

Electromiografía: registrando la actividad eléctrica de los músculos esqueléticos en los sistemas de palanca del cuerpo

Erin C. McKiernan¹

¹Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México

RESUMEN

En esta práctica de laboratorio, los estudiantes aprenderán sobre los conceptos básicos de la estructura y función muscular, y cómo los músculos proporcionan la fuerza para mover los tres tipos de sistema de palanca que se encuentran en el cuerpo humano. Estudiantes aprenderán cómo registrar de sus músculos esqueléticos usando electromiografía, registrando músculos de los tres tipos de sistema de palanca. En general, esta práctica ayudará a los estudiantes a comprender la biomecánica del sistema musculoesquelético, y cómo el movimiento está relacionado con la actividad eléctrica en células musculares excitables.

ESPECIFICACIONES

Nivel de estudio:	Licenciatura
Carreras:	Biología, Física, Física Biomédica, otros
Semestre:	4to (i.e. segundo año de Licenciatura)
Para uso en materias:	Fisiología de Sistemas, otros
Prerequisitos recomendados:	Biología Molecular & Celular
Duración de la práctica:	1-2 horas
Lugar para realizar la práctica:	Aula o laboratorio
Precauciones:	Ninguno
Otras indicaciones:	Usar ropa cómoda que permite colocar los electrodos

OBJETIVOS

Antes de hacer debes ser capaz de:

- identificar y describir la función de diferentes organelos y compartimentos celulares
- entender los conceptos básicos de la generación de potenciales de acción en la unión neuromuscular

-
- entender conceptos básicos de la física, como trabajo y fuerza

Durante la práctica vas a:

- aprender como registrar electromiogramas (EMGs) de músculos esqueléticos
- observar y registrar los cambios en la EMG cuando los músculos se contraen y se relajan
- investigar los efectos de cambiar la velocidad y la fuerza de contracción en las señales EMG
- comparar y contrastar registros de tres sistemas de palanca diferentes en el cuerpo

Después de la práctica debes ser capaz de:

- explicar la relación entre la actividad eléctrica de la célula muscular y la contracción
- entender los conceptos básicos del registro de EMG
- diseñar experimentos adicionales para investigar la actividad de diferentes músculos esqueléticos

EQUIPO

- Muscle SpikerBox (Backyard Brains)
- 3 electrodos de superficie (Backyard Brains o otro proveedor)
- cables naranja con pinzas de cocodrilo para conectar los electrodos al SpikerBox (Backyard Brains)
- cable para conectar el SpikerBox a una computadora, tableta, o teléfono inteligente (Backyard Brains)
- tableta, computadora o teléfono inteligente con el software gratuito de Backyard Brains, el Spike Recorder, instalado

ANTECEDENTES

Los músculos esqueléticos proporcionan fuerza para mover las palancas del cuerpo humano

Los movimientos del sistema musculoesquelético humano se logran por conjuntos de huesos, articulaciones y músculos que funcionan en conjunto de manera similar a sistemas de palanca [1, 2]. Una palanca se compone de una varilla o barra rígida (el brazo de palanca) que gira alrededor de un punto fijo (el fulcro) y puede mover una carga o superar una resistencia cuando una fuerza está aplicado. Las palancas se agrupan en tres clases, dependiendo de la colocación

relativa del fulcro, fuerza aplicada, y la carga o resistencia (Fig. 1). Las palancas de clase 1 tienen un fulcro central con la fuerza aplicada en un lado y la carga en el otro (e.j., [emckcrowbar?](#)). Para las palancas de clase 2, la carga es central y la fuerza y el fulcro están en lados opuestos [emckon either side?](#) (e.j., una carretilla). Para palancas de clase 3, la fuerza se aplica en el centro y el fulcro y la carga se están en extremos opuestos del brazo (e.j., un par de pinzas es un par de palancas de clase 3).

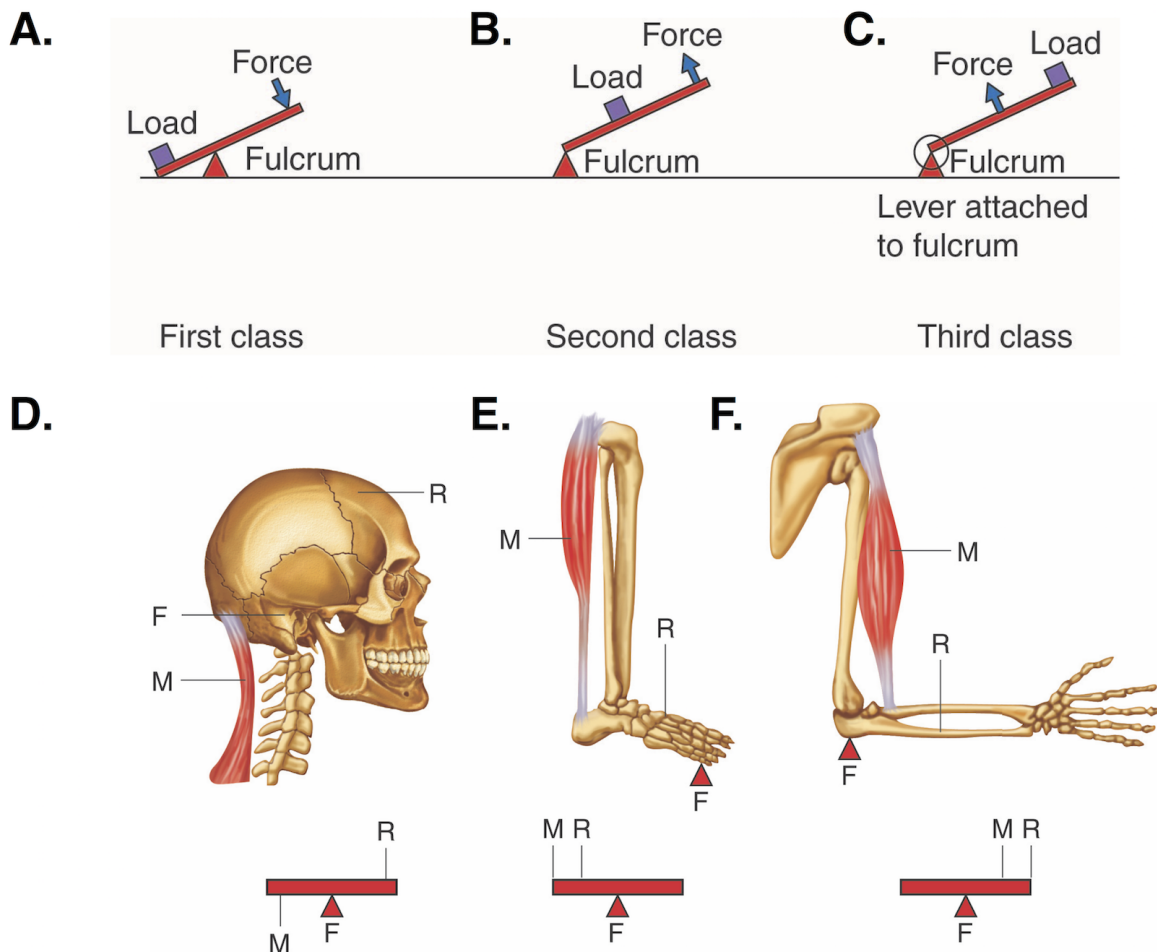


Figura 1: Los tres clases de palancas (A-C.) y ejemplos de ellas en el cuerpo humano (D-F.). M - musculo, F - fulcro, and R - resistencia. Crédito del imagen: Open Learning Initiative [1], CC BY.

En el cuerpo humano, los huesos actúan como brazos de palanca y las articulaciones como fulcros. La fuerza para superar una resistencia o levantar una carga es proporcionada por la contracción de los músculos esqueléticos, que están unidos a los huesos por tendones [1, 2]. Las tres clases de palancas se encuentran en el cuerpo humano, aunque algunas son más comunes que otras [1]. Las palancas de clase 1 son raras, pero algunos ejemplos sí existen, incluyendo el sistema de [emckbone-joint](#) articulación ósea responsable de la flexión y extensión de la cabeza (bajando o levantando la cabeza, respectivamente; Fig. 1D). En este caso, el fulcro es la articulación entre el cráneo y el primer vértebra cervical. La carga, o resistencia, es el peso de la cabeza sí mismo. La fuerza para levantar la cabeza se aplica mediante la contracción de

músculos esqueléticos en el cuello y la parte superior de la espalda, incluido el esplenio capitis y semispinalis capiti [3]. El brazo de palanca en este caso no es tan obvio como en los sistemas de huesos largos ^{emck}long-bone systems, pero es el cráneo en sí. Se puede imaginar una línea corriendo diagonalmente desde los músculos del cuello en el lado izquierdo, hacia arriba a través de la articulación cervical, y terminando en un punto en el cráneo sobre la cuenca del ojo.

Cuando una persona se pone de puntillas, podemos ver un ejemplo de una palanca de clase 2 en el cuerpo humano (Fig. 1E) [1]. El pie es el brazo de la palanca, las articulaciones entre los huesos del pie y los de los dedos (las articulaciones metatarsofalángicas) actúan como el fulcro, y la carga es el peso del cuerpo de la persona. La fuerza requerida para levantar el cuerpo es proporcionada por la contracción de los músculos gastrocnemio y sóleo en la parte posterior de la pierna.

Las palancas de clase 3 son el tipo más común que se encuentra en el cuerpo humano [1]. El ejemplo clásico es el complejo formado por el bíceps braquial, el codo y el antebrazo. En este ejemplo, el antebrazo es el brazo de palanca, la articulación del codo es el fulcro, y la fuerza requerida para mover el brazo hacia arriba (flexión) o levantar una carga es proporcionado por el bíceps.

Estructura de los músculos esqueléticos

Para entender cómo se contraen los músculos, primero debemos conocer su estructura. Los músculos esqueléticos se componen de múltiples fascículos, que son paquetes ^{emck}bundles? de muchas fibras musculares más pequeñas rodeadas por una capa de tejido conectivo (el perimysio) [4]. En muchos músculos esqueléticos, los fascículos están alineados paralelos entre sí, corriendo a lo largo del longitud del músculo ^{emck}running the length of? [2]. ^{emck}Other muscles show a circular fascicle arrangement. Some muscles have fascicles which meet at one attachment point (convergent), while others feather out from a central tendon (pennate). The arrangement of the fascicles affects the direction and angle at which the fibers can pull, and also affects force generation in the muscle Otros músculos muestran un arreglo circular de fascículos. Algunos músculos tienen fascículos que se encuentran en un accesorio punto (convergente), mientras que otros se pliegan desde un tendón central (pennate). La disposición de los fascículos afecta la dirección y ángulo al que las fibras pueden tirar, y también afecta la generación de fuerza en el músculo [2].

Cada fibra muscular está compuesta de muchas miofibrillas más pequeñas, que contienen la maquinaria molecular para la contracción [4]. Alrededor de la fibra muscular es la membrana plasmática o sarcolema. En el sarcolema se encuentran proteínas transmembranas integradas, como los canales iónicos que median las corrientes y permiten la generación de los potenciales de acción (APs) en músculo [4]. Estos APs se propagan a través de invaginaciones en la sarcolema, conocidos como túbulos transversales (T-túbulos; Fig. 3). Posicionado justo al lado de los T-túbulos es el retículo sarcoplásmico, el equivalente del retículo endoplásmico en músculo. Aquí, canales selectos responden a los cambios en el voltaje generados por la propagación de los APs para iniciar eventos intracelulares que activan la maquinaria contráctil [4].

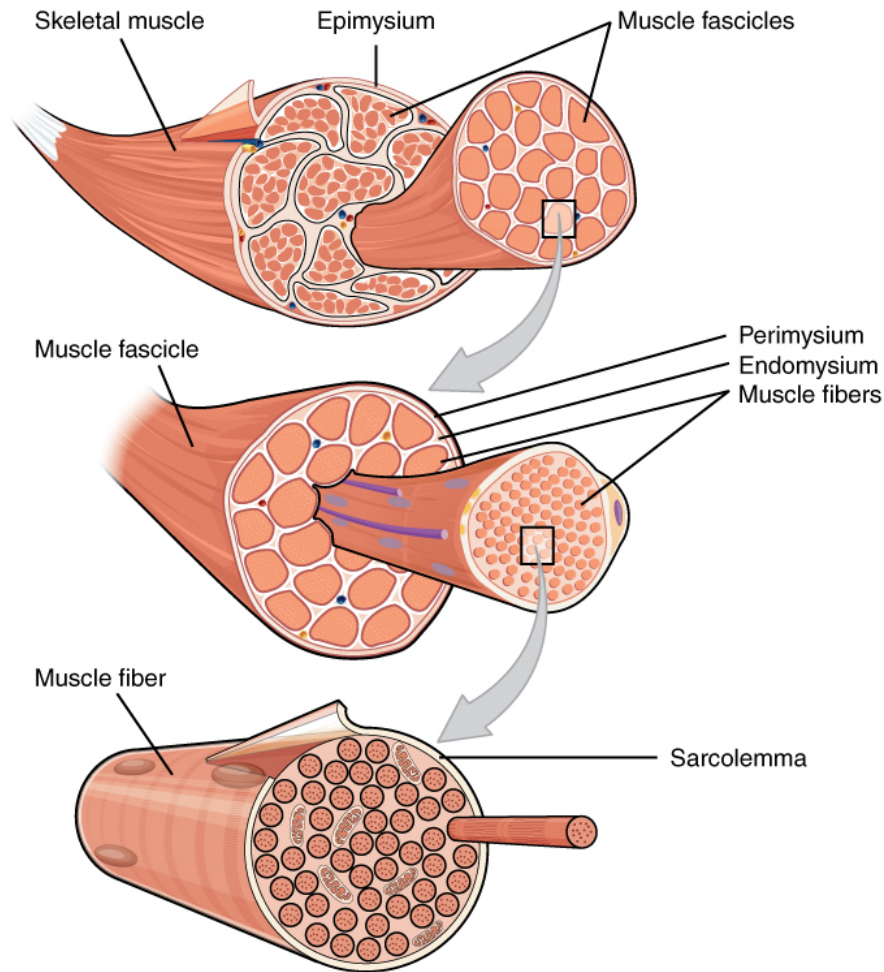


Figura 2: Estructura de músculo y niveles de organización. The top image shows the muscle fascicles. La imagen superior muestra los fascículos musculares. La siguiente imagen hacia abajo se acerca [emck zooms in on?](#) un fascículo para mostrar las fibras musculares. La imagen inferior se acerca a una fibra muscular para mostrar las miofibrillas. Crédito de la imagen: OpenStax [4], CC BY.

La unidad contráctil funcional del músculo esquelético se conoce como el sarcómero [4]. En los músculos esqueléticos, sarcómeros están organizados en serie a lo largo de las miofibrillas. Cambios regulares y repetidos en la densidad de proteínas particulares en los sarcómeros es lo que le da a los músculos esqueléticos su apariencia rayado, o estriado, bajo un microscopio.

Modelo de los filamentos deslizantes y relación longitud-tensión

Los sarcómeros contienen varias proteínas, como la titina, que actúan como un “resorte molecular” y es importante para establecer la elasticidad y tensión pasiva en los músculos [5]. Sin embargo, la base de la contracción radica [emck lies in?](#) en la interacción entre los filamentos de actina (delgados) y filamentos de miosina (gruesos) [6]. Estos filamentos están ordenados [emck organizados?](#) en paralelo, con áreas de superposición [emck translape?](#). La miosina puede unirse a la actina a través de sitios de unión en la región de la cabeza de miosina, formando lo

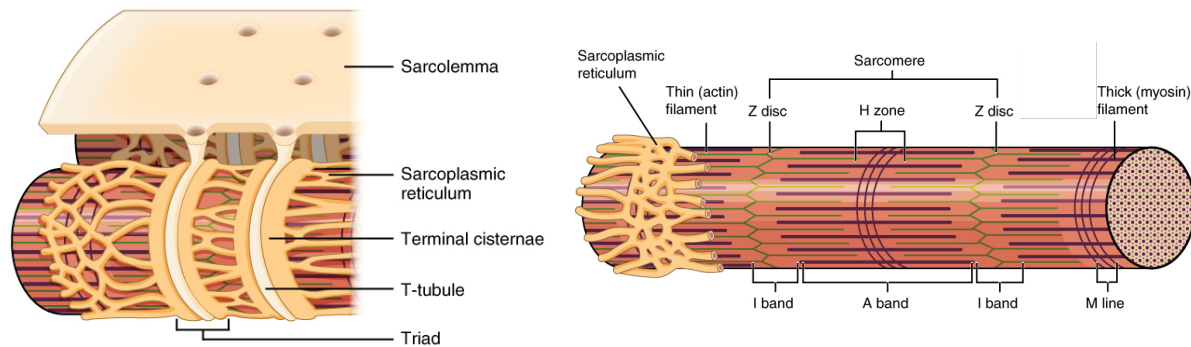


Figura 3: *Izquierdo:* Las invaginaciones en el sarcolemma forman los T-túbulos, que descienden por las miofibrillas y están flanqueados por el retículo sarcoplásmico (SR) en ambos lados. *Derecho:* Cerca del SR, las proteínas están organizadas en sarcómeros, la unidad contráctil del músculo. Diferentes zonas están delineadas dentro del sarcómero por la presencia y superposición de proteínas y filamentos selectos. Crédito de la imagen: OpenStax [4], CC BY.

que se llaman puentes cruzados. Cuando la cabeza se mueve, esto hace que los filamentos se deslizen uno tras otro, aumentando el área de superposición y acortando el sarcómero. Cuando esto sucede en múltiples sarcómeros a lo largo de la longitud de la miofibrilla, la miofibrilla se acorta. Si el mismo efecto ocurre en muchas miofibrillas en muchos fascículos, todo el músculo se acorta y produce una contracción. Esta descripción de la interacción de los filamentos de miosina y actina se llama el modelo de filamentos deslizantes de contracción. Los pasos por los cuales los filamentos de miosina y actina se enganchan, deslizan, desengranan, y luego reinician [emckreset?](#) se llaman colectivamente el ciclo de puentes cruzados [6] (discutido en más detalle abajo).

Existe un nivel intermedio óptimo de superposición de filamentos que produce la tensión máxima en el músculo [8]. Tan poca superposición y los filamentos no se pueden unir e interactuar; demasiado superposición y no hay capacidad para deslizamiento adicional de los filamentos. La relación entre la superposición de los filamentos (es decir, la longitud del sarcómero) y la tensión muscular se llama la relación de longitud-tensión, y se muestra en Fig.5.

Acoplamiento de excitación-contracción y el ciclo de puentes cruzados

Entonces, ¿cómo es que un potencial de acción (AP) generado en la unión neuromuscular (NMJ) ¹ conduce a [emckcross-bridge cycling](#) dentro del sarcómero. En otras palabras, ¿cómo se acopla la excitación con contracción? El AP se propaga desde el NMJ hacia abajo a través de los T-túbulos para llegar al interior de las miofibrillas [6]. Dentro del túbulo T, el cambio en voltaje activa un canal de calcio dependiente de voltaje conocido como $Ca_v1.1$, o el receptor de dihidropiridina (DHPR) [9]. El DHPR es mecánicamente vinculado al receptor de rianodina (RyR) insertado en

¹La generación de potenciales de acción en el NMJ no es discutido aquí, pero puede ser revisado en Cap. 7 de [?].

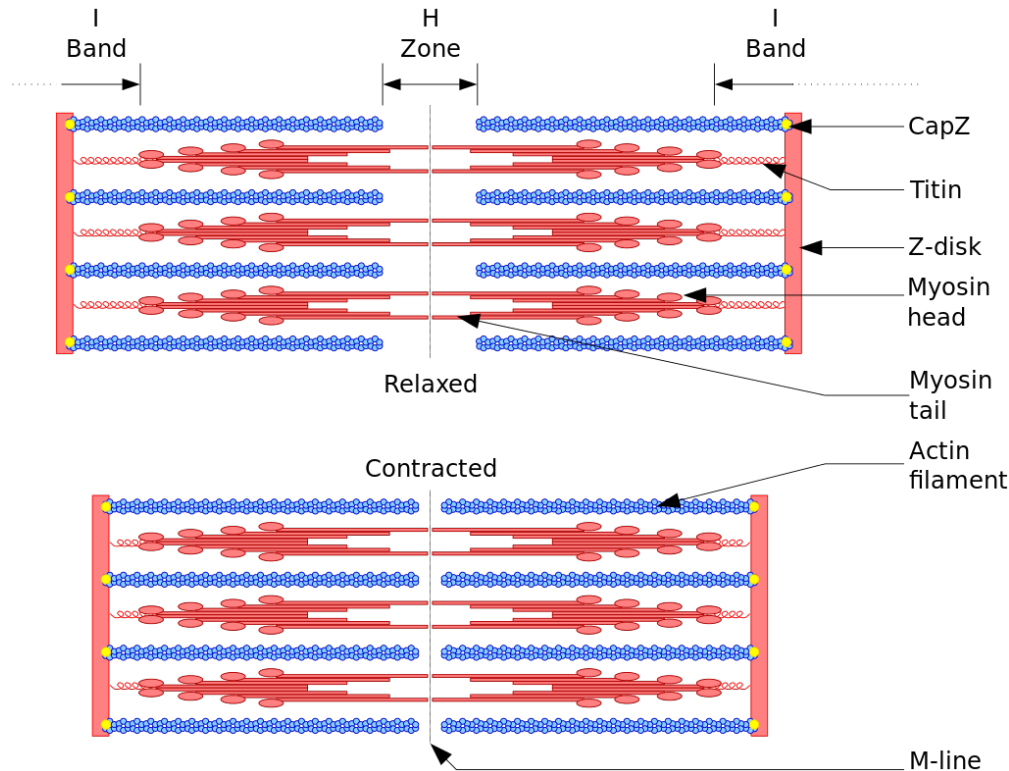


Figura 4: Modelo de filamentos deslizantes de la contracción muscular. La imagen superior muestra un sarcómero en un músculo relajado. Los filamentos tienen áreas de superposición, pero no están activamente involucrados ^{emck}engaged?. La imagen inferior muestra un sarcómero en un músculo contraído. Las cabezas de miosina se unen a los filamentos de actina, se mueven hacia el interior hacia la línea M, y deslizen para acortar el sarcómero. Credito de imagen: David Richfield [7], CC-BY-SA-3.0.

la membrana del retículo sarcoplásmico (SR). La activación del DHPR causa un cambio conformacional que, a su vez, activa RyR, abriendo el canal y permitiendo que el calcio salga de la SR por su gradiente electroquímico [9]. Este aumento en el calcio libre intracelular, a su vez, permite la formación de puentes cruzados. Si el calcio no está presente, los puentes cruzados no pueden formarse porque un complejo de proteínas tropomiosina y troponina bloquea el sitio de unión de la miosina en los filamentos de actina. Cuando el calcio se une a la troponina, da como resultado un cambio conformacional que mueve la tropomiosina fuera del camino y permite unir miosina y actina [6]. Una vez que están unidos, los filamentos pueden deslizarse.

Para continuar con el ciclo, los filamentos de miosina y actina también deben poder desvincular y restablecer su posición. Este proceso requiere el aporte de energía en forma de ATP [6].

Cuando la miosina se une con ATP, se separa de la actina. Posteriormente, el ATP está hidrolizado y la energía liberada se utiliza para mover la cabeza de miosina de vuelta a la posición de ^{emck}“cocked”, listo para unirse con actina. ADP y un fosfato inorgánico permanecen unidos a la cabeza de miosina. Entonces, la miosina se une a la actina y libera el fosfato inorgánico. Luego, la cabeza de miosina libera el ADP y se mueve hacia adentro en lo que se llama el golpe de poder ^{emck}power stroke, que hace que los filamentos de actina se deslizen hacia la línea media

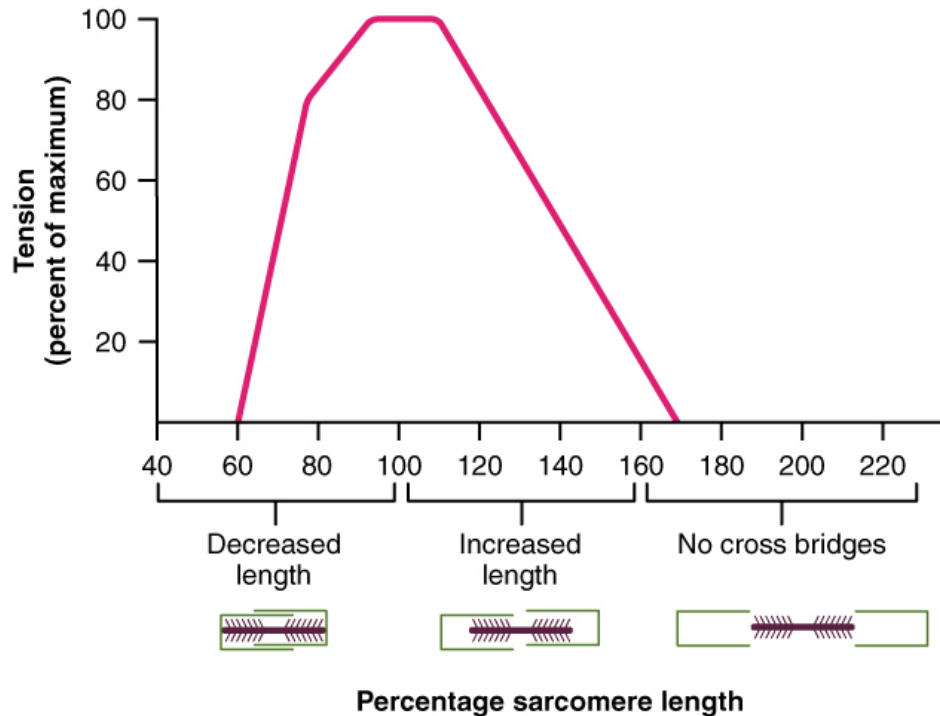


Figura 5: Relación longitud-tensión en el músculo. La tensión máxima se produce cuando los filamentos de actina y miosina tienen una superposición óptima para deslizamiento, es decir, alrededor del 80-120 % de la longitud del sarcómero en reposo. Crédito de la imagen: OpenStax [8], CC BY 4.0

y acortan el sarcómero. El ciclo de puentes cruzados continúa siempre cuando haya suficiente ATP y calcio. El músculo se relaja cuando el calcio se bombea nuevamente al SR y ya no está disponible, permitiendo que la tropomiosina bloquee el sitio de unión de actina-miosina una vez más [6].

Pregunta de estudio: ¿Cómo es que las detalles moleculares del acoplamiento excitación-contracción difieren en músculo cardíaco y liso, en comparación con músculo esquelético?

Respuestas de la fibra muscular, suma y reclutamiento

La respuesta de un músculo a la estimulación (ya sea externa o interna a través de la entrada sináptica) depende del tiempo y la fuerza del estímulo [8]. Si solo ocurre un breve estímulo, entonces una fibra muscular responderá con un solo AP y solo se producirá una contracción corta (de decenas a cientos de milisegundos). Porque los eventos intracelulares necesarios para producir una contracción toman más tiempo que aquellos que generan un AP, otro AP puede llegar antes que la fibra muscular se ha relajado por completo. Si esto ocurre, la segunda respuesta se agregará a la tensión ya presente en el músculo en un proceso llamado suma ^{emck}summation?. Alcanzar la contracción sostenida de la fibra muscular y generar la tensión lo suficientemente grande como para hacer trabajo requiere la suma de múltiples eventos estimuladores.

Además de la suma dentro de las fibras musculares individuales, múltiples fibras se activan para

lograr la contracción al nivel del músculo completo. Una neurona motora y todas las fibras musculares a las que envía señales (inerva) dentro de un músculo se llama una unidad motora. Las unidades motoras pueden variar en tamaño, con algunas neuronas motoras inervando pocas fibras (unidad pequeña) y otras inervando muchas (unidad grande). Los músculos pueden variar la fuerza que generan dependiendo del número y tipo de unidades motoras que están activadas (reclutadas).

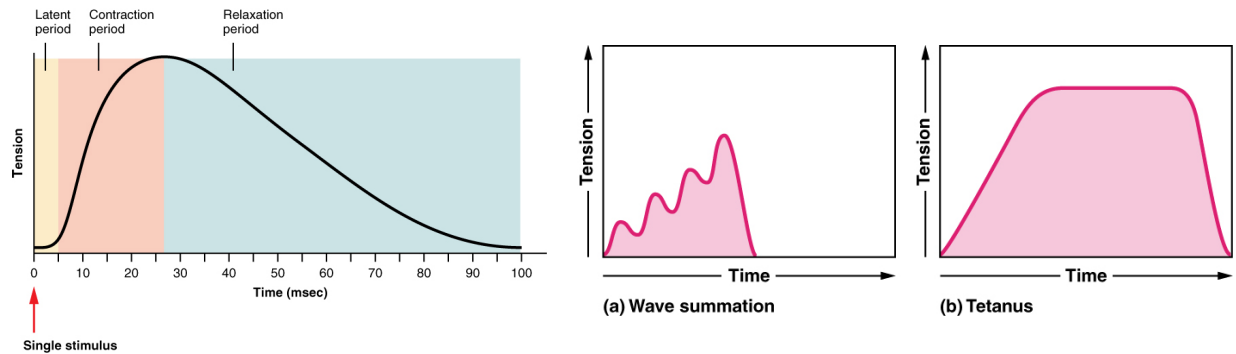


Figura 6: Respuestas musculares *Izquierda:* Miograma que muestra la tensión desarrollada durante una contracción corta de una fibra muscular resultando de una sola, breve estímulo. *Derecha:* Múltiples estímulos entregados en sucesión rápida produce suma y aumenta la tensión. Si la frecuencia de la estimulación es lo suficientemente alta, las respuestas se fusionan en el tétano. Tensión máxima y una contracción suave se logra. Credito de imagen: OpenStax [8], CC BY.

Medición de la actividad eléctrica de los músculos esqueléticos - electromiograma

Para registrar la actividad eléctrica de los músculos usamos una técnica llamada electromiografía, y los registros que obtenemos se llaman electromiogramas (EMGs) [10].

Grabación EMG puede ser hecho de forma invasiva mediante la inserción de electrodos en el músculo de interés, o de forma no invasiva mediante el uso de electrodos de superficie colocados en la piel arriba del músculo (Fig. 7). La inserción de electrodos tiene la ventaja de dar registros EMG más “limpios” en los cuales la actividad de unidades motoras separadas se puede distinguir. Sin embargo, la inserción del electrodo puede ser doloroso y requiere condiciones estériles para prevenir la infección, haciendo que este tipo de registro no es ideal para el ambiente de aula. Electrodos de superficie, por el contrario, pueden aplicarse y retirarse fácilmente de la piel sin lesiones. Las limitaciones de este tipo de registro extracelular incluye solo poder registrar de músculos superficiales, y registros que muchas veces no permiten la separación de unidades motoras individuales [10].

Estas limitaciones no son prohibitivas y son típicamente ^{emck}outweighed por los beneficios de lo no invasivo (^{emck}non-invasiveness), pero deben de tomar en cuenta cuando pensamos de la ubicación de electrodos y análisis de datos.

Una de las configuraciones de registro más comunes se conoce como EMG bipolar, o EMG sillon diferencial [10]. Dos electrodos de superficie están colocados en la piel sobre el músculo separados por pocos centímetros (Fig. 7). Restando las dos señales registrados en los dos puntos y después amplificando la diferencia, señales comunes que pueden resultar de músculos fuera del sitio de registro están ^{emck}largely? excluidas, and principalmente cambios locales en actividad están registrados. POr lo tanto, este configuración disminuye ^{emck}cross-talk? muscular [10].

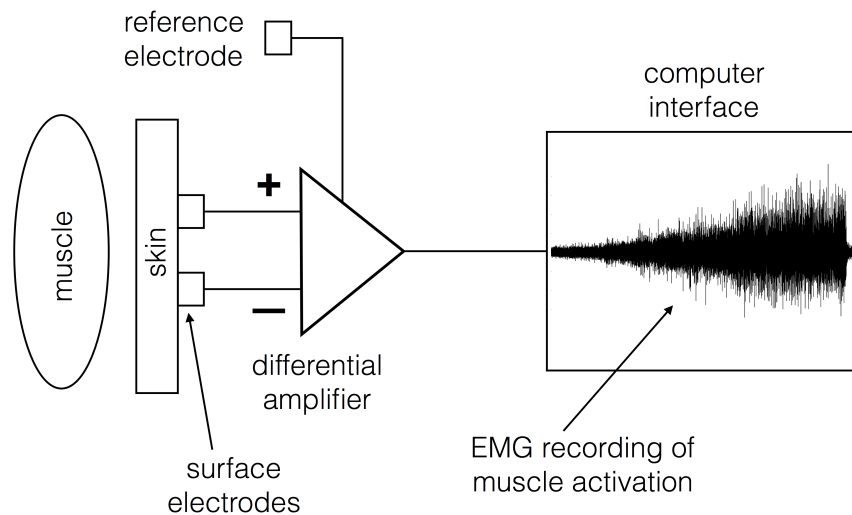


Figura 7: Configuración EMG bipolar. Por simplicidad, no todos los componentes del cuerpo o registro se muestran. Crédito: Erin C. McKiernan, CC BY.

EMGs bipolares de superficie nos pueden decir varias cosas sobre actividad muscular [10]. Uno es el curso temporal de la activación y relajación de los músculos. La mayoría de los músculos muestran muy poca actividad cuando están en reposo. Cuando se activan, vemos un incremento notable en la ocurencia ^{emck}? de kis impulsos eléctricos, como muestra en la Fig. 7 (lado derecho). Cuando el músculo se relaja, estos impulsos desaparecen y registramos solo el ruido de base. El curso temporal de la actividad muscular se puede despuñes correlacionar con otras medidas. También podemos, hasta cierto punto, estimar la fuerz o esfuerzo exergido durante una contracción. Mientras que el sujeto aumenta la fuerza de contracción, vemos un aumento en la frecuencia de los impulsos eléctricos y también la amplitud de la señal. Estos cambios resultan de dos factores: (1) una frecuencia de disparo más alta en unidades motoras ya activas, y (2) el reclutamiento de unidades motoras adicionales. Acuerdanse, estamos registrando la actividad de multiples unidades motoras. Con aumento en la fuerza de contracción, más unidades motoras estñan recultadas y empiezan a disparar, su actividad se suma, y contribuyen a los aumentos en la frecuencia y amplitud.

Preguntas de estudio

1. ¿Dónde se tendrán que colocar sus electrodos para registrar EMGs de sistemas de palanca clase 1, 2 y 3?

-
2. ¿Van a poder registrar de cualquier músculos que quieren en cada sistema de balance?
¿Por qué sí o no?
 3. ¿Cómo van a saber si han colocado correctamente los electrodos?

PROCEDIMIENTO

Antes de comenzar, aseguranse de que tengan todo el equipo necesario y han instalado el software de grabación de Backyard Brains en su computador o teléfono inteligente. Los pasos siguientes [emck](#) will guide you en configurar el equipo y hacer los registros.

1. Configurar los registros EMG

La caja de Backyard Brains Muscle SpikerBox llega [emck](#) fully assembled y listo para registrar ready. Solo tienen que conectar la pila, los cables, y electrodos.

1. Conecta la pila de 9V a sus terminales en el Muscle SpikerBox
2. Conecta el cable azul/negro o verde a la entrada de computadora o teléfono inteligente correspondiente en el Muscle SpikerBox; nota que el cable para el teléfono inteligente es direccional, aseguranse que tengan el lado correcto insertado en el equipo
3. Conectar e otro lado del cable azul/negro o verde a su computador o teléfono inteligente
4. Conectar el cable naranja a su entrada correspondiente en el Muscle SpikerBox
5. Coloca los electrodos encima del músculo de interés, solo unos centímetros por separados y orientados en paralelo a las fibras musculares; acuerdanse, para registrar cada tipo de balance, tendrán que cambiar la colocación de los electrodos entre experimentos
 - Palanca clase 1 - ejemplo de músculo de interés: splenius capitis
 - Palanca clase 2 - ejemplo de músculo de interés: gastrocnemius
 - Palanca clase 3 - ejemplo de músculo de interés: biceps brachii
6. Conecta cada uno de los clips de caiman rojos en las terminales del cable naranja a uno de los electrodos de superficie; aseguranse de que los clips metálicos no tocan entre ellos y tratan de evitar [emck](#) entangling los cables
7. Agarra el clip de caiman negro (referencia) en su mano, o conectalo a otro electrodo de superficie en la parte superior de su mano o otro area fuera del sitio de registro
8. Para mejorar la señal de EMG, el área donde se colocarán los electrodos puede ser limpiado con alcohol antes de colocación; esperan hasta que el área se seca para poner los electrodos

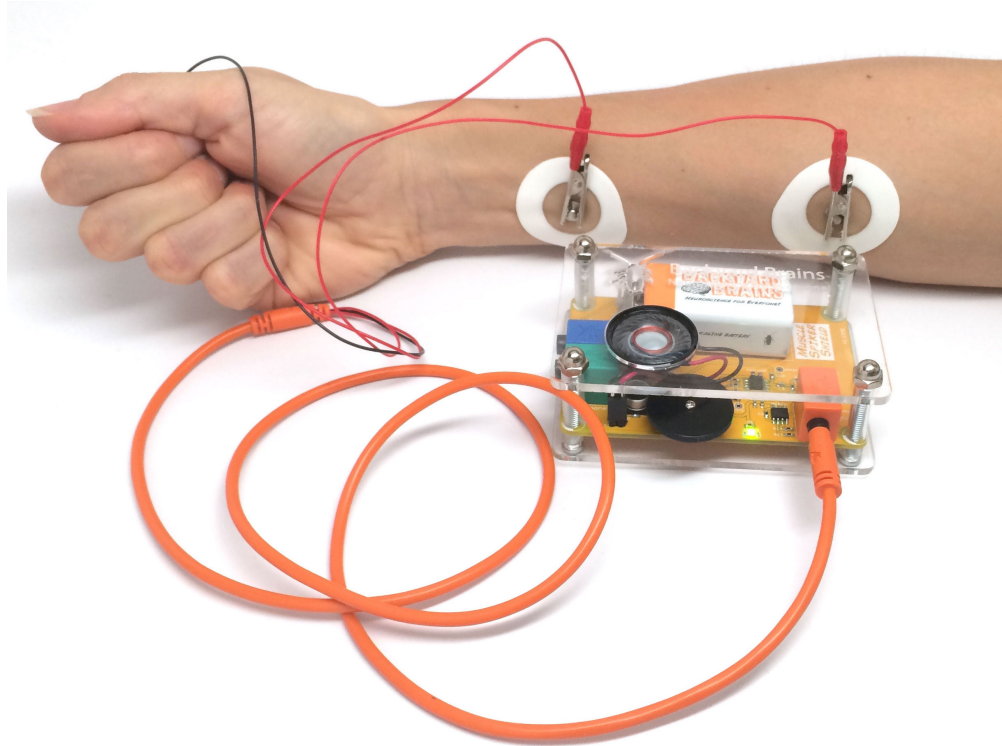


Figura 8: *Izquierdo:* Configuración de EMG con electrodos conectados al Muscle SpikerBox. (Connexión a computadora o teléfono inteligente no mostrado.) Crédito: Backyard Brains, CC BY SA.

9. Se puedes poner gel de electrodos puede para mejorar la conducción pero muchas veces no es necesario
10. Para evitar artefactos del ruido, aseguranse de que no hay ropa tocando los electrodos ni [emck](#) brushing contra los cables durante el registro

2. Poner a prueba los registros EMG

1. Encienda el Muscle SpikerBox por rotar el [emck](#) wheel switch negro ubicado en el lado de la caja, una luz verde debe de encender; ¡tenga en cuenta que los electrodos deben estar conectados antes de encender el dispositivo y desconectados solo después de que el dispositivo esté apagado para evitar un ruido desagradable!
2. Abra el software de grabación Backyard Brains y explore los controles y configuraciones (para obtener más información sobre el uso del software, consulte [11])
3. [emck](#) Snap? sus dedos cerca del dispositivo de grabación; si ves un artefacto correspondiente en la pantalla, esto significa que estás registrando solo audio; para comenzar a registrar la actividad muscular, ajuste la configuración presionando el botón 'Config' (Fig. 9) (ve [11] para más información)

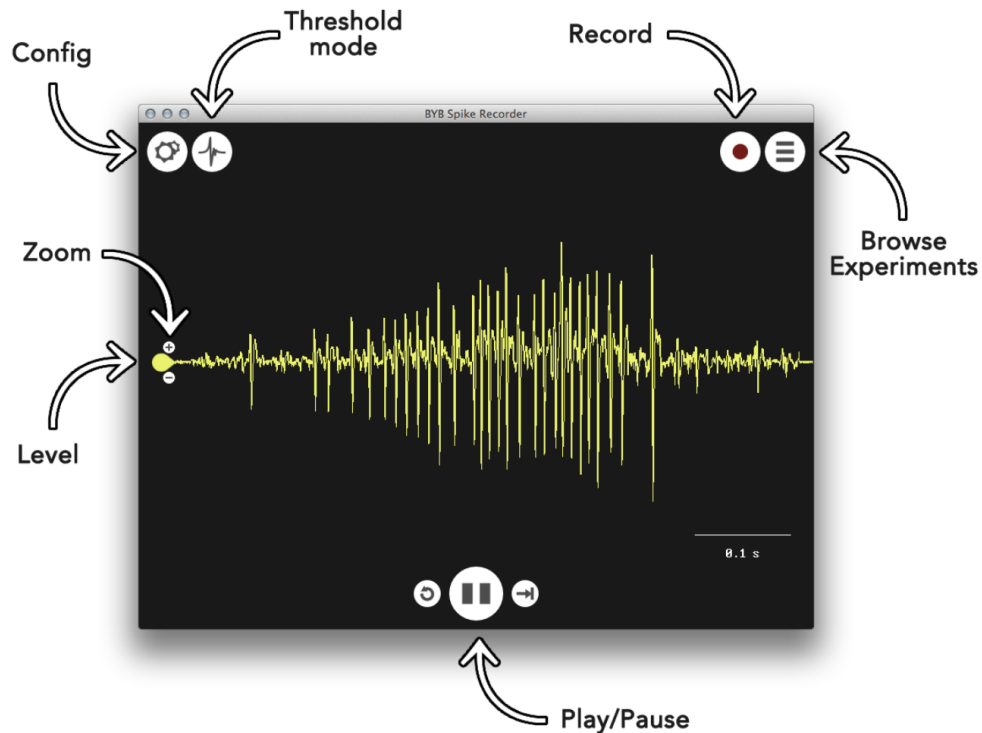


Figura 9: Interfaz de software de grabación. Crédito de imagen: Backyard Brains, CC BY SA.

4. Pídale al sujeto que brevemente contraiga y relaje el músculo de interés
5. Verifique que se observen potenciales eléctricos durante la contracción; checa tu relación señal / ruido; si la señal es demasiado pequeña, puede ajustar el [emckgain?](#) girando el interruptor de la rueda ([emckwheel switch?](#)) hacia la derecha
6. Intente guardar un registro en su computadora o teléfono inteligente (el formato será de .wav)

3. Colectar sus datos

1. Asegúrese de que la EMG esté listo para registrar y el sujeto está en posición de reposo
2. Antes de que comience el registro, haga que el sujeto piense en el tipo de movimiento que necesitan hacer para activar el músculo de interés, e.j., para el músculo gastrocnemio, esto involucrará poniéndose de puntillas, mientras que para el splenius capitis, esto implica levantar la cabeza
3. Cuando el sujeto esté listo, presione grabar en el interfaz de software de Backyard Brains
4. Indique al sujeto que permanezca relajado durante 3-5 segundos después de que comienza la grabación, luego contrae el músculo de interés para 3-5 segundos, y luego relajarse de nuevo por 3-5 segundos

-
5. Haga que el sujeto repita la secuencia anterior al menos 3 veces
 6. Termine los registros y guarde los datos en su computadora o teléfono inteligente
 7. Los EMG deben guardarse y exportarse en formato .wav para su análisis
 8. Comience un nuevo registro para examinar los efectos de la fuerza de contracción
 9. Instruya al sujeto realizar la primera contracción con poca fuerza, luego hacer una pausa, luego realizar una segunda contracción con mayor fuerza, luego pausa, y finalmente realizar una tercera contracción con fuerza máxima
 10. Termine los registros y guarde los datos en su computadora o teléfono inteligente
 11. Comience un nuevo registrp para examinar la fatiga
 12. Instruya al sujeto contraer el músculo de interés y mantener todo el tiempo que puedan; ¿Cuánto tiempo pueden sostenerlo? ¿Qué pasa cuando comienzan a cansarse? ¿Qué pasa si usan el mínimo versus la máxima fuerza?
 13. Termine los registros y guarde los datos en su computadora o teléfono inteligente
 14. Repita los pasos 1 a 13 para cada músculo que pertenece a los tres tipos de sistema de palanca; los sujetos deben descansar unos minutos entre sesiones de grabación
 15. Recuerde etiquetar sus datos para que sepa a cual sujeto, músculo y tipo de experimento al que pertenece cada registro

AGRADECIMIENTO

Este trabajo fue apoyado por la Dirección General de Asuntos del Personal Académico, Programa de Apoyo a Proyectos para la Innovación y Mejoramiento de la Enseñanza en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM-DGAPA-PAPIME clave PE213817).

REFERENCIAS

- [1] Open Learning Initiative. Levers and Movement. In *Anatomy & Physiology*. Carnegie Mellon University, 2015. <https://oli.cmu.edu/jcourse/workbook/activity/page?context=df3c7cac0a0001dc63b5a789a1529c51>.
- [2] OpenStax CNX. Interactions of Skeletal Muscles, Their Fascicle Arrangement, and Their Lever Systems. In *OpenStax, Anatomy & Physiology*. Rice University, 2016. <https://cnx.org/contents/FPtK1zmf@8.108:mU03zyTM@2/Interactions-of-Skeletal-Muscl>.
- [3] OpenStax CNX. Axial Muscles of the Head, Neck, and Back. In *OpenStax, Anatomy & Physiology*. Rice University, 2016. https://cnx.org/contents/FPtK1zmf@8.108:_xq2eUyd@5/Axial-Muscles-of-the-Head-Neck.
- [4] OpenStax CNX. Skeletal Muscle. In *OpenStax, Anatomy & Physiology*. Rice University, 2016. <https://cnx.org/contents/FPtK1zmf@8.108:bfiqsdB@3/Skeletal-Muscle>.
- [5] H.L. Granzier and S. Labeit. The giant muscle protein titin is an adjustable molecular spring. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 34(2):50–53, 2006.

-
- [6] OpenStax CNX. Muscle Fiber Contraction and Relaxation. In *OpenStax, Anatomy & Physiology*. Rice University, 2016.
<https://cnx.org/contents/FPtK1zmh@8.108:EtWWcJM-@5/Muscle-Fiber-Contraction-and-R>.
- [7] D. Richfield. Diagrammatic explanation of sliding filament hypothesis, Medical gallery of David Richfield, 2014.
DOI:10.15347/wjm/2014.009. ISSN 2002-4436.
- [8] OpenStax CNX. Nervous System Control of Muscle Tension. In *OpenStax, Anatomy & Physiology*. Rice University, 2016.
<https://cnx.org/contents/FPtK1zmh@8.108:Adm7XcTb@4/Nervous-System-Control-of-Musc>.
- [9] M.F. Schneider and E.O. Hernández-Ochoa. Skeletal Muscle Excitation–Contraction Coupling. In *Muscle: Fundamental Biology and Mechanisms of Disease*, volume 2, pages 811–821. Elsevier, 2012.
- [10] M.A. Cavalcanti Garcia and T.M. M. Vieira. Surface electromyography: Why, when and how to use it. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 4(1):17–28, 2011.
- [11] Backyard Brains. Spike recorder documentation: Getting started, 2015.
<https://backyardbrains.com/products/files/SpikeRecorderDocumentation.2015.01.pdf>.