



Tema 5. Sistema cardiovascular

OBJETIVOS

1. Conocer los órganos que constituyen el aparato circulatorio
1. Explicar la función que desempeña cada uno de ellas

Composición y funciones de la sangre

2. Describir la composición y funciones de la sangre
3. Describir la composición del plasma y comprender su importancia en el organismo
4. Enumerar los tipos de células que forman los elementos figurados de la sangre y describir las principales funciones de cada tipo
5. Explicar cómo funcionan los grupos sanguíneos y entender las compatibilidades

El corazón

6. Describir la ubicación del corazón en el cuerpo e identificar sus principales zonas anatómicas en un esquema o modelo adecuado
7. Trazar la ruta de la sangre a través del corazón, así como el riego del propio corazón
8. Comparar los circuitos pulmonar y sistémico
9. Explicar las características exclusivas de las circulaciones especiales del organismo: circulación portal hepática, coronaria y circulación fetal.

10. Explicar el funcionamiento de las válvulas cardíacas
11. Definir sístole, diástole, volumen sistólico y ciclo cardíaco
12. Entender cómo se produce los ruidos y los soplos cardíacos
13. Explicar cómo se mantiene y regula el bombeo de sangre en el corazón
14. Conocer la información que puede obtenerse de un electrocardiograma

Los vasos sanguíneos

15. Comparar y contrastar la estructura y función de las arterias, venas y capilares.
16. Describir los intercambios que se producen a través de las paredes capilares

El sistema linfático

17. Nombrar los dos tipos de estructuras principales que componen el sistema linfático.
18. Describir las funciones principales del sistema linfático

Hábitos saludables y patologías

19. Definir tensión arterial y pulso, y nombrar varios puntos del pulso.
20. Enumerar factores que afecten o determinen la tensión arterial
21. Explicar cómo el ejercicio regular y una dieta sana ayudan a mantener la salud cardiovascular.
22. Conocer las principales patologías que afectan al sistema cardiovascular.

ESQUEMA DEL TEMA. CONCEPTOS BÁSICOS

1. La necesidad de un sistema circulatorio
2. Funciones del sistema cardiovascular
3. La sangre, composición y grupos sanguíneos
4. Organización del sistema circulatorio
5. El corazón. Anatomía y fisiología cardíaca
6. Las válvulas, ritmo y ciclo cardíaco
7. Control del ritmo cardíaco
8. Vasos sanguíneos y el transporte a través de arterias y venas
9. El intercambio de sustancias en los capilares
10. El sistema linfático
11. Pulso y presión arterial. Control de la presión
12. Beneficios del ejercicio físico para el sistema cardiovascular.
13. Patologías del sistema cardiovascular.

5.1 LA NECESIDAD DE UN MEDIO INTERNO

La proporción de agua en el cuerpo humano, con distintas sustancias en disolución, representa aproximadamente un 56 % del total de la masa corporal. Buena parte de estos fluidos se encuentran dentro de las células como parte del citoplasma o líquido intracelular, pero el resto se localiza fuera de ellas y constituye **el medio interno**. Día y noche, minuto a minuto trillones de células de nuestro cuerpo absorben nutrientes y excretan desechos en este medio interno. El medio interno proporciona a las células:

- Un medio líquido en el que vivir
- Diversos tipos de nutrientes
- Un lugar donde eliminar sus desechos
- Un medio de comunicación con otras células a través de mensajes químicos (hormonas)

Aunque el ritmo de estos intercambios se ralentiza cuando dormimos, nunca se para, pues si se detiene, morimos. Cada una de las células del cuerpo sólo puede realizar tales intercambios con el líquido inmediato que las rodea, llamado **líquido intersticial**, tisular o extracelular, pero de alguna forma se deben renovar los nutrientes y evitar la acumulación de sustancias de desecho. En vez de carreteras, vías de tren o pistas de aviones, las rutas de distribución del organismo son los vasos sanguíneos.

El líquido de los vasos sanguíneos, bombeado por el corazón, se mueve a cierta velocidad por un conjunto de vasos cerrados que constituyen el sistema circulatorio o cardiovascular. Además del líquido intersticial y de la sangre, el cuerpo humano dispone todavía de otro líquido más, que es la **linfa**. La linfa recoge y canaliza el exceso de líquido tisular, pues generalmente sale más líquido de los capilares sanguíneos del que regresa. La linfa se mueve a través de los vasos linfáticos, que en determinados puntos se comunican con los sanguíneos.

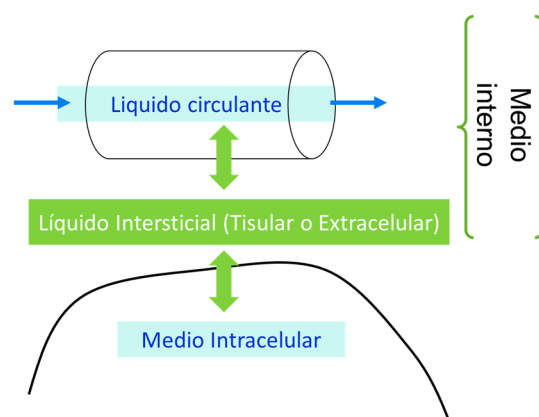


Figura 5.1. Medio interno con líquido circulante y líquido intersticial. Fuente: [elaboración propia](#)

5.2 FUNCIONES DEL SISTEMA CARDIOVASCULAR

El aparato circulatorio tiene la misión de distribuir el líquido circulatorio (sangre) por todo el cuerpo



✚ La función más destacada es la de **transporte**, con diferentes finalidades:

- transporta las sustancias nutritivas y el oxígeno por todo el cuerpo, para que, finalmente, estas sustancias lleguen a las células.
- transporta sustancias de desecho (productos de excreción) y también CO₂ desde las células hasta los órganos correspondientes encargados de su eliminación
- conduce las hormonas desde las glándulas endocrinas hasta las células diana sobre las que actúan.

Figura 5.2. El corazón es el órgano principal. Fuente: <http://www.thinkstockphotos.es/image/stock>

✚ Además tiene una función **defensiva**

Tabla 1. Sustancias que transporta el sistema circulatorio en el organismo humano

Sustancia	Órgano que la obtiene o produce	Destino
Nutrientes digeridos	Intestino	Todas las células. Órganos reserva
Reservas de alimentos	Órganos de reserva (Hígado, etc.)	Todas las células
Oxígeno	Pulmón / Piel	Todas las células
CO ₂	Todas las células	Pulmones / Piel
Hormonas largo alcance	Glándulas endocrinas	Todas las células
Hormonas locales	Células	Células próximas
Desechos metabólicos	Todas las células	Excretor
Restos celulares	Todo el organismo	Excretor
Sustancias defensivas	Células defensivas	Todo el organismo
Sustancias coagulantes	Células productoras	Todo el líquido circulante

- protege el cuerpo contra agentes patógenos, virus y bacterias, mediante los glóbulos blancos y los anticuerpos

✚ Y también **homeostática**

Porque el aparato circulatorio regula las propiedades físicas del medio interno (presión, distribución y ritmo de flujo), es decir, contribuye a mantener constante las condiciones del medio. Por ejemplo, se encarga de regular la temperatura del cuerpo absorbiendo y desprendiendo calor a través del agua que compone la sangre y gracias a procesos de constricción y dilatación de los vasos sanguíneos.

5.3 MEDIO INTERNO: LA SANGRE

Cada persona sana tiene unos 4 - 6 litros de sangre, que representa aproximadamente el 8% de su peso corporal. En un hombre adulto oscila entre 5 y 6 litros de sangre, mientras que una mujer suele tener entre 4 y 5 litros.

La sangre es el único tejido *líquido* de todo el organismo. En realidad es un tipo de tejido conectivo en el que las células sanguíneas vivas, los **elementos figurados**, están suspendidas en una matriz líquida inerte llamada **plasma**.

Al centrifugar una muestra de sangre las células, que son más pesadas, quedan en la parte inferior y el plasma asciende a la parte superior (ver figura).

La mayor parte de la masa roja del fondo del tubo está compuesta por los **eritrocitos**, o glóbulos rojos, encargados del transporte del oxígeno. A pesar de que es casi imperceptible para la vista hay existe una capa delgada y blanquecina llamada *capa leucocitaria* entre los eritrocitos y el plasma que contiene el resto de los elementos figurados, los *leucocitos* y *plaquetas*. Los eritrocitos normalmente representan alrededor del 45% del volumen total de la muestra, un porcentaje conocido como **hematocrito**, mientras que el resto de las células constituye menos del 1%, y el plasma compone prácticamente el 55% restante. El **plasma** o matriz líquida, que está formado en un 90% por agua, es la parte líquida de la sangre. No contiene ni colágeno ni elastina, fibras típicas de otros tejidos conectivos pero las hebras de fibrina se hacen visibles durante el proceso de coagulación.

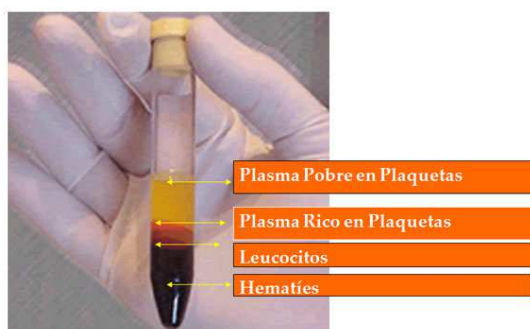


Figura 5.3. Composición de la sangre. Fuente: http://medyspa.com/945729_Bioestimulacion-con-PRP.html

Más de cien sustancias diferentes están disueltas en este fluido del color pajizo:

- Nutrientes, son los monómeros de biomoléculas que han sido absorbidas en la pared del intestino delgado, ej. glucosa
- Sales minerales en disolución (electrolitos)
- Gases respiratorios

- Hormonas
- Desechos del metabolismo celular, como la urea
- Proteínas transportadoras de hierro, colesterol, ...
- Proteínas defensivas que son las inmunoglobulinas o anticuerpos.
- Proteínas coagulantes, como el fibrinógeno. El plasma sin fibrinógeno se convierte en **suero**
- Otras proteínas: como las albúminas, responsable de la presión osmótica de los capilares

Exceptuando los anticuerpos y las hormonas, la mayor parte de las moléculas que forman parte del plasma se producen en el hígado. Diversos órganos del cuerpo llevan a cabo docenas de modificaciones día tras día para mantener los solutos del plasma en un nivel saludable (homeostasis). Por ejemplo, si la cantidad de proteínas sanguíneas desciende demasiado, se estimula el hígado para que fabrique más proteínas, y si se desequilibra el pH de la sangre (7,35 y 7,45) tanto el sistema respiratorio como los riñones se ponen en marcha hasta restablecer un nivel normal.

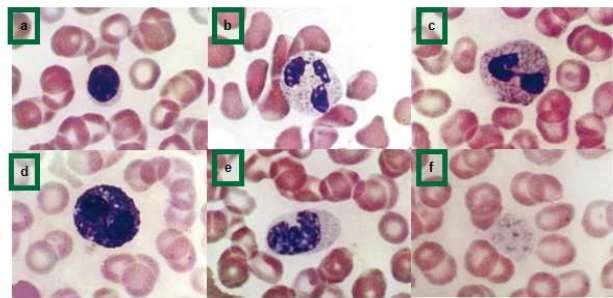
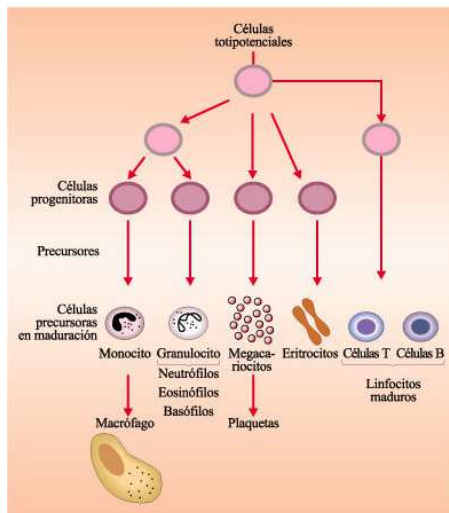
Junto con el transporte de las diferentes sustancias en todo el cuerpo, el plasma ayuda a distribuir el calor corporal, como subproducto del metabolismo celular, de forma uniforme por todo el organismo.

En cuanto al contenido celular, en la sangre hay tres tipos de elementos figurados (células modificadas)

Los glóbulos rojos, conocidos también como **eritrocitos**, **hematíes**. Ya dijimos que son los elementos más abundantes, el 45% del volumen total (hematocrito). Se encargan del transporte de oxígeno gracias a la *hemoglobina* una proteína de cuatro subunidades que contiene hierro y proporciona color rojo a la sangre. Son células tan diferenciadas que han perdido el núcleo y la mayoría de los orgánulos; de hecho los eritrocitos maduros que circulan en la sangre son literalmente “bolsas” cargadas de hemoglobina. Hay entre 12 - 18 g Hb/ 100 ml sangre, siendo la cantidad en los hombres ligeramente mayor (13-18 g/ml) que en las mujeres (12-16 g/ml).

Los eritrocitos son células pequeñas y flexibles, se deforman para moverse por los capilares. Su forma peculiar de disco bicóncavo (disco aplanado con el centro hundido en ambas caras) proporciona una gran superficie en relación con su volumen, lo cual los hace perfectos para el intercambio de gases.

Los leucocitos o glóbulos blancos son células de mayor tamaño que los eritrocitos, se diferencian bien de estos porque carecen de color. Los glóbulos blancos son las únicas células completas de la sangre, es decir contienen núcleo y orgánulos. Tienen función defensiva, pues gracias a sus movimientos ameboides pueden atravesar la pared de los capilares sanguíneos (endotelio) y pasar a otros tejidos a ejercer su función, de forma que son capaces de salir y entrar en los vasos sanguíneos, este proceso se llama **diapédesis**. El sistema circulatorio es simplemente el medio de transporte para llegar a las diferentes zonas del cuerpo donde se necesitan sus servicios, en el caso de respuestas inflamatorias o inmunológicas.



Micrografías de células de la sangre. En todas ellas se observan los glóbulos rojos o hematíes. a) Linfocito; b) Granulocito neutrófilo; c) Granulocito eosinófilo; d) Granulocito basófilo; e) Monocito; f) Plaquetas.

Figura 5.4. Tipos de células sanguíneas. Fuente:

En el momento en que los glóbulos blancos se movilizan para actuar, el organismo acelera su producción y puede formarse hasta el doble del número normal de glóbulos blancos en pocas horas. Si excede $11.000 \text{ células/mm}^3$ se trata de una **leucocitosis** indicativo de que hay una infección viral o bacteriana en el cuerpo. La enfermedad contraria, la **leucopenia**, corresponde a un nivel de glóbulos blancos muy bajo y puede estar causada por algunos medicamentos, como los corticosteroides o los agentes anticancerígenos.

Hay varios tipos de glóbulos blancos, los principales son:

- Monocitos (macrófagos): son grandes, limpiadores de células muertas y cuerpos extraños.
- Granulocitos: sirven de defensa frente a microbios marcados o comunes. Defensa frente a parásitos. Inflamación.

Linfocitos: confieren inmunidad. Algunos son células asesinas, otros fabrican anticuerpos.

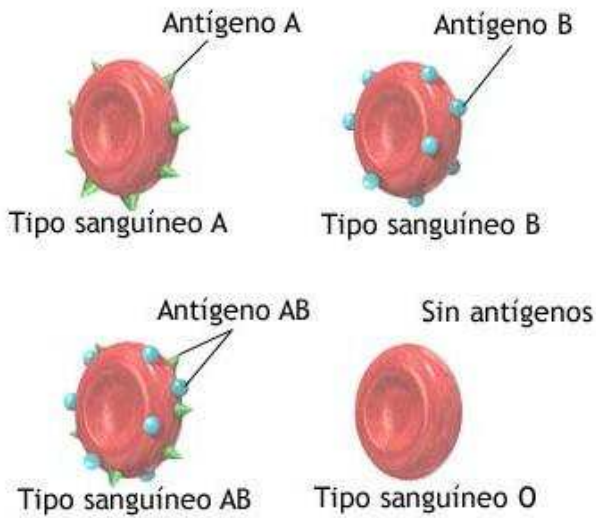
Los trombocitos o plaquetas son fragmentos de células multinucleares llamadas megacariocitos, que al descomponerse forman miles de plaquetas sin núcleo que enseguida se sumergen en los fluidos coloidales. Las plaquetas son manchas oscuras de formas irregulares que contienen un factor de la coagulación. Su función es evitar la pérdida de sangre. La coagulación se desencadena cuando se rompe un vaso sanguíneo. Inmediatamente el fibrinógeno (ver proteínas del plasma) se convierte en fibrina; las moléculas de fibrina se unen formando una red tridimensional insoluble en la que quedan atrapadas las plaquetas (trombo) impidiendo la pérdida de sangre.

La **linfa** se asemeja a la sangre pero no tiene eritrocitos ni plaquetas, en cambio lleva más linfocitos.

Tabla 2. Elementos figurados de la sangre en humanos					
Tipo celular	Tamaño μm	Concentración (u/mm ³)	Forma	Función	Vida media
Eritrocitos	6-8	4-5. 10^7	Circulares Anucleados Bicóncavos	Transporte O ₂ Llevan hemoglobina	120 días
Granulocitos					
Neutrófilos	10-12	2,5-8. 10^3	Núcleo plurilobulado	Fagocitosis microbiana	pocos días
Acidófilos Eosinófilos	10-12	50-500	Núcleo bilobulado	Fagocitosis. Reacción alérgica. Histamina. Defensa parasitaria	8 -12 días
Basófilos	9-10	25-100	Núcleo redondeado	Inflamación. Anticoagulantes Lleva heparina	
Linfocitos	7-8	1-4. 10^3	Núcleo grande redondeado	Defensa inmune: Anticuerpos Destrucción celular	días a años
Monocitos	14-17	100-700	Núcleo arriñonado	Limpieza restos	meses a años
Trombocitos	2-3	2,5-4. 10^5	Anucleadas	Coagulación	8 - 12 días

Los grupos sanguíneos humanos

Los primeros intentos de transfusión de sangre fracasaron muchas veces hasta que, en 1901 K. Landsteiner descubrió que existen tres tipos de grupos sanguíneos [A, B y O]. Los diferentes grupos sanguíneos se definen por las proteínas (antígenos) que hay en las membranas de los glóbulos rojos, que funcionan como marcadores. La incompatibilidad se debe a que las proteínas de las membranas, como las de cualquier otra célula del organismo, vienen determinadas genéticamente.



Los **antígenos** son detectados por el sistema inmunitario; de modo que si este los reconoce como extraños, libera anticuerpos. Los **anticuerpos**, que son proteínas presentes en el plasma, rodean y se unen a los antígenos de los glóbulos rojos formando grumos, un fenómeno denominado **aglutinación**, que impide la correcta circulación. En las siguientes horas, los glóbulos rojos se descomponen (hemólisis), liberando hemoglobina al torrente sanguíneo, lo que aumenta la viscosidad sanguínea y bloquea los túbulos de los riñones.

Figura 5.5. Tipos de grupos sanguíneos ABO. Fuente: <https://inakiresa.wordpress.com/tag/sangre/>

Esto provoca un fallo renal que conduce a la muerte.

Existen más de 30 antígenos comunes en los glóbulos rojos en seres humanos, siendo los antígenos de los grupos sanguíneos ABO y Rh los más conocidos. Los grupos sanguíneos ABO se basan en el tipo de antígenos, tipo A o tipo B, que hereda una persona. La ausencia de ambos antígenos da lugar al tipo O, la presencia de ambos antígenos resulta en el tipo el AB, y la presencia de antígenos A o B, produce el tipo A o B de la sangre, respectivamente. En los grupos sanguíneos ABO, los anticuerpos se forman durante la infancia contra los antígenos A o B que no están presentes en nuestros propios glóbulos rojos. Como se muestra en la tabla, un bebé que no tiene antígenos ni A ni B (grupo O) produce anticuerpos antiA y antiB, y así sucesivamente.

	Grupo A	Grupo B	Grupo AB	Grupo O
Eritrocito				
Anticuerpos en plasma sanguíneo	Anti-B	Anti-A	Ninguno	Anti-A y Anti-B
Antígenos en los eritrocitos	Antígeno A	Antígeno B	Antígenos A y B	Ninguno

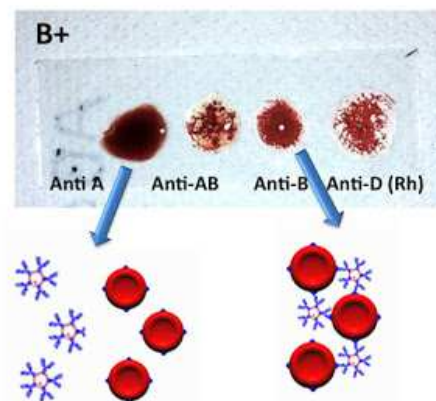


Figura 5.6. Tipos de grupos sanguíneos. El suero anti A (contiene sólo anticuerpos contra el grupo A) no reacciona con los hematíes del grupo B; en cambio, el resto de sueros (que sí contienen anticuerpos contra el grupo B) reaccionan. Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Grupo_sanguíneo

Los **grupos sanguíneos Rh** se llaman así porque el antígeno (Rh) fue identificado por primera vez en un macaco (mono cuyo nombre genérico es *Rhesus*) y más tarde se descubrieron en seres humanos. En España, la mayoría de la población es Rh⁺ (Rh positivo) porque porta el antígeno Rh, Rh⁻ denota ausencia de antígeno Rh y por tanto si una persona recibe sangre del tipo Rh⁺, su sistema inmunitario se sensibiliza y producirá anticuerpos contra el antígeno Rh⁺. En este caso la hemólisis (ruptura de los glóbulos rojos) no ocurre en la primera transfusión, ya que el cuerpo necesita tiempo para reaccionar y empezar a producir estos anticuerpos.

Un problema importante relativo al Rh aparece en mujeres Rh⁻ embarazadas que tienen bebés Rh⁺. El primer embarazo transcurre bien, acabando con el nacimiento de un bebé sano. Pero una vez que la madre ya se ha sensibilizado a los antígenos Rh⁺ que han pasado mediante la placenta a su torrente sanguíneo, formará anticuerpos a menos que sea tratada a tiempo. Actualmente se administra, justo después de dar a luz al primer hijo el RhoGAM, que es un suero inmunitario que evita la sensibilización y la subsecuente respuesta inmunitaria.

Tipos de sangre. La importancia de conocer el tipo de sangre del donante y el receptor antes de una transfusión es evidente. Esencialmente, el proceso conlleva la mezcla de la sangre con dos tipos diferentes de suero inmune: anti-A y anti-B. La aglutinación se produce cuando los glóbulos rojos de una persona del grupo A se mezclan con el suero anti-A, pero no cuando se mezclan con suero anti-B. Por su parte, los glóbulos rojos de tipo B se aglutinan con el suero anti-B pero no con el suero anti-A. (Ver fig.)

Para asegurarse también se realiza la prueba de compatibilidad cruzada. Con ella se comprueba la aglutinación de los glóbulos rojos del donante con el suero del receptor y los glóbulos rojos del receptor con el suero del donante. Para determinar el tipo de Rh, se realiza un proceso similar al del tipo ABO.

5.4 LA ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA CIRCULATORIO

El sistema cardiovascular está compuesto por una red de vasos de diferentes tamaños (arterias, venas y capilares) que reparten la sangre por todo el cuerpo. El sistema funciona gracias a una bomba (el corazón) que impulsa la sangre en el circuito. Arterias y venas son vasos sólo para transporte, las arterias son vasos de salida del corazón y las venas son vasos de entrada; mientras que en los capilares se realiza el intercambio de sustancias, pues son vasos de paredes muy finas.

Básicamente hay dos circuitos circulatorios, pulmonar y general. La circulación pulmonar es un bucle cerrado entre el corazón y los pulmones cuyo objetivo es contribuir al intercambio de gases, mientras que la circulación sistémica o general transcurre entre el corazón y el resto de tejidos del cuerpo.

El funcionamiento del sistema se puede medir por el **gasto cardíaco**, que es el volumen de sangre que sale del corazón (en concreto de un ventrículo) por minuto. El *retorno venoso* mide el volumen de sangre que regresa por las venas hacia el corazón en un minuto. En el gasto cardíaco influyen una serie de parámetros que determinan la función ventricular (frecuencia cardíaca, contractilidad, etc.)

El gasto cardíaco es en promedio 5 litros por minuto, en un varón joven y sano; en mujeres es un 10 a un 20% menor de este valor.

$$G = VS \times FC$$

(VS: volumen sistólico de eyección; FC: frecuencia cardíaca). En condiciones normales,

$$G = 70 \text{ ml/latido} \times 75 \text{ latidos/min} = 5250 \text{ ml/min} \approx 5 \text{ L/min.}$$

5.5 LA BOMBA: EL CORAZÓN

El corazón humano es un órgano muscular hueco de unos 400 g., formado por cuatro cavidades. Está especializado en el bombeo de la sangre hacia todo el organismo a través de los vasos sanguíneos. Se encuentra alojado en la caja torácica aproximadamente al nivel del quinto espacio intercostal, situado en el mediastino entre los pulmones; detrás del esternón y delante de la columna vertebral.

El corazón está colocado de forma que el ápice, o extremo más puntiagudo, se dirige hacia la cadera izquierda y descansa en el diafragma, mientras que la parte postero-superior más ancha (o base), de donde emergen los grandes vasos del cuerpo, señala hacia el hombro derecho y se apoya debajo de la segunda costilla.

Al abrir la caja torácica el corazón no se ve porque está encerrado en un saco llamado **pericardio**, que es una doble membrana de tejido conjuntivo que protege y une el órgano a las estructuras circundantes, permitiendo su movimiento libre.

1. La cubierta externa es el **pericardio fibroso**. Esta capa fibrosa protege al corazón y lo ancla a sus estructuras circundantes, como el diafragma y el esternón.
2. La cubierta interna es el **pericardio seroso**, que a su vez consta de dos partes
 - a. **Serosa** parietal, es la cara interna que se encuentra justo debajo del pericardio fibroso.
 - b. **Serosa** visceral se une ya a las paredes del miocardio del corazón.

Entre ambas membranas serosas se encuentra un líquido lubricante (líquido seroso), que contribuye a la función cardíaca. El líquido seroso permite que la capa parietal y visceral se deslizen suavemente entre sí y de esta forma reduce la fricción entre ellas, creada por el continuo movimiento de bombeo del miocardio.

Si ponemos como límite el líquido seroso, el corazón consta de tres capas de tejidos, que de fuera a dentro son:

- ✚ **epicardio** o capa externa es el pericardio seroso visceral. Se trata de un tejido conectivo cubierto de epitelio.
- ✚ **miocardio** o capa media, es la zona más gruesa e importante, está formada por fibras musculares conectadas entre sí (músculo cardíaco) responsables de la contracción del corazón.

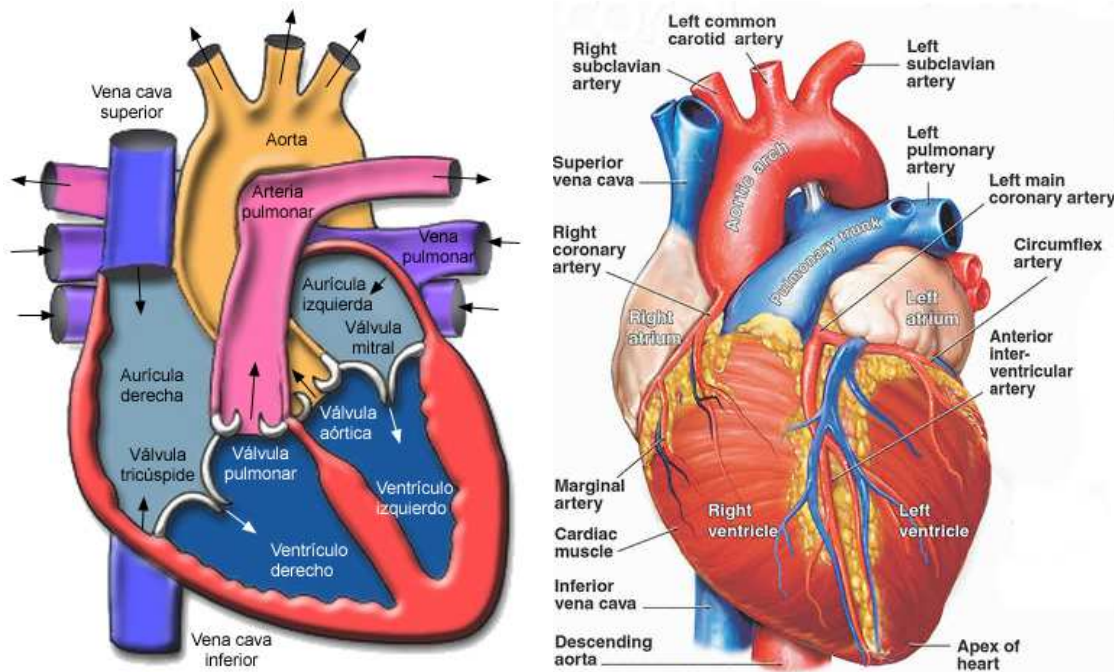


Figura 5.7. Visión externa e interna del corazón con sus cámaras. Fuente:

- ✚ **endocardio** o capa interna, es la capa fina que recubre la cara interna del miocardio y es un endotelio que cubre todas las cámaras cardíacas. Este es el mismo tejido (túnica interna) que reviste los vasos sanguíneos que salen y entran del corazón.

El corazón está dividido en cuatro cavidades o cámaras cardíacas y exteriormente se distinguen surcos, que son

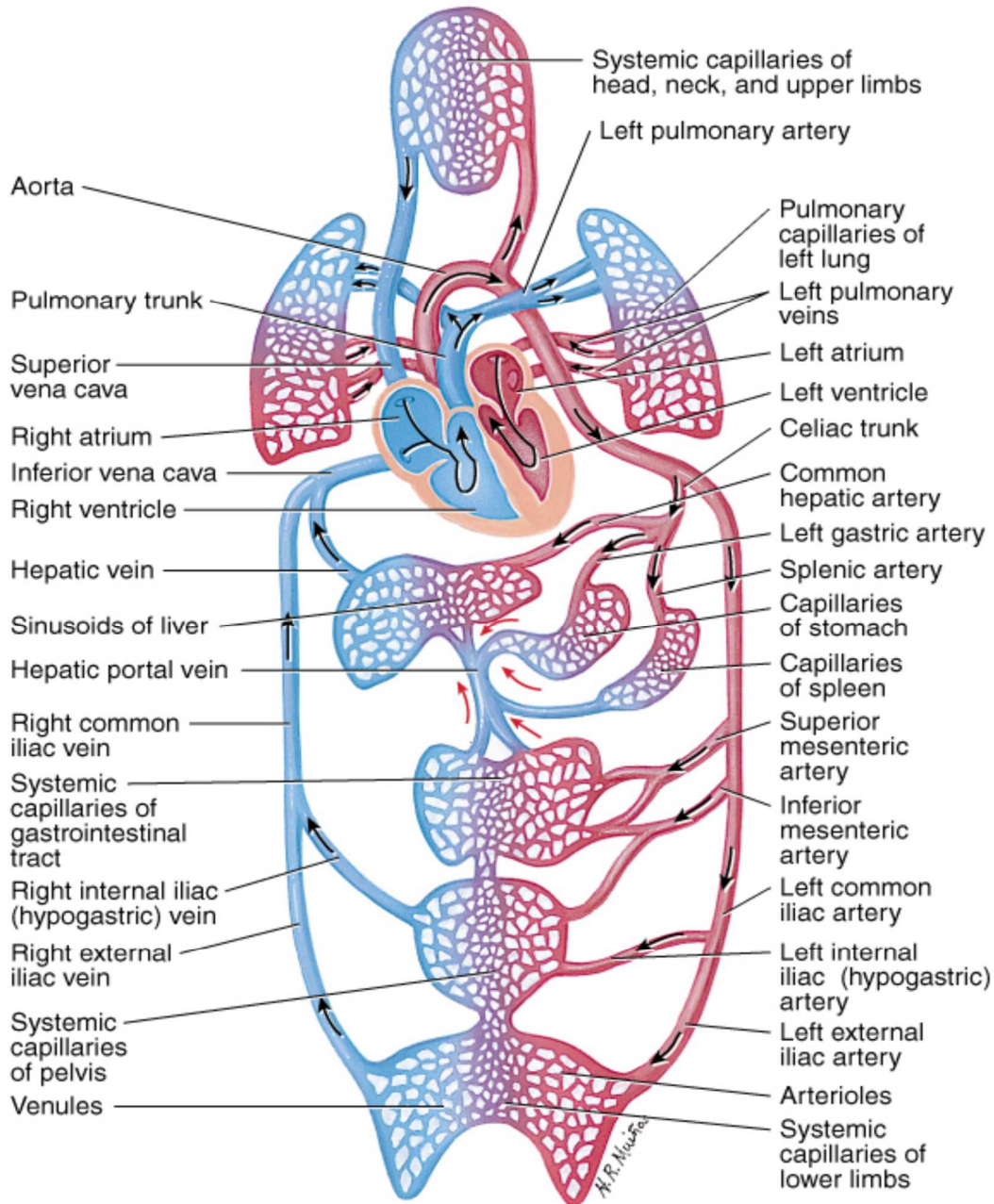
- *Surco transversa o coronario* : rodea el corazón, separa aurículas de ventrículos
- *Surco longitudinal*, con dos partes *interventricular anterior*: límite entre los ventrículos, cara anterior e *interventricular posterior*: límite entre los ventrículos, cara posterior

Las cámaras superiores o **aurículas** se encargan de recibir la sangre que entra por las venas y las inferiores o **ventrículos** impulsan la sangre que sale por las arterias. Aurículas y ventrículos de ambos lados están separados entre sí por un tabique o **séptum**, de modo que las cámaras derecha e izquierda del corazón nunca se comunican en un adulto (aunque sí en los embriones). Aunque se trata de un solo órgano, el corazón funciona como una bomba doble; el lado derecho trabaja como la bomba del circuito pulmonar y el izquierdo del circuito sistémico.

Los dos circuitos

A nivel de **aurículas**: La aurícula derecha recoge la sangre venosa de todo el cuerpo transportada por las venas **cavas** (inferior y superior), y se comunica con el ventrículo derecho a través de la válvula tricúspide. La aurícula izquierda recoge la sangre venosa procedente de los pulmones y se comunica con el ventrículo izquierdo por la válvula mitral o bicúspide.

A nivel de **ventrículos**: Del ventrículo derecho sale el tronco **pulmonar** que se divide en las arterias pulmonares, que se encargan de llevar sangre carente de oxígeno a los pulmones, y presenta una



© John Wiley & Sons, Inc.

Figura 5.8. Esquema del sistema circulatorio humano. Fuente: [Wiley & Sons, Inc©](https://www.wiley.com)

válvula semilunar pulmonar que evita el retroceso de la sangre hacia el ventrículo. El ventrículo izquierdo tiene mayor capacidad que el derecho y es de paredes más gruesas. De este ventrículo sale la arteria **aorta**, a través de la cual se distribuye sangre a los distintos órganos del cuerpo y también está provista también de una válvula semilunar aórtica para evitar el reflujo de sangre hacia el ventrículo. El grosor de las cavidades cardíacas depende de la capa muscular que tengan y esta depende de la necesidad de propulsión de la sangre. Por ello las aurículas son más delgadas que los ventrículos y el ventrículo derecho tiene las paredes más delgadas que el izquierdo.

Por tanto las dos partes del corazón trabajan en dos circuitos diferentes:

- **Circulación menor o pulmonar:** lleva sangre a los pulmones
- **Circulación mayor o sistémica:** la sangre recorre el resto del cuerpo, pero evidentemente no toda va a circular por todos los órganos pues se va ramificando:
 - ✚ La que pasa por el riñón filtra los desechos
 - ✚ La que pasa por el intestino recoge los nutrientes absorbidos por el intestino delgado
 - ✚ La que pasa por glándulas endocrinas recoge sus hormonas

El sistema porta hepático para recibir nutrientes

Un **sistema porta** es una parte del sistema circulatorio en el que una vena originada a partir de un lecho capilar se dirige a un segundo lecho capilar de un órgano o tejido diferente. De esta forma en un sistema porta encontramos la secuencia: *vena-vénulas-capilares-vénulas-vena*.

El mayor sistema porta del cuerpo es el hepático. La sangre llega hasta el hígado por dos caminos y se mezcla:

- a) La arteria hepática que provee sangre oxigenada pero pobre en nutrientes (1/4)
- b) La vena porta hepática que transporta sangre desoxigenada pero rica en nutrientes que llegan desde el tracto gastrointestinal (3/4). Esta vena resulta de la unión de la vena mesentérica superior y esplénica que drenan del estómago, páncreas, intestino delgado y grueso.

Este es un sistema porta porque esta vena porta hepática se capilariza de nuevo en el hígado, y sale del hígado como vena hepática, yendo a desembocar en la vena cava inferior. La ventaja del sistema porta es que los nutrientes obtenidos en la digestión van directamente al hígado donde se almacenan o se modifican si es necesario. También hay sistemas porta en la hipófisis (ver Tema 7. hormonas) y en el riñón.

Un circuito vascular propio: las coronarias

Aunque las cámaras cardiacas están bañadas de sangre casi continuamente, esta sangre no nutre el miocardio. El suministro sanguíneo que oxigena y nutre el corazón llega a través de dos arterias propias que son las coronarias, derecha e izquierda. Estas arterias nacen en la base de la aorta ascendente y rodean al corazón por el **surco coronario** (ranura auriculoventricular) que es la zona de unión de las aurículas y los ventrículos (ver Fig.).

Así la sangre más oxigenada nutre al propio corazón, para que cumpla adecuadamente con su compleja función. Las arterias coronarias y sus ramas principales se comprimen cuando se contraen los ventrículos y se llenan cuando se relaja el corazón. El miocardio se vacía mediante varias venas cardiacas, que desembocan en un vaso ancho situado en la parte posterior del corazón, denominado **seno coronario** que vierte a la aurícula derecha.

Un caso único: la circulación fetal

La formación del corazón del feto comienza en la cuarta semana, y en la novena semana se divide en cuatro cámaras y comienzan a formarse las válvulas, con lo que el sistema circulatorio entra en acción. A lo largo del segundo y tercer trimestre el corazón se fortalece y mejora el sistema de bombeo. En el feto los pulmones y el sistema digestivo (incluido hígado) no son funcionales, todos

los intercambios de nutrientes y de gases se producen a través de la placenta. Los nutrientes y el oxígeno pasan de la sangre de la madre a la del feto a través de la vena umbilical, y los desechos y el dióxido de carbono del feto se mueven en sentido contrario por dos arterias umbilicales más pequeñas. Estos tres vasos sanguíneos forman el cordón umbilical.

5.6 LAS VÁLVULAS Y EL CICLO CARDÍACO

Antes hemos visto que entre las aurículas y los ventrículos y entre los ventrículos y las arterias existen válvulas que impiden el retroceso de la sangre. Estas válvulas se encargan de que la sangre fluya en una sola dirección a través de las cámaras cardíacas; de las aurículas hacia los ventrículos y de los ventrículos hacia las grandes arterias que salen del corazón.

- ✚ Válvula auriculoventricular derecha: tricúspide, posee tres membranas
- ✚ Válvula auriculoventricular izquierda: bicúspide o mitral, con dos finas membranas
- ✚ Válvula semilunar pulmonar, con tres valvas
- ✚ Válvula semilunar aórtica, con tres valvas

Las válvulas **auriculoventriculares** (o AV) están ubicadas entre las cámaras auricular y ventricular de cada lado. Evitan el retroflujo hacia las aurículas cuando los ventrículos se contraen. Funcionan gracias a unas diminutas cuerdas blancas, las **cuerdas tendinosas**, que anclan las membranas a las paredes de los ventrículos mediante los **músculos papilares**. Cuando se contraen los ventrículos, se cierran las válvulas. En este momento, las cuerdas se tensan y sujetan las membranas en una posición de cierre.

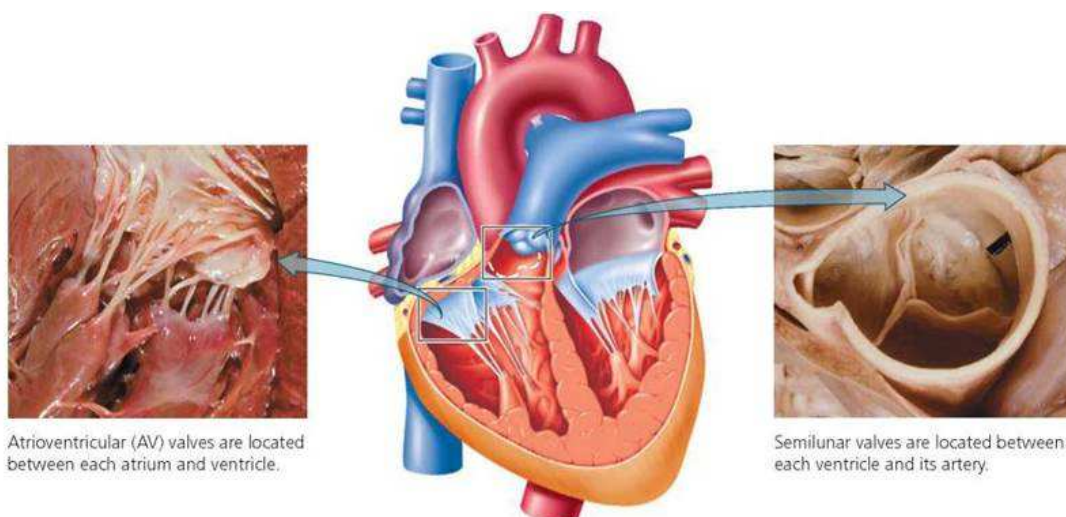


Figura 5.9. Válvulas cardíacas. Fuente: [Tortora](#)

El segundo conjunto de válvulas, las válvulas **semilunares** (o SL) protege las bases de las dos grandes arterias que salen de las cámaras ventriculares y se llaman respectivamente válvulas pulmonares y aórticas semilunares. Cada válvula semilunar posee tres valvas que se ajustan firmemente entre si cuando se cierran. Cuando los ventrículos se contraen y fuerzan que la sangre salga del corazón, las valvas se abren y se aplastan contra las paredes de las arterias. A continuación, cuando se relajan los ventrículos, la sangre empieza a fluir hacia atrás en dirección al corazón, y las valvas se llenan de sangre, de modo que se cierran las válvulas. Esto evita que la sangre arterial vuelva a entrar en el corazón.

Movimientos de las válvulas y ciclo cardíaco

El ciclo cardíaco constituye la secuencia de contracciones y relajaciones que suceden en el corazón dando lugar a un latido. Dado que el corazón está formado por dos bombas conectadas en serie, que funcionan a la par, mientras la parte derecha impulsa la sangre hacia los pulmones, la izquierda impulsa la sangre hacia el resto del organismo. Durante el ciclo cardíaco tiene lugar la contracción completa del miocardio. El **ciclo cardíaco** mueve de 4 a 6 litros de sangre por minuto en reposo, pero puede llegar a 20 - 30 l/min.

El funcionamiento del corazón consiste en movimientos coordinados, de contracción o **sístole** y de la relajación o **diástole**, de las aurículas y los ventrículos, donde las válvulas permiten el paso de la sangre de las aurículas a los ventrículos y evitan su retroceso.

Sístole auricular: las aurículas se contraen a la vez, se abren las válvulas mitral y tricúspide, y la sangre es impulsada hacia los ventrículos, que se encuentran en diástole. Válvulas semilunares cerradas.

Sístole ventricular: se produce la contracción de los ventrículos, se abren las válvulas semilunares y la sangre sale impulsada por las arterias pulmonares y aorta, hasta que los ventrículos se vacían.

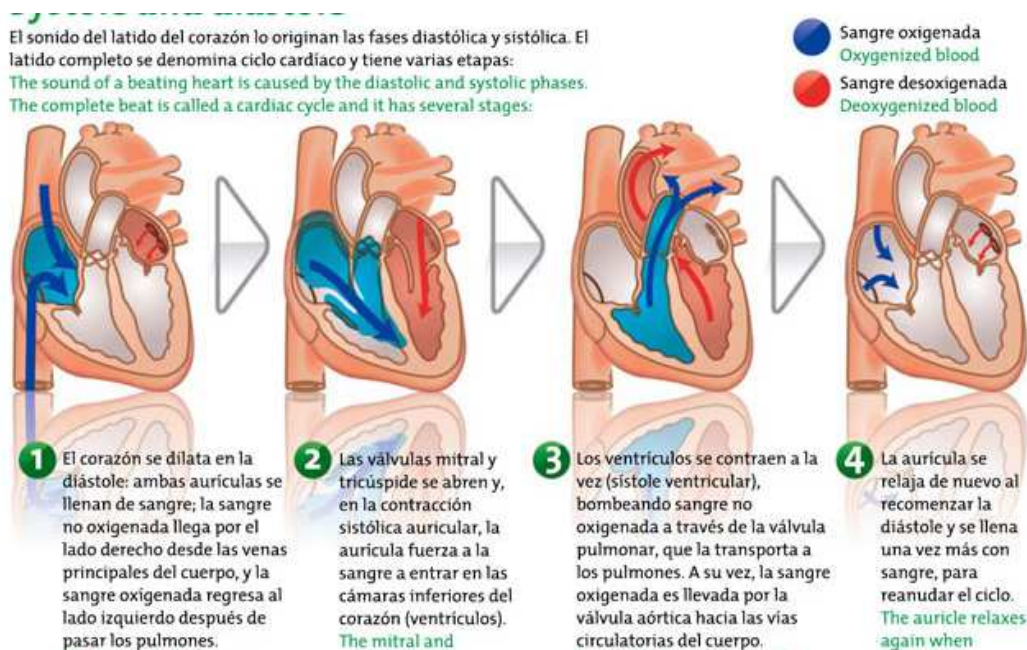


Figura 5.10. Ciclo cardíaco. Fuente: <http://www.icarito.cl/2010/07/60-2825-9-el-corazon.shtml/>

Las válvulas mitral y tricúspide permanecen cerradas, impidiendo el retroceso de la sangre a las aurículas. Durante la sístole ventricular, las aurículas están relajadas y sus cámaras vuelven a llenarse de sangre.

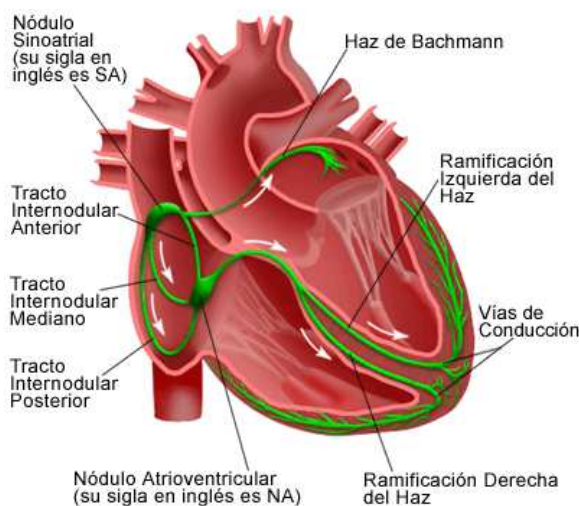
Diástole general: las aurículas y ventrículos se relajan, las aurículas continúan llenándose de sangre. Las válvulas semilunares de las arterias permanecen cerradas impidiendo que la sangre retorne de las arterias al corazón, las válvulas auricular ventriculares momentáneamente abiertas, luego se cierran, de modo que se van llenando aurículas.

Si se utiliza un **estetoscopio** pueden oírse dos sonidos distintos durante cada ciclo cardiaco. Estos **ruidos** cardiacos se describen a menudo con dos sílabas, “lubb” y “dupp,” y la secuencia es lub-dup, pausa, lub-dup, pausa, y así sucesivamente. El primer ruido cardiaco (lubb) se debe al cierre de las válvulas AV. El segundo ruido cardiaco (dupp) se produce cuando se cierran las válvulas semilunares al final de la sístole. El sonido lubb cardiaco es más largo y alto que el segundo, que tiende a ser breve y bajo.

5.7 CONTROL Y REGULACIÓN DEL RITMO CARDÍACO

El corazón se contrae y relaja rítmicamente entre unas 60 a 100 veces por minuto en reposo, y más de 150 en esfuerzos. Los miocitos de las aurículas laten unas 60 veces por minuto, pero las células musculares del ventrículo se contraen algo más despacio (20-40 veces/min.). Por lo tanto, sin algún tipo de sistema de control unificador, el corazón sería una bomba descoordinada e ineficaz.

El **sistema nodal** es el sistema de regulación intrínseco formado por células especiales del miocardio. Estas células combinan características del tejido muscular y nervioso, están especializadas en la conducción de impulso nervioso. De esta forma el corazón es autónomo, se contrae espontánea e independientemente, incluso si se cortan todas las conexiones nerviosas.



Actúan en sentido unidireccional, provocando la contracción de las aurículas primero, seguida de los ventrículos. Asimismo, marca un ritmo de contracción de aproximadamente 75 latidos por minuto en el corazón, de modo que el órgano late como una unidad coordinada.

Los impulsos se inician en el **seno-auricular** (marcapasos natural), que se halla en la pared de la aurícula derecha. Este seno se excita espontáneamente e impone el ritmo de la frecuencia cardíaca actuando como un marcapasos

Figura 5.11. Coordinación del latido cardíaco.

Fuente: www.thinglink.com/scene/850117329948_770305

se extiende a través de las células musculares de la aurícula; así, ambas aurículas se contraen casi simultáneamente. De aquí

se propaga hasta otro centro localizado entre las paredes de la aurícula y el ventrículo, el **nodo (o nódulo) aurículo-ventricular**, sigue por el **fascículo de Hiss** a lo largo del tabique interventricular, y se ramifica por la base de los dos ventrículos a través de las **fibras de Purkinje**. Así se contraen casi simul-

táneamente los ventrículos. Dado que las fibras del nódulo aurículo-ventricular conducen el estímulo con relativa lentitud, los ventrículos no se contraen hasta haberse completado el latido auricular, es decir hay un retraso para permitir que pase la sangre a los ventrículos.

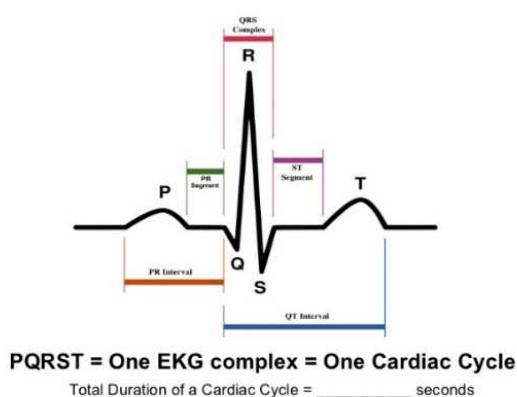
En cada latido, el corazón eyecta un determinado volumen de sangre. El volumen total de sangre bombeada por el corazón por minuto se llama **gasto cardíaco**, como se vio anteriormente.

Cambios de gasto cardíaco

Los cambios en el gasto cardíaco responden a diversas circunstancias, como diferentes necesidades en los tejidos, por ejemplo, durante el ejercicio. También puede modificarse por acción nerviosa, debido a la acción del sistema nervioso autónomo, por acción de hormonas o incluso por control intrínseco del corazón ligado al retorno venoso.

- El **SN Autónomo** funciona como freno (parasimpático) y/o acelerador (simpático) según las condiciones del momento
- El **nervio vago** (parasimpático) llega a todo el corazón, especialmente a los nódulos sinusal y aurículo-ventricular relajando el ritmo y la fuerza de contracción
- La activación se debe a las **hormonas** noradrenalina y adrenalina producidas en las glándulas suprarrenales. Activa el nódulo aurículo-ventricular y acelera el ritmo cardíaco

Cuando los impulsos del sistema de conducción viajan a través del corazón y producen su contracción, se genera una corriente eléctrica en su superficie. Esta corriente se transmite a todos los fluidos corporales y alcanza hasta la superficie del cuerpo. De esta forma puede ser registrada en un **electrocardiograma** que permite establecer la capacidad del corazón de iniciar y transmitir los impulsos.



En la gráfica de un electrocardiograma, la onda P refleja la despolarización (fase 0) auricular, el complejo QRS la despolarización ventricular, el intervalo PR refleja la velocidad de conducción a través del nódulo AV, el complejo QRS la velocidad de conducción intraventricular y el intervalo QT la duración del potencial de acción ventricular.

Figura 5.12. Esquema de un electrocardiograma.

Fuente: <https://en.wikipedia.org/wiki/Electrocardiography>

5.8 LOS VASOS SANGUÍNEOS: ARTERIAS Y VENAS

Existen tres tipos principales de vasos sanguíneos, las arterias, venas y capilares, son las vías o conductos que forman el sistema vascular por el que circulan el líquido sanguíneo. Puestos en fila, los vasos sanguíneos del cuerpo humano alcanzarían unos 80.000 km de longitud.

La pared de arterias y venas está formada por tres capas de tejido, que de fuera adentro son:

- Conectivo fibroso en la **túnica externa o adventicia**, con colágeno y una lámina de fibras elásticas. Su función básica es el soporte y la protección de los vasos.
- Conectivo elástico con muchas fibras y músculo liso en la **túnica media**. Es muy importante la **musculatura** que regula el flujo que va a llegar a los capilares. Esta capa de músculo liso, controlado por el sistema nervioso simpático, cambia el diámetro de los vasos. Si los vasos se contraen o dilatan, la presión sanguínea aumenta o disminuye respectivamente.
- Endotelio en la **túnica interna o íntima** que rodea la luz (el interior) de los vasos, es una fina capa de células epiteliales planas que descansa en una membrana basal. Las células ajustan perfectamente entre sí y forman una superficie totalmente lisa que reduce la fricción a medida que la sangre fluye por el vaso.

Las arterias

Las arterias son vasos de salida, caracterizados por tener una túnica media muy gruesa, de modo que son a la vez resistentes y elásticas para soportar la alta presión de la sangre expulsada del corazón. Las arterias, gracias a su musculatura se pueden contraer, regulando el flujo de sangre a los órganos. Cuando irrigan un órgano se ramifican en arteriolas y finalmente en capilares.

Las arterias se suelen clasificar en 3 tipos, en función de su tamaño: grandes o elásticas, medianas o musculares y pequeñas o arteriolas.

1. Las grandes arterias conducen la sangre desde el corazón hasta arterias de tamaño medio, son capaces de recibir sangre a gran presión y propulsarla hacia adelante, en ellas domina la **elasticidad** y funcionan como un reservorio de presión. Suelen ocupar posiciones internas en el cuerpo, para estar a salvo del riesgo de rupturas.
2. Las arterias medianas son arterias distribuidoras porque dirigen el flujo sanguíneo hacia distintos órganos; tienen paredes relativamente anchas, con más tejido **muscular** y menos fibras elásticas en la túnica media que las arterias grandes. En ellas domina la contractilidad pues cambian el diámetro para ajustarse al flujo sanguíneo
3. Arterias pequeñas y arteriolas, son responsables de la mayor parte de la **resistencia** vascular, regulan el flujo sanguíneo que llega a los lechos capilares mediante la actividad de las fibras de músculo liso.

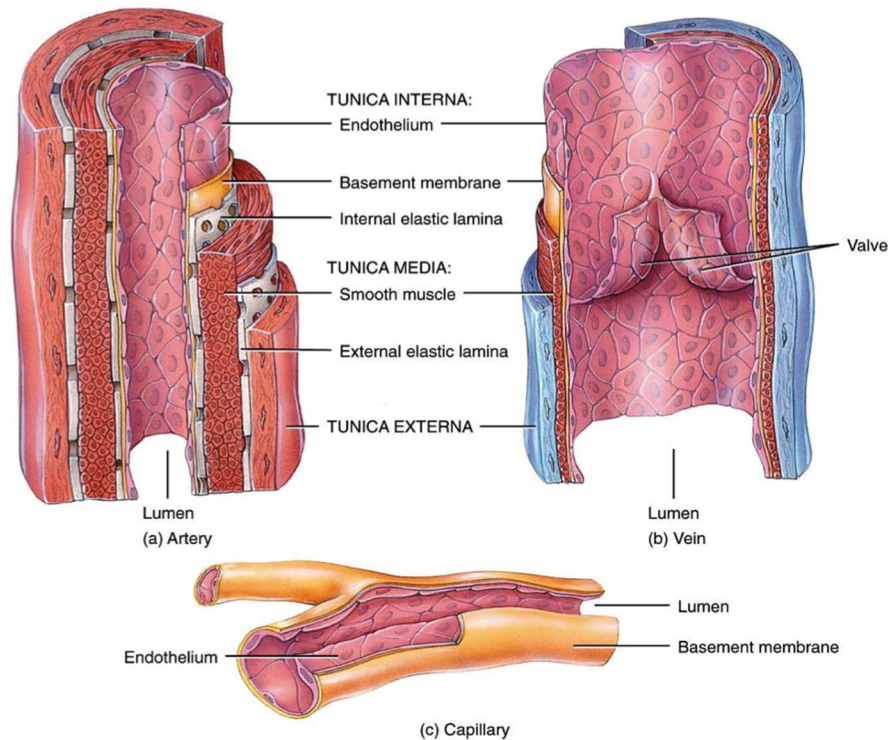


Figure 21.01abc Tortora - PAP 12/e
Copyright © John Wiley and Sons, Inc. All rights reserved.

Figura 5.13. Anatomía de los vasos sanguíneos. Fuente:

<https://nurseslabs.com/cardiovascular-system-anatomy-physiology/>

Principales arterias del cuerpo

La **aorta** es la principal arteria que parte del corazón. Sale del ventrículo izquierdo y da un giro por detrás del corazón, formando el cayado aórtico y se continúa en la aorta descendente. Otras arterias importantes son:

- Arterias coronarias: Parten de la aorta ascendente. Riegan el corazón
- Arterias carótidas: Parten del cayado de la aorta hacia la cabeza
- Arterias subclavias: Parten del cayado de la aorta hacia las extremidades superiores.
- Arteria hepática: Riega el hígado
- Arteria mesentérica: Sale de la aorta, riega el intestino
- Arterias renales: Desde de la aorta descienden a los riñones
- Arterias iliacas: Se divide la aorta hacia extremidades inferiores.
- Arteria pulmonar: Parte del ventrículo derecho, como un tronco pulmonar y se ramifica rápidamente a los pulmones

Las venas

Las venas son los vasos por los que la sangre retorna al corazón, suelen ser más superficiales que las arterias. También presenta tres capas de tejidos, con la capa muscular media más estrecha.

Las venas tienen una luz normalmente mayor que las arterias, y las paredes son más delgadas y elástica, más fácilmente dilatables, con lo que se minimiza la resistencia al flujo de vuelta al corazón. Hay dos hechos que contribuyen a mejorar la circulación venosa

- ✚ Las venas presentan válvulas con una forma similar a las valvas de las válvulas cardíacas, se llama *de nido de golondrina*. Dichas válvulas retienen la sangre que asciende hacia el corazón y evitan su retroceso debido a la gravedad, sobre todo las situadas en la parte inferior del cuerpo.

- ✚ Los movimientos musculares también ayudan a este flujo de vuelta. La actividad de los músculos esqueléticos mejora el retorno venoso. A medida que los músculos que rodean a las venas se contraen y se relajan, la sangre es presionada (o “exprimida”) por las venas hacia el corazón.

Finalmente, cuando inhalamos, la caída de presión que se produce en el tórax hace que las venas grandes que se encuentran cerca del corazón se expandan y se llenen. Así, la “bomba respiratoria” también ayuda a devolver la sangre al corazón.

Principales venas del cuerpo

- Cava superior: Recoge la sangre de la parte superior del cuerpo
- Cava inferior: Recoge la sangre de la parte inferior del cuerpo
- Vena hepática: Forma parte del sistema porta hepático, es la vena de salida que conduce a la cava inferior
- Venas renales: Recogen la sangre de los riñones, conectan con la cava inferior
- Venas ilíacas: Recogen la sangre de las extremidades inferiores. Confluyen en la cava inferior
- Venas yugulares: Son cuatro venas que recogen la sangre de la cabeza y desembocan en las venas braquiocefálicas que confluyen en la cava superior
- Venas subclavias: Recogen la sangre de los brazos. También conectan con las braquiocefálicas
- Venas pulmonares: Cuatro venas que desembocan en la aurícula izquierda recogen la sangre oxigenada del pulmón

5.9 EN LOS CAPILARES SE PRODUCE EL INTERCAMBIO

Los capilares forman una red de vasos muy finos, con una sola capa de células, el **endotelio** situado sobre una lámina basal, a través de los cuales se produce el intercambio de sustancias entre la sangre y los tejidos. No se encuentran ni en el epitelio, ni en la córnea y lentes del ojo, ni en el cartílago. Como son tan finos sufren frecuentes roturas pero se cierran gracias a la actuación de los factores de coagulación y de las plaquetas y se reponen rápidamente. Los diminutos capilares tienden a formar redes entretejidas denominadas **lechos capilares**. El flujo de sangre que va desde una arteriola a una vénula, es decir, a través de un lecho capilar, se denomina **microcirculación**.

En la mayoría de las regiones corporales un lecho capilar consta de dos tipos de vasos:

- (1) una derivación vascular o canal de paso, un vaso que conecta directamente la arteriola y la vénula de los extremos opuestos del lecho
- (2) los capilares verdaderos, los vasos de intercambio reales que son unos 10 a 100 por lecho capilar, según el órgano o los tejidos utilizados.

Un puñado de fibras musculares lisas, denominado **esfínter pre-capilar**, rodea el inicio de cada capilar verdadero y actúa como válvula para regular el flujo de sangre del capilar. La sangre que fluye por una arteriola terminal puede tomar una o dos rutas: a través de los capilares verdaderos o a través de la derivación. Cuando los esfínteres pre-capilares están relajados (abiertos), la sangre fluye a través de los capilares verdaderos y participa en el intercambio con las células de tejido. Cuando los esfínteres están contraídos (cerrados), la sangre fluye a través de las derivaciones y evita las células de tejido.

A medida que la sangre se mueve a través del lecho capilar, se produce el intercambio de sustancias entre el plasma sanguíneo y el líquido intersticial: los gases (como el oxígeno y el dióxido de carbono), los iones, las hormonas y las sustancias de bajo peso molecular en general, se intercambian libremente por difusión entre el plasma y los tejidos circundantes.

Además, la elevada presión sanguínea facilita la salida de líquido por filtración de la sangre a través de las células del endotelio. Todas las sustancias del plasma pueden salir excepto las proteínas de alto peso molecular, debido a su tamaño; también pueden atravesarlos los leucocitos que se deforman, pero no los eritrocitos ni las plaquetas. Las proteínas que han quedado retenidas en el interior de los vasos ejercen un efecto osmótico que genera un movimiento de líquido en sentido opuesto al generado por la presión sanguínea, de modo que tiende a retornar el líquido desde los tejidos hacia los capilares.

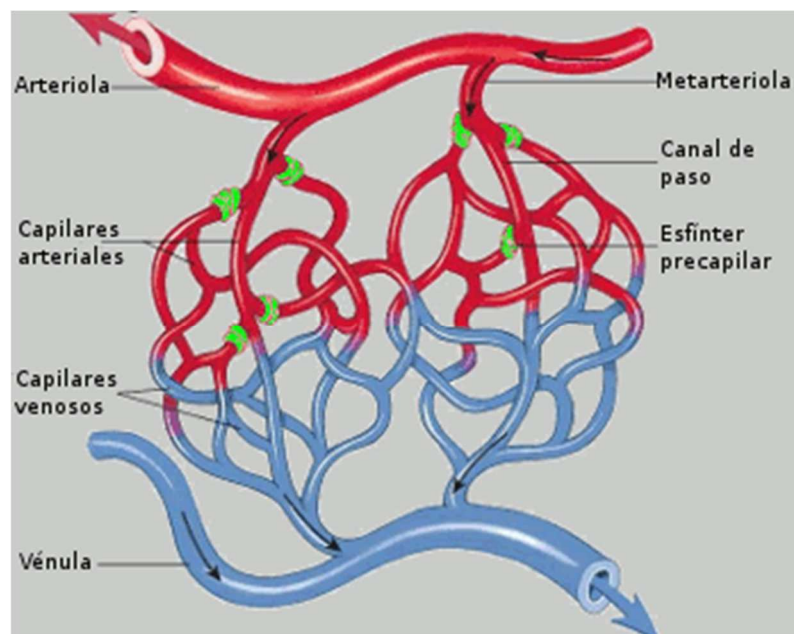


Figura 5.14. Lecho capilar. Fuente: <http://www.sabelotodo.org/anatomia/vasossangre.html>

El que el fluido salga de un capilar o entre en él, depende de la diferencia de concentraciones o presiones. Como regla general, la tensión arterial es mayor que la presión osmótica en el extremo arterial del lecho capilar e inferior que la presión osmótica en el extremo venoso. En consecuencia, el líquido sale de los capilares al principio del lecho y se recoge en el extremo contrario (vénula). Sin embargo, no todo el líquido que se fuerza a salir de la sangre se recoge en el lado de la vénula y el líquido perdido va a pasar al sistema linfático.

Las sustancias que se intercambian en primer lugar se difunden a través de un espacio intermedio lleno de líquido intersticial (líquido tisular). Las sustancias tienden a moverse hacia y desde las células del organismo según sus gradientes de concentración. Así, el oxígeno y los nutrientes salen de la sangre y entran en las células de tejido, y el dióxido de carbono y otros desechos salen de las células tisulares y entran en la sangre.

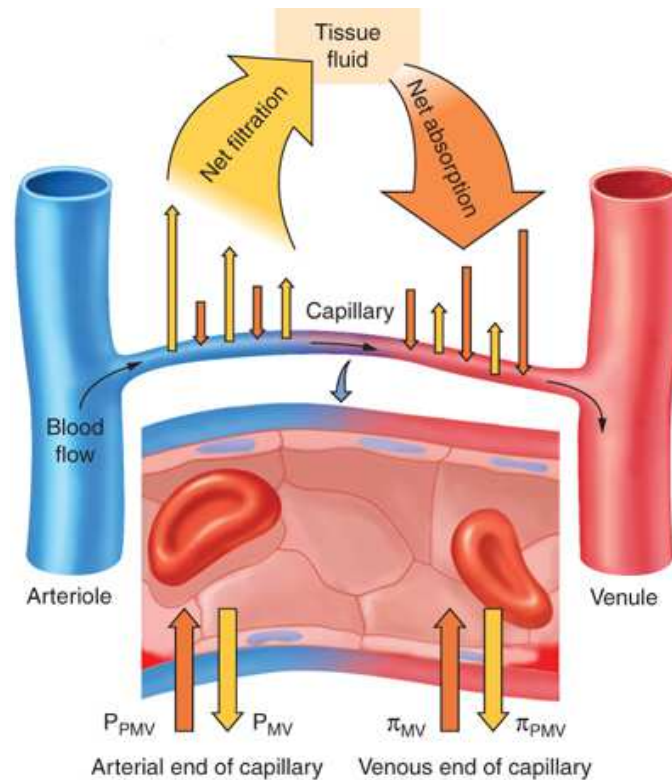
Básicamente, las sustancias que entran en la sangre o salen de ésta pueden tomar una de las cuatro rutas a través de las membranas plasmáticas de la capa de células endoteliales que forman el tubo del capilar:

1. Al igual que sucede con todas las células, las sustancias pueden **difundirse** directamente a través de sus membranas plasmáticas si las sustancias son liposolubles (como los gases respiratorios).
2. Determinadas sustancias liposolubles o de mayor tamaño pueden entrar en la sangre, salir de ésta al pasar a través de las membranas plasmáticas de las células endoteliales en **vesículas**, es decir, mediante un proceso de endocitosis o exocitosis.
3. Además hay un paso (limitado) de líquido y pequeñas soluciones a través de las **fisuras** intercelulares, es decir por huecos o zonas libres entre membranas de células adyacentes que no estén demasiado unidas. Recordemos que en los capilares cerebrales esto no es posible (barrera hematoencefálica), pero la mayoría de nuestros capilares si presenta fisuras intercelulares.
4. Una vía libre para pequeñas soluciones y líquidos también está presente en los llamados **capilares fenestrados**. Una fenestra (de *fenestra = ventana*) es un poro o abertura ovalado, que generalmente está cubierta por una delicada membrana. Estos capilares fenestrados solo se encuentran en regiones del cuerpo donde la absorción es prioritaria (capilares intestinales o capilares que recogen hormonas de las glándulas endocrinas) o donde se produce la filtración (el riñón).

5.10 UN CIRCUITO ANEXO: LA CIRCULACIÓN LINFÁTICA

El sistema linfático está formado por una red de vasos y nódulos linfáticos y recorrido por un líquido similar a la sangre llamado linfa. Como se acaba de explicar en el apartado anterior, el sistema linfático es necesario porque las diferencias de presión sanguínea hacen que salga más líquido de los capilares que el que regresa a ellos. El líquido intersticial excedente pasa al sistema linfático, que lo recolecta y lo vuelca más tarde de nuevo en las venas. La linfa tiene una composición semejante al líquido intersticial, tiene más agua y lípidos que la sangre y menos proteínas y sales. Como no hay plaquetas, la linfa no coagula. En la linfa se transportan al torrente

Figura 5.15. Intercambio de sustancias en el lecho capilar. Fuente:



sanguíneo las grasas absorbidas del tubo digestivo. El sistema linfático tiene algunas similitudes con el sistema venoso, pues consiste en una red interconectada de vasos que son progresivamente más grandes.

Los vasos linfáticos son muy permeables, por lo que dejan pasar el fluido extracelular. Se forman como capilares con un extremo cerrado que se encuentran en casi todos los espacios tisulares y se unen para formar vasos linfáticos mayores que presentan una capa de músculo liso que les permite contraerse y contienen en su interior válvulas que impiden el retroceso de la linfa; la linfa también se mueve por la acción de los músculos del cuerpo. Los capilares linfáticos son conductos ciegos que se abren en el espacio intercelular y no forman parte de un circuito continuo.

Los vasos linfáticos recorren el organismo drenando el exceso de líquido. Confluyen unos con otros en ganglios linfáticos y terminan desembocando en dos lugares: en el conducto torácico, que se vacía en la vena subclavia izquierda, y a través del conducto linfático derecho, que se vacía en la vena subclavia derecha. Estas dos venas desembocan en la vena cava superior.

En las confluencias de los vasos se forman los **ganglios o nódulos linfáticos**, que son masas de tejido esponjoso distribuidos por todo el sistema linfático. En estos nódulos proliferan los linfocitos, glóbulos blancos especializados que son efectores de la respuesta inmune. Los ganglios linfáticos, además actúan como filtros, ya que retienen los cuerpos extraños que circulan por la linfa.

La cantidad diaria de linfa volcada en el sistema venoso es de 2 a 4 litros, mucho menor que los 7.000 litros diarios que pasan por la circulación sistémica. Sin embargo, esta circulación permite

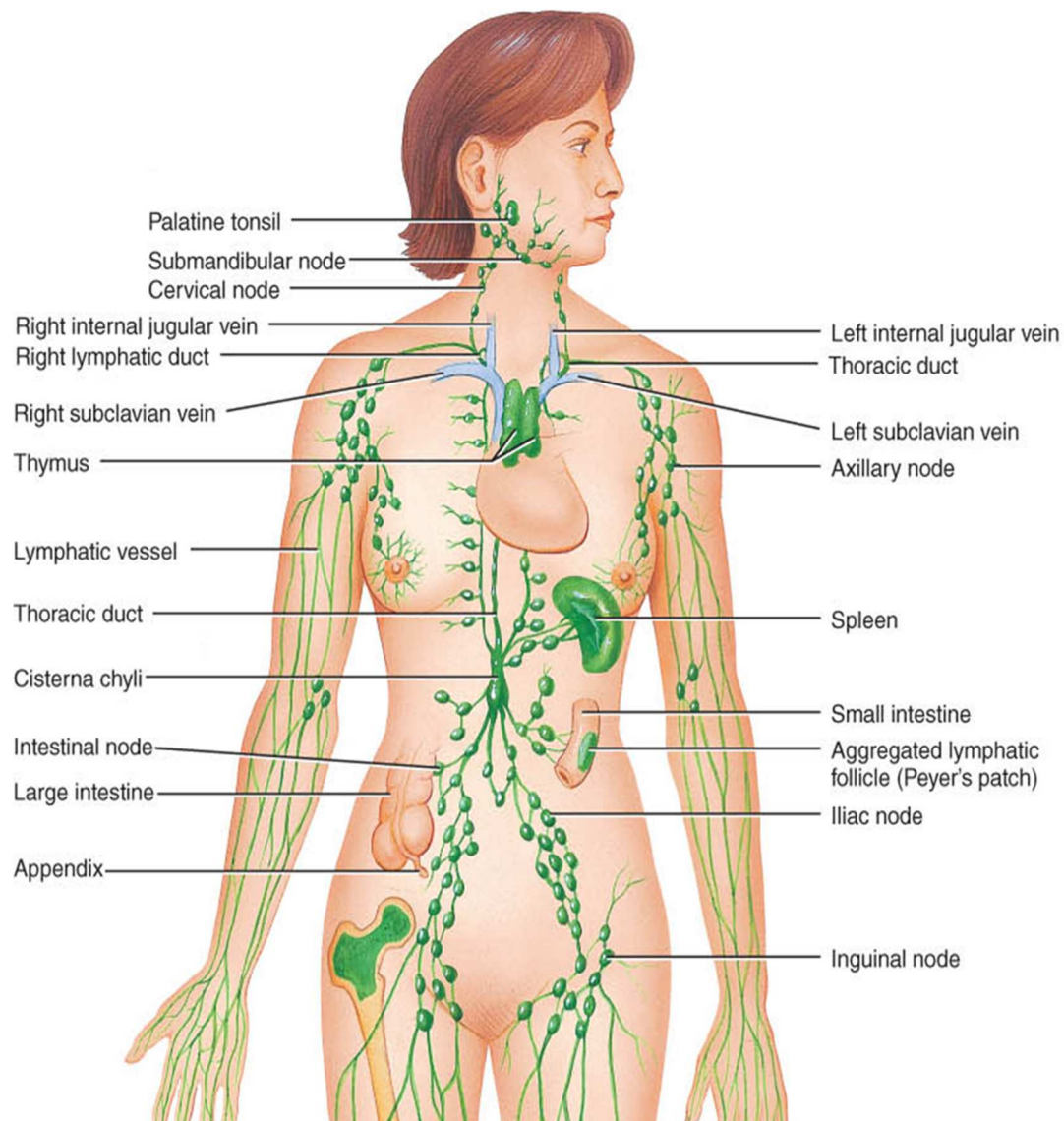


Figura 5.16. Circulación linfática. Fuente: [Tortora](#)

la recuperación de sustancias, que de otra manera habrían quedado retenidas en el líquido intersticial.

Las principales **funciones** del sistema linfático son:

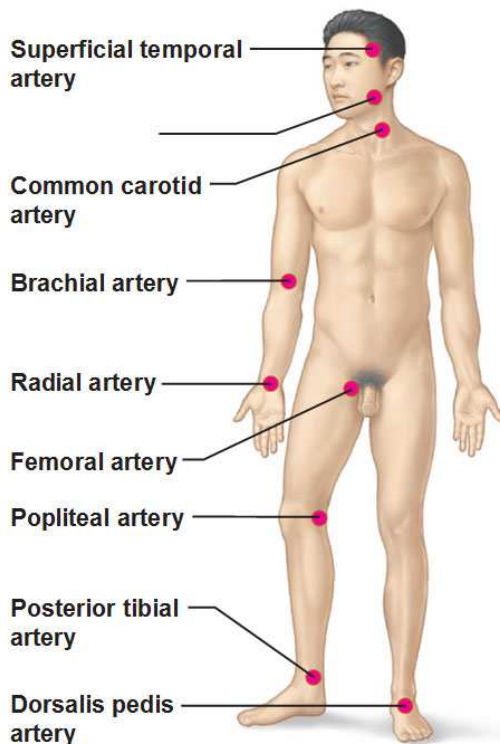
- Retorno del líquido intersticial a la sangre
- Presentación de antígenos en el sistema inmunitario, los ganglios linfáticos actúan como filtros que identifican, retienen y destruyen microbios
- Transporte de lípidos del intestino al hígado, se aprovecha el sistema linfático para transportar lípidos, pues una obstrucción de un vaso linfático es menos peligrosa que la de un vaso sanguíneo

5.11 PRESIÓN SANGUÍNEA: PULSO Y TENSION

Las constantes vitales en el ámbito médico incluyen además la frecuencia respiratoria y la temperatura, dos parámetros del sistema circulatorio: el pulso arterial y la presión arterial.

El pulso arterial es una medida de la frecuencia cardíaca. La expansión y el retroceso alternantes de una arteria que se producen con cada latido del ventrículo izquierdo crea una onda de presión (pulso) que circula por todo el sistema arterial. Por eso se considera que el pulso (oleadas de presión por minuto) es igual que la frecuencia cardíaca (latidos por minuto).

Pulse Points over Major Arteries



El pulso medio oscila entre 70 y 76 latidos por minuto en una persona normal en reposo; depende de la actividad, de los cambios posturales y de las emociones.

Se puede notar el pulso en cualquier arteria que se encuentre cerca de la superficie corporal comprimiendo la arteria contra tejido firme; generalmente se toma el pulso radial, que es muy accesible, donde la arteria radial se acerca a la superficie en la muñeca, aunque hay otros puntos del pulso arterial importantes desde el punto de vista médico.

Figura 5.17. Puntos para tomar el pulso.

Fuente: <http://www.cfrhq.co.uk/wp-content/uploads/2014/04/pulse-points-over-major-arteries.jpg>

La presión (o tensión) arterial (BP) es la presión que ejerce la sangre contra las paredes internas de los vasos sanguíneos. Esta presión debe ser suficiente para llevar la sangre a todos los puntos del cuerpo (incluyendo el recorrido contra la gravedad), además de vencer el rozamiento en los capilares sanguíneos. A menos que se indique lo contrario, el término presión arterial se entiende como la presión en las arterias sistémicas grandes cerca del corazón. La presión es mayor en las arterias grandes y continúa disminuyendo a través de las vías sistémica y pulmonar, hasta llegar a cero o a una presión negativa en las venas cavas.

Medición de la presión arterial. Puesto que el corazón se contrae y relaja de forma alterna, el flujo hacia adelante y hacia atrás de la sangre en las arterias hace que la tensión arterial suba y baje en cada latido. Por tanto, normalmente se realizan dos mediciones de la presión arterial: la presión sistólica, la presión de las arterias en el pico de contracción ventricular (presión sistólica o máxima), y la presión diastólica, la presión que se produce cuando se relajan los ventrículos (presión diastólica o mínima). La técnica manual de referencia se realiza colocando un

esfigmomanómetro de mercurio en el brazo y auscultando el latido en la arteria interna del brazo con un fonendoscopio. Las presiones arteriales se indican en milímetros de mercurio (mm Hg), con la presión sistólica en primer lugar; 120/80 (120 sobre 80) se traduce como una presión sistólica de 120 mm Hg y una presión diastólica de 80 mm Hg. Con mayor frecuencia, la presión arterial sistémica se mide de forma indirecta mediante el método de **auscultación**.

El valor de la presión está regulado por concentración de sales y proteínas (presión osmótica) y por el diámetro del vaso (en el cual influye la túnica media muscular). La presión aumenta si se contraen los vasos sanguíneos o entra líquido en el sistema y disminuye si se relajan los vasos o sale líquido del sistema

- Si es demasiado baja hay problemas por falta de riego sanguíneo.
- Si es demasiado alta se incrementa el gasto cardíaco y aumenta el riesgo de derrames sanguíneos, por ruptura de los vasos.

Factores que influyen en la presión sanguínea

La presión arterial (BP) está directamente relacionada con el gasto cardíaco y la resistencia periférica de acuerdo con la siguiente ecuación

$$BP = G \times PR$$

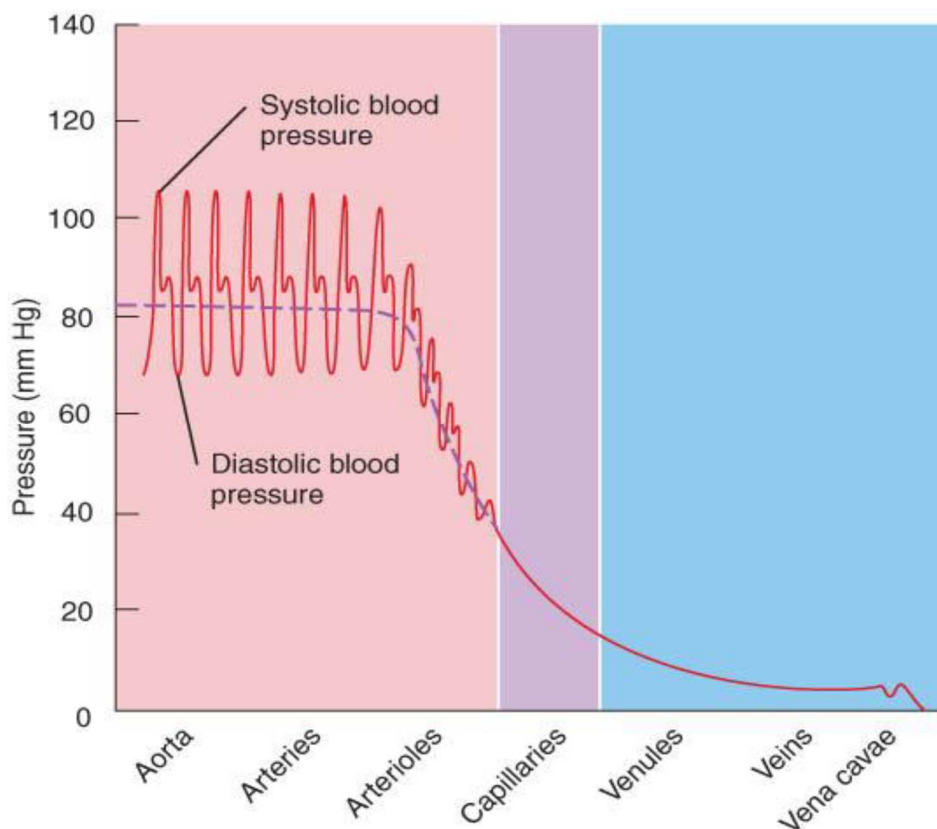


Figura 5.18. Curva de la presión sanguínea. Fuente: [Tortora](#)

(G = gasto cardíaco, la cantidad de sangre bombeada fuera del ventrículo izquierdo por minuto)

(PR = resistencia que encuentra la sangre al moverse por los vasos sanguíneos)

Ya hemos considerado la regulación del gasto cardíaco (ver epígrafe 7), así que aquí nos centraremos en la resistencia periférica.

La **resistencia periférica** mide la fricción que encuentra la sangre a medida que fluye por los vasos sanguíneos. Muchos factores aumentan la resistencia periférica, pero probablemente el más importante es el estrangulamiento o estrechamiento de los vasos sanguíneos, especialmente las arteriolas, como resultado de la actividad del sistema nervioso simpático o de la aterosclerosis. El aumento de volumen sanguíneo o la reducción de la viscosidad de la sangre (espesor) también incrementan la resistencia periférica.

Cualquier factor que aumente el gasto cardíaco o la resistencia periférica provoca un incremento reflejo casi inmediato de la presión arterial. Hay un conjunto de **receptores** en las paredes de la arteria carótida común interna (seno carotídeo) y de la aorta (cayado aórtico) que recogen información y la envían al bulbo raquídeo; algunos son barorreceptores que miden la presión y otros son quimiorreceptores que detectan no sólo el nivel de concentración de CO₂ sino también O₂.

Hay muchos factores que influyen en la presión sanguínea: la edad, el peso, el momento del día, el ejercicio, la posición corporal, el estado emocional, el consumo de ciertos fármacos, etc. La influencia de algunos de estos factores se explica a continuación.

1. Factores neuronales debido a la actividad del SNA. En concreto la acción del SNA simpático es importante porque provocan la vasoconstricción o el estrechamiento de los vasos sanguíneos, lo que aumenta la presión arterial. El centro simpático del bulbo raquídeo se activa para provocar la vasoconstricción en distintas circunstancias. Veamos tres casos:

- Por ejemplo, una persona que está tumbada y se levanta repentinamente, el efecto de la gravedad hace que la sangre se estanque en los vasos de los pies y piernas, y que baje la presión arterial. Esto activa señales de advertencia y en consecuencia se provoca la vasoconstricción y aumenta de nuevo la presión arterial hasta los niveles homeostáticos.

- Por ejemplo, en caso de accidente, si el volumen sanguíneo se reduce de repente por una hemorragia, la presión arterial cae y el corazón empieza a latir con mayor rapidez para intentar compensarse. No obstante, puesto que la pérdida de sangre reduce el retorno venoso, el corazón se resiente y el latido es más débil y sin eficacia. En tales casos, el SNA simpático provoca una vasoconstricción para aumentar la presión arterial de modo que, con suerte, aumente el retorno venoso y pueda continuar la circulación.

- En el ejemplo típico de la actividad del SNA simpático, cuando estamos asustados y tenemos que escapar de forma precipitada. En estas condiciones, se produce una vasoconstricción generalizada excepto en los músculos esqueléticos. Los vasos de los músculos esqueléticos se dilatan para aumentar el flujo sanguíneo hasta los músculos que están trabajando con toda intensidad en ese momento de peligro. Debe tenerse en cuenta que los nervios simpáticos nunca provocan la vasoconstricción de los vasos sanguíneos del corazón o del cerebro.

2. Factores renales. Los riñones desempeñan una función principal en la regulación de la presión arterial porque influyen en el volumen sanguíneo. A medida que la presión arterial (o el volumen

sanguíneo) aumenta más de lo normal, los riñones reabsorben menos agua y emiten mayor volumen de agua en la orina. Puesto que la fuente de esta agua es la sangre, el volumen de sangre disminuye, lo que, a su vez, reduce la presión arterial. Sin embargo, cuando baja la presión arterial, los riñones retienen agua del organismo, de modo que aumentan el volumen sanguíneo y con ello la presión arterial.

Si la presión arterial es baja, determinadas células renales liberan una enzima, llamada **renina**, en la sangre. La renina activa una serie de reacciones químicas que forman **angiotensina**, una sustancia química de potente acción vasoconstrictora. Además la angiotensina también estimula la corteza suprarrenal para liberar **aldosterona**, una hormona de la corteza de la glándula suprarrenal que mejora la reabsorción de iones de sodio en los riñones. A medida que el sodio se mueve hacia la sangre, el agua la sigue. Así, tanto el volumen sanguíneo como la presión arterial aumentan.

Recordar que además la aldosterona estimula la hipófisis posterior o neurohipófisis para que segregue **ADH**, la hormona **antidiurética**, cuyo efecto es mejorar la permeabilidad de las membranas celulares en las nefronas, de modo que se puede reabsorber más agua desde los riñones hacia la sangre y esto contribuye a aumentar de presión sanguínea.

En resumen, la cadena de acciones:
renina- angiotensina –aldosterona – ADH
regula la cantidad de agua que eliminan los riñones
y sirve para controlar la presión sanguínea.

3. **Temperatura.** En general, el frío tiene un efecto vasoconstrictor, por eso se recomienda la aplicación de compresas frías para evitar que se hinchen las zonas con magulladuras. Por el contrario, el calor tiene un efecto vasodilatador y las compresas templadas se utilizan para acelerar la circulación de una zona inflamada.

4. **Sustancias químicas.** Los efectos de ciertos fármacos afectan a la presión arterial y son bien conocidas en muchos casos. Por ejemplo, la adrenalina y noradrenalina (catecolaminas) aumentan tanto la frecuencia cardíaca como la presión arterial y la nicotina del tabaco aumenta la presión arterial provocando la vasoconstricción. Por su parte, tanto el alcohol como la histamina tienen acción vasodilatadora y disminuyen la presión arterial. La razón por la que una persona que *ha bebido de más* se pone roja es que el alcohol dilata los capilares que se encuentran bajo la piel de la cara.

5. **Dieta.** Aunque las opiniones médicas tienden a cambiar y pueden resultar contradictorias, en general se admite que una dieta baja en sal, con pocas grasas saturadas y colesterol ayuda a evitar la hipertensión. Aunque el proceso de envejecimiento contribuye a los cambios que se producen en las paredes de los vasos sanguíneos, que pueden causar apoplejías o infartos de miocardio, la mayoría de los datos indican que es la dieta, y no el envejecimiento, el factor más importante en

Risk Factors For Hypertension

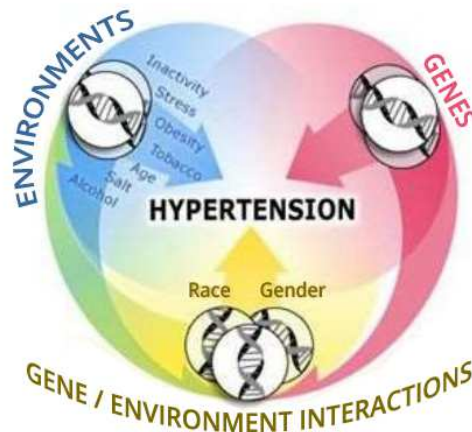


Figura 5.19. Factores de riesgo en caso de hipertensión.

Fuente: <https://www.medyhealth.com/blog/hypertension-causes-prevention-and-treatment-170>

las **enfermedades cardiovasculares**. Todos coinciden en que el riesgo se reduce si las personas comen menos grasa animal, baja el consumo de colesterol y reduce la sal.

Hipertensión

Una breve elevación de la presión arterial es una respuesta normal a la fiebre, al esfuerzo físico y las molestias emocionales, como el enfado y el miedo. Pero la hipertensión persistente (o la presión arterial alta) es patológica y se define como una enfermedad de una presión arterial alta y sostenida de 130/80 o mayor. La hipertensión crónica es una enfermedad **peligrosa** que indica una resistencia periférica que se va incrementando. Los primeros 10-20 años no hay síntomas, por eso se conoce como el “asesino silencioso”. Puesto que el corazón es forzado a bombear contra una mayor resistencia, debe trabajar con mayor intensidad y, con el tiempo, el miocardio se agranda. Cuando finalmente se fuerza más allá de su capacidad para responder, el corazón se debilita y sus paredes se vuelven flácidas. La hipertensión también causa estragos en los vasos sanguíneos, el hecho de que las paredes de los vasos se vuelvan más ásperas fomenta la formación de trombos, estos pequeños rasguños en el endotelio aceleran la evolución de la aterosclerosis.

La pérdida gradual de elasticidad en los vasos sanguíneos provoca hipertensión y cardiopatía hipertensa. Al menos el 30% de la población en países desarrollados presenta hipertensión a los 50 años, y las enfermedades cardiovasculares provocan más de la mitad de las muertes en personas de más de 65 años.

Se produce por:

- Factores genéticos y raciales. La hipertensión es hereditaria. El hijo de unos padres hipertensos tiene el doble de posibilidades de desarrollar una presión arterial alta que el de padres con una presión arterial normal.
- Tipo de vida y alimentación. La presión arterial alta es común en las personas obesas porque la longitud total de sus vasos sanguíneos es relativamente mayor que la de los individuos más

delgados. Por cada 450 gramos de grasa, se necesitan miles de vasos sanguíneos adicionales, lo que obliga al corazón a trabajar con más intensidad para bombear la sangre a distancias mayores.

- Alteraciones renales. Ver apartado anterior.

Hipotensión

La hipotensión o presión arterial baja presenta valores de presión arterial sistólica por debajo de 100 mm Hg. En muchos casos, es propia del individuo y no es motivo de preocupación. De hecho, la presión arterial baja es un resultado esperado del entrenamiento físico y se asocia con una vida larga y sin enfermedades en la vejez.

La **hipotensión crónica**, que no se explica por la condición física, puede indicar una mala nutrición y unos niveles inadecuados de proteínas en sangre. Debido a que la viscosidad de la sangre es baja, la presión arterial también es menor de lo normal. También puede indicar pérdida de líquido circulatorio, por ejemplo por hemorragias, heridas, quemaduras o Infecciones.

Shock circulatorio

En relación con la hipotensión podemos hablar del **shock**, que es un fallo del sistema cardiovascular que impide suministrar suficiente O₂ y nutrientes para las necesidades metabólicas celulares. Las células se ven obligadas a cambiar a respiración anaeróbica y el ácido láctico se acumula, con lo que células y tejidos se dañan y mueren. Los síntomas típicos del choque circulatorio son: presión sanguínea baja (hipotensión, BP máxima <90 mmHg), ritmo cardíaco rápido (taquicardia) pero pulso débil, evidencia de descompensación o ausencia de funcionamiento de órganos periféricos (piel fría y pálida, producción baja de orina, confusión o pérdida de conciencia).

Según las causas hay diversos tipos de shock, en cualquier caso, sino hay una rápida respuesta homeostática, como puede ser la activación del sistema nervioso simpático, o la activación del sistema renina- angiotensina –aldosterona, el paciente de shock empeora rápidamente. El shock es una **emergencia médica** y una de las causas más comunes de muerte en pacientes en estado crítico, pues acaba en un paro cardíaco.

5.12 MANTENIMIENTO DEL SISTEMA CIRCULATORIO

Sabemos que realizar ejercicio físico con regularidad es beneficioso para nuestra salud, en concreto, en relación con el sistema circulatorio proporciona:

- 🏃 Corazón más potente, con mayor volumen interno y mejor ritmo

La capacidad de las cavidades cardíacas aumenta y se incrementa el volumen sistólico, se bombea mayor volumen sangre por latido.

Incrementa el tamaño de las células musculares, la capa de miocardio se refuerza.

Disminuye el ritmo cardíaco; en personas entrenadas se reduce a frecuencia del ritmo cardíaco en relación a las no entrenadas tanto en reposo como durante el ejercicio. Eso significa que frente al esfuerzo hay menos gasto cardíaco.

- 🏃 Más riego sanguíneo en órganos más activos

En tejidos u órganos con más demanda energética hay una red más tupida, con mayor cantidad y densidad de capilares, llegan mejor el oxígeno y los nutrientes.

Más luz en las venas y arterias, la sangre circula con más facilidad.

Vasos más robustos, las venas y arterias son más robustas en sujetos activos físicamente, se refuerzan las capas musculares y conjuntivas.

Disminución de la presión arterial, en personas entrenadas la presión arterial es más baja en reposo y aumenta más lentamente durante el ejercicio que en las personas sedentarias

Hábitos deseables

Ejercicio diario

Realizar ejercicio físico de intensidad moderada mejora el sistema circulatorio en general. El corazón en actividad física intensa puede consumir 4 a 6 veces más que en reposo, por ello es aconsejable un calentamiento previo al ejercicio.

Correcta alimentación

Una alimentación adecuada disminuye el gasto cardiaco y el riesgo de trombos. Como se comentó antes es aconsejable una dieta con bajos niveles de grasas saturadas, sin ácidos grasos trans y poco colesterol para evitar aterosclerosis. Los bajos niveles de sal son adecuados para prevenir el aumento de presión sanguínea. Un bajo nivel de azúcar evita la diabetes.

Hábitos indeseables

No consumir tabaco, tanto en fumadores activos como pasivos, pues deteriora los vasos sanguíneos y aumenta la presión sanguínea.

Otro factor es una dieta que provoque obesidad, pues aumenta el gasto cardiaco, sube la presión arterial.

Evitar el ejercicio físico extremo o ejercicio fuerte sin previo calentamiento, porque deteriora el sistema circulatorio.

5.13 PATOLOGÍAS DEL SISTEMA CIRCULATORIO

Afecciones de la sangre

Coágulo de sangre. Se pueden formar espontáneamente por insuficiencia cardíaca, degeneración de las paredes de los vasos sanguíneos, etc. Hay medicamentos para disolver coágulos, uno de los más utilizados por vía oral es el sintrom. Otra solución es restituir la luz del vaso mediante un balón que dilate la arteria o vaso ocluido (angioplastia).

Hemofilia. Es un fallo en algunos de los sistemas de coagulación. Puede ser por causa genética o ambiental (traumatismos, tóxicos). Implica la rotura de los vasos con salida de sangre a los tejidos.

Afecciones del corazón

Angina de pecho. Las situaciones en que el miocardio se ve privado de oxígeno provocan a menudo un gran dolor pectoral denominado angina de pecho. Se advierte que nunca se ignore

este dolor, porque si se prolonga la angina, las células cardíacas privadas de oxígeno pueden morir, lo que provoca un infarto. Se produce una angina si el corazón late muy rápido, pues se acortan los periodos de relajación (cuando la sangre puede fluir hasta el tejido cardíaco) y puede que el miocardio reciba un suministro sanguíneo inadecuado

Arritmias. Problemas con el ritmo cardíaco. La **taquicardia** es una frecuencia cardíaca rápida (más de 100 latidos por minuto). La **bradicardia** es una frecuencia cardíaca sustancialmente menor que la normal (menos de 60 latidos por minuto). Ninguna de estas condiciones es patológica, pero la taquicardia prolongada puede desarrollarse en una fibrilación.

Fibrilación. Es una contracción rápida y no coordinada de las fibras musculares de los ventrículos que deja al corazón totalmente inútil y es la causa principal de muerte por ataques al corazón en personas adultas. La **isquemia** cardíaca que es la falta de un suministro sanguíneo adecuado al músculo cardíaco, puede producir una fibrilación.

Insuficiencia cardíaca. Se define como un bombeo deficiente de sangre del corazón. Puede deberse a una lesión en el músculo cardíaco o de las válvulas. Provoca la acumulación de sangre en las venas y la falta de oxígeno en diversos órganos.

Infarto de miocardio. Se produce un infarto si una parte del miocardio queda sin riego, generalmente por un trombo en la arteria coronaria. El infarto de miocardio resultante suele denominarse “ataque al corazón” o “coronario”. Al quedar sin riego, falta oxígeno en el músculo cardíaco que no puede generar energía. El músculo reacciona con una glucólisis anaerobia que vierte ácido láctico y la consecuente acidificación del medio. Si no se restablece la circulación el músculo afectado muere.

Pericarditis y miocarditis. Son inflamaciones del pericardio y miocardio debidas a infecciones del corazón o a procesos endocrinos o metabólicos.

Soplos. Los soplos cardíacos son bastante comunes en los niños pequeños (y algunas personas mayores) con un corazón perfectamente sano, probablemente porque sus paredes cardíacas son relativamente finas y vibran con la sangre que se precipita. Sin embargo, los soplos en pacientes que no se incluyen en ninguno de estos grupos indican, la mayoría de las veces, problemas valvulares. Por ejemplo, si una válvula no se cierra firmemente (es incompetente), se oír un silbido después de que se cierre esa válvula (supuestamente), a medida que la sangre fluya hacia atrás a través de una válvula parcialmente abierta. Los sonidos nítidos también pueden oírse cuando la sangre fluye enérgicamente a través de las válvulas estenosadas (huecos estrechos).

Valvulopatías. Las válvulas cardíacas son dispositivos básicamente sencillos, y el corazón -al igual que cualquier bomba mecánica- puede funcionar con válvulas defectuosas siempre que el daño no sea demasiado importante. Sin embargo, las válvulas muy deformadas pueden obstaculizar la función cardíaca. Por ejemplo, una válvula incompetente fuerza al corazón a bombear y volver a bombear la misma sangre porque la válvula no se cierra correctamente y la sangre fluye hacia atrás. En la estenosis valvular, se produce un estrechamiento en la zona de la válvula, las membranas de la válvula se vuelven rígidas y el hueco es menor, a menudo debido a una repetida infección bacteriana del endocardio (endocarditis). Esto fuerza al corazón a contraerse más enérgicamente de lo normal para permitir el paso de sangre. En cada caso, la carga del corazón aumenta y éste acaba debilitándose y puede fallar. Las válvulas defectuosas se sustituyen por otra

válvula sintética, una válvula humana criogénica, o una válvula tratada con sustancias químicas extraída del corazón de un cerdo.

Problemas en los vasos sanguíneos

Aneurisma. Una sección delgada y debilitada generalmente de la pared de una arteria que sale hacia el exterior, formando un saco a modo de globo. Causas: aterosclerosis, congénitas, infecciones, traumatismos.

Aterosclerosis. Formación de placas de grasa en el interior de las arterias. Provoca aumento del gasto cardíaco que a su vez puede dar lugar a hipoxia y trombos.

Isquemia en cerebro u otra zona. La isquemia, en el cerebro u otro órgano, es la reducción del flujo sanguíneo hasta llegar a niveles que el normal funcionamiento de esa parte del cuerpo y pueden llegar a producir la muerte. Si una zona queda sin riego el líquido sanguíneo se concentra en el resto del cuerpo y se producirá un aumento de presión arterial.

Trombos. Son pequeños coágulos de sangre que taponan los vasos. Los trombos pueden dejar sin riego regiones del cuerpo. Una grave complicación de las venas varicosas es la tromboflebitis, inflamación de una vena que se produce cuando se forma un coágulo en un vaso con mala circulación. Puesto que toda la sangre venosa debe atravesar la circulación pulmonar antes de desplazarse por los tejidos corporales de nuevo, una consecuencia común de la tromboflebitis es el desprendimiento de coágulos y la embolia pulmonar, que es una enfermedad potencialmente mortal. El síndrome post-flebítico consiste en edema, dolor y cambios en la piel debido a la destrucción de las válvulas venosas.

Síncope (desmayo). Es la pérdida repentina y temporal de la conciencia seguido de una recuperación espontánea. Puede ocurrir debido a diversas razones (cardíaca, cerebral).

Varices Engrosamiento de las venas por dilatación de la capa muscular. Se desarrollan cuando las válvulas venosas que permiten que la sangre fluya hacia el corazón dejan de funcionar adecuadamente. Como resultado, la sangre se acumula en las venas y provoca las dilataciones. Estas venas dilatadas se elevan y se ven en la superficie de la piel. Suelen ser de color morado o azul oscuro y parecen estar torcidas y abultadas. Las várices se encuentran comúnmente en las partes posteriores de las pantorrillas o en la cara interna de la pierna.

Bibliografía

Finn, GM. 2013. *30-second anatomy*. Ivy Press, London.

Hansen, JT. 2015. Netter. Cuaderno de anatomía para colorear, 2ª edición. Elsevier, Barcelona.

Marieb, EN. 2008. *Anatomía y fisiología humana*. 9ª edición. Pearson Educación, Madrid.

Tortora, GJ y Derrickson, B. 2013. *Principios de anatomía y fisiología*, 13ª edición. Médica Panamericana, Madrid.

Ver <http://learn.visiblebody.com/>

http://espanol.pregnancy-info.net/ph_incompatibility.html suero anti Rh+

<http://ies.rayuela.mostoles.educa.madrid.org/deptos/dbiogeo/recursos/Apuntes/BioGeoBach1/8-Animales/AnNutCircula.htm> circulatorio

<http://ies.rayuela.mostoles.educa.madrid.org/Publicaciones/ApuntesAnatomiaAplicada/6-circulatorio/Circulatorio.htm> circulatorio ampliación

<http://www.cobach-elr.com/academias/quimicas/biologia/biologia/curtis/inicio.htm> Libro clásico de consulta Biología H. Curtis 6ª edición

<http://cnfuentesnuevas.byethost18.com/> páginas de 1º de Bachillerato del IES Fuentes Nuevas Ponferrada

http://www.genomasur.com/BCH/BCH_libro/capitulo_06.htm circulatorio, linfático

<https://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/bloodheartandcirculation.html> páginas de medline plus, gobierno USA

<http://www.uaz.edu.mx/histo/TortorAna/ch22/ch22.htm> sistema linfático

<https://www.youtube.com/watch?v=n6CQvWjXgM&feature=related> video corazón

<http://www.biologieenflash.net/animation.php?ref=bio-0011-2> flash animation

<http://www.juntadeandalucia.es/averroes/~29701428/salud/ssv/circu0.htm> láminas interactivas