Unidad temática II

Sesión V

Hemodinamia

Objetivos de aprendizaje

- Describe los factores que influyen sobre la presión arterial sistólica, diastólica, del pulso y arterial media.

Resultado de aprendizaje

- El estudiante analiza los factores físicos y tisulares que influyen en la hemodinamia.

Glosario de términos

Hemodinamia: Estudio del movimiento de la sangre a través del sistema vascular.

Presión arterial: Es la fuerza de su sangre al empujar contra las paredes de sus arterias.

Presión arterial diastólica (PAD): Presión que se mide al final de la eyección de la sangre desde el ventrículo.

Presión arterial sistólica (PAS): Presión que se mide al inicio de la eyección de la sangre desde el ventrículo.

Presión arterial media: Este parámetro refleja la perfusión constante que reciben los diferentes órganos para su correcto funcionamiento

Presión del pulso: Es la presión diferencial entre la PAS y PAD.

1. Introducción

La hemodinamia es la parte de la biofísica que se encarga del estudio del flujo de la sangre a través de todo el sistema circulatorio. Es necesario regular y mantener constante este flujo sanguíneo en valores normales, para así preservar un entorno apropiado en los líquidos tisulares y como consecuencia todas las células puedan desempeñar su función adecuadamente.

Es importante recordar cómo está compuesto el sistema circulatorio: Las arterias son los vasos de mayor calibre y son las encargadas de transportar la sangre a presiones muy altas. Posteriormente, después de numerosas ramificaciones, las arterias van disminuyendo su diámetro hasta convertirse en arteriolas, que son las últimas ramas pequeñas del sistema arterial. Las arteriolas tienen la capacidad de regular el flujo de sangre hacia los diferentes órganos gracias a sus paredes vasculares de gran fuerza. Estas paredes, según la necesidad del organismo, tienen la capacidad de contraerse y disminuir el diámetro del vaso, o de dilatarse y aumentarlo, afectando de gran manera el flujo sanguíneo.

Al finalizar el trayecto arterial se encuentran los capilares, los cuales tienen como función intercambiar, desde el espacio intravascular hacia el espacio intersticial, nutrientes, electrolitos, líquidos, hormonas entre otras moléculas, necesarias para el adecuado funcionamiento de todas las células que integran el cuerpo humano. Las vénulas recogen la sangre después de su paso por el intersticio, acompañada de productos de desecho y con valores de oxígeno mucho menores al del sistema arterial. A medida que van aumentando de calibre estos vasos, pasan de ser vénulas a venas, que además de funcionar como camino de regreso al corazón para iniciar el proceso nuevamente, también sirven como un gran reservorio de sangre. Mientras en el corazón, las arterias

y los capilares se posee aproximadamente un 7, 13 y 7 % del volumen sanguíneo total, respectivamente, el sistema venoso posee cerca de un 64%. Así el organismo puede regular y controlar la cantidad de sangre circulante según sus necesidades.

El flujo de la sangre a través del sistema cardiovascular es posible gracias a la diferencia de presiones que existe entre el punto inicial del circuito y el punto final. La presión sanguínea va disminuyendo paulatinamente a medida aumenta la distancia recorrida a partir del ventrículo, independientemente si se habla del lado izquierdo o del derecho ***(Figura 1).*** Por lo tanto, la sangre fluye unidireccionalmente desde los sitios con mayor presión, localizados en vasos sanguíneos cercanos al corazón, hacia sitios con una menor presión sanguínea, es decir, los más alejados.

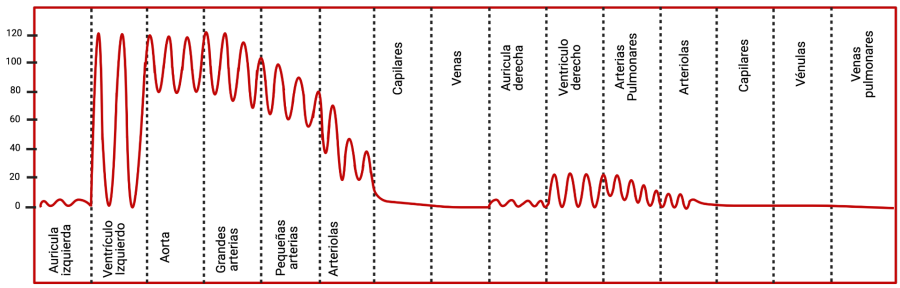

Figura 1. La presión sanguínea disminuye conforme aumenta la distancia desde el ventrículo izquierdo.

Esta diferencia de presiones necesaria para el flujo de sangre a través de la circulación se origina con la contracción de los ventrículos en la denominada sístole ventricular. En este proceso es necesario vencer la presión aórtica, que, en un adulto sano, normalmente ronda los 100 mmHg. Debido a que el bombeo cardíaco es un fenómeno pulsátil, dicha presión aórtica alterna entre valores sistólicos (presión arterial sistólica o PAS) de 120 mmHg y diastólicos (presión arterial diastólica o PAD) de 80 mmHg en condiciones basales de reposo. La diferencia entre estos dos valores corresponde a la presión de pulso (PAS-PAD = Presión del pulso), cuyos valores son directamente proporcionales al volumen expulsado del ventrículo en cada latido (volumen latido) e inversamente proporcionales a la distensibilidad arterial.

Las arterias tienen un papel fundamental al generar un flujo sanguíneo constante. La gran elasticidad arterial juega un papel fundamental para hacer posible mantener en valores altos la presión generada originalmente en el corazón, a pesar de que la presión dentro del ventrículo haya descendido a casi cero.

La presión arterial media (PAM) es definida como el promedio de la presión en las arterias durante un ciclo cardíaco. **Este parámetro refleja la perfusión constante que reciben los diferentes órganos para su correcto funcionamiento**. Valores de PAM mayores a 60 mmHg son suficientes para mantener los órganos de una persona promedio correctamente irrigados y perfundidos. Si la PAM desciende a valores inferiores por un tiempo considerable, los órganos no recibirán el suficiente riego sanguíneo y pueden sufrir isquemia e inclusive necrosis, desarrollando un daño irreversible.

La presión arterial media (PAM) está determinada por el gasto cardiaco (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 se puede expresar de la siguiente manera:

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

Así se puede ver que, cambios en el gasto cardiaco o en la resistencia vascular periférica afectan la PAM, es decir, si aumenta el GC o la RVP aumenta la PAM *(Figura 2)*.

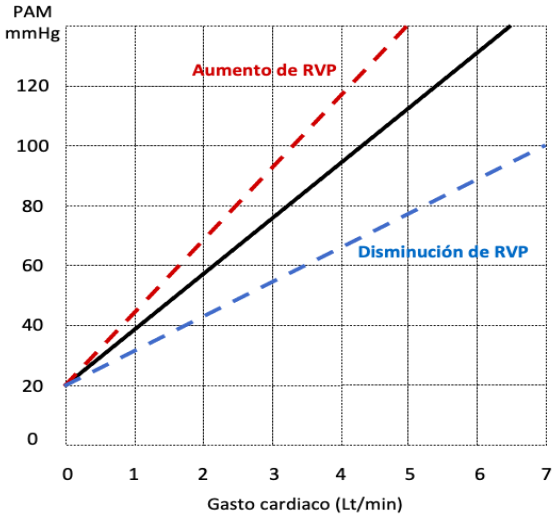

Figura 2. Relación entre PAM, GC y RVP.

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 constante. En la práctica clínica es difícil la medición de la RVP y del GC, por lo que, para obtener una aproximación a su valor en condiciones de reposo, 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 = (2/3 presión diastólica) + (1/3 presión sistólica)

Para términos más prácticos, la fórmula también puede describirse de la siguiente manera:

$$PAM = \frac{(\text{Presión sistólica}) + (\text{Presión diastólica} \times 2)}{3}$$

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.

En México, una de las enfermedades cardiovasculares crónico-degenerativas con mayor prevalencia es la hipertensión arterial sistémica. Este padecimiento puede diagnosticarse a partir de cifras de presión arterial sistólica (PAS) mayores a 140 mmHg y de presión arterial diastólica (PAD) mayores a 90 mmHg. Desgraciadamente gran parte de las personas que la padecen desarrollan complicaciones en órganos como el corazón, la retina, el riñón e incluso el sistema nervioso central. Por lo que para prevenirlas es fundamental dominar la correcta toma e interpretación de la presión arterial.

El procedimiento para la toma de la presión arterial se fundamenta en la auscultación de sonidos llamados "ruidos de Korotkoff", descritos en 1905. Dichos hallazgos se generan en las arterias periféricas cuando se modifica el flujo de la sangre.[1]

---

[1] *Si deseas conocer más a detalle cómo se realiza una adecuada toma de presión arterial puedes consultar el anexo "Técnica para la medición de la presión arterial".*

Cuando el brazalete alrededor del brazo se infla con una presión mayor a la presión sistólica no es posible escuchar ningún sonido, debido a que se ocluye la arteria y se interrumpe el flujo. A medida que va disminuyendo la presión y se permite gradualmente un mayor paso de sangre a través de la zona de oclusión pueden escucharse diferentes ruidos, integrando las siguientes fases (figura 3):

- *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 "escucha" a medida que la presión del brazalete cae a valores inferiores al de la presión sanguínea diastólica.

Tradicionalmente se tomaba la cuarta fase para determinar la presión diastólica, sin embargo, actualmente se prefiere usar la quinta fase (silencio) para determinar el valor de la presión diastólica.

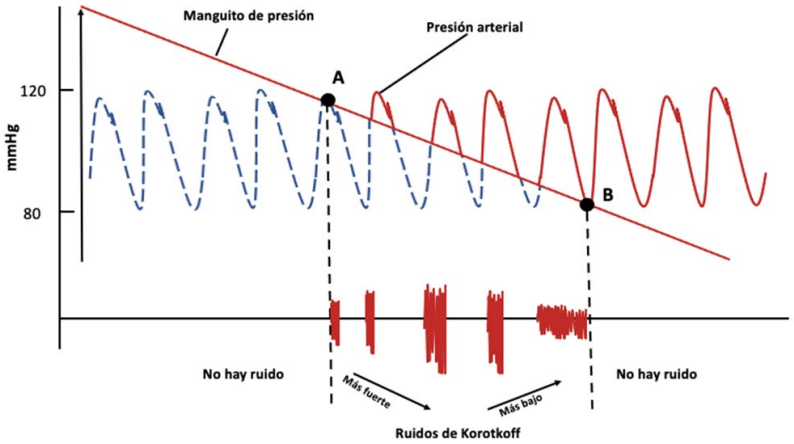

Figura 3. Ruidos de Korotkoff

¿Por qué se generan los ruidos al pasar por la zona de oclusión?

Este fenómeno ocurre cuando existe un 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 en 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 (figura 4). Al colocar un gran obstáculo en el trayecto de la arteria, en este caso el brazalete del baumanómetro, el flujo se desordena, la sangre comienza a formar "remolinos" y a generar ruidos que se pueden percibir con ayuda del estetoscopio.

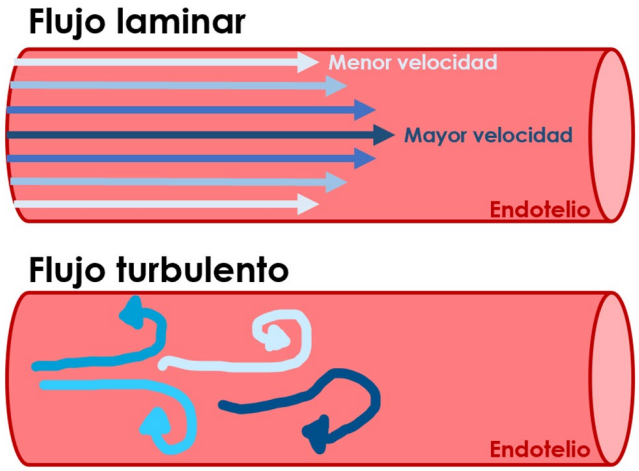

Figura 4. Flujos laminar y turbulento

El número de Reynolds se usa para predecir si el flujo de la sangre será laminar o turbulento. La fórmula para calcularlo considera factores determinantes del fluido: velocidad de flujo, viscosidad del fluido y densidad de la sangre; así como del tubo por el que fluye: diámetro. La fórmula se describe a continuación:

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

Donde:
N = Número de Reynolds
d = diámetro del tubo
ρ = densidad del fluido
v = velocidad de flujo del fluido
η= viscosidad del fluido.

Si el número de Reynolds calculado con la fórmula anterior es bajo, se interpretará como un flujo laminar. Si el valor es alto, será un flujo turbulento.
En el sistema cardiovascular las principales causas de un flujo turbulento son el aumento en la velocidad de flujo (v) o la disminución de la viscosidad (η). Cuando se aumenta la presión en el brazalete del esfigmomanómetro el diámetro del vaso (d) disminuye, por lo que, siguiendo la fórmula, debería reducirse el número de Reynolds. Esto no ocurre de esta manera debido a que la velocidad (v) es igual al flujo (Q) que pasa por un área ($\pi * r^2$) determinada, en otras palabras, la velocidad (v) es directamente proporcional al flujo (Q), e inversamente proporcional al área ($\pi * r^2$). Lo anterior se resume en la fórmula siguiente:

$$v = Q/(\pi * r2)$$

La presión arterial es regulada autónomamente por el sistema nervioso. Los barorreceptores sensan los cambios de presión en el interior del seno carotídeo y el arco aórtico, posteriormente se envían aferencias a los centros vasomotores en el tronco encefálico por medio del nervio del seno carotídeo. Los receptores en el arco aórtico envían su información a través del nervio vago. La información de ambos sitios se integra en el núcleo del tracto solitario, cuya función es modular la respuesta parasimpática y simpática, ocasionando vasodilatación o vasoconstricción, respectivamente.

2. Actividad en clase

2.1. Cambios fisiológicos en la presión arterial

Materiales: Esfingomanómetro, estetoscopio.

Métodos: 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 Bainbridge): 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:

- 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

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

2.2. Respuesta a la interrupción del flujo sanguíneo

Materiales: Un esfingomanómetro, ligas elásticas, un reloj con cronómetro.

2.2.1. Experimento 1: alteraciones del flujo sanguíneo arterial

1. La banda de goma debe usarse en el dedo índice, apretando el dedo alrededor de la base para ocluir el flujo sanguíneo arterial (2 min). Observa los cambios durante la oclusión.
2. Quita la goma elástica y observa inmediatamente los cambios en comparación con la otra mano.
3. Determina el tiempo necesario para que la sensibilidad del dedo y la piel vuelva a su aspecto normal.
4. Responde lo siguiente: ¿qué mecanismo explica los fenómenos observados?

2.2.2. Experimento 2: alteraciones del flujo sanguíneo venoso

1. Coloca el esfigmomanómetro en el brazo derecho. Observa la piel y las venas del antebrazo y la mano.
2. Infla el manguito colocado en el brazo derecho hasta 40 mmHg y observa durante 3 min el color de los dedos y las uñas y el contorno de las venas.
3. Desinfla el manguito y observa inmediatamente los cambios durante 1 minuto.
4. Haz una pausa de 3 minutos para permitir que el flujo sanguíneo vuelva a la normalidad.
5. Infla el manguito colocado en el brazo derecho hasta 90 mmHg y observa durante 3 min el color de los dedos y las uñas y el contorno de las venas.
6. Desinfla el manguito y observa inmediatamente los cambios durante 1 minuto.
7. Determina el tiempo necesario para que los dedos y las uñas y el contorno de las venas vuelven a la normalidad.
8. Responde: ¿por qué los resultados observados son distintos entre los dos experimentos?

Discusión

Responde de manera individual o en equipos las siguientes preguntas:

- ¿Por qué el brazo adquirió un aspecto cianótico cuando se infló el manguito en el experimento 2 y, por otro lado, por qué el dedo índice adquirió un aspecto pálido en el experimento 1?
- ¿Qué cambios se pudieron observar después de la liberación del flujo sanguíneo en el experimento 1?
- ¿Por qué en el caso de una pelea nuestra piel puede palidecer?

Consideraciones de seguridad

Se debe advertir a los estudiantes que, si la presión del manguito del esfigmomanómetro/banda elástica se vuelve dolorosa, deben desinflarla y quitarla del brazo/dedo inmediatamente y no esperar hasta el final del tiempo de parada del experimento.

Resultados previstos

- En el experimento 1, la presión causada por el uso de una goma elástica en el dedo índice debería dar como resultado la blancura de la piel y el sujeto debería informar de frialdad y hormigueo en comparación con la mano en reposo. Después de que se quita el elástico, el dedo se enrojecerá y se calentará (hiperemia reactiva).

- En el experimento 2, una presión moderada de inflado del manguito debería promover la cianosis de los dedos y los brazos (decoloración azulada de la piel), uñas blanquecinas y venas limítrofes bien definidas. Esta presión promueve estas alteraciones porque la presión del manguito no ocluye el flujo arterial pero sí ocluye las venas, evitando que la sangre fluya fuera de la mano y el brazo. Los vasos venosos están más cerca de la superficie corporal. Atrapar sangre en estos vasos promueve la piel azulada. En este experimento, el tiempo necesario para que la piel vuelva a su aspecto normal es breve.

2.3. Viñeta Clínica

Se presenta ante usted Fabián, paciente masculino de 66 años, trabaja como leñador en el campo. Padece hipertensión arterial sistémica desde hace 20 años, tratado con enalapril 40 mg cada 24 horas. Mientras se encontraba talando un árbol, sufrió múltiples picaduras por un enjambre de abejas (>500 aproximadamente), las cuales tenían su colmena en la parte superior del árbol. Minutos después comenzó con dificultad respiratoria, motivo por el cual fue ingresado en el servicio de urgencias.

Se le tomaron signos vitales, encontrando lo siguiente:
TA: 75/50 mmHg, FC: 97 lpm, FR: 28 lpm, T: 36.5°C
A la exploración física se observa agitación psicomotora, dificultad respiratoria marcada y rash cutáneo generalizado, además de numerosas picaduras en todo el cuerpo (>500 aproximadamente) ***(figura 5)***.

Figura 5. *Múltiples picaduras de abejas en tórax y abdomen*

Contesta las siguientes preguntas:
1. ¿Cómo se encuentra la TA de Fabián?
2. ¿Qué puede suceder si la TA se mantiene en esos valores por mucho tiempo?
3. ¿Qué piensas que está sucediendo en los vasos sanguíneos de Fabián?

3. Bibliografía

- Actividad (segunda parte) basada en: Altermann, C., Gonçalves, R., Lara, M. V., Neves, B. H., & Mello-Carpes, P. B. (2015). Observing and understanding arterial and venous circulation differences in a

physiology laboratory activity. *Advances in physiology education*, *39*(4), 405–410. doi: 10.1152/advan.00148.2014

- Barrett, K. E., Barman, S. M., Brooks, H. L., y Yuan, J. X.-J. (2020). *Ganong. Fisiología médica* (26a ed.). Ciudad de México, México: McGraw-Hill.
- Gómez-León, A., Morales, S., y Álvarez, C. de J. (2016). Técnica para una correcta toma de la presión arterial en el paciente ambulatorio. *Revista de la Facultad de Medicina de la UNAM*, *59*(3), 49-55.
- Koeppen, B. M., y Stanton, B. A. (2018). *Berne y Levy. Fisiología* (7a ed.). Barcelona, España: Elsevier.
- NORMA Oficial Mexicana NOM-030-SSA2-1999, Para la prevención, tratamiento y control de la hipertensión arterial.
- Ur, A., y Gordon, M. (1970). Origin of Korotkoff sounds. *The American journal of physiology*, *218*(2), 524–529. doi: 10.1152/ajplegacy.1970.218.2.524

CC BY
Esta obra está bajo una
Licencia Creative Commons
Atribución 4.0 Internacional

Anexo "Técnica para la medición de la presión arterial"

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 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.