



## I. INTRODUCCIÓN

El trabajo mecánico, en su sentido físico se refiere a la aplicación de una fuerza resultado en el movimiento de un objeto. El músculo esquelético realiza trabajo mecánico cuando se contrae y un objeto es movido, como cuando se levanta un peso. Para levantar un peso, tus músculos tienen que ejercer una fuerza lo suficientemente grande para vencer el peso. Si tu ejerces menos fuerza, entonces el peso no se moverá (Fig. 2.1).

Fisiológicamente, el músculo esquelético es estimulado para contraerse cuando el cerebro o la médula espinal activan las **unidades motoras** del músculo.

Las unidades motoras son definidas como una motoneurona y todas las fibras musculares que son inervadas por esa motoneurona. Un potencial de acción (PA) en una motoneurona humana siempre causa un potencial de acción en todas las fibras musculares de la unidad motora. Es un hecho que generalmente los humanos no envían un solo PA por la motoneurona. En lugar de esto se envía un tren de PA suficientes para inducir tétano (contracción sostenida de fibras musculares) en las fibras musculares de la unidad motora.

(Una discusión de unidad motora y sus controles fueron presentadas en la Lección 1.)

La mayoría de los músculos esqueléticos humano esta compuesto de cientos de unidades motoras (Fig. 2.2). Cuando un músculo esquelético es llamado a realizar un trabajo mecánico, el numero de unidades motoras en el músculo activado por el cerebro es proporcional al total del trabajo que debe ser realizado por el músculo; a mayor trabajo realizado mayor es el numero de unidades motoras activadas. Así, mas unidades motoras están simultáneamente activadas cuando un músculo esquelético levanta 20 kilogramos que cuando el mismo músculo levanta 5 kilogramos.

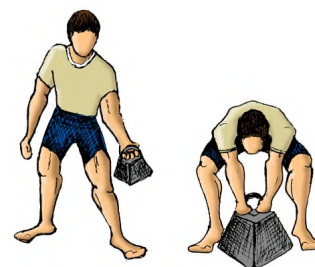


Fig. 2.1

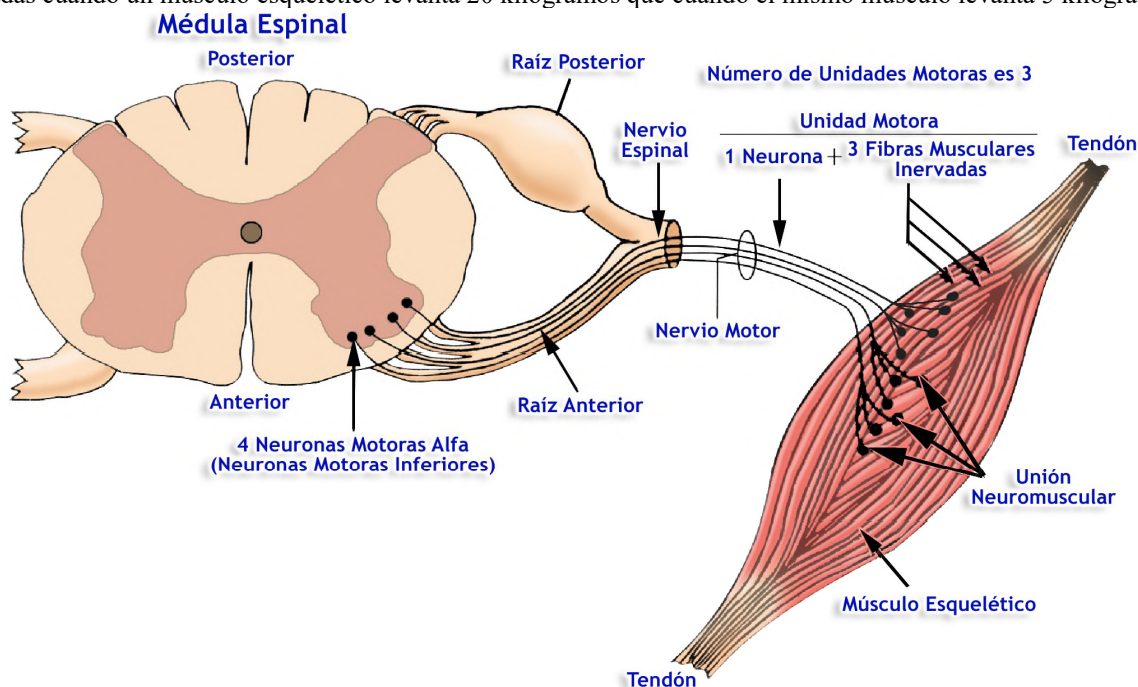


Fig. 2.2 Ejemplo de Unidades Motoras

El cerebro utiliza la información sensorial de los receptores de estiramiento en el músculo, tendones asociados y cápsulas de unión, para determinar el número de unidades motoras activas requeridas para realizar una tarea dada. Por ejemplo, cuando se levanta desde el suelo un balde de agua, primero el cerebro activa varias unidades motoras en los músculos esqueléticos apropiados. Si la información sensorial; que regresa desde el músculo indica que los músculos se están contrayendo pero no están desarrollando la potencia necesaria para levantar el balde, el cerebro activa mas unidades motoras hasta que la información sensorial indique que el balde esta levantado. La secuencial activación de las unidades motoras para realizar una tarea llamada **reclutamiento de unidades motoras**.

Una vez que Usted haya levantado un peso ligero, el cerebro recluta aproximadamente el mismo *numero* de unidades motoras para mantenerlo arriba pero alternando entre *diferentes* unidades motoras. Las fibras musculares consumen la energía almacenada en el músculo y generan una fuerza para la contracción. Como las fibras musculares depletan la fuente de energía, más energía debe ser creada para continuar la contracción. El reclutamiento de diferentes unidades motoras permite que las unidades motoras se relajen y recarguen sus depósitos energéticos.

Los músculos esqueléticos que realizan un trabajo agudo máximo o un trabajo crónico submáximo de una naturaleza repetitiva eventualmente se **fatigan**. La fatiga es definida como una disminución en la habilidad del músculo para generar una fuerza. La fatiga es causada por una depleción reversible en el suministro energético del músculo. Si el músculo usa sus fuentes energéticas mas rápidamente de lo que el metabolismo celular la genera, ocurre la fatiga. Durante la contracción las células musculares esqueléticas convierten la energía química en energía mecánica y térmica y en el proceso se producen productos químicos de desecho.

Normalmente los productos de desecho son removidos desde el músculo por el sistema circulatorio al mismo tiempo que la sangre lleva los nutrientes al músculo para la transformación energética. Si ciertos productos de desecho (metabolitos) no fueran removidos del músculo a una velocidad adecuada, se acumularían e interferirían con los procesos contráctiles, acelerando así el inicio de la fatiga. Algunos productos de desecho acumulados pueden estimular receptores del dolor en el tejido conectivo circundante e inducir calambres de los músculos esqueléticos, un signo general de flujo sanguíneo inadecuado hacia los músculos.

En esta lección Usted examinara el reclutamiento de la unidad motora y la fatiga del músculo esquelético combinando **electromiografía** con **dinamometría**.

Cuando una unidad motora es activada las fibras musculares generan y conducen sus propios impulsos eléctricos, los cuales causan que las fibras se contraigan. Aunque el impulso eléctrico generado y conducido por cada fibra es muy débil (menos de 100  $\mu$ voltios), muchas fibras conduciendo simultáneamente inducen diferencias de voltaje lo suficientemente grande en la piel que las recubre para ser detectada por un par de electrodos de superficie.

La detección, amplificación y registro de los cambios de voltaje en la piel producidos por la contracción del músculo esquelético subyacente es llamado electromiografía y el registro obtenido es llamado **electromiograma (EMG)**.

La señal de **EMG** es el registro de dos actividades bioeléctricas: 1) propagación de los impulsos del nervio motor y su transmisión a las uniones neuromusculares de la unidad motora, y 2) propagación de los impulsos de los músculos por el sarcolema y los sistemas T-tubular que provocan un acoplamiento en la excitación-contracción. Las magnitudes de los potenciales de acción de las unidades motoras activas no son todas iguales ni están en fase una de la otra. Además, la secuencia de la activación de la unidad motora es variable. El resultado neto de estos y otros factores es una señal compleja de EMG. Recuerda que estamos registrando toda esta actividad como s detectada por electrodos de superficie, y el fenómeno de la depolarización y repolarización de la propagación del músculo e impulsos del nervio. Por lo tanto, los "picos", tendrán un componente negativo y positivo y las amplitudes influenciarán por la localización de los electrodos de registro con respecto al número de músculos esqueléticos subyacentes y las fibras del nervio motoras.

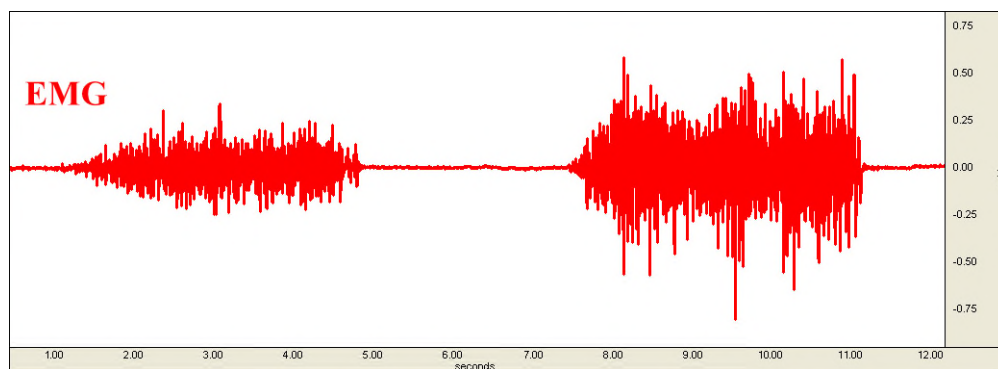


Fig. 2.3 Señal EMG

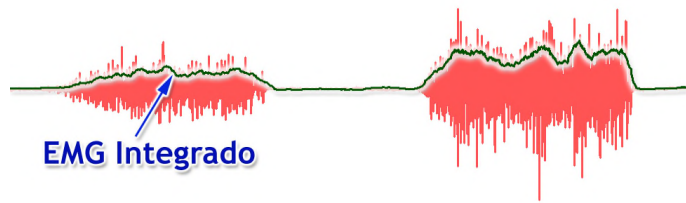


Fig. 2.4

La integración del EMG es una vista alternativa a la señal de EMG que claramente muestra el patrón de la actividad muscular. La integración del EMG promedia las espigas de ruido en la señal de EMG para proporcionar una indicación más precisa del nivel del EMG. La integración del EMG calcula un promedio (media) de los datos EMG primero rectificando cada punto en el rango de muestra (invirtiendo todos los valores negativos) y calculando la media. En esta lección, cada punto de datos del EMG integrado se calcula utilizando 100 muestras de datos del EMG original, por lo que los primeros 100 puntos de muestras se deberían ignorar ya que reflejan el número de valores cero siendo promediados en las primeras muestras de datos.

**Potencia** es definida como la cantidad de trabajo hecho por unidad de tiempo. **Dinamométrica** significa la medición de la potencia (Dino = potencia, métrica = medida), y el registro gráfico es llamado **dinagrama**.

En esta lección, la potencia de contracción de músculos que aprietan la mano, se determinara con un **dinamómetro manual** equipado con un transductor electrónico de registro. El Modelo SS25LA/L mide la fuerza en “kg”; el modelo SS56L mide proporcionalmente la presión del bulbo en “kgf/m<sup>2</sup>” (unidad de presión). Ambas mediciones son precisas par alas mediciones relativas adquiridas en esta lección.

El sistema BIOPAC registrará simultáneamente tres tipos de información:

- 1) La fuerza que Usted ejerce sobre el transductor,
- 2) La señal eléctrica producida por el músculo durante la contracción, y
- 3) La onda integrada la cual es una indicación de los niveles de actividad del músculo.