



Universidad Autónoma de San Luis Potosí

Facultad de Ciencias

Manual de Prácticas de Laboratorio

Materia

Instrumentación Biomédica Básica

Programa educativo

Ingeniería Biomédica

Autores

Dra. Guadalupe Dorantes Méndez
Dr. Aldo Rodrigo Mejía Rodríguez
Dr. Bersaín Alexander Reyes

San Luis Potosí

Marzo 2019

Prefacio

El área de instrumentación en Ingeniería Biomédica comprende el desarrollo de nuevos dispositivos y procedimientos que ayuden a resolver problemas médicos y relacionados con la salud, combinando conocimiento de ingeniería, biología y medicina, entre otras áreas. La instrumentación en Ingeniería Biomédica busca disminuir la separación entre medicina e ingeniería con la finalidad de impactar en la práctica clínica en el tratamiento, diagnóstico, monitoreo y terapia. Además, la instrumentación biomédica puede contribuir en la adquisición de nuevo conocimiento acerca de sistemas vivos, a través de la aplicación de técnicas experimentales y analíticas, así como en el desarrollo de nuevos dispositivos, procesos o sistemas cuyo objetivo es mejorar el cuidado de la salud.

El presente manual de prácticas está orientado a la Licenciatura en Ingeniería Biomédica y está diseñado como una herramienta para que el estudiante del curso de Instrumentación Biomédica Básica pueda desarrollar una serie de prácticas donde aplique conceptos vistos en el curso. Las prácticas propuestas en este manual se realizarán en el laboratorio de Ingeniería Biomédica Básica de la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, y fueron diseñadas considerando los sistemas de adquisición disponibles en este laboratorio.

Este manual comprende la realización de prácticas orientadas a la adquisición de señales bioeléctricas. La práctica 1 está enfocada en la generación del potencial de acción, sus fases y las características que afectan su desarrollo. Las prácticas 2 a la 5 comprenden el estudio de la generación y adquisición de señales bioeléctricas, así como el desarrollo de diferentes experimentos para observar cambios en las señales con el objetivo de interpretar fisiológica y eléctricamente que ocurre con la señal como resultado de estos experimentos. Por su parte, la práctica 6 establece la implementación del amplificador de instrumentación, el cual es un elemento fundamental en el proceso de adquisición de señales bioeléctricas. Finalmente, las prácticas 7 a la 9 proponen realizar diversas maniobras considerando la adquisición simultánea de más de una señal fisiológica, para comprender la relación que existe entre ellas.

Contenido

PREFACIO	I
PRÁCTICA 1. PROPIEDADES PASIVAS DE LAS CÉLULAS EXCITABLES Y POTENCIAL DE ACCIÓN	1
PRÁCTICA 2. ELECTROMIOGRAFÍA (EMG).....	6
PRÁCTICA 3. ECG, CARACTERÍSTICAS Y CAMBIOS EN LA SEÑAL	15
PRÁCTICA 4. ELECTROENCEFALOGRAFÍA (EEG).....	23
PRÁCTICA 5. ELECTROOCULOGRAMA (EOG)	28
PRÁCTICA 6. AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN	38
PRÁCTICA 7. PLETISMOGRAFÍA ÓPTICA (PPG) Y SU RELACIÓN CON EL ECG	40
PRÁCTICA 8. PRESIÓN SANGUÍNEA	47
PRÁCTICA 9. RELACIÓN DE LA ACTIVIDAD MUSCULAR Y LA FRECUENCIA CARDIACA DURANTE EL EJERCICIO	55



Universidad Autónoma de San Luis Potosí
Facultad de Ciencias

Curso: Instrumentación Biomédica Básica



Práctica 1. Propiedades pasivas de las células excitables y potencial de acción

Unidad 3 y 4

Introducción

Todas las células poseen un potencial de membrana, y sólo las neuronas y células musculares generan señales eléctricas que pueden ser conducidas rápidamente a través de distancias grandes. Las células excitables en reposo se encuentran polarizadas y su potencial de membrana puede calcularse a través de la ecuación de Goldman-Hodgkin-Katz. El potencial de reposo de membrana se encuentra entre -40 mV a -90 mV [1].

Las propiedades eléctricas pasivas de las células excitables y la geometría de las mismas afectan la forma en que se propagan los estímulos y el cambio en el potencial de membrana. Las células excitables tienen 3 propiedades eléctricas pasivas importantes: 1) la resistencia de la membrana en reposo, 2) la capacitancia de la membrana, y 3) la resistencia axial intracelular a lo largo de la célula (por ejemplo: en el axón y dendritas). Debido a que estos elementos proporcionan la vía para completar el circuito eléctrico, cuando la corriente fluye hacia adentro o fuera de la célula, estos determinan el curso del tiempo, la amplitud del potencial generado y la velocidad de conducción del potencial de acción. Además, determinan si el potencial generado corresponde a un potencial supraumbral de despolarización [2].

El potencial de acción consta de 3 fases importantes: 1) **despolarización**, cuando el potencial de membrana se vuelve más positivo; 2) **repolarización**, cuando el potencial de membrana comienza a disminuir después de un máximo; y 3) **hiperpolarización**, cuando el potencial de membrana es más negativo que el potencial de reposo. Además, cuenta con un periodo refractario absoluto y relativo, donde la célula puede o no responder a otro estímulo impuesto. Para que se desencadene un potencial de acción en el periodo refractario relativo debe existir un estímulo que rebase el voltaje umbral y puede existir el traslape de pequeños potenciales postsinápticos que se suman y desencadenan un potencial de acción [1,2]. En la **figura 1.1** se observan las fases del potencial de acción nervioso y la distribución de los periodos refractarios.

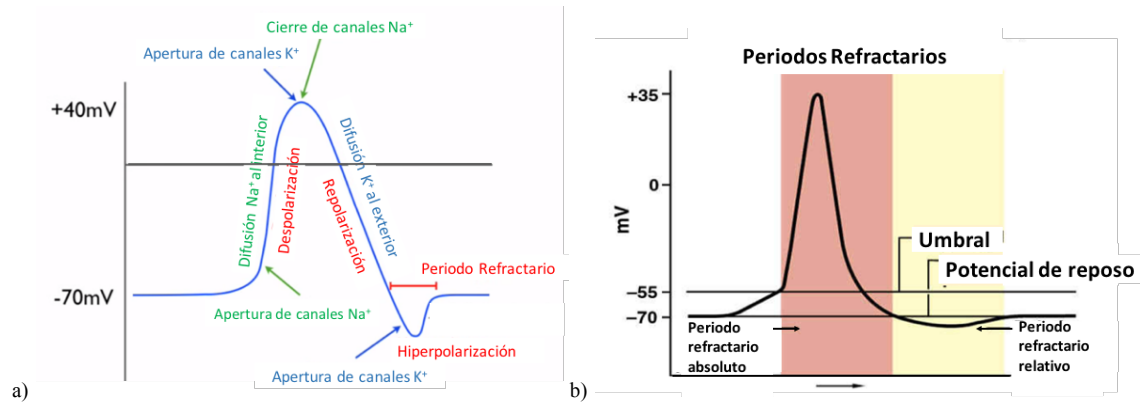


Figura 1.1. a) Fases del potencial de acción y b) ubicación de los periodos refractarios. Imagen modificada de [3].

Objetivo

Comprender como influyen las propiedades pasivas y no lineales en el comportamiento del potencial de acción en las células excitables.
Comprender la generación del potencial de acción y como se ven afectadas sus fases, de acuerdo con el estímulo.

Material

1 computadora
Software AXOVACS

Procedimiento

En el menú principal de AXOVACS, selecciona la opción 5 (Action potential). La interfaz de AXOVACS se muestra en la **figura 1.2**.

La opción e (editar), permite cambiar valores para experimentar con la estimulación del axón gigante de calamar virtual. La opción r (run) aplica los parámetros establecidos a la simulación.

Valores que se pueden editar:

Potencial de membrana inicial (mV)

Estímulo 1 y 2:

Amplitud ($\mu\text{A} / \text{cm}^2$)

Inicio del estímulo (ms)

Duración del estímulo (ms)

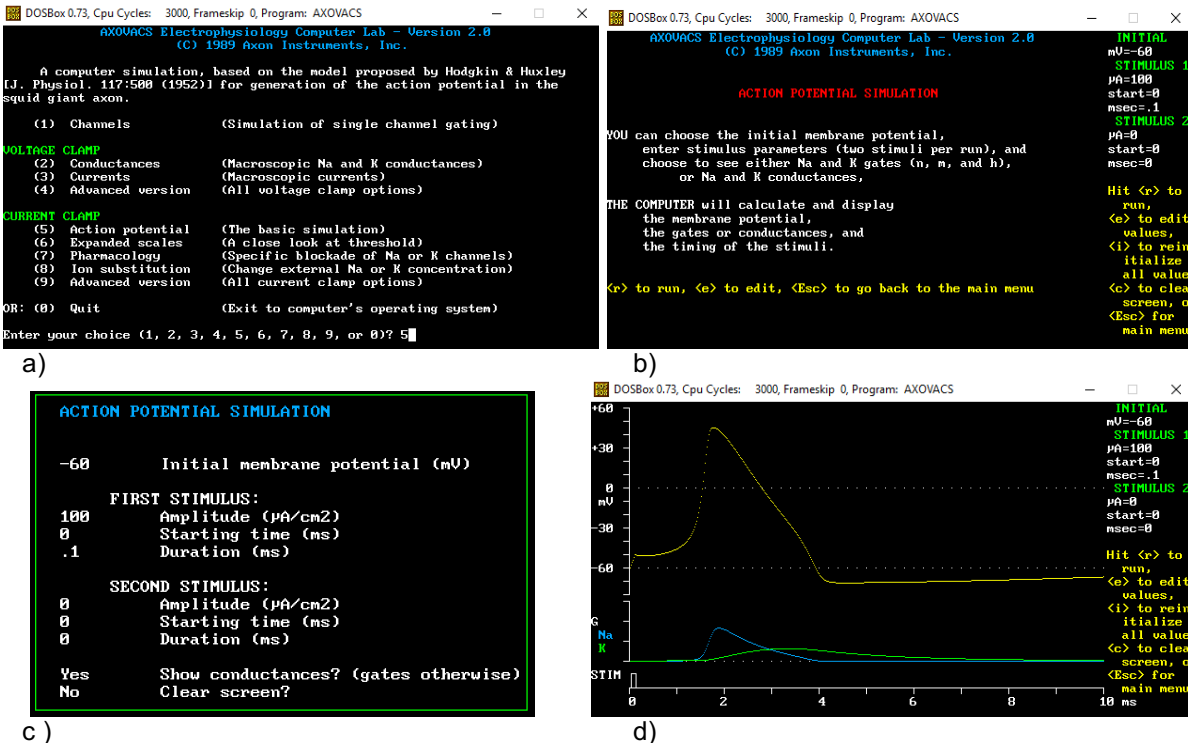


Figura 1.2. Interfaz de AXOVACS, a) pantalla inicial de la interfaz b) Menú desplegado al seleccionar la opción 5: Action potential, c) Menú con opciones para modificar el potencial de acción, disponible a través de la función 'e', d) simulación del potencial de acción, generada con la opción 'r'.

A continuación, explora los siguientes puntos con la finalidad de aclarar conceptos:

1. RESPUESTA DE LA CÉLULA: PROPIEDADES PASIVAS VS PROPIEDADES NO LINEALES

- Estimula a la célula con diferentes valores en la amplitud de la corriente aplicada (estimulo 1), procurando que ésta tenga un valor menor que el potencial umbral. Esto permitirá observar, en la pantalla del programa, las propiedades pasivas de la célula.
- Con el fin de estudiar las propiedades no lineales, aplica una corriente de estimulación que permita pasar del potencial umbral y de esa forma desencadenar potenciales de acción.

Nota: Deja fijo el Potencial de membrana inicial (-60 mV)

Reporta y ejemplifica con una gráfica que ocurre cuando no se llega al voltaje umbral y cuál es el voltaje umbral que se encontró.

2. EFECTO DE LA MAGNITUD, DURACIÓN Y FRECUENCIA DE DISPARO DEL PULSO DE ESTIMULACIÓN SOBRE LA RESPUESTA DE LA MEMBRANA CELULAR.

- En la interfaz de AXOVACS selecciona la opción 9 (Advanced version)

- b) Posteriormente aparecen instrucciones para modificar el despliegue, estímulos, farmacología, salidas, los parámetros: n, m y h.
- c) En el menú estímulos, variar los siguientes parámetros:
 - Amplitud: selecciona 5 valores que logren rebasar el umbral y aplica 2 estímulos hiperpolarizantes, mientras los demás parámetros permanecen fijos.
 - Duración: Reestablece el valor de amplitud inicial y modifica la duración del estímulo (prueba con 5 valores diferentes), los demás parámetros permanecen fijos.
 - Modifica amplitud y duración al mismo tiempo (proponga 5 combinaciones), tiempo de inicio=0 ms
 - Modifica la frecuencia de disparo del estímulo, utiliza el segundo estímulo. Realiza 3 simulaciones con amplitud y duración de ambos estímulos iguales y sólo modifica el tiempo de inicio.
 - Realiza 5 simulaciones modificando todos los parámetros de los 2 estímulos.

Reporta una tabla y una gráfica para cada parámetro modificado y discute los resultados encontrados, mencionando que fenómenos se observaron en las simulaciones.

3. EFECTO DE LOS CAMBIOS DE CONCENTRACIÓN DE IONES Na^+ Y K^+ SOBRE LA RESPUESTA NO LINEAL DE LA MEMBRANA.

- a) En la interfaz de AXOVACS, selecciona la opción 9 (Advanced version)
- b) En la opción estímulos del menú. Los valores de los parámetros se fijarán en 100mA de amplitud, una duración de 0.1ms y el inicio del estímulo en el instante cero, mientras que todos los parámetros del segundo estímulo se fijarán en cero. El potencial de membrana inicial se coloca en -60mV.

La concentración de iones Na^+ Y K^+ se encuentra dada por el cociente, denotado R, de la concentración exterior del ion de interés, entre la concentración interior del mismo ion. El cociente R puede variarse al pulsar la opción pharmacol. La variación en las concentraciones iónicas de Na^+ Y K^+ se realizarán de tres formas distintas:

- I. Variación en la concentración de Na^+ con una concentración de K^+ fija.
En este caso, el cociente R del K^+ se dejará fijo en uno, por lo que la concentración interior y exterior de éste es la misma. El cociente R de Na^+ se cambia a los valores 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 1, 2, 3 y 10 siendo graficado el potencial de membrana para cada caso pulsando r.
- II. Variación en la concentración de K^+ con una concentración de Na^+ fija.
El valor de R del Na^+ se dejará fijo en uno y el cociente del K^+ toma los valores 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 1, 2, 3, 4 y 10, siendo graficado también en cada caso el potencial de la membrana.
- III. Variación de ambas concentraciones.
Modifica los valores de la siguiente forma:

R (Na^+) 1 2 0.5 0.1 0.2

$$R(K^+) \quad 1 \quad 0.5 \quad 2 \quad 2 \quad 4$$

El potencial generado con $R(Na^+) = R(K^+) = 1$ se toma como referencia.

Reporta las gráficas obtenidas para cada variación y discute los resultados encontrados, mencionando que fenómenos se observaron en las simulaciones.

4. PARTICIPACIÓN DE CANALES DE Na^+ Y K^+ EN LA GENERACIÓN DEL POTENCIAL DE ACCIÓN

- En la interfaz de AXOVACS, selecciona la opción 7 (Pharmacology)
- Conserva los valores preestablecidos de los parámetros y modifica saxitoxina (STX), el cual es un bloqueador selectivo de canales de Na^+ [4]. Selecciona 3 variaciones de STX.
- Conserva los valores preestablecidos de los parámetros iniciales y ahora modifica tetraetilamonio (TEA), el cual es un inhibidor de canales de K^+ [5]. Selecciona 3 variaciones de TEA.

Nota: Asegúrate de que cuando modifiques STX, TEA tenga 0 mM y viceversa.

Reporta las gráficas obtenidas para cada variación y discute los resultados encontrados, mencionando que fenómenos se observaron en las simulaciones.

Al finalizar la práctica contesta las siguientes preguntas:

- Defina un estímulo despolarizante y un estímulo hiperpolarizante
- Explica la diferencia entre periodo refractario absoluto y relativo, y mencione su ubicación en el potencial de acción.
- De acuerdo con la práctica, explica que efecto tiene la amplitud del estímulo aplicado.
- En la realización de la práctica ¿lograste observar la suma temporal de estímulos subumbrales despolarizantes? Si no es el caso intenta más simulaciones.
- Explica en base a la práctica realizada los efectos del gradiente de concentración de K^+ y Na^+

Referencias

- [1] Arthur C. Guyton, (2016) Tratado de fisiología médica, 13 ed., Ed. Elsevier
- [2] John G. Webster, (2010) Medical Instrumentation, Application and design, 4 edition, Wiley.
- [3] <https://www.rnursingschool.biz/unity-companies/the-refractory-period.html>
- [4] C Y Kao, A Nishiyama, (1965) Actions of saxitoxin on peripheral neuromuscular systems, The Journal of Physiology, 180(1), 50-66.
- [5] Peter R Stanfield, (1983) Tetraethylammonium Ions and the Potassium Permeability of Excitable Cells, Reviews of Physiology, Biochemistry & Pharmacology, 97, 1-49.



Universidad Autónoma de San Luis Potosí
Facultad de Ciencias

Curso: Instrumentación Biomédica Básica



Práctica 2. Electromiografía (EMG)

Unidad 3

Introducción

El cuerpo humano contiene 3 tipos de tejido muscular, los cuales realizan tareas específicas. Los distintos tipos de músculo presentes en el cuerpo son:

- Músculo cardíaco, el cual se encuentra solo en el corazón y tiene la función de mantener la circulación de la sangre en todo el cuerpo (circulación periférica y pulmonar) para su correcto funcionamiento.
- Músculo liso, localizado en las paredes de los órganos huecos, como son los intestinos, vasos sanguíneos y pulmones. Su contracción cambia el diámetro interno de dichos órganos para regular el paso de material por el tracto gástrico, o controlar la presión y flujo sanguíneo, ó regular el volumen respiratorio durante la respiración.
- Músculo esquelético (estriado), el cual se encuentra unido al esqueleto del cuerpo humano. Su contracción mueve una parte de cuerpo de forma voluntaria, por ejemplo, la flexión del antebrazo o la contracción de músculos para realizar la marcha humana.

Independientemente de la clase de músculo, su función primaria es convertir energía química en trabajo mecánico, lo que produce una contracción muscular.

Particularmente, el músculo esquelético está conformado por cientos de células cilíndricas (llamadas fibras musculares) unidas entre ellas por tejido conectivo, y para realizar una contracción es estimulado por nervios motores, los cuales transportan señales en forma de impulsos nerviosos desde el cerebro o médula espinal hasta los músculos esqueléticos (ver **figura 2.1**). Los axones, o fibras nerviosas, son extensiones largas y cilíndricas de las neuronas que salen del cerebro como nervios craneales y de la médula como nervios espinales, y son distribuidos a los músculos esqueléticos como nervios periféricos. Los nervios tienen estructuras de cables, y cada uno de ellos contiene una colección de fibras nerviosas individuales. Una vez que alcanza un músculo, cada nervio se ramifica y es capaz de inervar varias fibras musculares [1].

A pesar de que una neurona motora inerva muchas fibras musculares, cada fibra muscular es inervada por una sola motoneurona. Al conjunto de una sola motoneurona y todas las fibras musculares que controla o inerva se le llama **unidad motora (figura 2.1)**. Cuando una motoneurona somática (músculo esquelético) es activada, todas las fibras musculares que son inervadas por ella responden de forma conjunta a los potenciales de acción neuronales, causando un potencial acción muscular, produciendo una contracción coordinada de todas las fibras musculares de la unidad motora [1].

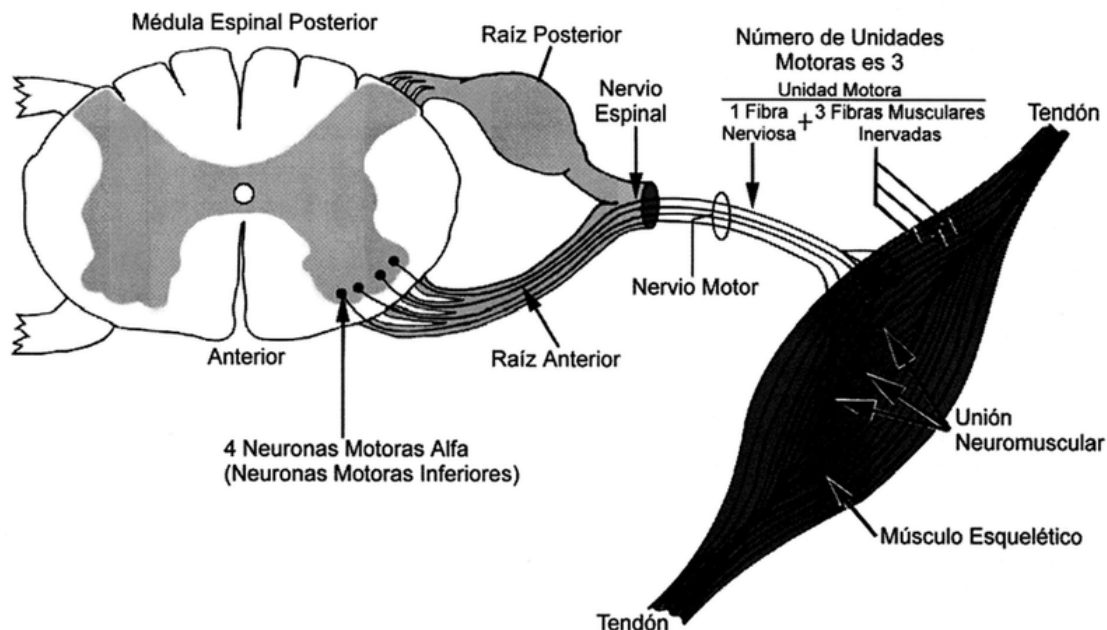


Figura 2.1. Ejemplo de unidad motora. Imagen modificada de [3].

Cuando una unidad motora es activada, las fibras que componen al músculo generan y conducen sus propios impulsos eléctricos, lo que resulta en la contracción de dichas fibras. Aunque la producción y generación de dichos impulsos eléctricos es muy débil (menos de $100 \mu\text{V}$), muchas fibras generando potenciales de acción simultáneos inducen diferencias de voltaje suficientemente grandes como para ser registradas por electrodos superficiales colocados en la piel. A la detección, amplificación y adquisición de cambios de voltaje en la piel producidos por contracciones repetidas de músculo esquelético se le conoce como **electromiografía (EMG)**.

Por otro lado, si consideramos que el trabajo mecánico, en un sentido físico, se refiera a la aplicación de una fuerza la cual resulta en el movimiento de un objeto, podemos considerar que el músculo esquelético realiza trabajo mecánico cuando se contrae buscando mover un objeto, como cuando se levanta un objeto con un peso particular; para levantar dicho peso los músculos tienen que ejercer una fuerza suficientemente grande para superar ese peso, de lo contrario el objeto no se moverá (**figura 2.2**).

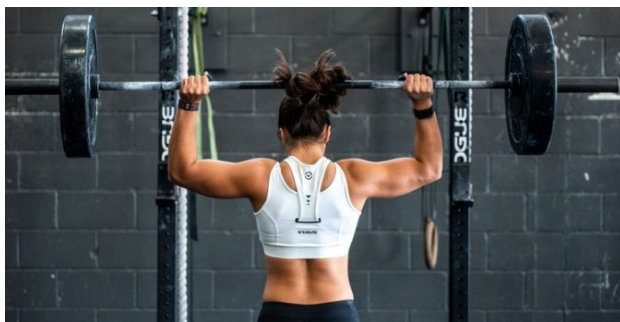


Figura 2.2. Aplicación de trabajo mecánico realizado por fibras musculares para levantar peso. Imagen tomada de [2].

Fisiológicamente, el músculo esquelético es estimulado para contraerse cuando el cerebro o la medula espinal envían un impulso eléctrico específico a las unidades motoras de dicho músculo. Por lo tanto, cuando un músculo esquelético es llamado para realizar un trabajo mecánico un cierto número de unidades motoras en el músculo es activado; la cantidad de unidades motoras activadas es proporcional al total de trabajo que se debe realizar por el músculo (a mayor trabajo realizado, mayor es el número de unidades motoras activadas). Por ejemplo, mas unidades motoras están simultáneamente activadas cuando un músculo esquelético levanta 20 kg que cuando el mismo músculo levanta 5 kg.

El cerebro utiliza la información sensorial de receptores de estiramiento en el músculo y tendones asociados para determinar el número de unidades motoras activas requeridas para realizar un trabajo mecánico. Si esta información sensorial indica que los músculos se están contrayendo, pero no están desarrollando la fuerza suficiente para mover o levantar un objeto, el cerebro activa más unidades motoras hasta que la información sensorial indique que el objeto se ha levantado. A la secuencial activación de unidades motoras para realizar una tarea específica se le llama **reclutamiento de unidades motoras**.

Para poder mantener un peso levantado, las fibras musculares consumen la energía almacenada en el músculo, con lo que se genera la contracción. Como las fibras musculares consumen su fuente de energía, más energía debe de ser creada para continuar la contracción; por ello, el reclutamiento de diferentes unidades motoras permite que estas se relajen y recarguen sus depósitos energéticos.

Cuando los músculos esqueléticos realizan un trabajo constante y/o repetitivo eventualmente se fatigan. La **fatiga muscular** esta definida como una disminución en la habilidad del músculo para generar una fuerza, debido a una pérdida (reversible) en el suministro energético del músculo. Para poder observar la fatiga muscular se puede utilizar un dinamómetro para medir la potencia generada por un cierto grupo de fibras musculares en un tiempo específico; de esta forma, al ver la pérdida de la potencia en un dinagrama se asume que un grupo muscular esta llegando a la fatiga.

El músculo esquelético puede realizar una contracción a través del estímulo que viaja a través de las motoneuronas. Sin embargo, también puede estimularse electricamente de forma externa, a través de electrodos de estimulación externa y de esta forma despolarizando las motoneuronas. A este tipo de estimulación se le conoce como estimulación eléctrica neuromuscular transcutánea (EENT), la cual es frecuentemente usada para fortalecer diferentes músculos. Esta técnica se ha utilizado para tratar atrofia muscular relacionada con inmovilización, a través de ciclos de estimulación – reposo, colocando los electodos percutaneos en puntos motores del musculo de interes. La frecuencia de estimulación se selecciona para inducir contracciones tetánicas y generalmente se utiliza entre 50 y 100 Hz. Durante la EENT, el fisioterapeuta puede modular un gran número de parámetros, pero la molestia generada por la intensidad de la corriente es la mayor limitación en el desempeño de la terapia. En el contexto de la rehabilitación, la asociación de EENT con ejercicios voluntarios es superior a la utilización de contracciones voluntarias isométricas. Se ha hipotetizado que este resultado es porque las contracciones inducidas electricamente imponen patrones de reclutamiento muscular en una forma particular de solicitud metabólica [3].

La presente práctica esta compuesta de tres partes. La primera de ellas establece las bases para entender el concepto de unidad motora y ver la generación de actividad

muscular a través del registro de un EMG; la segunda parte comprende el uso de un dinamómetro para poder comprender los conceptos de reclutamiento de unidades motoras y la fatiga muscular. Finalmente, en la tercera parte se explorará la estimulación eléctrica de un músculo.

Objetivo

Observar y realizar el registro de señales de contracción muscular (EMG), así como comprender los conceptos de reclutamiento de unidades motoras para generación de contracción muscular y fatiga muscular.

Material

1 Unidad de adquisición Biopac MP36
 1 Juego de cable de electrodos BIOPAC (SS2L)
 1 Dinamómetro de mano BIOPAC (SS25LA o SS25L)
 1 Estimulador eléctrico BIOPAC (STMHUM)
 6 Electroodos desechables por individuo
 Alcohol y algodón
 1 Computadora
 Software BSL Pro

Procedimiento

Primera parte

- Conecta adecuadamente el cable de electrodos SS2L (3 derivaciones) al Biopac MP36 en cualquier canal de adquisición.
- Coloca 3 electrodos desechables en la parte interna del antebrazo derecho, como se muestra en la **figura 2.3**. Coloca electrodos de manera similar para el antebrazo izquierdo.

Nota: Para una optima adhesión del electrodo, debe colocarse 5 minutos antes de comenzar la calibración.

Los cables no deben tirar ni arrastrar los electrodos. Coloque el clip del juego de cables de electrodo en un lugar conveniente para que reduzca la tensión (puede ser en la ropa del Sujeto).

El Sujeto no debe estar en contacto con ningún objeto metálico, y debe sacarse todas las pulseras de la muñeca.

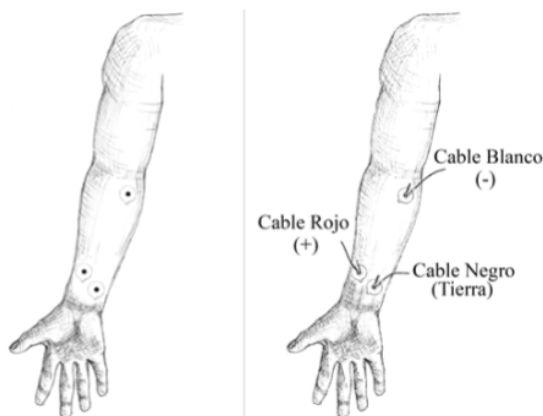


Figura 2.3. Colocación de los electrodos y cable de electrodos en antebrazo para registro de EMG. Imagen tomada de [4].

- Conecta el cable de electrodos a su respectivo electrodo, siguiendo el código de colores que se muestra en la **figura 2.3**, del brazo dominante.
- Configura tu canal de adquisición, con el ancho de banda y frecuencia de muestro adecuados.
- Agrega un canal de cálculo para el EMG integrado (Integral).
- Calibra tus canales antes de comenzar la adquisición.
- Realiza una adquisición de prueba de 10 segundos, en donde el sujeto de prueba abra y cierre el puño, para verificar la presencia de cambios en la señal de EMG.
- Durante esta primera parte de la práctica, la maniobra a realizar consiste en hacer 4 ciclos de apretar el puño (2 segundos) / relajar (2 segundos).
- En cada ciclo se debe aumentar la fuerza de contracción, de tal forma que en el último ciclo se realiza una contracción máxima de puño cerrado.
- Se recomienda dejar un tiempo de espera entre cada ciclo (2 segundos) para ayudar a diferenciar los segmentos.
- Se recomienda colocar marcadores de eventos (F9) al inicio de cada ciclo de contracción.
- Al finalizar las contracciones con el brazo dominante, pause el registro para cambiar el cable SS2L al brazo no dominante.
- Repita la maniobra de 4 ciclos de contracción/relajación (con aumento de fuerza ascendente en cada ciclo) para el brazo no dominante.
- Al finalizar detenga el registro.

Segunda parte

- Conecta adecuadamente el cable de electrodos SS2L (3 derivaciones) y el dinamómetro al Biopac MP36 en cualquiera de los canales de adquisición.
- Coloca electrodos en los antebrazos derecho e izquierdo tal y como se muestra en la **figura 2.3**.
- Conecta el cable de electrodos a su respectivo electrodo, siguiendo el código de colores que se muestra en la **figura 2.3**, del brazo dominante.
- Configura tus canales de adquisición (EMG y Fuerza - Dinamómetro), con el ancho de banda y frecuencia de muestro adecuados.
- Agrega un canal de cálculo para el EMG integrado (Integral).
- Realiza la calibración del canal de EMG antes de comenzar la adquisición.
- Realiza la calibración del canal de Fuerza, debes asegurarte de que el cero "0" debe corresponder al dinamómetro solo (sin contacto con el usuario).
- Posteriormente, por cada sujeto de estudio, realiza tres ciclos de contracción máxima sostenida (2 segundos) – relajación (2 segundos) como se muestra en la **figura 2.4**; con estos datos estima el valor de fuerza máxima de cada participante (este dato será útil más adelante).



Figura 2.4. Ejemplo de uso del Dinamómetro SS25LA. Imagen tomada de [5].

- Para la segunda parte de la práctica se realizarán 4 maniobras: incremento de fuerza por reclutamiento de unidades motoras y contracción máxima hasta la fatiga muscular, ambas maniobras se realizarán para brazo derecho e izquierdo.
- Primero, realiza ambas maniobras con el brazo dominante de cada sujeto de estudio.
- Antes de iniciar con la maniobra de incremento de fuerza por reclutamiento de unidades motoras, con el dato obtenido de fuerza máxima por cada voluntario, asigne el incremento de fuerza que se debe de seguir utilizando la siguiente información:
 - Fuerza de calibración 0- 25 kg $\Rightarrow$ Incremento de 5 kg
 - Fuerza de calibración 25- 50 kg $\Rightarrow$ Incremento de 10 kg
 - Fuerza de calibración >50 kg $\Rightarrow$ Incremento de 20 kg

Utilizando esta información, por cada voluntario se realizarán contracciones incrementando el valor correspondiente, es decir, 5 kg, 10 kg, 15 kg, ..., en el caso de tener una fuerza de calibración entre 0 y 25 kg, 10 kg, 20 kg, 30 kg, ..., en el caso de tener una fuerza de calibración entre 25 y 50 kg, y 20 kg, 40 kg, 60 kg, ..., en el caso de tener una fuerza de calibración superior a los 50 kg.

- La maniobra de Incremento de Fuerza por Reclutamiento de Unidades Motoras consta de ciclos de Contracción sostenida – Relajación – Espera (2 segundos en cada fase), los cuales se realizan con un incremento en la fuerza de contracción hasta que el sujeto de estudio alcance su valor de fuerza máximo.
- Coloca un marcador de eventos (F9) en cada inicio de ciclo.
- Para la maniobra de Fatiga Muscular, se debe tomar en consideración el valor de Fuerza Máxima registrado, ya que la fatiga muscular es cuando se encuentra una contracción sostenida al 50% del valor máximo. Por lo tanto, durante esta maniobra se solicita realizar una contracción máxima y mantener la fuerza ejercida en el dinamómetro hasta que la fuerza este por debajo del 50% de fuerza máxima de cada sujeto.
- Se recomienda estimar el valor del 50% de fuerza máxima antes de realizar el registro para poder colocar un marcador de eventos (F9) cuando este suceda durante el registro.
- Una vez concluidas las maniobras con el brazo dominante, se prosigue con la adquisición de las mismas maniobras, pero realizándolas con el brazo no dominante.

Tercera parte

- En la interfaz de Biopac selecciona el estimulador STMHUM en el menú MP36 / Control salidas.

- En la interfaz aparecerá el menú con los parámetros de control del estimulador, con el clic derecho sobre el menú, aparecerá la opción Preferencias, donde se seleccionará el Número de pulsos: continuo.
- Los parámetros que se pueden variar son frecuencia y voltaje. Selecciona frecuencia en el rango de 10-80 Hz y voltaje entre 10-80 V. Recuerda que si ambos valores son altos la sensación será mayor, por lo que es recomendable aumentar un parámetro mientras el otro se mantiene en un valor bajo.
- Aplica la estimulación seleccionando ON en la interfaz y oprimiendo el botón rojo del estimulador. Aplica agua con un algodón humedo en la zona de estimulación.
- Las posibles zonas de estimulación se muestran en la **figura 2.5**.
- Aplica la estimulación eléctrica en 2 sujetos voluntarios con la finalidad de comparar los resultados.



Figura 2.5. Localizaciones para la estimulación eléctrica. 1. Puede generar movimiento en los dedos, 2. Puede generar movimiento de la muñeca. Imagen modificada de [6].

Resultados

Primera parte

Con la información de los canales de EMG y EMG integrado llena las **tablas 2.1 y 2.2** para cada sujeto que haya realizado el experimento.

Tabla 2.1. Mediciones de registro de EMG

Ciclo	Antebrazo 1 (Dominante)				Antebrazo 2 (No dominante)			
	Min	Max	P-P	Media	Min	Max	P-P	Media
1								
2								
3								
4								

Tabla 2.2. Mediciones de registro de tono muscular (EMG integrado).

Ciclo	Antebrazo 1 (Dominante)		Antebrazo 2 (No dominante)	
	P-P	Media	P-P	Media
1				
2				
3				
4				

En el reporte de la práctica, reportar datos sobre el sujeto de experimentación: nombre, edad, género, peso, estatura.

Contesta las siguientes cuestiones para explicar los resultados:

1. Al comparar el valor medio de las contracciones máximas de ambos brazos, ¿Qué brazo tiene mayor fuerza de contracción? Justifica tu respuesta.
2. ¿Cuáles son los factores que pueden causar las diferencias de fuerza y tono observadas? Justifica tu respuesta.
3. El tono muscular en los brazos de una misma persona, ¿son diferentes o iguales? Justifica tu respuesta.

Al finalizar la práctica contesta las siguientes preguntas:

1. Define que es el tono muscular.
2. Explica el origen de las señales de EMG detectadas en los electrodos.
3. Define electromiograma.

Segunda parte

Con la información de los canales de EMG, EMG integrado y Fuerza (dinamómetro) llena las **tablas 2.3 y 2.4** para cada sujeto que haya realizado el experimento.

Tabla 2.3. Contracción asendente por reclutamiento de unidad motora.

Pico	Incremento de fuerza (kg)	Antebrazo 1 (Dominante)			Antebrazo 2 (No dominante)		
		Fuerza	EMG	EMG Int	Fuerza	EMG	EMG Int
		Media (kg)	P-P (mV)	Media (mV)	Media (kg)	P-P (mV)	Media (mV)
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							

Tabla 2.4. Contracción máxima sostenida hasta fatiga muscular.

Antebrazo 1 (Dominante)			Antebrazo 2 (No dominante)		
Fuerza máxima	50% de fuerza máxima	Tiempo para fatiga	Fuerza máxima	50% de fuerza máxima	Tiempo para fatiga
Medir	Calcular	Calcular ΔT	Medir	Calcular	Calcular ΔT

Tercera parte

Reporta los parámetros con los que se aplicó la estimulación eléctrica con el estimulador e investiga los nombres de los músculos que se estimularon. Reporta si se generó contracción visible (movimiento) con la estimulación eléctrica.

Reporta las diferencias encontradas en los sujetos voluntarios.

Contesta las siguientes cuestiones para explicar los resultados:

1. ¿La fuerza generada por brazo derecho e izquierdo es diferente? Justifica tu respuesta.
2. ¿Hay diferencia entre los valores absolutos de fuerza encontrados entre hombres y mujeres?, ¿A qué se debe esta diferencia de fuerza?
3. ¿Qué factores influyen en las diferencias encontradas?
4. Cuando se sostiene un objeto, ¿El número de unidades motoras es el mismo?, ¿Son usadas las mismas unidades motoras durante la acción de sostener un objeto?
5. Con la fatiga, la fuerza ejercida por los músculos disminuye. ¿Qué proceso fisiológico explica la declinación en la fuerza?

Al finalizar la práctica contesta las siguientes preguntas:

1. Define el concepto de Unidad Motora.
2. Define el concepto de Reclutamiento de Unidades Motoras.
3. Define fatiga muscular.
4. Define el concepto de tono muscular.
5. Define qué es dinamometría.

Referencias:

- [1] Arthur C. Guyton, (2016) Tratado de fisiología médica, 13 ed., Ed. Elsevier
- [2] <https://www.dumblittleman.com/benefits-of-lifting-heavy-weights/>
- [3] M. Vanderthommen, JM. Crielaard JM, (2001) Muscle electric stimulation in sports medicine, Rev Med Liege. 56(5):391-5.
- [4] https://www1.udel.edu/biology/rosewc/kaap310/lab/BSL4_manual.pdf
- [5] <https://www.biopac.com/product/hand-dynamometer-bsl/>
- [6] https://es.123rf.com/photo_88245653_el-hombre-del-brazo-con-las-venas-de-sangre-en-el-fondo-blanco-cuidado-de-la-salud-y-el-concepto-m%C3%A9dic.html



Universidad Autónoma de San Luis Potosí
Facultad de Ciencias

Curso: Instrumentación Biomédica Básica



Práctica 3. ECG, Características y cambios en la señal

Unidad 3 y 5

Introducción

Cada ciclo cardiaco es iniciado por la generación espontánea de un potencial de acción en el nodo sinusal. El potencial de acción viaja desde aquí rápidamente por ambas aurículas y después a través del haz aurículo-ventricular (AV) hacia los ventrículos. Debido a esta disposición del sistema de conducción desde las aurículas hacia los ventrículos, hay un retraso durante el paso del impulso cardiaco de aurículas a ventrículos, lo cual permite que las aurículas se contraigan antes de la contracción ventricular, bombeando de esta manera sangre hacia los ventrículos antes de que inicie la contracción intensa ventricular [1].

El cuerpo es un buen conductor de electricidad debido a la alta concentración de iones que se mueven a través de él, lo cual crea una corriente en respuesta a diferencias de potencial. Las diferencias de potencial generadas por el corazón pueden ser registradas en la superficie del tórax a través de 3 electrodos, a este registro se le llama electrocardiograma (ECG).

El ECG está constituido por las ondas P, Q, R, S, T y los segmentos P-R, S-T y los intervalos P-R y Q-T, como se observa en la **figura 3.1**. Cada ciclo cardiaco produce 3 eventos principalmente (ondas P, QRS y T). Estas ondas representan cambios en el potencial registrado en 2 regiones en la superficie del corazón.

Cada onda representa un evento diferente:

- Onda P: despolarización de las aurículas
- Segmento P-R: retraso de conducción en el nodo AV
- Complejo QRS: despolarización ventricular y repolarización de aurículas
- Segmento S-T: duración promedio de la meseta de células ventriculares individuales
- Onda T: repolarización ventricular

Existen formas establecidas para adquirir el ECG ya que se pueden determinar diferencias de potenciales colocando electrodos en la superficie del cuerpo y midiendo el voltaje entre ellos. Las configuraciones de derivaciones más utilizadas son las siguientes:

- Plano frontal
 - Derivaciones bipolares: I, II, III
 - Derivaciones unipolares aumentadas: aVR, aVL, aVF

- Plano transversal
 - 6 derivaciones unipolares precordiales: V_1 - V_6
- La **figura 3.2** ejemplifica la configuración de las derivaciones bipolares.

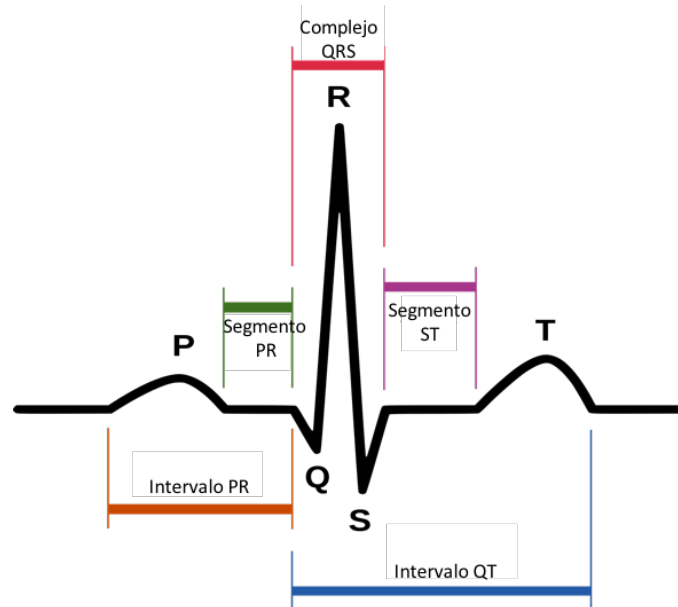


Figura 3.1. Onda y segmentos que componen la señal de ECG. Imagen modificada de [3].

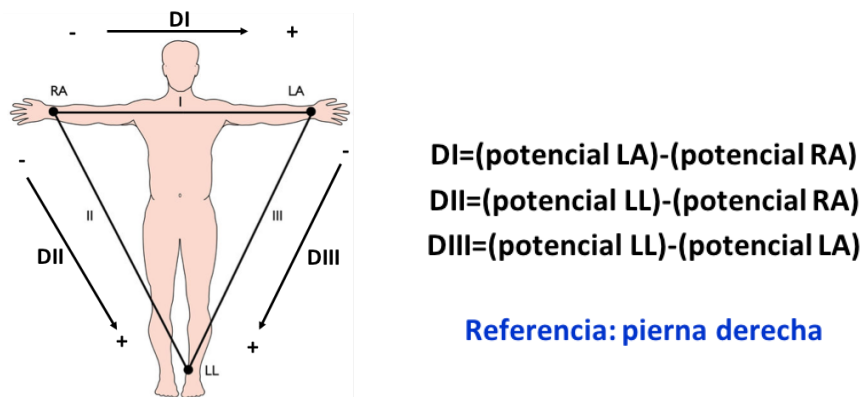


Figura 3.2. Configuración de las derivaciones bipolares para la adquisición de la señal de ECG. LA: Brazo izquierdo, RA: brazo derecho, LL: pierna izquierda. Imagen modificada de [4]

La ley de Einthoven relaciona a las derivaciones bipolares estableciendo que la derivación II se puede obtener a partir de las derivaciones I y III: $II = I + III$.

La generación de la señal de ECG involucra a los vectores cardiacos, que se forman dependiendo del momento del ciclo cardiaco, y al vector de la derivación con la cual se está registrando el ECG. El producto punto de los dos vectores involucrados forman el trazo del ECG:

$$P(t) = \overline{V_c} \cdot \overline{D} = V_c D \cos(\theta) \quad (1)$$

donde $P(t)$ corresponde al potencial del ECG a cada instante de tiempo, $\overline{V_c}$ es el vector cardiaco, $\overline{D}$ es el vector de la derivación utilizada y $\cos(\theta)$ es el ángulo que se forma entre los dos vectores.

El eje eléctrico medio brinda información sobre la orientación de la actividad global del corazón, para estimarlo se utiliza la amplitud de la onda R de las derivaciones I y III. La magnitud de la onda R se coloca en el eje correspondiente a cada derivación, como se muestra en la **figura 3.3** y se trazan líneas perpendiculares al vector de la onda R marcada en la derivación I y III, la intersección de estas rectas genera un nuevo vector con magnitud y ángulo que estiman el eje eléctrico medio del corazón [1].

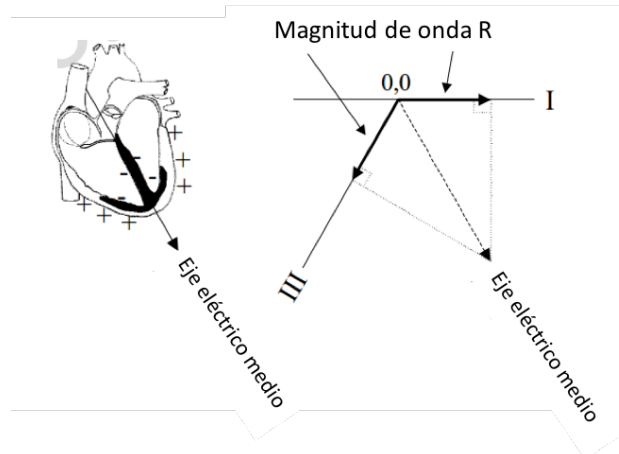


Figura 3.3. Estimación del eje eléctrico medio. Imagen modificada de [5]

Existen varios factores que modifican los valores de frecuencia cardiaca, estos pueden ser alguna patología o algún fenómeno realizado de forma natural. La respiración es uno de los fenómenos que modifican la frecuencia cardiaca, por el cambio que ocurre en inspiración y espiración en la presión intratorácica, que en conjunto con el barorreflejo cardiaco y otros reflejos generan un aumento de frecuencia cardiaca en la inspiración y una disminución de la frecuencia cardiaca en la espiración [1].

En el ejercicio la frecuencia cardiaca también se ve modificada debido a factores como [2]:

- ↑ en la activación muscular
- ↑ en la oxigenación de la sangre
- El riego sanguíneo disminuye en órganos que no son esenciales para el sistema musculo esquelético
- ↑ en gasto cardiaco → ↑ Frecuencia Cardiaca, ↑ Volumen de eyección
- ↑ presión arterial
- ↑ ventilación → ↑ Frecuencia Respiratoria

Objetivo

Comprender la generación del ECG, sus características y sus modificaciones debido a ciertos eventos.

Material

1 Unidad de adquisición BIOPAC MP36

2 Juegos de cables de electrodos BIOPAC (SS2L)
 6 Electrodo desechables
 1 Camilla o manta para acostarse
 Alcohol y algodón
 1 Computadora
 Software BSL Pro

Procedimiento

- Conecta adecuadamente el cable de electrodos (3 derivaciones) al BIOPAC MP36 a cualquier canal de adquisición.
- Coloca los electrodos desechables en la derivación I y III, toma como referencia la **figura 3.2**.
Nota: Para una óptima adhesión del electrodo, este debe colocarse en el sujeto voluntario 5 minutos antes de comenzar la calibración.
 Los cables no deben tirar ni arrastrar los electrodos. Coloca el clip del juego de cables de electrodo en un lugar conveniente para que reduzca la tensión (puede ser en la ropa del voluntario).
 El voluntario no debe estar en contacto con ningún objeto metálico, y debe sacarse todas las pulseras de la muñeca y tobillo.
- Configura la adquisición, con el ancho de banda y frecuencia de muestro adecuados.
- Agrega dos canales de cálculo, uno como frecuencia cardíaca (FC) y otro como intervalos RR, asígnalos a cualquiera de las derivaciones I o III.
- Calibra tus canales antes de comenzar la adquisición.
- Realiza una adquisición de prueba de 30 s, para verificar la morfología adecuada de la señal.
- Maniobras por realizar durante la práctica:

Maniobra	Duración
Reposo acostado (respiración normal)	30 s
Reposo acostado (respiración profunda)	30 s
Sentado + respiración profunda	30 s
Sentado + respiración normal	30 s
Reposo acostado	10 s
1 cambio de postura rápido (acostado a parado)	--
Parado (Posterior al cambio de postura con respiración normal)	2 min
Ejercicio: saltos, burpees,	2-3 min
Recuperación sentado	3 min

- Al finalizar las maniobras, calcula la derivación II a partir de la Ley de Einthoven.

Nota: La respiración profunda debe ser entre 6 y 8 respiraciones por minuto. Prueba que el voluntario sea capaz de realizarlas antes de iniciar la práctica, puede utilizar un cronómetro para mejor control de la maniobra.

En la tercera maniobra (Sentado + respiración profunda), marca el inicio de inhalación y exhalación.

Para realizar los cambios de postura y el ejercicio, pausa la adquisición.

Durante el ejercicio desconecta al voluntario para que pueda realizar el ejercicio libremente y reconéctalo lo más rápido posible.

Sugerencias importantes:

- Insertar Marcadores de eventos: PC = Tecla F9
- Inserta marcadores en los cambios de maniobras y donde se sugiere en la práctica, agrega notas en la revista de BSL pro o en tu cuaderno si es necesario.
- No detengas el registro, solo en el caso que se indica, por eso son importantes los marcadores

Resultados

Datos del voluntario de experimentación:

Edad: _____, Género: _____, Peso: _____, Estatura: _____

En el software BSL Pro, utiliza la opción de ΔT y **BPM**, para obtener la duración y la frecuencia cardiaca respectivamente en cada ciclo. Para la amplitud utiliza la opción Δ , seleccionando el inicio de la onda y su punto máximo para obtener la diferencia en amplitud entre el mínimo y máximo de la onda.

Llena las **tablas 3.1, 3.2 y 3.3** para la primera maniobra.

Tabla 3.1. ΔT y LPM durante la etapa de reposo acostado con respiración normal

Medición	Ciclo cardiaco					Media	(Min, Max)
	1	2	3	4	5		
ΔT							
LPM							

LPM: latidos por minuto

ΔT : considere el intervalo entre ondas R

Tabla 3.2. Duración y amplitud de ondas y segmentos de la señal de ECG

	Duración (ΔT)						Amplitud (mV) (Δ)					
	Ciclo cardiaco						Ciclo cardiaco					
	1	2	3	4	5	Media	1	2	3	4	5	Media
Onda P												
Intervalo PR												
Segmento PR												
Complejo QRS												
Intervalo QT												
Segmento ST												
Onda T												

Tabla 3.3. Duración del intervalo QT y fin de onda T a onda R siguiente de la señal de ECG

	Duración (ΔT)					
	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Media
Intervalo QT (Sístole ventricular)						
Fin de onda T a onda R siguiente (Diástole ventricular)						

Para las maniobras 2 y 3, recabar los datos en las **tablas 3.4 y 3.5**:

Tabla 3.4. ΔT y LPM durante la etapa de reposo acostado con respiración profunda

	Ciclo cardiaco					Media
	1	2	3	4	5	
Inspiración						
ΔT						
LPM						
Espiración						
ΔT						
LPM						

Tabla 3.5. ΔT y LPM durante la etapa de reposo sentado con respiración profunda

	Ciclo cardiaco					Media
	1	2	3	4	5	
Inspiración						
Δ T						
LPM						
Espiración						
Δ T						
LPM						

Tabla 3.6. ΔT y LPM durante la etapa de sentado con respiración normal

	Ciclo cardiaco					Media
	1	2	3	4	5	
ΔT						
LPM						

Tabla 3.7. Duración del intervalo QT y fin de onda T a onda R siguiente de la señal de ECG, después de la etapa de ejercicio.

	Duración (ΔT)					
	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Media
Intervalo QT (Sístole ventricular)						
Fin de onda T a onda R siguiente (Diástole ventricular)						

Para recabar los datos de la **tabla 3.8**, utiliza el canal de cálculo de frecuencia cardiaca y obtenga la media y desviación estándar del segmento de cada maniobra, utilice las funciones del software BSL Pro.

Tabla 3.8. Frecuencia cardiaca (FC) durante las maniobras realizadas

Maniobra	FC media (lpm)	Desv. Est. (lpm)
Reposo acostado		
Reposo + resp. profunda		
Sentado + resp. profunda		
Sentado		
Parado		
Ejercicio		
Recuperación		

Estima y representa gráficamente el eje eléctrico medio de las siguientes etapas: reposo acostado, reposo + respiración profunda (inspiración), reposo + respiración profunda (expiración) y parado.

Tabla 3.9. Eje eléctrico medio

Maniobra	Magnitud eléctrica media	Angulo del eje eléctrico medio
Reposo acostado		
Reposo + resp. Profunda (inspiración)		
Sentado + resp. Profunda (expiración)		
Parado		

Contesta las siguientes cuestiones para explicar los resultados:

1. Explica los mecanismos fisiológicos que determinan los cambios en la frecuencia cardiaca durante las maniobras.

2. Si existen cambios en la duración de sístole y diástole entre reposo y post-ejercicio, explica la causa de estos cambios.
3. Realiza una comparación en base a la duración de los intervalos y segmentos del ECG durante las etapas de reposo y durante el ejercicio
4. Realiza una comparación de tus resultados en las diferentes maniobras y discute sus diferencias
5. Compara los resultados de la **tabla 3.8** con los resultados de 2 equipos de trabajo y discute las diferencias
6. ¿Por qué existen diferencias en el eje eléctrico medio durante las maniobras?

Al finalizar la práctica contesta las siguientes preguntas:

1. ¿Explica la generación del ECG?
2. Define la ley de Eindhoven y el triángulo de Eindhoven
4. ¿Qué factores afectan la orientación del Eje eléctrico medio?
5. ¿Cuál es la diferencia entre el eje eléctrico medio y los vectores cardíacos?
6. ¿Qué factores afectan la amplitud de la onda R registrada en las diferentes derivaciones DI, DII, DIII?
7. ¿Qué cambios fisiológicos ocurren cuando respiras profundamente, cuando cambias de postura y cuando realizas ejercicio y qué esperas ver en la señal de ECG y frecuencia cardíaca durante estas maniobras?

Referencias

- [1] Arthur C. Guyton, (2016) Tratado de fisiología médica, 13 ed., Ed. Elsevier
- [2] <https://en.wikipedia.org/wiki/Electrocardiography>
- [3] <https://www.faeditorial.es/capitulos/actualizacion-practica-electrocardiografia.pdf>
- [4] https://www.biopac.com/wp-content/uploads/BSL_I06_BSL_4.pdf
- [5] Antonio C. L. Nobrega et al. (2014) Neural Regulation of Cardiovascular Response to Exercise: Role of Central Command and Peripheral Afferents, BioMed Research International. Article ID 478965, 20 pages.



Universidad Autónoma de San Luis Potosí
Facultad de Ciencias

Curso: Instrumentación Biomédica Básica



Práctica 4. ELECTROENCEFALOGRAFÍA (EEG)

Unidad 3

Introducción

El registro de fluctuaciones de potencial eléctrico registradas en el cerebro se denomina electroencefalograma (EEG), el cual puede llevarse a cabo, principalmente, utilizando electrodos a nivel de cuero cabelludo, corteza y electrodos profundos. Los potenciales que se registran en EEG corresponden a la superposición de potenciales producidos por una variedad de generadores de corriente de neuronas activas dentro de un volumen conductor.

El sistema nervioso central está constituido por el encéfalo y la médula espinal. El encéfalo se divide en 3 partes principales: 1) cerebro, 2) cerebelo, y 3) tallo cerebral, las cuales proveen la base para el estudio de la localización y función del encéfalo. Una de las funciones más importantes del sistema nervioso consiste en elaborar la información que le llega de tal modo que dé lugar a las respuestas motoras y mentales adecuadas [1]. Las funciones de la corteza cerebral incluyen pensamiento abstracto, razonamiento, control voluntario e involuntario de los músculos esqueléticos, y el reconocimiento y diferenciación de estímulos somáticos, viscerales y sensoriales. Regiones específicas de la corteza cerebral procesan y/o generar varios tipos de información. Por ejemplo, el lóbulo occipital procesa información visual.

A través del registro del EEG se pueden obtener las ondas cerebrales, cuya amplitud va desde 10 mV hasta 100 μ V, mientras las frecuencias van de 0.5 a 100 Hz y sus características son altamente dependientes del grado de actividad de la corteza cerebral. Por ejemplo, las ondas cambian entre los estados de vigilia y sueño. Las ondas más comunes se clasifican en 4 grupos: alfa, beta, theta y delta [2].

- Las **ondas delta** incluyen todas las ondas en el EEG debajo de 3.5 Hz. A veces estas ondas ocurren cada 2 o 3 segundos. Estas ocurren en sueño profundo, en infancia y en algunas enfermedades que afectan al cerebro.
- Las **ondas theta**, tienen frecuencias entre 4 y 7 Hz. Están presentes en algunas fases del sueño, pero también aparecen durante estrés emocional en algunos adultos, particularmente durante periodos de decepción y frustración. También pueden aparecer cuando se está meditando.
- Las **ondas alfa** son ondas rítmicas que ocurren a una frecuencia entre 8 y 13 Hz. Estas ondas son encontradas generalmente en todas las personas normales cuando están despiertos en un estado de quietud y descanso. Su voltaje

aproximado es entre 20 a 200 μ V. Cuando el sujeto despierto mantiene su atención directamente a una actividad mental específica, las ondas alfa son remplazadas por ondas asíncronas de alta frecuencia, pero baja amplitud.

- Las **ondas beta**, normalmente ocurren en un rango de 14 a 30 Hz, y en ocasiones, particularmente, durante intensa actividad mental, mayores a 50 Hz. Se dividen en dos tipos, beta I y beta II. Las ondas beta I tienen una frecuencia del doble de las ondas alfa y son afectadas de la misma forma por la actividad mental. Las ondas beta II, por otro lado, aparecen durante una intensa activación del sistema nervioso central o durante tensión.

Para que sea posible registrar el EEG es necesario que un gran número de neuronas se activen sincronizadamente para que el potencial generado alcance la superficie cerebral. El termino sincronización se utiliza para describir un proceso en el que un grupo de neuronas realizan una sola acción.

Objetivo

Comprender la generación del EEG y entender los cambios en los ritmos cerebrales debidos a diferentes maniobras.

Material

- 1 Unidad de adquisición BIOPAC MP36
- 1 Juego de cable de electrodos BIOPAC (SS2L)
- 3 Electrodoes desechables
- Alcohol y algodón
- 1 Computadora
- Software BSL Pro

Procedimiento

1. Coloca los electrodos como se muestra en la **figura 4.1**

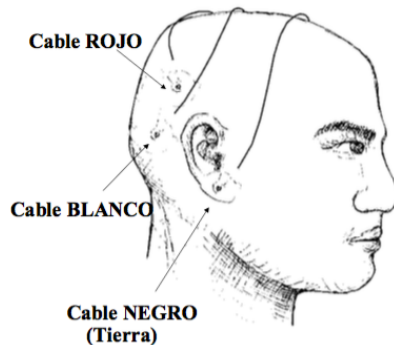


Figura 4.1. Colocación de los electrodos. Imagen tomada de [3].

2. Configura el sistema de adquisición BIOPAC MP36, considerando un canal de adquisición y los canales de cálculo para visualizar las diferentes ondas del EEG.
3. Selecciona una frecuencia de muestreo de 500 Hz.
4. La primera etapa de la práctica (*estado relajado*) consiste en las siguientes condiciones:

Tiempo	Maniobra
0 - 15 s	Ojos cerrados
15 - 30 s	Ojos abiertos
30- 45 s	Ojos cerrados

Recuerda colocar marcadores al inicio y final de cada maniobra (tecla F9):

5. La segunda etapa consiste en realizar las siguientes maniobras:

Tiempo	Maniobra
0 - 10 s	Relajado + ojos cerrados
10 - 40 s	Cálculos mentales
40 s - 4:40 min	Hiperventilando (3-4min)
4:40min - 4:50min	Relajado + ojos cerrados

Coloca marcadores al inicio y final de cada maniobra

6. Agrega una maniobra extra, por ejemplo: escuchar música, observar algún estímulo visual, etc. Investiga previamente que ocasiona el estímulo que selecciones en las ondas cerebrales para plantear una hipótesis y corroborarla con la experimentación. Considera la ubicación de los electrodos, si requieres cambiarlos de ubicación, hazlo.

Notas importantes:

- La adquisición debe realizarse en un espacio tranquilo y sin ruido, el voluntario debe estar relajado, sin distracciones, sin hablar, no debe verbalizar las respuestas a los cálculos matemáticos mentales.
- Debes traer el material necesario para que los electrodos se queden estáticos en su posición (e.g. gorra de natación)
- Un buen contacto de los electrodos es esencial para minimizar el ruido y aumentar la amplitud de la señal.
- El voluntario debe descansar inmóvil y no debería pestañear durante el segmento "ojos abiertos." Los mejores resultados se obtienen si los ojos se mantienen inmovibles durante todo el tiempo.
- La señal alfa será aumentada durante el segmento de relajación si el voluntario se concentra en respirar lentamente y/o relaja sus músculos.
- Prepara con anticipación los ejercicios para la etapa de cálculos mentales, pueden ser sumas, restas, multiplicaciones, cuentas regresivas, etc. con diferente grado de dificultad. El punto es hacer al voluntario trabajar realmente para obtener la respuesta. El problema matemático debe requerir 30 segundos.
- La hiperventilación debe ser a un ritmo específico, por ejemplo 30 respiraciones por minuto. Ayúdate de un cronometro y haz una prueba previa con el voluntario para verificar que este es capaz de realizar la maniobra. Durante la maniobra, el voluntario puede sentirse mareado, si eso ocurre detén el registro.
- Durante las etapas del punto 4, el voluntario puede estar sentado o acostado, sólo indícalo en el reporte de tus resultados. Para el punto 5, el voluntario deberá estar sentado

Resultados

Datos del voluntario de experimentación:

Edad: _____, Género: _____, Peso: _____, Estatura: _____

En la **tabla 4.1** reporta la desviación estándar de los ritmos del EEG en las fases de la primera etapa de la práctica.

Tabla 4.1. Desviación estándar de los ritmos del EEG en estado relajado.

Ritmo	Ojos cerrados	Ojos abiertos	Ojos cerrados
Delta			
Theta			
Alfa			
Beta			

A partir de los ritmos obtenidos del EEG, calcula la frecuencia de cada ritmo seleccionando un solo ciclo, utilizando la función **Freq** del software BSL Pro.

Tabla 4.2. Frecuencia de los ritmos del EEG en estado relajado.

Frecuencia	Ojos cerrados	Ojos abiertos	Ojos cerrados
Delta			
Theta			
Alfa			
Beta			

Genera las mismas mediciones para las maniobras de los puntos 5 y 6.

Tabla 4.3. Desviación estándar de los ritmos del EEG durante diferentes maniobras

Ritmo	Control	Cálculos mentales	Hiperventilando	Recuperación	Maniobra extra
Delta					
Theta					
Alfa					
Beta					

Tabla 4.4. Frecuencia de los ritmos del EEG durante diferentes maniobras

Frecuencia	Control	Cálculos mentales	Hiperventilando	Recuperación	Maniobra extra
Delta					
Theta					
Alfa					
Beta					

Las etapas de Control y Recuperación corresponden a las etapas de Relajado + ojos cerrados.

Adicionalmente, calcula y grafica la transformada rápida de Fourier (FFT) para cada maniobra, puedes hacerlo desde el software BSL Pro (en el menú *Análisis* existe la opción *FFT*), y realiza una comparación del pico en frecuencia de la FFT con los valores reportados en las **tablas 4.2 y 4.4**.

Con la finalidad de evaluar el cambio en las distintas maniobras realizadas, calcula la diferencia entre la etapa de control con respecto a las otras maniobras

Tabla 4.5. Diferencia con respecto a la etapa de control y las diferentes maniobras

Desv. Est.	Cálculos - Control	Hiperventilación - Control	Recuperación - Control	Extra - Control
Delta				
Theta				
Alfa				
Beta				

Contesta las siguientes cuestiones para explicar los resultados

1. ¿Qué cambios observaste en los ritmos cerebrales en la etapa de relajación con ojos cerrados y abiertos (**tabla 4.1 y tabla 4.2**)? ¿Cómo explicarías los cambios observados?
2. ¿Qué variaciones ocurren en frecuencia y en desviación estándar en las diferentes maniobras que se realizaron en la práctica? Consulta las **tablas 4.3, 4.4 y 4.5**.
3. ¿Cómo afectan tus resultados el ambiente durante la realización de la práctica (ruido, silencio, comodidad, etc.)?
4. ¿La hipótesis planteada para la maniobra extra realizada se cumplió? ¿Cuáles son las principales observaciones de esa maniobra extra?

Al finalizar la práctica contesta las siguientes preguntas:

1. Menciona que tipo de actividad se registra durante el EEG
2. Define todos los ritmos presentes en el EEG, menciona sus características, así como bajo que situaciones pueden ser más evidentes.
3. ¿Qué significa sincronización y desincronización de las ondas o ritmos del EEG?
4. ¿Qué características debe tener la instrumentación de un sistema de adquisición de EEG?

Referencias

- [1] Guyton Arthur C, (2016) Tratado de fisiología médica, 13 ed., Ed. Elsevier
 [2] Webster John G, (2010) Medical Instrumentation. Application and Design, 4 edition, Wiley.
 [3] Manual Laboratory biopac student lab, BIOPAC Systems, Inc.



Universidad Autónoma de San Luis Potosí
Facultad de Ciencias

Curso: Instrumentación Biomédica Básica



Práctica 5. Electrooculograma (EOG)

Unidad 3

Introducción

Para que el sentido de la vista pueda generar una imagen de lo que se está observando, la primera parte del procesamiento visual comienza en la retina, la cual es el tejido nervioso que recubre la parte posterior del interior del globo ocular y contiene millones de células receptoras, distribuidas en distintas capas e interconectadas entre sí (ver **figura 5.1**).



Figura 5.1. Anatomía del ojo desde una vista lateral. Imagen tomada de [1].

Fundamentalmente existen tres tipos de células responsables de la generación de una imagen: células fotorreceptoras (conos y bastones), células bipolares y células ganglionares. De éstas, sólo las primeras son sensibles a la luz, es decir, son las únicas que inician su respuesta ante un estímulo luminoso. Sin embargo, conos y bastones poseen propiedades morfológicas y funcionales diferentes. Mientras que los conos se reparten en la fóvea, los bastones lo hacen fuera de ella en una proporción muy superior a la de los conos. Además, los conos proporcionan la visión en color y entran en juego en condiciones de estimulación lumínica relativamente intensa. Por el contrario, los bastones prestan la visión en blanco y negro, e intervienen fundamentalmente en la visión nocturna o en condiciones de baja luminosidad.

Adicionalmente, se debe de considerar la musculatura ocular para el movimiento apropiado de los ojos, la cual se compone de seis músculos extraoculares de cada ojo: recto interno, recto externo, recto superior, recto inferior, oblicuo superior y oblicuo inferior (ver **figura 5.2**). También existe la musculatura intrínseca del ojo, controlada por el sistema nervioso autónomo, la cual regula automáticamente el diámetro pupilar y la curvatura del cristalino para que los rayos luminosos del entorno puedan configurar una imagen enfocada sobre la retina. La actividad de la musculatura intrínseca (acomodación) y extrínseca (de la movilidad ocular) deben coordinarse y retroalimentarse constantemente para que tenga lugar la experiencia perceptiva visual (visión).

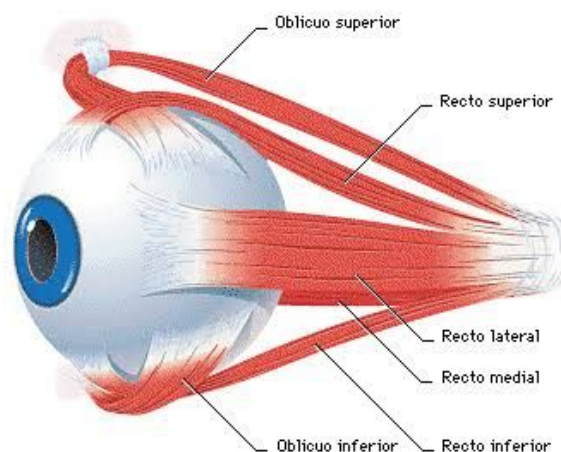


Figura 5.2. Musculatura extrínseca del ojo. Imagen tomada de [2].

En cuanto a la movilidad ocular, podemos diferenciar dos tipos de movimientos. Los movimientos sacádicos (MOR o movimientos oculares rápidos) que regulan los movimientos que el ojo efectúa para buscar objetos nuevos en su campo visual; son desplazamientos angulares muy rápidos donde los ojos se mueven en una serie de pequeños y entrecortados movimientos de tipo espasmódico, tan rápidos que el ojo puede desplazarse 10° en tan solo 45 ms y la visión se bloquea imperceptiblemente durante ese intervalo de tiempo. Los movimientos oculares de seguimiento (MOL o movimientos oculares lentos) forman un sistema de persecución uniforme que coordina la posición del objeto con el punto de máxima percepción focal de la retina (la fovea) ajustando la posición y velocidad del ojo con la trayectoria y velocidad del objeto. En este tipo de movimientos intervienen los MOR para compensar rápidamente posibles errores de enfoque. La velocidad de este tipo de movimiento no es voluntaria y dependerá del objeto, ajustándose de forma refleja.

Una señal electrooculográfica es el registro de la actividad del movimiento de los ojos y es posible gracias a que la retina está formada por fotorreceptores, bastones (nivel de brillantez) y conos (visión a color), en los cuales fluye una corriente eléctrica; la distribución de estas células y su diferente concentración dan lugar a un campo eléctrico generado por un potencial que puede ser registrado. La diferencia de potencial dada entre la retina y la córnea se produce a causa de la hiperpolarización y despolarización de las células nerviosas de la retina, ya que el conjunto córnea-retina forma un dipolo del eje anteroposterior del ojo: positivo en la zona corneal y negativo en la retina. De esta forma, la señal electrooculográfica se adquiere al colocar dos electrodos en cercanía al globo ocular, donde el potencial del dipolo formado puede ser registrado [3].

Objetivo

Realizar y observar el registro de señales de electrooculografía (EOG), mientras se tiene fija la mirada en objetos estacionarios y mientras se realiza una lectura.

Material

1 Unidad de adquisición Biopac MP36
2 Juegos de cable de electrodos BIOPAC (SS2L)
6 Electroodos desechables por individuo
Alcohol y algodón
Cinta adhesiva (en caso de ser necesario)
1 impresión (física o digital) de texto para lectura sencilla
1 impresión de texto para lectura compleja
1 Computadora
Software BSL Pro

Procedimiento

- Conecta adecuadamente los cables de electrodos SS2L (3 derivaciones) al Biopac MP36 en los canales de adquisición 1 y 3.
- Coloca 1 electrodo por encima del ojo derecho y otro por debajo del mismo ojo de tal manera que estén alineados verticalmente. Coloca 1 electrodo a la derecha del ojo derecho y otro a la izquierda del ojo izquierdo. Finalmente coloca otros dos electrodos adicionales para tierra en la sección de la frente. Un ejemplo de cómo se colocan los electrodos se observa en la **figura 5.3**.
- Conecta los cables a su respectivo electrodo, siguiendo el código de colores que se muestra también la **figura 5.3**.

Nota: Para una óptima adhesión del electrodo, este debe colocarse 5 minutos antes de comenzar la adquisición.

Los cables no deben tirar ni arrastrar los electrodos. Coloque el clip del juego de cables de electrodo en un lugar conveniente para que reduzca la tensión (puede ser en la ropa del Sujeto).

El Sujeto no debe estar en contacto con ningún objeto metálico, y debe sacarse todas las pulseras de la muñeca.

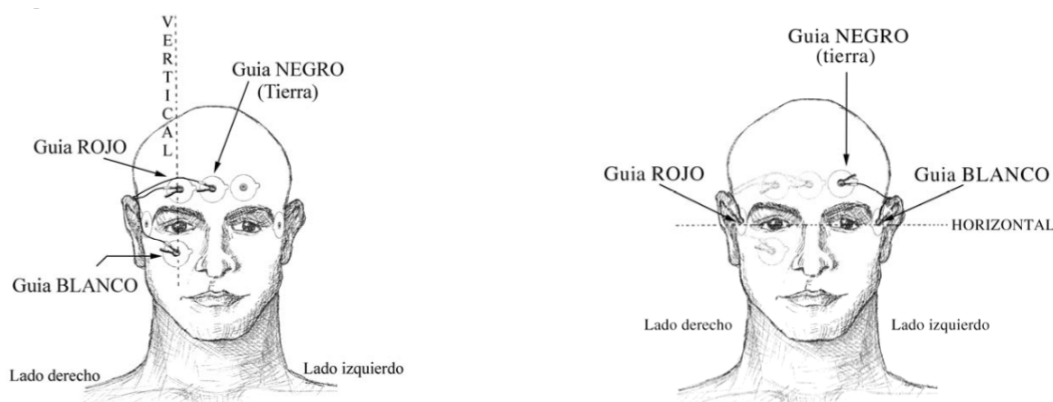


Figura 5.3. Colocación de electrodos y cables de electrodos para adquisición de EOG. Imagen tomada de [4].

- Configura los canales de adquisición con el ancho de banda y frecuencia de muestro adecuados.
- Coloca al sujeto enfrente de la pantalla a una distancia cómoda para que realice una lectura. Es importante que los ojos se encuentren paralelos a la pantalla. Mide la distancia entre los ojos y la pantalla.
- Calibra tus canales antes de comenzar la adquisición, haciendo un recorrido en el borde de la pantalla con la mirada moviendo únicamente los ojos (sin mover la cabeza).
- Realiza una adquisición de prueba de 20 s, en donde el sujeto de prueba realice movimientos de los ojos de arriba abajo, de izquierda a derecha y realice parpadeos (esto causará picos en el registro de EOG).

Antes de realizar la adquisición de los datos, se recomienda ampliamente seguir las siguientes sugerencias:

- El sujeto debe seguir los objetos siempre con los ojos, nunca con la cabeza.
- El sujeto deberá enfocar un punto en el objeto, y mantenerlo enfocado mientras sigue el objeto con la mirada.
- El sujeto debe estar sentado en una posición cómoda, de tal manera que se minimicen lo mejor posible los movimientos de la cabeza.
- Durante el registro de cada maniobra, el sujeto no debe de parpadear; si es inevitable el parpadeo, se deben de colocar marcadores en cada parpadeo.
- Durante el registro, el sujeto no debe de ver la pantalla del BSL Pro, se debe concentrar en el objeto a seguir o en la lectura a realizar.
- Para insertar Marcadores de eventos: PC = Tecla F9
- Inserta marcadores en los cambios de maniobras y donde se sugiere en la práctica, agrega notas en la revista de BSL pro o en tu cuaderno si es necesario.
- No detengas el registro, solo en el caso que se indica, por eso son importantes los marcadores.

Esta práctica consta de 4 maniobras a realizar: ojos en movimiento horizontal, ojos en movimiento vertical, lectura sencilla y lectura compleja. Antes de comenzar se pide a cada equipo que genere una hipótesis de los resultados que espera observar en cada maniobra. A continuación, se describen los pasos a seguir para cada maniobra. Se recomienda leer todos los pasos a seguir de cada procedimiento antes de realizar la adquisición.

Ojos en movimiento horizontal

En esta maniobra un participante del equipo debe de sostener un objeto (pluma, marcador, lápiz, etc.) a una distancia aproximada de 25 cm de la cabeza del sujeto. Inicialmente el objeto debe estar centrado en el sujeto de prueba de tal manera que sus ojos esten viendo al frente directamente al objeto. A continuación, se deben de seguir las siguientes instrucciones:

- Dar inicio a la adquisición y mantener la posición del objeto de frente al sujeto durante 5 segundos.
- Posteriormente, el miembro del equipo que sostiene el objeto moverá el mismo a la izquierda del sujeto, posteriormente a la derecha y después de regreso al centro, todo sobre la misma línea horizontal. El sujeto de prueba debe solo seguir el objeto con la mirada, sin mover la cabeza.
- En cada inicio de movimiento (derecha e izquierda), la persona que sostiene el objeto debe dar indicaciones verbales para que el integrante del equipo que esta realizando la adquisición en la computadora pueda colocar marcadores en cada acción (tecla F9).
- Detener el registro.

Ojos en movimiento vertical

En esta maniobra un participante del equipo debe de sostener un objeto (pluma, marcador, lápiz, etc.) a una distancia aproximada de 25 cm de la cabeza del sujeto. Inicialmente el objeto debe estar centrado en sujeto de prueba de tal manera que sus ojos estén viendo al frente directamente al objeto. A continuación, se deben de seguir las siguientes instrucciones:

- Dar inicio a la adquisición y mantener la posición del objeto de frente al sujeto durante 5 segundos.
- Posteriormente, el miembro del equipo que sostiene el objeto moverá el mismo hacia arriba, posteriormente hacia abajo y después de regreso al centro, todo sobre la misma línea vertical. El sujeto de prueba debe solo seguir el objeto con la mirada, sin mover la cabeza.
- En cada inicio de movimiento (arriba y abajo), la persona que sostiene el objeto debe dar indicaciones verbales para que el integrante del equipo que está realizando la adquisición en la computadora pueda colocar marcadores en cada acción (tecla F9).
- Detener el registro.

Lectura sencilla

La lectura sencilla se muestra en la **figura 5.4**. Para realizar esta maniobra se pide que impriman o hagan zoom a la pantalla de tal manera que sea fácil leer el texto para el sujeto de prueba teniendo la hoja o la pantalla a una distancia aproximada de 25 cm.

- El sujeto debe de leer en silencio para minimizar los artefactos de EMG.
- El sujeto debe avisar con el movimiento de una mano, cada vez que comienza la lectura de una línea del texto; por cada línea de texto debe existir un marcador (F9) en el registro.
- Al finalizar la lectura se debe detener el registro.

Lectura compleja

La lectura compleja consta de un texto elegido por cada equipo cuya comprensión no sea fácil, y que se tengan diferentes tipos de letras y tamaños en el texto; un ejemplo de lectura compleja se observa en la **figura 5.5**. Para realizar esta maniobra se pide que impriman o hagan zoom a la pantalla de tal manera que sea fácil leer el texto para el sujeto de prueba teniendo la hoja o la pantalla a una distancia aproximada de 25 cm.

- El sujeto debe leer en silencio para minimizar los artefactos de EMG.
- El sujeto debe avisar con el movimiento de una mano, cada vez que comienza la lectura de una línea del texto; por cada línea de texto debe existir un marcador (F9) en el registro.
- Al finalizar la lectura se debe detener el registro.

Me han dicho

que tú has dicho un dicho

que yo he dicho.

Ese dicho está mal dicho,

pues si yo lo hubiera dicho,

estaría mejor dicho que el

dicho que a mi me han dicho.

Figura 5.4. Lectura sencilla.

*Te ví pasar y otra vez el tiempo se detuvo, fue aquel rubor que me cambió el humor, me
dejo mudo.* *Mientras desnudo tus ojos cierro los míos y con un imperfecto suspiro pienso que tu eres la perfección*
a la que aspiro y aun deliro y pierdo los papeles cada vez que vienes y te acercas, aunque
nunca tanto como para sentir como hueles y tu sabor, tu sabor es la mayor
utopía, me quedo en la inopia pensando que algún día te podría
conquistar con mi poesía.

AUN NO TE HE VISTO SONREIR, inventaría una comedia con telón de oro,
aun no te he oído hablar, cuanto daría por un susurro tan solo. Pobre bobo iluso que de
ilusión se desvive, que pide a gritos silenciosos que te gires, que me mires y que
sepas que *estoy como un eterno después, esperando un gesto tuyo para ponerme a tus pies*
y es que al verte pasar el dulce en mi paladar dices que vas a parar pero acabo tragando amargo,
cuando sin embargo, sigues y pasas de largo.

Figura 5.5. Ejemplo de lectura compleja.

Resultados

Completa las **tablas 5.1 y 5.2** con los datos recolectados de la maniobra 1 (ojos en movimiento horizontal).

Tabla 5.1. Datos de orientación ocular con objeto en movimiento horizontal

Posición del objeto ⇒	Objeto estacionario	Objeto en Movimiento		
Orientación ojo ⇒	Fijo	Siguiendo		
Medición	Microsacudida	Izq.	Der	Izq
ΔT				
P-P				
Pendiente (velocidad)				

Tabla 5.2. Movimientos microsacádicos con objeto en movimiento horizontal

Tiempo	Número de movimientos microsacádicos
0-1 s	
1-2 s	
2-3 s	
3-4 s	

Completa las **tablas 5.3 y 5.4** con los datos recolectados de la maniobra 2 (ojos en movimiento vertical).

Tabla 5.3. Datos de orientación ocular con objeto en movimiento vertical

Posición del objeto ⇒	Objeto estacionario	Objeto en Movimiento		
Orientación ojo ⇒	Fijo	Siguiendo		
Medición	Microsacudida	Arriba	Abajo	Arriba
ΔT				
P-P				
Pendiente (velocidad)				

Tabla 5.4. Movimientos microsacádicos con objeto en movimiento vertical

Tiempo	Número de movimientos microsacádicos
0-1 s	
1-2 s	
2-3 s	
3-4 s	

Completa la **tabla 5.5** con los datos recolectados de la maniobra 3 (lectura sencilla).

Tabla 5.5. Movimientos microsacádicos durante lectura sencilla. Nota: Podrías no tener 7 movimientos sacádicos por línea, llena solo con la información disponible.

Medición		Primera Línea	Segunda Línea
Número de sacádicos			
Duración de sacádicos	Sacádico 1		
	Sacádico 2		
	Sacádico 3		
	Sacádico 4		
	Sacádico 5		
	Sacádico 6		
	Sacádico 7		
Duración total de sacádicos por línea			
Tiempo total de lectura por línea			
% de tiempo de sacádicos / tiempo total lectura			

Finalmente, completa la **tabla 5.6** con los datos recolectados de la maniobra 4 (lectura compleja).

Tabla 5.6. Movimientos microsacádicos durante lectura compleja. Nota: Podrías no tener 7 movimientos sacádicos por línea, llena solo con la información disponible.

Medición		Primera Línea	Segunda Línea
Número de sacádicos			
Duración de sacádicos	Sacádico 1		
	Sacádico 2		
	Sacádico 3		
	Sacádico 4		
	Sacádico 5		
	Sacádico 6		
	Sacádico 7		
Duración total de sacádicos por línea			
Tiempo total de lectura por línea			
% de tiempo de sacádicos / tiempo total lectura			

Adicionalmente, para el caso de las maniobras de lectura sencilla y compleja, llena la información referente al tiempo de lectura por línea y al número de movimientos sacádicos por línea

En el reporte de la práctica reportar datos sobre el sujeto de experimentación: edad, género, peso, estatura.

Contesta las siguientes cuestiones para explicar los resultados:

1. Describe y discute los parámetros de las **tablas 5.1 y 5.2**. ¿Qué información brinda cada parámetro que se midió?

2. ¿Cuál es el estímulo para los reflejos de sacudida?
3. Describe y discute los parámetros de las **tablas 5.3 y 5.4**. ¿Qué información brinda cada parámetro que se midió?
4. Describe y discute la **tabla 5.5**. ¿Qué % de variación de tiempo de movimientos sacádicos por línea se encontraron?
5. Discute los resultados y verifica si se comprobó su hipótesis, justifique sus comentarios.

Al finalizar la práctica conteste las siguientes preguntas:

1. Explica cómo se lleva a cabo la integración de la información visual.
2. Describe que músculos están involucrados en el movimiento ocular.
3. Explica y justifica que información brinda la señal de EOG
4. Describe los tipos de movimientos involuntarios mientras se fija la vista en un objeto estacionario.
5. Define que es un movimiento sacádico.
6. Investiga 3 aplicaciones importantes de la señal de EOG.

Referencias

- [1] <https://www.unprofesor.com/ciencias-naturales/anatomia-del-ojo-humano-3256.html>
- [2] <http://iuofisiologia1.blogspot.com/>
- [3] Guyton, (2016) Tratado de fisiología médica, 13 ed., Ed. Elsevier
- [4] Manual Laboratory biopac student lab, BIOPAC Systems, Inc.



Universidad Autónoma de San Luis Potosí
Facultad de Ciencias

Curso: Instrumentación Biomédica Básica



Práctica 6. Amplificador de Instrumentación

Unidad 5

Introducción

La configuración del amplificador de instrumentación se muestra en la **figura 6.1**, el amplificador del lado derecho de la **figura 6.1** corresponde a un amplificador diferencial. La corriente fluye de V_4 hacia R_3 y R_4 hasta llegar a tierra. No fluye corriente en la entrada positiva del amplificador operacional, por lo tanto, R_3 y R_4 actúan como un divisor de voltaje atenuador. Cualquier voltaje que aparece en la entrada positiva, también aparece en la entrada negativa. En el momento que ese voltaje se fija, la mitad superior del circuito se comporta como un amplificador inversor. Por ejemplo, si V_4 es 0 V, la entrada positiva del amplificador será 0 V y el circuito de V_3 - V_0 se comporta como un amplificador inversor.

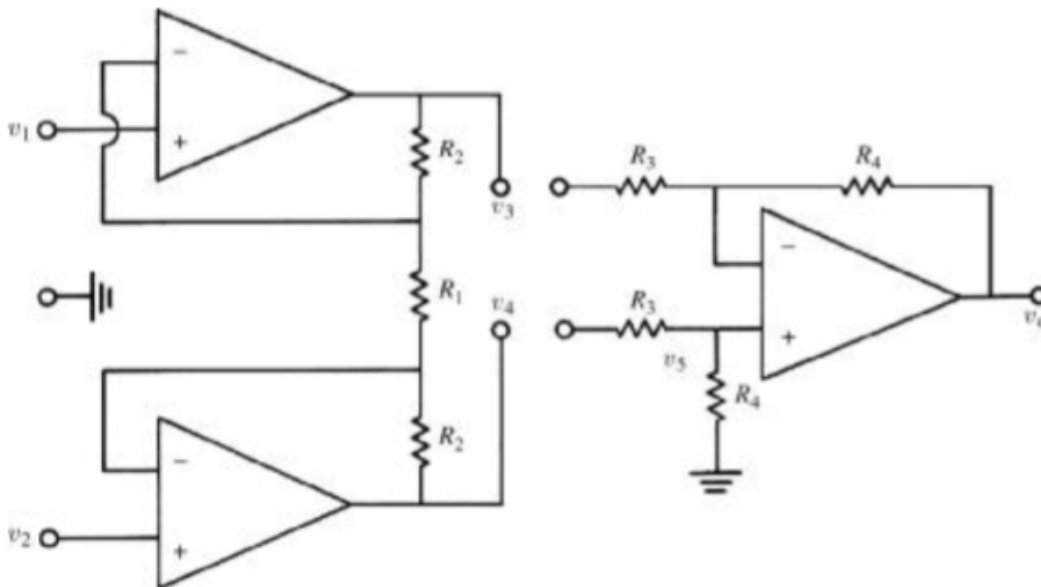


Figura. 6.1. Amplificador de instrumentación compuesto por un amplificador diferencial (lado derecho) con baja impedancia de entrada y 2 amplificadores adicionales que proveen alta impedancia de entrada y ganancia. Imagen tomada de [1].

La expresión de la ganancia del amplificador de instrumentación es la siguiente:

$$G_T = G_{Pre} * G_{Dif} = \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) \left(\frac{R_4}{R_3}\right) \quad (1)$$

Un amplificador no diferencial rechaza perfectamente el voltaje en modo común. Para cuantificar esta imperfección se utiliza la relación de rechazo en modo común [1,2], cuya ecuación se muestra a continuación:

Un valor adecuado para la amplificación de señales bioeléctricas es $RRMC \geq 100dB$

Objetivos

Material

3 amplificadores operacionales
Resistencias
Cable
Protoboard
1 Fuente de alimentación
1 Generador de funciones
1 Osciloscopio

Procedimiento

- Deduce la ecuación de la ganancia del amplificador, mostrada en la ecuación 1
- Establece la ganancia del amplificador
- Arma el circuito de la **figura 6.1** con base en la ganancia teórica seleccionada
- Verifica que la ganancia resultante coincida con la ganancia teórica

Resultados

Reporta las dificultades que hayas encontrado en la elaboración de la práctica y las soluciones que propusiste.

Al finalizar la práctica contesta las siguientes preguntas:

1. ¿Cuáles son las ventajas de utilizar un amplificador de instrumentación para la adquisición de señales bioeléctricas?
2. ¿De qué orden son las ganancias necesarias para las señales bioeléctricas?
3. ¿Cómo se puede modificar la relación de rechazo en modo común (RRMC) del amplificador de instrumentación?

Referencias

- [1] John G. Webster, (2010) Medical Instrumentation, Application and design, 4 edition, Wiley.
- [2] Paul R. Gray, Paul J. Hurst, Stephen H. Lewis, Robert G. Meyer, (2009) Analysis and design of analog integrated circuits, 5th ed., Wiley



Universidad Autónoma de San Luis Potosí
Facultad de Ciencias

Curso: Instrumentación Biomédica Básica



Práctica 7. Pletismografía óptica (PPG) y su relación con el ECG

Unidad 6 y 7

Introducción

El corazón genera diferencias de potencial que pueden ser registradas en la superficie torácica mediante electrodos. A este registro se le llama electrocardiograma (ECG) y cada ciclo cardíaco produce tres eventos principalmente, las ondas P, QRS y T. Estas ondas representan cambios en el potencial registrado en dos regiones en la superficie del corazón. Además, de esta secuencia rítmica eléctrica, para poder llevar a cabo su función primaria, i.e., bombear la sangre al cuerpo, el corazón posee una secuencia rítmica mecánica. Ambas secuencias rítmicas conforman el ciclo cardíaco, donde la actividad eléctrica inicia y precede la actividad mecánica, como se ilustra en la **figura 7.1**. Así, la actividad eléctrica inicia la contracción y relajación de los ventrículos y aurículas, y la contracción de estas cámaras produce el bombeo de sangre a la siguiente sección del sistema cardiovascular. El bombeo de sangre del ventrículo izquierdo a la circulación sistémica genera un pulso [1].

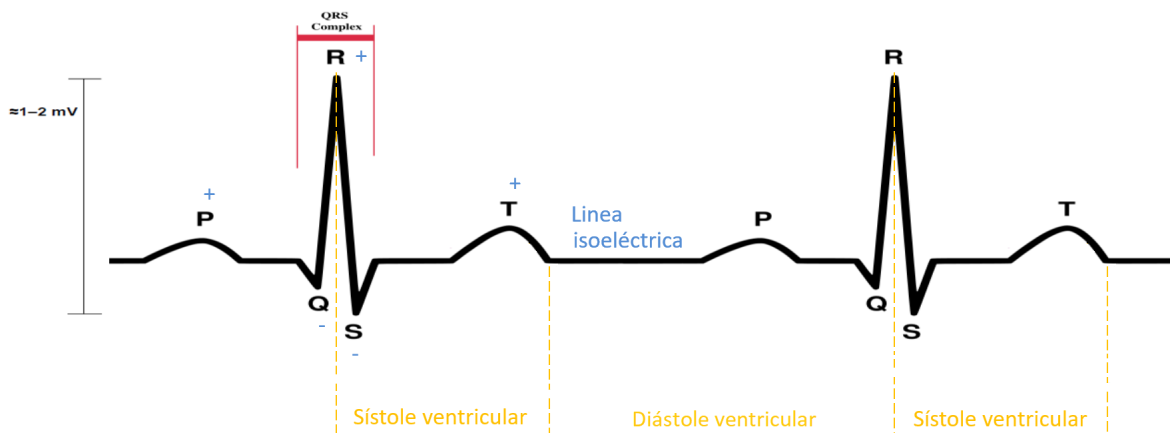


Figura 7.1. Ciclo cardíaco prototípico ilustrando la relación entre el ECG y la actividad mecánica del ventrículo izquierdo. Imagen modificada de [2].

La sístole ventricular (contracción de los músculos ventriculares) está precedida por el complejo QRS del ECG, comenzando con el pico de la onda R y culminando con el final de la onda T, la cual representa la repolarización ventricular. Por su parte, la diástole ventricular (relajación de los músculos ventriculares) comienza al culminar la sístole y culmina con el siguiente pico de la onda R. Así, un ciclo cardíaco contiene un periodo

sistólico y uno diastólico. Por lo tanto, la frecuencia cardíaca puede medirse mediante el periodo entre dos ondas R sucesivas [1].

La sístole ventricular bombea un volumen de sangre hacia la circulación sistémica y genera un flujo sanguíneo desde la aorta hacia el resto del cuerpo. Además, también se inicia una onda de presión que se transmite a través de las paredes arteriales, donde dicha onda aumenta durante la sístole y disminuye durante la diástole. Durante la transmisión de la onda de presión hacia la periferia existen cambios en el volumen sanguíneo. El estudio de los cambios de volumen sanguíneo dentro de un órgano se denomina pletismografía, y en particular, la pletismografía óptica o fotopletismografía (PPG, por sus siglas en inglés) registra dichos cambios de volumen sanguíneo mediante técnicas ópticas. Clásicamente la técnica de PPG emplea una fuente luminosa a una longitud de onda en el infrarrojo (IR) cercano, entre 800 y 1000 nm, y sensor ajustado a dichas longitudes para medir la cantidad de luz IR que llega a él después de su interacción con el flujo de sangre [3]. Dependiendo de la ubicación relativa entre el emisor y el fotorreceptor, la técnica de PPG puede emplearse en modo de transmisión y reflexión [4], como se ilustra en la **figura 7.2**. En particular, el PPG disponible en nuestro laboratorio emplea el modo de reflexión, donde el emisor y receptor luminoso se encuentran contiguos.

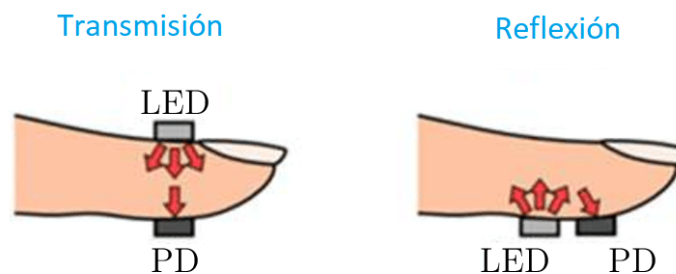


Figura 7.2. Configuraciones básicas en fotopletismografía. Generalmente, la fuente luminosa consiste en un LED (light-emitting diode) a una longitud de onda infrarroja y el fotodetector en un fotodiodo (photodiode, PD). Imagen tomada de [5].

A lo largo del ciclo cardíaco, la amplitud de la señal de PPG varía y proporciona una medición relativa, no absoluta, y proporcional al flujo de sangre. Debido a la presencia en la sangre de oxihemoglobina, la cual exhibe una mayor absorción en el espectro IR, la cantidad de luz reflejada hacia el fotorreceptor cambiará de acuerdo con el volumen de sangre en el sitio de registro, generalmente en la punta de los dedos. El fotorreceptor se encarga de transformar la luz reflejada en una señal eléctrica que comprende componentes pulsátiles (AC) y superpuestos (DC), como se ilustra en la **figura 7.3**. El componente AC está dado por las variaciones cardíacas sincrónicas en el volumen sanguíneo, los cuales son causados por la actividad cardíaca y depende de las fases diastólicas y sistólicas. El componente DC está conformado por la respiración, actividad del sistema nervioso simpático y termorregulación [6].

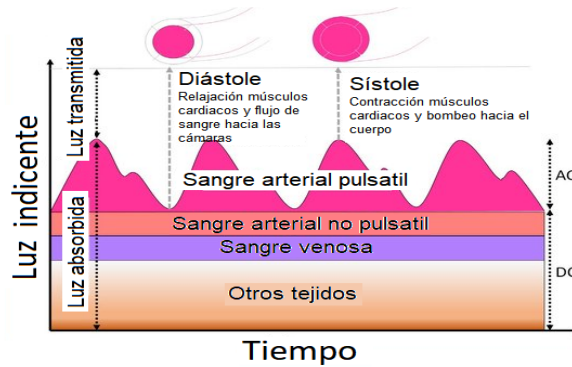


Figura 7.3. Componentes de la señal de PPG. Componente pulsátil (AC) y superpuesto (DC). Imagen modificada de [7].

Cambios en el volumen sanguíneo, y por lo tanto cambios en la amplitud de la señal de PPG, pueden originarse, entre otras variables, por la regulación que ejerce el sistema nervioso autónomo sobre el cardiovascular, por cambios en la temperatura y por la actividad metabólica. Por su parte, la velocidad de viaje de la onda de presión puede modificarse por factores como la presión sanguínea, la elasticidad y diámetros de las arterias y las influencias simpática y parasimpática [6].

Objetivo

Comprender la generación del PPG, sus características, sus diferencias con el ECG, y su utilidad para la evaluación cualitativa de cambios de volumen sanguíneo y velocidad de pulso en la periferia durante maniobras.

Material

- 1 Transductor de pulso BIOPAC (SS4L)
- 1 Juego de cable de electrodos BIOPAC (SS2L)
- 3 Electrodo desechables
- Agua con hielo en un balde plástico
- 1 silla firme
- 1 cinta métrica flexible
- 1 termómetro
- Alcohol y algodón
- 1 Computadora
- Software BSL Pro
- 1 Unidad de adquisición BIOPAC MP36

Procedimiento

- Conecta adecuadamente el cable de electrodos (3 derivaciones) a la unidad BIOPAC MP36 al primer canal de adquisición.
- Coloca los electrodos desechables en el sujeto voluntario siguiendo la derivación II (cable rojo: tobillo izquierdo (+), cable blanco: muñeca derecha (-), cable negro: tobillo derecho (tierra)).

Notas: Para una óptima adhesión de los electrodos, estos deben colocarse 5 minutos antes de comenzar la calibración.

Los cables no deben tirar ni arrastrar los electrodos. Coloca el clip del juego de cables de electrodo en un lugar conveniente para que reduzca la tensión (puede ser en la ropa del voluntario).

El voluntario no debe estar en contacto con ningún objeto metálico, y debe sacarse todas las pulseras de la muñeca y tobillo.

- Conecta el transductor de pulso a un canal de adquisición.
- Coloca el transductor de pulso con su ventana de adquisición en la yema del dedo índice derecho del voluntario.

Notas: Limpia la superficie del transductor de pulso con alcohol y algodón.

Ajusta firmemente el transductor al dedo mediante el velcro, asegurándote de no apretarlo demasiado para no registrar la circulación sanguínea.

El cable no debe tirar ni arrastrar el transductor y debe permitir un movimiento libre de la mano al ubicarla sobre las rodillas y por encima de la cabeza.

- Configura los dos canales de adquisición, con el ancho de banda y frecuencia de muestro adecuados.
- Agrega un canal de cálculo para la frecuencia cardiaca.
- Calibra tus canales antes de comenzar la adquisición.
- Realiza una adquisición de prueba de 30 s, para verificar la morfología adecuada de tus señales.
- Las maniobras experimentales para realizar durante la práctica son:

Maniobra	Duración
1. Brazo derecho relajado	60 s
2. Brazo derecho levantado	60 s
3. Brazo izquierdo en agua fría	60 s
4. Mantener la respiración	---

Nota: Todas las maniobras se realizarán con el sujeto voluntario sentado.

A menos que se indique lo contrario, ambos brazos del voluntario deberán permanecer relajados con las manos apoyadas sobre sus piernas.

En la segunda maniobra, el voluntario debe levantar su mano izquierda por encima de su cabeza, con el brazo extendido.

El agua deberá estar a una temperatura de aproximadamente 20° C.

No debe emplearse un contenedor metálico para el agua con hielo debido al riesgo eléctrico que este puede implicar.

Al finalizar la maniobra de inmersión del brazo en agua fría, seca y espera que la mano del voluntario vuelva a una temperatura normal antes de continuar.

En la última maniobra, debe pedirse al sujeto voluntario que contenga la respiración por un periodo de tiempo tan largo como le sea posible.

Entre una maniobra y la siguiente puede pausarse la adquisición y reanudarse en cuanto el voluntario se encuentre listo para realizar la siguiente maniobra.

Como alternativa al pausado, se sugiere la inserción de marcadores de eventos al inicio y fin de cada maniobra (tecla F9 en Windows).

Resultados

Completa las **tablas 7.1-7.4** con datos de cinco ciclos de cada maniobra experimental correspondiente.

Tabla 7.1. Comparación entre ECG y PPG con el brazo relajado

Técnica	Medición	Ciclo cardiaco					Media
		1	2	3	4	5	
ECG	ΔT						
	LPM						
PPG	ΔT						
	LPM						

ΔT : Para ECG, intervalo R-R. Para PPG, intervalo del pulso.

LPM: Para ECG, frecuencia cardiaca. Para PPG, ritmo del pulso.

Tabla 7.2. Comparación entre ECG y PPG con el brazo levantado

Técnica	Medición	Ciclo cardiaco					Media
		1	2	3	4	5	
ECG	ΔT						
	LPM						
PPG	ΔT						
	LPM						

ΔT : Para ECG, intervalo R-R. Para PPG, intervalo del pulso.

LPM: Para ECG, frecuencia cardiaca. Para PPG, ritmo del pulso.

Tabla 7.3. Comparación entre ECG y PPG con decremento de temperatura

Técnica	Medición	Ciclo cardiaco					Media
		1	2	3	4	5	
ECG	ΔT						
	LPM						
PPG	ΔT						
	LPM						

ΔT : Para ECG, intervalo R-R. Para PPG, intervalo del pulso.

LPM: Para ECG, frecuencia cardiaca. Para PPG, ritmo del pulso.

Tabla 7.4. Comparación entre ECG y PPG con mantención de la respiración

Técnica	Medición	Ciclo cardiaco					Media
		1	2	3	4	5	
ECG	ΔT (s)						
	LPM						
PPG	ΔT (s)						
	LPM						

ΔT : Para ECG, intervalo R-R. Para PPG, intervalo del pulso.

LPM: Para ECG, frecuencia cardiaca. Para PPG, ritmo del pulso.

Completa la **tabla 7.5** con datos promedio de cinco ciclos cardiacos de cada maniobra correspondiente.

Tabla 7.5. Medición relativa de cambios de volumen sanguíneo

Técnica	Medición	Maniobra experimental			
		Brazo relajado	Brazo levantado	Decremento de temperatura	Mantención de respiración
ECG	Amplitud QRS (mV)				
PPG	Amplitud relativa del pulso (mV)				

Completa la **tabla 7.6** con datos promedio de cinco ciclos cardiacos de cada maniobra correspondiente.

Tabla 7.6. Velocidad de pulso de presión

Medición	Maniobra experimental	
	Brazo relajado	Brazo levantado
Retardo entre onda R y pico del pulso (s)		
Velocidad (cm/s)		

Para completar la tabla anterior, considera medir las siguientes distancias anatómicas del sujeto voluntario:

- Distancia entre el hombro y el esternón (cm): _____
- Distancia entre el hombro y la punta del dedo índice derecho (cm): _____
- Distancia total entre el esternón y la punta del dedo índice derecho (cm): _____

Reporte

En el reporte de la práctica, indicar datos sobre el voluntario de experimentación, tales como edad, género, peso y estatura.

Contesta las siguientes cuestiones para ayudar a explicar tus resultados:

1. Compara los valores de frecuencia cardiaca y ritmo de pulso para cada maniobra
2. Compara los valores de frecuencia cardiaca entre las diversas maniobras
3. Compara los valores de ritmo de pulso entre las diversas maniobras
4. Explica los mecanismos fisiológicos que determinan los cambios en la frecuencia cardiaca y en el ritmo del pulso durante las maniobras
5. Compara los valores de amplitud del complejo QRS en el ECG y los valores de amplitud del pulso en el PPG para cada maniobra
6. Compara las amplitudes del complejo QRS entre las diversas maniobras
7. Compara las amplitudes del pulso entre las diversas maniobras
8. Explica los mecanismos fisiológicos que determinan los cambios en la amplitud del complejo QRS y en la amplitud del pulso
9. Compara las velocidades del pulso entre las maniobras con el brazo relajado y extendido
10. Compara las velocidades del pulso obtenidas por tu equipo con las obtenidas por los otros equipos
11. Explica los mecanismos fisiológicos/anatómicos que determinan los cambios en la velocidad de onda de pulso entre diversos sujetos voluntarios

Al finalizar la práctica contesta las siguientes preguntas:

1. Explica la generación de la señal de PPG y su relación con la señal de ECG
2. ¿Qué componentes constituyen una onda de PPG típica y cuál es el origen de estos?
3. ¿Por qué se emplea una longitud de onda en el infrarrojo para la medición del pulso?
4. ¿Qué características, ventajas/desventajas presenta cada modo de operación del PPG?
5. ¿Cómo se comparan la velocidad de flujo sanguíneo con la velocidad de la onda de presión?
6. ¿Por qué es común emplear la punta de los dedos como punto de medición en PPG?
7. ¿Qué mecanismos causan cambios en el volumen sanguíneo en la punta de los dedos?
8. ¿Qué cambios se requerirían en la instrumentación utilizada para poder estimar la saturación arterial de oxígeno mediante PPG?

Referencias

- [1] B. M. Koeppen y B. A. Stanton, (2009) *Berne & Levy Physiology, Updated Edition*. Elsevier Health Sciences.
- [2] https://www.researchgate.net/figure/Typical-ECG-trace-with-QT-and-RR-intervals-labeled-Image-based-on_fig7_281176903
- [3] Y. Mendelson, (1992) Pulse oximetry: theory and applications for noninvasive monitoring, *Clin. Chem.*, 38(9), 1601-1607.
- [4] J. G. Webster, Ed., (2009) *Medical Instrumentation: Application and Design*, 4 edition. Hoboken, NJ: Wiley.
- [5] T. Tamura, Y. Maeda, M. Sekine, y M. Yoshida, (2014) Wearable Photoplethysmographic Sensors—Past and Present, *Electronics*, 3(2), 282-302.
- [6] Y. Sun y N. Thakor, (2016) Photoplethysmography revisited: from contact to noncontact, from point to imaging, *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, 63(3), 463–477.
- [7] G. Ryu et al., (2018) Flexible and Printed PPG Sensors for Estimation of Drowsiness, *IEEE Trans. Electron Devices*, 65(7), 2997-3004.



Universidad Autónoma de San Luis Potosí
Facultad de Ciencias

Curso: Instrumentación Biomédica Básica



Práctica 8. Presión sanguínea

Unidad 6

Introducción

La función principal del corazón es bombear sangre. Conforme la sangre circula alrededor del cuerpo, esta empuja en contra de las paredes de los vasos sanguíneos. Así, la presión sanguínea se define como la fuerza ejercida por la sangre al circular por los vasos sanguíneos, y es uno de los signos vitales. Como se muestra en la **figura 8.1**, la presión sanguínea disminuye a medida que la sangre se mueve a través de arterias, arteriolas, vasos capilares, y venas [1].

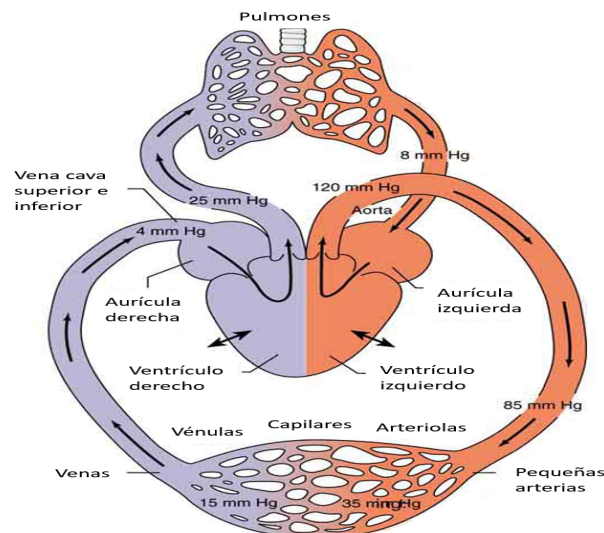


Figura 8.1. Valores de presión sanguínea alrededor del sistema circulatorio. Imagen modificada de [2].

Existen dos tipos de presión sanguínea: 1) la presión venosa (PV), y 2) la presión arterial (PA). La PV es la presión que ejerce la sangre contenida en los vasos venosos, y generalmente es más baja que la PA, debido a que, aunque el volumen de sangre es grande, la distensibilidad de los vasos también es grande. La PV es mayor en la periferia y menor en los grandes vasos, cerca del corazón. Por su parte, la PA puede registrarse fácilmente, sin esfuerzo, de manera indolora, y a un costo mínimo, lo cual representa ventajas tanto para los pacientes como para el personal médico y ha permitido un control ampliamente reconocido y disponible de la misma. Cabe mencionar que el

término presión sanguínea generalmente se refiere a la presión arterial, es decir, a la presión en las arterias más grandes que forman los vasos sanguíneos que toman la sangre desde el corazón. Clásicamente, la PA es medida por medio de un esfigmomanómetro, que emplea la altura de una columna de mercurio para reflejar la presión de circulación. Así, los valores de la presión sanguínea se expresan en milímetros del mercurio (mmHg), a pesar de que muchos dispositivos de presión vascular modernos ya no emplean mercurio.

Una forma de onda de presión se muestra en la **figura 8.2**, donde se observa que esta consta de una presión media (nivel de DC) y un componente periódico, cuya frecuencia fundamental está dada por la frecuencia cardíaca. La presión sistólica (SBP, por sus siglas en inglés) corresponde a la máxima presión por ciclo y la presión diastólica (DBP, por sus siglas en inglés) al valor mínimo por ciclo en la curva de presión. A la diferencia de presiones máxima y mínima se le denomina presión de pulso, i.e. *presión de pulso* = $SBP - DBP$. La onda dicrotica representa el cierre de la válvula aórtica. Cabe mencionar que el periodo diastólico corresponde al decaimiento pasivo de la presión aórtica y abarca desde el cierre de la válvula aórtica al final de la eyección hasta su siguiente apertura, mientras que el periodo sistólico, i.e. llenado de la aorta, abarca desde la apertura de la válvula aórtica durante la eyección hasta su cierre. En adultos, valores de presión arterial normales se sitúan aproximadamente en 120/80 mmHg (sistólica/diastólica), y a partir de 140/90 mmHg se habla de hipertensión arterial. La presión media a través del ciclo cardíaco se indica como presión arterial media (MAP, por sus siglas en inglés), y se calcula como el área bajo la curva de presión a lo largo de un ciclo cardíaco [1].

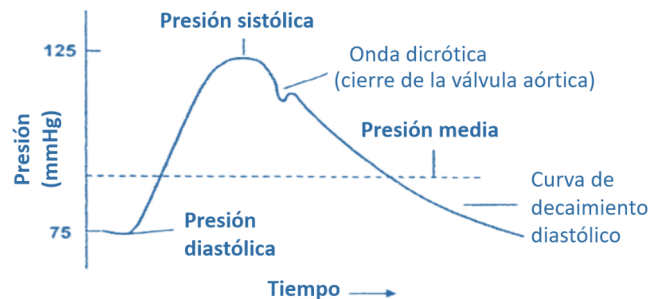


Figura 8.2. Forma de onda de presión prototípica. Imagen modificada de [3].

Los diversos métodos de medición de la presión sanguínea pueden clasificarse en dos tipos, de acuerdo con la localización del elemento sensor: 1) método directo, y 2) método indirecto. Los métodos directos deben realizarse en el interior de los vasos sanguíneos, ofrecen un registro continuo de la presión, pero son invasivos. Por su parte, los métodos indirectos permiten medir la presión sin necesidad de abrir los vasos sanguíneos, pero la mayoría solamente ofrecen dos valores instantáneos de la presión: el sistólico y el diastólico. Así, es común emplear una aproximación aritmética para calcular la MAP mediante la ecuación $MAP = DBP + 1/3(SBP - DBP)$. Cabe resaltar que el cálculo de la MAP mediante el área bajo la curva es más exacto, e.g. dos formas de onda con morfologías diferentes, pero con iguales SBP y DBP resultarían en la misma MAP con la aproximación aritmética. A pesar de las limitaciones de los métodos indirectos, los valores de DBP, SBP y MAP que proporcionan han mostrado su utilidad para evaluar la función cardiovascular e identificar la presencia de hipertensión.

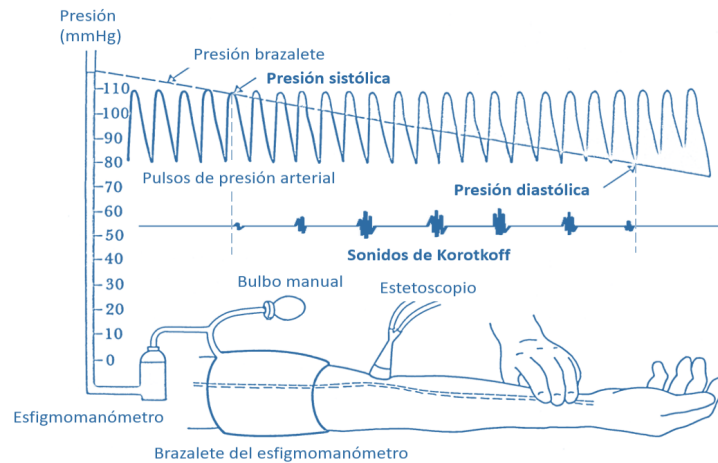


Figura 8.3. Técnica auscultatoria para la medición indirecta de la presión sanguínea. Imagen modificada de [4].

Un método indirecto de medición de presión sanguínea es la técnica auscultatoria, que hace uso de un esfigmomanómetro y un estetoscopio, como se ilustra en la **figura 8.3**, para escuchar los sonidos de Korotkoff, i.e., los sonidos generados por el flujo de sangre y vibraciones de los vasos bajo el brazalete del esfigmomanómetro [1]. El esfigmomanómetro consiste en un brazalete inflable para ocluir el vaso sanguíneo, un bulbo para inflar el brazalete y un manómetro. El procedimiento inicia inflando el brazalete rápidamente por encima de la presión sistólica y enseguida se desinfla lentamente (2 o 3 mmHg/s). Cuando la presión sistólica está por encima de la presión de oclusión se producen sonidos debido a las pulsaciones de sangre bajo el brazalete. La presión en el manómetro durante la primera detección de un sonido semejante a un soplo se toma como la presión sistólica. Al continuar el desinflado del brazalete, la intensidad del soplo va aumentando y se genera un sonido turbulento que alcanza un valor máximo. El periodo de transición de la turbulencia al silencio indica la presión diastólica. Para minimizar las molestias al paciente y reducir la congestión venosa, el brazalete se desinfla tan rápido como sea posible al finalizar la lectura diastólica. La presión arterial media puede obtenerse mediante la aproximación aritmética. Cabe señalar que, para garantizar la transmisión uniforme de presión del brazalete a la arteria, se requieren dimensiones adecuadas del brazalete, así como realizar varias mediciones y colocar el brazalete a la altura del corazón para evitar efectos hidrostáticos. Una variante del método conocido como Riva-Rocci, se auxilia de la palpación del pulso producido por los chorros de sangre bajo el brazalete cuando los picos sistólicos son mayores que la presión de oclusión [4]. Ambas técnicas son de realización simple y requieren un mínimo de equipo para realizarse, y asumen que la presión aplicada a la pared arterial es igual a la presión el brazalete externo. Sin embargo, debe recordarse que la presión se transmite a través de tejido intermedio. Además, fallan para proporcionar mediciones precisas en pacientes hipotensos, no pueden emplearse en ambientes ruidosos, y dependen de la habilidad auditiva y entrenamiento de quien lo realiza, e.g. la agudeza auditiva del usuario debe ser buena a bajas frecuencias considerando que los tonos de Korotkoff poseen un espectro de 20 a 300 Hz.

Objetivo

Comprender la técnica auscultatoria para la medición indirecta de la presión sanguínea, y su utilidad para la determinación de las presiones arteriales diastólica y sistólica,

frecuencia cardíaca, presión de pulso y velocidad de pulso en la periferia durante diversas maniobras.

Material

- 1 Esfigmomanómetro BIOPAC (SS19L)
- 1 Estetoscopio BIOPAC (SS30L)
- 1 Juego de cable de electrodos BIOPAC (SS2L)
- 3 Electrodo desechables
- 1 cinta métrica flexible
- 1 termómetro
- Alcohol y algodón
- 1 Computadora
- Software BSL Pro
- 1 Unidad de adquisición BIOPAC MP36

Procedimiento

- Conecta adecuadamente el juego de cable de electrodos (3 derivaciones) a la unidad BIOPAC MP36 al primer canal de adquisición.
- Coloca los electrodos desechables en el sujeto voluntario siguiendo la derivación II (cable rojo: tobillo izquierdo (+), cable blanco: muñeca derecha (-), cable negro: tobillo derecho (tierra).
Notas: Para una óptima adhesión de los electrodos, estos deben colocarse 5 minutos antes de comenzar la calibración.
 Los cables no deben tirar ni arrastrar los electrodos. Coloca el clip del juego de cables de electrodo en un lugar conveniente para que reduzca la tensión (puede ser en la ropa del voluntario).
 El voluntario no debe estar en contacto con ningún objeto metálico, y debe sacarse todas las pulseras de la muñeca y tobillo.
- Conecta adecuadamente el esfigmomanómetro al segundo canal del transductor.
Notas: El brazalete disponible está diseñado para brazos con circunferencias de 25.4 a 40.6 cm, el cual abarca el rango estándar de adultos. Para obtener lecturas correctas, asegúrate de elegir un voluntario adecuado de tal forma que el brazalete no queda demasiado grande (lecturas menores incorrectas) o demasiado pequeño (lecturas altas incorrectas).
 Antes de usar el esfigmomanómetro, emplea la válvula y brazalete para retirar todo el aire que contenga. Posteriormente, cierra la válvula.
- Coloca el brazalete del esfigmomanómetro alrededor del brazo izquierdo del voluntario, al nivel del corazón procurando que la marca "Arteria" se ubique sobre la arteria braquial del voluntario, de tal forma que la presión aplicada al brazalete se transfiera correctamente a la arteria. Auxíliate de la palpación con los dedos índice y medio para sentir la pulsación de la arteria braquial la zona de ubicación del brazalete.
Notas: El borde inferior del brazalete debe ubicarse por encima de la parte inferior del codo, permitiendo poder ubicar el estetoscopio sin interferencias.
 El brazalete debe conectarse firmemente, mediante el Velcro, alrededor del brazo del voluntario para poder obtener lecturas adecuadas.
- Conecta adecuadamente el estetoscopio al tercer canal del transductor.
Notas: Limpia la superficie de los audífonos y diafragma del estetoscopio con alcohol antes de utilizarlo por primera vez en el voluntario.

Ninguno de los cables debe tirar ni arrastrar los transductores y su tensión debe permitir un movimiento libre del brazo del voluntario para ubicar su mano sobre las rodillas y por encima de la cabeza.

El estetoscopio debe aplicarse de forma firme, pero sin una presión excesiva.

- Configura los tres canales de adquisición, con el ancho de banda y frecuencia de muestreo adecuados.
- Agrega un canal de cálculo para la frecuencia cardíaca.
- Calibra tus canales antes de comenzar la adquisición.
- Realiza una adquisición de prueba de 30 s, para verificar la morfología adecuada de tus señales.
- Las maniobras experimentales para realizar durante la práctica son:

Maniobra	Segmentos
1. Sentado	2
2. Acostado	2
3. Parado	2
4. Parado, brazo izquierdo levantado	2
5. Después del ejercicio	2

Notas: Es importante que el sujeto voluntario del estudio no padezca ni tenga antecedentes de desórdenes cardiovasculares.

A menos que se indique lo contrario, ambos brazos del voluntario deberán permanecer relajados con las manos a los costados del cuerpo.

Revisa que la tubería del esfigmomanómetro no se encuentre doblada o rota.

El indicador de presión debe ubicarse de tal forma que sea sencilla su lectura mientras se infla y desinfla el brazalete.

El brazalete no debe dejarse a una presión alta (> 120 mmHg) por más de un minuto, ni lo infle más de lo necesario para determinar la presión sistólica.

Para cada una de las maniobras, se realizarán dos repeticiones, i.e. se tendrán dos segmentos de adquisición.

En cada repetición deberás realizar el siguiente procedimiento: 1) inflar el brazalete a 160 mmHg, 2) liberar la presión a razón de 2 a 3 mmHg/s, 3) avisar cuando aparezca el primer sonido de Korotkoff (presión sistólica) para ubicar un marcador (tecla F9), 4) avisar cuando desaparezca el sonido de Korotkoff (presión diastólica) para ubicar un marcador, y 5) desinflar rápidamente y por completo el brazalete después de ambas lecturas.

Es importante que practiques liberar la presión del brazalete a una velocidad de 2 a 3 mmHg/s para obtener lecturas adecuadas. Para ello, debes abrir más la válvula a medida que disminuye la presión del brazalete.

En la cuarta maniobra, el voluntario debe levantar su mano izquierda por encima de su cabeza, con el brazo extendido.

En la quinta maniobra, solicita al voluntario que realice ejercicios que eleven su frecuencia cardíaca, e.g. 50 flexiones o *squads*. Realiza la medición, con el voluntario parado, después de verificar la conexión de los sensores.

Entre una maniobra y la siguiente puede pausarse la adquisición y reanudarse en cuanto el voluntario se encuentre listo para realizar la siguiente maniobra.

Como alternativa al pausado, se sugiere la inserción de marcadores de eventos al inicio y fin de cada maniobra (tecla F9).

Resultados

Completa la **tabla 8.1** con datos de cada segmento de la maniobra experimental correspondiente. En el campo Marcador, indica el valor de amplitud de presión obtenido directamente del canal de presión al momento de la ubicación del marcador durante la maniobra. En el campo Sonido, indica el valor de amplitud de presión obtenido del canal de presión al momento de la aparición (presión sistólica) y de desaparición del sonido de Korotkoff (presión diastólica).

Tabla 8.1. Estimación de la presión sanguínea mediante la técnica de auscultación.

Maniobra	Segmento	Presión sanguínea			
		Sistólica (mmHg)		Diastólica (mmHg)	
		Marcador	Sonido (aparición)	Marcador	Sonido (desaparición)
Sentado	1				
	2				
	Promedio				
Acostado	1				
	2				
	Promedio				
Parado	1				
	2				
	Promedio				
Brazo levantado	1				
	2				
	Promedio				
Después ejercicio	1				
	2				
	Promedio				

Completa la **tabla 8.2** con el promedio de la FC (canal de cálculo agregado en el Software) de cada segmento de la maniobra experimental correspondiente. En el campo promedio, obtén el promedio de la maniobra, i.e. de ambos segmentos.

Tabla 8.2. Estimación de la frecuencia cardíaca.

Maniobra	Segmento	Frecuencia cardíaca promedio (LPM)	
Sentado	1		
	2		
	Promedio		
Acostado	1		
	2		
	Promedio		
Parado	1		

	2		
	Promedio		
Brazo levantado	1		
	2		
	Promedio		
Después ejercicio	1		
	2		
	Promedio		

Completa la **tabla 8.3** con los datos de presiones promedio de la **tabla 8.1** obtenidos para cada maniobra experimental empleando la aparición y desaparición de los sonidos de Korotkoff. Para el cálculo de la presión arterial media (MAP) y la presión de pulso, emplea las relaciones aritméticas señaladas en la sección de introducción de esta práctica.

Tabla 8.3. Estimación de la presión arterial media y presión de pulso.

Maniobra	Presión Arterial (mmHg)			
	Sistólica	Diastólica	Presión Arterial Media	Presión de Pulso
Sentado				
Acostado				
Parado				
Brazo levantado				
Después ejercicio				

Completa la **tabla 8.4** con datos del primer segmento de cada maniobra correspondiente.

Tabla 8.4. Velocidad de pulso de presión

Medición	Maniobra experimental	
	Brazo relajado	Brazo levantado
Retardo entre onda R y 1er. Sonido Korotkoff (s)		
Velocidad (cm/s)		

Para completar la tabla anterior, considera medir las siguientes distancias anatómicas del sujeto voluntario:

- Distancia entre el hombro y el esternón (cm): _____
- Distancia entre el hombro y la marca “Arteria” del brazalete (cm): _____
- Distancia total entre el esternón y la marca “Arteria” del brazalete (cm): _____

Reporte

En el reporte de la práctica, indica datos sobre el voluntario de experimentación, tales como nombre, edad, género, peso y estatura.

Contesta las siguientes cuestiones para ayudar a explicar tus resultados

1. Compara los valores de presión entre las diversas maniobras
2. Compara los valores de frecuencia cardíaca entre las diversas maniobras
3. Explica los mecanismos fisiológicos que determinan las posibles variaciones en la presión arterial sistólica, diastólica y presión de pulso con la frecuencia cardíaca
4. Compara las velocidades del pulso entre las maniobras con el brazo relajado y levantado
5. Explica los mecanismos fisiológicos que determinan los cambios en la presión de pulso durante el ejercicio

Al finalizar la práctica conteste las siguientes preguntas:

1. Explica la estimación de la presión arterial mediante la técnica de auscultación.
2. ¿Qué limitaciones presenta la estimación de la presión arterial mediante la técnica de auscultación?
3. ¿Qué ventajas presenta la estimación de la presión arterial mediante la técnica de auscultación?
4. ¿Cómo se definen los sonidos de Korotkoff y como se emplean para estimar las presiones sistólica y diastólica?
5. ¿Qué alternativas existen para estimar la presión arterial media? ¿Cuál de estas es la más exacta?
6. ¿Qué cambios se requerirían en la instrumentación para poder estimar de forma automática las presiones sistólicas, diastólica, media y presión de pulso empleando la técnica auscultatoria?

Referencias

- [1] B. M. Koeppen y B. A. Stanton, (2009) Berne & Levy Physiology, Updated Edition. Elsevier Health Sciences.
- [2] OpenStax - Pressures in the Body - College Physics. Disponible en: <https://openstax.org/books/college-physics/pages/11-9-pressures-in-the-body>.
- [3] B. Syeda, M. Gottsauner-Wolf, S. Denk, P. Pichler, A. Khorsand, y D. Glogar, (2003) Arterial compliance: a diagnostic marker for atherosclerotic plaque burden?, Am. J. Hypertens., 16(5), 356-362.
- [4] J. G. Webster, Ed., (2009) Medical Instrumentation: Application and Design, 4 edition. Hoboken, NJ: Wiley.



Universidad Autónoma de San Luis Potosí
Facultad de Ciencias

Curso: Instrumentación Biomédica Básica



Práctica 9. Relación de la actividad muscular y la frecuencia cardiaca durante el ejercicio

Unidad 3 y 5

Introducción

Realizar una actividad física requiere ajustes rápidos en el sistema cardiovascular para mantener la homeostasis. La regulación de la frecuencia cardiaca y la modulación de sus oscilaciones depende del sistema nervioso autónomo, a través de la estimulación o inhibición de sus ramas eferentes, el sistema nervioso parasimpático y el sistema nervioso simpático [1,2].

Tres mecanismos son los responsables de la modulación cardiovascular durante contracciones musculares voluntarias: la activación de centros cerebrales (comando central), además de la actividad refleja de quimiorreceptores y mecanorreceptores (metaboreflejo muscular) y la actividad de vías baroreceptoras (baroreflejo). Cada mecanismo activa circuitos neuronales dentro de la medula y modula las vías simpática y parasimpática del centro de control cardiovascular. La influencia de cada mecanismo sobre la respuesta de la frecuencia cardiaca y la presión sanguínea al ejercicio depende de factores como las fibras musculares reclutadas, el tipo de fibra muscular, la intensidad del ejercicio y el tipo de ejercicio [3].

El ejercicio isométrico e isotónico (**figura 9.1**) pueden generar una respuesta distinta en la frecuencia cardiaca y presión sanguínea. Existe evidencia sobre la comparación de la respuesta cardiovascular a la actividad muscular dinámica y estática, indicando un gran incremento en frecuencia cardiaca y presión sistólica y cambios menores en presión diastólica durante actividad muscular dinámica, mientras que la actividad isométrica induce incrementos moderados en frecuencia cardiaca, pero incrementos marcados en presión sistólica y en particular en presión diastólica. Sin embargo, la generalidad de estas observaciones es limitada, ya que la respuesta de ejercicios dinámicos y estáticos se ha estudiado de forma separada [3].

Adicionalmente, se ha reportado que las contracciones isométricas incrementan la frecuencia cardiaca, iniciando con una respuesta rápida, atribuida a la inhibición de la modulación del nervio vago en el nodo sinusal. Esto ocurre en los primeros 10 s de ejercicio. Por otro lado, las modificaciones en intensidad y duración de una contracción isométrica generan aumentos graduales de frecuencia cardiaca, debido a la modulación simpática del sistema nervioso autónomo [1].

Es necesario seguir investigando sobre las respuestas cardiovasculares durante contracciones isométricas a diferentes intensidades y duraciones, con el objetivo de generar evidencias que permitan una adecuada prescripción de este ejercicio en pacientes que requieren rehabilitación cardiovascular.

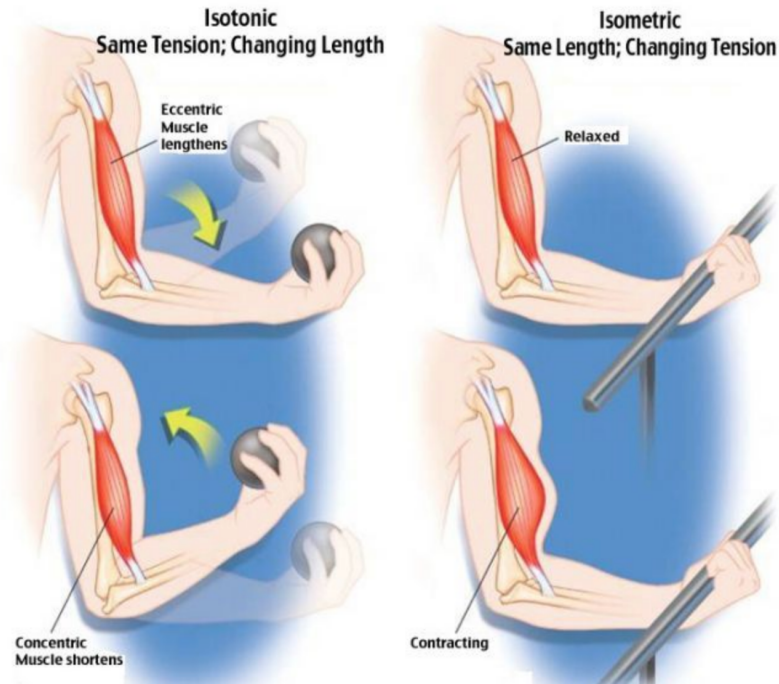


Figura 9.1. Ejemplos de contracción isotónica e isométrica. Imagen tomada de [4].

Objetivo

Realizar la adquisición de la señal de ECG y EMG en condiciones de ejercicio isométrico e isotónico y evaluar los cambios en las señales debidos a estas maniobras.

Material

- 1 Unidad de adquisición Biopac MP36
- 2 Juegos de cable de electrodos BIOPAC (SS2L)
- 1 Dinamómetro de mano BIOPAC (SS25LA o SS25L)
- 6 Electrodo desechables por individuo
- 1 Pesa
- Alcohol y algodón
- Cinta adhesiva (en caso de ser necesario)
- 1 Computadora
- Software BSL Pro

Procedimiento

- Conecta los 2 cables de electrodos SS2L (3 derivaciones) al Biopac MP36 en 2 canales de adquisición.
- Coloca los electrodos desechables para adquisición de EMG como se muestra en la **figura 9.2**, y los electrodos para adquisición de ECG, como se muestra en la **figura 9.3**.
- Agrega un canal de adquisición para el dinamómetro.

Nota: Para una optima adhesión del electrodo, debe colocarse 5 minutos antes de comenzar la calibración.

Los cables no deben tirar ni arrastrar los electrodos. Coloque el clip del juego de cables de electrodo en un lugar conveniente para que reduzca la tensión (puede ser en la ropa del Sujeto).

El Sujeto no debe estar en contacto con ningún objeto metálico, y debe sacarse todas las pulseras de la muñeca.

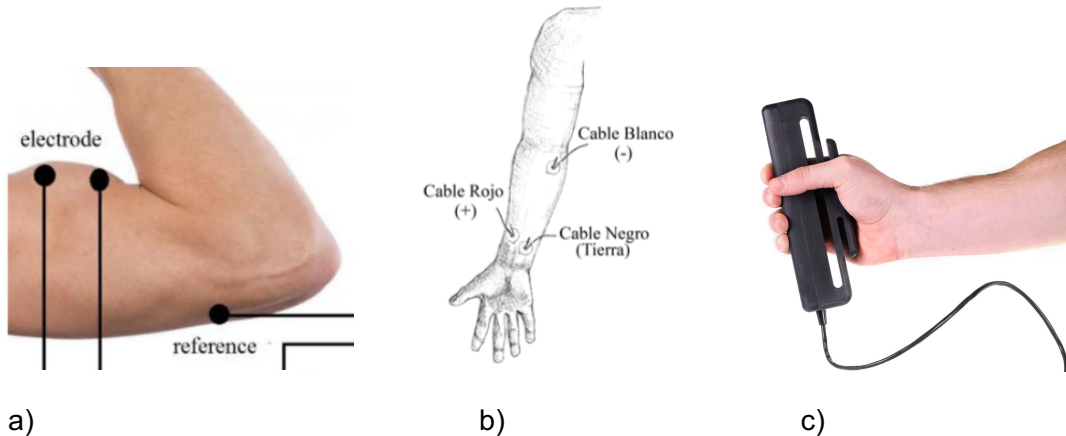


Figura 9.2. Colocación de los electrodos para registro de EMG, a) configuración para adquirir ejercicio isométrico como el mostrado en figura 9.1. b) configuración para adquirir ejercicio isométrico con el dinamómetro, como se muestra en c). Imagen modificada de [5].

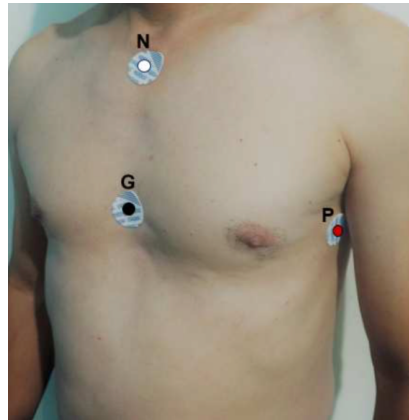


Figura 9.3. Colocación de los electrodos para registro de ECG, configuración CM5, N: negativo, P: positivo, G: referencia.

- Configura la adquisición, con el ancho de banda y frecuencia de muestro adecuados.
- Agrega tres canales de cálculo, 1) como frecuencia cardiaca (FC), 2) intervalos RR, asignados a la derivación de ECG y el 3) integral EMG asignado al canal de adquisición de EMG.
- Calibra tus canales antes de comenzar la adquisición.
- Realiza una adquisición de prueba de 30 s, para verificar la morfología adecuada de las señales.
- Antes de iniciar la adquisición deberá registrarse una contracción máxima voluntaria (CMV), con la finalidad de obtener un porcentaje de la CMV. Para realizar el protocolo. El registro de la fuerza de la CMV se realizará con el

dinamómetro. Registra el valor de fuerza de CMV, el 60% de CMV y el 40% de CMV. Después del registro de la CMV, permite al sujeto descansar 5 minutos.

- Las contracciones se llevarán a cabo con el brazo dominante.
- Las etapas de la adquisición para el ejercicio isométrico son las siguientes:

Maniobra	Duración
Control (reposo sentado)	3 min
Contracción isométrica 40%CMV	2 min
Reposo	1 min
Descanso sin adquisición	4 min
Contracción isométrica 60%CMV	2 min
Reposo	1 min
Descanso sin adquisición	4 min
Contracción isométrica 100%CMV hasta agotamiento	---
Recuperación	5 min

- La señal de EMG, ECG y dinamómetro serán adquiridas durante todo el protocolo.
- Permite al sujeto descansar 15 min y ahora el sujeto realizará el ejercicio isotónico, como se muestra en la **figura 9.1**. Adquiere nuevamente un periodo de control de 3 min. donde el sujeto realizara 2 sesiones de repeticiones. La primera, realizando 15 repeticiones de levantamiento de pesa y la segunda, hasta que el sujeto se fatigue. Entre la primera y segunda sesión habrá un periodo de reposo de 5 min. y al final un periodo de recuperación de 5 min., como se describe a continuación:

Maniobra	Duración
Control (reposo sentado)	3 min
Sesión de 15 repeticiones	---
Reposo	5 min
Repeticiones hasta la fatiga	---
Recuperación	5 min

Durante el ejercicio isotónico solo se registrará la señal de EMG y ECG y los canales de cálculo de intervalos RR, FC e integral de EMG.

Las repeticiones deberán ser a un ritmo constante, auxilia al sujeto indicándole un ritmo con algún cronómetro.

Resultados

Datos del voluntario de experimentación:

Edad: _____, Género: _____, Peso: _____, Estatura: _____

Calcula el valor medio de la FC y desviación estándar de cada maniobra, selecciona cada maniobra con el cursor, como se muestra en la **figura 9.4**, seleccionando previamente el canal de cálculo de FC y posteriormente selecciona en la barra de mediciones la opción de media y desviación estándar. Completa las **tablas 9.1-9.5** con la información solicitada.

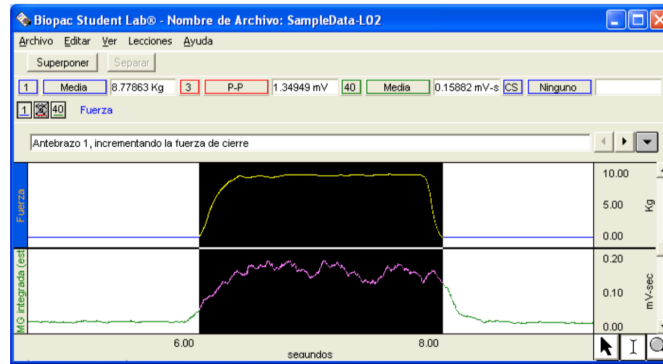


Figura 9.4. Selección de un segmento de interés en la interfaz de Biopac.

Tabla 9.1. Media y desviación estándar de la FC de cada maniobra durante el ejercicio isométrico.

Maniobra	FC (media + std)
Control (reposo sentado)	
Contracción isométrica 40%CMV	
Reposo	
Contracción isométrica 60%CMV	
Reposo	
Contracción isométrica 100%CMV hasta agotamiento	
Recuperación	

Tabla 9.2. Media y desviación estándar de la fuerza (dinamómetro) ejercida durante el ejercicio isométrico.

Maniobra	Fuerza (media + std)
Contracción isométrica 40%CMV	
Contracción isométrica 60%CMV	
Contracción isométrica 100%CMV	

Tabla 9.3. Media y desviación estándar de la integral del EMG durante el ejercicio isométrico.

Maniobra	Integral EMG (media + std)
Contracción isométrica 40%CMV	
Contracción isométrica 60%CMV	
Contracción isométrica 100%CMV	

Reporta el valor medio y desviación estándar durante el ejercicio isotónico

Tabla 9.4. Media y desviación estándar de la FC durante el ejercicio isotónico.

Maniobra	FC (media + std)
Control (reposo sentado)	
Sesión de 15 repeticiones	
Reposo	
Repeticiones hasta la fatiga	
Recuperación	

Tabla 9.5. Media y desviación estándar de la integral del EMG durante el ejercicio isotónico.

Maniobra	FC (media $\pm$ std)
Control (reposo sentado)	
Sesión de 15 repeticiones	
Reposo	
Repeticiones hasta la fatiga	
Recuperación	

Reporta el tiempo de fatiga en la segunda sesión de repeticiones: _____
 Compara el tiempo de fatiga con otros dos sujetos que hayan realizado la práctica.

Contesta las siguientes cuestiones para explicar los resultados

- ¿Qué cambios observaste en variaciones de FC, fuerza e integral del EMG durante el ejercicio isométrico e isotónico?
- ¿Observaste alguna relación entre la variación de FC y fuerza en el ejercicio isométrico? ¿cómo explicas fisiológicamente esta relación?
- ¿Observaste alguna relación entre la variación de FC e integral de EMG en el ejercicio isotónico? ¿cómo explicas fisiológicamente esta relación?
- ¿Cómo son las variaciones de FC entre la etapa inicial de reposo y los descansos y las etapas finales de recuperación en ambos ejercicios? ¿Qué podrían sugerir estas variaciones de FC?
- ¿Cómo fue el tiempo de fatiga del sujeto de experimentación con respecto a otros? ¿sería valido comparar sus tiempos de fatiga? ¿Por qué si o no sería valido comparar?

Al finalizar la práctica contesta las siguientes preguntas:

- ¿Cómo esta relacionada la actividad muscular durante algún ejercicio con la actividad cardiaca?
- ¿El ejercicio isométrico e isotónico genera los mismos cambios en FC? ¿Por qué?
- ¿Cuál es la utilidad de obtener una contracción máxima voluntaria (CMV)?
- Si se deseará comparar los resultados de 10 sujetos de experimentación, ¿qué consideraciones debería tomar en cuenta?

Referencias

- [1] PH Leite, RC Mel, MF Mello, Ed Silva, A Borghi-Silva, Catai AM, (2010) Heart rate responses during isometric exercises in patients undergoing a phase III cardiac rehabilitation program, Rev. Bras. Fisioter, 14(5), 383-9.
- [2] JV Freeman, FE Dewey, DM Hadley, J Myers, VF Froelicher, (2006) Autonomic nervous system interaction with the cardiovascular system during exercise. Prog Cardiovasc Dis. 48(5):342-62.
- [3] M Weippert, B Kristin, R Annika, S Regina, K Steffi, (2013), Heart Rate Variability and Blood Pressure during Dynamic and Static Exercise at Similar Heart Rate Levels, PLoS One. 8(12):e83690.
- [4] <https://www.racerxvt.com/article/forearm-specific-strength-training>
- [5] Manual Laboratory biopac student lab, BIOPAC Systems, Inc.