



## **Sesión 8:**

### **Práctica: Fisiología de la presión arterial**

#### **Propósitos Generales**

El alumno analizará los mecanismos fisiológicos que regulan la presión arterial, mediante el registro de los cambios en la presión arterial y la frecuencia cardíaca que se producen al realizar diferentes maniobras experimentales.

#### **Aprendizajes esperados**

Que el alumno desarrolle una adecuada técnica de medición de la presión arterial.

Que el alumno conozca los fundamentos de la técnica de medición de la presión arterial.

Que el alumno integre los conocimientos de la fisiología cardiovascular y control neural en la regulación de la presión arterial.

#### **Diagnóstico previo**

1. Mencione la diferencia entre tensión arterial y presión sanguínea.
2. ¿Cuál es la función de las arterias, arteriolas y venas en la regulación de la presión sanguínea?
3. ¿Qué factores son importantes en la regulación de la presión sanguínea?
4. ¿A qué llamamos presión arterial sistólica y diastólica?
5. Defina presión arterial media y su utilidad en la fisiología.
6. ¿Cuál es el origen de los ruidos de Korotkoff?
7. ¿Cómo participa el sistema nervioso autónomo en la regulación de la presión arterial?
8. ¿Cómo participa el sistema renal en la regulación de la presión arterial?
9. ¿Qué diferencia hay en la complianza de los diferentes tipos de vasos sanguíneos?
10. ¿Qué es precarga, poscarga, gasto cardíaco y resistencia vascular periférica?

#### **Introducción**

El flujo de la sangre por el sistema cardiovascular ocurre debido a la diferencia de presiones que existen de un punto del circuito circulatorio a otro punto del circuito. La presión sanguínea disminuye conforme la distancia desde el ventrículo aumenta (Figura 1), por lo tanto, la sangre fluye unidireccionalmente desde sitios con mayor presión cercanos al corazón a sitios más alejados del corazón con menor presión sanguínea.



## Departamento de Fisiología Facultad de Medicina

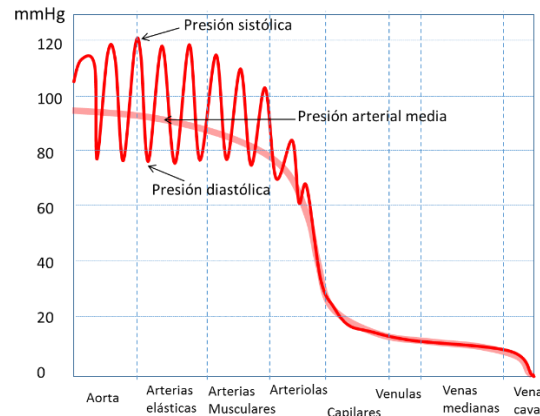


Figura 1: La presión sanguínea disminuye conforme aumenta la distancia del ventrículo

La contracción de los ventrículos (sístole ventricular) aumenta la presión de forma que la diferencia de presiones entre el punto inicial del circuito (la salida del ventrículo) y el punto final (las aurículas) sea suficiente para generar un adecuado flujo sanguíneo a pesar de la resistencia que oponen los vasos sanguíneos.

Las arterias tienen un papel muy importante en generar un flujo constante a pesar de que el corazón se contrae de forma intermitente. Estas tienen una gran elasticidad, lo que les permite funcionar como reservorios de la presión generada durante la sístole y al regresar a su diámetro original mantienen una elevada presión sobre la sangre, a pesar de que la presión dentro del ventrículo haya descendido a casi cero. La presión en las arterias varía con cada fase del ciclo cardíaco (Figura 1) siendo su máximo valor durante la sístole, donde alcanza casi 120 mmHg (**presión sistólica**) y su valor mínimo durante la diástole, cuando su valor es aproximadamente 80 mmHg (**presión diastólica**). La diferencia entre ambos valores es la **presión de pulso**. La presión de pulso es **directamente proporcional al volumen latido** (el volumen expulsado por el ventrículo con cada sístole) e **inversamente proporcional a la complianza** o distensibilidad de las arterias (que se acomodan para alojar un mayor volumen de sangre).

Podemos observar ejemplos de una baja presión de pulso durante pérdidas de sangre, durante casos de insuficiencia cardíaca congestiva, en casos de tamponamiento cardíaco o en casos de estenosis aórtica. ¿Porqué crees que ocurre esto?

También podemos encontrar casos de una mayor presión de pulso en casos de aterosclerosis o en insuficiencia aórtica. ¿Porqué crees que se produce esto?

Otra medida importante es la **presión arterial media (PAM)** que es definida como el promedio de la presión en las arterias durante un ciclo cardíaco. Se considera que este parámetro refleja mejor que la presión sistólica la perfusión que reciben los diferentes órganos. Se considera que una PAM mayor a 60 mmHg es suficiente para mantener los órganos de la persona promedio bien perfundidos. Si la PAM cae de este valor por un tiempo considerable, el órgano blanco no recibirá el suficiente riego sanguíneo y se volverá isquémico.



## Departamento de Fisiología Facultad de Medicina



La presión arterial media (PAM) está determinada por el gasto cardíaco (GC), la resistencia vascular periférica (RVP) y la presión venosa central (PVC). La fórmula que relaciona estos conceptos es:

$$PAM = (GC \times RVP) + PVC$$

Dado que la PVC es aproximadamente 0, la fórmula queda:

$$PAM \approx (GC \times RVP)$$

Así se puede ver que cambios en el gasto cardíaco o en la resistencia vascular periférica afectan la PAM. Si se aumenta el GC o la RVP aumenta la PAM (Figura 2).

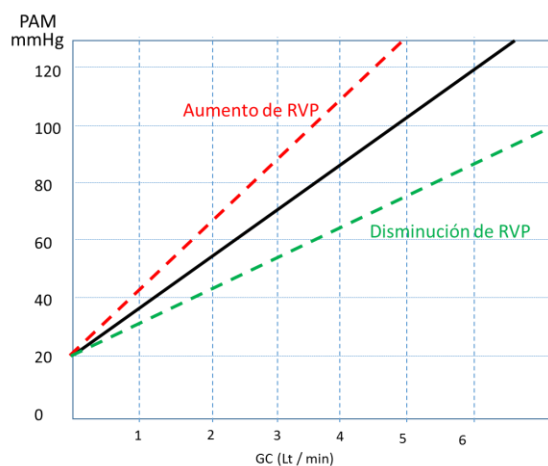


Figura 2: Relación entre PAM, GC y RVP

Nótese en la figura 2 y en la fórmula que los tres parámetros son dependientes entre sí, al modificarse uno de ellos se espera que los otros sufran cambios compensatorios. Por ejemplo si el gasto cardíaco aumenta, la resistencia vascular disminuye para mantener la presión arterial media.

En la práctica es difícil la medición de la RVP y del GC, por lo que para una aproximación a su valor en condiciones de reposo (valores normales de FC), usamos una fórmula que refleja el hecho de que la PAM suele ser más baja que el promedio de la presión sistólica y la presión diastólica.

$$PAM \approx 2/3 (\text{presión diastólica}) + 1/3 (\text{presión sistólica})$$

Si el paciente está en taquicardia, el cálculo es más aproximado al promedio de estas presiones; ya que al aumentar la frecuencia cardíaca, se acorta la duración de la diástole en el ciclo cardíaco, y por consiguiente es menor la duración de las presiones diastólicas durante el ciclo cardíaco.

Una gran cantidad de complicaciones cardiovasculares, renales, oftálmicas, etc se pueden presentar si no se hace un diagnóstico y tratamiento oportuno de casos de hipertensión arterial (PAS mayor a 140 mmHg y PAD mayor a 90 mmHg). En nuestro país la prevalencia es muy alta y aumenta con la edad llegando a ser mayor al 50% en adultos mayores. Es por esto que en la



práctica clínica diaria, la medición de la presión arterial es un procedimiento de rutina y debe saber realizarse de una manera correcta para poder detectar casos de hipertensión.

Dicho procedimiento es revisado en detalle en la sección siguiente “**Técnica para la medición de la presión arterial**”, se basa en la auscultación de sonidos (ruidos de Korotkoff) que se generan en las arterias periféricas (normalmente la arteria radial) por el flujo de la sangre al pasar por la arteria cuando se coloca un brazalete que comprime dicha arteria.

Los ruidos de Korotkoff, fueron descritos desde 1905 y se describieron 5 fases. En resumen:

- Cuando el brazalete alrededor del brazo se infla con una presión mayor a la presión sistólica no se escucha nada debido a que se ocluye la arteria evitando el flujo.

Conforme va disminuyendo la presión y se permite gradualmente un mayor paso de sangre a través de la zona de oclusión se pueden observar las siguientes fases:

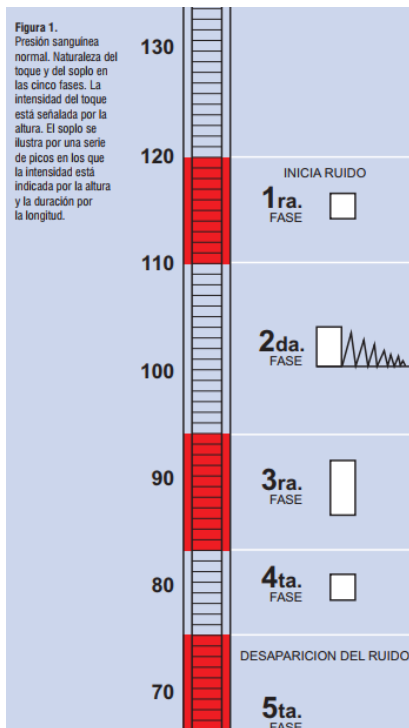


Figura 3. Representación de la columna de mercurio y la aparición de los ruidos de Korotkoff. Ur, A., y Gordón, M.: *Origin of Korotkoff sounds* [Origen de los ruidos de Korotkoff], *Amer. J. Physiol.* 218:524. Feb. 1970

- **Primera:** es un sonido más fuerte y agudo, el primero en escucharse cuando la presión sistólica es mayor que la presión del brazalete.

- **Segunda:** son murmullos oídos en la mayor parte del tiempo entre la primera y última fases (entre los valores de las presiones sistólicas y diastólicas).

- **Tercera y Cuarta fases:** se oyen en presiones aproximadamente de 10 mmHg por arriba de la presión sanguínea diastólica, descritos ambos como "golpeando pesadamente" y "amortiguados".

- **Quinta fase:** es el silencio que se oye a medida que la presión del brazalete cae debajo de la presión sanguínea diastólica.

Aunque tradicionalmente se tomaba para determinar la presión diastólica el punto en que el cuarto ruido se escucha muy tenuemente, actualmente se prefiere usar la quinta fase (silencio) para determinar el valor de la presión diastólica.

**El ¿por qué se generan los ruidos al pasar por la zona de oclusión?** Tiene que ver con el cambio de un flujo laminar a un flujo turbulento. En una arteria normal, las paredes son lo suficientemente lisas para que la sangre fluya laminarmente en un patrón ordenado donde las moléculas de la sangre pegadas a las paredes arteriales prácticamente no se mueven y las partículas en el centro de la arteria tienen la máxima velocidad de movimiento.



## Departamento de Fisiología Facultad de Medicina



Cuando existe un obstáculo como un coágulo, un ateroma, o las paredes de la arteria al ser comprimida por el brazalete del esfigmomanómetro, etc. El flujo laminar se puede distorsionar y se vuelve turbulento, (en vez de que la sangre fluya en “láminas paralelas” algunas moléculas de sangre empiezan a fluir en direcciones axiales y se mezclan).

**El número de Reynolds** se usa para predecir si el flujo de la sangre será laminar o turbulento y considera varios factores característicos del fluido (velocidad de flujo, viscosidad del fluido, densidad de la sangre) y del tubo por el que fluye (diámetro).

La fórmula es:

$$N = (d\rho v) / \eta$$

Donde

N = Número de Reynolds

v = velocidad de flujo del fluido

$\rho$  = densidad del fluido

$\eta$  = viscosidad del fluido

d = diámetro del tubo

En general si el número de Reynolds es bajo, el flujo será laminar y si aumenta, será más probable que sea turbulento. En el sistema cardiovascular las principales causas de un flujo turbulento son un aumento en la velocidad de flujo o una disminución en la viscosidad.

Cuando aumentamos la presión en el brazalete del esfigmomanómetro el diámetro del vaso se disminuye y por lo tanto debería reducirse el número de Reynolds. Esto no ocurre debido a que la velocidad de flujo (v) es igual al flujo (Q) que pasa por un área ( $\pi*r^2$ ) determinada.

$$v = Q / (\pi*r^2)$$

Un ejemplo muy intuitivo de esto es cuando tapas parcialmente la salida de una manguera y el agua sale con mayor velocidad para poder mantener un flujo constante a través de un área más pequeña. Por lo tanto, es claro que una disminución a la mitad del diámetro causará un incremento de cuatro veces en la velocidad de flujo.

Ejemplos clínicos donde se observan estos cambios son en anemias donde disminuye la viscosidad de la sangre por disminución en los glóbulos rojos o en trombos donde se reduce el diámetro del vaso y la velocidad de flujo aumenta en algunos casos llegando a producir soplos (sonidos) arteriales.

La presión arterial se modula de forma aguda por el sistema nervioso, los barorreceptores sensan cambios en la presión en el interior del seno carotídeo y el arco aórtico y envían aferencias a los centros vasomotores en el tronco encefálico. El seno carotídeo envía su información vía el nervio del seno carotídeo. Receptores en el arco aórtico envían su información por nervio vago. La información de ambos sitios se integran en el núcleo del tracto solitario cuya función es dirigir el aumento o reducción de las respuestas nerviosas parasimpáticas y simpáticas.



### Técnica para la medición de la presión arterial

La adecuada técnica para medir la presión arterial se puede dividir en tres aspectos preparatorios (condiciones del paciente, del equipo y del observador) y la adecuada técnica de medición. A continuación, describimos cada una de ellas:

#### Condiciones del paciente

- 1) Solicitar al paciente evitar ejercicio físico en los 30 minutos previos a la medición.
- 2) Posicionar al paciente sentado con la espalda recta y con un buen soporte; el brazo izquierdo descubierto apoyado a la altura del corazón; piernas sin cruzar y pies apoyados cómodamente sobre el suelo. (Figura 3)
- 3) Evitar el consumo de cafeína o tabaco (o estimulantes en general) en los 30 minutos previos, la administración reciente de fármacos con efecto sobre la PA (incluyendo los anti-hipertensivos).
- 4) No se debe hacer el estudio en pacientes sintomáticos o con agitación psíquica/ emocional, y tiempo prolongado de espera antes de la visita.

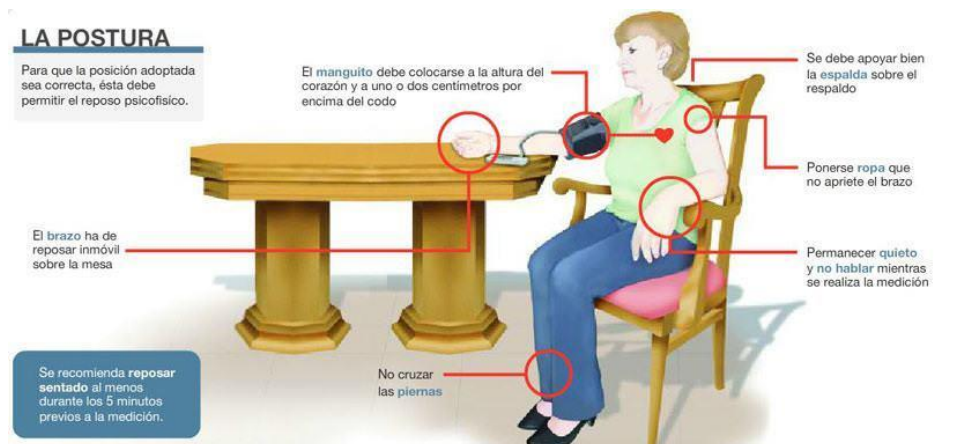


Figura 4: Toma correcta de la Presión arterial (Figura tomada de [http://www.dmedicina.com/sites/default/files/images/hipertension\\_casa\(1\).jpg](http://www.dmedicina.com/sites/default/files/images/hipertension_casa(1).jpg))

#### Condiciones del equipo

El esfigmomanómetro manual y el manómetro de mercurio o aneroides debieron ser calibrados en los últimos seis meses y hay que verificar que la calibración sea correcta. La longitud de la funda del manguito debe ser suficiente para envolver el brazo y cerrarse con facilidad. El ancho de la cámara debe representar el 40% de la longitud del brazo. Las cámaras o manguitos inadecuadamente pequeños tienden a sobreestimar la presión arterial. Se deben retirar las prendas gruesas y evitar que se enrollen para que no compriman el brazo; sin embargo, alguna prenda fina no modificará los resultados.

#### Condiciones del observador



Mantener en todo momento un ambiente de cordialidad con el paciente. Favorecer en la consulta un ambiente tranquilo y confortable, así como explicar al paciente paso a paso lo que vamos a realizar para la toma de su tensión arterial. Antes de tomar la lectura, conocer el equipo y verificar su adecuado funcionamiento. Hay que familiarizarse con las particularidades de cada equipo e idealmente utilizar el equipo con el que uno se sienta más cómodo. Recordar que el manómetro o la columna de mercurio deben estar a menos de 30 cm y en línea recta a nuestra línea de visión en todo momento. En cuanto al estetoscopio, las olivas deben dirigirse hacia adelante, para estar perfectamente alineadas con los conductos auditivos externos del que toma la presión y optimizar la auscultación de la lectura. Comunicar al paciente su lectura de presión arterial y explicarle el significado de los valores que se obtuvieron.



Figura 4. Dejar libre la fosa antecubital (colocar el borde inferior del brazalete 2 a 3 cm por encima del pliegue del codo).



Figura 5. Palpar la arteria braquial.



Figura 6. Colocar la campana del estetoscopio en el nivel de la arteria braquial.



Figura 7. El centro de la cámara debe coincidir con la arteria braquial. El manguito debe quedar a la altura del corazón. Establecer la presión arterial sistólica por palpación de la arterial braquial/radial, e inflar el manguito para determinar por palpación el nivel de la presión sistólica.



Figura 8. Insuflar rápidamente el manguito hasta 30 a 40 mmHg por arriba del nivel palpatorio de la presión sistólica para iniciar su auscultación. Desinflar a una velocidad de 2 a 3 mmHg/segundo.

### Procedimiento adecuado para la medición de la presión arterial.

**Figura 4:** Dejar libre la fosa antecubital (colocar el borde inferior del brazalete 2 a 3 cm por encima del pliegue del codo)

**Figura 5:** Palpar la arteria braquial

**Figura 6:** Colocar la campana del estetoscopio en ese nivel (nunca debe quedar por debajo del brazalete).

**Figura 7:** El centro de la cámara (o la marca del manguito) debe coincidir con la arteria braquial. El manguito debe quedar a la altura del corazón, no así el aparato (manómetro), que debe ser perfectamente visible para el explorador. Establecer primero la presión arterial sistólica (PAS) por palpación de la arterial braquial/radial, y mientras se palpa dicho pulso se inflará rápidamente el manguito hasta que éste desaparezca, con la finalidad de determinar por palpación el nivel de la presión sistólica.

**Figura 8:** Se desinflará nuevamente el manguito y se colocará la cápsula del estetoscopio sobre la arteria humeral. Se inflará rápidamente el manguito hasta 30 o 40 mmHg por arriba del nivel palpatorio de la presión sistólica para iniciar la auscultación de la misma. Desinflar a una velocidad de 2 a 3 mmHg/segundo.

Usar el primer ruido de Korotkoff para identificar la cifra de PAS y el quinto ruido (desaparición) para la cifra de presión arterial diastólica (PAD). Ajustar las cifras auscultadas a números pares. En caso de que se continúen auscultando ruidos hasta un nivel muy cercano al cero, entonces se deberá tomar el cuarto ruido de Korotkoff (apagamiento) para determinar la cifra de PAD.



**Departamento de Fisiología**  
**Facultad de Medicina**



Por último, es necesario realizar como mínimo dos mediciones separadas al menos por un minuto; si se detecta una diferencia de presión arterial (PA) entre ambas, mayor de 5 mmHg, deberá realizarse una tercera toma. Es importante esperar al menos un minuto entre las mediciones, ya que, si el sistema venoso se llena, será difícil la auscultación de los ruidos. En función de las cifras obtenidas, algunas guías recomiendan descartar la primera medición y realizar un promedio de las dos últimas. La primera vez, medir ambos brazos, series alternativas si hay diferencia. En adultos mayores, realizar una medición en ortostatismo entre el minuto 1 y el minuto 3 de haber adoptado la bipedestación, con la intención de identificar cambios posturales significativos.

**Metodología**

**Material**

|                     |
|---------------------|
| Esfingomanómetro    |
| Estetoscopio        |
| Cronómetro          |
| Cinta métrica       |
| Báscula             |
| Azul de metileno    |
| Venocllisis         |
| Jeringa con aguja   |
| Mesa de exploración |

**Métodos**

**Parte 1**

Analizaremos los cambios que se presentan en la presión arterial y en la frecuencia cardíaca al realizar diferentes procedimientos.

Registra para cada ejercicio (descritos abajo), la frecuencia cardíaca, la presión arterial sistólica, la presión arterial diastólica y calcula la presión arterial media. Usa una tabla como la siguiente

| Sujeto  | Nombre de la maniobra realizada | PA Sistólica (mmHg) / Diastólica (mmHg)<br>1) Basal<br>2) Después de maniobra | FC (LPM)<br>1) Basal<br>2) Después de maniobra | PAM (mmHg)<br>1) Basal<br>2) Después de maniobra |
|---------|---------------------------------|---|--|--|
| Juanito | 1A                              | 140/80  | 60   | 120  |
| Pedro   | 1B                              | 1) 120/60<br>2) 130/70  | 1) 70<br>2) 90                                 |  |
| Anita   | 1C                              | 1) 130/60<br>2) 160/70  | 1) 80<br>2) 85                                 |  |
|         |                                 |   |  |  |
|         |                                 |   |  |  |

Discute los resultados en relación con el retorno venoso, los reflejos que se presentan ante cambios en la presión arterial o el volumen sanguíneo, los mecanismos que se activan durante el ejercicio para regular la presión arterial sistólica y diastólica





**Departamento de Fisiología**  
**Facultad de Medicina**



Ejercicios

1A) Medición de la presión arterial normal: en parejas medir la presión arterial de acuerdo al procedimiento que se especifica arriba (a todo el grupo), registrar los valores y graficarlos.

- Evaluar si se encuentran dentro de rangos normales
- Evaluar si hay diferencias entre hombres y mujeres
- Evaluar si hay diferencias individuos sedentarios o que ejercitan mas de 3 horas a la semana
- Evaluar si hay una correlación con el IMC

1B) Cambios de la presión arterial y FC en respuesta a la elevación pasiva de las piernas (reflejo atrial o reflejo Brainbridge): Esta maniobra reversible, produce un aumento de la precarga izquierda, con posterior aumento temporal del volumen sistólico (VS) y gasto cardíaco.

- Comparar la P.A. y la frecuencia cardíaca:
  - Después de estar acostado y en reposo (verificar que se alcanzó un estado estable)
  - 15 segundos después de elevar pasivamente y de forma rápida (con ayuda del explorador) las piernas

1C) Cambios de la presión arterial y FC en respuesta a cambios posturales:

- Compara la P.A. y la frecuencia cardíaca:
  - Después de estar acostado y en reposo (verificar que se alcanzó un estado estable)
  - 15 segundos después de ponerse de pie rápidamente

1D) Cambios de la presión arterial y FC en respuesta a aumento de la presión intratorácica (maniobra de Valsalva)

- Comparar la P.A. y la frecuencia cardíaca:
  - Después de estar acostado y en reposo (verificar que se alcanzó un estado estable)
  - 15 segundos después de no respirar durante 20 segundos (grupo control)
  - 15 segundos después de no respirar durante 20 segundos, cerrar la glotis, y hacer esfuerzo intentando expulsar el aire (grupo experimental)

1E) Cambios de la presión arterial y FC en respuesta al ejercicio

- Comparar la P.A. y la frecuencia cardíaca:
  - Después de estar acostado y en reposo (verificar que se alcanzó un estado estable)
  - Después de hacer ejercicio hasta que se alcancen 120 latidos por minuto



**Departamento de Fisiología**  
**Facultad de Medicina**



**Parte 2**

- Quitar la tapa del equipo de venoclisis, llenar con agua y purgar la manguera.
- Tomar 1 cc de azul de metileno con la jeringa e introducir la punta de la jeringa a la luz de la manguera.
- Abrir la llave del normogotero al flujo más lento que sea posible y administrar una pequeña cantidad (menos de 100 microlitros) de azul de metileno con la aguja y observar el flujo que forma el azul de metileno.
- Incrementar la velocidad del goteo al máximo mediante la llave de la venoclisis y administrar una pequeña cantidad (menos de 100 microlitros) de azul de metileno con la aguja y observar el flujo que forma el azul de metileno.
- Regresar al flujo más lento posible, administrar una pequeña cantidad (menos de 100 microlitros) de azul de metileno con la aguja y pinzar la manguera para generar una obstrucción parcial, observar el flujo que forma el azul de metileno.

**Resultados de aprendizaje**

El alumno desarrolla una adecuada técnica de medición de la presión arterial e interpreta con base a los mecanismos fisiológicos los cambios compensadores que se observan al realizar diferentes maniobras que modifican la presión arterial.

**Referencias:**

Básicas

- a) Barrett, K. E. (2013). Ganong fisiología médica (24a. ed.), McGraw Hill Mexico.
- b) Koepfen, B. M. and B. A. Stanton (2017). Berne and Levy Physiology E-Book, Elsevier Health Sciences.

Complementarias

- c) Richard E. Kalbunde (2017) Cardiovascular physiology concepts. Access date November 13, 2017. Web Page: <http://www.cvphysiology.com/>
- d) Gómez-León MA, Morales LS, Álvarez, (2016) Técnica para una correcta toma de la presión arterial en el paciente ambulatorio, DCJ. Rev Fac Med UNAM 2016; 59 (3)
- e) Ur, A., y Gordón, M.: Origin of Korotkoff sounds, Amer. J. Physiol. 218:524. Feb. 1970.
- f) NORMA Oficial Mexicana NOM-030-SSA2-1999, Para la prevención, tratamiento y control de la hipertensión arterial.