

# Quantifying the motor efficiency via information theory

Verónica D. Soria<sup>1</sup>, Cecilia M. Navarro<sup>1</sup>, Álvaro G. Pizá<sup>1,2</sup>, Facundo A. Lucianna<sup>2</sup>, Gabriel A. Ruiz<sup>1,2</sup> y Fernando D. Farfán<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán, San Miguel de Tucumán, Argentina.

<sup>2</sup>Instituto Superior de Investigaciones Biológicas, CONICET y Dpto. de Bioingeniería, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán, San Miguel de Tucumán, Argentina.

**Abstract**— A method based on Information Theory for quantify the movement efficiency was proposed. The measurement of information provides a quantitative metric of motor efficiency. This measure is obtained from electromyographic (EMG) recordings and the kinematic of motor activity. Here, the EMG signals from middle right deltoid were recorded during dynamic contraction. These contractions were evoked by abduction-adduction arm movements at scapular plane. The arm movements were realized at different speeds and under different loading conditions. The efficiency of motor activity was then evaluated for each situation. The proposed method is suitable for situations in which motor activity is performed under non-stationary conditions (dynamic contractions).

**Keywords**— Information theory, dynamic contractions, deltoid muscle.

**Resumen**— En este trabajo se propone un método para cuantificar la eficiencia motriz, basado en métricas específicas de la teoría de la información. Así, una medida de información es obtenida a partir de registros electromiográficos (EMG) y características cinemáticas de la actividad motora. Las señales de EMG fueron obtenidas del músculo deltoides medio durante contracciones dinámicas evocadas por elevaciones laterales (movimientos de abducción y aducción del brazo) en el plano escapular. Esta actividad motora fue realizada a diferentes velocidades y bajo diferentes condiciones de carga. La eficiencia de la actividad motora fue evaluada para cada situación. El método propuesto resultó adecuado para situaciones en el cual la actividad motora es realizada bajo condiciones no estacionarias (contracciones dinámicas).

**Palabras clave**— Teoría de la información, contracciones dinámicas, músculo deltoides.

## I. INTRODUCCIÓN

Es ampliamente aceptado que la señal de EMG está relacionada con la tensión muscular o fuerza ejercida por un músculo, sin embargo muchas veces resulta dificultoso cuantificar tal relación. A priori, podríamos esperar una relación directa entre EMG y fuerza, ya que la actividad eléctrica del músculo está determinada por el número de fibras activas y la frecuencia de activación, es decir, los mismos factores que determinan la fuerza muscular [1][2]. A pesar de la gran cantidad de estudios abordados en esta temática, existe gran controversia en acerca de esta relación. Algunos motivos de esta discrepancia son: las diferencias en las técnicas de medición, los procedimientos, los equipos de medición, la variedad de músculos investigados, el tipo de contracción, el tipo de electrodos y su ubicación, las técnicas de normalización y suavizado, entre otros [1][2]. Todas estas variables han dado como resultado contracciones isométricas o isotónicas a velocidad constante, relaciones EMG-fuerza lineales [3][4], y relaciones no lineales [5][6],

pudiendo ser estas cuadráticas, parabólicas o funciones más complejas [7][8].

En la ejecución de movimientos dinámicos, se añade la dificultad de los cambios momentáneos de la musculatura en la relación músculo-piel [1][9]. Algunas investigaciones en el área mostraron relaciones lineales entre la EMG integrada (iEMG) y la velocidad en el movimiento concéntrico, contrariamente al movimiento excéntrico cuya iEMG medida resultó independiente de la velocidad [3][10]. Desde un punto de vista fisiológico, se encontró que la relación más importante que mostraba la iEMG era con el trabajo mecánico [11][4].

En este trabajo se propone cuantificar la correlación existente entre el EMG del deltoides medio y el movimiento de abducción del brazo. Para ello se utilizarán medidas cuantitativas de la correlación estadística existente, basados en la teoría de la información. La intención de este estudio es determinar un indicador de la eficiencia, basados en que el movimiento es trabajo, el trabajo requiere energía, y esta energía es proporcionada por la actividad muscular.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. Registros de EMG

Las señales de EMG del deltoides medio fueron registradas durante contracciones dinámicas, evocadas por movimientos de abducción del brazo derecho en el plano escapular, en dos sujetos sanos, femeninos de 24 y 25 años de edad. La distancia entre los electrodos de registro fue establecida en 2 cm, mientras que el electrodo de referencia fue posicionado en cercanías de la articulación del codo (Fig. 1). Las señales fueron registradas utilizando un sistema de adquisición BIOPAC MP30 ([www.biopac.com](http://www.biopac.com)), a una frecuencia de muestreo de 2 KHz, y con un ancho de banda de 30 a 500 Hz. Los parámetros de adquisición fueron configurados con el software BSL Student Pro para Windows.

### B. Captura de movimiento

La amplitud angular de los movimientos, en función del tiempo, fue obtenido a través de un sistema de captura en dos dimensiones. Para ello se utilizó una cámara Hewlett Packard R967, resolución 640 x 480 y velocidad de 24 cuadros por segundo. Posteriormente, los videos fueron procesados usando un software libre de captura en 2D (Kinovea©). Con el fin de optimizar el procedimiento de captura y determinación del ángulo de interés, fueron colocados marcadores específicos de color blanco sobre el sujeto, tanto en la articulación acromio clavicular como en la zona de articulación del codo. Estos marcadores definieron una recta, la que a su vez definió un ángulo respecto a una línea vertical que pasa por la articulación acromio clavicular. Así se determinaron los ángulos de abducción-aducción en función del tiempo.

### C. Protocolo de movimiento

Los movimientos de abducción-aducción fueron ejecutados de manera repetitiva bajos diferentes condiciones cinemáticas y dinámicas, las cuales consistieron en posicionar el brazo desde 0° a 90° a diferentes velocidades pre-establecidas,  $V_1$  (lento),  $V_2$  (medio),  $V_3$  (rápido), y con diferentes cargas externas  $P_1$  (sin carga),  $P_2$  (con carga de 500g) y  $P_3$  (con carga de 1,5 kg). Para minimizar los efectos debido a la variabilidad cinemática de los movimientos, los sujetos emplearon un sistema de realimentación visual en el cual se reproducía la cinemática de los mismos. (Fig. 1C). Los sujetos realizaron entre 5 y 18 movimientos.

### D. Procesamiento digital

*Teoría de la información:* El método propuesto para el cálculo de la información requiere un par de estímulos y situaciones de respuesta como condición mínima. Normalmente, el estímulo puede ser una serie temporal (por ej.: desplazamiento angular del brazo) o simplemente pertenecer a una clase (por ej.: posición1, posición2, posición3, etc.). La respuesta depende de las características de las series temporales que se analizan.

La información que el EMG (respuesta) tiene acerca del nivel de contracción (estímulo) puede ser cuantificada por la ecuación de la información de Shannon [1][5][12][13]:

$$I = \sum P(r) \cdot P(s|r) \log_2 \frac{P(s|r)}{P(s)} \quad (1)$$

Donde  $P(s)$  es la probabilidad de que el estímulo  $s$  sea presentado,  $P(s|r)$  es la probabilidad condicional de  $s$  dada la observación de la respuesta  $r$ , y  $P(r)$  es la probabilidad de la respuesta  $r$  independientemente del estímulo aplicado.

Se observa en la ec. (1) que el principal problema para obtener la cantidad de información es determinar las distribuciones de probabilidades.

Los estímulos son segmentados y categorizados de acuerdo a las diferentes posiciones del brazo (binarización entre 0° y 90°). La respuesta del deltoides medio fue establecida a través de un estimador de amplitud (valor absoluto medio, VAM) dado por la siguiente ecuación:

$$\bar{x}_i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N |x_k| \quad (2)$$

Donde,  $x_k$  es la  $k$ -ésima muestra del segmento  $i$ . Así, el VAM fue determinado en segmentos de 100 ms sin solapamiento.

Un lineamiento de los procedimientos seguidos para determinar la cantidad de información en cada una de las condiciones experimentales puede ser resumido como sigue:

1. Determinación de los diagramas de frecuencia. Se fija el número de ocurrencias de la respuesta para cada situación experimental (posición del brazo, Fig. 2).
2. Determinación de  $P(s,r)$ . Se construye una matriz  $[N \times M]$ , donde  $N$  son las posibles respuestas del sistema y  $M$  son los estímulos aplicados. Cada elemento de esta matriz es el valor de  $P(s_i, r_j)$ .
3. Determinación de  $P(r)$  y  $P(s)$ . Están dados por las respectivas probabilidades marginales, las cuales son calculadas realizando la sumatoria de las probabilidades conjuntas para cada respuesta:

$$P(r) = \sum_{i=1}^M P(s_i, r) \quad (3)$$

4. Determinación de  $P(s|r)$ , que por definición, es:

$$P(s|r) = \frac{P(s, r)}{P(r)} \quad (4)$$

Así,  $P(s|r)$  es obtenido para cada nivel de contracción.

5. Determinación de la información. Finalmente, la información fue calculada usando la ec. (1).

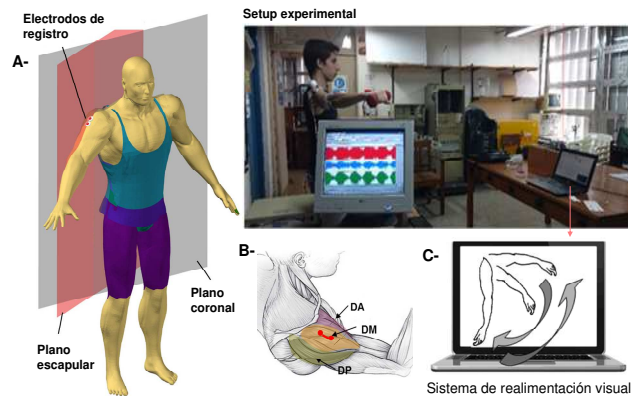


Fig. 1 A): Protocolo de movimiento en contracciones dinámicas en el plano escapular y movimientos de abducción y aducción. B): Los electrodos de registro son colocados en el deltoides medio. C) Sistema de realimentación visual.





