

Unidad temática II
sesión II

Hemodinamia

Propósito general

Comprender el concepto de hemodinámica y las variables implicadas en su regulación.

Propósito específico

Desarrollar una adecuada técnica de medición de la presión arterial.

Comprender los fundamentos fisiológicos de la técnica de medición de la presión arterial.

Integrar los conocimientos de la fisiología cardiovascular y control neural en la regulación de la presión arterial.

1. 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. La presión sanguínea disminuye conforme la distancia desde el ventrículo aumenta (Fig. 1), por lo tanto, la sangre fluye unidireccionalmente desde sitios con mayor presión (cercanos al corazón) a sitios con menor presión sanguínea (más alejados del corazón).

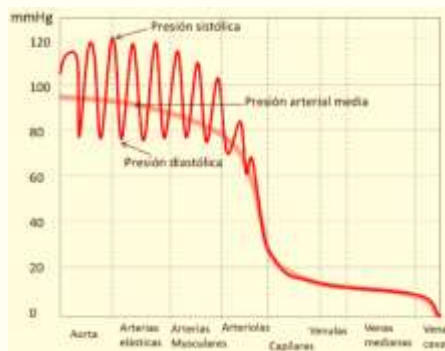


Fig. 1. La presión sanguínea disminuye conforme aumenta la distancia desde el ventrículo.

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.

Las arterias tienen un papel muy importante en generar un flujo constante a pesar de que el corazón se contrae de forma intermitente, 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 cual 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 y en casos de estenosis aórtica, por citar algunos.

¿Por qué crees que ocurre esto?

También podemos encontrar de una mayor presión de pulso en casos de aterosclerosis o en insuficiencia aórtica.

¿Por qué 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. Este parámetro refleja la perfusión que reciben los diferentes órganos, valores de PAM mayores a 60 mmHg es suficiente para mantener los órganos de una 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.

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 integra 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, es decir, si aumenta el GC o la RVP aumenta la PAM (Fig. 2).

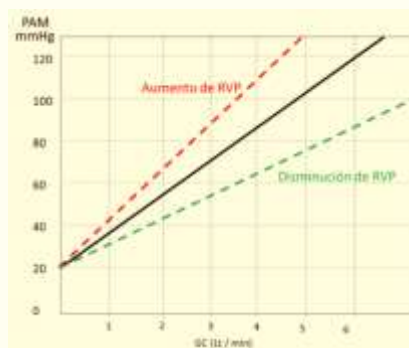


Fig. 2. Relación entre PAM, GC y RVP.

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.

Una gran cantidad de complicaciones cardiovasculares, renales, oftálmicas, entre otras, se pueden presentar si no se hace un diagnóstico y tratamiento oportuno de la hipertensión arterial (PAS mayor a 140 mmHg y PAD mayor a 90 mmHg). En nuestro país la prevalencia es muy alta, por lo 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.

El procedimiento para la toma de la presión arterial se fundamenta en la auscultación de sonidos (ruidos de Korotkoff) que se generan en las arterias periféricas (normalmente la arteria radial) cuando se modifica el flujo de la sangre. (Es revisado en detalle en la sección "*Técnica para la medición de la presión arterial*").

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:

- **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 las últimas 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.

¿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 tenga un flujo laminar 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.

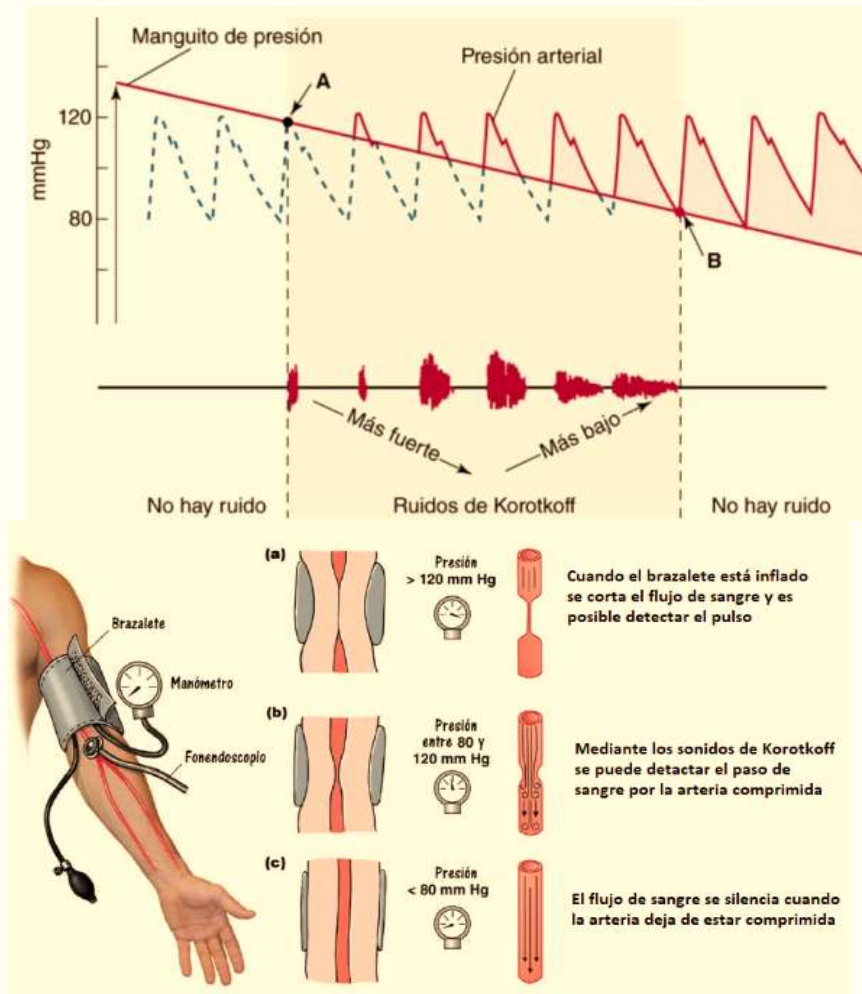


Fig. 3. Relación entre la presión arterial y los ruidos cardiacos.

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; ρ = densidad del fluido; d = diámetro del tubo; v = velocidad de flujo del fluido; η = viscosidad del fluido.

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 el aumento en la velocidad de flujo o la disminución de 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 ($\pi \cdot r^2$) determinada.

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

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.

Un ejemplo clínico donde se observan este fenómeno es en una anemia, donde disminuye la viscosidad de la sangre (por disminución en los glóbulos rojos), otro ejemplo es un trombo, en 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 por el sistema nervioso, los barorreceptores sensan los cambios de 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). Los receptores en el arco aórtico envían su información por nervio vago. La información de ambos sitios se integra en el núcleo del tracto solitario cuya función modular la respuesta parasimpática y simpática.

2. Actividad en la sesión

Nota importante:

De contar con un esfigmomanómetro en casa y de ser posible realiza la siguiente actividad.

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. Utiliza una tabla como la siguiente:

Sujeto	Nombre de la maniobra realizada	PA Sistólica (mmHg)/ Diastólica (mmHg)		FC (LPM)		PAM (mmHg)	
		Basal	Maniobra	Basal	Maniobra	Basal	Maniobra

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

Ejercicios

1) Medición de la presión arterial normal: en parejas medir la presión arterial de acuerdo con el procedimiento que se especifica en los anexos, 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 más de 3 horas a la semana
- Evaluar si hay una correlación con el IMC

2) 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

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

- 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 ponerse de pie rápidamente

4) 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)

5) 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



4. Anexo

A) Preguntas previas

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?

b) Técnica para la medición de la presión arterial

La técnica adecuada 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) y la administración de reciente de fármacos con efecto sobre la PA (incluyendo los antihipertensivos) en los 30 minutos previos a la medición.
- 4) No se debe hacer el estudio en pacientes sintomáticos o con agitación psíquica/ emocional, y tiempo prolongado de espera antes de la visita.

Condiciones del equipo

El esfigmomanómetro manual y el manómetro de mercurio o aneroide 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 presión 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. Hay que 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.



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



Fig. 5. Palpar la arteria braquial.



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



Fig. 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.



Fig. 8. Insuflar rápidamente el manguito hasta 30 o 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.

5. 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.



CC BY

Esta obra está bajo una
Licencia Creative Commons
Atribución 4.0 Internacional