



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

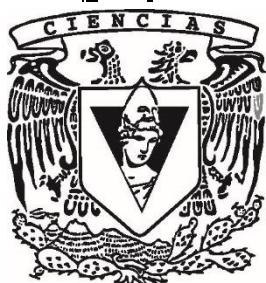
FACULTAD DE CIENCIAS

**Desarrollo de Manual Digital de Prácticas
Teóricas y Experimentales para el Estudio de
Electrofisiología**

**RECOPILATORIO DE
PROTOCOLOS EN TEMAS DE
EMG Y EEG**

P R E S E N T A

SAUL ARTURO SALDAÑA ENCISO



**TUTOR
DRA. ERIN CHRISTY McKIERNAN**

Agosto de 2024

Resumen

El siguiente documento se presenta la recopilación del material realizado para generar los protocolos de prácticas Teórico-Experimentales en temas de EMG y EEG para el proyecto de titulación que lleva como título “*Desarrollo de Manual Digital de Prácticas Teóricas y Experimentales para el Estudio de Electrofisiología*”, presentado por Saúl Arturo Saldaña Enciso estudiante de la Licenciatura en Física Biomédica en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México, bajo la tutoría de la Dra. Erin Christy McKiernan.

Índice General

Resumen	1
Índice General	2
Electromiografía: Registro de la Fatiga muscular en pruebas físicas	4
Electromiografía: Registro de la actividad de músculos Antagonistas y Agonistas	17
Electromiografía: Registro de Fuerza muscular.....	28
Práctica 1: Electroencefalografía superficial en estado de reposo con ojos cerrados y ojos abiertos.	39
Práctica 2: Artefactos fisiológicos en los registros de electroencefalografía superficial	53
Práctica 3: Práctica de Electroencefalografía superficial cuantificada en estado de reposo con ojos cerrados y electromiografía interdigital del movimiento lateral de un dedo.....	68
Anexos.....	81

Prácticas de Electromiografía

Electromiografía: Registro de la Fatiga muscular en pruebas físicas

Saúl A. Saldaña Enciso¹, Dra. Erin C. McKiernan²

¹ Licenciatura en Física Biomédica; ² Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México

Resumen

El siguiente protocolo consiste en realizar mediciones de la Contracción Muscular Máxima Sostenida (CMMS) por medio de un equipo EMG, con el fin de obtener registros de dos o más sujetos, de la actividad muscular y fatigación en diferentes grupos de músculos como consecuencia de realizar un esfuerzo mecánico. Para obtener los registros se procederá a hacer ejercicios de esfuerzo Concéntrico y Excéntrico en intervalos de tiempo, involucrando y privando, en algunos casos, su reposo, con la finalidad de observar el cambio de la actividad eléctrica antes y después de los ejercicios, resaltando la fatiga de los músculos involucrados en el experimento conforme se realizan las actividades, obteniendo variaciones en amplitud y frecuencia notorias en los datos.

Especificaciones

Nivel de estudio:	Licenciatura.
Carreras:	Biología, Física, Medicina, Física Biomédica, otras carreras afines.
Semestres:	4to en adelante o a partir del segundo año.
Para uso en las Asignaturas:	Fisiología, Morfológica II, Electrofisiología, otras asignaturas afines.
Prerrequisitos recomendados:	Fisiología, Biología Molecular y Celular, Morfológica.
Duración de la Práctica:	1-2h para la realización completa de los ejercicios implicados en la práctica. El tiempo del protocolo varía tomando en cuenta los intervalos de descanso y fatiga.
Lugar para realizar la Práctica:	Aula apropiada o Laboratorio.
Precauciones:	No mojar aparatos, no jalar ni trozar cables.
Otras indicaciones:	Se recomienda realizar las actividades en equipo de máximo 4 integrantes. Los participantes para la medición deberán llevar ropa adecuada que facilite el acceso a la zona de los músculos a medir, para evitar que interfiera en la colocación y conexión del equipo. Evitar el uso de productos para la piel en la zona a medir (cremas, aceites, humectantes, etc.). Evitar el consumo de bebidas y alimentos altamente energéticos, así mismo procurar una hidratación adecuada.

Objetivos

Antes de la práctica

- Entender el funcionamiento de la actividad muscular para generar movimiento.

- Conceptos anatómicos y fisiológicos de los músculos.
- Conceptos de contracción y extensión muscular, Fuerza, Trabajo y Palancas en física.
- Tener conocimiento del uso del EMG para mediciones musculares utilizando doble canal.

Durante la práctica

- El alumno aprenderá a realizar mediciones del esfuerzo muscular al realizar trabajos en intervalos de tiempo para notar cambios en frecuencia y amplitud por la fatiga muscular asociado a los potenciales de acción.
- Entender la importancia del reclutamiento de unidades motoras para realizar un trabajo.
- Entender la importancia de los movimientos concéntricos y excéntricos como fases del movimiento muscular, contrapuestos en este tipo de sistemas musculares.

Después de la práctica el alumno deberá de:

- Describir los ciclos de Fatiga en diferentes tipos de ejercicios en intervalos de tiempo, relacionando el desgaste momentáneo y acumulado de los músculos
- Poder analizar gráficas e interpretar datos obtenidos del EMG, comparando amplitud y frecuencia dado a la fatiga del músculo después de realizar esfuerzos.

Antecedentes

Unidades motoras y Reclutamiento

La **Unidad Motora** es la pieza fundamental de la actividad muscular y el componente principal del sistema neuromuscular, las unidades motoras están formadas por una neurona motora y todas las fibras musculares que inerva, Figura 1. Estas unidades se encargan de las contracciones musculares que permiten al cuerpo llevar a cabo una variedad de movimientos y actividades. Las fibras musculares se contraen cuando las neuronas motoras envían una señal desde la corteza motora permitiendo el movimiento, el ajuste a la fuerza empleada y la velocidad con que se lleva a cabo [Valls, 1985; Fernández et al., 2007].

La activación de la unidad motora muscular es provocada por la estimulación del sistema nervioso. El neurotransmisor, como es la acetilcolina, se libera en la unión neuromuscular cuando una neurona motora recibe un impulso nervioso, lo que hace que las fibras musculares den lugar a la contracción para el movimiento [Fernández et al., 2007; Hall & Guyton, 2016].

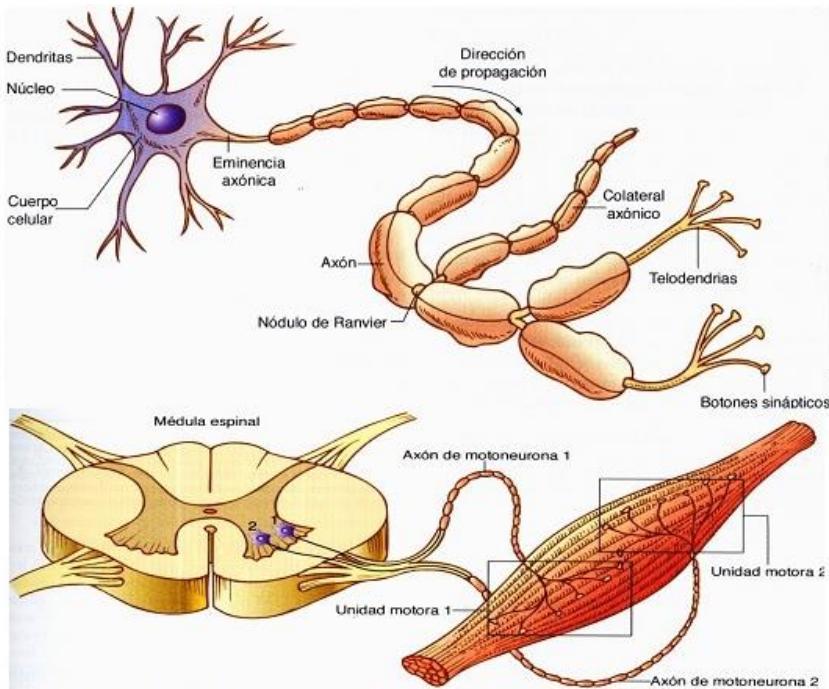


Figura 1: Representación de la Unidad motora; componentes Neuronales y Fibra Muscular. Imagen modificada de: grupo G-SE (2022) Obtenida de los autores Chicharro L. & Fernandez V.; <https://g-se.com/inervacion-del-musculo-esquelético-bp-P57cfb26d6dd48>

El número de fibras musculares inervadas por las neuronas motoras varía dependiendo del músculo en particular. Los músculos que son pequeños y precisos tienen unidades motoras más pequeñas, mientras que los músculos que son más grandes, tienen unidades motoras más grandes. La cantidad de fuerza que un músculo puede producir depende del número de unidades motoras que están activas al mismo tiempo y de la intensidad de la estimulación del sistema nervioso [Sale, 2008; Hall & Guyton, 2016; Valls, 1985]. Se llegan a activar más unidades motoras y se utilizan más fibras musculares cuando se requiere más fuerza, por lo que llega a existir reclutamiento de dichas unidades para compensar el trabajo realizado y la acción coordinada de diferentes grupos de músculos para realizar la actividad a realizar por el SNC [Sale, 2008].

Las unidades motoras también están relacionadas con la fatiga muscular, ya que estas pueden tener una sobrecarga de estímulo, por lo que son incapaces de activar eficazmente las fibras musculares durante un período prolongado de tiempo, además, de acuerdo a este tiempo de sobre trabajo pueden ir perdiendo estas compensaciones conjuntas al irse separado el reclutamiento de los músculos fatigados [Fernández et al., 2007; Valls, 1985].

El **reclutamiento muscular** implica la activación de forma gradual de las unidades motoras de los músculos con el fin de generar mayor fuerza al realizar una actividad, para esto el sistema nervioso central, que regula la activación de la unidad motora de los músculos, envía señales de las neuronas a las unidades motoras correspondientes para que varias unidades se activen apoyando al grupo muscular principal, haciendo una acción conjunta de contracciones para poder efectuar de manera armónica el movimiento con la suficiente fuerza, estabilidad y velocidad [Enoka, 1994; Suárez, 2013; Martín, 2012].

El proceso de reclutamiento muscular es progresivo, por lo que primero se activan las unidades motoras más pequeñas y luego las más grandes cuando se necesita más fuerza. Este proceso de activación progresiva se conoce como el principio del tamaño de la unidad motora y juega un papel importante en la regulación de la fuerza muscular, Figura 2. El reclutamiento

muscular es un concepto esencial en el entrenamiento y rehabilitación física, porque permite el diseño de planes de entrenamiento que maximizan la activación de las unidades motoras musculares para producir fuerza y mejorar el rendimiento [Suárez, 2013; Martín, 2012].

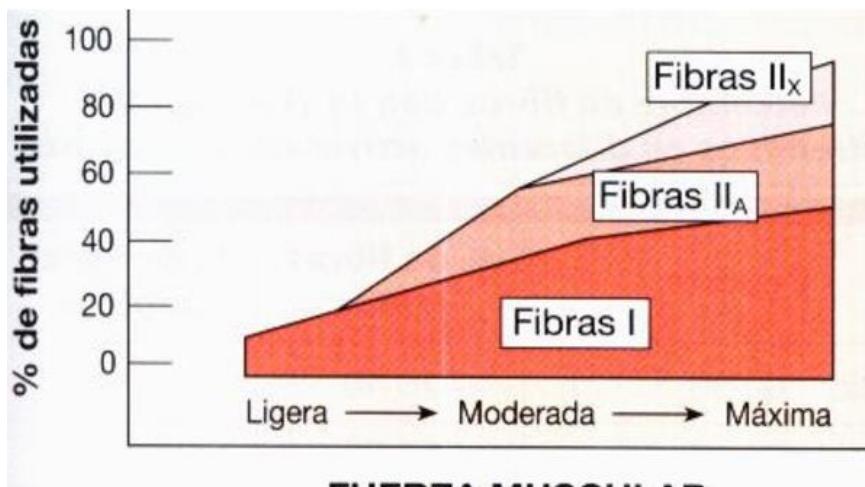


Figura 2: reclutamiento de fibras musculares según la intensidad de la fuerza muscular. Imagen obtenida de: Nuria Martín Laín (2012); <https://www.semanticscholar.org/paper/Reclutamiento-de-unidades-motoras-en-contracciones-La%C3%ADn/8fed4f63b1ec9dab7a36123f1068cbbf035e9e48>

Se conoce como el Principio de Tamaño de Henneman como el proceso en el cual se reclutan en orden de menor a mayor (de menos fibras a la mayoría de fibras), las unidades motoras conforme aumenta la contracción. Para esto las fibras siguen un orden de tipos de fibras que se clasifican de acuerdo a su proceso metabólico, su tamaño, su consumo energético, su relación a la fatiga y por su reacción oxidativa, Figura 2. En primer lugar, se contraen las fibras de tipo I, aquellas que tienen un proceso oxidativo lento, es decir llegan a ser más oxidativas, son resistentes a la fatiga y son usadas para la resistencia, son consideradas el primera contacto de la señal caracterizadas por su metabolismo aeróbico. Si la fuerza generada por las fibras Tipo I no es suficiente para realizar la actividad, empiezan a reclutarse las fibras de tipo II (tipo A y B), para compensar la carga del trabajo, cada una de ellas tienen características diferentes al ser de contracción rápida para actividades en períodos de tiempo corto y de alta intensidad. Las fibras tipo IIB o IIx se diferencian del tipo I y tipo IIa al tener una vía energética glucolíticas, lo que significa que dependen del metabolismo anaeróbico y llegan a tener una fatiga mayor [Suárez, 2013; Martín, 2012].

Fatiga

La Fatiga muscular se refiere a una disminución temporal en la capacidad del músculo para producir fuerza o mantener un esfuerzo durante un período de tiempo determinado, es decir, que existe una incapacidad temporal para ejercer la misma potencia durante alguna contracción muscular, esto es consecuencias por la respuesta fisiológica que tiene el cuerpo a la actividad física intensa o prolongada [Hall & Guyton, 2016; Urdampilleta et al., 2015].

La fatiga muscular variará dependiendo el esfuerzo del músculo en cuestión y su tipo de fibra muscular, los dos tipos principales de fibras musculares son el tipo I, que desarrollan una contracción lenta, y el tipo II, que desarrollan una contracción rápida. Las fibras tipo I se utilizan para actividades de baja intensidad y larga duración, ya que tienden a ser más resistentes a la fatiga. Por otro lado, las fibras tipo II se fatigan con facilidad y se utilizan para actividades de corta duración y alta intensidad [Enoka & Duchateau, 2016].

La acumulación de procesos metabólicos que incluyen la lactosa, la descomposición de sustratos energizantes, el estrés oxidativo, la deshidratación, la hipoxia y el daño muscular pueden contribuir a la fatiga muscular. Durante la producción de ATP (Adenosin trifosfato), en forma anaeróbica se produce el ácido láctico, y al tener exceso y acumulación de este en los músculos, reduce la capacidad del músculo para resistir eficazmente al realizar esfuerzos y contracciones, originando la fatiga [Gómez et al., 2010; Urdampilleta et al., 2015]. Sin embargo, estudios recientes han demostrado que la acumulación de ácido láctico no es la única causa de fatiga y que otros factores como el agotamiento de las reservas de glucógeno muscular, el aumento de la temperatura corporal y la acumulación de productos de desecho metabólicos como el amoníaco y los ácidos grasos inorgánicos también pueden contribuir a la fatiga muscular [Gandevia, 2001]. La deshidratación y la hipoxia (hipoxia tisular) pueden afectar la función muscular y provocar fatiga, de igual forma, un exceso de radicales libres se forman durante el ejercicio intenso, lo que puede dañar las células musculares y reducir su capacidad para producir energía [Urdampilleta et al., 2015; Fernández et al., 2010].

La fatiga muscular es común en los procesos musculares, y generalmente desaparece después de un período de descanso donde existe una reposición del músculo, pero también puede ser un síntoma involucrado una afección médica, el estrés, la falta de sueño, mala ingesta de nutrientes o la deshidratación, y ésta puede presentarse como una sensación de debilidad, dolor, ardor en los músculos, dificultad para terminar los movimientos y disminución de la resistencia. Los signos y síntomas de la fatiga muscular pueden cambiar dependiendo del individuo y el tipo de actividad física que realizan [Hall & Guyton, 2016; Urdampilleta et al., 2015].

Contracción Concéntrica, Excéntrica y Contracción Muscular Máxima Sostenida (CMMS)

La contracción muscular es el proceso a través del cual las fibras musculares se unen o se oponen entre sí, lo que resulta en la tensión en el tejido muscular y su modificación de tamaño, Figura 3, esto debido a la interacción de dos proteínas que se encuentran en las fibras musculares, actina y miosina, las cuales por medio reacciones químicas que ocurren cuando una fibra muscular recibe una señal eléctrica del sistema nervioso, acortando la longitud de la fibra muscular causando la contracción [Tortora, 2017; Hall & Guyton, 2016].

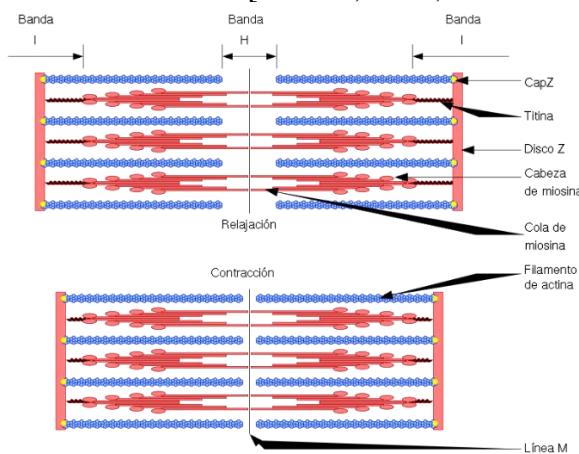


Figura 3: Mecanismo de Contracción Muscular por medio de la acción de la Actina-Miosina en los Sarcómeros. Imagen obtenida de: David Richfield in Sarcomere.svg (2009); https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sarcomere_es.svg

Las contracciones musculares pueden clasificarse de acuerdo a cómo se comportan las fibras musculares a la hora de generar el trabajo de tensión, generando cambios morfofuncionales de estas o no, variando factores como la velocidad y el tiempo de relajamiento que tiene cada músculo. Principalmente podemos clasificarlos en cuatro tipos: Contracciones Isotónicas, Isométricas, Auxotónicas e Isocinéticas [Silverthorn, 2008; Hall & Guyton, 2016].

Las **contracciones Isotónicas** se refieren a un tipo de contracción en el cual existe un cambio físico en las fibras musculares, es decir, estas llegan a modificar su longitud, conformando un movimiento acoplado en una fase **concéntrica**, donde ocurre un acortamiento del músculo para generar fuerza, luego una fase **excéntrica**, en donde existe un estiramiento del músculo, alargándolo, muchas veces por una fuerza mayor a la que genera el músculo [Rainoldi et al., 2001]. Las **contracciones Isométricas** generan fuerza con la tensión del músculo, la cual permanecerá constante invariante de los cambios de longitud del músculo. Las dos últimas contracciones, **auxotónica** involucra el acoplamiento de las isotónicas e isométricas en diferentes periodos del proceso de movimiento y trabajo muscular, mientras que las **isocinética** estudia la velocidad constante de las contracciones [Silverthorn, 2008; Hall & Guyton, 2016].

Una **Contracción Muscular Máxima Sostenida** (CMMS), es la capacidad del músculo para mantener el grado máximo de contracción durante un período prolongado de tiempo. Los músculos mantienen una tensión constante un cierto período de tiempo, por lo cual se espera que en esta unidad de medida de fuerza no se refleje disminución de la misma o presente fatiga el músculo, ese período de fuerza constante es lo que conocemos como CMMS. Es un término muy usado en ámbitos deportivos, y se realizan ejercicios específicos de resistencias o entrenamientos isométricos en los grupos musculares para que este valor aumente [Palomino et al., 2018; Rainoldi et al., 2001].

Equipo

- Equipo de Electromiografía superficial. Este protocolo se construyó con el sistema Muscle SpikerBox de Backyard Brains con una tasa de muestreo de 44100Hz y el software libre para computadora o dispositivo Android Spike Recorder de la empresa Backyard Brain. Cables de conexión para el dispositivo inteligente o computadora con la SpiderBox y para los electrodos. Cables Auxiliar-Caimán para conexión de electrodos.
- Electrodos de Superficie.
- Pila de 9V (volts).
- Un equipo de computadora, Tablet o teléfono inteligente compatible con el software pertinente para el equipo de EMG a utilizar.
- Alcohol y torunda de algodón para limpiar las zonas de medición.
- Mancuernas u objetos con masa conocida para realizar carga (Garrafones, Botellas, cajas, mochilas etc.).
- Opcional: Gel conductor solo si es requerido para asegurar el buen contacto con los electrodos y la piel. Báscula para cuantificar la fatiga de acuerdo a la carga usada para realizar los ejercicios.

Procedimiento

Antes del inicio de la práctica asegurarse que el sitio sea el adecuado y cuenten con todos los materiales y equipos necesarios. Asegurarse que la Muscle SpikerBox, Figura 4, incluye todos los aditamentos necesarios para conectar y que funcione en su totalidad. Los participantes estén con las especificaciones necesarias, además, que el equipo funcione óptimamente y se tengan los programas necesarios para realizar las mediciones.



Figura 4: Muscle SpikerBox por ByB. Imagen obtenida de: Backyard Brains (2023);
<https://backyardbrains.com/products/muscleSpikerbox>

1. Configuración del Equipo

- 1 Conectar la pila de 9V en la Muscle SpikerBox.
- 2 Identificar los cables correspondientes incluidos de la SpikerBox para su correcta colocación.
- 3 Conectar los cables de manera adecuada de acuerdo con su color. El cable color naranja es el que contiene los electrodos de caimán. El cable azul se utiliza cuando el software está instalado en un equipo de cómputo y el verde cuando está instalado en un teléfono inteligente. Tener precaución ya que los cables utilizados para conectar con el software tienen direcciónalidad.
- 4 Localizar el músculo a medir, se aconseja el bicep para realizar los trabajos de carga descritos a continuación, por lo que se necesita saber su morfología. Si se desea medir otro músculo se deberá investigar su morfología y proponer la configuración idónea para realizar el experimento.
- 5 Limpiar la zona a medir con una torunda de algodón y alcohol, dejar secar.
- 6 Para la colocación de los electrodos se recomienda usar Gel Conducto sobre la zona si no hay un buen contacto.
- 7 Los electrodos deben ser colocados a pocos centímetros el uno del otro, orientados en paralelo a las fibras musculares. Colocar los cables caimanés a los electrodos de superficie y, a su vez, a las terminales Naranjas que conectan a la SpikerBox. El electrodo de referencia debe ser colocado fuera del sistema de músculos a medir (ejemplo clavícula). Fijarse que las partes metálicas no se toquen para no ocasionar interferencias. **IMPORTANTE: Asegurarse de tener todo conectado antes de encender.**

2. Familiarización del programa y encendido

- 1 En la computadora o dispositivo, abrir el programa Spike Recorder.
- 2 Encender la Muscle SpikerBox, hasta que aparezca la luz verde del dispositivo. Es importante revisar que no haya sobrecalentamiento en la zona de la pila, además, que los electrodos deben estar siempre conectados cuando esté encendida y desconectar solamente cuando esté apagado.
- 3 Explorar y familiarizarse con la interfaz del grabador de ByB, Figura 5.
- 4 Hacer una prueba contrayendo y extendiendo los músculos para asegurarse que se recolectan datos, no se muestren sonidos extraños provenientes en el equipo o algunas señales de interferencia en la interfaz.

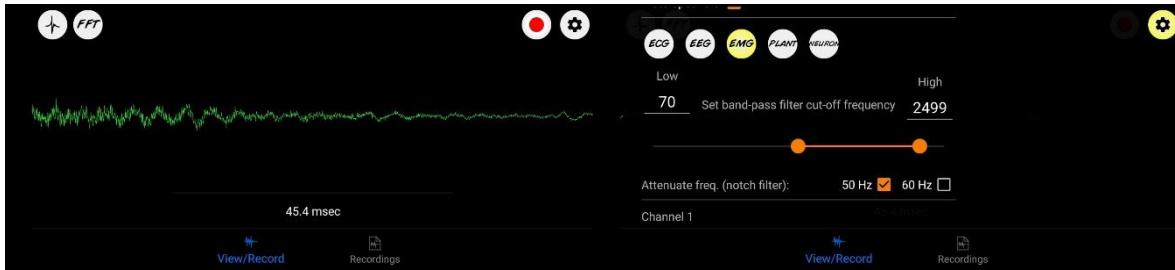


Figura 5: Interfaz de la app de ByB Spike Recorder

3. Toma de Datos

Para realizar las tomas de datos del experimento de Fatiga se realizarán 3 diferentes pruebas (Descanso-Contracción, Contracción concéntrica sostenida y Contracción excéntrica sostenida), cada prueba se deberá de obtener entre 5 a 10 registros con duración de 1 minuto cada una, dichas actividades son del tipo de Contracción Muscular Máximo sostenido (CMMS).

- 1 Prueba 1: Descanso-Contracción
 - 1.1 El brazo deberá estar extendido y en reposo antes de iniciar las mediciones sobre una superficie plana, Figura 6. La primera medición consiste en tomar un registro en esta posición durante un minuto, asegurando una buena posición y comodidad del sujeto al realizar el experimento para garantizar la relajación del Bicep, Figura 6. **Nota:** Asegurarse de apretar la opción “Grabar” en su aplicación.
 - 1.2 Para la siguiente medición, el brazo deberá estar relajado los primeros 5 segundos del registro, inmediatamente después del transcurso de estos se deberá tensar el Bicep realizando la CMMS durante 50s a su máximo esfuerzo y manteniéndolo, Figura 6. Los últimos 5 segundos deberá relajar completamente el brazo. Pausar y guardar el registro a los 60s.
 - 1.3 Es importante etiquetar el orden de cada registro al guardarlo. Repite de 5 a 10 mediciones esta actividad.

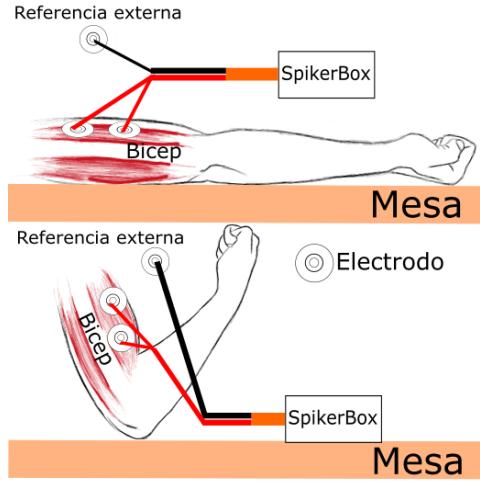


Figura 6: Configuración de electrodos y ejercicio de contracción del Bicep

2 Prueba 2: Contracción Concéntrica Sostenida.

- 2.1 El sujeto al realizar el experimento deberá estar de pie con los brazos relajados antes de iniciar, es recomendado que se coloque en posición anatómica, es decir, posición donde la espalda recta y alineada con la cabeza y cuello, las piernas separadas y las rodillas ligeramente flexionadas, y brazos extendidos en su totalidad hacia abajo apoyados al dorso. Esto ayudará a evitar compensación de otros sistemas musculares al realizar el trabajo.
- 2.2 Tomar una medición de 60s en la posición inicial sin cargar ningún objeto, es decir, en reposo total del músculo a medir, en este caso Bicep, Figura 7.
- 2.3 Se deberá definir el objeto con una masa ya establecida para realizar las pruebas, la cual deberá ser cargada con ambos brazos, sin involucrar las muñecas por lo que deberán estar extendidas, solo las manos ayudarán a sostener la masa para que no caiga, como se muestra la Figura 7.
- 2.4 Realizar mediciones de 60 segundos cargando el objeto en CMMS, asegurando que desde el principio no tenga mucho tiempo sosteniendo el objeto en la posición de contracción al grabar, por lo que se sugiere que segundos antes se adopte la posición de máximo esfuerzo y mantener durante todos los 60 segundos, acabando pausar y guardar, para proceder al descanso. Repetir el experimento de 5 a 10 veces.

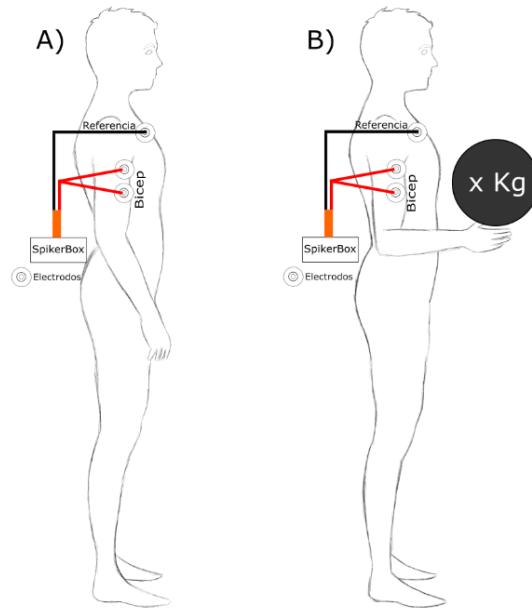


Figura 7: A) Configuración Electrodos y fase de Reposo, B) Configuración de electrodos y Fase de cargar un Objeto de masa establecida

3 Prueba 3: Contracción Excéntrica Sostenida.

- 3.1 El sujeto a realizar el experimento deberá estar sentado de forma recta, con los brazos relajados y extendidos antes de iniciar el experimento. Realizar la primera medición en esta posición durante 60 segundos.
- 3.2 Se elegirá un objeto pequeño de masa establecida, (ejemplo, una mancuerna), la cual deberá agarrar mientras su brazo esté en una contracción excéntrica, realizada al extender el brazo, siempre pegado al dorso, alcanzando un ángulo respecto al codo de aproximadamente 130°-135°, como se muestra en la Figura 8.
- 3.3 Tomar mediciones y grabarlas en períodos de 60 segundos, sosteniendo el objeto en dicha posición extendida del brazo durante todo el periodo de tiempo. Al terminar, guardar y etiquetar. Se recomienda reposar antes de continuar las siguientes repeticiones, sugiriendo de 5 a 10.

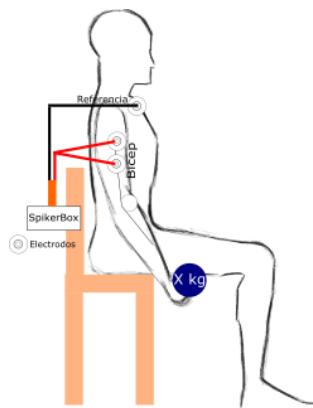


Figura 8: Configuración con una Mancuerna de X masa, posición sentado.

Nota: Deberán tener en cuenta que al realizar cada actividad el músculo deberá descansar en las repeticiones si intentan recrear lo más posible las condiciones iniciales. En otro caso, esta información de la fatiga prolongada del músculo deberá ser tomada en cuenta en su análisis.

Actividad libre integrativa.

El alumno o equipo deberá pensar y realizar una prueba complementaria al tema de Fatiga muscular que cumpla los siguientes requisitos:

- Proponer una prueba donde involucre la fatiga de un grupo muscular distinto a los ya mencionados y desarrollados en la práctica, describiendo y fundamentando de manera anatómica y fisiológica su tipo de movimiento contráctil. Describir la tarea a realizar, donde se involucre, o no, algún elemento externo para su realización.
- Planear la metodología para obtener datos que involucren la visualización cualitativa de la fatiga o tipos de fatiga a estudiar de acuerdo a las variaciones de diferentes ejercicios, repeticiones y tiempo del uso del músculo propuesto.
- Tomar los datos que sean necesarios siguiendo su propuesta metodológica para comparar y discutir.
- Describir los resultados obtenidos usando lo aprendido en clase.

4. Almacenamiento de los datos.

Al terminar se deberá apagar el registro y guardar, asegurando que los registros sean útiles comparando con las referencias para dichos registros, pueden ser encontrados en la página de <https://backyardbrains.com> para guiarse que los resultados sean los esperados. Los datos deben ser guardados en formato .wav para el análisis.

5. Desmontaje de los equipos.

El equipo de electromiografía deberá apagarse antes de desconectar los cables, posteriormente los electrodos se removerán cuidadosamente para no lastimar la piel del participante. Los electrodos se desecharán después de cada registro. Guardar todos los componentes, desconectar con cuidado de la Computadora o teléfono, y retirar la pila antes de guardar en el empaque.

Asegurarse que los datos de ambos registros se hay guardado correctamente. El análisis de los datos se realizará con el software que más le convenga al analista y dependiendo del enfoque y la información que se quiera obtener de los datos.

Preguntas de Estudio

- ¿Cuál es la relación biomecánica de los diferentes grupos musculares a estudiar con realizar contracciones concéntricas y excéntricas? Si es el caso ¿Este tipo de contracciones se presenta para cada tipo de músculo? De ejemplos de músculo o grupos musculares que puedan realizar cada tipo de contracción y en qué casos se realizaría.
- Para realizar pruebas de Fatiga, ¿Cómo controlaría las variables de Fatiga constante al realizar repeticiones del experimento? ¿Siempre serán las mismas condiciones de inicio?
- ¿Importaría la postura y posición del cuerpo para que no exista compensaciones de otros grupos de músculos al realizar pruebas de fatiga? Si la respuesta es sí, justifique.
- ¿Qué variables son a considerar al poner diferentes sujetos al realizar la misma prueba de Fatiga?

- ¿Cómo intervienen los diferentes tipos de fatiga al realizar una sola prueba y al hacer repeticiones?

Agradecimientos

Gracias a la coordinación de la Licenciatura en Física Biomédica por apoyar con las instalaciones y el tiempo dentro de las asignaturas para la realización de la práctica. A los alumnos y profesores involucrados para los conocimientos necesarios para que se desarrolle con éxito el trabajo a realizar. A los alumnos de las primeras generaciones de la carrera de Física Biomédica de la UNAM que aportaron las bases para el desarrollo de la práctica.

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 y PE213219).

Referencias

- [Valls, 1985] Valls Solé, J. (1985). Aportación técnica al estudio electromiográfico de la unidad motora. Universidad de Barcelona.
- [Fernández et al., 2007] Fernández, J. M., Acevedo, R. C., & Tabernig, C. B. (2007). Influencia de la fatiga muscular en la señal electromiográfica de músculos estimulados eléctricamente. Revista EIA, (7), 111-119.
- [Hall & Guyton, 2016] Hall, J. E., & Guyton, A. C. (2016). Tratado de fisiología médica: Unidad II: Fisiología de la membrana, el nervio y el músculo, Capítulos 5-8 (13.a ed.). Elsevier.
- [Sale, 2008] Sale, D. G. (2008). Neural adaptation to resistance training. Medicine and science in sports and exercise, 40(4), 613-620.
- [Enoka, 1994] Enoka, R. M. (1994). Morphological features and activation patterns of motor units. Journal of clinical neurophysiology, 11(6), 582-594.
- [Enoka & Duchateau, 2016] Enoka, R. M., & Duchateau, J. (2016). Translating fatigue to human performance. Med Sci Sports Exerc, 48(11), 2228-2238.
- [Suárez, 2013] Suárez, G. R. (2013). Bases fisiológicas del reclutamiento de motoneuronas. VIREF Revista de Educación Física, 2(1), 85-102.
- [Martín, 2012] Martín Laín, N. (2012). Reclutamiento de unidades motoras en contracciones concéntricas, isométricas y excéntricas. URL: <http://hdl.handle.net/10017/11508>
- [Urdampilleta et al., 2015] Urdampilleta, A., Armentia, I., Gómez-Zorita, S., Martínez Sanz, J. M., & Mielgo-Ayuso, J. (2015). La fatiga muscular en los deportistas: métodos físicos, nutricionales y farmacológicos para combatirla.
- [Gómez et al., 2010] Gómez-Campos, R., Cossío-Bolaños, M. A., Minaya, M. B., & Hochmuller-Fogaca, R. T. (2010). Mecanismos implicados en la fatiga aguda. Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte/International Journal of Medicine and Science of Physical Activity and Sport, 10(40), 537-555.
- [Gandevia, 2001] Gandevia, S. C. (2001). Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. Physiological reviews.

- [Martini et al., 2009] Martini, M., Timmons, T., & Tallitsch, T. (2009). Anatomía humana: Edición internacional: Vol. Capítulo 9, p.p 253-256 (6.a ed.). Pearson Education, S. A. Madrid, España.
- [Tortora, 2017] Tortora, G. J., & Derrickson, B. (2017). Principios de anatomía y fisiología (15a ed.). Barcelona: Editorial Médica Panamericana.
- [Silverthorn, 2008] Silverthorn, D. U. (2008). Fisiología humana: Un enfoque integrado. Capítulo 12: Músculos, p.p 397-409 (4.a ed.). Editorial Médica Panamericana, Buenos Aires, Argentina.
- [Palomino et al., 2018] Palomino, D. P., Pareja, M. T., Mateos, L. M., & Láiz, N. M. (2018). Las tareas de contracción muscular isométricas o de movimientos repetitivos para evaluar los efectos de la fatiga. Una revisión sistemática. Nº 13 (Mur Tlf, 326).
- [Rainoldi et al., 2001] Rainoldi A, Bullock-Saxton JE, Cavarretta F, Hogan N. (2001) Repeatability of maximal voluntary force and of surface EMG variables during voluntary isometric contraction of quadriceps muscles in healthy subjects. *J Electromyogr Kinesiol*. Dec;11(6):425-38. doi: 10.1016/s1050-6411(01)00022-0. PMID: 11738955.

Electromiografía: Registro de la actividad de músculos Antagonistas y Agonistas

Saúl A. Saldaña Enciso¹, Dra. Erin C. McKiernan²

1 Licenciatura en Física Biomédica; 2 Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México

Resumen

La siguiente práctica consistirá en realizar mediciones de la actividad de músculos Antagonistas y Agonistas con ayuda de un electromiograma (EMG), realizando ejercicio a un grupo de músculos específicos de manera repetitiva, obteniendo registros para relacionar la actividad y el potencial eléctrico entre la interacción complementaria, y opuesta, entre estos dos tipos de músculos, con el fin de tener información cualitativa para relacionar la contracción y relajación muscular.

Especificaciones

Nivel de estudio:	Licenciatura.
Carreras:	Biología, Física, Medicina, Física Biomédica, otras carreras afines.
Semestres:	4to en adelante o a partir del segundo año.
Para uso en las Asignaturas:	Fisiología, Morfológica II, Electrofisiología, y asignaturas afines.
Prerrequisitos recomendados: Morfológico.	Fisiología, Biología Molecular y Celular,
Duración de la total de práctica:	Realizar Práctica previa de conceptos básicos de toma de EMG y Fatiga.
Lugar para realizar la Práctica:	90 min para realizar todas las pruebas.
Precauciones:	Aula apropiada o Laboratorio.
Otras indicaciones:	No mojar aparatos. Se recomienda realizar las actividades en equipo de máximo 4 integrantes. Los participantes para la medición deberán llevar ropa adecuada que facilite el acceso a la zona de los músculos a medir, para evitar que interfiera en la colocación y conexión del equipo. Evitar el uso de productos para la piel en la zona a medir (cremas, aceites, humectantes, etc.).

Objetivos

Antes de la práctica

- Entender el funcionamiento de la actividad muscular para generar movimiento.
- Conceptos de contracción y extensión muscular, Fuerza, Trabajo y Palancas en física.
- Tener conocimiento del uso del EMG para mediciones musculares.
- Anatomía de diferentes grupos de los complejos musculares Antagonistas-Agonistas.

Durante la práctica

- El alumno aprenderá a monitorear la actividad de músculos Antagonistas y Agonistas para realizar comparaciones entre ellos con la finalidad de entender el mecanismo para generar movimiento y soporte en el cuerpo humano.
- Entender la importancia de la acción conjunta de contracción y extensión en los movimientos de grupos musculares.

Después de la práctica el alumno deberá de:

- Describir la importancia del movimiento acoplado en los músculos Antagonistas y Agonistas, de igual forma correlacionar diferentes zonas corporales donde se encuentren los tipos de movimientos donde están involucrados.
- Poder analizar gráficas e interpretar datos obtenidos del EMG en dichos grupos musculares.

Antecedentes

El cuerpo humano es un sistema complejo, donde cada una de sus partes cumple una función que genera una simbiosis para la vida, por lo que dentro del cuerpo encontramos diferentes sistemas que acoplan diferentes funciones físico-químicas para generar energía de todo tipo.

El sistema muscular del cuerpo se compone de una gran cantidad de músculos y, gracias a la versatilidad que tienen las células musculares por su composición en forma de fibras, pueden contraerse y relajarse, lo que se traduce como complejos procesos físico-químicos para generar movimiento [Martini et al., 2009; Moore, 2013], por lo cual convierte a los músculos, junto al sistema óseo, en la conformación estructural del propio cuerpo.

Podemos clasificar principalmente a los músculos como Estriados Esqueléticos, Cardiacos y Lisos, los cuales poseen diferentes funciones de acuerdo a su nivel de especialización, pero que comparten principalmente cuatro propiedades básicas: Excitabilidad, Contractibilidad, Extensibilidad y Flexibilidad [Martini et al., 2009]. Estas propiedades nos ayudarán a generar fuerza y movimiento para realizar funciones dentro del propio cuerpo como externo en el mundo físico, para esto cada músculo puede realizar diferentes tipos de movimiento al generar contracciones y relajamientos gracias a los procesos químicos que ocurren en las fibras musculares, lo cual se traduce como una transformación de la energía química a mecánica [McCall, 2010], por lo que la participación de uno, o más músculos, generarán sistemas complejos con otras partes del cuerpo (como articulaciones, huesos, tendones, etc.) para realizar los movimientos.

Contracción y Extensión muscular

El músculo para generar movimientos tiene principalmente las propiedades de contracción y extensión, esto es gracias a que los miocitos, o células musculares, tienen una organización que genera fibras, que pueden alargarse o acortarse para generar el movimiento [Moore, 2013]; En los músculos esqueléticos dicha composición está dada por células que generan las fibras musculares de forma filiforme que contiene grupos complejos proteicos (miofibrillas) y la envoltura plasmática denominada Sarcolema, estas componen estructuras mayores al organizarse en paralelo y conectarse para estructurar tejidos y órganos, Figura 1 [Moore, 2013; Martini et al., 2009].

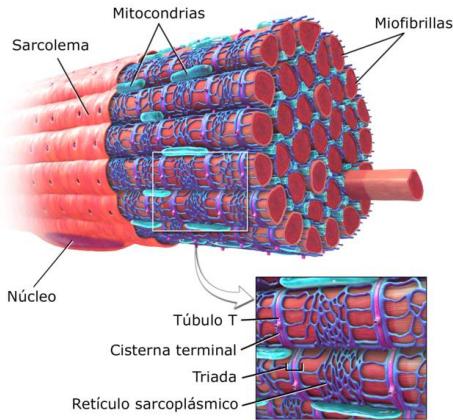


Figura 2: Estructura de las Fibras Musculares. Imagen obtenida de: BruceBlaus (2018); https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Blausen_0801_SkeletalMuscle_esp.png

Para generar una **contracción** las fibras musculares deben trabajar de manera conjunta, para esto la unidad funcional de las miofibrillas, el sarcómero, se compone de los filamentos delgados (con la proteína actina), y los filamentos gruesos (con la proteína miosina), los cuales al verse expuestos a iones de calcio (Ca^+), permiten la interacción de la actina y miosina al generar un cambio morfológico en el complejo Troponina-tropomiosina, lo que las pone en contacto y se deslizan para generar una contracción, Figura 2 [Silverthorn, 2008; FacMed, s.f.].

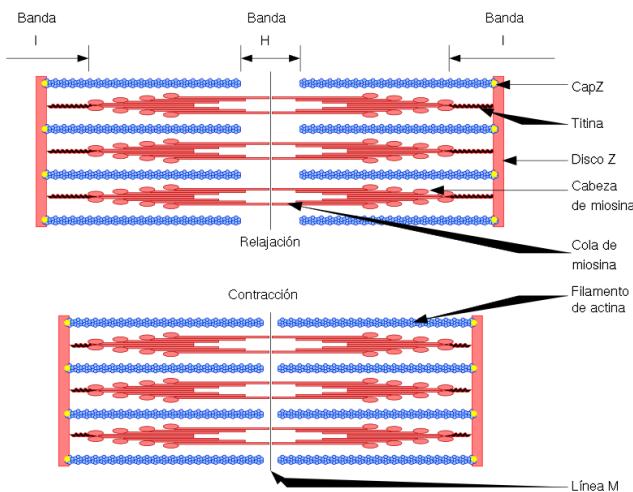


Figura 3: Mecanismo de Contracción Muscular por medio de la acción de la Actina-Miosina en los Sarcómeros. Imagen obtenida de: David Richfield in Sarcomere.svg (2009); https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sarcomere_es.svg

Por otro lado, la **extensibilidad** del músculo se refiere a un proceso de relajamiento a la contracción y estiramiento de las fibras musculares, dicho estiramiento ocurre un alejamiento de las unidades de Miosina y Actina, generando un alargamiento de la fibra pero sin sufrir un rompimiento o deformación de estas, esto es relevante ya que interviene a la par la propiedad de **flexibilidad** muscular para que el músculo no tenga desgaste y regrese a su estado basal para seguir con sus propiedades contractiles, Figura 3 [Silverthorn, 2008; ASEM,2003].

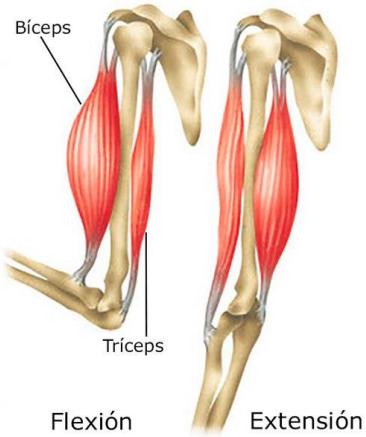


Figura 4: Mecanismo de Flexión del antebrazo donde ocurre una contracción, (Izquierda), y posteriormente una relajación donde ocurre la extensión del músculo (Derecha). Imagen obtenida de: Dominio Público (2008); https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Musclesbiceptriceps_esp.jpg

Movimientos corporales y musculares

Para realizar movimientos el cuerpo se apoya en gran medida a la colaboración de los músculos, el sistema óseo, ligamentos, cartílagos y las membranas sinoviales del cuerpo, dando origen a lo que se conoce como **articulaciones**, son las uniones de dos o más huesos que con ayuda de los componentes previamente mencionados, otorgar sopor y movilidad al cuerpo [Martini et al., 2009]. La acción que proporcionan los músculos en este sistema es otorgar la energía mecánica para que se pueda realizar el movimiento en las articulaciones y dependiendo la anatomía del sitio y la forma de la articulación da una gran variedad de movimientos.

Algunos movimientos más comunes donde encontramos gran diversidad de músculos que pueden cumplir roles antagonistas y agonistas son: La **flexión** y **extensión** ocurren como un movimiento en un punto de apoyo generando ángulos mayores o menores, por lo que los músculos hacen que se acerquen o alejen de los huesos respecto a un vértice. La **abducción** y **aducción** es un movimiento lateral respecto a una zona de referencia, comúnmente asociada a la línea media del cuerpo, por lo cual la abducción es el alejamiento y la aducción al acercamiento hacia dicha referencia. La **elevación** y **depresor**, se refiere al levantamiento o descenso de una parte del cuerpo, es decir, son movimientos ascendentes o descendientes del cuerpo. La **rotación** es aquel movimiento donde la articulación genera un giro limitado respecto a su eje, podemos encontrar que este movimiento da libertad de rotar muchos puntos en cuerpo y, respecto a la zona donde se realizan, pueden tener nombres específicos como es la pronación y supinación, que es un tipo de rotación del antebrazo para posicionar la palma de la mano hacia arriba o abajo, estos tipos de movimientos se pueden visualizar mejor en la Figura 4, [Martini et al., 2009; Moore, 2013].

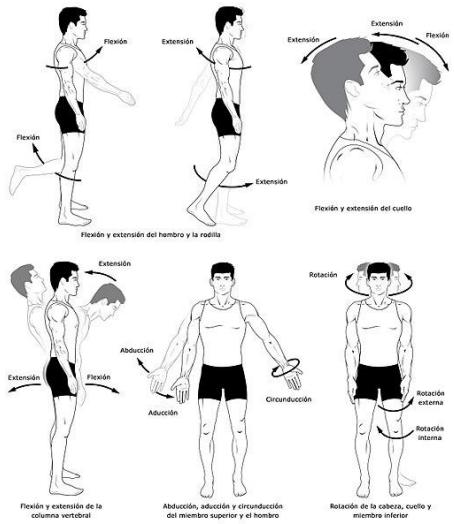


Figura 4: Movimientos corporales donde se presenta la Flexión, Extensión, Rotación, Abducción y Aducción del cuerpo. Imagen obtenida de: Tonye Ogele CNX (2018); https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Body_Movements_I_esp.jpg

Músculos Antagonistas, Agonistas y Sinergistas

Los músculos muchas veces trabajan asociados unos a otros para realizar los diferentes movimientos en el cuerpo, esto quiere decir que se ven involucrados más de uno para efectuar el trabajo, pero estos llegan a tener una cierta configuración o coordinación específica para que exista un acoplamiento en el movimiento, ya sea de forma simultánea o no.

Pensando en la idea anterior, en los sistemas o grupos musculares para realizar un movimiento se define como músculo **Agonista** al músculo, o grupo muscular, que realizar la acción principal en el movimiento, por otro lado, existe una acción contraria que genera otro músculo coexistiendo en el proceso de manera aditiva, pero opuesta a la acción principal, denominado como **Antagonista** [Martini et al., 2009; Gárgano, 2013]. Se le denomina principalmente al músculo que genera la contracción como el Agonista y al que genera una flexión como en Antagonista, aunque es importante recalcar que esto dependerá del tipo de movimiento principal de la acción. Las acciones opuestas que realizan los músculos coordinados generan una acoplación relevante, ya que mientras el Agonista hace el movimiento principal para generar fuerza, el antagonista controlará la homogeneidad y cierta estabilidad en el sistema [Martini et al., 2009].

En el cuerpo encontramos principalmente los músculos de las extremidades que generan movimientos de Flexión-Extensión para realizar actividades, donde se ven involucrados este sistema Antagonista-Agonista, por ejemplo: Al intentar doblar el brazo por el codo, el Bicep al contraerse realiza una acción Agonista, pero al mismo tiempo realiza trabajo el Tricep, que realiza una acción de estiramiento y relajación en sus fibras, volviéndose el Antagonista del movimiento, Figura 5. Sin embargo, no solo existen movimientos antagonistas en brazos y piernas, también se ven involucrados en acciones conjuntas en todo el cuerpo como en el cuello, hombros, abdomen, torso y espalda, los cuales son músculos esqueléticos [Gárgano, 2013; Silverthorn, 2008; Moore, 2013]. Pero inclusive, existen acoplamientos Antagonistas y Agonistas en los músculos cardíacos, lo cual es una acción coordinada entre los ventrículos para relajarse y contraerse, por lo que realiza acciones de succión y expulsión generando el ciclo cardiaco y bombeo de la sangre a todo el cuerpo [Torrent, 2001].



Figura 5: Ejemplo de los músculos principales Antagonistas, Agonistas y Sinergistas en el movimiento de flexión de codo. Imagen obtenida de: M. L (2019); <https://anatomia-papel-e-caneta.com/sistema-muscular/agonistas-e-antagonistas/>

Los músculos **Sinergistas** son aquellos músculos auxiliares en el movimiento que, junto al acoplamiento Agonista-Antagonista, realizan una acción de apoyo para concretar la acción de manera eficiente, eficaz y controlada, es decir, es un músculo que aporta una tracción que puede generar estabilidad o ayudar al músculo Agonista a que realice su función, aunque no necesariamente este tipo de músculo entra en la categoría de estabilizadores. Su característica principal es que se encuentran cerca de la zona de acción y son auxiliares complementarios de menor manera [Martini et al., 2009]. En el ejemplo anterior del complejo Bicep-Tricep, los músculos Sinergistas involucrados para lograr la flexión del codo son los músculos coracobraquial y braquial anterior, Figura 5.

Equipo

- Equipo de Electromiografía superficial de doble canal, en caso de no contar con un EMG de doble canal podrá usar dos EMG básicos tomando en cuenta que se deberá sincronizar la toma de datos y, posteriormente, en el análisis de los mismo. Este protocolo se construyó con el sistema Human SpikerBox de Backyard Brains con una tasa de muestreo de 10k(2ch) y rango de frecuencias de 70-2500Hz. El software libre para computadora o dispositivo Android Spike Recorder de la empresa Backyard Brain. Cables de conexión para el dispositivo inteligente o computadora con la SpiderBox y para los electrodos. Cables Auxiliar-Caimán para conexión de electrodos.
- Electrodos de Superficie.
- Pila de 9V (volts).
- Un equipo de computadora, Tablet o teléfono inteligente compatible con el software con el software pertinente para el equipo de EMG a utilizar.
- Alcohol y algodón o torunda de algodón para limpiar las zonas de medición.
- Opcional: Gel conductor solo si es requerido para asegurar el buen contacto con los electrodos y la piel.

Procedimiento

Antes del inicio de la práctica asegurarse que el sitio sea el adecuado y cuenten con todos los materiales y equipos necesarios, la Human SpikerBox, Figura 6, incluye todo para conectar y que funcione en su totalidad, revisar con el manual si cuenta con todos componentes., Los participantes estén con las especificaciones necesarias, además, que el equipo funcione óptimamente y se tengan los programas necesarios para realizar las mediciones.



Figura 6: Human SpikerBox por ByB. Imagen obtenida de: Backyard Brains (2023);
<https://backyardbrains.com/products/humanspikerbox>

1.- Configuración del Equipo

- 8 Conectar la pila de 9V en la Human SpikerBox.
- 9 Conectar los cables de manera adecuada de acuerdo con su color. El cable color naranja es el que contiene los electrodos de caimán. El cable azul se utiliza cuando el software está instalado en un equipo de cómputo y el verde cuando está instalado en un teléfono inteligente. Tener precaución ya que los cables utilizados para conectar con el software tienen direcciónalidad.
- 10 Decidir qué tipos de músculos Antagonistas-Agonistas se van a medir, ya que la configuración de los electrodos variará dependiendo de la elección. El siguiente protocolo estudiara el complejo de Bíceps-Tríceps y Cuádriceps-Isquiotibiales, en la Figura 7 se muestra la configuración de electrodos para la toma de medición.
 Nota: Es importante resaltar que deben ser colocados los electrodos en pares en el músculo Agonista, Antagonista y la Referencia.
- 11 Limpiar la zona a medir con una torunda de algodón y alcohol, dejar secar.
- 12 Para la colocación de los electrodos se recomienda usar Gel Conducto sobre la zona si no hay un buen contacto.
- 13 Los electrodos deben ser colocados a pocos centímetros el uno del otro, orientados en paralelo a las fibras musculares. Colocar los cables caimanes a los electrodos de superficie y a su vez a las terminales Naranjas que conectan a la SpikerBox. El electrodo de referencia debe ser colocado fuera del sistema de músculos a medir (ejemplo la mano y pie dependiendo la configuración deseada). Fijarse que las partes metálicas no se toquen para no ocasionar interferencias. **IMPORTANTE: Asegurarse de tener todo conectado antes de encender.**

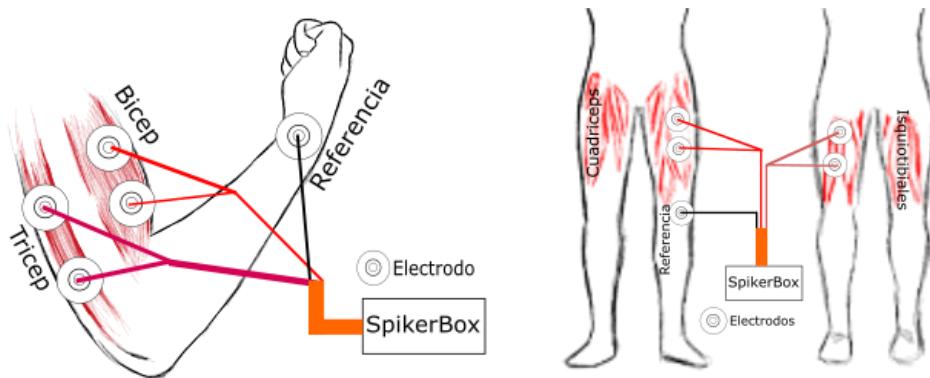


Figura 7: Representación de la configuración de los electrodos para Brazo y Pierna para Antagonistas.

2.- Familiarización del programa y encendido

- 5 En la computadora o dispositivo, abrir el programa Spike Recorder.
- 6 Encender la Human SpikerBox, hasta que aparezca la luz verde del dispositivo. Es importante revisar que no haya sobrecalentamiento en la zona de la pila, además, que los electrodos deben estar siempre conectados cuando esté encendida y desconectar solamente cuando esté apagado.
- 7 Explorar y familiarizarse con la interfaz del grabador de ByB, Figura 8.
- 8 Para este experimento es indispensable ir a Configuraciones, (Config), y poner la opción para Dos canales.
- 9 Hacer una prueba contrayendo y extendiendo los músculos para asegurarse que se recolectan datos y no se muestren ruidos o sonidos provenientes en el equipo o algunas señales extrañas en la interfaz.



Figura 8: Interfaz de la app Spike recorder de ByB para EMG

3. Toma de Datos

Colocar al sujeto en una posición conveniente para los ejercicios, antes de iniciar los ejercicios deberá estar relajado y en reposo. Se debe plantear el tipo de ejercicio y con esto definir la posición corporal para todo el experimento.

Para tomar los datos se deberá presionar el botón de Grabar en cada ejercicio, debe estar en reposo cinco segundos después de haber iniciado la grabación para continuar a realizar las acciones del ejercicio.

3.1 Prueba 1: Para estos ejercicios deberán realizar ejercicios de extensión y contracción, ya sea en brazo, pierna u otro sistema de músculo elegido por el profesor o aplicador de la práctica, el cual deberá especificar. Serán ejecutados en intervalos de tiempo: 3-5 segundos la acción de contracción en el músculo de interés, luego 3-5 segundos la fase de relajación, repetir al menos 10 veces cada fase.

3.2 Prueba 2: Mantener contraído el sistema de músculos a estudiar durante 30 segundos a su máxima capacidad. Posteriormente, estirar el músculo contraído a su máxima capacidad por 30 segundos, repetir al menos 5 veces cada fase, los intervalos de reposo deberán ser discutidos para tomar en cuenta la fatiga del músculo.

Actividad libre integrativa.

El alumno o equipo deberá pensar y realizar una prueba complementaria al tema de músculos Antagonistas y Agonistas que cumpla los siguientes requisitos:

- El alumno deberá trabajar en posiciones diferentes a las realizadas en el anterior apartado. Es importante especificar la metodología en cómo se realizarán los cambios para tener en cuenta las mayores variables posibles.
- Escoger otro grupo diferente de complejo Agonista y Antagonista y realizar mediciones para hacer una comparación cualitativa del primer grupo estudiado con el nuevo.
- Tomar los datos que sean necesarios siguiendo su propuesta metodológica para comparar y discutir.
- Describir los resultados obtenidos usando lo aprendido en clase.

Nota: Es importante considerar la posición y el ejercicio que implicará el grupo muscular elegido, para asegurar la compensación de otros grupos musculares.

4. Almacenamiento de los datos.

Al terminar se deberá apagar el registro y guardar, asegurando que los registros sean útiles comparando con las referencias para dichos registros, pueden ser encontrados en la página de <https://backyardbrains.com> para guiarse que los resultados sean los esperados. Los datos deben ser guardados en formato .wav para el análisis.

5. Desmontaje de los equipos.

El equipo de electromiografía deberá apagarse antes de desconectar los cables, posteriormente los electrodos se removerán cuidadosamente para no lastimar la piel del participante. Los electrodos se desecharán después de cada registro. Guardar todos los componentes, desconectar con cuidado de la Computadora o teléfono, y retirar la pila antes de guardar en el empaque.

Asegurarse que los datos de ambos registros se hay guardado correctamente. El análisis de los datos se realizará con el software que más le convenga al analista y dependiendo del enfoque y la información que se quiera obtener de los datos.

Preguntas de Estudio

- ¿Cómo realizarías mediciones de músculos Antagonistas-Agonistas en zonas diferentes al brazo o pierna? Especificando la configuración de Electrodos para obtener con éxito la medición.
- ¿Existen algunos otros pares de músculos Antagonistas-Agonistas por los cuales no es viable usar este procedimiento experimental? Si es así, especifique cuáles y qué procedimiento sería útil para realizarlos.
- ¿Qué tan viables son el uso de electrodos de aguja para realizar mediciones de este tipo de músculos? Di en cuáles casos serviría usar dichos dispositivos si lo cree viable.

- ¿Cómo complementarías este estudio incluyendo a los sistemas musculares Sinergistas para medir y obtener información complementaria en los registros y datos de la práctica?
- Considerando un solo grupo muscular, ¿Cómo cambiaría la medición obtenida por el EMG cambiando la posición del cuerpo y la biomecánica implicada en el movimiento del complejo estudiado?
- ¿Es importante considerar grupos musculares externos al grupo estudiado al realizar mediciones de este tipo? ¿Si hay grupos musculares implicados, estos generan compensaciones en el trabajo muscular de un solo grupo? ¿De qué manera puedes minimizar la implicación de estos?
- ¿Es de vital importancia considerar movimientos pasivos y contracciones pasivas de diferentes músculos aledaños a los estudiados?

Agradecimientos

Gracias a la coordinación de la Licenciatura en Física Biomédica por apoyar con las instalaciones y el tiempo dentro de las asignaturas para la realización de la práctica. A los alumnos y profesores involucrados para los conocimientos necesarios para que se desarrolle con éxito el trabajo a realizar.

A los alumnos de Morfológico II del semestre 2023-2, su profesora M. en C. Paula Zepeda Gutiérrez y los alumnos de las primeras generaciones de la carrera de Física Biomédica de la UNAM que aportaron las bases para el desarrollo de la práctica.

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 y PE213219).

Referencias

- [Martini et al., 2009] Martini, M., Timmons, T., & Tallitsch, T. (2009). Anatomía humana: Edición internacional: Vol. Capítulo 9, p.p 253-256 (6.a ed.). Pearson Education, S. A. Madrid, España.
- [Moore, 2013] Moore, K. L., Agur, A. M., & Dalley, A. F. (2013). Fundamentos de Anatomía con orientación clínica, p.p 71-80 (7a. ed.). Wolters Kluwer, Barcelona, España.
- [McCall, 2010] McCall, R.P (2010). Physics of the human Body. The Johns Hopkins University Press.
- [Silverthorn, 2008] Silverthorn, D. U. (2008). Fisiología humana: Un enfoque integrado. Capítulo 12: Músculos, p.p 397-409 (4.a ed.). Editorial Médica Panamericana, Buenos Aires, Argentina.
- [FacMed, s.f.] Facultad de Medicina, UNAM. (s. f.). II. MORFOLOGIA DEL MUSCULO ESQUELETICO. Recuperado 14 de enero de 2023, de <https://facmed.unam.mx/Libro-NeuroFisio/10-Sistema%20Motor/10a-Movimiento/Textos/MuscAnatomia.html>
- [ASEM, 2003] ASEM. (2003). El Músculo esquelético. Asociación Cántabra de Enfermedades Neuromusculares. Recuperado 25 de enero de 2023, de http://asemcantabria.org/wp-content/uploads/2015/09/musculo_esquelético.pdf
- [Gárgano, 2013] Gárgano, S. (2013) Anatomía de la musculatura equilibradora: Interacciones musculares de los grupos agonistas y antagonistas con el fin de sostener la estructura corporal [en línea]. 10mo Congreso Argentino de Educación Física y Ciencias, 9 al 13 de

- septiembre de 2013, La Plata. En Memoria Académica. Disponible en:
http://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/trab_eventos/ev.3179/ev.3179.pdf
- [Hall & Guyton, 2016] Hall, J. E., & Guyton, A. C. (2016). Tratado de fisiología médica: Unidad II: Fisiología de la membrana, el nervio y el músculo, Capítulos 5-8 (13.a ed.). Elsevier.
- [Torrent, 2001] Torrent-Guasp, F. (2001). La mecánica agonista-antagonista de los segmentos descendente y ascendente de la banda miocárdica ventricular: Vol. 5. Num. 9, p.p 1091-1102 (Revista Española de Cardiología). [https://doi.org/10.1016/S0300-8932\(01\)76456-1](https://doi.org/10.1016/S0300-8932(01)76456-1)

Electromiografía: Registro de Fuerza muscular

Saúl A. Saldaña Enciso¹, Dra. Erin C. McKiernan²

1 Licenciatura en Física Biomédica; 2 Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México

Resumen

En esta práctica se realizarán mediciones de un equipo de electromiograma (EMG) y un Dinamómetro de mano para observar la correlación de la fuerza muscular con los registros de los potenciales de acción generados por los grupos musculares del antebrazo y mano. Se medirá la fuerza de agarre aplicando Fuerzas por parte de la mano cercanos a los valores de 50N, 100N y 200N en intervalos de 20s, además, se ejercerán pruebas de Máxima fuerza voluntaria en intervalos mayores de tiempo para corroborar cuanto puede sostener dicho valor máximo. Se obtendrán relaciones de la fuerza aplicada con la amplitud y frecuencia de las contracciones generadas por los grupos musculares.

Especificaciones

Nivel de estudio:	Licenciatura.
Carreras:	Biología, Física, Medicina, Física Biomédica, carreras afines.
Semestres:	4to en adelante o a partir del segundo año.
Para uso en Asignaturas:	Fisiología, Morfológica II, Electrofisiología u otras asignaturas afines.
Prerrequisitos recomendados:	Fisiología, Biología Molecular y Celular, Morfológica.
Duración de la Práctica:	Realizar Práctica previa de conceptos básicos de toma de EMG y Fatiga.
Lugar para realizar la Práctica:	Una hora a Hora y media de acuerdo a los estándares de descanso para reducir la fatiga en el participante.
Precauciones:	Aula apropiada o Laboratorio.
Otras indicaciones:	No mojar aparatos, ni jalar cables.
	Se recomienda realizar las actividades en equipo de máximo 4 integrantes. Los participantes para la medición deberán llevar ropa adecuada que facilite el acceso a la zona de los músculos a medir, para evitar que interfiera en la colocación y conexión del equipo. Evitar el uso de productos para la piel en la zona a medir (cremas, aceites, humectantes, etc.). Evitar el consumo de bebidas y alimentos altamente energéticos, así mismo una hidratación adecuada.

Objetivos

Antes de la práctica

- Entender la relación de contracción muscular y la Fuerza que se genera al realizar trabajo con los diferentes tipos de músculos.
- Conceptos de contracción y extensión muscular, Fuerza, Trabajo y Palancas en física.

Durante la práctica

- El alumno aprenderá a realizar mediciones de fuerza muscular en grupos de músculos específicos.
- Relacionar el reclutamiento de unidades motoras pequeñas y grandes para diferentes trabajos dependiendo de la fuerza requerida para realizarlos.

Después de la práctica el alumno deberá de:

- Describir la asociación de la fuerza a los ciclos de contracción y relajación muscular dados por gráficas de frecuencia y amplitud de los potenciales obtenidos del acoplamiento de las unidades motoras.

Antecedentes

La fuerza muscular es consecuencia de los procesos de contracción de las fibras musculares por la acción de la actina y miosina. Se define como la consecuencia de la tensión de los músculos por los procesos fisiológicos al realizar contracciones para la compensación de una carga durante un intervalo de tiempo, es decir, por medio de una señalización de una unidad motora se da la señal para la contracción de las fibras musculares, reclutamiento de las mismas, para poder generar tensión ante una resistencia, generar una carga de levantamiento o mover un objeto dado [Pérez et al., 2008].

La fuerza que ejerce el cuerpo es también una acción conjunta entre la generación de las contracciones de las fibras musculares, el reclutamiento de estas, el conjunto y acoplamiento de diferentes grupos musculares, la transmisión por los tendones y el movimiento de las articulaciones, esto da como resultado un complejo mecanismo biomecánico que involucran elementos contráctiles, elásticos, sinergistas, de soporte y angulaciones para llevar a cabo el movimiento [Pérez et al., 2008; Carrere, 2010].

Fuerza y Dinamómetro

La **Fuerza** es la magnitud física que mide la capacidad de un cuerpo para modificar la forma de otros o alterar su dirección y velocidad, esto gracias a que existe una interacción entre ellos. La fuerza está expresada por el Sistema Internacional de Unidades por Newton (N), y es la definición de la mecánica clásica de que un Newton es la fuerza necesaria para acelerar una masa de 1 kilogramo (Kg) a 1 m/s², descrito en la Ecuación 1, [Resnick, 2012; Serway, 2014].

$$F = ma$$

Ecuación 1: Fórmula de la Fuerza descrita por la Mecánica Clásica donde F es la fuerza en Newtons, m la masa en kilogramos y a la aceleración en m/s².

Un dinamómetro es un instrumento de medición de la fuerza o tensión en un objeto, nació de la necesidad de medir la fuerza que llegan a generar los objetos o personas en movimiento. Está conformado principalmente por un resorte, una palanca, una celda de carga y un sensor para traducir la señal obtenida por el resorte y traducirla a fuerza, esto gracias a la energía que se genera por la compresión o elongación del resorte interno. El dinamómetro es capaz de darnos una medición de la fuerza aplicada por los grupos musculares de la mano, ya que por medio de la compresión del sistema o por medio de sensores electrónicos podemos traducir cuanta es la fuerza que estamos ejerciendo sobre el dispositivo [Bosco et al., 1995].

De acuerdo a los estudios realizados por Correa et al. en 2017, podemos ver que existe una gran variación de la fuerza que se genera en la mano de acuerdo a variables como el sexo, la altura, su edad, su peso y condición física, dando como resultados variaciones relevantes para el área de salud y la física del deporte.

Máxima Fuerza Voluntaria

La fuerza voluntaria máxima, (Maximal voluntary Force, MVF), se define como la cantidad máxima de fuerza que un músculo, o grupo de músculos del cuerpo, que puede generar voluntariamente durante una contracción de máximo esfuerzo. Para obtener este valor se utiliza la dinamometría de agarre, dinamometría isocinética o las pruebas musculares manuales. La medición de MVF es de gran importancia para cuantificar la fuerza de los grupos musculares, ya que nos da información de la condición óptima de dicho sistema muscular o si existe un deterioro que sea consecuencia de una afección patológica, al igual que dar seguimiento para el mejoramiento de los músculos, su rehabilitación e incluso su entrenamiento [Shaly et al., 2001; Rainoldi et al., 2001].

Si bien, existen estándares de acuerdo al sexo, la condición física y la edad, tenemos que tener en cuenta que este valor está sujeto a cambiar por diferentes factores como son: los tamaños del músculo por ejercicio y el tipo de fibra muscular, la respuesta de las unidades motoras, la posición de las pruebas como los ángulos de carga y articulares, cuestiones de fatiga muscular, condiciones del músculo e hidratación de los mismos [Shaly et al., 2001].

Anatomía de la Mano y el Antebrazo

Las extremidades superiores del cuerpo humano son parte fundamental del cuerpo humano ya que nos ayudan a realizar actividades complejas y precisas, gracias a los mecanismos de músculos, articulaciones y demás componentes que generan trabajos simultáneos para ejecutar las órdenes del cerebro. La constitución de la parte del brazo, antebrazo, manos y dedos son resultados de años de evolución para que, hoy en día, el ser humano pueda generar movimientos finos y precisos, fuerza necesaria con la contribución de los músculos, la manipulación de objetos e incluso comunicarse de manera no verbal, además de ser contribuyentes al equilibrio corporal y un sistema de alta sensibilidad para poder entender su entorno [Monreal, 2007].

Para realizar actividades motora y sensitiva la mano se requiere un complejo mecanismo de músculos, con su respectiva inervación, donde no solo participan los músculos propios de la mano, si no que requiere un gran apoyo de los músculos externos localizados en el antebrazo que se conectan con las manos y dedos, generando un amplio rango de movimiento en las manos, en la Figura 1 podemos observar un mapa anatómico de los grupos musculares de la mano.

Mano y muñeca

Disección palmar profunda

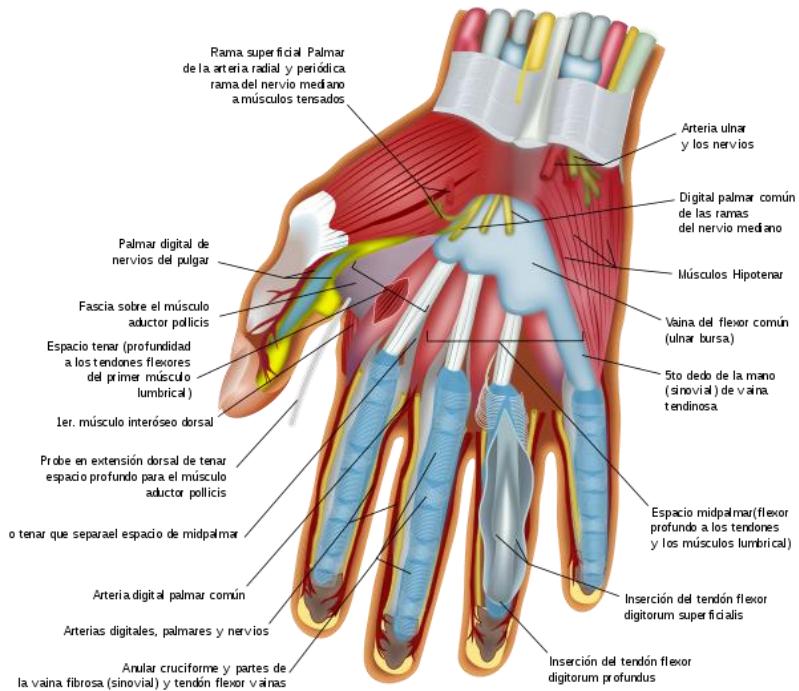


Figura 1: Anatomía de la Mano y Muñeca. Imagen obtenida de: Wilfredor (2008); https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wrist_and_hand_deeper_palmar_dissection-es.svg

Los músculos de la mano tienen tareas específicas para garantizar el movimiento fino y preciso, además, de obtener un agarre suficiente empleando la fuerza en cada contracción; por ejemplo, los músculos tenares, flexores y abductores dan ayuda a los dedos para generar movimientos de abducción, flexión y extensión [Moore, 2013; Hall & Guyton, 2016; Tortora, 2013]. Por otro lado, los músculos del antebrazo llegan a ser un conector entre la muñeca y dedos para apoyarlos a generar movimiento y, cuando haga falta, reclutar neuronas motoras para coordinar movimientos y generar la fuerza requerida de agarre, esto gracias a los músculos flexores y extensores de dicha región, sumado a los músculos palmares mayores y menores [Moore, 2013; Hall & Guyton, 2016; Tortora, 2013], Figura 4.

Equipo

- **Equipo de Electromiografía superficial.** Este protocolo se construyó con el sistema Muscle SpikerBox de Backyard Brains con una tasa de muestreo de 44100Hz y el software libre para computadora o dispositivo Android Spike Recorder de la empresa Backyard Brain. Cables de conexión para el dispositivo inteligente o computadora con la SpiderBox y para los electrodos. Cables Auxiliar-Caimán para conexión de electrodos.
- **Dinamómetro de mano a elección.** Para el protocolo se utilizó el equipo Hand Dynamometer de Vernier y LabQuest Mini de Vernier, con una computadora para abrir su interfaz, o en todo caso su Interfaz LabQuest de Vernier. Sistema Logger Pro 3 Demo versión 3.16.2 o siguientes versiones compatibles.
- **Electrodos de Superficie.**

- Pila de 9V (volts).
- Un equipo de computadora, Tablet o teléfono inteligente compatible con el software pertinente para el equipo de EMG y dinamómetro a utilizar.
- Alcohol y torunda de algodón para limpiar las zonas de medición.
- Opcional: Gel conductor solo si es requerido para asegurar el buen contacto con los electrodos y la piel.

Procedimiento

Antes del inicio de la práctica asegurarse que el sitio sea el adecuado y cuenten con todos los materiales y equipos necesarios. Asegurarse que la Muscle SpikerBox, Figura 2, y Hand Dynamometer Vernier, Figura 3, incluyen todo para conectar y que funcione en su totalidad, revisar con el manual si cuenta con todos componentes para ambos equipos. Los participantes estén con las especificaciones necesarias, además, que el equipo funcione óptimamente y se tengan los programas necesarios para realizar las mediciones.



*Figura 2: Muscle SpikerBox por ByB. Imagen obtenida de: Backyard Brains (2023);
<https://backyardbrains.com/products/muscleSpikerbox>*



*Figura 3: Hand Dynamometer por Vernier. Imagen obtenida de: Vernier Software & Technology (2023);
<https://www.vernier.com/zoom/?id=127292>*

1. Configuración del Equipo

- 1 Conectar la pila de 9V en la Muscle SpikerBox.
- 2 Identificar los cables correspondientes incluidos de la SpikerBox para su correcta colocación.
- 3 Conectar los cables de manera adecuada de acuerdo con su color. El cable color naranja es el que contiene los electrodos de caimán. El cable azul se utiliza cuando el software está instalado en un equipo de cómputo y el verde cuando está instalado en un teléfono inteligente. Tener precaución ya que los cables utilizados para conectar con el software tienen dirección.

- 4 Localizar el músculo a medir, para esta práctica se recomienda los músculos del antebrazo conformados por: los músculos flexores del pulgar, flexor superficial de los dedos y los músculos palmares mayores y menores, Figura 4.



Figura 4: Músculos del Antebrazo. Imagen obtenida de: Lifender (2023); <https://www.lifeder.com/musculos-brazo/>

- 5 Limpiar la zona a medir con una torunda de algodón y alcohol, dejar secar.
- 6 Para la colocación de los electrodos se recomienda usar Gel Conducto sobre la zona si no hay un buen contacto.
- 7 Los electrodos deben ser colocados a pocos centímetros el uno del otro, orientados en paralelo a las fibras musculares. Colocar los cables caimanes a los electrodos de superficie y a su vez a las terminales Naranjas que conectan a la SpikerBox. El electrodo de referencia debe ser colocado fuera del sistema de músculos a medir. Fijarse que las partes metálicas no se toquen para no ocasionar interferencias.
IMPORTANTE: Asegurarse de tener todo conectado antes de encender.
- 8 Para el Hand Dynamometer, asegurarse que esté conectado de manera correcta a la interfaz elegida LabQuest de Vernier y este a su vez a la computadora. Despues encender el dispositivo y asegurarse su correcto funcionamiento.
- 9 Dependiendo del tipo de LabQuest deberá leer el instructivo para obtener los datos. Para el LabQuest Mini de Vernier deberá tener una computadora con Logger Pro, descargado y compatible con la versión del Hand Dynamometer, Figura 5.



Figura 5: LabQuest Mini y LabQuest2 de Vernier. Imagen obtenida de: Vernier Software & Technology (2023); <https://www.vernier.com/zoom/?id=74814> y <https://www.vernier.com/zoom/?id=197160>

IMPORTANTE: Asegurarse de tener todo conectado antes de encender.

2. Familiarización del programa y encendido

- 1 En la computadora o dispositivo, abrir el programa Spike Recorder.
- 2 Encender la Muscle SpikerBox, hasta que aparezca la luz verde del dispositivo. Es importante revisar que no haya sobrecalentamiento en la zona de la pila, además, que los electrodos deben estar siempre conectados cuando esté encendida y desconectar solamente cuando esté apagado.
- 3 Explorar y familiarizarse con la interfaz del grabador de ByB, Figura 6.
- 4 Hacer una prueba contrayendo y extendiendo los músculos para asegurarse que se recolectan datos y no se muestren ruidos o sonidos provenientes en el equipo o algunas señales extrañas en la interfaz.

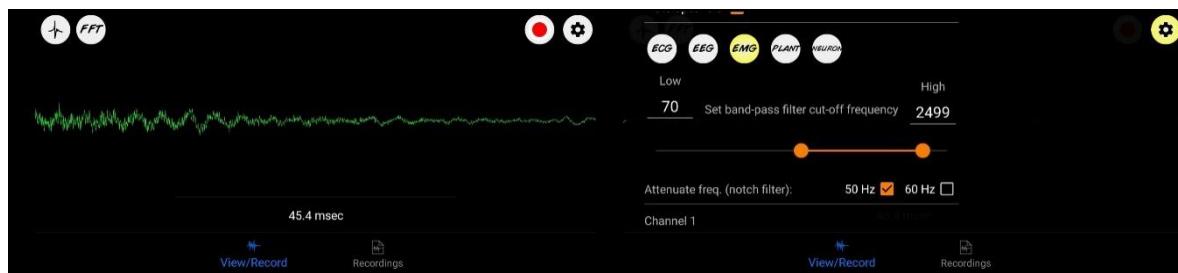


Figura 6: Interfaz de la app de ByB Spike Recorder

- 5 Abrir en la computadora Logger Pro si utiliza LabQuest Mini. Encender el LabQuest elegido con el Dinamómetro conectado.
- 6 Encender el Hand Dynamometer. Deberá realizar pruebas para reafirmar que capta señal al aplicar fuerza con la mano, ya sea en la interfaz del propio dispositivo LabQuest o por la computadora en Logger Pro.

3. Toma de Datos

Para realizar la experimentación la persona deberá permanecer sentada y en reposo. Su brazo deberá estar sobre una superficie plana, con la palma hacia arriba, manteniéndola relajada y en reposo hasta el inicio del experimento.

Se realizarán dos pruebas diferentes para cada una de las manos del sujeto experimental. La configuración consistirá en colocar los electrodos de la SpikerBox en dirección paralela a los músculos palmares y el electrodo de referencia fuera del sistema, ejemplo en el dorso de la mano, como se muestra en la Figura 7. La mano del brazo a tomar los datos deberá sostener y apretar el Dinamómetro para obtener los datos en conjunto de fuerza y la actividad del músculo, Figura 7. Esta configuración es válida para ambas manos y para ambas pruebas.

3.1. La primera prueba se deberá llegar a fuerzas específicas, monitoreando los valores en la interfaz, las cuales son: 50N, 100N y 200N. Dichas fuerzas tendrán que ser sostenidas en intervalos de 20 s. Nota: Tomar en cuenta el tiempo de cambio de los valores de fuerza.

3.2. La segunda prueba consistirá en realizar medición de reposo los primeros 5 segundos de medición. Posteriormente deberá aplicar la mayor fuerza que sea capaz al Dinamómetro, manteniéndola en un intervalo de tiempo de 60s. Tomar reposo y repetir dicho procedimiento en un intervalo de 120s.

Ambas pruebas deberán ser realizadas para ambas manos.

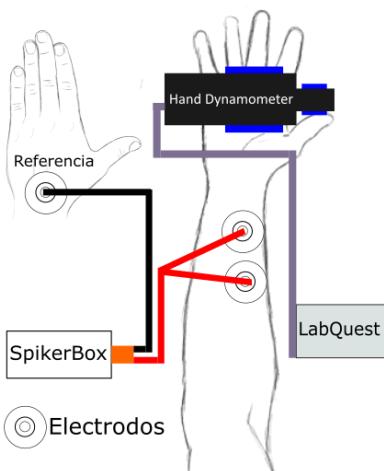


Figura 7: Configuración para la toma de fuerza con el Dinamómetro y el EMG.

4. Almacenamiento de los datos.

Apagar la SpikerBox, el Hand Dynamometer y el LabQuest. Al terminar se deberá apagar el registro y guardar, asegurando que los registros sean útiles comparando con las referencias para dichos registros, pueden ser encontrados en la página de <https://backyardbrains.com> para guiarse que los resultados sean los esperados. Los datos deben ser guardados en formato .wav para el análisis.

5. Desmontaje de los equipos.

El equipo de electromiografía deberá apagarse antes de desconectar los cables, posteriormente los electrodos se removerán cuidadosamente para no lastimar la piel del participante. Los electrodos se desecharán después de cada registro. Guardar todos los componentes, desconectar con cuidado de la Computadora o teléfono, y retirar la pila antes de guardar en el empaque.

Asegurarse que los datos de ambos registros se hay guardado correctamente. El análisis de los datos se realizará con el software que más le convenga al analista y dependiendo del enfoque y la información que se quiera obtener de los datos.

Preguntas de Estudio

- ¿Cuál es la relación de ambos registros al visualizar los cambios en los registros del EMG conforme se aplique una fuerza en el dinamómetro? Describa la sincronización de ambas gráficas en cada proceso del movimiento de la mano.
- Explique la relevancia de tener condiciones Diestras, Ambidiestras o Surdas reflejada en los datos de fuerza para diferentes personas.
- ¿Cómo participarán otros grupos musculares, (mencione cuales), para que el reclutamiento de neuronas motoras alcance niveles de fuerza mayor aplicada en el experimento?
- ¿Qué otra configuración realizarías para obtener datos de fuerza donde cooperen diferentes grupos musculares apoyando al brazo-mano para alcanzar mayor fuerza? Especifique detalladamente desde la posición anatómica, el agarre y la variación de la masa corporal extra en el sistema.

- ¿Cómo interviene la fatiga momentánea durante el experimento en el deterioro de la fuerza y su relación con las Unidades Motoras? ¿La fatiga acumulativa al repetir el experimento es un factor que interviene en el resultado de tus datos? Explique el motivo y cómo controlaría este factor.

Agradecimientos

Gracias a la coordinación de la Licenciatura en Física Biomédica por apoyar con las instalaciones y el tiempo dentro de las asignaturas para la realización de la práctica. A los alumnos y profesores involucrados para los conocimientos necesarios para que se desarrolle con éxito el trabajo a realizar. A los alumnos de las primeras generaciones de la carrera de Física Biomédica de la UNAM que aportaron las bases para el desarrollo de la práctica.

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 y PE213219).

Referencias

- [Pérez et al., 2008] Pérez, F. A., D Alessandro Martínez, A. J., & Azuaje, J. D. C. (2008). Modelo biomecánico de la generación de fuerza muscular en condiciones isométrica y tetánica. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*, 27(1), 26-28.
- [Carrere, 2010] Carrere, M. T. A. (2010). Biomecánica clínica. Fuerza, trabajo y potencia muscular. REDUCA (Enfermería, Fisioterapia y Podología), 2(3).
- [Resnick, 2012] Resnick, R., Halliday, D., & Krane, K. (2012). Física, volumen 1 (4ta ed.). México: Limusa.
- [Serway, 2014] Serway, R. A., & Jewett Jr, J. W. (2014). Física para ciencias e ingeniería (9na ed.). México: Cengage Learning.
- [Bosco et al., 1995] Bosco, C., Belli, A., Astrua, M., Tihanyi, J., Pozzo, R., Kellis, S., & Tranquilli, C. (1995). A dynamometer for evaluation of dynamic muscle work. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 70, 379-386.
- [Correa et al., 2017] Correa, C. H. G., Gallego, L. E. S., & Sánchez, L. R. S. (2017). Diferentes valores de referencia para dinamómetro de mano: Una cuestión conflictiva. *Nutrición clínica y dietética hospitalaria*, 37(3), 104-110.
- [Shaly et al., 2001] Sahaly, R., Vandewalle, H., Driss, T., & Monod, H. (2001). Maximal voluntary force and rate of force development in humans-importance of instruction. *European journal of applied physiology*, 85, 345-350.
- [Rainoldi et al., 2001] Rainoldi, A, Bullock-Saxton, J.E., Cavarretta, F., Hogan, N. (2001). Repeatability of maximal voluntary force and of surface EMG variables during voluntary isometric contraction of quadriceps muscles in healthy subjects. *J Electromyogr Kinesiol*. 11(6):425-38. doi: 10.1016/s1050-6411(01)00022-0. PMID: 11738955.

- [Monreal, 2007] Monreal-González, R. J. (2007). La mano, origen, evolución y su papel en la sociedad: formation, évolution et rôle dans la société. Revista Cubana de Ortopedia y Traumatología, 21(2), 0-0.
- [Moore, 2013] Moore, K. L., Agur, A. M., & Dalley, A. F. (2013). Fundamentos de Anatomía con orientación clínica, p.p 71-80 (7a. ed.). Wolters Kluwer, Barcelona, España.
- [Hall & Guyton, 2016] Hall, J. E., & Guyton, A. C. (2016). Tratado de fisiología médica: Unidad II: Fisiología de la membrana, el nervio y el músculo, Capítulos 5-8 (13.a ed.). Elsevier.
- [McCall, 2010] McCall, R.P (2010). Physics of the human Body. The Johns Hopkins University Press.
- [Tortora, 2013] Tortora, G. J., Derrickson, B. (2013) Principios de Anatomía y Fisiología (13.^a ed.) Médica Panamericana.

Prácticas de Electroencefalografía

Práctica 1: Electroencefalografía superficial en estado de reposo con ojos cerrados y ojos abiertos.

Saúl A. Saldaña Enciso¹, Dra. Gabriela González González²

1 Licenciatura en Física Biomédica; 2 Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México

Resumen

Este texto es un protocolo básico de electroencefalografía superficial, desarrollado para visualizar el comportamiento de la actividad eléctrica cerebral en estado basal. El protocolo se puede realizar con cualquier equipo de electroencefalografía que contenga canales en la región posterior. En este caso se ejemplifica el uso de un sistema Emotiv EPOC+ de 14 canales. El tiempo neto de registro es de 3 minutos, durante el cual el participante realizará las tareas alternadas de apertura y cierre de ojos con la finalidad de obtener registros de las ondas alfa, asociadas al estado de reposo con ojos cerrados, y sus variaciones en amplitud. Los datos adquiridos durante el protocolo podrán ser visualizados y almacenados como series de tiempo para su posterior análisis. La realización de este protocolo representa un acercamiento sencillo a la técnica de electroencefalografía superficial y al análisis cualitativo de la información fisiológica que ofrece la actividad cerebral.

Especificaciones

Nivel de estudio:	Licenciatura.
Carreras:	Biología, Física, Medicina, Física Biomédica y otras carreras afines.
Semestres:	4to semestre en adelante o a partir del segundo año.
Para uso en las Asignaturas:	Fisiología, Morfológica II, Electrofisiología, biomatemáticas y afines.
Prerrequisitos recomendados:	Conocimientos básicos en electrofisiología, biología molecular y celular de células excitables, morfológica.
Duración de la Práctica:	30 minutos por registro (desde la colocación del equipo hasta que se retira).
Lugar para realizar la Práctica:	Aula o Laboratorio, con un espacio apropiado que permita aislar estímulos sonoros y lumínicos externos.
Precauciones:	Evitar maltrato al equipo, aislar correctamente de otros aparatos electrónicos y contar con las condiciones óptimas para la toma de datos.

Otras indicaciones:	Realizar el protocolo en equipo de máximo 4 integrantes. El participante que se realizará la prueba debe tener el cabello lavado con jabón neutro, sin gel ni cualquier otro producto para peinar o tratamientos capilares. Dormir alrededor de 8 horas la noche previa al registro. Tomar desayuno ligero y balanceado, evitando alimentos y bebidas altamente energéticos o estimulantes (café, refresco, chocolate, galletas ricas en azúcares), por lo menos 8 horas antes del procedimiento.
---------------------	--

Objetivos

Antes de la práctica: Conocer las generalidades anatómicas y funcionales del cerebro y la corteza cerebral. Conocer los conceptos básicos sobre el funcionamiento de las células excitables cerebrales y la información fisiológica que nos brinda el estudio de su actividad. Comprender que existen variaciones en los registros electroencefalográficos en diferentes estados fisiológicos y que estas variaciones son importantes en el área biomédica, ya sea aplicadas en la clínica o en la investigación.

Durante la práctica: Aprender a realizar registros de EEG y comprender las ventajas y desventajas de esta técnica. Reconocer la importancia de realizar actividades o tareas específicas para obtener información clara de los estados fisiológicos a estudiar. Comprender el sistema de colocación de electrodos y su configuración para obtener óptimamente la información a estudiar.

Después de la práctica: Entender la complejidad de realizar un registro de EEG, comprender su proyección visual y conocer la información cualitativa y cuantitativa que se puede extraer al analizar los datos obtenidos. Comprender la importancia del estado de reposo con ojos cerrados para la visualización de las ondas alfa y su relación directa con el lóbulo occipital.

Antecedentes

Anatomía y Fisiología del Cerebro Humano

El sistema nervioso central (SNC) está constituido por el encéfalo y la médula espinal y es el encargado del procesamiento de la información que recibimos a través de los sentidos, de los procesos cognitivos y los procesos de memoria; además, controla las emociones y se encarga de los pensamientos abstractos [Tortora & Derrickson, 2013; Rizzo, 2011; Moore & Dailey, 2013].

El encéfalo se localiza en la cavidad craneal y está constituido por el cerebro, el cerebelo y el bulbo raquídeo o médula oblonga (Figura 1). El cerebro se estructura por giros, protuberancias y circunvoluciones; y se delimita por surcos o cisuras. El cerebro se divide en dos hemisferios, derecho e izquierdo, separados por la cisura interhemisférica y conectados por el cuerpo calloso, que sirve como puente de información entre ambos. El control del cuerpo por los hemisferios es contralateral [Snell, 2007; Arango & Pimienta, 2004].

Los hemisferios se subdividen en cuatro lóbulos: Frontal, Temporal, Parietal y Occipital (Figura 1) cada uno encargado de controlar funciones fisiológicas específicas. El lóbulo Frontal se encuentra en la parte anterior del cerebro, es el encargado de la planificación, el razonamiento y la resolución de problemas; y contiene en su parte más posterior al córtex somatomotor encargado del control motor del cuerpo. El lóbulo Parietal contiene en su parte más anterior al córtex somatosensorial encargado de interpretar la información sensorial táctil externa y de dar respuesta, adicionalmente este lóbulo se relaciona con las respuestas al dolor. El lóbulo Temporal es responsable de la interpretación de los estímulos auditivos, del procesamiento, el lenguaje y la memoria. El lóbulo Occipital procesa la información visual [Tortora & Derrickson, 2013; Moore & Dailey, 2013].

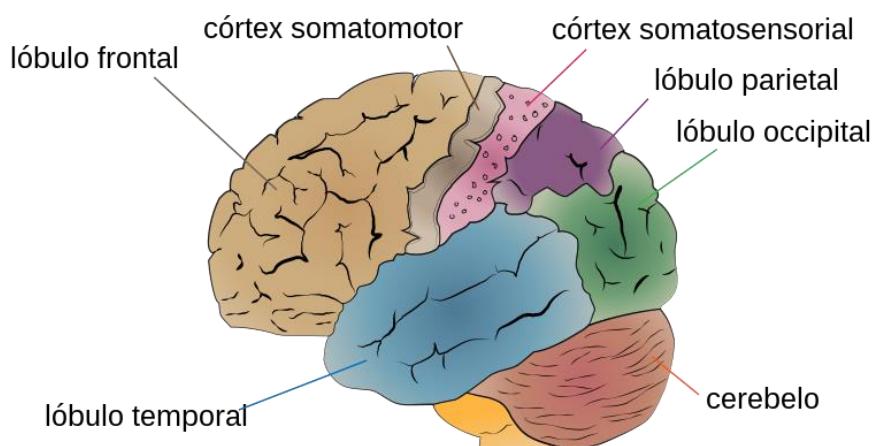


Figura 1: Lóbulos cerebrales. Imagen modificada de: jkwchui (2015); https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cerebrum_lobes-es.svg

Células del SNC

La capa más externa del cerebro se denomina corteza cerebral, mide alrededor de 5 mm y está constituida por células especializadas, denominadas neuronas, por células gliales y vasos sanguíneos. Las neuronas son las encargadas de generar y propagar pulsaciones eléctricas para permitir la comunicación celular [Tortora & Derrickson, 2013; Rizzo, 2011; Moore & Dailey, 2013]. En los 5 mm de la corteza cerebral se aglomeran principalmente los cuerpos de las neuronas y las células gliales, estas estructuras dan un color particular a esta región que se conoce como sustancia gris (Figura 2). Zonas más profundas del cerebro en donde se aglomeran las proyecciones neuronales se observan con una coloración más clara y se denominan sustancia blanca (Figura 2).

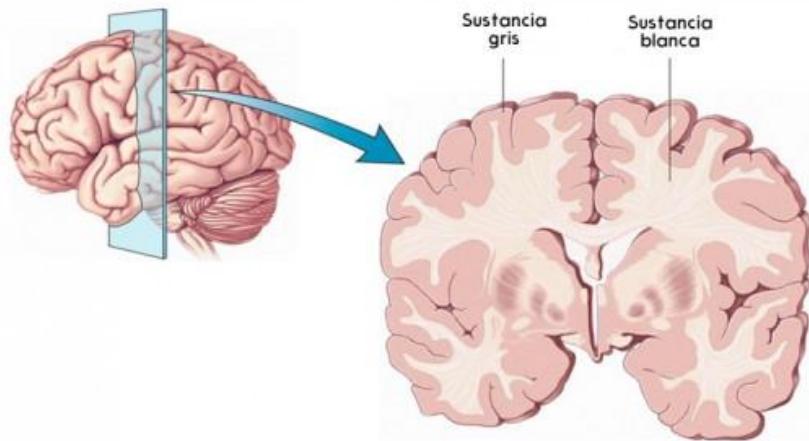


Figura 2: Representación de la Sustancia Gris y la Sustancia Blanca. Imagen obtenida de: Adrián Triglia (2016); <https://psicologiaymente.com/neurociencias/materia-gris-cerebro>

Las neuronas están constituidas por tres partes principales: el soma (cuerpo), el axón (proyección larga) y las dendritas (terminales cortas). El soma contiene al núcleo y a los principales organelos celulares, mientras que el axón y las dendritas tienen la función de transmitir y recibir información, respectivamente. El axón se encuentra rodeado por capas lipoproteicas, denominadas bandas de mielina, que optimizan la transmisión de la comunicación neuronal al funcionar como un aislante que evita la pérdida del impulso. El espacio entre cada banda de mielina se denomina Nodo de Ranvier (Figura 3) [Hall & Guyton, 2016; Snell, 2007; Moore & Dailey, 2013].

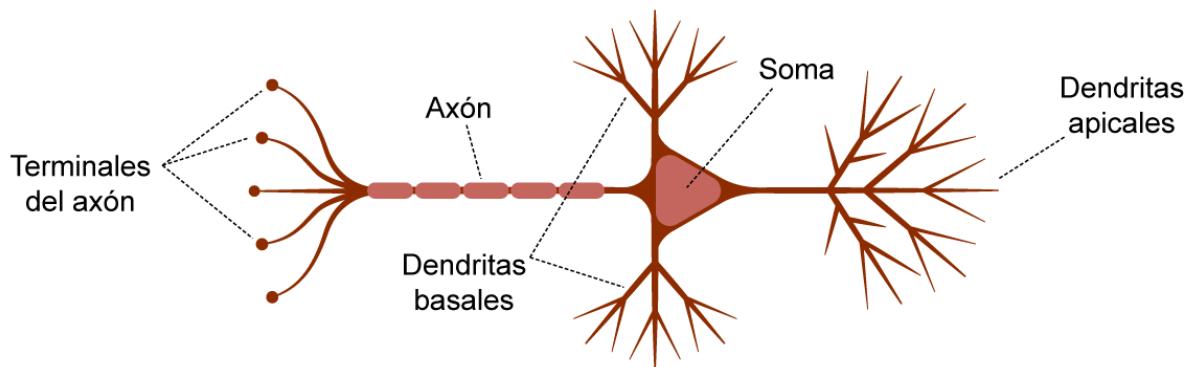


Figura 3: Representación de la Neurona piramidal y sus partes. Imagen modificada de: Marta Guerrit & PsicoActiva (2023); <https://www.psicoactiva.com/blog/celulas-piramidales/>

Las células gliales (microglía, astrocitos y oligodendrocitos) dan soporte estructural, protección y nutrición a las neuronas, además de establecer entornos óptimos para la comunicación, reciclando y regulando transmisores químicos y sus receptores (Figura 4). En las neuronas del SNC, los oligodendrocitos son los encargados de generar las bandas de mielina que recubren los axones [Tortora & Derrickson, 2013; Rizzo, 2011].

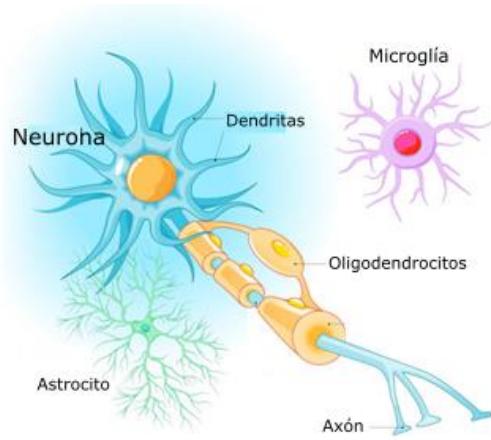


Figura 4: Representación de la Neurona y las Células Gliales. Imagen modificada de: ttsz y iStock (2023); <https://www.istockphoto.com/es/vector/neurona-y-neuroglia-estructura-de-una-neurona-y-c%C3%A9lulas-gliales-gm1480108176-507891295>

Potencial de Acción Neuronal

La comunicación neuronal se realiza por medio de sinapsis, estructura y mecanismo por el cual se transmite información química o eléctrica de una neurona presináptica (que envía información), a una neurona postsináptica (que recibe información), siendo una vía unidireccional de información cuando es química y bidireccional cuando es eléctrica. La sinapsis genera redes complejas de información para comunicar áreas locales del cerebro, a todo el cerebro y al cerebro con el cuerpo. Para que se lleve a cabo la sinapsis química se necesitan neurotransmisores (mensajeros químicos) que van a activar canales y corrientes iónicas, que producirán cambios en la membrana de la neurona postsináptica, en forma de señales eléctricas que se denominan potenciales de acción (PA). Los PA son un fenómeno de todo o nada y pueden viajar a velocidades de 1 a 100 m/s [Hall & Guyton, 2016; Kandel et al., 2013].

Durante la transmisión sináptica ocurre un cambio en la polaridad de la membrana por el ingreso de iones positivos, este proceso se denomina despolarización. El potencial de membrana basal de la neurona es de alrededor de -70mV por lo que durante la despolarización el potencial de membrana se hace más positivo y puede llegar a un valor denominado umbral de disparo alrededor de los -55mV. Cuando se alcanza este umbral la neurona es capaz de producir un PA. Durante la primera fase del PA se abren un gran número de canales iónicos, permitiendo la entrada masiva de iones con carga positiva, principalmente sodio (Na^+) a la neurona, lo cual trae como consecuencia una despolarización rápida que se acerca a los 40mV. Los canales de sodio se inactivan terminando el proceso de despolarización, se empiezan a cerrar los canales de Na^+ y comienzan a abrirse canales de K^+ , que van a sacar iones positivos K^+ de la neurona para restablecer el valor del potencial de membrana basal; este proceso hará a la neurona más negativa y se denomina repolarización. Finalmente, dada la salida de tantos iones positivos la célula alcanzará un valor de potencial menor a los -70mV, denominado hiperpolarización, por lo que deberá activar un mecanismo mediado por la bomba de Na^+ y K^+ para reestablecer su valor de potencial de membrana y terminar con el PA (Figura 5). Para que el potencial de acción alcance la transmisión desde el soma hasta la terminal axonal, el axón tiene un aislante de

mielina y, con ayuda de la apertura y cierre de canales iónicos sensibles a voltaje mantiene el impulso a lo largo del viaje [Stuart et al., 1997; Hall & Guyton, 2016; Kandel et al., 2013].

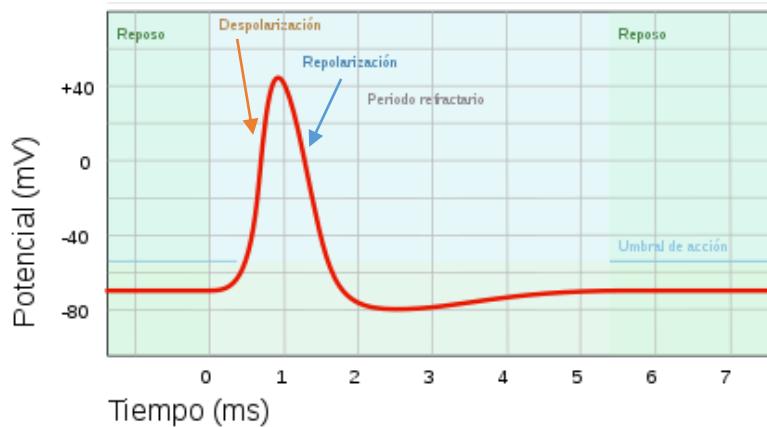


Figura 5: Representación gráfica del Potencial de Acción Neuronal. Imagen obtenida de: Artatoe (2016); https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Potencial_de_acci%C3%B3n_neuronal.svg

Encefalografía Superficial

La electroencefalografía superficial (electroencefalograma o EEG) es una técnica médica de exploración funcional utilizada para registrar la actividad bioeléctrica de la corteza cerebral en tiempo real. El registro de esta actividad se obtiene a través de electrodos metálicos de superficie que captan diferencias de potencial eléctrico y que se colocan de acuerdo con el sistema internacional 10-20%; este sistema asegura que las posiciones de los electrodos realicen un mapeo estándar y completo de la corteza cerebral independientemente del tamaño de la cabeza del sujeto (Figura 6). El sistema internacional 10-20% utiliza un código conformado por una letra mayúscula y un número o una letra minúscula. Las letras mayúsculas hacen referencia a la región cerebral: F (frontal), P (parietal), T (temporal), O (occipital) o C (para canales sobre el surco central); y los números hacen referencia al hemisferio: números pares corresponden al hemisferio derecho (F4, P4, T4, O2) y números impares al hemisferio izquierdo (F3, P3, T3, O1). Para nombrar los canales sobre la línea interhemisférica se utiliza la letra z minúscula después de la letra del lóbulo (Fz, Pz, Cz). Para etiquetar canales utilizados como referencia se utiliza la letra mayúscula A. El número de combinaciones entre letras y números va a depender de los canales utilizados y de las regiones en las que se divide el cerebro para su mapeo [Morillo, 2005; Ramos et al., 2009; Talamillo, 2001].

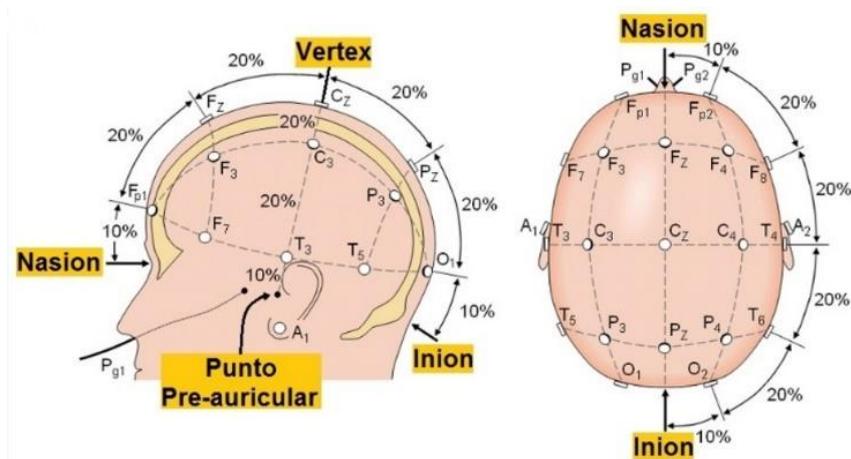


Figura 6: Sistema Internacional 10-20% para la colocación de electrodos extracraneales. Las letras señalan el área (Fp, Frontopolar; F, Frontal; C, Central; P, Parietal; T, Temporal y O, Occipital). Imagen modificada de: Novo-Olivas, Chacón Gutiérrez y Alberto Barradas Bribiesca (2010); https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Sistema-Internacional-10-20-para-la-colocacion-de-los-electrodos_fig2_282294960

Entre los electrodos y las capas neuronales, las corrientes penetran a través de la piel, tejido conectivo, tejido fibroso y hueso [Mantri et al., 2013] por lo que deben ser amplificadas para generar una señal que se pueda observar y analizar [Morillo, 2005; Talamillo, 2001]. La actividad bioeléctrica registrada en el EEG es resultado de la suma de los potenciales postsinápticos excitatorios e inhibitorios de cientos de neuronas piramidales de la corteza cerebral ubicadas en la vecindad del electrodo, y de la interacción de estas redes neuronales con las fluctuaciones de los potenciales de membrana de las redes de células gliales [Morillo, 2005; Ramos et al., 2009; Mantri et al., 2013; Amzica & Lopes, 2011]. De acuerdo con Jefferys (1995), los potenciales de acción sincronizados de las redes neuronales pueden contribuir con los componentes de alta frecuencia; mientras que las células gliales están involucradas en la generación de potenciales locales lentos [Somjen & M., 1979]. El EEG es un procedimiento indoloro, no invasivo y de bajo coste que puede ser aplicado repetidamente sin riesgo ni limitaciones; no está contraindicado en ningún caso y no tiene efectos secundarios [Ramos et al., 2009; Talamillo, 2001; Mantri et al., 2013].

Ondas Cerebrales

Las ondas cerebrales se definen como patrones oscilatorios de la actividad eléctrica generadas por la interacción de los circuitos celulares que componen la corteza cerebral; representan procesos fisiológicos y dan un panorama general del funcionamiento de la actividad neuronal. Las ondas cerebrales se clasifican de acuerdo con su frecuencia y amplitud, y cada una está asociada con diferentes estados fisiológicos. Las ondas cerebrales de baja frecuencia son: Alfa, Beta, Gamma, Theta y Delta (Figura 7); y las de alta frecuencia son: Ripples y Fast Ripples [Cannon et al., 2014; Sciotto & Niripil, 2018; Velasco, 2013].

Las ondas alfa tienen frecuencias de 8 a 12 Hz, se observan principalmente en un estado de reposo con ojos cerrados y se observan con gran amplitud en el lóbulo occipital asociadas a la corteza visual primaria [Sciotto & Niripil, 2018; Cardona & Segovia, 2014]. Las ondas beta tienen frecuencias de 13 a 30 Hz y están presentes en el lóbulo frontal, en donde se asocian con estados de alerta, concentración y resolución de tareas complejas. Las ondas gamma tienen frecuencias de 30 a 79Hz y se asocian con el procesamiento cognitivo complejo y la integración sensorial. Estas ondas son más notables en el lóbulo parietal donde

ocurren procesos de percepción consciente, atención selectiva y memoria a corto plazo [Sciotto & Niripil, 2018; Cardona & Segovia, 2014]. Las ondas Theta tienen frecuencias entre 4 y 8 Hz y se asocian principalmente con estados de somnolencia. Las ondas Delta tienen frecuencias de 0.5 a 4 Hz y están altamente asociadas con el sueño profundo e inconsciencia del cuerpo [Sciotto & Niripil, 2018].

El estudio de las ondas cerebrales es importante en el diagnóstico y tratamiento de trastornos neurológicos y psiquiátricos, así como en el estudio de la función cerebral normal.

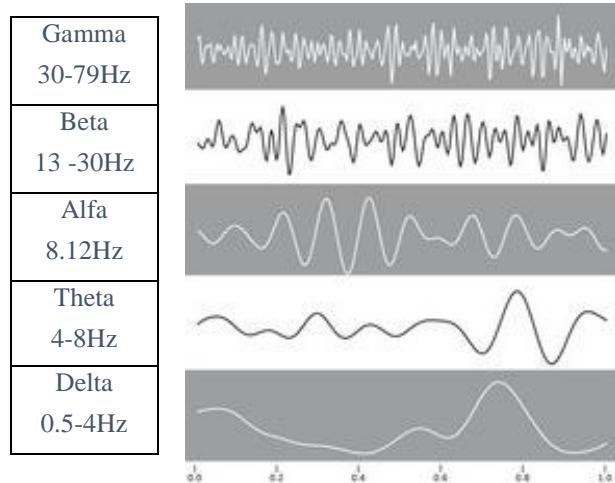


Figura 7: Ondas Cerebrales en el Humano. Imagen modificada de: Shutterstock y Artellia (2023); <https://www.shutterstock.com/es/image-vector/human-brain-waves-diagram-illustration-black-784934473>

Equipo

- Sistema de EEG cuya distribución de electrodos abarque principalmente los lóbulos occipitales.
- Tasa de muestreo mínima del equipo de 100Hz.
- Computadora con el software apropiado para el equipo de EEG a utilizar.
- Gel conductor o solución salina.
- Peine o instrumento delgado para mover el cabello.
- Sanitas o papel.
- Una silla cómoda y fija.
- Un espacio tranquilo en donde se puedan evitar estímulos auditivos y luminosos.

Nota: Este protocolo se construyó con el sistema Emotiv EPOC+ de 14 canales con tasa de muestreo de 128Hz y el software EmotivLauncher 3.5.2.340/EmotivPRO, con licencia de paga, por consiguiente, se hablará de este equipo en el resto del protocolo. En caso de usar otro equipo tomar en cuenta sus condiciones de uso y preparación para adaptar el protocolo.

- Juegos de electrodos desmontables para el sistema Emotiv EPOC+ con sus respectivos fieltros.

Procedimiento

IMPORTANTE: En caso de que los registros electroencefalográficos obtenidos se utilicen con fines de investigación contar con la aprobación de un comité ético, además, se recomienda obtener la firma del participante en el consentimiento informado antes de iniciar el protocolo (ANEXO 1). Adicionalmente, se recomienda llenar el cuestionario de información general para obtener detalles que puedan ser relevantes durante el análisis de los datos (ANEXO 2).

I. Preparación del equipo de electroencefalografía:

Antes de iniciar la práctica se debe asegurar que los equipos utilizados cuenten con la suficiente batería para el procedimiento, de lo contrario se deberán cargar. Mantener el equipo apagado hasta el momento de su utilización.

Los electrodos utilizados por el sistema Emotiv EPOC+ deben ser preparados antes de la colocación en el equipo:

- 1) Sustraer los electrodos de su caja de almacenamiento y su respectivo fieltrito de contacto (Figura 8).
- 2) Humedecer con solución salina los fieltros y colocarlos en los electrodos, asegurar que exista buen contacto entre ambas partes.

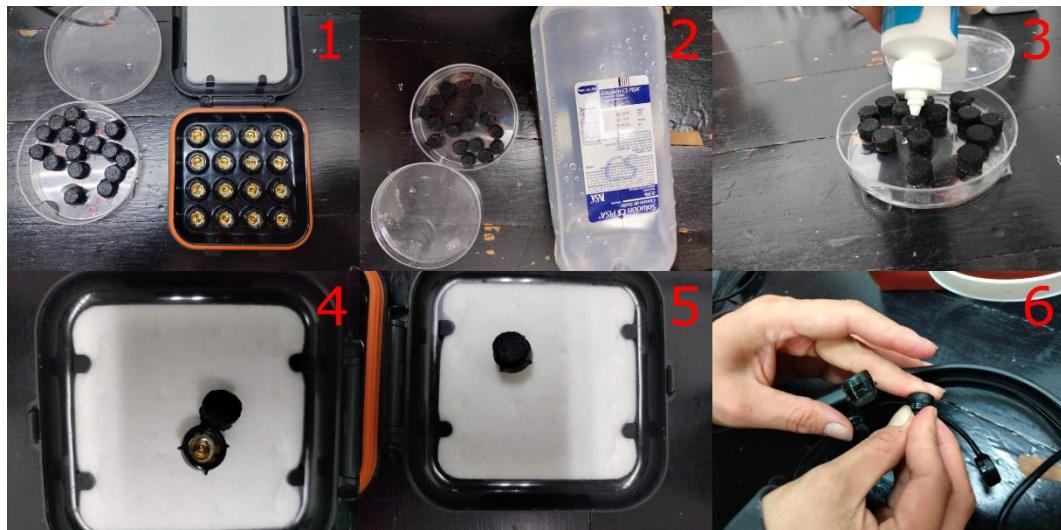


Figura 8: Caja de electrodos del sistema Emotiv EPOC+. Pasos para la preparación del fieltrito de contacto con solución salina, colocación en los electrodos metálicos y montaje en el equipo.

- 3) Colocar correctamente los electrodos en el equipo (Figura 9).



Figura 9: Diadema del sistema Emotiv EPOC+

El proceso de humidificación de los electrodos debe ser replicado cuando se identifique que los electrodos se encuentran secos y la calidad de contacto y/o registro es baja.

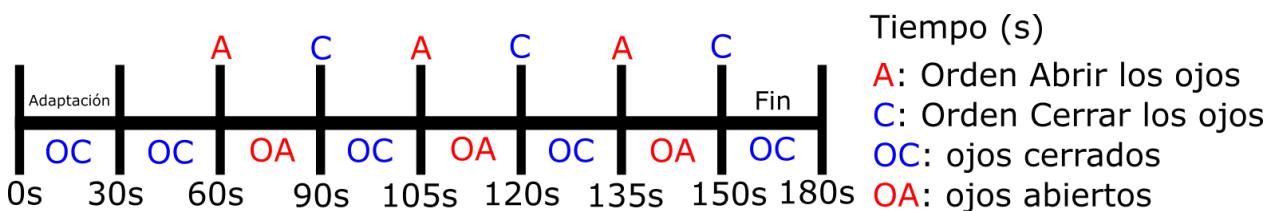
II. Tareas de la prueba y procedimiento a seguir:

La realización de las tareas consta de 3 minutos totales y consiste en alternar tareas fisiológicas de ojos cerrados y ojos abiertos; para esto se le pedirá al participante abrir y cerrar los ojos en tiempos determinados. El aplicador usará las indicaciones “ABIERTOS” y “CERRADOS” para referirse a la acción de abrir y cerrar los ojos evitando otras palabras y distracciones que generen ruido en el registro.

Cronograma:

Las tareas para realizar por el participante seguirán el siguiente protocolo temporal:

- a) 30 seg con ojos cerrados (tiempo de adaptación, segundo 0 a 30)
- b) 30 seg con ojos cerrados (segundo 30 a 60)
- c) 30 seg con ojos abiertos (segundo 60 a 90)
- d) 15 seg con ojos cerrados (segundo 90 a 105)
- e) 15 seg con ojos abiertos (segundo 105 a 120)
- f) 15 seg con ojos cerrados (segundo 120 a 135)
- g) 15 seg con ojos abiertos (segundo 135 a 150)
- h) 30 seg con ojos cerrados (tiempo final del registro, segundo 150 a 180)



III. Colocación del equipo electroencefalográfico:

Nota: Antes de colocar el equipo comunicar explícitamente al participante que se le tocará la cabeza durante la colocación y retiro del mismo. Además, informarle que éste es un procedimiento que no le causara molestia o dolor, y solicitarle que en caso de presentar alguna incomodidad lo comunique inmediatamente.

1. Solicitar al participante que se siente en la silla en una posición cómoda y relajada.
2. Retirar lentes y/o cualquier otro artefacto que pueda interferir con la colocación del equipo (pasadores, ligas para el cabello o adornos). Colocar el equipo como se muestra en la Figura 10.

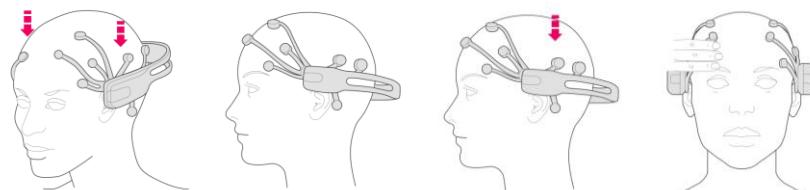


Figura 10: Colocación del sistema Emotiv EPOC+. Imagen obtenida de: EMOTIV Inc. (2023); <https://www.emotiv.com/setup/epoc/>

IV. Preparación del Software y verificación de calidad de contacto y registro

1. Sincronizar la señal del equipo electroencefalográfico con la computadora mediante el dispositivo USB-Bluetoooh.
2. Abrir el Software EmotivLauncher/EmotivPRO y asegurarse que exista comunicación entre la computadora y el equipo.
3. Verificar la calidad de contacto entre cada electrodo y el cuero cabelludo. La calidad de contacto se ajustará de acuerdo con los valores de porcentaje o los códigos de color que están predeterminados en el Software (Figura 11). Asegurarse que todos los canales marquen 100% de calidad de contacto o en su caso estén todos coloreados de verde antes de continuar. Para asegurar el buen contacto de cada uno de los electrodos se recomienda mover el cabello debajo de cada uno con el peine, humectarlos con más solución salina, centrar el equipo o reajustar desde cero.
4. Verificar la calidad del registro. Solicitar al participante que mantenga los ojos cerrados y se relaje. Esta calibración utiliza los mismos porcentajes y colores que la interfaz de calidad de contacto, por lo tanto, se esperará a que todos los canales tengan el 100% de calidad o se encuentren en color verde durante al menos 5 segundos (Figura 11).

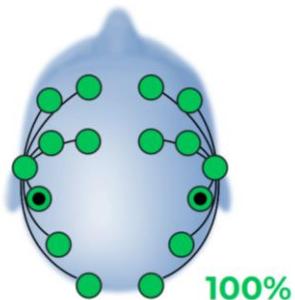


Figura 11: Mapa de calidad de contacto en cada uno de los sensores del sistema Emotiv. Imagen modificada de: EMOTIV Inc. EPOC+ USER MANUAL (2023); https://emotiv.gitbook.io/epoc-user-manual/troubleshooting/contact_quality

5. Una vez colocado el equipo correctamente y cuando las condiciones de contacto y registro son óptimas: apagar la luz eléctrica; si es posible cerrar cortinas y disminuir cualquier fuente intensa de luz natural. Apagar equipos electrónicos (celulares u otras computadoras) que se encuentren cerca del participante y evitar cualquier tipo de ruido.

V. Realizar las tareas y el registro.

1. Cuando las condiciones sean adecuadas, empezar con el registro realizando las tareas previamente señaladas. La interfaz de visualización del Software Emotiv PRO para el equipo Emotiv Epoc+ se presenta en la Figura 12.

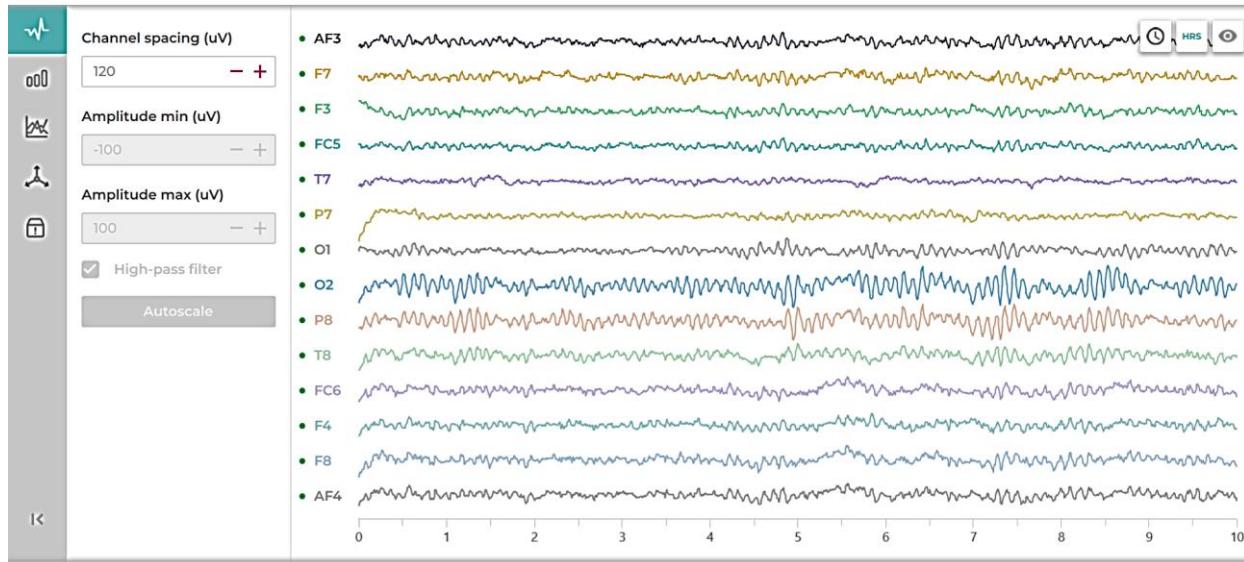


Figura 12: Interfaz del Software Emotiv PRO. Visualización de las ondas alfa en canales O1 y O2. Registro realizado por los autores.

2. Al finalizar las tareas el registro tendrá una duración de 180 segundos.

VI. Almacenamiento de los datos

1. En caso de que los datos sean almacenados para un posterior análisis, se recomienda utilizar la siguiente clave: No. de participante, sexo, edad y EC_EO. Ejemplo para la participante No.23, mujer de 19 años: P23_M19_EC_EO. Ejemplo para el participante No.54, hombre de 25 años: P25_H25_EC_EO.

VII. Desmontaje del equipo

1. Al terminar el registro el equipo se deberá apagar, retirar la diadema y asegurarse de que los datos se guardaron correctamente.
2. Posteriormente se retirarán cada uno de los electrodos de la diadema y se retirarán sus filtros de contacto para secarlos de manera individual y evitar la oxidación de los electrodos.

VIII. Análisis de los datos

El análisis de los datos se realizará con el software que más le convenga al analista y dependiendo del enfoque y la información que se quiera obtener de los datos. Sin embargo, se recomienda en todos los casos realizar inicialmente la visualización de las series de tiempo para confirmar que los 180 segundos de información se grabaron correctamente y los datos se observan como los de un EEG. Los datos deben ser guardados en formato .csv para el análisis.

Preguntas de estudio para contestar después de realizar el protocolo

- ¿Por qué es importante la tasa de muestreo en este tipo de pruebas electrofisiológicas?
- ¿Qué importancia tiene el control del espacio y los estímulos externos al realizar pruebas de EEG?
- ¿Cómo afectaría el movimiento de los músculos de la cara en los resultados obtenidos en esta prueba?

- ¿Por qué en esta prueba no podemos tener certeza de otros procesos fisiológicos como procesos cognitivos, sensoriales y motores? Expliquen por qué desde el punto anatómico, fisiológico e instrumental.

- ¿De qué manera influye el posicionamiento de los electrodos y su configuración en la cabeza en la toma de datos en EEG? ¿Los datos obtenidos en las pruebas con diferentes configuraciones de electrodos tendrán relación entre sí? Explique sus respuestas desde el punto de vista fisiológico.

Agradecimientos

A la Dra. Erin C. McKiernan por brindarnos todo su apoyo y conocimiento, por guiarnos y darnos la oportunidad de crecer. Gracias a la coordinación de la Licenciatura en Física Biomédica por apoyar con las instalaciones y el tiempo dentro de las asignaturas para la realización de la práctica. A los alumnos y profesores involucrados para los conocimientos necesarios para que se desenvuelva con éxito el trabajo a realizar. A los voluntarios que prestaron su tiempo para realizar pruebas para que fuera posible el desarrollo de cada aspecto pedagógico del proyecto.

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 y PE213219).

Referencias

[Tortora, 2013] Tortora, G. J., Derrickson, B. (2013) Principios de Anatomía y Fisiología (13.^a ed.) Médica Panamericana.

[Moore, 2013] Moore, K. L., Dailey, A. F., (2013). *Anatomía con orientación clínica* (7.^a ed.). Wolters Kluwer.

[Rizzo, 2011] Rizzo, D. (2011). Introducción al sistema nervioso, médula espinal y nervios espinales. En Fundamentos de anatomía y fisiología (3.^a ed., pp. 226–571). Cengage Learning.

[Snell, 2007] Snell, R. (2007). Neuroanatomía Clínica (6.a ed.). Médica Panamericana.

[Arango & Pimienta, 2004] Arango, C. A., Pimienta, H. J. (2004). EL CEREBRO: DE LA ESTRUCTURA Y LA FUNCIÓN A LA PSICOPATOLOGÍA Primera parte: Bloques funcionales. Revista Colombiana de Psiquiatría, Suplemento No. 1, Vol. XXXIII. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcc/v33s1/v33s1a07.pdf>

[Hall & Guyton, 2016] Hall, J. E., & Guyton, A. C. (2016). Tratado de fisiología médica: Unidad II: Fisiología de la membrana, el nervio y el músculo, Capítulos 5-8 (13.a ed.). Elsevier.

[Kandel et al., 2013] Kandel, E. R., Schwartz, J. H., & Jessell, T. M. (2013). Principles of neural science. Trends in Neurosciences, 5^o edición, 134–135. [https://doi.org/10.1016/0166-2236\(82\)90076-5](https://doi.org/10.1016/0166-2236(82)90076-5)

- [Cannon et al. 2014] Cannon, J., McCarthy, M. M., Lee, S., Lee, J., Börgers, C., Whittington, M. A., & Kopell, N. (2014). Neurosystems: brain rhythms and cognitive processing. *European Journal of Neuroscience*, 39(5), 705-719.
- [Sciutto & Niripil, 2018] Sciutto, E., & Niripil, E. (2018). Ondas cerebrales, conciencia y cognición. *Organización para la Prevención y Promoción de la Salud en la Educación*.
- [Velasco, 2013] Velasco, P. M. G. (2013). *Influencia de la estimulación sonora binaural en la generación de ondas cerebrales* (Doctoral dissertation, Universidad Complutense de Madrid).
- [Amzica & Lopes, 2011] Amzica, F. y H. Lopes da Silva. (2011). Cellular Substrates of Brain Rhythms. En: Schomer, D. y F. Lopes da Silva (eds.). Niedermeyers's Electroencephalography. Basic principles clinical applications, and related fields. 6^a ed. Oxford University Press. New York, United States of America. Pp.20-62.
- [Cardona & Segovia, 2014] Cardona, J. S. C., & Segovia, N. F. (2014). Eficacia al alternar las ondas cerebrales. *Montaje y producción*, 2026.
- [Ramos et al. 2009] Ramos, F., Morales, G., Egoscue, S., et al. (2009). Técnicas básicas de electroencefalografía: principios y aplicaciones. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*, 32 (Supl 3):69-82.
- [Morillo, 2005] Morillo, L. (2005). Análisis visual del electroencefalograma. En: Asociación Colombiana de neurología (ed). Guía Neurológica 7, Capítulo 17. Pp. 143-163.
- [Talamillo, 2001] Talamillo, T. (2011). Manual básico para enfermeros en electroencefalografía. *Enfermería Docente*, 94:29-33.
- [Mantri et al. 2013] Mantri, S., Dukare, V., Yeole, S., et al. (2013). A Survey: Fundamental of EEG. *International Journal of Advance Research in Computer Science and Management Studies*, 1(4): 83-88.
- [Jefferys, 1995] Jefferys, J. (1995). Nonsynaptic modulation of neural activity in the brain: electric currents and extracellular ions. *Physiological Reviews*, 75:689-723.
- [Somjen & M. 1979] Somjen, G. y M. Trachtenberg. (1979). Neuroglial as generator of extracellular current. En: Speckmann E. y H. Caspers. (eds.). *Origin of Cerebral Field Potentials*. Stuttgart: Thieme. Pp.21-32.
- [Stuart et al., 1997] Stuart, G. J., Spruston, N., and Sakmann, B. (1997). Action potential initiation and backpropagation in neurons of the mammalian CNS. *Trends in Neurosciences*, 20(3), 125-131.

Práctica 2: Artefactos fisiológicos en los registros de electroencefalografía superficial

Saúl A. Saldaña Enciso¹, Dra. Gabriela González González²

1 Licenciatura en Física Biomédica; 2 Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México

Resumen

Este protocolo fue realizado para estudiar los artefactos fisiológicos más comunes observados al realizar un registro de electroencefalografía superficial. El protocolo se puede realizar con cualquier equipo de electroencefalografía que tenga canales distribuidos principalmente en la región frontal y central. En este caso se exemplifica el uso de un sistema Emotiv EPOC+ de 14 canales. El tiempo neto de registro es de 10 minutos, durante el cual el participante realizará las tareas alternadas de parpadeo, movimiento lateral del globo ocular con ojos cerrados, contracción sostenida del músculo orbicular de los párpados y la contracción sostenida de los músculos mandibulares. La realización de estas tareas ofrecerá registros de los artefactos fisiológicos más comunes que se traslanan con la actividad cerebral para que puedan ser reconocidos por los estudiantes e interpretados de manera correcta cuando se analizan cualitativa o cuantitativamente los registros electroencefalográficos.

Especificaciones

Nivel de estudio:	Licenciatura
Carreras:	Biología, Física, Medicina, Física Biomédica y carreras afines.
Semestres:	4to semestre en adelante o a partir del segundo año.
Para uso en las Asignaturas:	Fisiología, Morfológica II, Electrofisiología, Biomatemáticas y afines.
Prerrequisitos recomendados:	Conocimientos básicos en electrofisiología y en la técnica de electroencefalografía superficial. Realizar previamente la práctica de EEG básico.
Duración de la Práctica:	30-45 minutos por registro (desde la colocación del equipo hasta que se retira).
Lugar para realizar la Práctica:	Aula o Laboratorio, con un espacio apropiado que permita aislar estímulos sonoros y lumínicos externos.

Precauciones:	Evitar maltrato al equipo, aislar correctamente de otros aparatos electrónicos y contar con las condiciones óptimas para la toma de datos.
Otras indicaciones:	<p>Realizar el protocolo en equipo de máximo 4 integrantes.</p> <p>El participante que se realizará la prueba debe tener el cabello lavado con jabón neutro, sin gel ni cualquier otro producto para peinar o tratamientos capilares.</p> <p>Dormir alrededor de 8 horas la noche previa al registro.</p> <p>Tomar desayuno ligero y balanceado, evitando alimentos y bebidas altamente energéticos o estimulantes (café, refresco, chocolate, galletas ricas en azúcares), por lo menos unas 8 horas antes del procedimiento.</p>

Objetivos

Antes de la práctica: Conocer los posibles artefactos fisiológicos que pueden traslaparse con la actividad cerebral al realizar un registro de electroencefalografía superficial. Comprender que cada uno de estos artefactos tiene amplitudes y frecuencias características con las cuales pueden ser identificados cualitativamente, y posteriormente ser eliminados para aislar la actividad cerebral de interés.

Durante la práctica: Recordar los pasos básicos para realizar un registro correcto de electroencefalografía superficial. Identificar las características de los principales artefactos fisiológicos que se traslanan sobre la actividad cerebral al realizar un electroencefalograma: parpadeo, movimiento lateral ocular, contracción sostenida del músculo orbicular de los párpados y la contracción sostenida de los músculos mandibulares.

Después de la práctica: Reconocer la complejidad de realizar un registro electroencefalográfico sin la presencia de artefactos externos o fisiológicos. Comprender que al registrar este tipo de artefactos la señal electroencefalográfica debe ser preprocesada para su correcta interpretación. Comprender que la presencia de artefactos fisiológicos traslapados en la actividad cerebral al realizar un registro electroencefalográfico superficial se relacionará con el tipo de tarea cerebral que se quiera estudiar.

Antecedentes

Artefactos en los registros de electroencefalografía superficial

Cuando se lleva a cabo el análisis visual de los registros electroencefalográfico, es importante tomar en cuenta que la señal puede estar “contaminada” por señales que no son generadas propiamente por la actividad cerebral [Talamillo, 2011]. Estas señales

“contaminantes” son denominadas artefactos y pueden ser fisiológicos o no fisiológicos [Jiang et al., 2019].

Ambos tipos de artefactos pueden aparecer en forma de onda simple, como trenes de descargas o como series de ondas, y pueden ser visualizados, dependiendo de su origen, en todos los canales electroencefalográfico o solo en algunas regiones cerebrales. Existen artefactos comunes y fácilmente observables, y artefactos poco comunes y únicos, difíciles de identificar [Tatum et al., 2018].

Es importante reconocer la presencia de artefactos, tanto fisiológicos como no fisiológicos, en la señal electroencefalográfico, ya que su mala interpretación en un registro de actividad normal puede resultar en un mal diagnóstico y en la administración errónea de fármacos en las personas (Tatum et al., 2018).

Artefactos no fisiológicos

Los artefactos no fisiológicos son aquellos derivados de la máquina de electroencefalografía, del instrumental o del medio ambiente. Entre ellos se encuentran electrodos defectuosos, ruido de línea o alta impedancia de los electrodos [Tatum et al., 2018].

Nota: El siguiente protocolo se enfocará en Artefactos fisiológico, por lo que tendrá un mayor desarrollo en los tipos.

Artefactos fisiológicos

Los artefactos fisiológicos son aquellos derivados del propio individuo. Los más comunes son los oculares (parpadeo, espigas del músculo recto lateral, movimientos del globo ocular, actividad de la retina), los provenientes de la actividad cardiaca (≈ 1.2 Hz), la actividad muscular de la cabeza (0 a >200 Hz), la respiración, la temperatura corporal (sudor) y los movimientos del cuerpo [Tatum et al., 2018].

Los artefactos fisiológicos más comunes son reconocidos de acuerdo con las características morfológicas de su oscilación, la polaridad y sus características espaciales. Las descripciones de algunos artefactos fisiológicos se presentan a continuación:

Nota: Las características de los artefactos fisiológicos pueden variar dependiendo del equipo de electroencefalografía utilizado, el montaje (monopolar o bipolar) empleado en la colocación de los electrodos y la referencia. En este protocolo se realizó la descripción de los artefactos fisiológicos más comunes resultantes de la utilización de un equipo Emotiv EPOC+ de 14 electrodos con montaje monopolar con referencia en los huesos mastoideos.

Parpadeo involuntario: Se observa como una elevación escarpada y súbita sobre la actividad cerebral, que posteriormente presenta una oscilación de menor amplitud y frecuencia en sentido contrario. La primera elevación corresponde con el cierre ocular y la segunda oscilación con la apertura del ojo. Posterior a esta morfología se estabiliza la señal (Figura 1A). Los parpadeos involuntarios pueden ser en algunas personas más rápidos que en otras, cuando esto ocurre se pueden observar agrupados como elevaciones y descensos súbitos, que no presentan una segunda oscilación clara (Figura 1B); o bien, pueden ser

lentos y presentar la segunda oscilación rápida y escarpada (Figura 1C). Los parpadeos involuntarios pueden observarse desde canales AF hasta FC en ambos hemisferios.

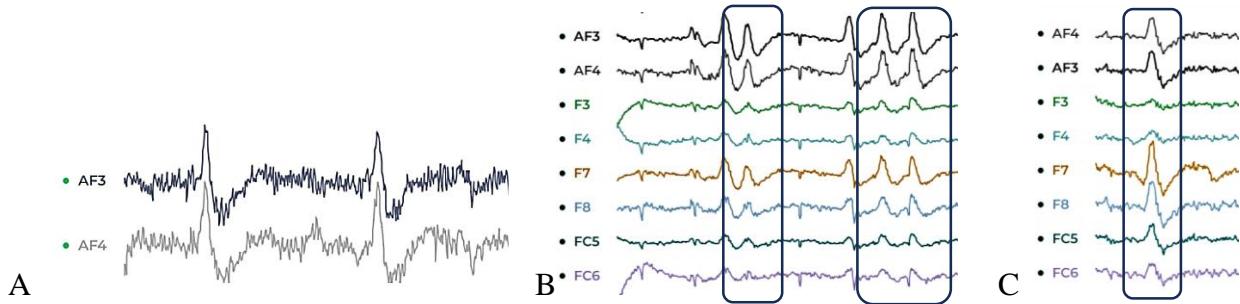


Figura 1: Representación en el EEG de los parpadeos Involuntarios. A Representación del ciclo de un parpadeo observando los cambios de la amplitud de la señal. B Grupo de parpadeos rápidos involuntarios generando trenes consecutivos. C Parpadeo único con oscilación rápida y escarpada.

Parpadeo voluntario: Se observa con mayores deflexiones positivas y negativas que los parpadeos involuntarios. Ambas deflexiones tienen morfologías compuestas. La deflexión positiva se caracteriza por iniciar con una oscilación de menor frecuencia y amplitud y terminar con un pico escarpado (Figura 2A). La deflexión negativa es una onda menos escarpada que puede presentar un pico en su nivel más negativo o componerse de un conjunto de picos. Los parpadeos voluntarios pueden observarse desde canales AF hasta canales FC en ambos hemisferios (Figura 2B).

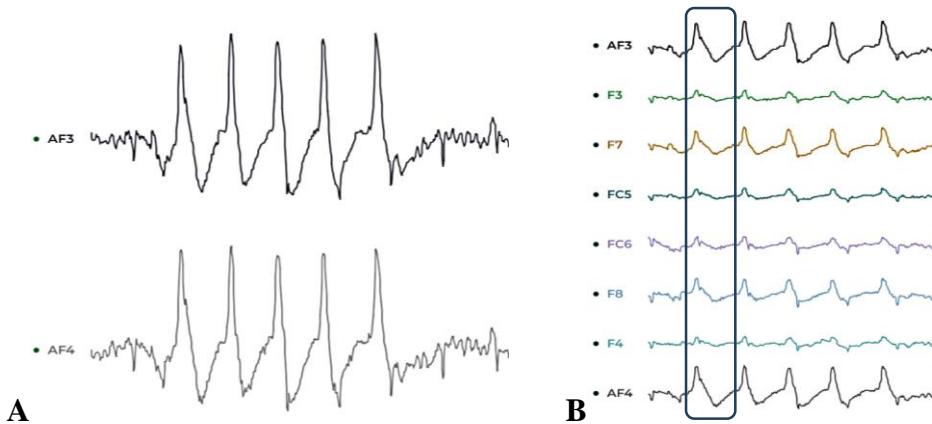


Figura 2: Representación en el EEG de cinco parpadeos voluntarios. A Deflexión positiva en ciclos de parpadeos voluntarios. B Deflexión negativa de ciclos de parpadeos voluntarios.

Movimiento lateral del globo ocular con ojos cerrados: Este artefacto es generado por movimientos laterales continuos, los cuales son muy similares a los movimientos laterales observados en el sueño MOR (Movimientos Oculares Rápidos). Se caracteriza por deflexiones positivas y negativas de gran amplitud, cuya aparición dependerá del lado hacia donde se realice el movimiento y el canal observado. Cuando el movimiento lateral inicia de la posición central hacia el lado derecho, la deflexión en los canales del hemisferio derecho es negativa y en los canales del hemisferio izquierdo es positiva; cuando los ojos se

mueven al lado izquierdo, las deflexiones se invierten (Figura 3A). El comportamiento contrario de las deflexiones genera una relación en antifase entre ellas (Figura 3A). Entre las dos deflexiones mayores se observan oscilaciones de baja frecuencia y amplitud resultado de la trayectoria de los ojos de un lado a otro y la suma de la actividad cerebral; estas oscilaciones pueden ser poco perceptibles en algunos individuos (Figura 3A).

Cuando el movimiento lateral del ojo inicia de la posición central hacia el lado izquierdo, la deflexión inicial para los canales del hemisferio derecho es positiva y para los canales del hemisferio izquierdo es negativa (Figura 3B). Cuando los ojos se mueven al lado derecho, las deflexiones se invierten (Figura 3B). Este artefacto puede observarse desde canales AF hasta canales T en ambos hemisferios.

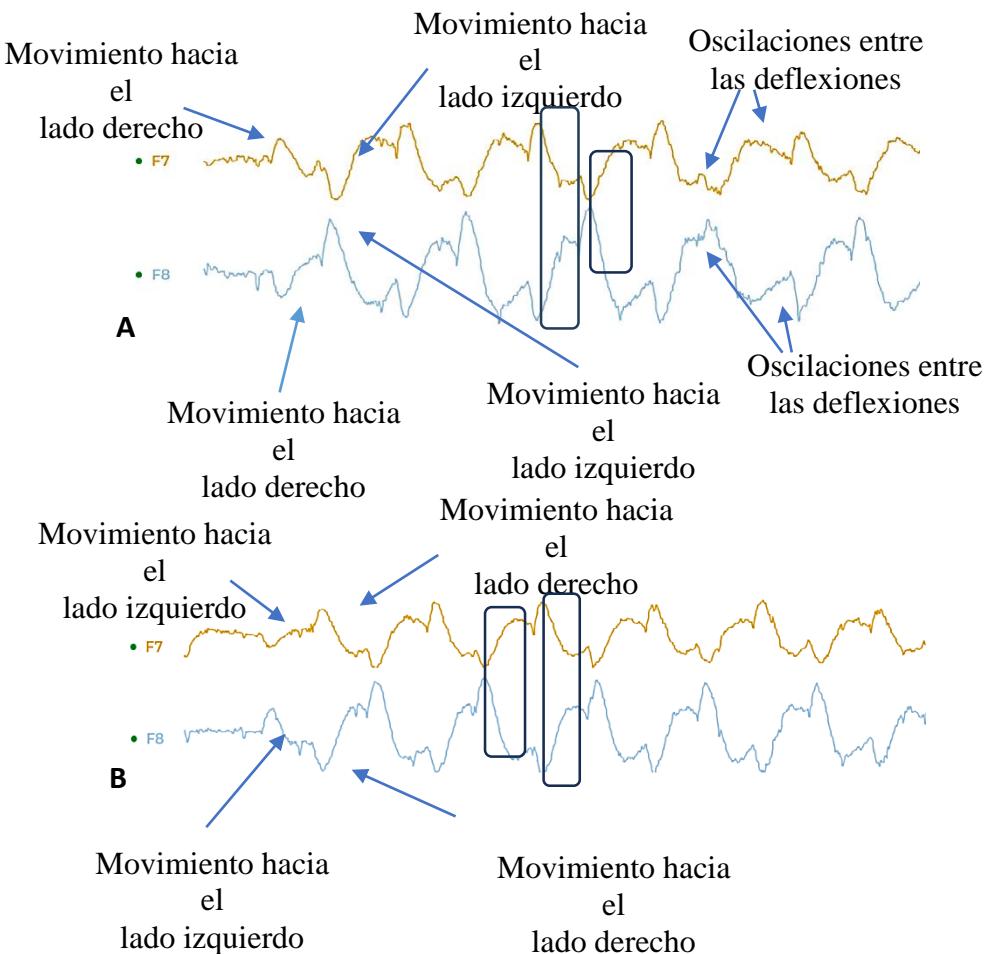


Figura 3: Representación en el EEG del movimiento lateral de los globos oculares con ojos cerrados. A Deflexión en los canales negativa en hemisferio derecho y positiva en el hemisferio izquierdo cuando el movimiento ocular inicia hacia el lado derecho. B Deflexión en los canales positiva en hemisferio derecho y negativa en el hemisferio izquierdo cuando el movimiento ocular inicia hacia el lado izquierdo.

Contracción sostenida del músculo orbicular de los párpados: Se caracteriza por ser un artefacto de tipo muscular con alta frecuencia y baja amplitud en comparación con la señal electroencefalográfica basal. Al iniciar la contracción de observa en los canales anteriores (desde los AF hasta los F) un artefacto tipo parpadeo que señala el movimiento inicial vertical de los ojos (Figura 4A), posteriormente la señal cambia indicando la actividad

muscular de tensión. Esta tensión se observa sincronizada en casi todos los canales (Figura 4B).

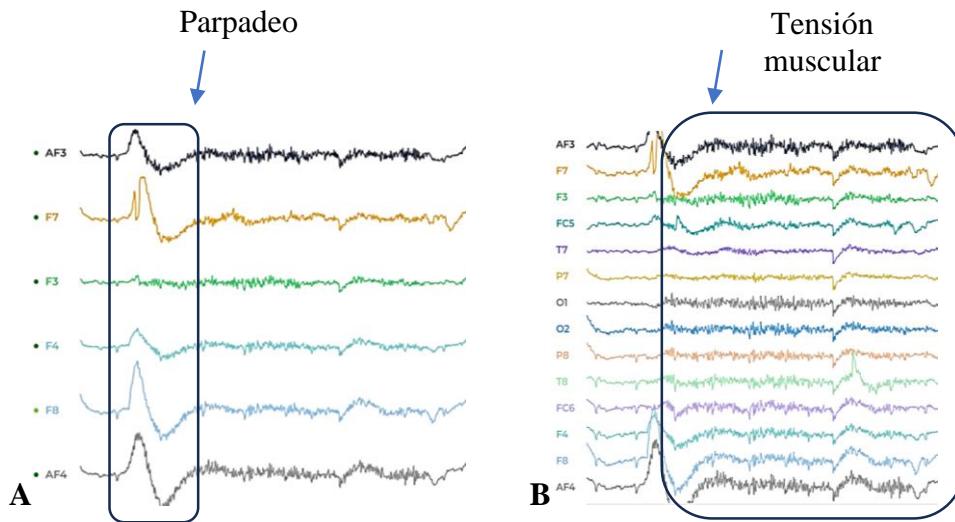


Figura 4: Representación en el EEG de la presión dada por los músculos del parpadeo. A Representación del parpadeo voluntario inicial. B Señal alterada y sincronizada al realizar tensión en el músculo orbicular.

Contracción sostenida de los músculos mandibulares: Este artefacto es fácilmente identificable ya que se caracteriza por aumentar drásticamente la frecuencia del registro y aumentar de amplitud principalmente en los canales temporales. El artefacto de la contracción mandibular puede estar sincronizado en todas las regiones cerebrales o no, y puede tener las mismas características en ambos hemisferios o ser asimétrica; esto va a depender del estado de los músculos en cada persona (músculo temporal, masetero, pterigoideo medial, pterigoideo externo y digástrico). Inicialmente este artefacto presenta un evento súbito de alta frecuencia y amplitud en comparación con la actividad neuronal basal, posteriormente la amplitud decrece, pero el aumento de frecuencia, representativo de la contracción muscular, se mantiene hasta que el evento fisiológico termina (Figura 5).

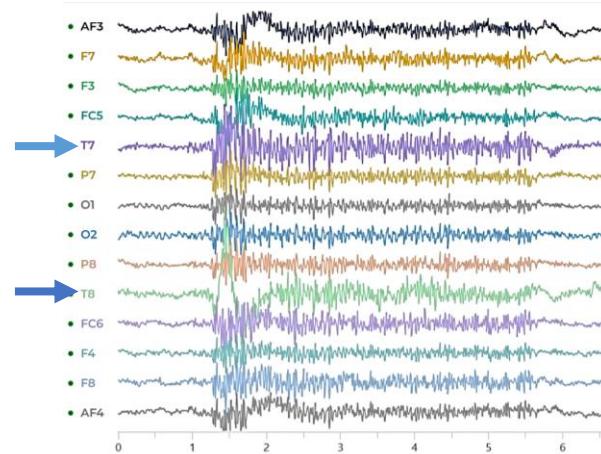


Figura 5: Representación en el EEG de la contracción sostenida de los músculos mandibulares.

Equipo

- Sistema de electroencefalografía superficial cuya distribución de electrodos abarque principalmente las regiones frontales y centrales.
- Tasa de muestreo mínima del equipo de 120Hz.
- Computadora con el software apropiado para el equipo electroenceflográfico a utilizar.
- Gel conductivo o solución salina.
- Peine o instrumento delgado para mover el cabello.
- Sanitas o papel.
- Una silla cómoda y fija.
- Un espacio tranquilo en donde se puedan evitar estímulos auditivos y luminosos.

Nota: Este protocolo se construyó con el sistema Emotiv EPOC+ de 14 canales con tasa de muestreo de 128Hz y el software EmotivLauncher 3.5.2.340/EmotivPRO, con licencia de paga, por consiguiente, se hablará de este equipo en el resto del protocolo. En caso de usar otro equipo tomar en cuenta sus condiciones de uso y preparación para adaptar el protocolo.

- Juegos de electrodos desmontables para el sistema Emotiv EPOC+ con sus respectivos fieltros.

Procedimiento

I. Preparación del equipo de electroencefalografía:

Antes de iniciar la práctica se debe asegurar que los equipos utilizados cuenten con la suficiente batería para el procedimiento, de lo contrario se deberán cargar. Mantener el equipo apagado hasta el momento de su utilización.

Los electrodos utilizados por el sistema Emotiv EPOC+ deben ser preparados antes de la colocación en el equipo:

- 1) Sustraer los electrodos de su caja de almacenamiento y su respectivo fielro de contacto (Figura 6).
- 2) Humedecer con solución salina los fieltros y colocarlos en los electrodos, asegurar que exista buen contacto entre ambas partes.

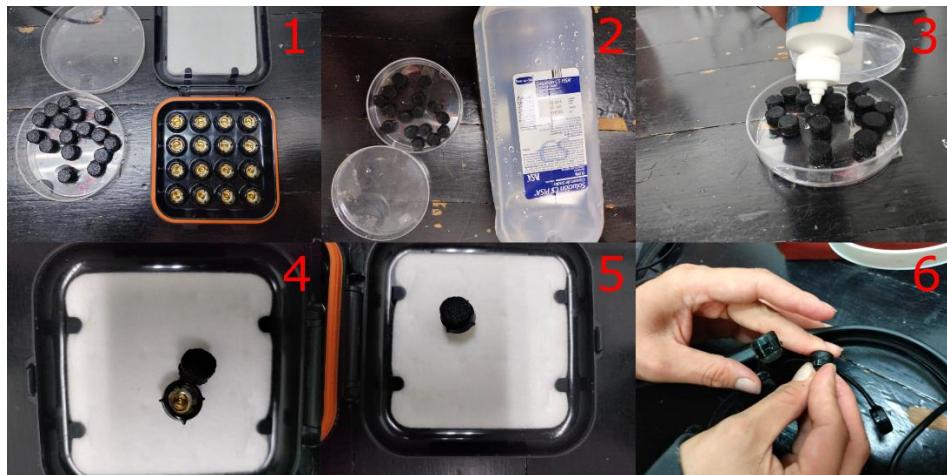


Figura 6: Caja de electrodos del sistema Emotiv EPOC+. Pasos para la preparación del fieltro de contacto con solución salina, colocación en los electrodos metálicos y montaje en el equipo.

3) Colocar correctamente los electrodos en el equipo (Figura 7).



Imagen 7: Diadema del sistema Emotiv EPOC+.

El proceso de humidificación de los electrodos debe ser replicado cuando se identifique que los electrodos se encuentran secos y la calidad de contacto y/o registro es baja.

II. Tareas a seguir para el registro de artefactos fisiológicos:

El procedimiento consta de 10 minutos totales de toma de datos y consiste en alternar tareas que generen artefactos fisiológicos en el registro electroencefalográfico.

Las tareas para realizar por el participante seguirán el siguiente protocolo:

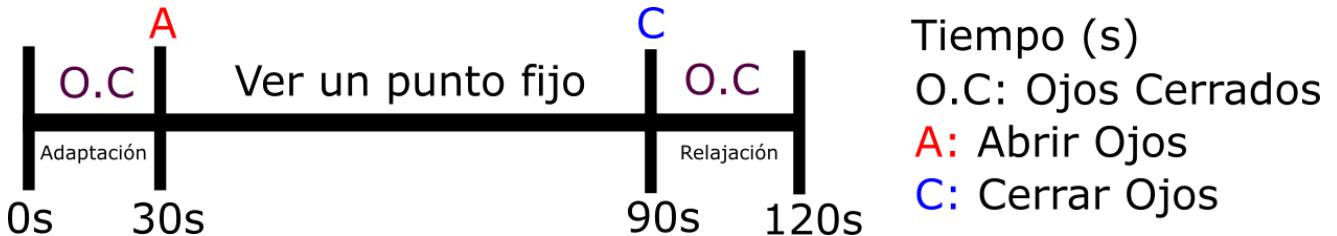
Tarea 1: Parpadeo Involuntario.

Esta tarea tiene la finalidad de registrar el artefacto fisiológico de parpadeo involuntario, tiene una duración de 120 segundos totales y consiste en registrar los parpadeos del participante generados cuando se mira un punto fijo. Durante esta tarea el participante debe parpadear normalmente, evitando realizar parpadeos voluntarios.

Cronograma:

a) Segundo 0 - Inicio en estado de reposo con ojos cerrados (tiempo de adaptación al equipo).

- b) Segundo 31 – Instrucción “ABRIR”; el participante debe abrir los ojos y mirar directamente un punto fijo. Parpadear naturalmente durante 60 segundos.
- c) Segundo 91 - Pedir al participante que cierre los ojos, esperar 30 segundos para estabilizar la señal.
- d) Segundo 120 - Terminar el registro.

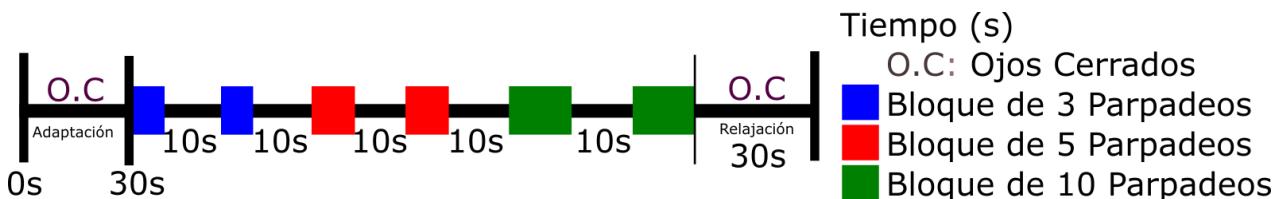


Tarea 2: Parpadeos Voluntarios.

Esta tarea tiene el objetivo de registrar el artefacto fisiológico de parpadeo voluntario, tiene una duración aproximada de 150 segundos y consiste en pedirle al participante que realice trenes de parpadeos voluntarios de 3, 5 y 10 parpadeos. Después de la realización de cada tren el participante deberá nuevamente mantener los ojos cerrados.

Cronograma:

- a) Segundo 0 - Inicio en estado de reposo con ojos cerrados (tiempo de adaptación al equipo).
- b) Segundo 31 – Instrucción de realizar TRES parpadeos. Recordar cerrar los ojos después de cada tren.
- c) Dejar transcurrir 10 segundos para estabilizar el registro.
- d) Instrucción de realizar TRES parpadeos.
- e) Dejar transcurrir 10 segundos para estabilizar el registro.
- f) Instrucción de realizar CINCO parpadeos.
- g) Dejar transcurrir 10 segundos para estabilizar el registro.
- h) Instrucción de realizar CINCO parpadeos.
- i) Dejar transcurrir 10 segundos para estabilizar el registro.
- j) Instrucción de realizar DIEZ parpadeos.
- k) Dejar transcurrir 10 segundos para estabilizar el registro.
- l) Instrucción de realizar DIEZ parpadeos.
- m) Dejar transcurrir 30 segundos finales para estabilizar la señal y finalizar el registro.



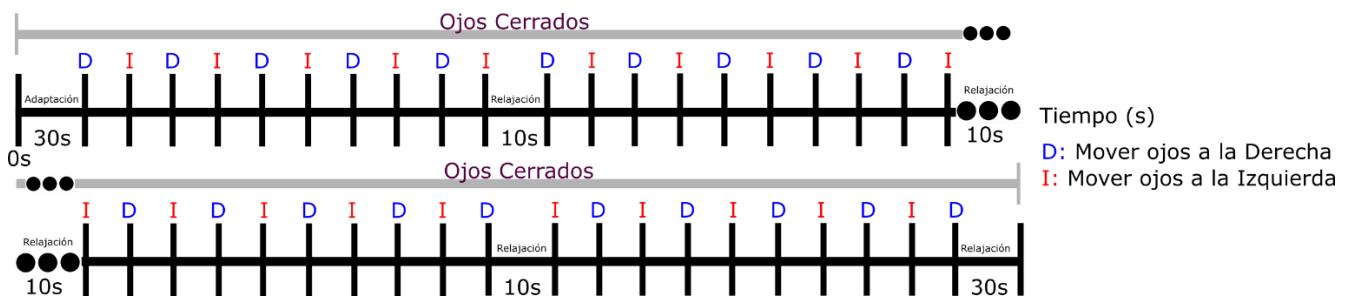
Tarea 3: Movimiento lateral del globo ocular con ojos cerrados.

Esta tarea está diseñada para identificar el artefacto fisiológico generado por el movimiento lateral del globo ocular. Tiene una duración aproximada de 130 segundos y consiste en

mantener los ojos cerrados y mover el globo ocular de manera lateral, de un lado a otro, iniciando del lado derecho y posteriormente iniciando del lado izquierdo. Al finalizar cada ciclo de movimientos el ojo debe permanecer relajado en la posición natural.

Cronograma:

- Segundo 0 - Inicio en estado de reposo con ojos cerrados (tiempo de adaptación al equipo).
- Segundo 31 – Instrucción de realizar 10 movimientos oculares laterales iniciando del lado DERECHO. Recordar relajar los ojos en la posición natural después realizar el ciclo.
- Dejar transcurrir 10 segundos para estabilizar el registro.
- Instrucción de realizar 10 movimientos oculares laterales iniciando del lado DERECHO.
- Dejar transcurrir 10 segundos para estabilizar el registro.
- Instrucción de realizar 10 movimientos oculares laterales iniciando del lado IZQUIERDO.
- Dejar transcurrir 10 segundos para estabilizar el registro.
- Instrucción de realizar 10 movimientos oculares laterales iniciando del lado IZQUIERDO
- Dejar transcurrir 30 segundos finales para estabilizar la señal y finalizar el registro.



Tarea 4: Contracción sostenida del músculo orbicular de los párpados.

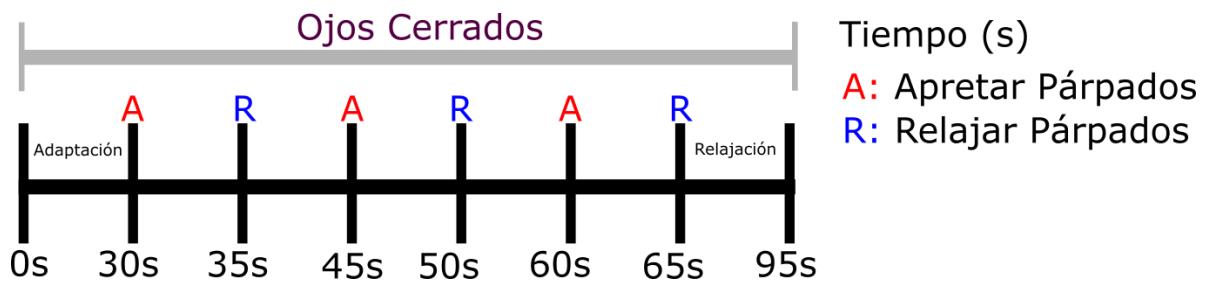
Esta tarea consiste en realizar el cierre apretado de los ojos durante 5 segundos y posteriormente relajar la tensión, sin abrirlos. El objetivo de esta acción es identificar la actividad del músculo orbicular de los párpados, encargado de generar el cierre apretado de los ojos, sobre el registro electroencefalográfico. La tarea tiene una duración de 95 segundos.

Cronograma:

- Segundo 0 - Inicio en estado de reposo con ojos cerrados (tiempo de adaptación al equipo).
- Segundo 30 - Instrucción APRETAR, indicando al participante que apriete lo más fuerte posible sus párpados.
- Segundo 35 - Instrucción RELAJAR, indicando al participante que relaje sus músculos sin abrir los ojos.
- Dejar transcurrir 10 segundos para estabilizar el registro.
- Segundo 45 - Instrucción APRETAR.
- Segundo 50 - Instrucción RELAJAR.
- Dejar transcurrir 10 segundos para estabilizar el registro.
- Segundo 60. Instrucción APRETAR.
- Segundo 65. Instrucción RELAJAR.

j) Dejar transcurrir 30 segundos finales para estabilizar la señal y finalizar el registro.

Nota: Evitar apretar la mandíbula y/o mover las mejillas al apretar los párpados, ya que esto ocasionaría una superposición de artefactos fisiológicos.



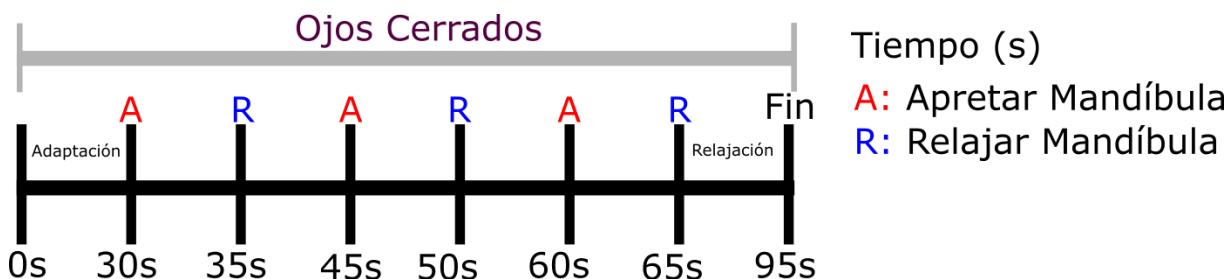
Tarea 5: Contracción sostenida de los músculos mandibulares.

Esta tarea consiste en registrar la tensión de la musculatura encargada de mover el hueso mandibular (músculo temporal, masetero, pterigoideo medial, pterigoideo externo y digástrico). Para que lo anterior sea posible se le pedirá al participante apretar la mandíbula lo más fuerte posible y sostener la tensión por 5 segundos, relajando posteriormente los músculos. Esta tarea tiene una duración de 95 segundos.

Cronograma:

- Segundo 0 - Inicio en estado de reposo con ojos cerrados (tiempo de adaptación al equipo).
- Segundo 30 - Instrucción de APRETAR, indicando al participante que apriete la mandíbula lo más fuerte que pueda y sostenga la tensión.
- Segundo 35 - Instrucción RELAJAR, indicando al participante que relaje la mandíbula y los músculos de la cara.
- Dejar transcurrir 10 segundos para estabilizar el registro.
- Segundo 45 - Instrucción APRETAR.
- Segundo 50 - Instrucción RELAJAR.
- Dejar transcurrir 10 segundos para estabilizar el registro.
- Segundo 60 - Instrucción APRETAR.
- Segundo 65 - Instrucción RELAJAR.
- Dejar transcurrir 30 segundos finales para estabilizar la señal y finalizar el registro.

Nota: Evitar apretar los párpados y/o mover las mejillas al apretar la mandíbula, ya que esto ocasionaría una superposición de artefactos fisiológicos.



Tarea 6: Actividad libre integrativa.

El alumno o equipo deberá pensar y realizar una prueba complementaria al tema de Artefactos fisiológicos que cumpla los siguientes requisitos:

- Proponer un artefacto fisiológico que se pueda visualizar en un equipo de EEG diferente a los ya mencionados y desarrollados en la práctica, describiendo y fundamentando de manera anatómica y fisiológica.
- Planear la metodología para obtener datos que involucren la visualización del artefacto electo, tomar en cuenta las variables para obtener los datos y la sensibilidad del equipo de EEG. Deberá presentar un cronograma de las tareas a realizar.
- Tomar los datos que sean necesarios siguiendo su propuesta metodológica para comparar y discutir.
- Describir los resultados obtenidos usando lo aprendido en clase.

III. Colocación del equipo electroencefalográfico:

Nota: Antes de colocar el equipo comunicar explícitamente al participante que se le tocará la cabeza durante la colocación y retiro del mismo. Además, informarle que éste es un procedimiento que no le causara molestia o dolor, y solicitarle que en caso de presentar alguna incomodidad lo comunique inmediatamente.

1. Solicitar al participante que se siente en la silla en una posición cómoda y relajada.
2. Retirar lentes y/o cualquier otro artefacto que pueda interferir con la colocación del equipo (pasadores, ligas para el cabello o adornos). Colocar el equipo como se muestra en la Figura 8.

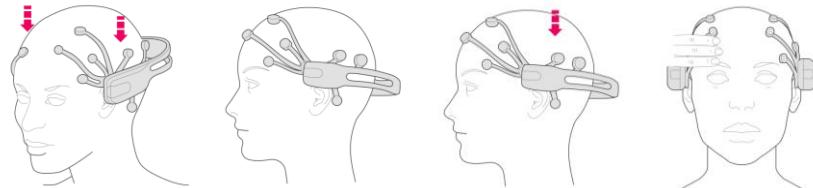


Figura 8: Colocación del sistema Emotiv EPOC+. Imagen obtenida de: EMOTIV Inc. (2023); <https://www.emotiv.com/setup/epoc/>

IV. Preparación del Software y verificación de calidad de contacto y registro

1. Sincronizar la señal del equipo electroencefalográfico con la computadora mediante el dispositivo USB-Bluetooch.
2. Abrir el Software EmotivLauncher/EmotivPRO y asegurarse que exista comunicación entre la computadora y el equipo.
3. Verificar la calidad de contacto entre cada electrodo y el cuero cabelludo. La calidad de contacto se ajustará de acuerdo con los valores de porcentaje o los códigos de color que están predeterminados en el Software (Figura 9). Asegurarse que todos los canales marquen 100% de calidad de contacto o en su caso estén todos coloreados de verde antes de continuar. Para asegurar el buen contacto de cada uno de los electrodos se recomienda mover el cabello debajo de cada uno con el peine, humectarlos con más solución salina, centrar el equipo o reajustar desde cero.

4. Verificar la calidad del registro. Solicitar al participante que mantenga los ojos cerrados y se relaje. Esta calibración utiliza los mismos porcentajes y colores que la interfaz de calidad de contacto, por lo tanto, se esperará a que todos los canales tengan el 100% de calidad o se encuentren en color verde durante al menos 5 segundos (Figura 9).



Figura 9: Mapa de calidad de contacto en cada uno de los sensores del sistema Emotiv. Imagen modificada de: EMOTIV Inc. EPOC+ USER MANUAL (2023); https://emotiv.gitbook.io/epoch-user-manual/troubleshooting/contact_quality

5. Una vez colocado el equipo correctamente y cuando las condiciones de contacto y registro son óptimas: apagar la luz eléctrica; si es posible cerrar cortinas y disminuir cualquier fuente intensa de luz natural. Apagar equipos electrónicos (celulares u otras computadoras) que se encuentren cerca del participante y evitar cualquier tipo de ruido.

V. Realizar las tareas y el registro.

1. Cuando las condiciones sean adecuadas, empezar con el registro realizando las tareas previamente señaladas. La interfaz de visualización del Software Emotiv PRO para el equipo Emotiv Epoc+ se presenta en la Figura 10.

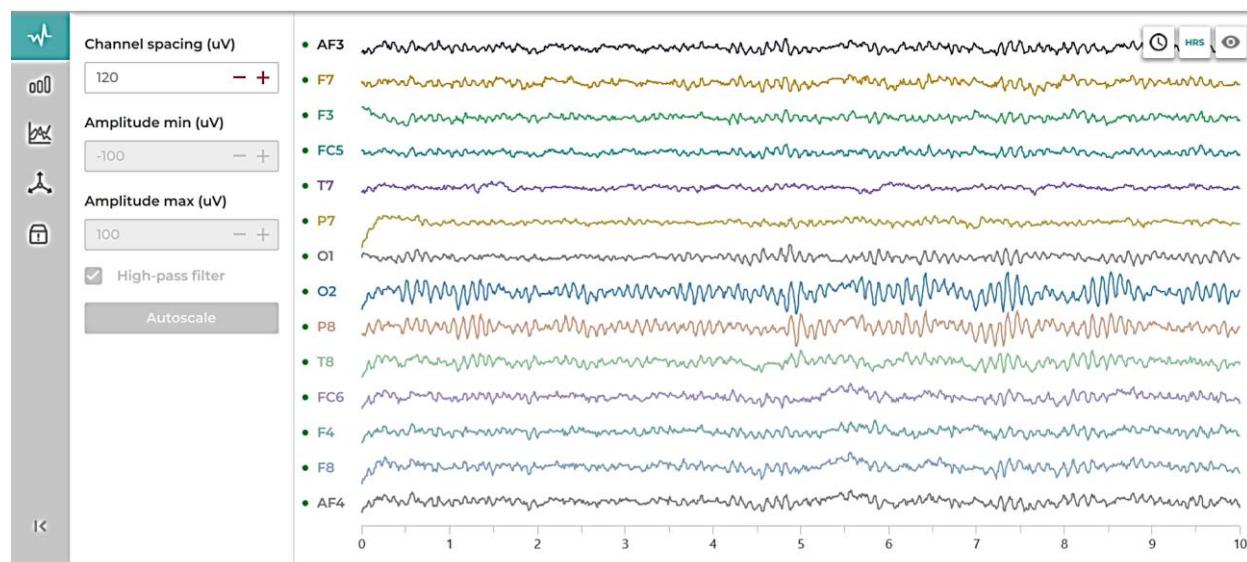


Figura 10: Interfaz del Software Emotiv PRO. Visualización de las ondas alfa en canales O1 y O2. Registro realizado por los autores.

VI. Almacenamiento de los datos

1. En caso de que los datos sean almacenados para un posterior análisis, se recomienda utilizar la siguiente clave: No. de participante, sexo, edad y EEG_artefactos. Ejemplo para la participante No.23, mujer de 19 años: P23_M19_EEG_artefactos. Ejemplo para el participante No.54, hombre de 25 años: P25_H25_EEG_artefactos.

VII. Desmontaje del equipo

1. Al terminar el registro el equipo se deberá apagar, retirar la diadema y asegurarse de que los datos se guardaron correctamente.
2. Posteriormente se retirarán cada uno de los electrodos de la diadema y se retirarán sus filtros de contacto para secarlos de manera individual y evitar la oxidación de los electrodos.

VIII. Análisis de los datos

El análisis de los datos se realizará con el software que más le convenga al analista y dependiendo del enfoque y la información que se quiera obtener de los datos. Sin embargo, se recomienda en todos los casos realizar inicialmente la visualización de las series de tiempo para confirmar que los 180 segundos de información se grabaron correctamente y los datos se observan como los de un EEG. Los datos deben ser guardados en formato .csv para el análisis.

Preguntas para contestar después de realizar el protocolo

- ¿Por qué es importante identificar los artefactos fisiológicos en los registros de electroencefalografía superficial?
- ¿Qué problemas de interpretación cualitativa y cuantitativa pueden presentarse al no eliminar los artefactos fisiológicos del registro electroencefalográfico?
- ¿Qué otro tipo de artefactos, además de los estudiados en este protocolo, pueden observarse en los registros de electroencefalografía superficial?
- ¿Por qué este tipo de artefactos no se observan en un registro intracranegal?
- ¿Existe una correlación con los tipos de artefactos dentro del EEG y las características físicas del sujeto al que se le realizan las pruebas? Mencione algunos factores que determinen diferencias entre diferentes sujetos en cada uno de los tipos de artefactos descritos.

Agradecimientos

A la Dra. Erin C. McKiernan por brindarnos todo su apoyo y conocimiento, por guiarnos y darnos la oportunidad de crecer. Gracias a la coordinación de la Licenciatura en Física Biomédica por apoyar con las instalaciones y el tiempo dentro de las asignaturas para la realización de la práctica. A los alumnos y profesores involucrados para los conocimientos necesarios para que se desenvuelva con éxito el trabajo a realizar. A los voluntarios que prestaron su tiempo para realizar pruebas para que fuera posible el desarrollo de cada aspecto pedagógico del proyecto.

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 y PE213219).

Referencias

- [Talamillo, 2011] Talamillo, T. (2011). Manual básico para enfermeros en electroencefalografía. *Enfermería Docente*, 94:29-33.
- [Jiang, et al., 2019] Jiang, X., Bian, G. y Z. Tian. (2019). Removal of Artifacts from EEG Signals: A Review. *Sensors*, 19:987.
- [Tatum, et al., 2018] Tatum, W., Reinsberger, C. y B. Dworetzky. (2018). Artifacts of recording and common errors in interpretation. En: Schomer, D. L. y F. H. Lopes da Silva. (eds.) *Niedermeyer's Electroencephalography. Basic principles, clinical applications, and related fields*. Oxford University Press. New York, United States of America. Pp. 266-274.

Práctica 3: Práctica de Electroencefalografía superficial cuantificada en estado de reposo con ojos cerrados y electromiografía interdigital del movimiento lateral de un dedo.

Saúl A. Saldaña Enciso¹, Dra. Gabriela González González²

1 Licenciatura en Física Biomédica; 2 Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México

Resumen

Este protocolo combina la dinámica de la actividad eléctrica cerebral adquirida mediante la técnica de electroencefalografía superficial (EEG) en estado de reposo con ojos cerrados y la actividad electromiográfica del 1er músculo interóseo dorsal. Para realizar este protocolo se requiere un equipo de EEG que abarque canales centrales (zona posterior del lóbulo frontal y zona anterior del lóbulo parietal) y un equipo de registro electromiográfico superficial (EMG). El tiempo neto de registro es de 210 segundos, durante el cual el participante permanecerá en estado de reposo con los ojos cerrados mientras realiza diferentes movimientos con el dedo pulgar. La finalidad de este protocolo es observar los cambios en la actividad cerebral antes, durante y después del movimiento y si estos cambios difieren cuando los movimientos del dedo son más rápidos o lentos. Se espera haya disminuciones de la actividad alfa, principal en estado de reposo con ojos cerrados, antes, durante y después del movimiento. Realizar este protocolo es un acercamiento a la modificación de la actividad cerebral cuando se realiza una tarea motora, mostrando la interacción entre la función cerebral y el sistema muscular.

Especificaciones

Nivel de estudio:	Licenciatura
Carreras:	Biología, Medicina, Física, Física Biomédica y carreras afines.
Semestres:	4to semestre en adelante o a partir del segundo año.
Para uso en las Asignaturas:	Fisiología, Morfológica II, Electrofisiología, Biomatemáticas, Biofísica y afines.
Prerrequisitos recomendados:	Conocimientos básicos en electrofisiología, biología molecular y celular. Haber realizado la práctica básica de electroencefalografía superficial con ojos cerrados y abiertos y práctica básica de electromiografía superficial.

Duración total de la práctica:	30 minutos por registro (desde la colocación del equipo hasta que se retira).
Lugar:	Espacio que permita aislar estímulos sonoros y lumínicos externos, así como interferencias de aparatos eléctricos.
Precauciones:	Evitar movimientos voluntarios de otros músculos al momento de realizar el protocolo.
Otras indicaciones:	<p>Se recomienda hacer la práctica en equipos de 2 a 4 integrantes.</p> <p>Los participantes para la medición deberán llevar ropa adecuada que facilite el acceso a la zona de los músculos a medir, además, que no interfiera en la colocación y conexión del equipo. Evitar el uso de productos para la piel en la zona a medir (cremas, aceites, humectantes, etc.).</p> <p>El participante que se realizará la prueba debe tener el cabello lavado con jabón neutro, sin gel ni cualquier otro producto para peinar o tratamientos capilares.</p> <p>Dormir alrededor de 8 horas la noche previa al registro.</p> <p>Tomar desayuno ligero y balanceado, evitando alimentos y bebidas altamente energéticos o estimulantes (café, refresco, chocolate, galletas ricas en azúcares), por lo menos 8 horas antes del procedimiento.</p>

Objetivos

Antes de la práctica: Recordar las generalidades anatómicas y fisiológicas del cerebro y la corteza cerebral. Recordar los conceptos básicos sobre el funcionamiento de las células musculares y la placa neuromuscular. Conocer las zonas cerebrales en donde se codifica el movimiento voluntario. Recordar que existen variaciones en los registros electroencefalográficos al realizar diferentes tareas mentales y reconocer que hay modificaciones cuando se realizan actividades por otros sistemas del cuerpo como el musculoesquelético.

Durante la práctica: Recordar la manera correcta de realizar un EEG en estado basal e identificar la presencia de ondas alfa en los canales occipitales. Recordar la manera correcta de realizar un registro electromiográfico superficial. Aprender a colocar los electrodos electromiográficos en el 1er músculo interóseo dorsal. Comprender la complejidad de realizar registros electrofisiológicos simultáneos de la actividad cerebral y muscular. Identificar cualitativamente la alteración en frecuencia y/o amplitud de las ondas alfa al realizar el movimiento del pulgar.

Después de la práctica: Entender la relación entre el funcionamiento del sistema musculoesquelético y la actividad cerebral, identificando las zonas de la corteza encargadas de codificar el movimiento voluntario.

Antecedentes

Codificación del movimiento voluntario en la corteza cerebral

El cerebro se divide anatómicamente en cuatro lóbulos: Frontal, Temporal, Parietal y Occipital. En la parte posterior del lóbulo Frontal se encuentra la corteza motora primaria, la corteza premotora y la corteza motora suplementaria (Figura 1) [Hall & Guyton, 2016].

El área motora primaria es la región que controla la ejecución de los movimientos voluntarios, tiene vías de proyección hacia el circuito de los ganglios basales, la médula espinal y las motoneuronas, y recibe proyecciones de las áreas corticales premotoras, de la corteza somatosensorial primaria y del tálamo. La corteza premotora se relaciona con la programación de los movimientos, recibe entradas de los núcleos motores y de regiones talámicas, y envía proyecciones a la corteza motora primaria. El área motora suplementaria se encarga de la programación y coordinación de movimientos complejos, recibe proyecciones de las cortezas de asociación y la corteza somatosensorial, y envía proyecciones a la corteza motora primaria [Squire et al., 2008].

Las neuronas de la corteza motora primaria se activan durante la ejecución del movimiento. Las neuronas del área motora suplementaria y de la corteza premotora se activan antes del movimiento [Soriano et al., 2007].

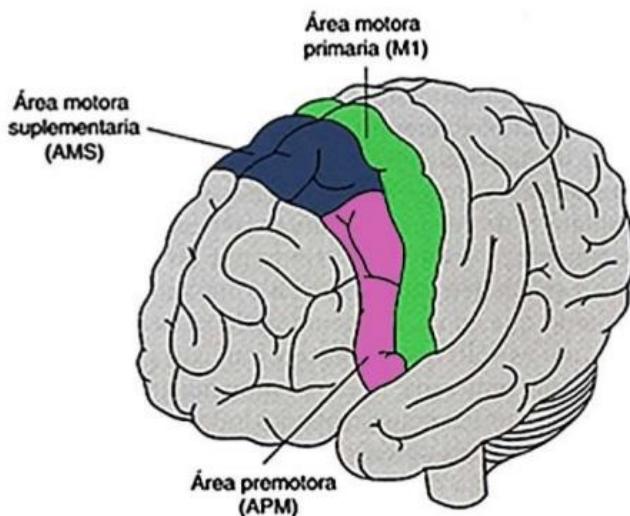


Figura 1: Representación de la corteza motora primaria, el área suplementaria motora y la corteza premotora. Imagen modificada de: Animalia (2017); <https://culturcientifica.com/2017/08/29/sistemas-nerviosos-las-areas-motoras/>

El mapa motor de la corteza cerebral, conocido como el homúnculo motor de Penfield, señala que la musculatura de la cara, las manos o los dedos, utilizada en tareas que requieren un control fino, ocupa más espacio que la musculatura de otras regiones, que realizan tareas motoras menos precisas (Figura 2) [Sallés et al., 2013; Squire et al., 2008].

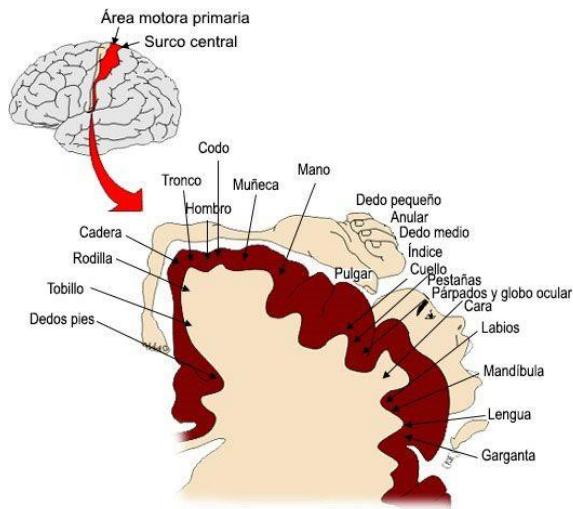


Figura 2: Homúnculo Motor de Penfield . Imagen modificada de: Sandra Blay Villalba (2018); <https://neuromas.weebly.com/blog1/homunculo-de-penfield>

Relación entre la actividad electroencefalográfica y la actividad mioeléctrica

La actividad electroencefalográfica en estado de reposo con ojos cerrados en personas clínicamente sanas oscila principalmente en frecuencias de la onda alfa (8 -13Hz), la cual se observa con grandes amplitudes en la serie de tiempo. La presencia de ondas alfa y su gran amplitud se modifican por la percepción de estímulos externos o por la activación de procesos mentales de alto orden, como el procesamiento de estímulos visuales, táctiles y/o sonoros, la resolución de tareas matemáticas o procesos de memoria [Morillo, 2005; Mantri et al., 2013]. Las ondas alfa también se han visto modificadas cuando ocurre el movimiento voluntario de alguna parte del cuerpo. Durante estas tareas motoras se han visto alteraciones de la actividad cerebral antes, durante y después de la actividad muscular, principalmente caracterizada por incrementos en ondas más rápidas como beta y gamma. Por ejemplo, después del movimiento de un dedo o cuando los músculos se relajan se observan incrementos de las ondas beta entre 16 y 21Hz [Chen et al., 1998] y ondas gamma por encima de los 60Hz en puntos focales de la corteza sensoriomotora primaria contralateral al movimiento [Huo et al., 2011].

Primer músculo interóseo dorsal

El primer músculo interóseo dorsal es el primero de los cuatro músculos interóseos dorsales de la mano, se observa peniforme y es el más largo, grande y fuerte. Este músculo ocupa la totalidad del espacio interóseo entre el dedo pulgar y el dedo índice, se inserta en las caras laterales proximales del primer y segundo metacarpiano y se ancla en la base de la primera falange de ambos dedos (Figura 3). El primer músculo interóseo dorsal tiene la función de separar el pulgar del índice con respecto al eje de la mano y es utilizado junto con el músculo aductor dorsal para realizar la extensión lateral del dedo pulgar [García-Porrero & Hurlé, 2020].

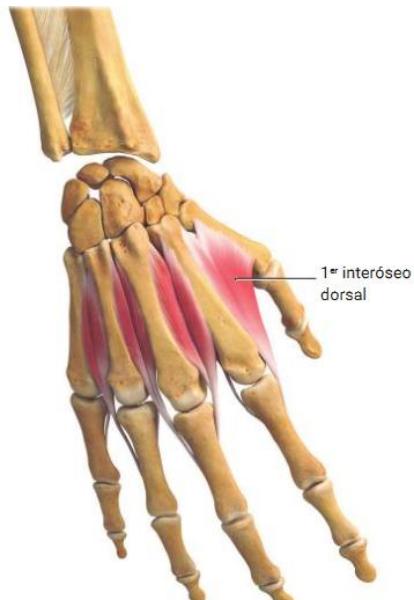


Figura 3: Localización del 1er músculo interóseo dorsal de la mano. Figura obtenida de García-Porrero & Hurlé, 2020.

Equipo

- Sistema de electroencefalografía superficial cuya distribución de electrodos abarque principalmente los canales centrales sobre la corteza motora primaria, suplementaria y premotora. Tasa de muestreo mínima de 120Hz.
- Dispositivo con el software apropiado para el equipo de electroencefalografía a utilizar.
- Peine o instrumento delgado para mover el cabello.
- Sistema de electromiografía superficial. Tasa de muestreo mínima de 120Hz.
- Electrodos de superficie pequeños (alrededor de 23X25 mm), adheribles y desechables.
- Dispositivo con el software apropiado para el equipo de electromiografía a utilizar.
- Metrónomo.
- Gel conductor optional si tiene problemas con el contacto de los electrodos del EMG.
- Solución salina.
- Alcohol.
- Torundas de algodón.
- Sanitas.
- Una silla cómoda y fija.
- Una mesa plana y fija con una altura considerable para reposar la mano a la que se le realizará el registro electromiográfico.
- Un espacio tranquilo en donde se puedan evitar estímulos sonoros y luminosos.

Procedimiento

Nota: Este protocolo se construyó con un sistema de electroencefalografía superficial Emotiv EPOC+ de 14 canales con tasa de muestreo de 128Hz y el software EmotivLauncher 3.5.2.340/EmotivPRO con licencia de pago; y con un sistema de electromiografía superficial Muscle SpikerBox de electrodos de caimán, con una tasa de muestreo de 44100Hz y el software libre para computadora o dispositivo Android Spike Recorder de la empresa Backyard Brain. Por consiguiente, se hablará de estos equipos en el procedimiento. En caso

de usar otro equipo tomar en cuenta sus condiciones de uso y preparación para adaptar el protocolo.

I. Preparación de los equipos.

Antes de iniciar la práctica se debe asegurar que los equipos utilizados cuenten con la suficiente batería para el procedimiento, de lo contrario se deberán cargar. Mantener el equipo apagado hasta el momento de su utilización.

a) Equipo electroencefalográfico:

Los electrodos utilizados por el sistema Emotiv EPOC+ deben ser preparados antes de la colocación en el equipo:

- 1) Sustraer los electrodos de su caja de almacenamiento y su respectivo fieltrito de contacto (Figura 4).
- 2) Humedecer con solución salina los fieltritos y colocarlos en los electrodos, asegurar que exista buen contacto entre ambas partes.

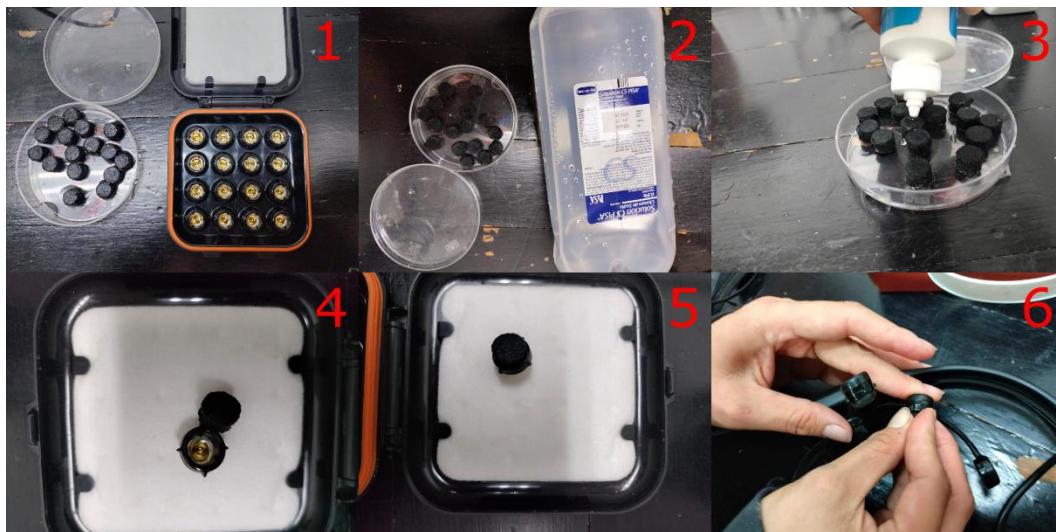


Figura 4: Caja de electrodos del sistema Emotiv EPOC+. Pasos para la preparación del fieltrito de contacto con solución salina, colocación en los electrodos metálicos y montaje en el equipo.

- 3) Colocar correctamente los electrodos en el equipo (Figura 5).



Figura 5: Diadema del sistema Emotiv EPOC

El proceso de humidificación de los electrodos debe ser replicado cuando se identifique que los electrodos se encuentran secos y la calidad de contacto y/o registro es baja.

b) Equipo electromiográfico:

El sistema Muscle SpikerBox (Figura 6) debe ser preparado antes de la colocación de los electrodos en el voluntario:

- 1) Conectar la pila de 9V en la Muscle SpikerBox.
- 2) Conectar los cables de manera adecuada de acuerdo con su color. El cable color naranja es el que contiene los electrodos de caimán. El cable azul se utiliza cuando el software está instalado en un equipo de cómputo y el verde cuando está instalado en un teléfono inteligente. Tener precaución ya que los cables utilizados para conectar con el software tienen direccionalidad.
- 3) Colocar los caimanes de color rojo en la zona indicada de los electrodos de registro.



Figura 6: Muscle SpikerBox por ByB

II. Procedimiento a seguir y pruebas:

El procedimiento consiste en la realización de tres pruebas diferentes, dos con duración de 60 segundos y una con duración de 90 segundos. Tiempo total del registro 210 segundos (3.5 minutos). Durante las pruebas se efectuarán movimientos laterales del dedo pulgar con respecto al eje de la mano, con la finalidad de activar el primer músculo interóseo dorsal, mientras se mantienen los **ojos cerrados**. El estado fisiológico inicial en todas las pruebas debe ser un estado de reposo con ojos cerrados y la posición inicial de la mano a registrar será en estado de reposo sobre la palma con el dedo pulgar relajado. Los movimientos del pulgar en cada prueba serán coordinados por un estímulo sonoro externo.

Las especificaciones de cada prueba y las tareas de movimiento que deben realizarse por cada estímulo sonoro se detallan a continuación:

Prueba 1: Contracción y relajación por estímulo sonoro

Durante esta prueba se realizará el movimiento lateral del pulgar hacia el dedo índice y la relajación del mismo alternadamente cada vez que se escuche el estímulo sonoro (beat); este movimiento resultará en la contracción lenta del primer músculo interóseo dorsal. En esta prueba cada estímulo sonoro debe coincidir con el momento en el que se tocan los dedos

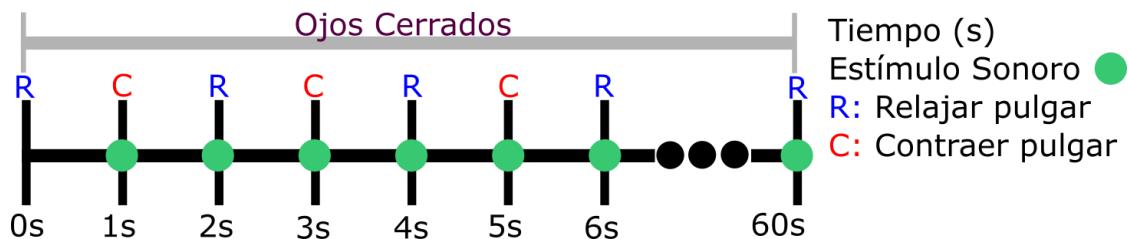
pulgar e índice y con el momento en el que se separan. El tiempo de cada estímulo sonoro en esta prueba es de 60Hz.

Cronograma:

Segundo 0 - Estado de reposo con ojos cerrados y mano sobre la palma relajada.

- Primer estímulo sonoro - Contraer el Pulgar.
- Segundo estímulo sonoro - Relajar el Pulgar.
- Tercer estímulo sonoro - Contraer el Pulgar.
- Cuarto estímulo sonoro - Relajar el Pulgar.

Repetir esta secuencia hasta el estímulo sonoro 60.



Prueba 2: Contracción por estímulo sonoro

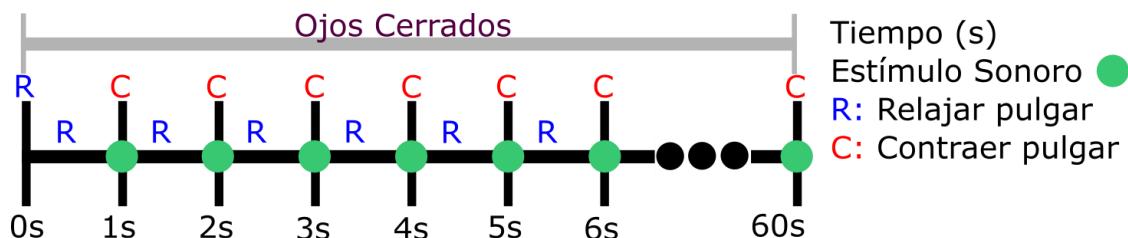
En esta prueba se realizará el movimiento del pulgar hacia el dedo índice cada vez que se escuche el estímulo sonoro regresando inmediatamente a la posición inicial después de que se toquen los dedos y antes del siguiente beat, de tal modo que la contracción y relajación del primer músculo interóseo dorsal se realice rápidamente con cada sonido. El tiempo de cada estímulo sonoro en esta prueba es de 60Hz.

Cronograma:

Segundo 0 - Estado de reposo con ojos cerrados y mano sobre la palma relajada.

- Primer estímulo sonoro - Contraer y relajar el Pulgar.
- Segundo estímulo sonoro - Contraer y relajar el Pulgar.
- Tercer estímulo sonoro - Contraer y relajar el Pulgar.

Repetir esta secuencia hasta el estímulo sonoro 60.



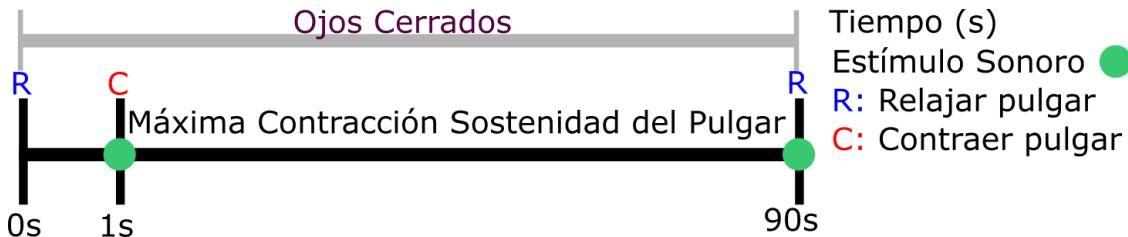
Prueba 3: Contracción sostenida.

Durante esta prueba se realizará una tarea de contracción sostenida del pulgar al lado del dedo índice con el objetivo de observar la fatiga en el primer músculo interóseo dorsal. El momento de la contracción se realizará con la indicación de un estímulo sonoro y a partir de este momento se contarán 90 segundos, transcurrido este tiempo el pulgar debe relajarse y situarse en la posición inicial.

Cronograma:

Segundo 0 - Estado de reposo con ojos cerrados y mano sobre la palma relajada.

- Primer estímulo sonoro - Contraer el pulgar generando una máxima contracción sostenida.
- Tiempo de contracción - 90 segundos.
- Segundo estímulo sonoro – Relajación del pulgar a la posición inicial.



III. Colocación de los equipos de registro:

Nota: Antes de colocar los equipos comunicar explícitamente al participante que se le tocarán la cabeza y la mano durante la colocación y retiro de los mismos. Además, informarle que estos procedimientos no le causarán molestia o dolor, y solicitarle que en caso de presentar alguna incomodidad lo comunique inmediatamente.

a) Equipo electroencefalográfico:

1. Solicitar al participante que se siente en la silla en una posición cómoda y relajada.
2. Retirar lentes y/o cualquier otro artefacto que pueda interferir con la colocación del equipo (pasadores, ligas para el cabello o adornos). Colocar el equipo como se muestra en la Figura 7.

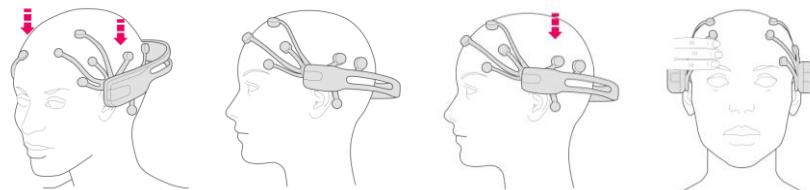


Figura 7: Colocación del sistema Emotiv EPOC+. Imagen obtenida de: EMOTIV Inc. (2023); <https://www.emotiv.com/setup/epoch>

Preparación del Software y verificación de calidad de contacto y registro

1. Sincronizar la señal del equipo electroencefalográfico con la computadora mediante el dispositivo USB-Bluetooth.
2. Abrir el Software EmotivLauncher/EmotivPRO y asegurarse que exista comunicación entre la computadora y el equipo.
3. Verificar la calidad de contacto entre cada electrodo y el cuero cabelludo. La calidad de contacto se ajustará de acuerdo con los valores de porcentaje o los códigos de color que están predeterminados en el Software (Figura 8). Asegurarse que todos los canales marquen 100% de calidad de contacto o en su caso estén todos coloreados de verde antes de continuar. Para asegurar el buen contacto de cada uno de los electrodos se recomienda mover el cabello debajo de cada uno con el peine, humectarlos con más solución salina, centrar el equipo o reajustar desde cero.
4. Verificar la calidad del registro. Solicitar al participante que mantenga los ojos cerrados y se relaje. Esta calibración utiliza los mismos porcentajes y colores que la interfaz de calidad

de contacto, por lo tanto, se esperará a que todos los canales tengan el 100% de calidad o se encuentren en color verde durante al menos 5 segundos (Figura 8).

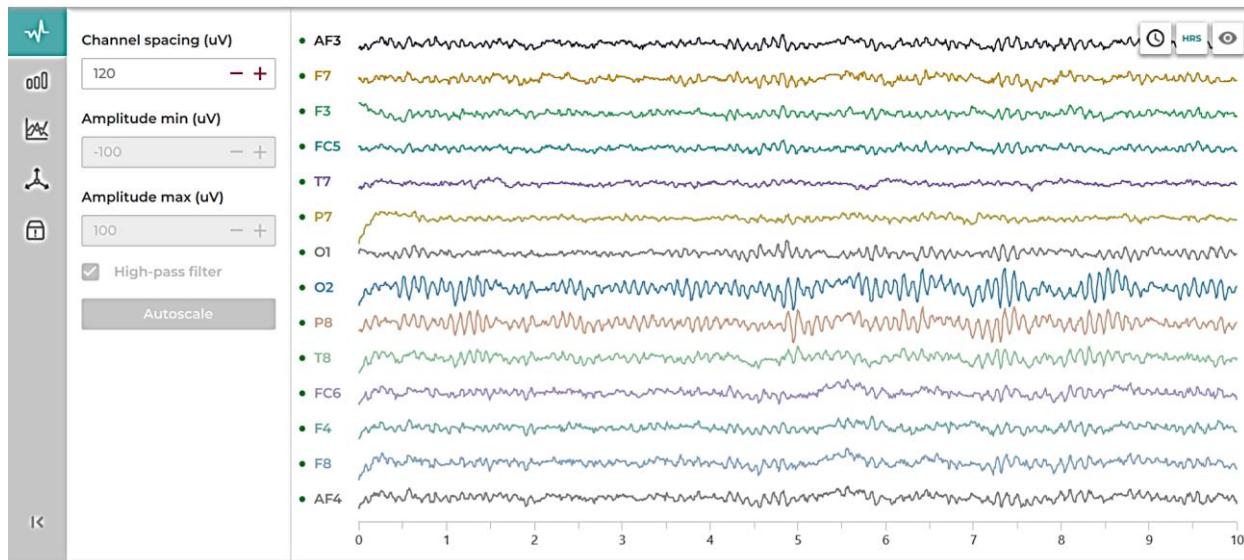


Figura 8: Mapa de calidad de contacto en cada uno de los sensores del sistema Emotiv. Imagen modificada de: EMOTIV Inc. EPOC+ USER MANUAL (2023); https://emotiv.gitbook.io/epoch-user-manual/troubleshooting/contact_quality

5. Una vez colocado el equipo correctamente y cuando las condiciones de contacto y registro son óptimas: apagar la luz eléctrica; si es posible cerrar cortinas y disminuir cualquier fuente intensa de luz natural. Apagar equipos electrónicos (celulares u otras computadoras) que se encuentren cerca del participante y evitar cualquier tipo de ruido.

Realizar las tareas y el registro.

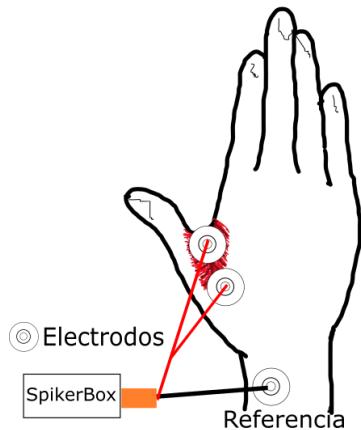
1. Cuando las condiciones sean adecuadas, empezar con el registro realizando las tareas previamente señaladas. La interfaz de visualización del Software Emotiv PRO para el equipo Emotiv Epoc+ se presenta en la Figura 9.



b) Equipo de electromiografía.

1. Solicitar al participante que coloque la mano dominante sobre la mesa de manera relajada.
2. Retirar anillos, pulseras y cualquier otro elemento que pueda interferir con la colocación de los electrodos de registro.

3. Limpiar con una torunda de algodón impregnada de alcohol la zona en donde se colocarán los electrodos sobre la piel y colocarlos como se muestra en la Figura 10. Los electrodos deben ser colocados a pocos centímetros el uno del otro, orientados en paralelo a las fibras musculares y con la precaución de que no se toquen los caimanes para no generar interferencias. El electrodo de referencia debe ser colocado fuera del sistema de músculos a medir.



Preparación del Software y verificación de calidad de contacto y registro

1. Abrir el Software Spike Recorder y encender la Muscle SpikerBox.
2. Verificar la calidad de contacto y de registro del equipo de electromiografía observando que los electrodos emitan una señal estable cuando la mano se encuentra en posición relajada sobre la mesa (Figura 10). Realizar la tarea de contracción lateral del dedo pulgar y observar los cambios en el registro electromiográfico. La presencia de oscilaciones de gran amplitud indica la activación de las unidades motoras (Figura 11).

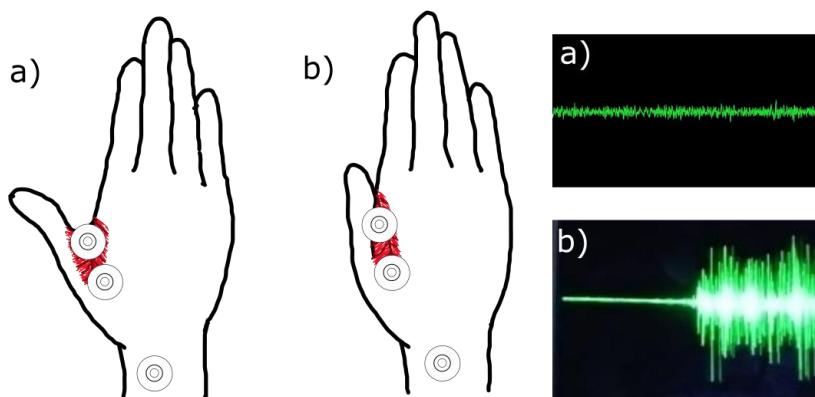


Figura 11: Movimiento y registro del primer músculo interóseo dorsal. a) Estado relajado del pulgar y señal asociada. b) Contracción del Pulgar y señal asociada.

Una vez colocados correctamente ambos equipos y cuando las condiciones de registro sean óptimas: apagar la luz eléctrica y disminuir cualquier fuente intensa de luz natural, apagar equipos electrónicos (celulares y computadoras) localizados en la cercanía del participante y evitar cualquier tipo de ruido.

IV. Aplicar las pruebas y obtener los registros.

1. Cuando ambos equipos permitan realizar registros limpios, empezar con las pruebas. Se deberá coordinar la obtención de los registros, asegurándose que ambos equipos inicien al mismo tiempo y se puedan sincronizar posteriormente las señales electrofisiológicas.

Se recomienda lo siguiente a tomar en cuenta para poder lograr tener dicho emparejamiento:

- Buscar una señal pequeña provocada por un estímulo sonoro antes de iniciar las tareas para poder sincronizar en el tiempo en ambos registros. Es importante tener en cuenta utilizar un mismo reloj de operaciones al iniciar cualquier actividad descrita, así podemos ajustar en el análisis la señal de inicio obtenida por el estímulo con un mismo reloj de emparejamiento.

- La siguiente forma sugerida lleva como consigna utilizar uno de los conocimientos adquiridos en la secuencia de prácticas descritas en el trabajo, que es la utilización de un artefacto de movimiento que afecte directamente a ambos dispositivos para poder tener un punto de referencia antes de iniciar las tareas a seguir, este será parte de la señal y será el punto en el tiempo para poder sincronizar en el análisis ambas señales.

2. Al finalizar las tareas ambos registros deberán tener una duración total de 210 segundos.

V. Almacenamiento de los datos.

En caso de que los datos sean almacenados para un posterior análisis, se recomienda utilizar la siguiente clave para ambos registros: No. de participante, sexo, edad y EC_EMGpul. Ejemplo para la participante No.23, mujer de 19 años: P23_M19_EC_EMGpul. Ejemplo para el participante No.54, hombre de 25 años: P25_H25_EC_EMGpul.

VI. Desmontaje de los equipos.

1. El equipo de electroencefalografía se deberá apagar y retirar la diadema. Posteriormente se retirarán cada uno de los electrodos y sus filtros de contacto para secarlos de manera individual y evitar la oxidación de los electrodos.

2. El equipo de electromiografía deberá apagarse y posteriormente los electrodos se removerán cuidadosamente para no lastimar la piel del participante. Los electrodos se desecharán después de cada registro.

3. Asegurarse que los datos de ambos registros se hay guardado correctamente.

VII. Análisis de los datos

El análisis de los datos se realizará con el software que más le convenga al analista y dependiendo del enfoque y la información que se quiera obtener de los datos. Se recomienda en todos los casos realizar inicialmente la visualización de las series de tiempo para confirmar que la información se grabó correctamente. Los datos de los registros electroencefalográficos con el software EmotivPRO se guardan generalmente en formato .csv y los datos de los registros electromiográficos con el software Spike Recorder en formato .wav.

Preguntas para contestar después de realizar el protocolo

- ¿Qué alteraciones cualitativas se observan en las ondas alfa antes, durante y después del movimiento del dedo pulgar?

- ¿Qué problemática existe cuando se utilizan equipos de registro electrofisiológico separados para realizar el EEG y el EMG?

- ¿Pueden los registros simultáneos de EEG y EMG identificar alteraciones en la comunicación entre el sistema nervioso central y el sistema musculo esquelético? Explica por qué.

- ¿Cómo se ve involucrada el reclutamiento de neuronas motoras en los ejercicios y la implicación de la Fatiga muscular en los registros?

Agradecimientos

A la Dra. Erin C. McKiernan por brindarnos todo su apoyo y conocimiento, por guiarnos y darnos la oportunidad de crecer. Gracias a la coordinación de la Licenciatura en Física Biomédica por apoyar con las instalaciones y el tiempo dentro de las asignaturas para la realización de la práctica. A los alumnos y profesores involucrados para los conocimientos necesarios para que se desenvuelva con éxito el trabajo a realizar. A los voluntarios que prestaron su tiempo para realizar pruebas para que fuera posible el desarrollo de cada aspecto pedagógico del proyecto.

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 y PE213219).

Referencias

- [Soriano et al., 2007] Soriano, C., Guillazo, G., Redolar, D., Torras, M., Vale, A. (2007). Fundamentos de Neurociencia. Editorial UOC. Pp.162-166.
- [Hall & Guyton, 2016] Hall, J. E., & Guyton, A. C. (2016). Tratado de fisiología médica: Unidad II: Fisiología de la membrana, el nervio y el músculo, Capítulos 5-8 (13.a ed.). Elsevier.
- [Sallés et al., 2014] Sallés, L., Gironés, X. y J.V. Lafuente. (2014). Organización motora del córtex cerebral y el papel del sistema de las neuronas espejo. Repercusiones clínicas para la rehabilitación. Med Clín (Barc).
- [Squire et al., 2008] Squire, L.; Berg, D.; Bloom, F.; du Lac S.; Ghosh, A. y N. Spitzer. (2008). Fundamental Neuroscience. Third Edition. Chapter 28: Fundamentals of Motor Systems. The Cerebral Cortex and Descending Motor Control. Academic Press, Elsevier Inc. Canada. Pp. 670-673.
- [Morillo, 2005] Morillo, L. (2005). Análisis visual del electroencefalograma. En: Asociación Colombiana de neurología (ed). Guía Neurológica 7, Capítulo 17. Pp. 143-163.
- [Mantri, et al., 2013] Mantri, S., Dukare, V., Yeole, S., et al. (2013). A Survey: Fundamental of EEG. International Journal of Advance Research in Computer Science and Management Studies, 1(4): 83-88.
- [Chen, et al., 1998] Chen, R., Yaseen, Z., Cohen, L., et al. (1998). Time course of corticospinal excitability in reaction time and self-paced movements. Annals of Neurology, 44:317-325.
- [Huo, et al., 2011] Huo, X., Wang, Y., Kotecha, R. et al. (2011). High gamma oscillations of sensorimotor cortex during unilateral movement in the developing brain: a MEG study. Brain Topography, 23:375-384.

[García-Porrero & Hurlé, 2020] García-Porrero, J.A. y J. M. Hurlé. (2020) Anatomía Humana. 2^a Edición. Capítulo 5: Aparato Locomotor. Extremidad superior. Editorial Médica Panamericana. Madrid, España. Pp. 174-176.

ANEXOS

Cuestionario inicial de características clínicas generales.

Participante _____

1.- Edad _____ y Sexo _____

2.- ¿Padece alguna enfermedad diagnosticada clínicamente? SI:_____ NO:_____

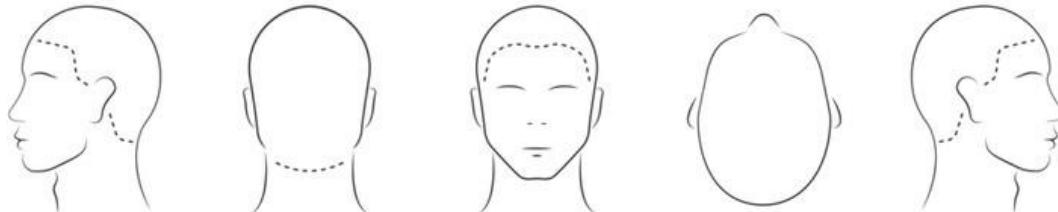
En caso de que su respuesta fuera SI, especifique cuál o cuáles:

3.- ¿Padece alguna enfermedad psicológica (depresión, ansiedad, etc.), o psiquiátrica (hiperactividad, etc) clínicamente diagnosticada? SI:_____ NO:_____

En caso de que su respuesta fuera SI, especifique cuál o cuáles:

4.- ¿Ha tenido algún traumatismo craneoencefálico en su vida? SI:_____ NO:_____

En caso de que su respuesta fuera SI, marque en las imágenes la zona.



shutterstock.com · 1917332810

5.- ¿Tomó algún medicamento en los últimos 15 días? SI:_____ NO:_____

En caso de que su respuesta fuera SI, especifique cuál o cuáles:

6.- ¿Consume sustancias nocivas como cigarro, alcohol o drogas? SI:_____ NO:_____

7.- ¿Ha consumido en las últimas 8 horas alimentos o bebidas altamente energéticos?

SI:_____ NO:_____

8.- ¿En la última semana ha tenido alteraciones en su ciclo de sueño (insomnio, desvelos, despertares nocturnos, sonambulismo, exceso de sueño)? SI:_____ NO:_____

9.- ¿Se siente estresado en este momento? SI:_____ NO:_____

10.- ¿Realiza actividades de meditación o alta concentración (por ejemplo, yoga, taichi, ajedrez, juegos de destreza)? SI:_____ NO:_____

CONSENTIMIENTO INFORMADO

Práctica: "Electroencefalografía superficial en estado de reposo con ojos cerrados y ojos abiertos"

Profesor: _____ (nombre del encargado de la práctica)_____

Sede en donde se realizará la práctica: _____ (nombre de la escuela o institución)_____

Nombre del Participante: _____ (nombre completo)_____ No. de Participante_____

Por este medio se le invita a usted a participar en la realización de esta práctica de electroencefalografía superficial. Antes de decidir si le interesa participar o no, debe conocer y comprender cada uno de los siguientes detalles. Este proceso se conoce como consentimiento informado. Siéntase con absoluta libertad de preguntar sobre cualquier aspecto que le ayude a aclarar sus dudas. Una vez que haya comprendido el procedimiento a realizar y si usted desea participar, entonces se le pedirá que firme esta hoja, de la cual se le entregará una copia.

- I. **Justificación de la práctica:** Esta práctica busca acercar a los estudiantes a la adquisición de registros electrofisiológicos extracelulares para observar el comportamiento de la actividad cerebral en personas clínicamente sanas al realizar tareas de ojos cerrados y ojos abiertos en reposo.
- II. **Objetivo de la práctica:** Comprender que existen variaciones en los registros electroencefalográficos en diferentes estados fisiológicos, en este caso ojos cerrados y ojos abiertos, y que estas variaciones son importantes en el área biomédica.
- III. **Beneficios de la práctica:** Esta práctica le permitirá observar su actividad cerebral en tiempo real y sus cambios cuando realiza tareas de ojos cerrados y ojos abiertos. Se observarán ondas alfa de gran amplitud en regiones occipitales al cerrar los ojos y su ausencia al abrirlos. En algunas personas es difícil observar estas ondas, sin embargo, esto no implica la presencia directa de alguna patología.
- IV. **Procedimientos de la práctica:** Si usted acepta participar en la práctica, se le colocará un equipo de electroencefalografía superficial, el cual registrará la actividad eléctrica de su corteza cerebral, por lo que no sentirá molestias. En cuanto el equipo esté instalado solo se le pedirá que cierre y abra los ojos. Los datos obtenidos en esta práctica serán guardados solo si usted lo requiere y se le podrán proporcionar posteriormente.
- V. **Riesgos asociados con la práctica:** Dado que el equipo de electroencefalografía es superficial y solo recibe información, la realización de esta práctica es indolora, no invasiva, no está contraindicada en ningún caso y no representa ningún riesgo para la salud.

Yo, _____ (nombre completo) _____ he leído y comprendido la información anterior y mis preguntas han sido respondidas de manera satisfactoria. He sido informado (a) y entiendo que los datos obtenidos en esta práctica son únicamente para fines académicos. Convengo en participar voluntariamente en esta práctica.

Firma del Participante

Fecha