

Tema 23

Sistema vascular.

Circulación sistémica arterial.

Índice:

1. Introducción a la fisiología de la circulación.

1.1 Características generales del sistema circulatorio

1.2 Interrelación presión, resistencia, flujo

1.3 Ley de Poiseuille

1.4 Resistencias en serie y en paralelo

1.5 Onda de presión

2. Características de los vasos sanguíneos

2.1 Área de sección transversa

2.2 Características de los vasos

2.3 Importancia de los vasos de capacitancia

3. Velocidad del flujo sanguíneo y volumen de flujo sanguíneo.

4. Presión arterial sistólica, diastólica y media: presión diferencial

5. Como tomar correctamente la presión arterial

1. Introducción a la fisiología de la circulación.

El sistema de circulación es un sistema de transporte específico que permite la comunicación eficaz de las células con el medio externo y comunicación entre las distintas células.

No solo transporta, pero es una de sus principales funciones, incluido el transporte de calor que es muy importante. Entre sus funciones encontramos las siguientes:

- Transporte de nutrientes.
- Transporte de O₂.
- Eliminación de los productos de desecho del catabolismo.
- Comunicación intertisular.
- Transporte celular.
- Transporte de calor.

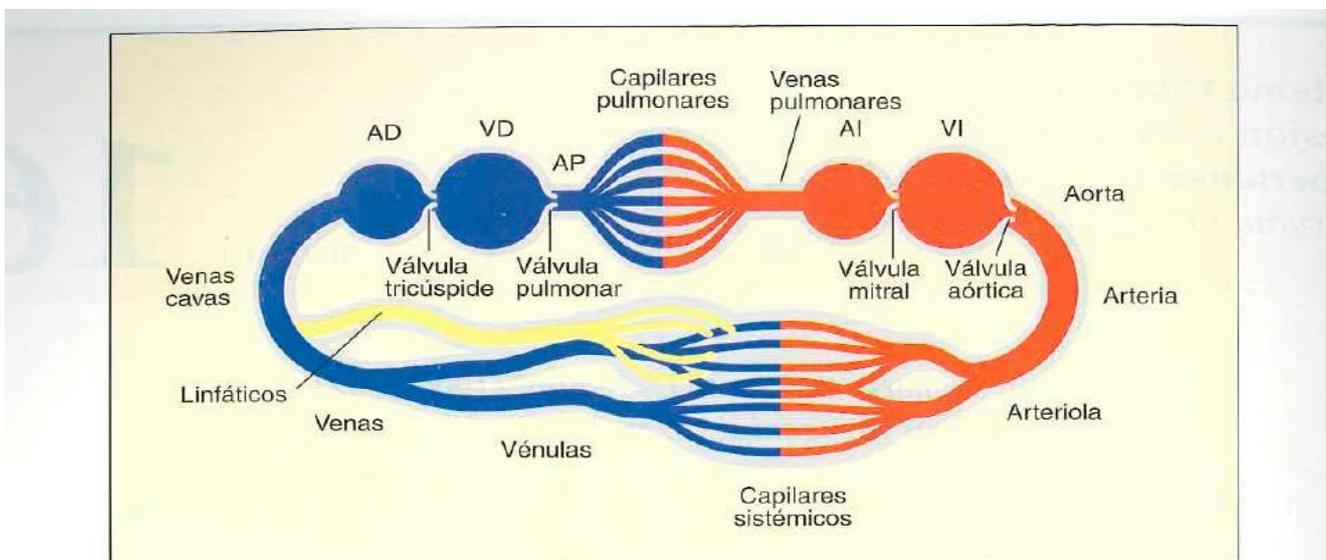


Fig. 16-1. Circuitos mayor y menor. El corazón está compuesto por dos bombas en serie.

No es del todo cierto que el sistema circulatorio sea cerrado con una bomba, en realidad si ordenamos espacialmente, el sistema tiene 2 bombas, el corazón izquierdo y derecho y estas están en serie, en realidad son 2 bombas por lo tanto. (En la imagen superior se representa esto).

1.1 Características generales del sistema circulatorio:

Elementos del sistema circulatorio:

- bomba (corazón),
- conductos (vasos)
- y el fluido a transportar (sangre-hematocrito-viscosidad).

2 circuitos conectados en serie: (es un circuito cerrado)

- Circulación sistémica
- Circulación pulmonar: La oxigenación se realiza con elevada eficacia ya que toda la sangre tiene que pasar por el pulmón.

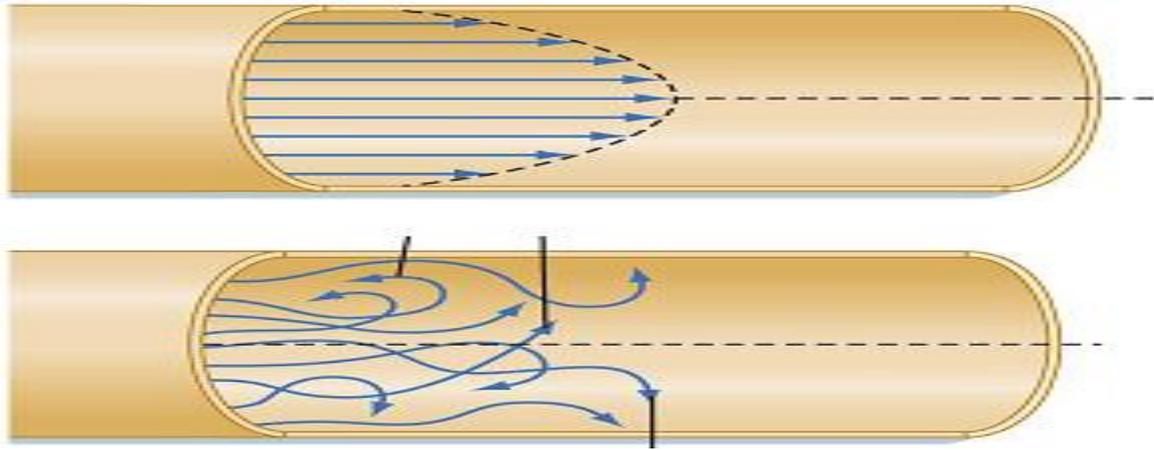
Es necesario que los tejidos sean capaces de captar las sustancias útiles y eliminar las de desecho: para ello se produce una ramificación hasta capilares:

- La distancia de cualquier célula al capilar más próximo es mínima.
- La superficie de contacto de la sangre con las células del tejido es máxima.
- La velocidad del flujo es mínima a nivel capilar.

Hay que tener en cuenta que los vasos son tuberías, pero no son todas iguales ni todas hacen lo mismo, aunque todas tienen su función de conducir. También hay que tener en cuenta que la viscosidad de la sangre es relevante.

El sistema garantiza a todas las células estar a una distancia razonable de un capilar, excepto el cristalino y la cornea, que son avasculares, (el capilar más cercano está en el cuerpo ciliar), se alimentan a través de la difusión del humor acuoso, por necesidad de la función carecen de vasos, pero el resto de estructuras del cuerpo tienen un capilar cerca. La superficie de intercambio es por lo tanto máxima, y la velocidad a la que pasa la sangre por el capilar es la adecuada para que pueda tener lugar el intercambio.

El flujo de un líquido altamente viscoso como es la sangre siempre ocurre en los vasos como se representa en la figura de abajo, (la parte central es más rápida que la periférica), esto permite que se puedan marginar células, además existe estrés por cizallamiento y esto permite que se libere NO (vasodilatador). Todas las tuberías humanas están diseñadas para que lo que circule por ellas lo hagan en régimen laminar y no el turbulento y esto es importante. El régimen turbulento produce ruido que es audible. El cambio de régimen laminar a turbulento puede estar producido por un aumento de la velocidad. Y se da cuando el valor del número de Reynold supera el valor de 3.000.



En el vaso superior podemos ver de qué manera circula la sangre por los vasos. La parte central va más rápido que la periférica. En el inferior vemos como lo haría en régimen turbulento, (pero esto en condiciones normales no ocurre).

1.2 Interrelación presión, resistencia, flujo

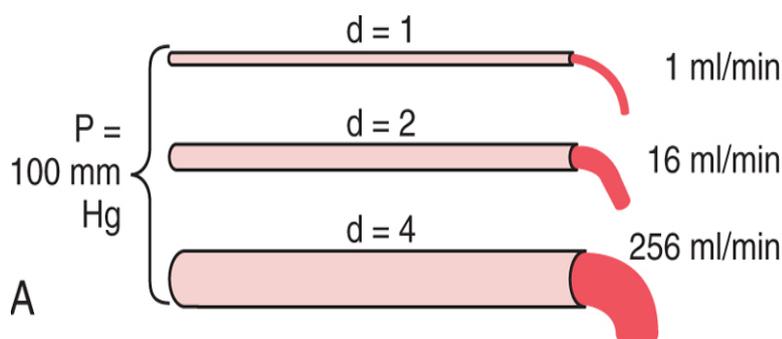
Estas 3 variables (flujo, presión y resistencia se relacionan por la ley de Ohm de la siguiente manera: $F = \Delta P/R$ (flujo= incremento de presión/resistencia)

La resistencia la podemos modificar en un sistema de diversas maneras (modificando la longitud o el diámetro), si de los 4 carriles de una avenida cortamos 2 provocaremos un tapón, o si quitamos un carril solo pero durante mucha longitud también aumento la resistencia. Pero en los vasos solo modificamos el diámetro ya que la longitud de los vasos no se puede modificar.

1.3 Ley de Poiseuille

$$Q = \frac{\pi (P_i - P_o) r^4}{8\eta l}$$

A partir de esta ecuación podemos ver como el flujo (Q) a través de un tubo aumentará al hacerlo el gradiente de presión (desde la entrada P_i a la salida P_o), también aumentará cuando lo haga el radio (r) del tubo. Y disminuirá el flujo cuando aumente la viscosidad del líquido o la longitud (l) del tubo.



En esta imagen queda representado como aumenta el flujo en proporción a la cuarta potencia del radio. Por este motivo una pequeña modificación del radio puede producir grandes modificaciones en el flujo. (Esto lo realizan principalmente las arteriolas como veremos más adelante)

1.4 Resistencias en serie y en paralelo

Por lo general los capilares del organismo están dispuestos en paralelo (supone menos esfuerzo para el organismo vencer las resistencias en paralelo), pero hay algunas excepciones en las cuales están dispuestos en serie.

- **Resistencia de los vasos en serie:** Cuando las resistencias se disponen en serie, la resistencia total (R_t) equivale a la suma de las resistencias individuales.
- **Resistencia de los vasos en paralelo:** Cuando las resistencias se disponen en paralelo, la inversa de la resistencia total, (R_t), equivale a la suma de las inversas de las resistencias individuales.

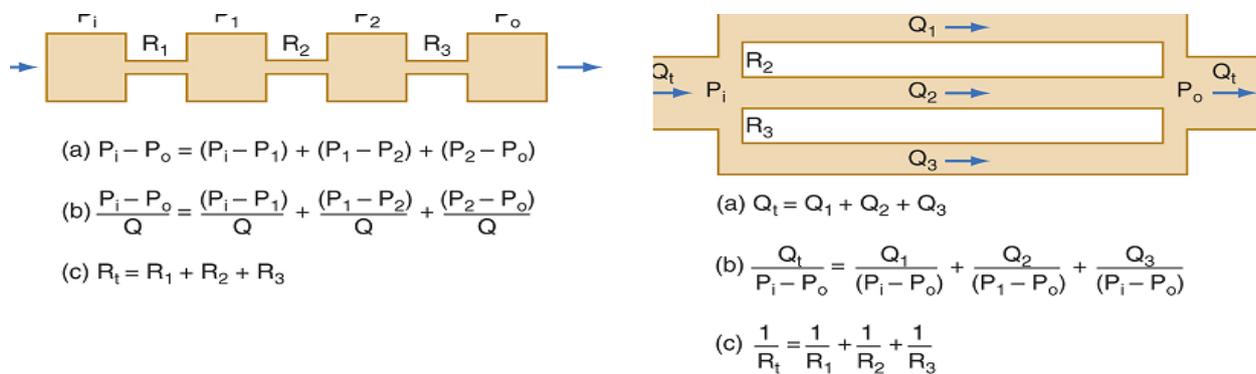
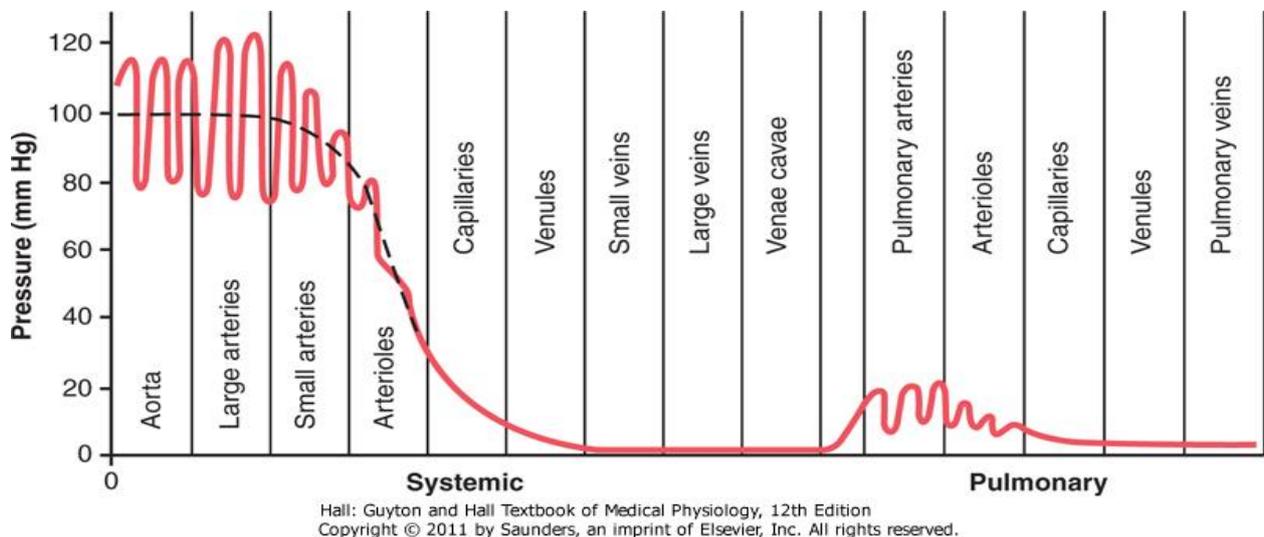


Imagen de la izquierda resistencia en serie a la derecha resistencia en paralelo.

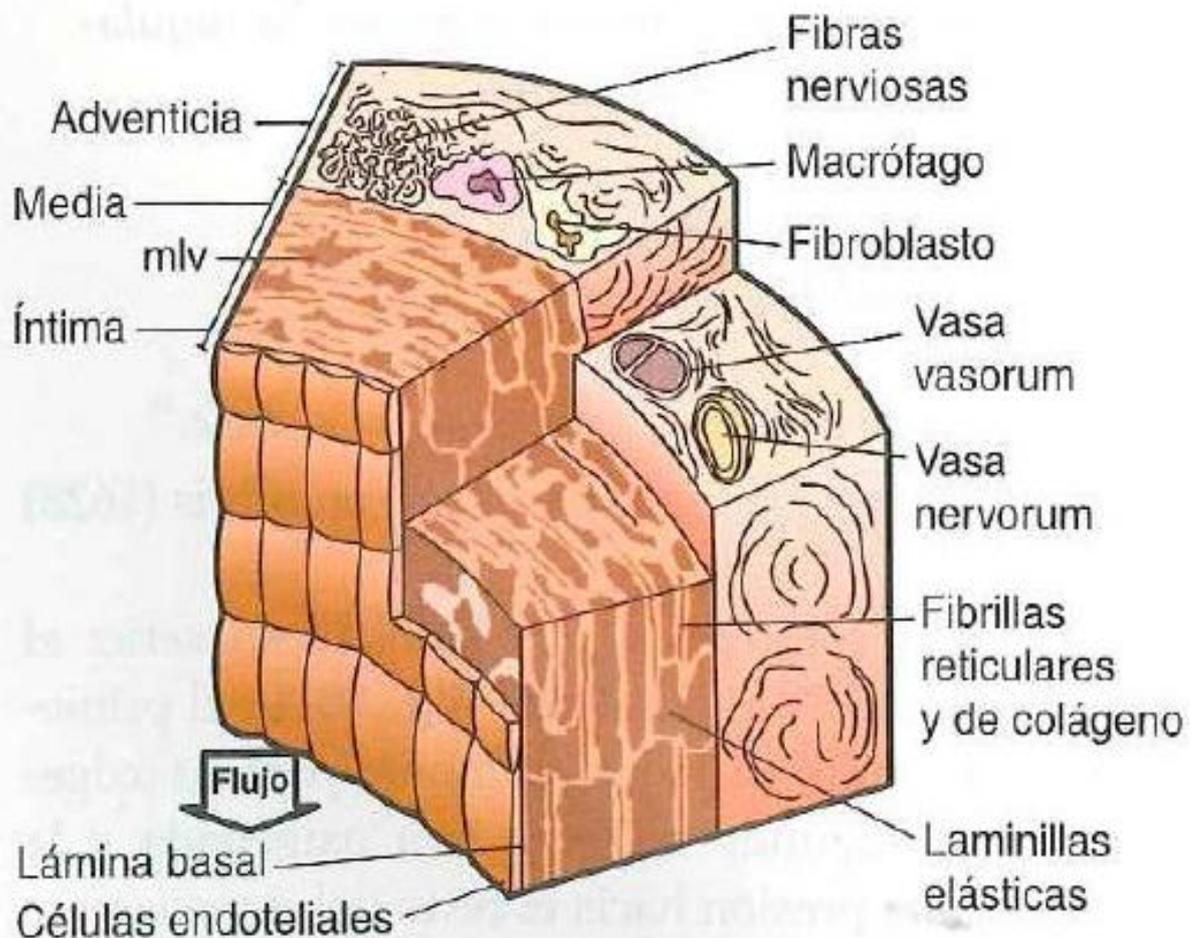
1.5 Onda de presión



A lo largo del circuito la onda de presión tiene este perfil, en las zonas de grandes arterias vemos la onda de presión, las oscilaciones son entre el valor de la presión mínimo y máximo de la presión arterial. Desde la aorta hasta la aurícula derecha hay un gradiente de presión porque sino no habría flujo. El gradiente de presión desde la vénulas hasta la aurícula derecha es ascendente (en la mayoría del cuerpo), y el gradiente de presión es muy bajo, por eso el retorno venoso es complicado. De la aurícula derecha a la izquierda, se produce un circuito de baja presión (1 sexto de la sistémica), es la circulación pulmonar.

2. Características de los vasos sanguíneos

- **Vasos:** hay que entender que no son simples tuberías ya que son tejidos concebido para hacer cada uno una cosa distinta
- **Estructuras elásticas y dinámicas:** Se contraen, relajan y proliferan.
- **Capas:** todos los vasos tienen 3 capas. (las podemos ver en la imagen de abajo)
 - **Íntima:** monocapa de células endoteliales
 - **Media:** células musculares lisas y fibras elásticas y de colágeno.
 - **Adventicia:** fibras colágenas, fibroblastos (se encargan del crecimiento de los vasos), y fibras nerviosas, (son los nervios de los vasos, son aquellos nervios que sirven a la función vascular), en esta capa también encontramos los vasos de los vasos, (vasa vasorum).



2.1 Área de sección transversa

Si hacemos una sección de la Aorta nos encontramos con que proporcionalmente a la superficie de la circunferencia la pared es más gruesa que en una vena.

El área de sección transversa aumenta y es máximo en el territorio capilar, ya que en la aorta es solo la superficie transversa de la Aorta, en los capilares, **hay que sumar todas las superficies de secciones transversas de todos los capilares**, esto garantiza que la presión vaya disminuyendo y se mantenga así el gradiente de presión.

La mayor parte de la sangre se encuentra en las venas, que actúan como reservorio de sangre.

La mayor velocidad está en las arterias, en los capilares es la más lenta, y en las venas recupera algo de velocidad.

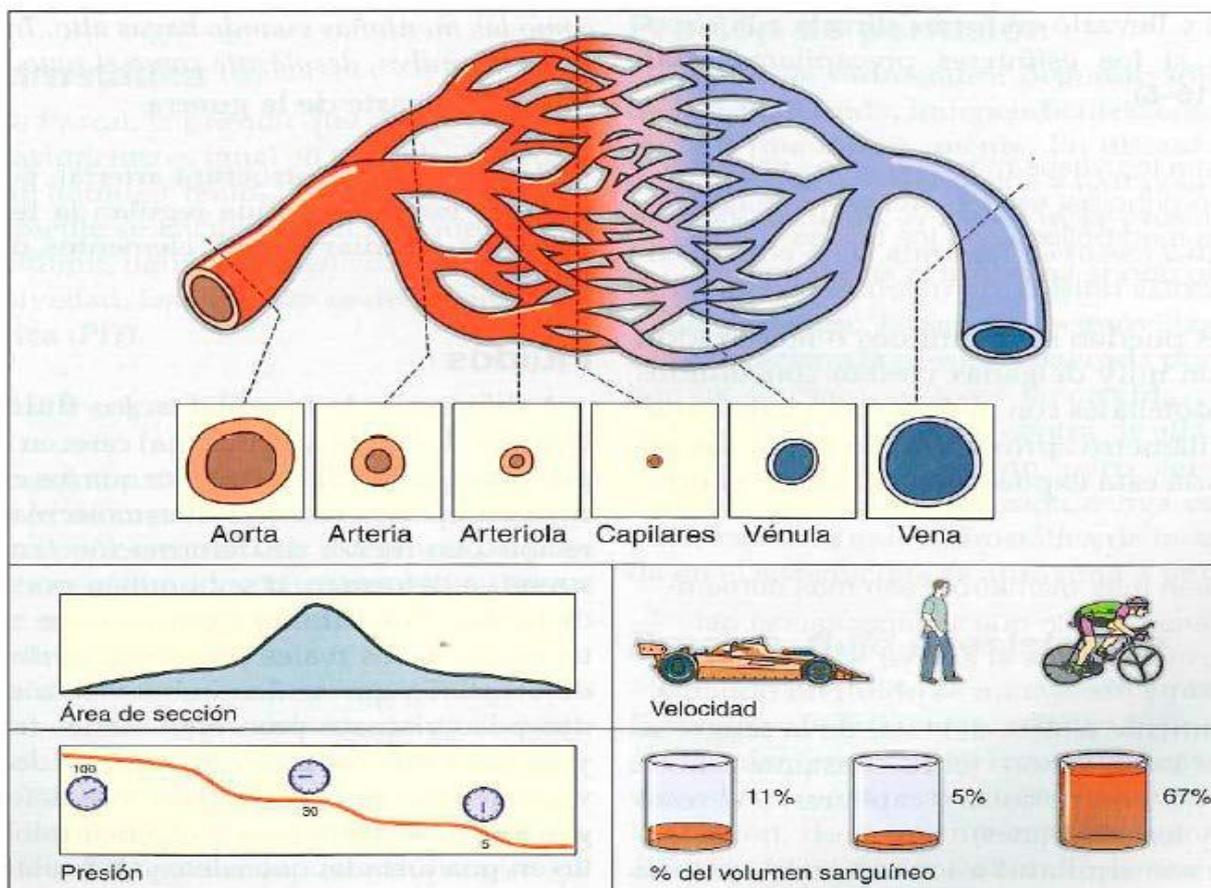


Fig. 16-4. Relación estructura-función en el sistema vascular.

En esta imagen se ilustra muy bien lo comentado en el párrafo de arriba, en la parte superior vemos como la aorta tiene un grosor mucho más elevado que cualquier otro vaso, (debido a que soporta las presiones más altas). En la primera gráfica vemos como aumenta el área de sección transversa a medida que vamos hacia el territorio capilar y disminuye de nuevo conforme pasamos a vénulas y venas; y en la gráfica de abajo se ve como cae la presión garantizando así que la sangre fluya en un sentido.

Cuadro comparativo con los componentes del endotelio de cada tipo de vaso

Tabla I

Región	Endotelio	Músculo liso	Elastina	Colágeno	Espesor pared	Diámetro luz
Aorta	Sí	+	++++	++	2 mm	2,5 cm
Arteria	Sí	++	+++	++	1 mm	0,4 cm
Arteriola	Sí	++++	++	+	20 μ	30 μ
Capilar	Sí	--	--	--	1 μ	5 μ
Vénula	Sí	--	--	+	2 μ	20 μ
Vena	Sí	+	++	++	0,5 mm	0,5 cm
Cava	Sí	++	++	+++	1,5 mm	3 cm

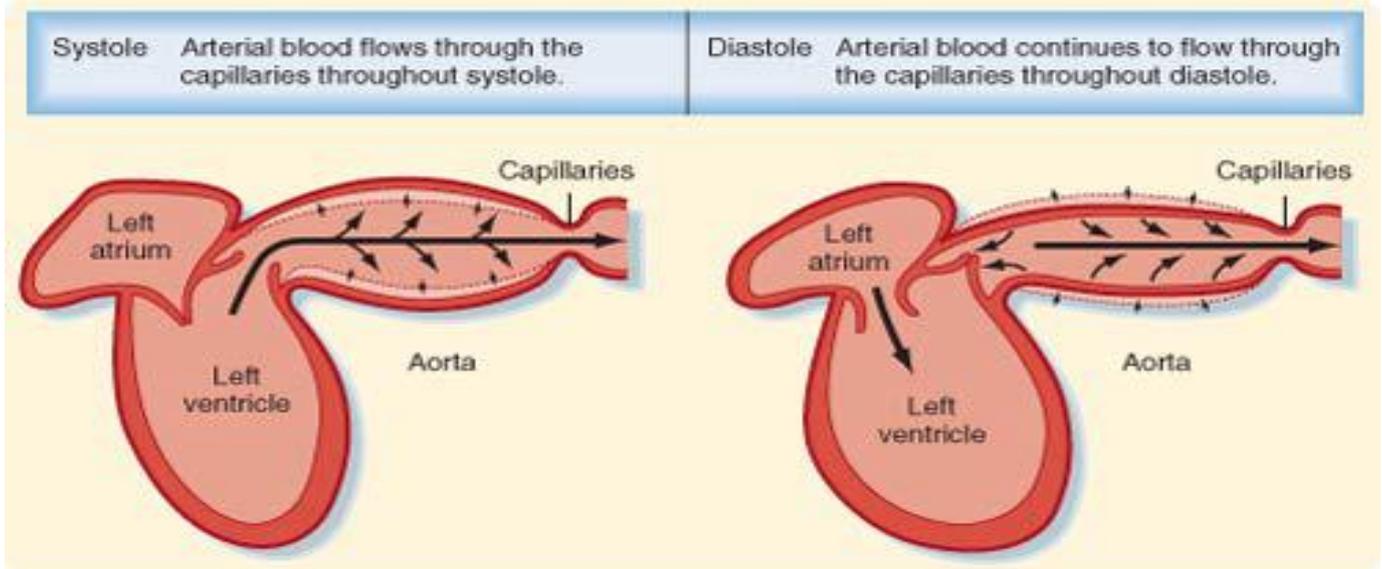
Todo el volumen sistólico que saca el ventrículo hay que meterlo en la Aorta, por lo tanto la presión que soporta la pared aortica es muy grande. Para poder soportar mejor esa presión la pared de la Aorta es elástica eso ayuda a poder meter tanto volumen en tan poco sitio, pero además por ser elástica puede volver a su estado primitivo, esto flexibiliza la entrada de la sangre en el cayado, si la pared pierde elasticidad es necesario hacer más fuerza para meter la sangre, y esto hace aumentar la tensión arterial (la perdida de elasticidad de las arterias que se produce con la edad).

2.2 Características de los vasos

- **Arterias:** Conducen la sangre a alta presión a los tejidos. La proporción de fibras disminuye con el tamaño arterial (cuanto menos tamaño menos fibras) y la del músculo liso aumenta (cuanto menos tamaño más proporción de músculo liso, pero hasta llegar a las arteriolas, por que los capilares no tienen músculo liso).
- **Aorta:** muy elástica para soportar altas presiones y variaciones rápidas de presión. Es un vaso de **conductancia** (las arterias grandes son vasos de conductancia).
- **Arteriolas:** más musculosas. La contracción y relajación de las fibras musculares produce grandes variaciones en el diámetro. Las arteriolas regulan el flujo y la presión a la que pasa la sangre por un territorio determinado gracias a su **capacidad de resistencia**
- **Capilares:** **Intercambio** de sustancias entre la sangre y el tejido.
- **Venas:** menos fibras elásticas y menos células musculares que las arterias. Pared más fina y diámetro mayor. Más distensibles. Actúan como reservorio. **Capacitancia.**

2.3 Importancia de los vasos de capacitancia:

COMPLIANT

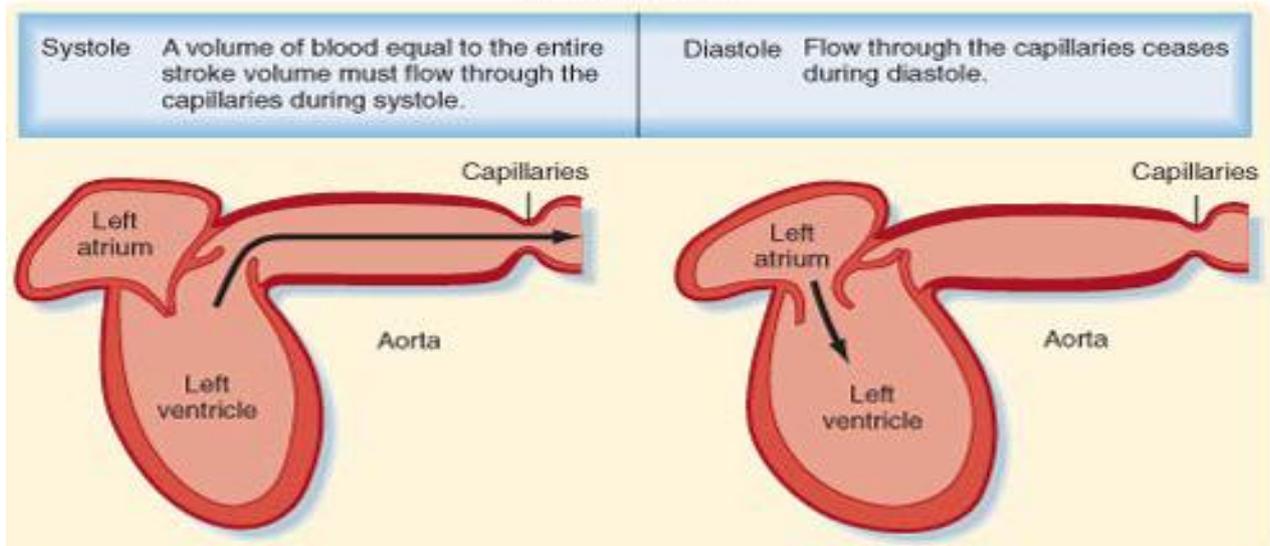


A When the arteries are normally compliant, a substantial fraction of the stroke volume is stored in the arteries during ventricular systole. The arterial walls are stretched.

B During ventricular diastole the previously stretched arteries recoil. The volume of blood that is displaced by the recoil furnishes continuous capillary flow throughout diastole.

Los vasos de conductancia gracias a su elasticidad absorben la onda de presión y la devuelven al sistema. Gracias a esto, se permite que durante las fases sístole, (*imagen izquierda*), y diástole, (*imagen derecha*), podemos modificar la resistencia del sistema y disminuirla.

RIGID ARTERIES



En la imagen veos lo que ocurre cuando las arterias son rígidas, (ocurre poco a poco con la edad), las arterias rígidas no pueden acumular nada del volumen sistólico, y al no haber elasticidad es necesario hacer más fuerza para meter el volumen de sangre y esto hace aumentar la tensión arterial.

Nota: Cuando las arterias tienen una distensibilidad normal, la sangre fluye a través de los capilares durante todo el ciclo cardíaco. Cuando las arterias son rígidas, la sangre solo fluye por los capilares durante la sístole, pero se interrumpe durante la diástole.

3. Velocidad del flujo sanguíneo y volumen de flujo sanguíneo.

- La velocidad del flujo es inversamente proporcional al área de la sección transversal. (le mayor velocidad se da en las arterias, que es donde menor área de sección transversal hay, la menor velocidad se da en los capilares, que es donde mayor sección transversa hay)
- El área transversal aumenta coincidiendo con el número de ramificaciones. (como se ha dicho antes, donde más hay es en los capilares)
- La velocidad de flujo en la aorta es de casi 33 cm/s, mientras que se va haciendo progresivamente más lenta a medida que disminuye la luz vascular hasta alcanzar los 0,3 cm/s en los capilares.
- Es importante distinguir el concepto de **flujo** (volumen de fluido por unidad de tiempo) y que es constante en todas las secciones del sistema del de **velocidad de flujo** (espacio recorrido por unidad de tiempo).
- El flujo es constante a lo largo del sistema porque tiene que pasar la misma suma de sangre por todas partes.

4. Presión arterial sistólica, diastólica y media: presión diferencial. *(nota: es importante saber definir la presión arterial en todas sus acepciones, los valores son menos importantes)*

- **Presión arterial:** Es la fuerza ejercida por la sangre contra la superficie de la pared vascular. Es el resultado de dos fuerzas opuestas: Gasto cardíaco y Resistencia al paso de la corriente. Se mide en mmHg.

En cada ciclo cardíaco la presión en la aorta y las demás arterias pasa por un máximo (**presión sistólica**) y luego disminuye hasta un mínimo (**presión diastólica**).

La presión arterial sistólica, (PAS), es el valor máximo de presión que se alcanza a nivel de las grandes arterias tras la sístole. Tiene un valor medio de 120 mmHg

La presión arterial diastólica, (PAD), es el valor mínimo de presión en las grandes arterias justo antes de la siguiente sístole. Tiene un valor medio de 80 mmHg

- **Presión diferencial:** Presión sistólica – Presión diastólica.
- **Presión arterial media:** Indica la Presión con que la sangre llega a todos los tejidos de nuestro organismo. El cálculo exacto debería realizarse con la media de todos los valores de presión a lo largo del ciclo cardíaco.
Es igual a la Presión arterial diastólica + 1/3 Presión diferencial.

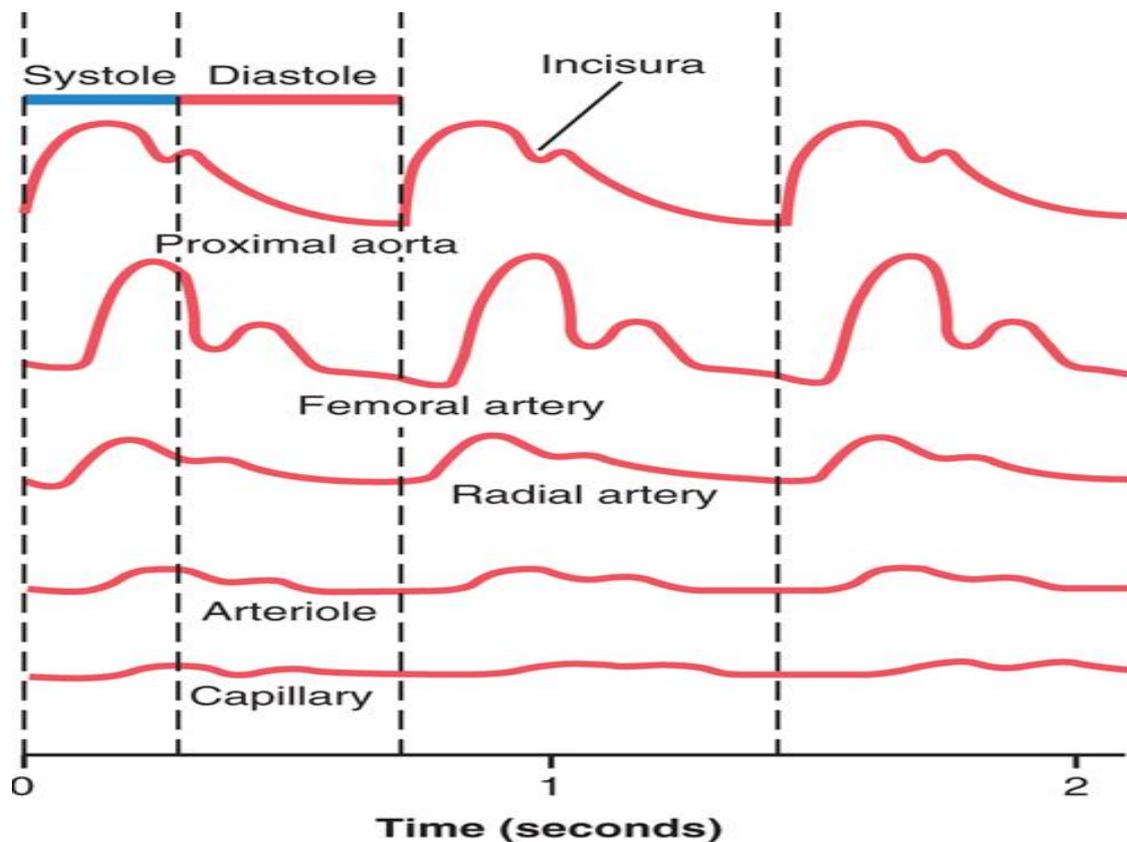
Nota: la presión arterial media NO es igual a la media de las presiones arteriales diastólica y sistólica. El valor de presión arterial media está más cercano al de la presión diastólica que al de presión sistólica

Los valores medios de presión pueden variar según: edad, sexo, biotipo, sueño, emociones, esfuerzo físico, ...

Como los valores fisiológicos dependen de la edad, entre los 10 y 60 años se cumple que:

- Presión sistólica o máxima = $100 + \text{edad}$ en mm de Hg
- Presión diastólica o mínima = $\text{presión sistólica}/2 + 10$ en mm de Hg

Evolución del impulso de presión a medida que avanzamos hacia vasos más pequeños:



En esta gráfica podemos ver que el perfil de la onda de presión va variando. A medida que nos alejamos en el árbol arterial. Tenemos perfiles diferentes de presión.

5. Como tomar correctamente la presión arterial. *(nota: esto no es excesivamente relevante de cara al examen, las definiciones de las presiones arteriales si).*

1. colocamos un manguito de presión a más presión que la presión arterial máxima
Cuando el valor de la presión es mayor que la PAS, las arterias que haya en el brazo envuelto por el manguito estarán cerradas por que la presión sobre su pared es mayor que la de la sangre, no se oye nada.
2. dejamos salir aire del manguito y la presión va disminuyendo, cuando la presión arterial sistólica sea mayor que la presión en el manguito lo que ocurrirá es que pasara sangre y como pasa en régimen turbulento lo oímos. El valor que marca el esfigmomanómetro cuando oímos el primer ruido es aproximadamente el de la PAS
3. sigo bajando la presión y cuando dejo de oírlo es que ha pasado a régimen laminar. El valor que obtengo de PAD es ligeramente inferior al real.

