

DR. ALFREDO LOPEZ LOPEZ
MEDICO ANESTESIOLOGO

Ciclo cardiaco

Ciclo cardiaco

Comprende todos los eventos que ocurren en el corazón desde el inicio de un latido hasta el comienzo del siguiente.

Los momentos que componen el ciclo son:

En sístole: ① Contracción isovolumétrica

② Fase de eyección, vaciamiento o bombeo

En ③ Relajación isométrica

diástole: ④ Fase de llenado: Llenado ventricular rápido

Llenado ventricular lento

Fase de sístole auricular o presístole ventricular

Ciclo cardiaco

SÍSTOLE

1. Contracción isovolumétrica: Se tensiona la pared cardiaca y comienza a aumentar la presión del ventrículo, este aumento de presión hace que la sangre busque por donde salir entonces se cierra las válvulas AV (**corresponde a S1**) para que no haya regurgitación sanguínea al atrio. El volumen permanece constante, la presión va en aumento.

2. Fase de eyección: Las válvulas AV siguen cerradas, el ventrículo supera levemente la presión de la aorta y se abre la válvula aórtica (sucede igual con la válvula pulmonar), con lo que comienza la eyección. A medida que disminuye el volumen la presión también lo hace.

DIÁSTOLE

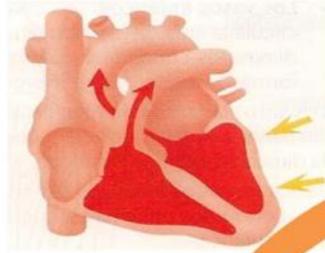
3. Relajación isométrica: Las válvulas AV permanecen cerradas, se cierran las semilunares (**corresponde a S2**). No hay entrada ni salida de sangre. En este momento la presión ventricular es mayor que la atrial, pero menor que la aórtica por lo que la sangre no fluye hacia ningún lado, y el volumen ventricular permanece constante.

Ciclo cardiaco

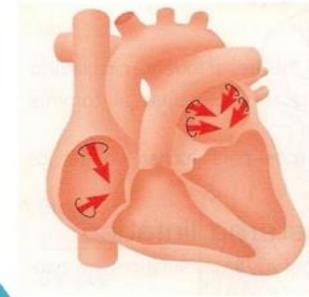
4. Fase de llenado:

- Llenado ventricular rápido: Se abren las válvulas AV y fluye sangre rápidamente desde la aurícula hacia el ventrículo. Debido al flujo rápido se puede producir un **tercer ruido cardiaco que corresponde a S3.**
- Llenado ventricular lento: el ventrículo sigue relajado y está recibiendo el flujo que le llega de la aurícula.
- Contracción auricular o presístole ventricular: La aurícula se contrae para terminar de llenar el ventrículo, esto puede corresponder a un **cuarto ruido cardiaco S4.**

Diástole
ventricular



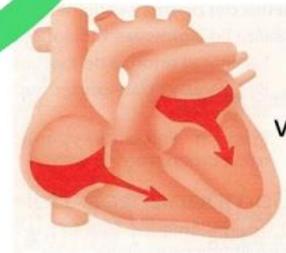
4. llenado
ventricular



1. contracción
isovolumétrica

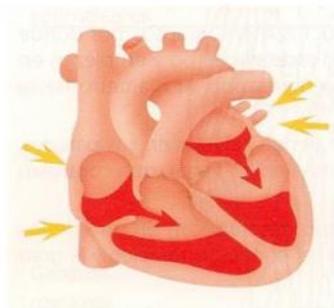
ciclo
cardiaco

2. eyección



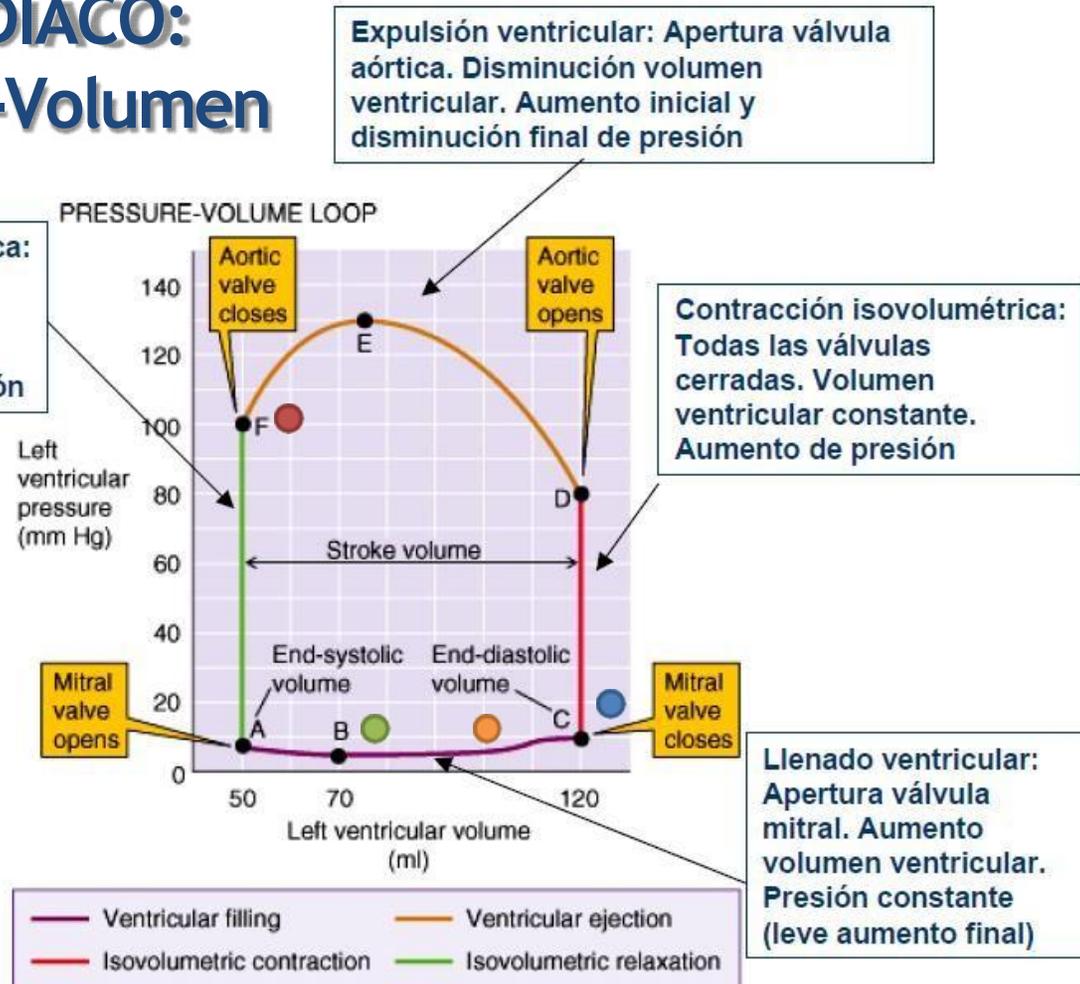
Sístole
ventricular

3. relajación
isovolumétrica



CICLO CARDIACO: Curva Presión-Volumen

- S1: Cierre válvulas AV
- S2: Cierre válvulas semilunares
- S3: Llenado V rápido
- S4: Contracción auricular

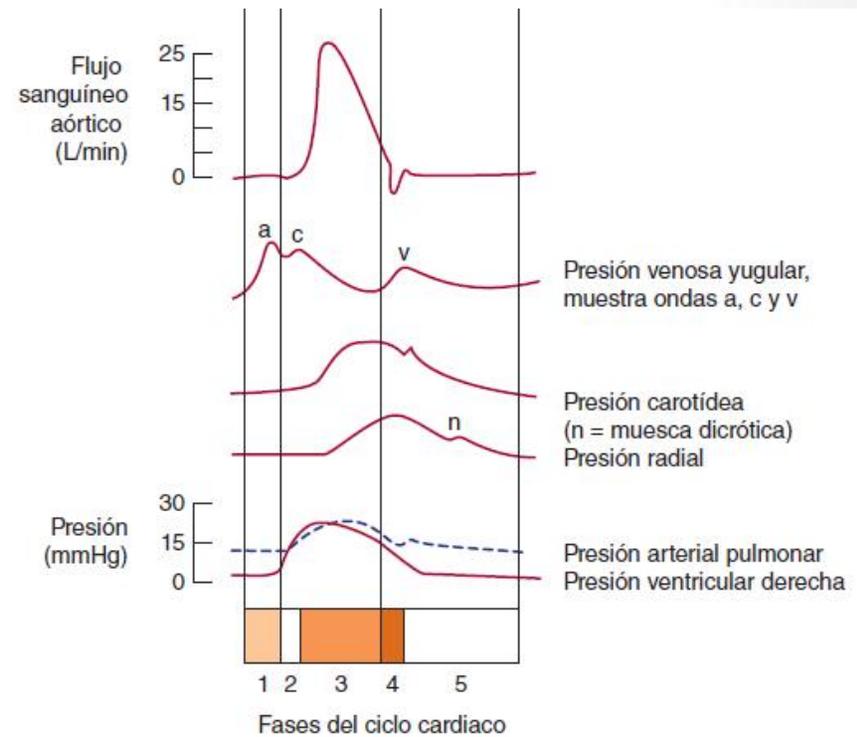
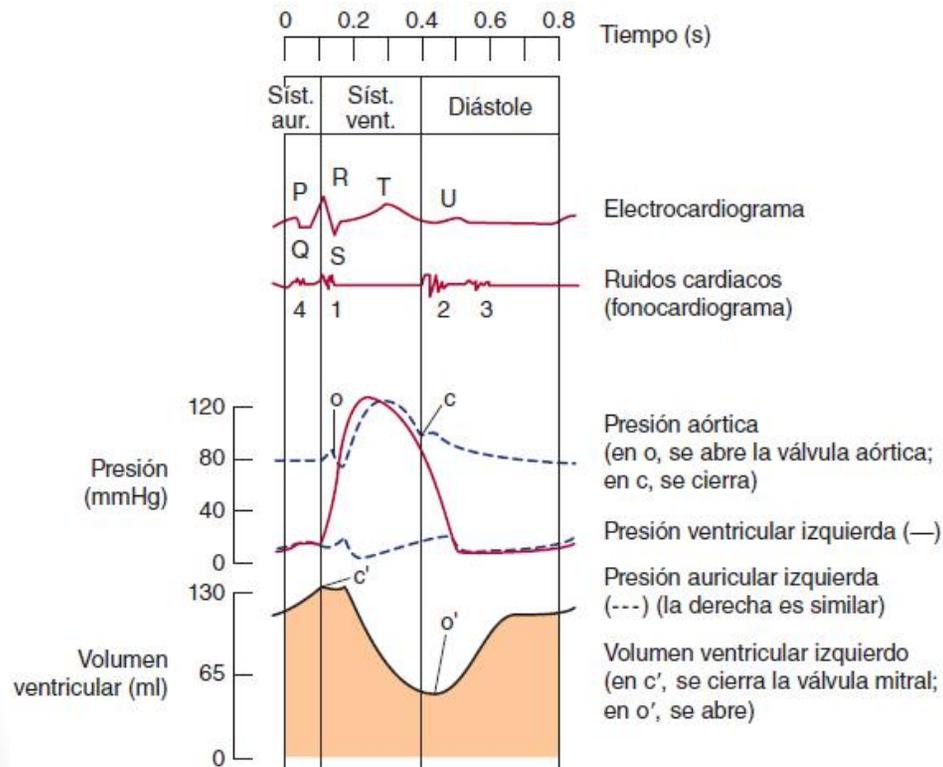


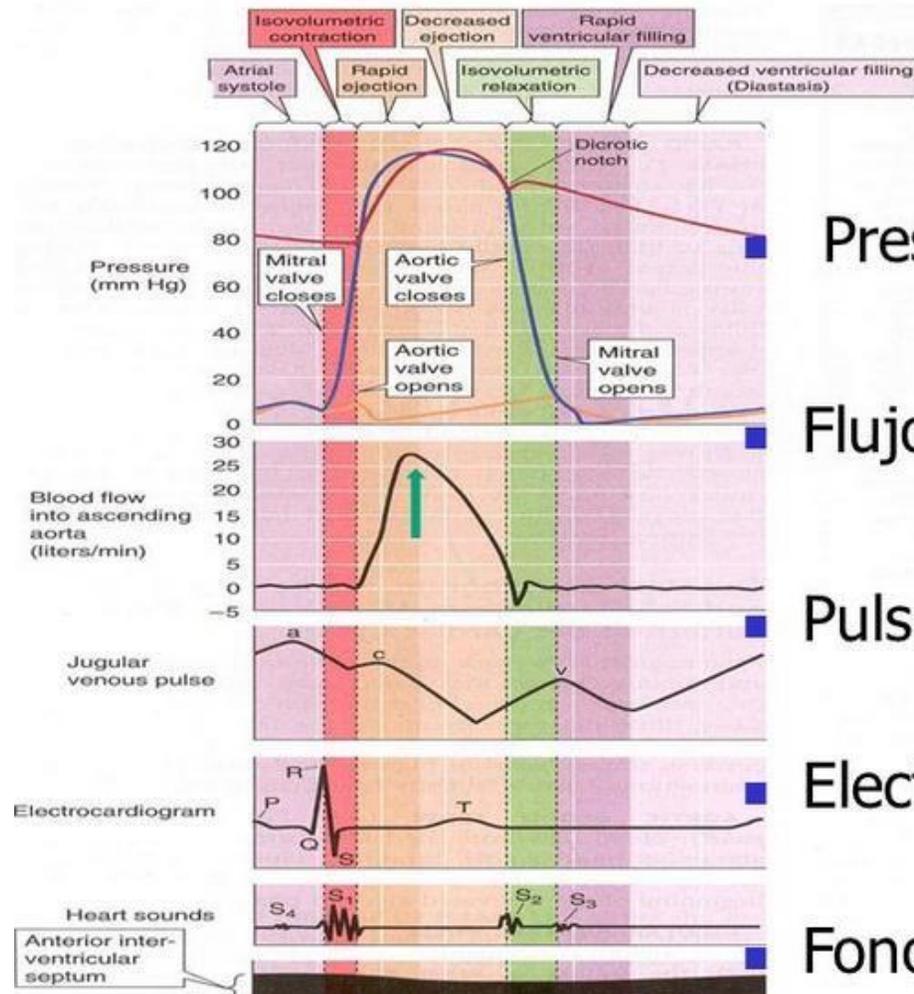
Ciclo cardiaco

- Presión de la aorta: 80 mmHg
- Presión de la arteria pulmonar: 10 mmHg
- Presión ventrículo izquierdo 120 mmHg
- Presión ventrículo derecho: 25 mmHg

- Volumen ventricular al final de la diástole **130 ml.**
- Cada ventrículo expulsa **70 a 90 ml** por latido en reposo.
- Volumen ventricular al final de la sístole **50 ml.**
- **Fracción de eyección 65%** → es un índice de función ventricular

Ciclo cardiaco





Ciclo cardiaco

Presión aórtica

Flujo aórtico

Pulso venoso

Electrocardiograma

Fonocardiograma

Gasto cardiaco

Gasto cardiaco



Gasto cardiaco

- Duración sístole → 1/3 del ciclo cardiaco
- Duración diástole → 2/3 del ciclo cardiaco
- El gasto cardiaco es en promedio 5

L

Cuando hay aumento de la frecuencia cardiaca se ve más afectada la duración diastólica

Durante la diástole el miocardio descansa, se da el flujo coronario, y se llena el ventrículo con el flujo que expulsará posteriormente

Gasto cardiaco

CUADRO 31-3 Efecto de diversas situaciones en el gasto cardiaco

Situación o factor ^a	
Sin cambio	Sueño
	Cambios moderados en la temperatura ambiental
Aumento	Ansiedad y excitación (50-100%)
	Alimentación (30%)
	Ejercicio (hasta 700%)
	Temperatura ambiental elevada
	Embarazo
Descenso	Adrenalina
	Sentarse o ponerse de pie desde el decúbito (20-30%)
	Arritmias rápidas
	Enfermedad cardiaca

^aLos porcentajes aproximados se muestran entre paréntesis.

Catecolaminas: efecto inotrópico y cronotrópico positivos

Estimulación vagal: efecto inotrópico negativo

Presión arterial

Dos sistemas: Alta y baja presión.

Vasos de Resistencia:
Arterias.

Vasos de Capacitancia: Venas.

La regulación vascular es dinámica en el sistema arterial y estática en el sistema venoso.

Regulación dinámica para el sistema
arterial flujo $Q = \text{presión/resistencia al}$
flujo

$$Q =$$
$$P/R$$

Regulación estática para el sistema venoso
volumen = presión/elastancia (resistencia a la distensión de las
paredes)

$$Q = P/E.$$

	Arterias	Venas
Capacitancia	Baja	Alta
Elastancia	Alta	Baja
Presión dinámica	Alta	Baja
Resistencia al flujo	Alta	Baja

La capacitancia (DQ/DP) es la magnitud del aumento del volumen Q que genera un aumento de presión P .

Es más baja en las arterias que en las venas.

La elastancia es lo contrario de la capacitancia: $E = DP/DQ$ y es más elevada en las arterias.

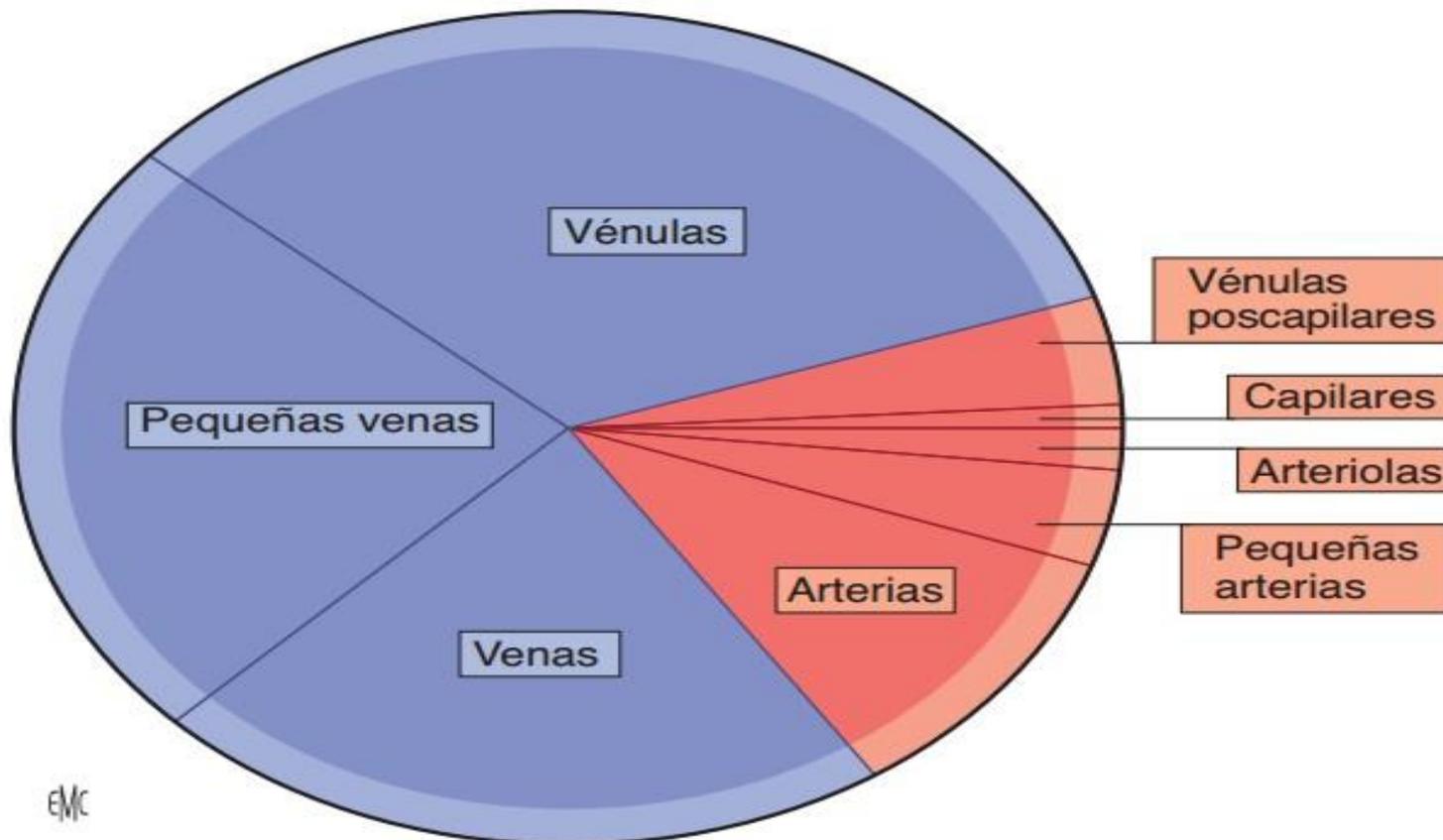


Figura 1. La distribución de la volemia sistémica es claramente favorable al sistema venoso; el contenido arterial sólo representa el 14% de la volemia total (según Rushmer).

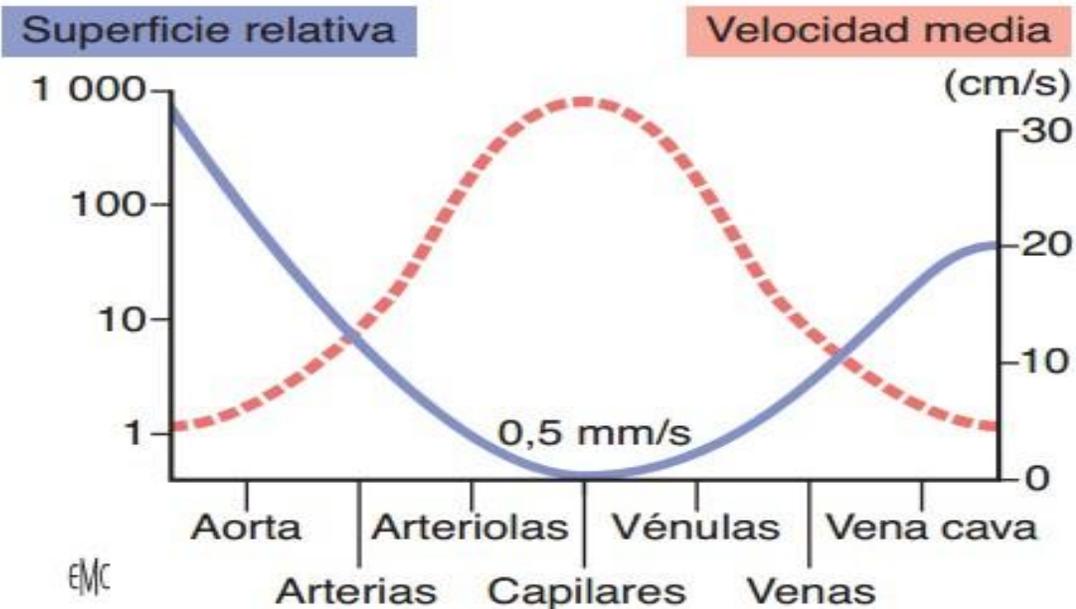


Figura 2. La línea de puntos representa los cambios de superficies relativas totales del lecho vascular (escala logarítmica). La línea continua representa la velocidad media en diversos tipos de vasos (según Gurton).

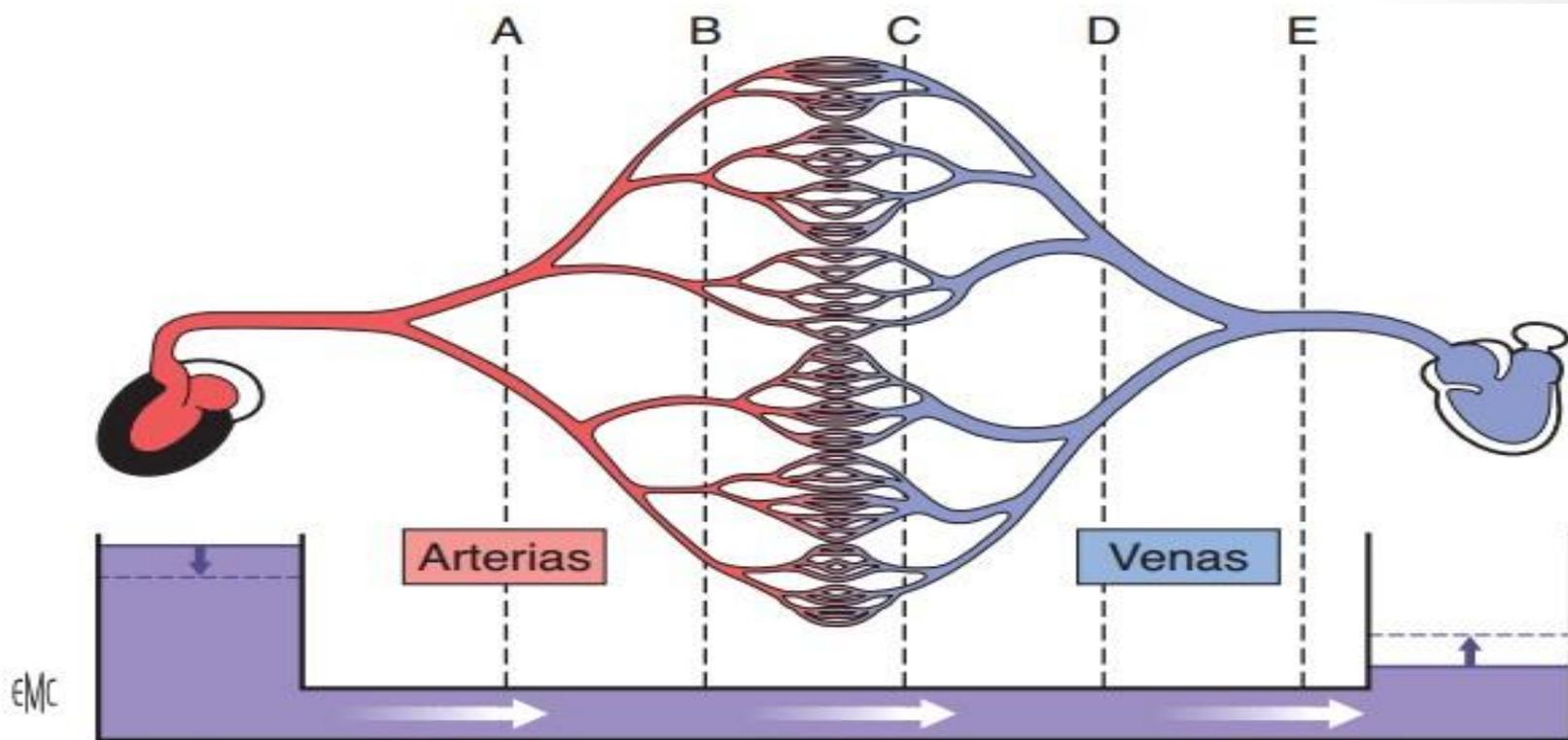


Figura 3. La distribución divergente del sistema arterial, las ramificaciones capilares y las convergencias venosas se presentan de forma esquemática; una disposición vertical reagrupa los vasos del mismo calibre. El volumen de líquido que atraviesa cada columna vertical por unidad de tiempo es igual al volumen que entra y sale; es lo que sucede en el tubo único (según Rushmer).

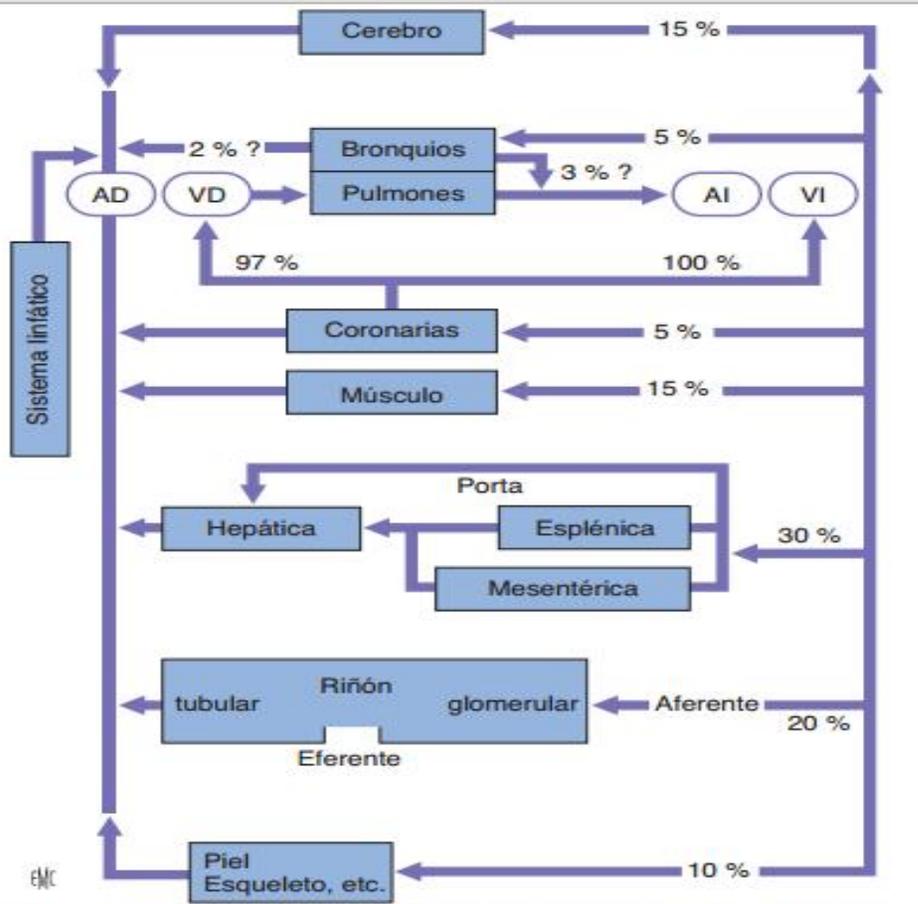


Figura 4. Distribución del flujo sanguíneo en diversos territorios del organismo. Este esquema representa las cavidades cardíacas (AD: aurícula derecha; VD: ventrículo derecho; AI: aurícula izquierda; VI: ventrículo izquierdo), las arterias, la microcirculación y las venas. Las líneas continuas representan las arterias y las venas; las flechas señalan el sentido de la circulación; los recuadros esquematizan la microcirculación. El porcentaje de gasto cardíaco destinado a cada uno de los sectores vasculares se señalan cerca de la línea continua (según West).

Diámetro vascular, velocidad de la sangre y número de Reynolds para la circulación sistémica en el ser humano (según Whitmore, 1968).

Sector vascular	Diámetro (cm)	Velocidad de la sangre (cm/s)	Número de Reynolds
Aorta ascendente	2,0-3,2	63*	3.600-5.800
Aorta descendente	1,6-2,0	27*	1.200-1.500
Arterias	0,2-0,6	20-50*	110-850
Capilares	0,0005-0,001	0,05-0,1**	0,0007-0,003
Venas	0,5-1,0	15-20**	210-570
Vena cava	2,0	11-16**	630-900

*: velocidad sistólica media; **: velocidad media.

- La presión P es la relación de una fuerza aplicada sobre una superficie.
- $P = F/S$
- La presión contra la pared interna de la arteria tiene dos componentes:
 - La presión dinámica ejercida por el ventrículo izquierdo.
 - La presión hidrostática, que depende del peso de la sangre y del sector considerado.

- Suele expresarse en milímetros de mercurio o en centímetros de agua. (1 mmHg = 0,133 kPa; 1 cmH₂O = 0,1 kPa)

La tensión T es una fuerza F aplicada sobre una longitud l ($T = F/l$).

La tensión ejercida por la pared arterial interviene en la regulación de la presión arterial.

Variaciones de presión el ciclo cardíaco

- Aumenta de forma abrupta desde la abertura de las válvulas sigmoideas aórticas hasta alcanzar un máximo; se trata de **la presión sistólica**, que es idéntica a la presión sistólica máxima del ventrículo izquierdo.

- Cae rápidamente y, tras el cierre de las sigmoideas, disminuye de forma más lenta. **La presión diastólica** es su valor mínimo, que se mantiene por encima del valor de la presión diastólica ventricular izquierda

- En condiciones fisiológicas, la capacitancia arterial es baja y, por tanto, la elastancia es elevada.
- Con la edad, la capacitancia arterial disminuye debido a la sustitución de las fibras elásticas por tejido colágeno. Así, la presión sistólica se eleva.

- **Según la ley de elasticidad de Hooke**, cuando un cuerpo homogéneo se estira, la tensión elástica es proporcional al grado de estiramiento.
- Los vasos no responden a esta ley; **cuanto más se estiran, más se resisten al estiramiento** y se vuelven cada vez menos distensibles.

- Las arterias sistémicas se comportan como reservorios de presión debido a su función elástica.

- **Principio de Windkessel.**

- El ventrículo izquierdo expulsa la sangre a la aorta y ésta se distiende.
- La tensión parietal aórtica impulsa entonces la sangre hacia los capilares.

- Este efecto fisiológico permite que la presión arterial oscile en torno a una presión arterial media de 90 mmHg, sin llegar nunca a 0.
- Si el sistema arterial fuera rígido, las presiones serían muy elevadas en el momento de la sístole y la presión en diástole sería igual a 0.

- Cualquier aumento del volumen del sistema arterial (incluso bajo) puede inducir un aumento considerable de la presión arterial.

• Tensión. Ley de Laplace.

- Según esta ley, cuanto más pequeño es el **radio** vascular, mayor es la ventaja mecánica que obtiene el vaso en términos de tensión parietal.

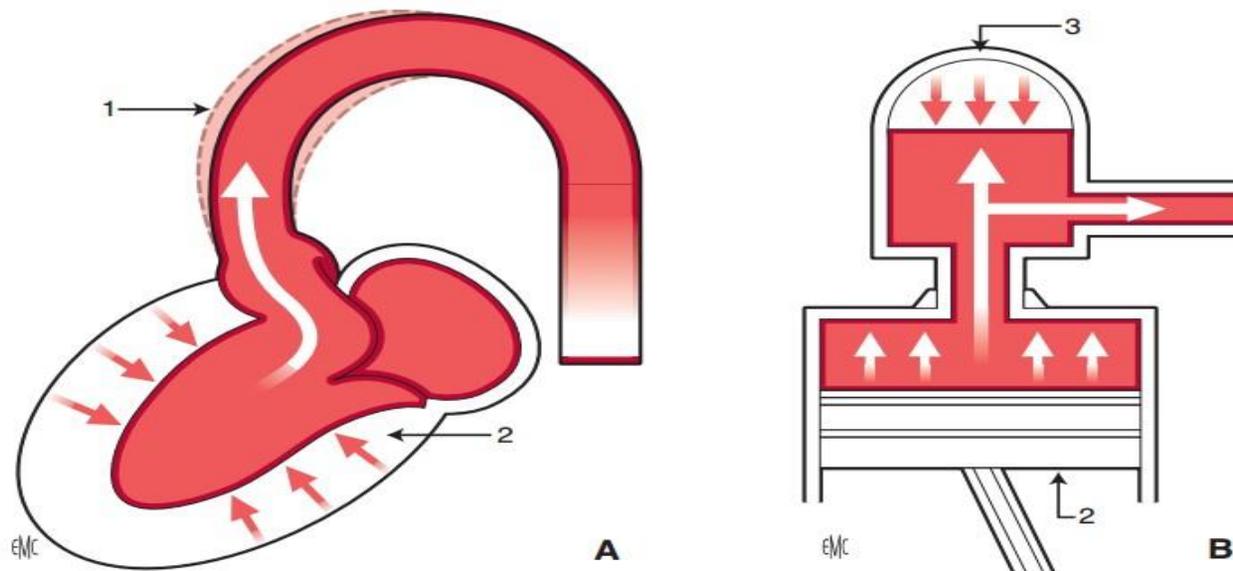


Figura 10. Efecto Windkessel. 1. Pared elástica de la aorta; 2. fase de eyección; 3. cámara de compresión.

A. Durante la eyección ventricular, la pared elástica de la aorta se distiende para almacenar y después restituir una cantidad de energía de presión.

B. El aire de un reservorio de presión es comprimido durante la eyección y descomprimido durante el llenado, lo que amortigua las oscilaciones de presión y de flujo (según Rushmer).

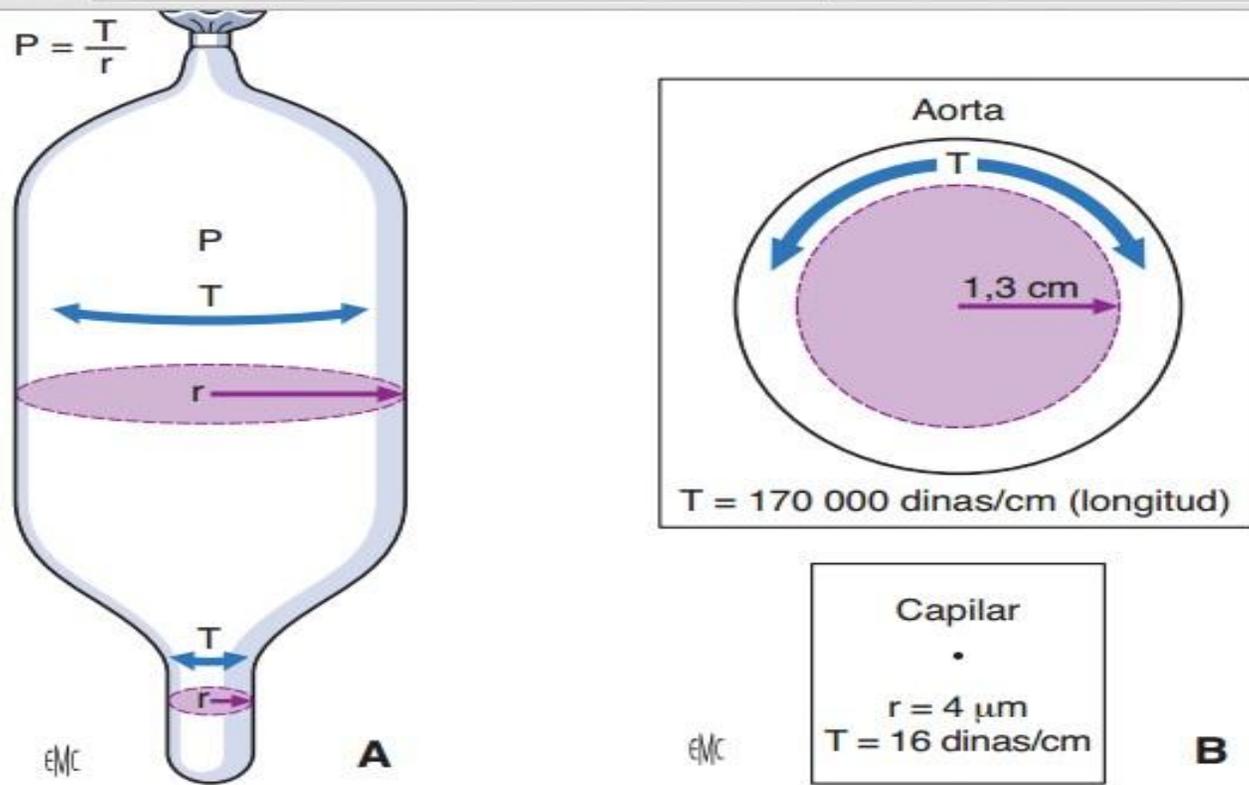


Figura 11. Relación entre la presión, la tensión de la pared y el radio vascular.

A. La presión (P) en el balón es transmitida de la misma manera a todas las partes del aire que contiene (ley de Pascal), y la tensión (T) de la pared del balón varía con el radio (r) de la parte considerada (ley de Laplace).

B. Debido a enormes diferencias de radio, la tensión parietal es 10.000 veces mayor en la aorta que en los capilares, aunque las presiones sean parecidas (según Rushmer).

- Cuando la pared es relativamente gruesa (arteriolas), la tensión es relativamente baja y los músculos lisos soportan una carga baja, a pesar de una presión intravascular relativamente elevada.

- En el caso de un aneurisma arterial, el radio aumenta al mismo tiempo que disminuye el grosor de la pared arterial; por eso, la tensión parietal aumenta y también lo hace el riesgo de ruptura aneurismática.

- Cuando el flujo no es laminar, si el diámetro del vaso disminuye y si la velocidad supera cierto umbral, aparecen las turbulencias. Éste es el caso de las estenosis arteriales. Se mide con # Reynolds.
- $R = V D / \mu$
- V = velocidad media; D = diámetro del tubo;
- ρ = densidad del fluido; μ = viscosidad del fluido

- si $R > 3.000$, hay turbulencia.
- **Según la ley de Poiseuille**, esta resistencia depende de las propiedades del líquido (ν = viscosidad) y de las características del conducto (l = longitud; r = radio)

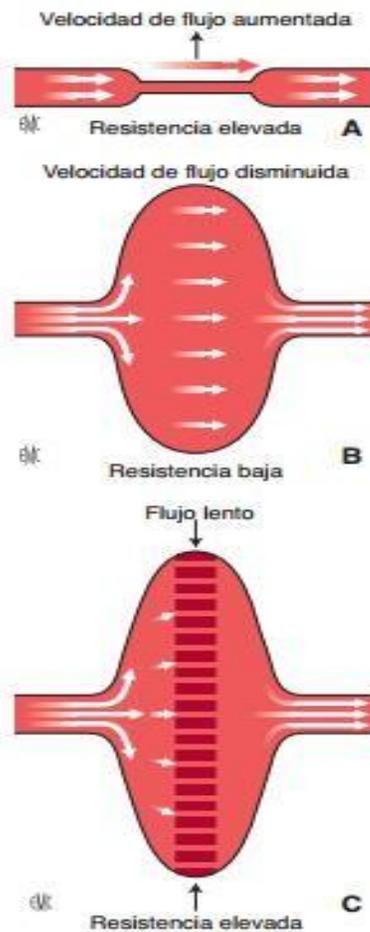


Figura 17. Resistencia hidráulica en conductos ramificados de diversos calibres.

A. Una sola estenosis de un tubo único aumenta la velocidad de flujo y la resistencia, y provoca una disminución de las presiones.

B. El aumento de calibre de un tubo disminuye la velocidad, la resistencia y la presión.

C. El aumento de calibre de un tubo con numerosos conductos capilares disminuye la velocidad, aumenta la resistencia y reduce la presión de forma considerable (según Rushmer).

Regulación

n

- Regulación dependiente del endotelio:
Mediador.
- Regulación metabólica: hiperemia activa.
- Autorregulación y respuesta miogénica.
- Hiperemia reactiva

- Sistema simpático
- Sistema parasimpático
- Regulación hormonal
- Reflejo vascular
 - Barorreceptores arteriales.
 - Barorreceptores cardíaco y pulmonar.
 - Quimiorreceptores periféricos.
 - Hipotálamo.
 - Corteza cerebral.
 - Quimiorreceptores centrales.

Control autónomo de la PA

Ajuste del flujo sanguíneo:

Local

Sistémico

SN

Simpático

Parasimpático

Noradrenalina

Acetilcolina

a

a

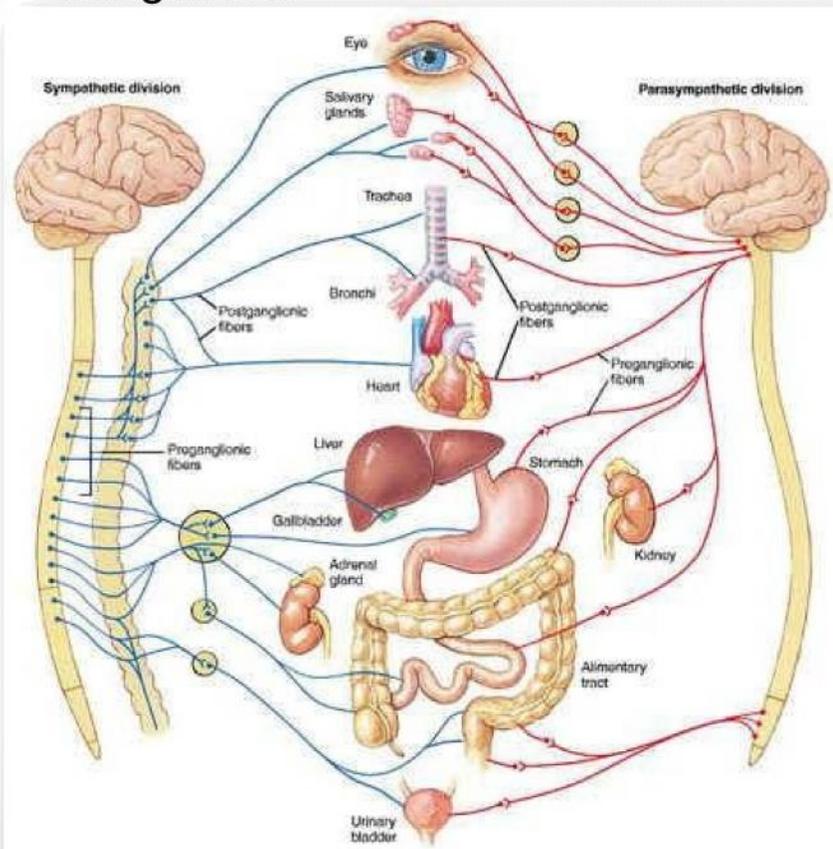
Adrenalina

Vasos

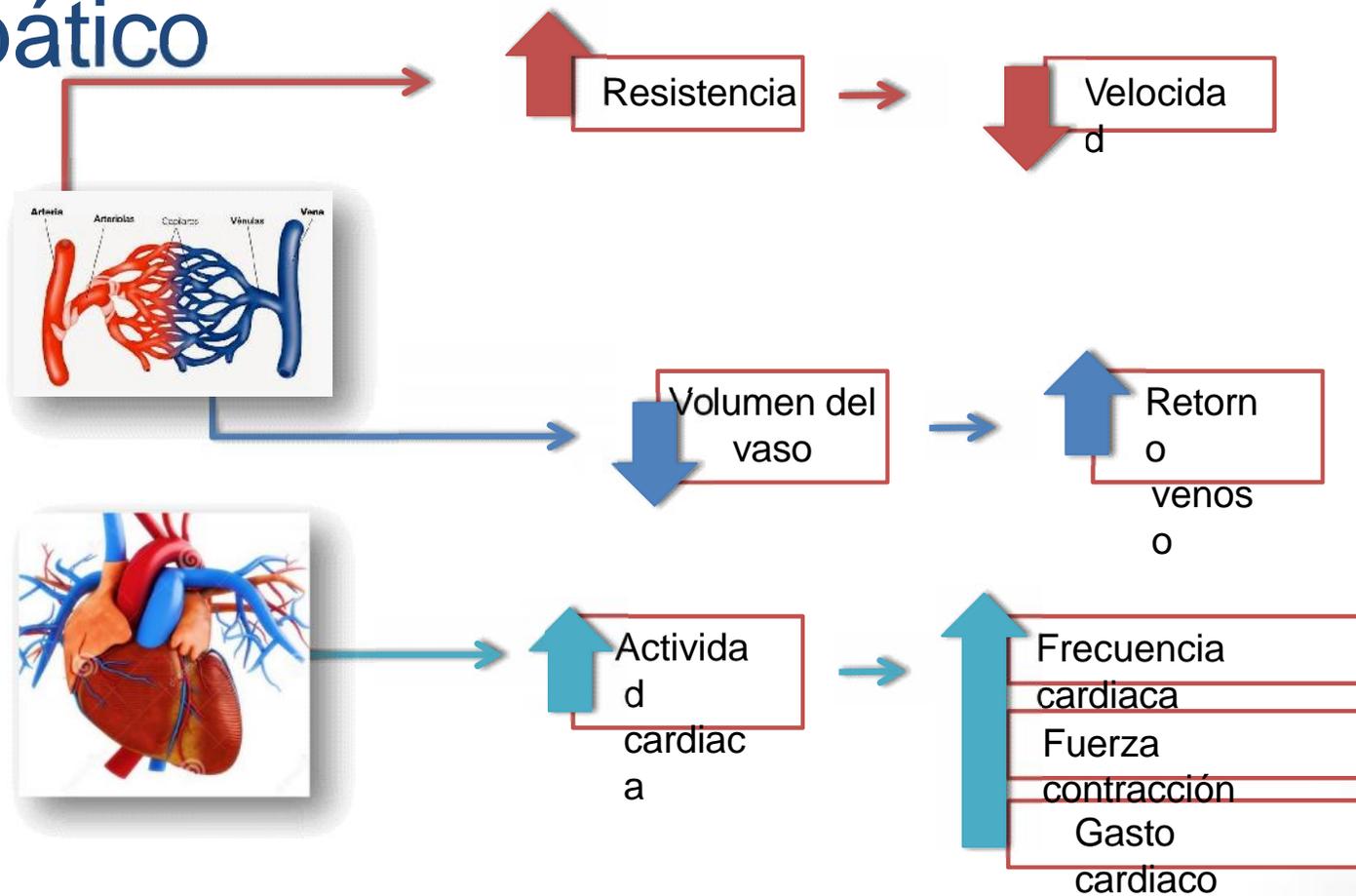
Frecuencia Cardíaca

Contractibilidad cardíaca

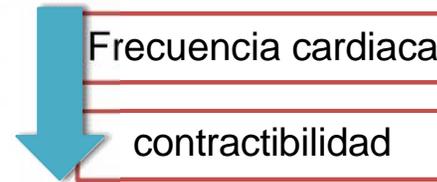
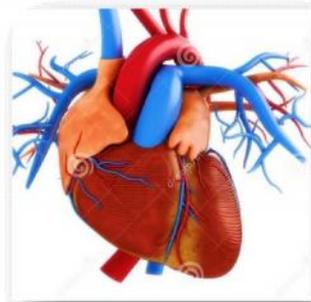
Fuerza de contracción



SN Simpático



SN Parasimpático



Centro

Vasomotor

Bilateralmente en sustancia reticular del bulbo y tercio inferior de la protuberancia.

Zonas:

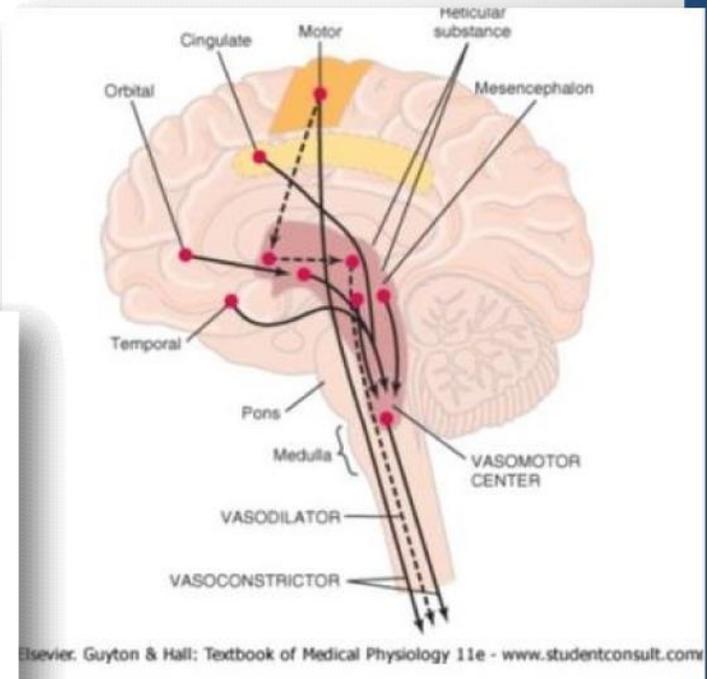
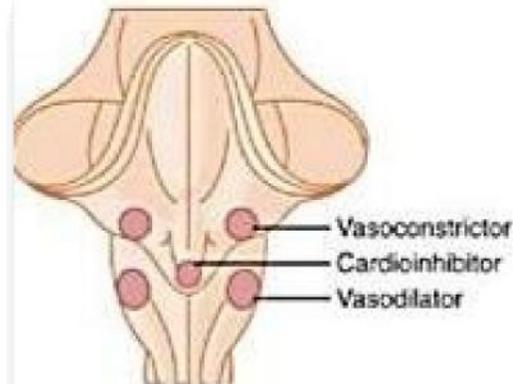
Vasoconstrictora

Vasodilatadora

Sensitiva

Tono vasomotor

Actividad cardiaca



Existe un tono vasoconstrictor simpático = tono vasomotor

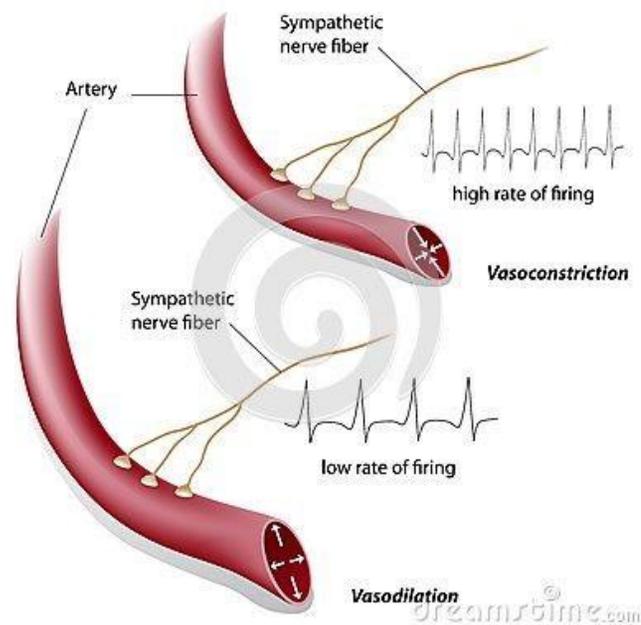


¿Cuál es la función del centro vasomotor?

- A. Provocar vasoconstricción mediante acetilcolina
- B. Mantener el tono vasomotor y regular la actividad cardíaca
- C. Enviar señales sensitivas a los plexos capilares de órganos periféricos
- D. Mantener los vasos sanguíneos en estado parcial de dilatación

Verdadero o falso:

- La noradrenalina puede provocar vasodilatación al actuar en los receptores beta-adrenérgicos del musculo liso vascular.



Mecanismos reflejos

Barorreceptores/ Presorreceptores

- Sensan: **Estiramiento**
- Dónde: arterias de gran tamaño, **seno carotídeo, cayado aórtico**
- Respuesta: vasodilatación, disminución de la FC y fuerza de contracción. **Disminuye PA.**
- Se reajustan en 1 a 2 días.

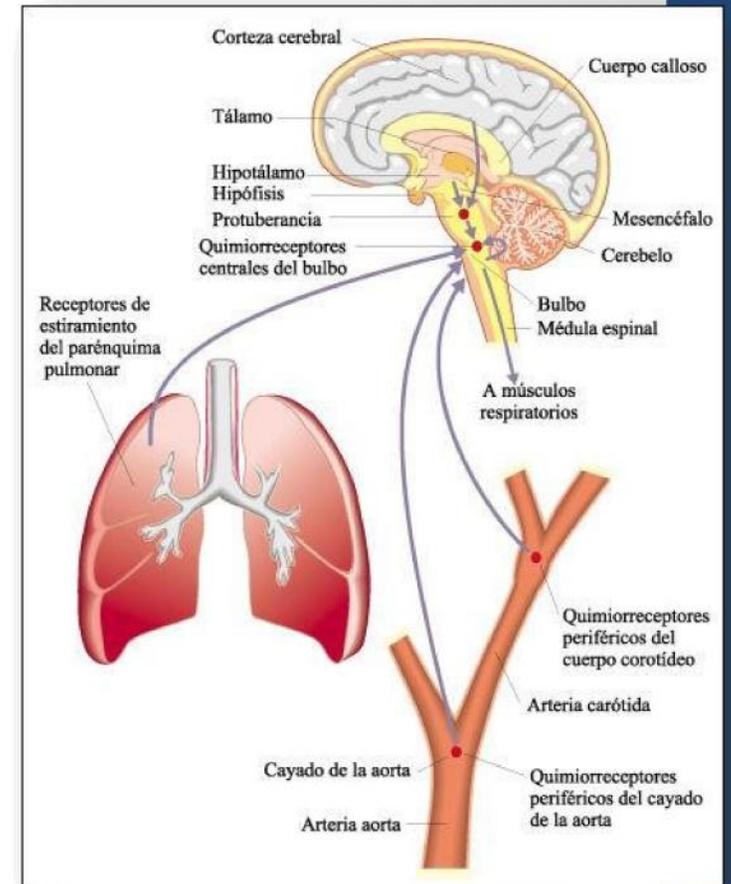
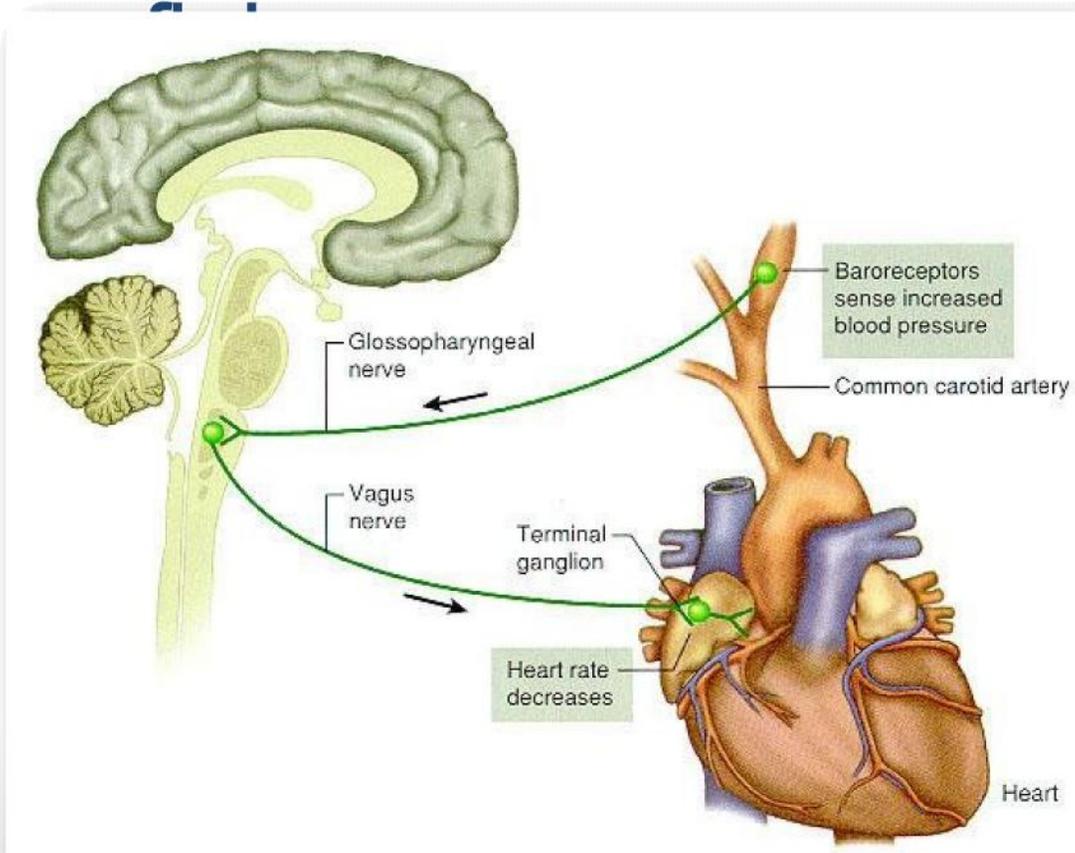
Quimiorreceptores

- Sensan: Ausencia de O₂, exceso de CO₂ y exceso H⁺ en la sangre arterial.
- Dónde: Cuerpos carotídeos y cuerpos aórticos.
- PA por debajo de 80 mmHg.

Otros

- Receptores de baja presión: Aurícula y art pulmonares.
- Función: Minimizan cambios de PA por cambios de volumen

Mecanismos



REFERENCIAS

- Barret K. GANONG, Fisiología médica. 23 Ed. Mc Graw Hill. Sección VI – Fisiología cardiovascular.
- A. Bura-Rivière, H. Boccalon. Fisiología y exploración de la circulación arterial. E –27- 040-A-35.