



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO  
FACULTAD DE CIENCIAS**



**Electrofisiología**

**Física Biomédica**

**Práctica**

**ELECTROFISIOLOGÍA DE LA ACCIÓN MUSCULAR EN  
MÚSCULOS ANTAGONISTAS**

**Estíbaliz Margarita Ramírez Vázquez**

**Profesora: Dra. Erin Christy McKiernan**

**Nota:** El siguiente es un borrador, falta mejorar la resolución de imágenes y insertar todas las citas.

## 1. Resumen

Con ayuda de un electromiograma (EMG), se monitoreó la activación de los músculos agonista, bíceps y del antagonista, tríceps, durante un movimiento repetido de contracción del brazo en una sola posición. Con esto se pudo observar cómo es la activación de los respectivos músculos en cada movimiento. Además, con ayuda del software que nos brinda el electromiograma de Backyard Brains, se pudo realizar el monitoreo simultáneo de los músculos.

## 2. Especificaciones

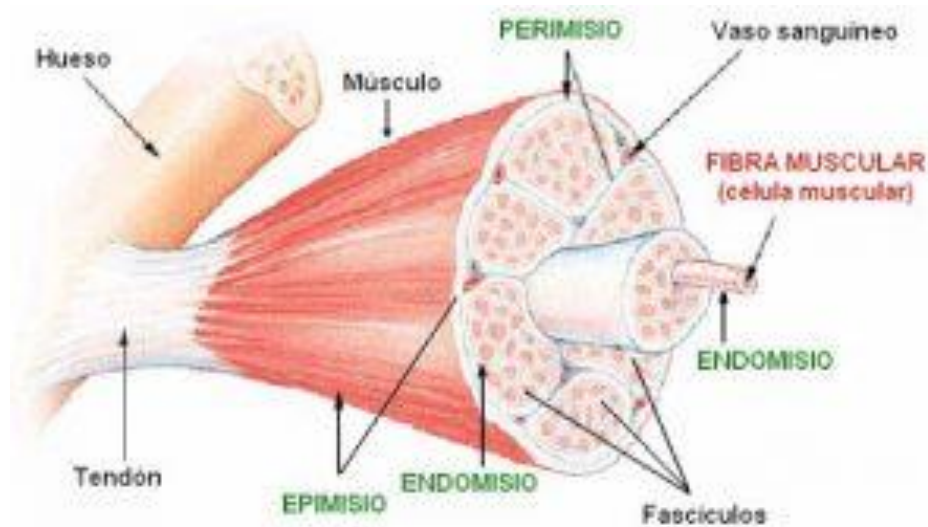
|                            |   |
|----------------------------|---|
| Nivel                      | Licenciatura  |
| Carrera                    | Física biomédica, medicina, biología, fisioterapia  |
| Semestre apropiado         | 4to - 8vo   |
| Bases para el desarrollo   | Electromiografía básica   |
| Cursos                     | Morfofuncional II, Física del cuerpo humano, electrofisiología  |
| Cursos previos             | Biología celular, bioquímica, Morfofuncional I  |
| Duración de la práctica    | 30 minutos  |
| Realización de la práctica | Salón de clases o laboratorio   |
| Recomendaciones            | Traer playeras sin mangas, en el caso en el que se quiera realizar bíceps-tríceps, o shorts, en el caso en el que se desee realizar sobre el cuádriceps-isquiotibiales. |

## 3. Marco teórico

El sistema muscular permite que el esqueleto se mueva, se mantenga firme y estable, también da forma al cuerpo. Aproximadamente el 40% del cuerpo humano está formado por músculos, es decir, que, por cada kilogramo de peso total, 400 gr corresponden al tejido muscular.

Los músculos esqueléticos se contraen como respuesta a impulsos nerviosos. Estos impulsos viajan por los nervios motores que terminan en los músculos. La zona de contacto entre un nervio y una fibra muscular estriada esquelética se conoce como unión neuromuscular o placa motora. Estos músculos se unen directa o indirectamente (mediante tendones) a los huesos y generalmente trabajan en pares antagónicos, cuando uno se contrae el otro se relaja.

Los músculos son los encargados de transformar la energía química en energía mecánica o fuerza; son órganos o tejidos del cuerpo, caracterizados por la capacidad de contraerse, generalmente como respuesta a un estímulo nervioso. Los músculos están cubiertos por una capa de tejido llamada epimisio, la cual penetra al músculo entre los fascículos musculares donde se le llama perimisio, y hacia lo profundo de los fascículos se le denomina endomisio.



1

Los músculos pueden contraerse y relajarse, con lo cual tienen propiedades elásticas. En general, el movimiento se produce por la actuación de músculos que funcionan de a pares, donde un grupo es agonista y el otro antagonista. Los músculos agonistas o motores inician el movimiento en una dirección, mientras que los músculos antagonistas ejercen el efecto opuesto. Un típico ejemplo sucede al flexionar el brazo, donde el bíceps actúa como agonista y el tríceps como antagonista. Los tipos de músculos antagonistas, según el movimiento que realizan, se pueden categorizar como:

- **FLEXORES Y EXTENSORES:** acerca o separan, respectivamente, por ejemplo: la flexión en el brazo son desplazamientos hacia delante, la extensión son desplazamientos hacia atrás.
- **ABDUCTORES Y ADUCTORES:** alejan o acerca partes móviles hacia un eje central.
- **PRONADORES Y SUPINADORES:** hacen girar un hueso alrededor de un eje longitudinal. Por ejemplo: la pronación es la rotación conjunta del antebrazo y la mano, quedando las palmas de las manos mirando hacia atrás, la supinación es el movimiento contrario.
- **ELEVADORES O DEPRESORES:** levantan o bajan una parte del cuerpo. Por ejemplo: los orbiculares de los ojos, elevan las cejas.
- **ESFINTERES Y DILATADORES:** cierran o abren un orificio corporal. Por ejemplo: esfínter del cardias, esfínter del ano.

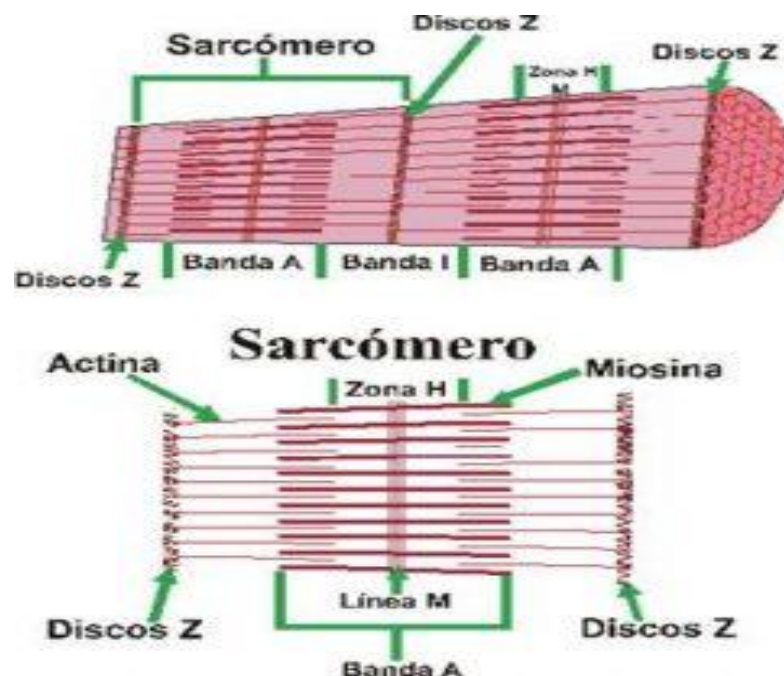
---

<sup>1</sup> <http://palomasala.com/metabolismo-de-los-musculos/>

Los músculos tienen unidades funcionales, que les permiten realizar su función, éstas son denominadas como miofibrillas y son estructuras muy pequeñas filiformes, compuestas por una gran cantidad de complejas proteínas. Estas miofibrillas son las que conforman a cada fibra muscular, las cuales están a su vez, formadas por filamentos gruesos y delgados, que están disponibles siempre que sean requeridos.

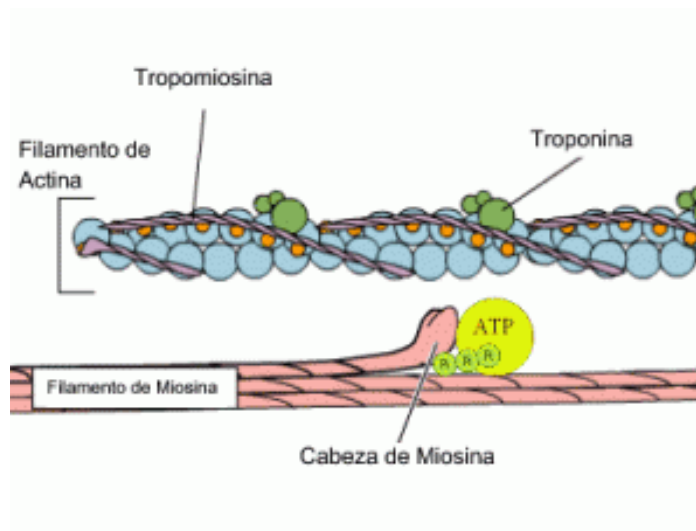
Los sarcómeros son las unidades funcionales de las miofibrillas, capaces de generar contracciones musculares en las fibras estriadas. Los sarcómeros contienen filamentos de actina y miosina que se ubican en forma adyacente.

- Banda I: corresponde a miofilamentos delgados de actina. Es la zona más clara.
- Banda A: contiene miofilamentos gruesos de miosina y fragmentos de actina que se introducen entre los de miosina. Mediante tinciones especiales, se visualiza como el área más oscura.
- Banda H: está formada solamente por miofilamentos de miosina.
- Línea M: es el punto de unión de los miofilamentos de miosina. Se ubica en el centro de la banda A.
- Línea Z: establece los límites entre dos sarcómeros. Corresponde al lugar donde se unen los Miofilamentos adyacentes de actina.



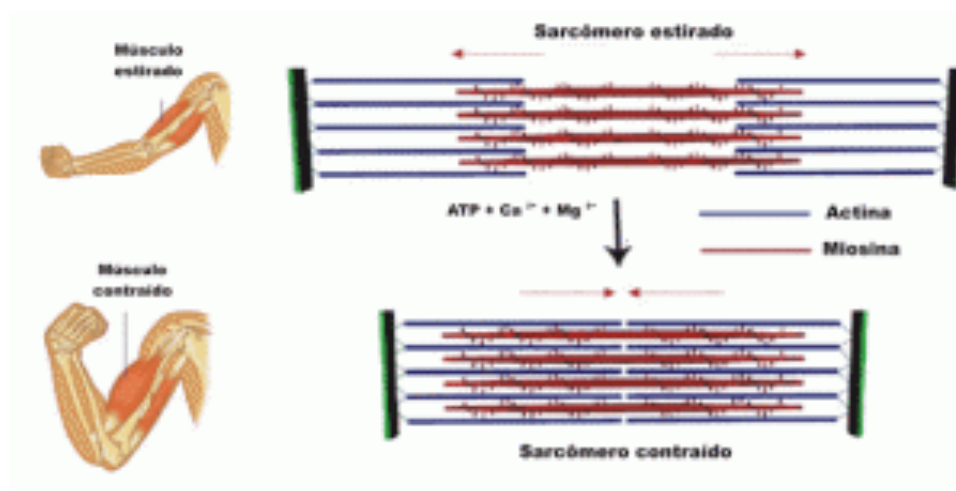
2

La diferencia entre los dos tipos de miofilamentos es que los gruesos están conformados por moléculas de la proteína miosina, mientras que los delgados están compuestos por moléculas de la proteína actina. Sobre la miofibrilla se forman hileras de miofilamentos delgados y gruesos, que tienen sus extremos intercalados uno y uno, de tal manera que durante las contracciones se empiezan a deslizar una sobre otra.



3

El tejido a nivel microscópico de forma longitudinal presenta una serie de bandas transversales o estrías que, según la luminosidad pueden reflejar al observarlas con microscopio electrónico, mostrando en su estructura dos tipos de estrías, las cuales representan las bandas A, teniendo una tonalidad oscura y representando a las moléculas de miosina, mientras que las bandas I son de tonalidad clara y representan a las moléculas de actina. Además, dentro de las bandas I es posible observar la presencia de los discos Z, en forma de una línea transversal muy oscura. Los espacios comprendidos entre los discos Z, son conocidos como sarcómeros. Cuando se producen estímulos nerviosos, los filamentos finos se empiezan a deslizar sobre los gruesos, reduciéndose la distancia de los sarcómeros, así que como consecuencia se reduce en su totalidad. Por otro lado, la contracción de una serie de fibras musculares hará que se reduzca una contracción del músculo completo.



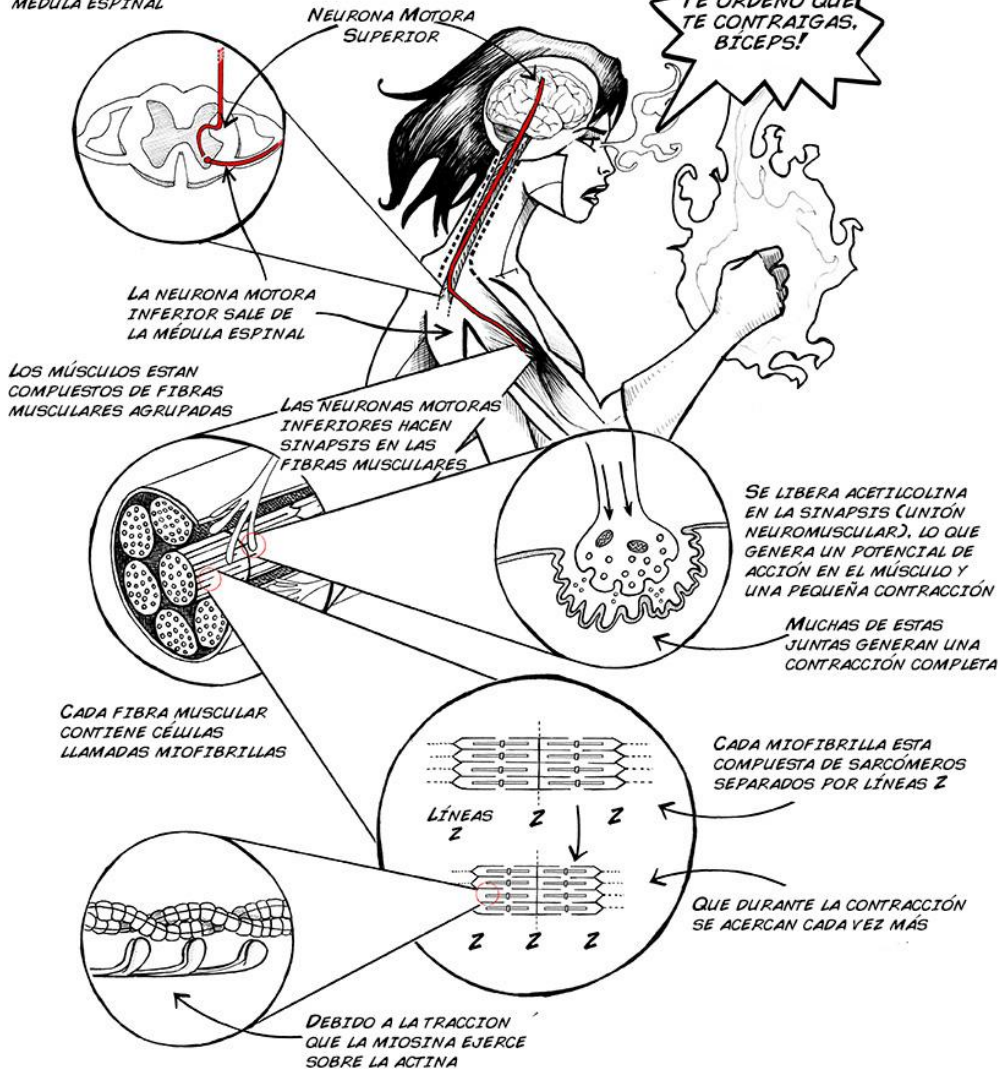
4

Al activarse el músculo esquelético, se requiere una estimulación nerviosa, que empieza desde la corteza cerebral, luego desciende por el sistema piramidal hasta el nivel medular correspondiente al músculo que se desea contraer, y en este punto es donde ocurre la primera sinapsis entre las neuronas, luego el estímulo

saldrá por la parte anterior de la médula, por medio de los nervios periféricos, llegando hasta las placas motoras, inervando así cada nervio hasta más de 100 fibras musculares. En la placa motora (sinapsis neuromuscular) es donde se estará liberando el neurotransmisor Acetilcolina (ACH), actuando directamente sobre el sarcolema, haciendo que se abran los canales, para permitir el paso de los iones de sodio, que cuando llegan a ser suficientes, hacen que se produzca un potencial de acción que logre estimular a la fibra muscular y, por lo tanto, al músculo.

El organismo estará compuesto de los músculos cardíaco, liso y esquelético o estriado. El músculo cardíaco se encuentra únicamente en el corazón y es involuntario; el liso se llega a encontrar en el aparato digestivo y en los vasos sanguíneos, siendo también involuntario, mientras que el estriado es el único de acción voluntaria, y es el que se encarga básicamente de todo el movimiento, con apoyo del sistema esquelético. Este tipo de músculo es el más abundante en el cuerpo humano. Son inervados por los nervios motores somáticos, recibiendo estímulos desde el cerebro. Además, se sabe que una neurona motora es capaz que inervar a una gran cantidad de fibras musculares, mientras que las células motoras solo pueden inervar a una fibra muscular. Y al conjunto de todas las fibras musculares con una sola neurona motora se le denomina 'unidad motora'.

LAS NEURONAS MOTORAS SUPERIORES RECORREN EL TRACTO CORTICOESPINAL DONDE HACEN SINAPSIS CON LAS NEURONAS MOTORAS INFERIORES EN LA MÉDULA ESPINAL



5

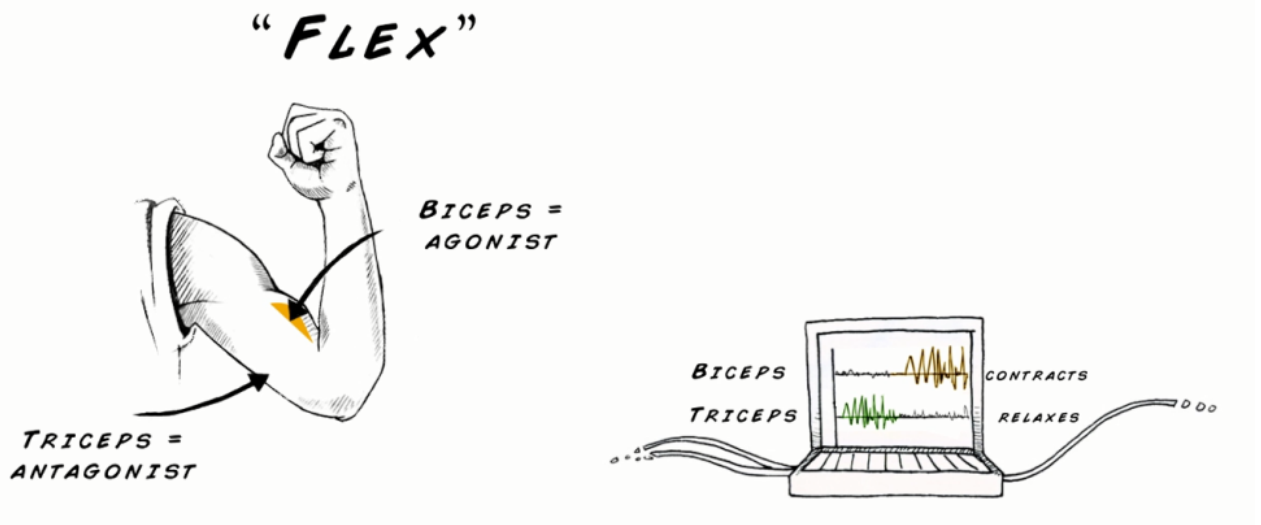
La activación sobre la unidad motora provoca que las fibras musculares inervadas, generen y conduzcan su propio impulso eléctrico, provocando así la contracción de la fibra. En los casos en los que el impulso es débil, hablando de  $<100$  mV, una gran cantidad de células conducirán al mismo tiempo, las diferencias de voltaje, el cual podrá ser detectado sobre la piel con un par de electrodos de superficie. La detección, amplificación y registro de los cambios de voltaje sobre la piel, por contracción de músculos esqueléticos, se denominará como 'electromiografía', mientras que, al registro obtenido de éste, se le denomina 'electromiograma'.

<sup>5</sup> <https://backyardbrains.com/experiments/muscleSpikerBoxPro>

Los electrodos son cuerpos conductores, por lo cuales los flujos eléctricos estarán saliendo o entrando al sistema. Pueden ser:

- a) Electrodo cutáneo o de superficie. - Son pequeños discos metálicos, que se colocan sobre la piel que cubre al músculo. Pueden detectar la actividad eléctrica de las células musculares próximas a la superficie.
- b) Electrodo de aguja. - Se insertan en los músculos superficiales, siendo un procedimiento invasivo. Son más precisos, pero son dolorosos y molestos. El miograma puede realizarse sobre un osciloscopio o sobre un sistema adecuado para la obtención de los datos.

Por otro lado, los movimientos básicos que se pueden realizar en esta práctica tienen mecanismos importantes. La flexión será el movimiento en el que el ángulo entre el brazo y el antebrazo van de 90° a menos, en el cual el músculo del bíceps será el que está actuando como músculo flexor, mientras que el tríceps estaría actuando como extensor.



#### 4. Objetivos

- Realizar un electromiograma de músculos antagonistas.
- Analizar señales electrofisiológicas.
- Saber identificar los músculos antagonistas para los diferentes posibles movimientos.
- Comprender cuál es el mecanismo detrás de las contracciones, y el respectivo movimiento opuesto por parte del músculo antagonista.
- Ver cuál es la importancia de la relación entre los diferentes pares de músculos en el cuerpo humano.

#### 5. Materiales

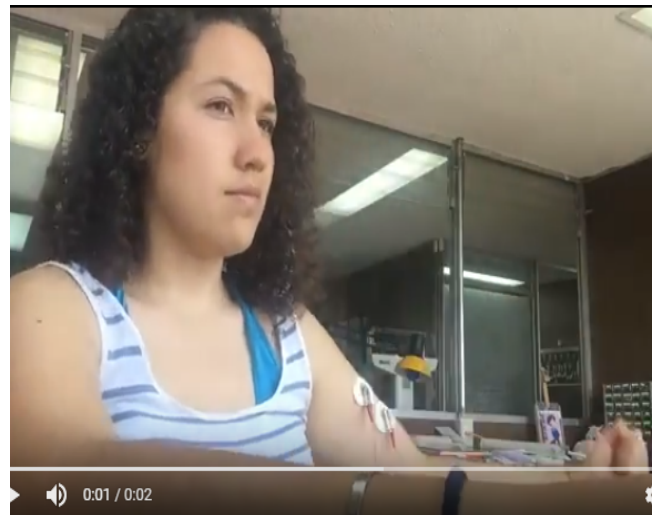
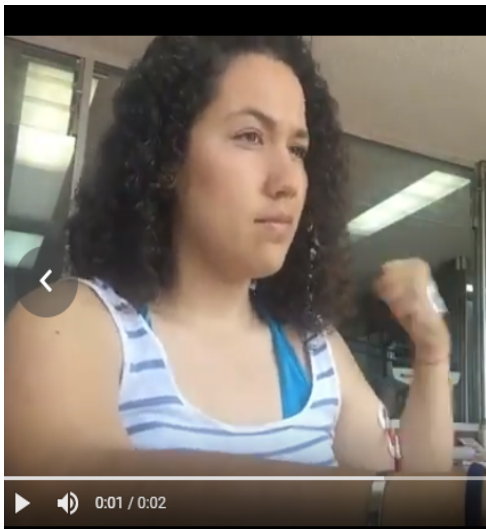
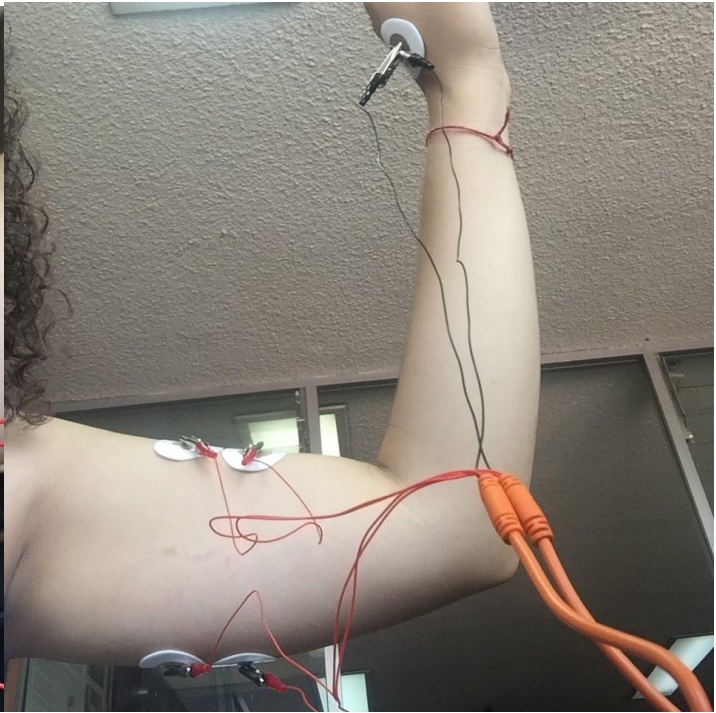
- Muscle SpikerBox
- BYB Spike Recorder
- Electrodo de superficie



- Pila de 9 V
- Una computadora
- Gel
- Cables Auxiliar-caimán.

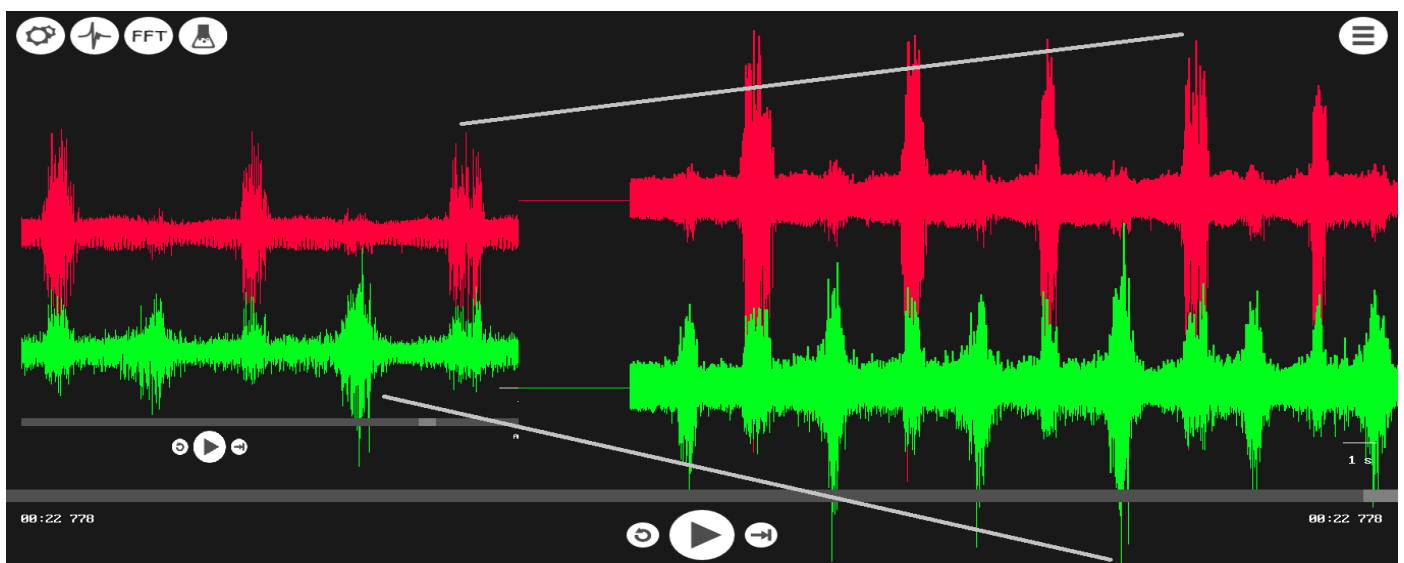
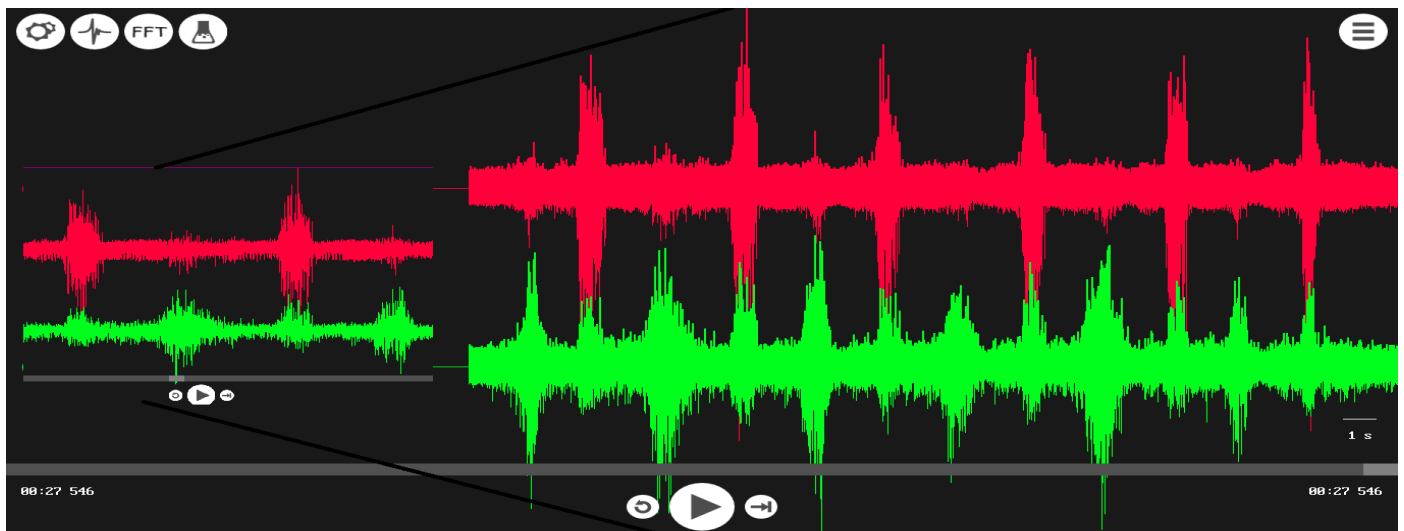
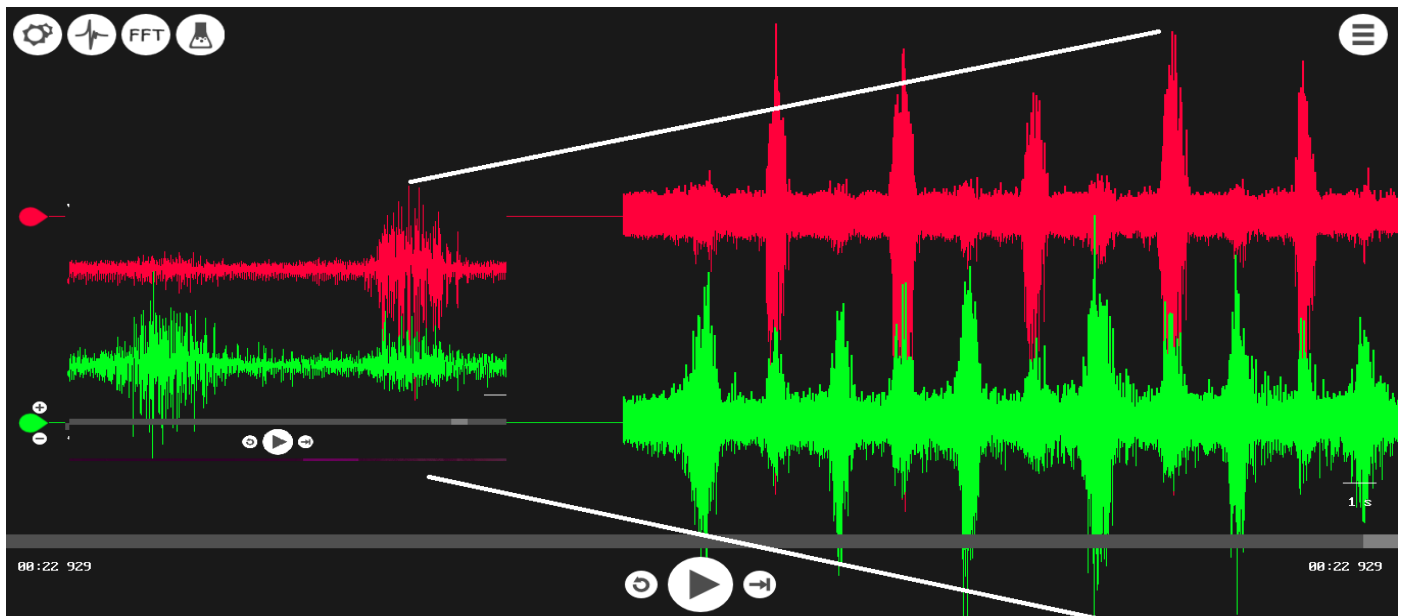
## **6. Metodología**

- 6.1.** Se deben localizar los pares de músculos a estudiar, en este caso tríceps-bíceps.
- 6.2.** Colocar un poco de gel en el dedo y limpiar la superficie donde están los músculos.
- 6.3.** Una vez limpio y seco el gel, colocar los electrodos de superficie. Quedarán dos electrodos cercanos sobre el músculo del bíceps, otros dos sobre el músculos tríceps y sobre la mano otro, que va a ser el que sirva de referencia.
- 6.4.** Con la caja de BYB Spike Recorder, sacar el instrumento y colocarle la pila de 9 V que viene con la caja.
- 6.5.** Colocar los cables Auxiliar-caimán en las entradas naranjas correspondientes a los 2 canales.
- 6.6.** Colocar la parte de los caimanes sobre cada uno de los electrodos, donde el de referencia puede quedar unido a ambos canales.
- 6.7.** Conectar con el cable azul el BYB a la computadora
- 6.8.** Abrir la aplicación de Spike Recorder en la computadora.
  1. Una vez conectado todo, prender el BYB y poner la opción de dos canales sobre el programa Spike Recorder. Cuando lo haga, debería ver un nuevo botón emergente en la pantalla. Este es el botón para vincular el MusclePro con la aplicación.
  - 6.8.1.Recomendación:** Si empieza a sonar extraño el dispositivo durante la obtención de señales de EMG, es importante revisar que no se esté calentando la pila, pero si funciona correctamente, observado un registro en la computadora. En caso de no hacerlo, volver a conectar todo y volver a corroborar.
- 6.9.** Se empezarán a tomar los registros con el botón de grabar (puntito rojo en pantalla).
- 6.10.** Se realizarán 10 repeticiones en las que se esté contrayendo y extendiendo el brazo, haciendo cada 2 segundos el movimiento de contracción y en otros 2, llegar a la extensión, siguiendo así sucesivamente.
- 6.11.**Una vez que se terminen los registros, corroborar que hayan quedado como se espera, se puede guiar por las figuras de BackyardBrains.com.
- 6.12.**Una vez terminado, guardar los registros y se puede desconectar y guardar todo en la caja de BYB SpikerBox.



*Ilustración 1, 2- Contracción y extensión del músculo del Bíceps.*

## 7. Resultados



## 8. Discusión de resultados

En los registros se logra apreciar que el sistema funciona adecuadamente, pues en lo que uno está generando un potencial, el rojo (Triceps), el otro va a estar teniendo una baja actividad, el verde (Biceps) y va a estar actuando como el músculo antagonista durante la extensión del brazo, pues el que está generando la mayor fuerza es el músculo Triceps, por ser el músculo agonista durante este movimiento. Lo mismo para en el caso contrario, cuando el Biceps esté generando una fuerza en una contracción, el Triceps va a estar oponiéndose a ese movimiento, por ser el músculo antagonista.

Además, es muy importante que se estén checando los registros, pues hay muchas veces que hay una interferencia, y no sale el registro como debería, sino que solamente registra con mucho ruido y no se logra apreciar la señal. Por otro lado, es importante conocer bien la anatomía del cuerpo, pues si no sabes dónde colocarlos, de igual manera no vas a tener un registro confiable.

## 9. Conclusiones

Se logró obtener registros muy parecidos a los que aparecen en el experimento de la página de Backyard Brains, de manera tal que a medida que ves la contracción en un músculo agonista, va a estar actuando su par, viendo que la actividad en el otro músculo es relativamente baja, en comparación con la del agonista. Considero que es importante que se realicen calibraciones antes de realizar prácticas como esta, pues únicamente utilizamos directamente el programa, sin revisar si es adecuado el funcionamiento del instrumento, sin embargo, como los resultados fueron de la forma en la que se esperaba, se tomó como un sistema confiable, y se obtuvieron registros muy apropiados y limpios.

Por otro lado, sería bueno que se utilizaran filtros sobre los registros obtenidos, para disminuir el ruido de las señales de EMG, así que se podrían limpiar las frecuencias que pasan, sin embargo, como ya se mencionó, los resultados fueron muy satisfactorios, así que no se consideró necesario.

## 10. Bibliografía

<sup>1</sup> <http://anatomif.galeon.com/enlaces1516335.html>

<sup>2</sup> <file:///C:/Users/ASUS/Downloads/1262313320.Electromiografia.pdf>

<sup>3</sup> <http://mi-pagina-de-amistad001.globered.com/categoria.asp?idcat=47>

<sup>4</sup> <http://cienciasximena.blogspot.com/p/laboratorio-s.html>

<sup>5</sup> <http://mi-pagina-de-amistad001.globered.com/categoria.asp?idcat=47>

<sup>6</sup> <https://backyardbrains.com/experiments/muscleSpikerBoxPro>