (EMG), marcha, activación muscular.

INTRODUCCIÓN

En la marcha realizada a diario a caminar muchas veces no es notorio, pero existen numerosos factores y coordinaciones a nivel motor en nuestro cuerpo que nos permiten maximizar la eficiencia de dicha actividad. Tomando en cuenta: el equilibrio, la coordinación de activación muscular, la potencia de las contracciones musculares y el intercambio energético, se genera así una optimización en la marcha mejorando su rendimiento.

El objetivo de esta monografía consiste en explicar el funcionamiento de la detección de señales de electromiografía. Explicando los distintos factores a tomar en cuenta y cómo poder aprovechar al máximo la información que se recibe de los electrodos.

A partir de ello se explicará cómo realizar un análisis en un paciente. Se observa la secuencia de activación de los distintos músculos para poder determinar si su marcha se encuentra dentro de los parámetros normales o tal vez podría llegar a diagnosticar algún tipo de enfermedad en el paciente y de esta manera poder proceder a un tratamiento adecuado.

MATERIALES Y MÉTODOS

A. Adquisición de Señal Electromiográfica

Para la adquisición de la señal de electromiografía de superficie se utilizan electrodos colocados en la superficie cutánea del paciente, colocados cuidadosamente sobre los músculos a estudiar. Los puntos en donde se deben ubicar los mismos son puntos específicos ya estudiados. Estos puntos permiten detectar las señales motoras de interés a su mayor medida y a su vez evitar (lo mejor posible) ruido proveniente de actividad muscular proveniente de músculos adyacentes a los de importancia. [5]

Existen diversas formas de adquisición de señales de EMG (electromiografía), las que dependen de las sondas se destacan: las Diferenciales simples y dobles de geometría fija, las de geometría variable y las de cables finos para para músculos profundos (el último ejemplo no entra dentro de la categoría de electromiografía de superficie) [5]

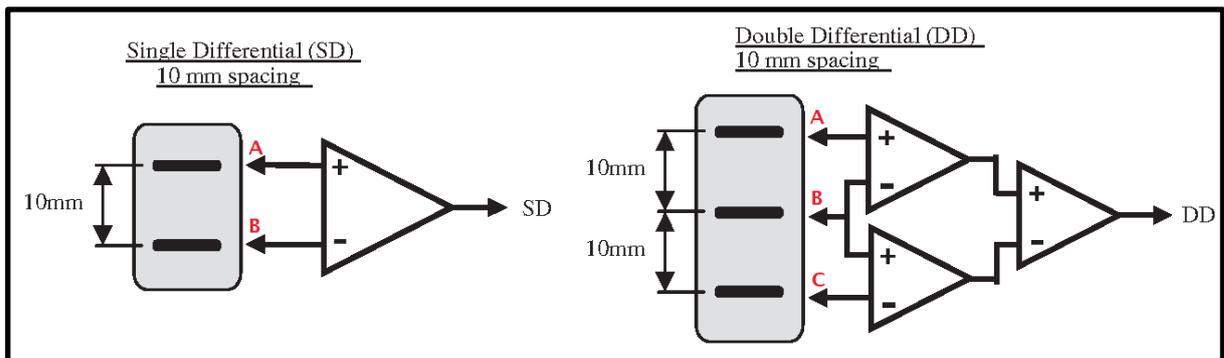


Fig 1: Amplificación de diferencial doble y simple "Tomado de Semantic Scholar.org [4]"

La "Fig 1" muestra las distintas configuraciones de los sistemas de amplificación de sonda Diferencial Simple y Diferencial Doble. Teniendo en cuenta que el resultado de la amplificación en la sonda Diferencial simple es:

$$V_{SD} = (V_A - V_B)A \quad (1)$$

entonces podemos deducir que la Diferencial Doble nos da un voltaje:

$$V_{DD} = (V_A - 2V_B + V_C)A \quad (2)$$

Las ventajas de la sonda Diferencial Simple es que son más pequeñas y livianas, y además reciben menos ruido. Pero en la Diferencial Doble aumenta la potencia en el punto B. Esto genera que se reduzca la señal recibida por activación de músculos adyacentes que no son de interés (disonancia o crosstalk), resultando en una mayor selectividad en la adquisición de la señal. Es recomendable utilizar la sonda Diferencial Doble solamente en el caso de que la selectividad de la señal sea un problema al momento de adquirir los datos. [5]

Cabe notar que a veces el uso de sondas de geometría fija no es posible, ya que los puntos a evaluar difieren demasiado en distancia durante la marcha. Esto lleva a que sea necesario el uso de sondas de

geometría variable. Pero al tener que colocar dos sondas aumenta la chance de errores provenientes a una incorrecta localización de los electrodos.

Las señales de EMG primero pasan a través de un filtro para recibir las frecuencias de interés (entre 6 y 500 Hz), la señal es de unos 10 mV se amplifica en un factor de entre 500 a 1000. Una vez filtrada la señal se suele realizar una rectificación de onda completa. Esto aún puede encontrar valores aleatorios de la señal por lo que se suaviza o se realiza un promedio de ventana deslizante.

La detección de una señal muscular se da a través del parámetro *onset* del EMG. Este es determinado principalmente por comparaciones visuales de picos en la señal, pero también puede realizarse a través de una comparación con un umbral previamente marcado.

También es posible realizar un FFT de la señal para obtener resultados del espectro de la misma. En señales de corto plazo se utiliza la STFT. [7]

La activación *onset* de los músculos también puede medirse utilizando tecnología AI y estudiando los picos de la señal de EMG procesada. Determinando así la actividad muscular. [8]

B. Secuencia de activación muscular.

Antes de estudiar la secuencia de activación muscular es necesario conocer y ubicar los principales músculos de las piernas para entender el funcionamiento de los mismos durante cada secuencia de la marcha. Los mismos son nombrados y localizados en la "Fig 2" mostrada a continuación.

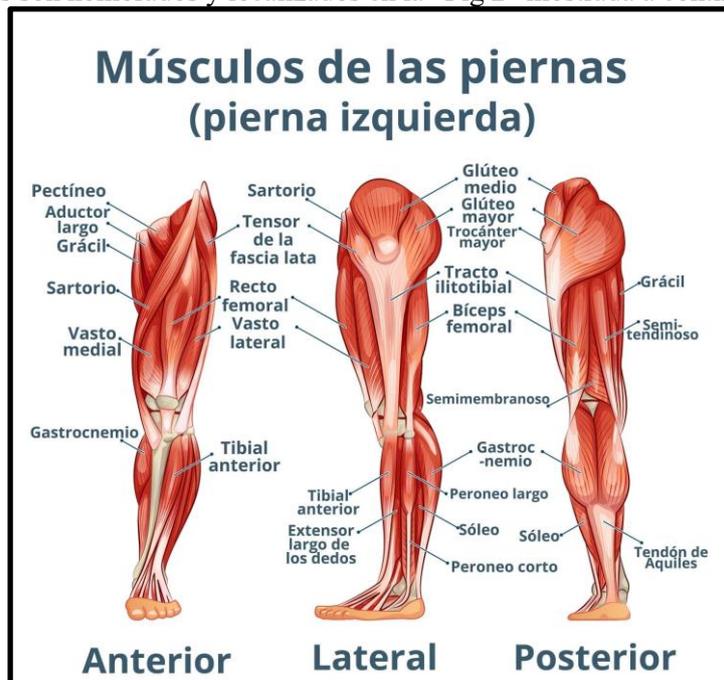


Fig 2: Principales músculos de una pierna "Tomado de Lifeder [1]"

El ciclo de la marcha se puede dividir en las siguientes 5 fases:

1. Contacto inicial (del talón con el piso)
2. Respuesta a la carga
3. Apoyo medio y final
4. Preoscilación
5. Balanceo inicial, medio y final

En cada fase la activación muscular es la siguiente: en el **contacto inicial** los músculos que se activan son el Semitendinoso, Sartorio, Grácil (o recto interno), el Glúteo medio, el tibial anterior y extensores de los dedos.

Para la **respuesta a la carga** se accionan el Glúteo medio y mayor, Tensor de la fascia lata, el tibial anterior y extensores de los dedos, Aductor mayor y los Cuádriceps.

En el **apoyo medio** se puede observar la activación principalmente de los músculos inferiores de la pierna, con el Gastrocnemio y el Sóleo. Para luego en el **apoyo final** notar también el Tensor de la fascia lata y los Aductores de cadera.

En la **preoscilación** son los Flexores de cadera y Flexores plantares, el Recto femoral (o anterior) y los Isquiotibiales.

Por último, en el **balanceo inicial** se activan el Tensor de la fascia lata, Grácil, Recto femoral y Aductor medio. En **balanceo medio** se notan el tibial anterior y los flexores de los dedos para posicionar el pie adecuadamente. Mientras que en el **balanceo final** se activan los isquiotibiales, el Aductor mayor y los cuádriceps para afirmar la pierna amortiguando el próximo contacto con el suelo. [2]

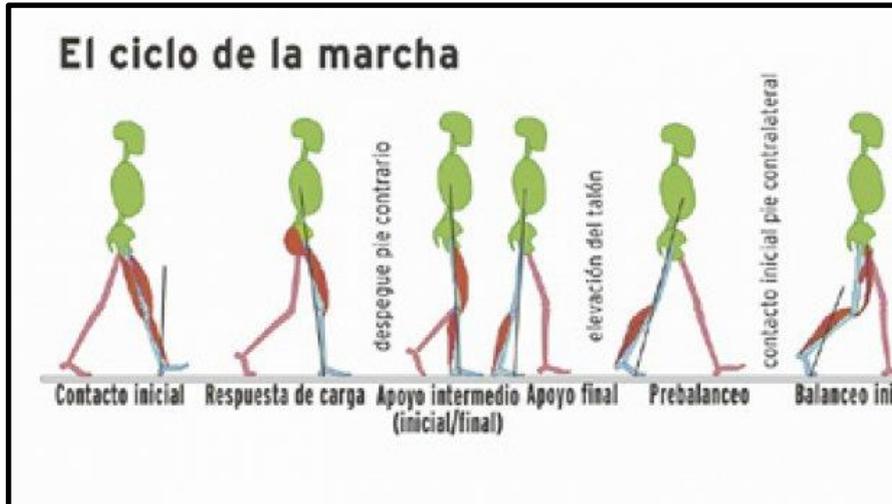


Fig 3: Visualización de secuencia de activación de músculos en la marcha "Tomado de biofisicamedicinaug.blogspot.com [3]"

Dichas activaciones musculares pueden ser ubicadas observando la "Fig 3" en donde podemos notar cada fase activa músculos en zonas distintas del miembro inferior.

RESULTADOS

Como resultados se destaca la eficiencia de la sonda Diferencial Simple frente a ruidos y la efectividad de ignorar el crosstalk de la sonda Diferencial Doble comparándolos unos con otros.

En la "Fig 4" se puede notar la presencia de crosstalk en la señal "A". Hay una buena amplitud de señal en la primera etapa, pero en la segunda etapa no debería de leer una activación muscular apreciable desde la musculo Tibial Anterior (TA). Los datos percibidos en la segunda etapa provienen de la señal del Gastrocnemio (Gastroc) vista en la parte "D".

Pero donde es más notoria la comparación es en las señales "B" y "C" que indican dos señales obtenidas por la misma sonda solo que la primera se toma como Diferencial Simple y la segunda como Diferencial Doble, en donde es claro la selectividad superior de la sonda con la configuración Diferencial Doble.

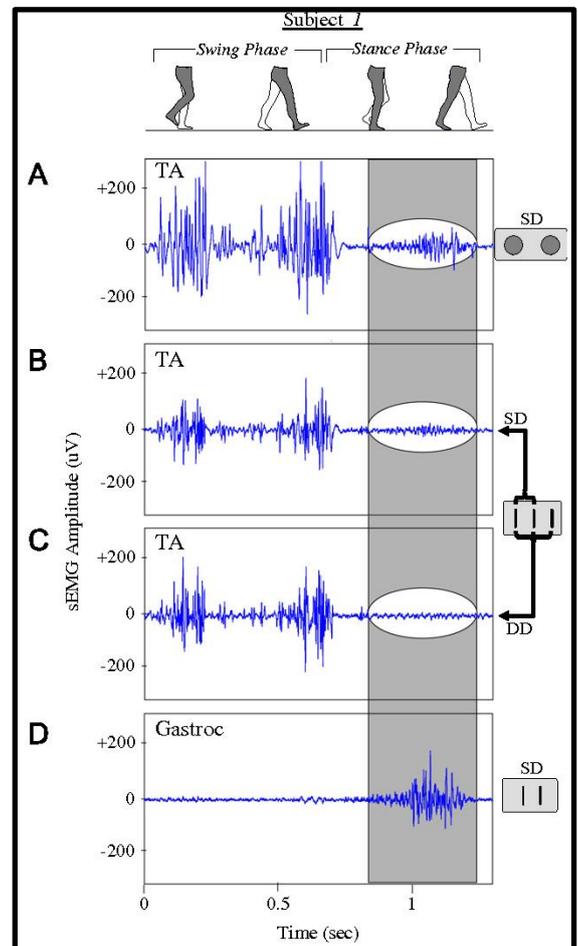


Fig 4: Comparación de las señales adquiridas en las sondas vistas. "Tomado de Lifeder [1]"

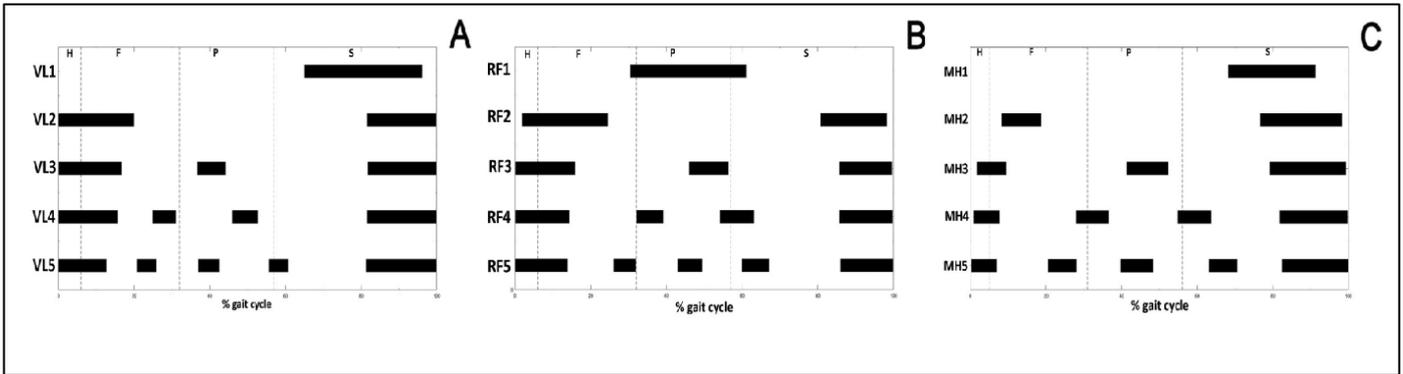


Fig 5: Intervalos de activación media en función del porcentaje del ciclo de marcha con modalidades de 1 a 5 activaciones detectadas durante la caminata para VL (Vasto Lateral), RF (Recto femoral) y MH (Músculos isquiotibiales). H, F, P y S son las fases de la marcha determinadas por líneas verticales. "Tomado de Surface-EMG analysis for the quantification of thigh muscle dynamic co-contractions during normal gait. [6]"

En la "Fig 5" se puede apreciar el resultado de los intervalos de activación en los músculos Vasto Lateral, Recto femoral e Isquiotibiales (Bíceps femoral, Semitendinoso y Semimembranoso).

Estas señales se adquiridas y luego procesadas utilizando un sistema de análisis estadístico de la marcha (SGA) que realiza una caracterización estadística de la marcha analizando el espacio-temporal y parámetros basados en sEMG a través de la toma de datos de varias zancadas.

Existen varios reportes de diferentes intervalos de activación en diferentes zancadas de la misma caminata. Esto llevó a este estudio de la activación de esos 3 músculos en cada momento de la marcha.

Estos estudios fueron realizados para analizar las co-contracciones de músculos opuestos en la pierna y poder medir su intensidad. Por lo que la EMG no solo permite un estudio de coordinación de las activaciones musculares, también permite estudiar la magnitud de estas. [6]

El estudio de la magnitud de la señal de EMG resulta muy útil en distintas aplicaciones. Una de ellas es el estudio de eficiencia energética en función de la velocidad de la marcha como podemos ver en la "Fig 6".

Este estudio fue realizado en pacientes con insuficiencia cardíaca crónica y trasplantes de corazón. La eficiencia muscular es un factor importante para ambos casos.

Las mediciones se realizaron en las dos parejas de músculos: Recto Femoral - Bíceps Femoral y Tibial Anterior – Gastrocnemio.

Durante la marcha el movimiento pendular permite un menor gasto energético, reduciendo el esfuerzo mecánico realizado por los músculos. Esto indica que existe una velocidad media de marcha óptima en cuanto a eficiencia energética. Rediciendo así el gasto energético, fatiga muscular y la demanda metabólica del movimiento de los pcientes. [9]

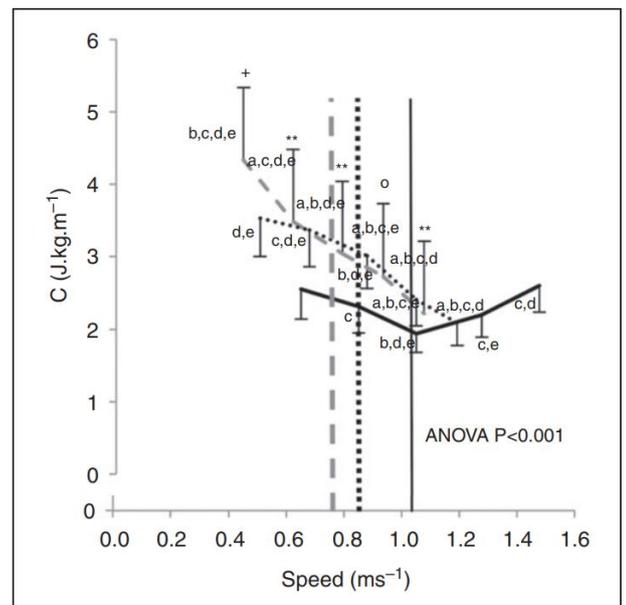


Fig 6: Estudio de la eficiencia energética de la marcha en pacientes con dificultades cardiacas. "Tomado de Electromyography and economy of walking in chronic heart failure and heart transplant patients. [9]"

Referencias

- [1] "Músculos de la pierna: descripción y funciones (imágenes)", *Lifeder*, 2021. [Online]. Available: <https://www.lifeder.com/musculos-piernas/>. [Accessed: 01- Jun- 2021].
- [2] "Activación muscular en la Marcha", *Youtube.com*, 2021. [Online]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=pEyOK6o_YDE. [Accessed: 01- Jun- 2021].
- [3] "BIOFISICA", *Biofiscamedicinaug.blogspot.com*. [Online]. Available: <http://biofiscamedicinaug.blogspot.com/p/biomecanica-de-la-fase-de-apoyo-de-la.html>. [Accessed: 01- Jun- 2021].
- [4] C. Luca, M. Kuznetsov, L. Gilmore and S. Roy, "Inter-electrode spacing of surface EMG sensors: reduction of crosstalk contamination during voluntary contractions.", *Semanticscholar.org*, 2021. [Online]. Available: <https://www.semanticscholar.org/paper/Inter-electrode-spacing-of-surface-EMG-sensors%3A-of-Luca-Kuznetsov/490ef665dafb6040c912be3359af940190577e2a>. [Accessed: 01- Jun- 2021].
- [5] V. Agostini, "Activación muscular durante la marcha", in *Curso Evaluación del movimiento en la marcha y actividades motoras para el proyecto de instrumentación de uso clínico Universidad de la República, Montevideo (Uruguay)*, 2019.
- [6] Strazza, A., Mengarelli, A., Fioretti, S., Burattini, L., Agostini, V., Knaflitz, M. and Di Nardo, F., 2017. Surface-EMG analysis for the quantification of thigh muscle dynamic co-contractions during normal gait. *Gait & Posture*, 51, pp.228-233.
- [7] Pequera, G., 2015. *Análisis de tiempo-frecuencia de la señal EMG en movimientos explosivos*. [online] Available at: <<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/8156/1/uy24-17718.pdf>> [Accessed 23 June 2021].
- [8] Biancardi, C., Martínez, A., Mesa, A., Norbis, V., Carriquiry, M. and Pequera, G., 2018. *Patrones electromiográficos de la "Virada por Avante" en regatistas de clase "Optimist"*. [online] Available at: <<http://www.accede.iuacj.edu.uy/xmlui/bitstream/handle/20.500.12729/311/Biancardi%2C%20Carlo%20%282%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> [Accessed 23 June 2021].
- [9] Bona, R., Bonezi, A., Silva, P., Biancardi, C., Castro, F. and Clausel, N., 2016. Electromyography and economy of walking in chronic heart failure and heart transplant patients. *European Journal of Preventive Cardiology*, 24(5), pp.544-551.