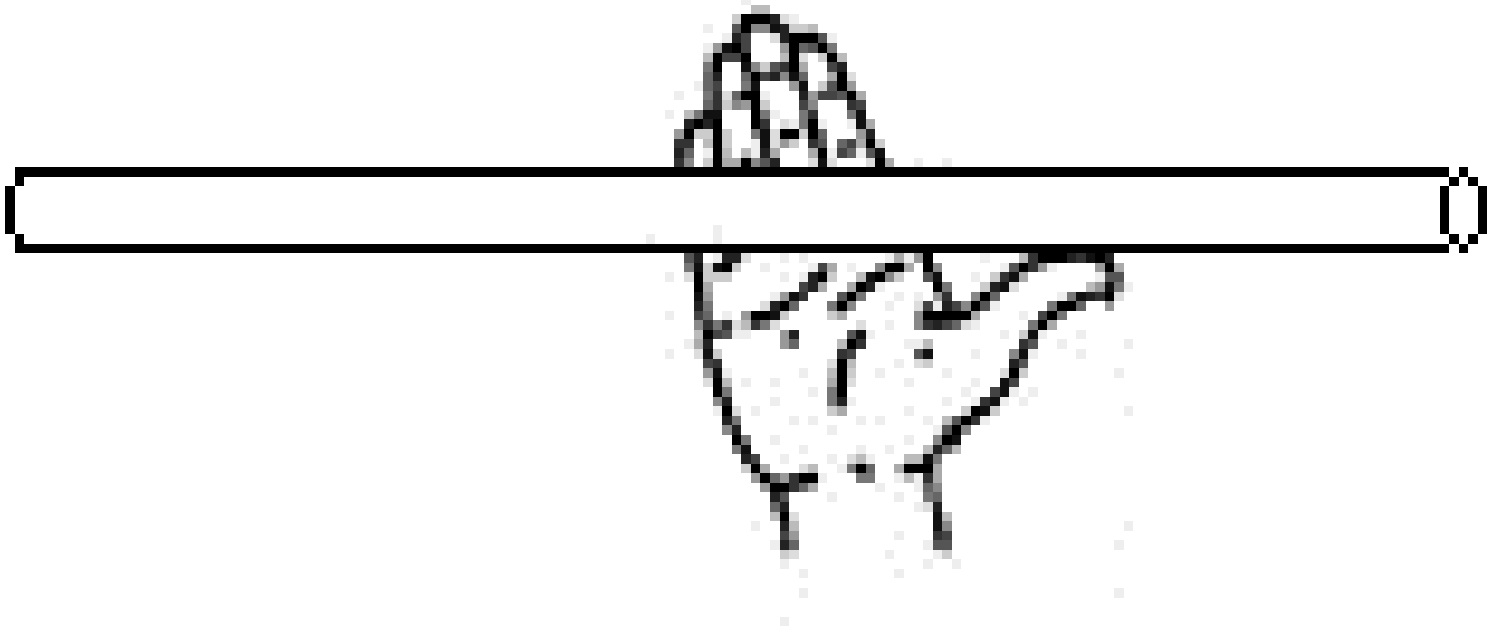
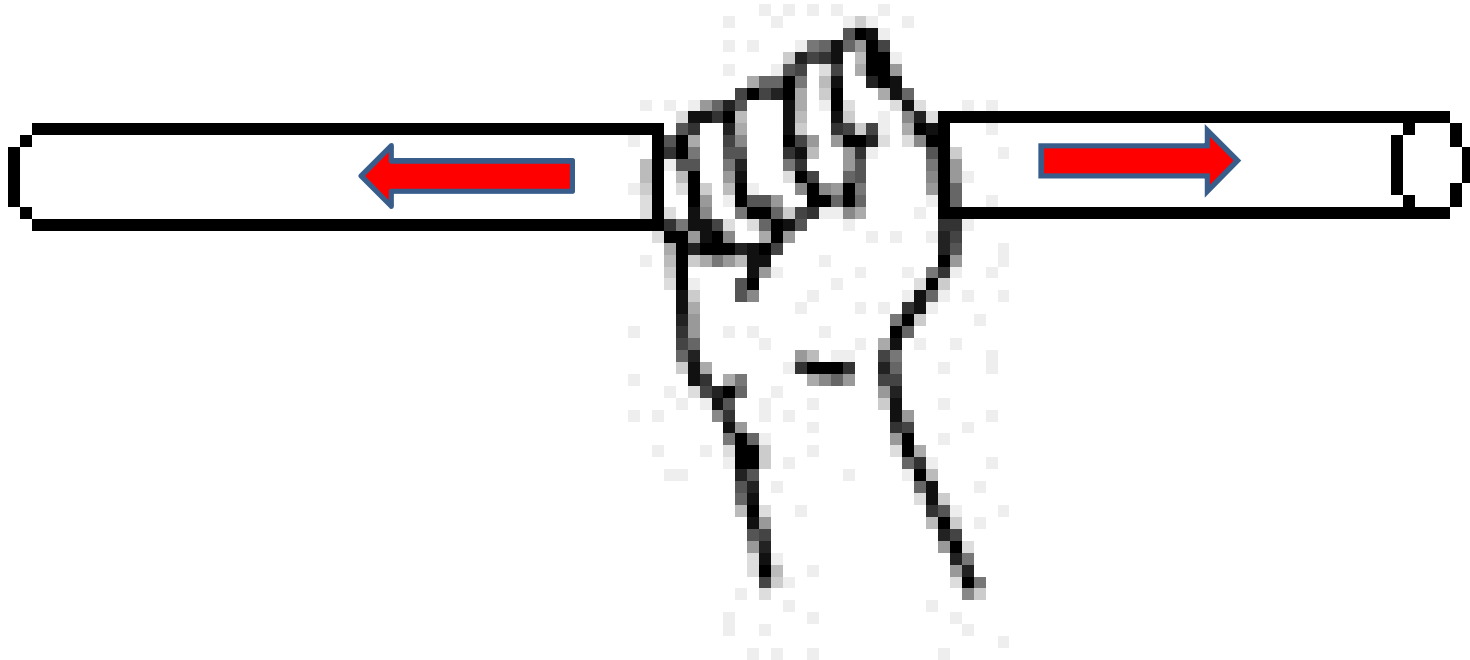
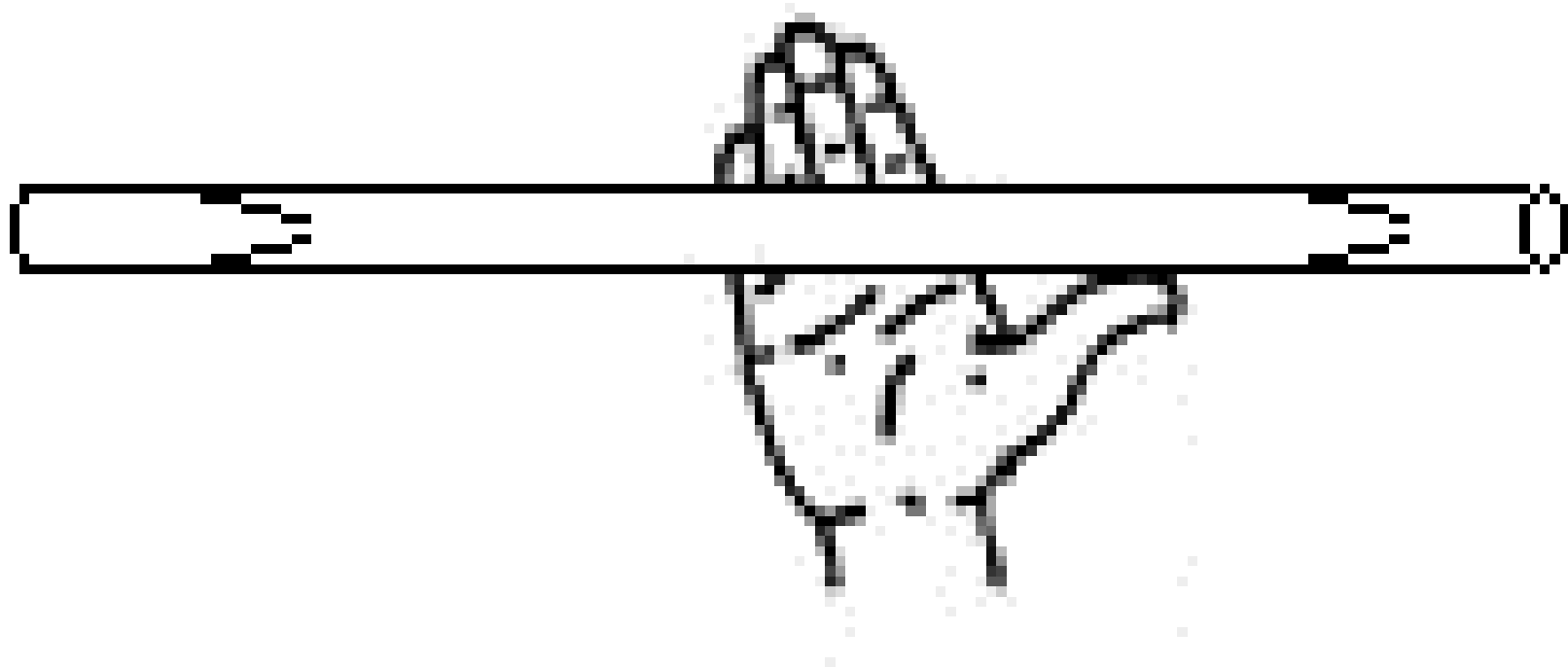


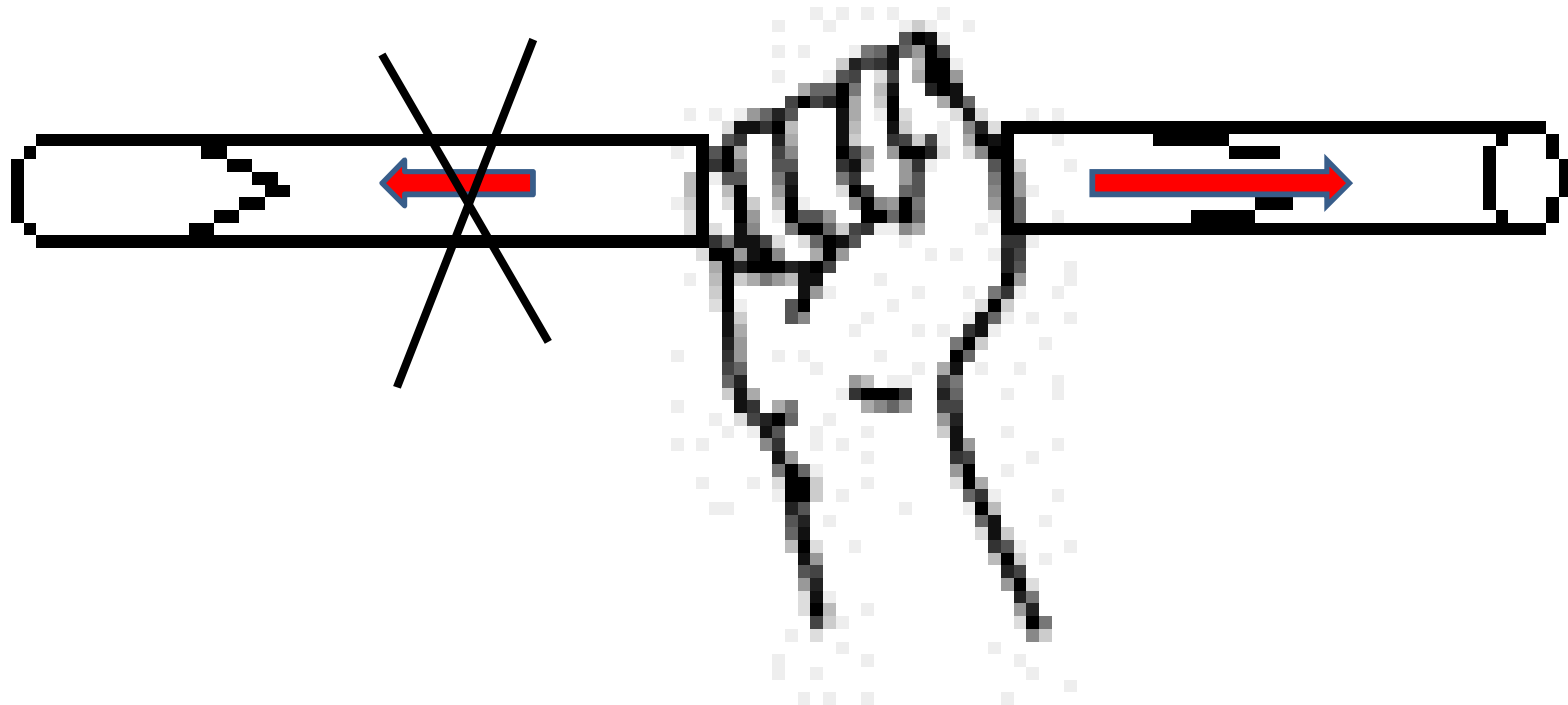
Biofísica de la circulación sanguínea

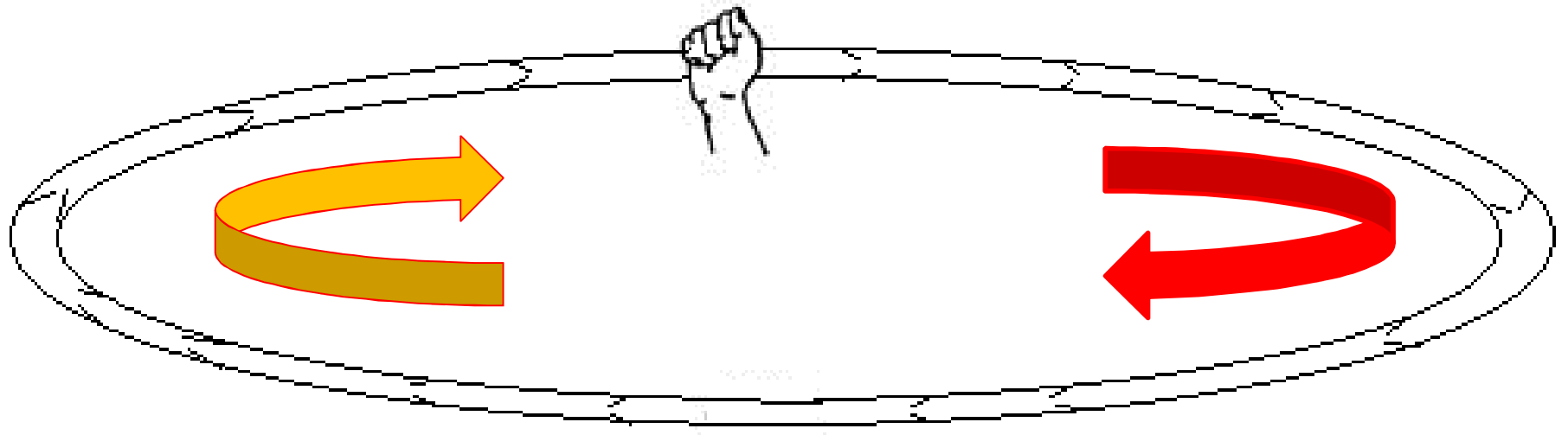
Esp. Bioq. Pedro Catania





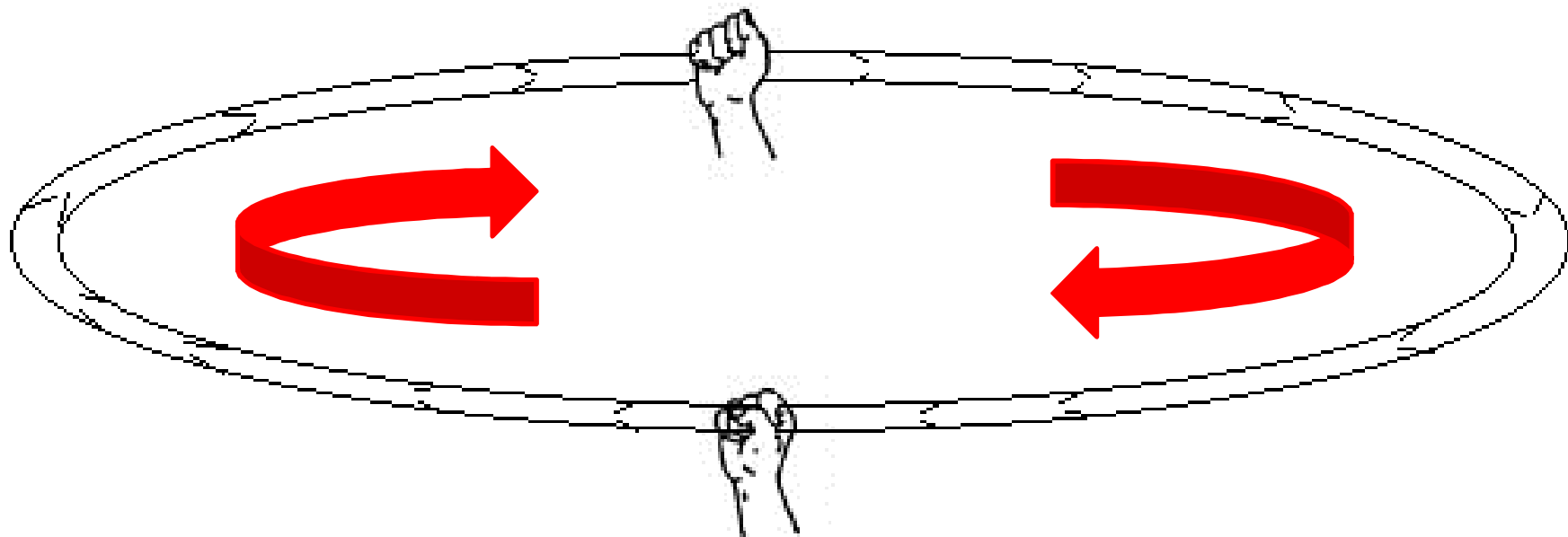


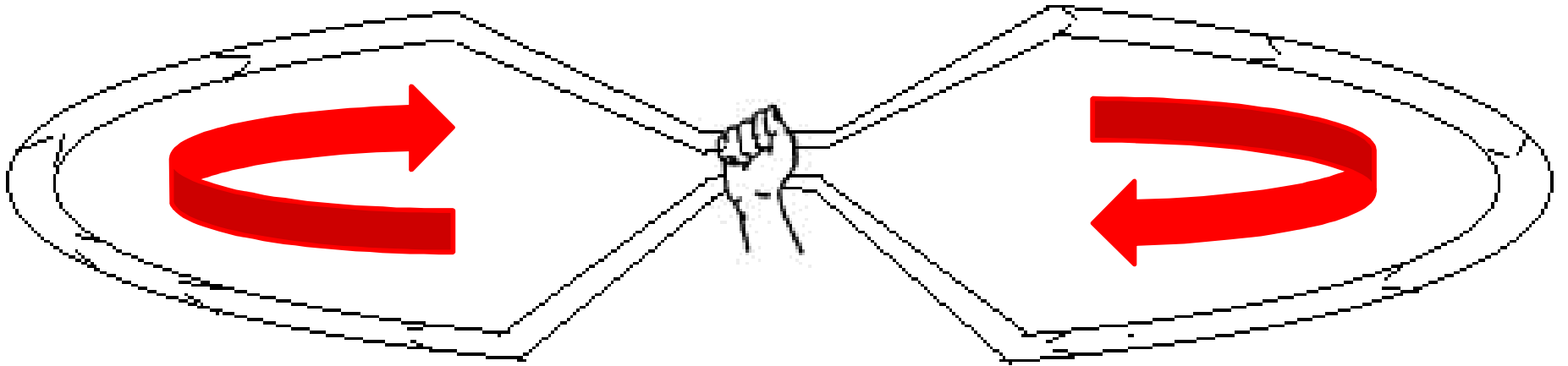


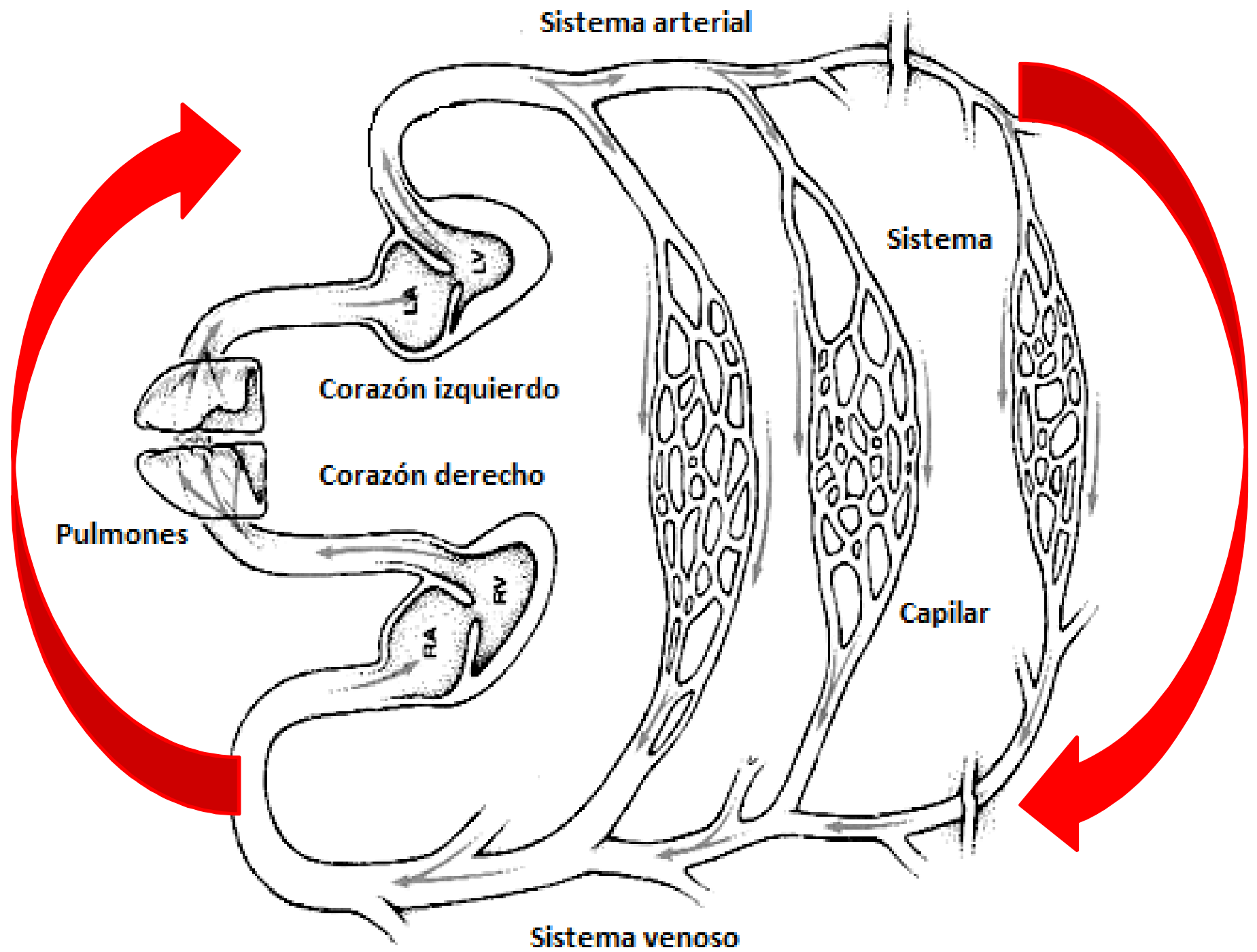


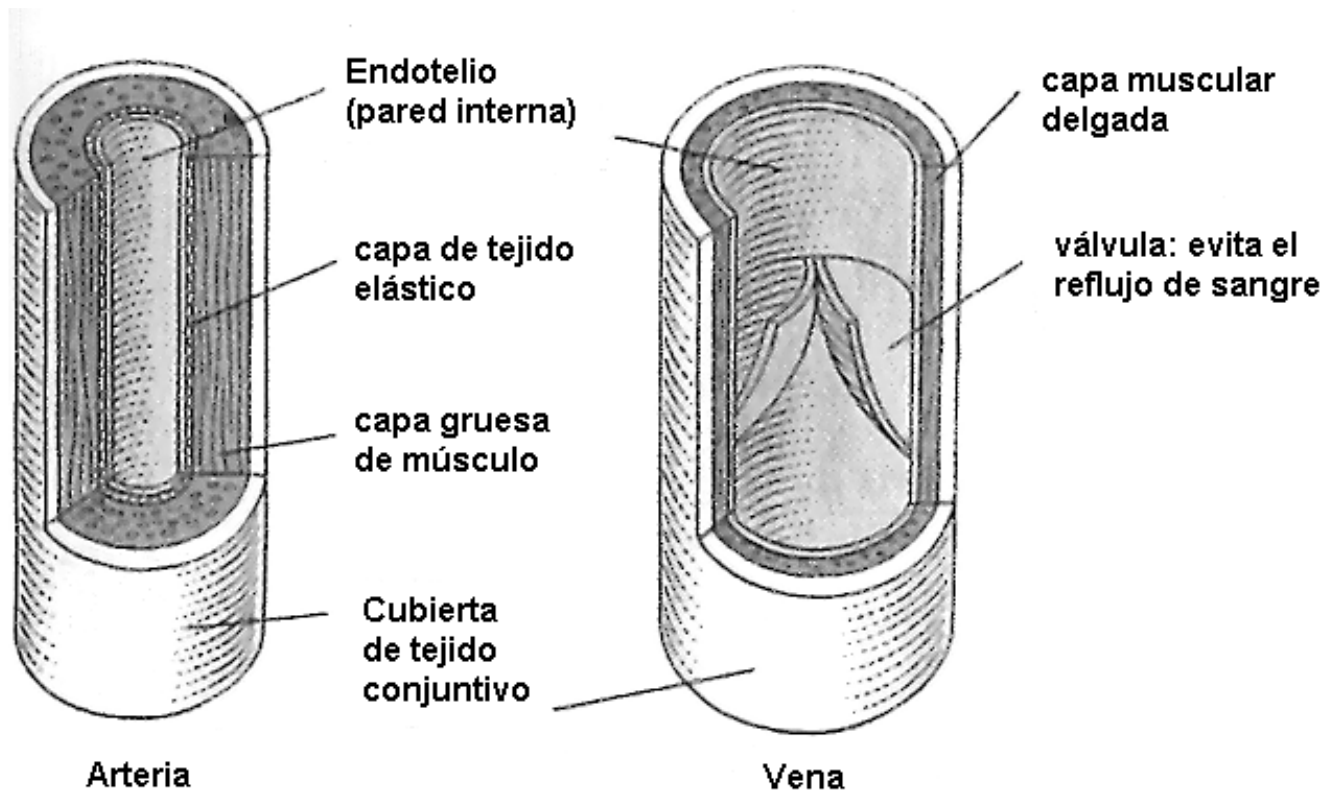
RESISTENCIA

$$R = \frac{8 \eta \cdot L}{\pi r^4}$$





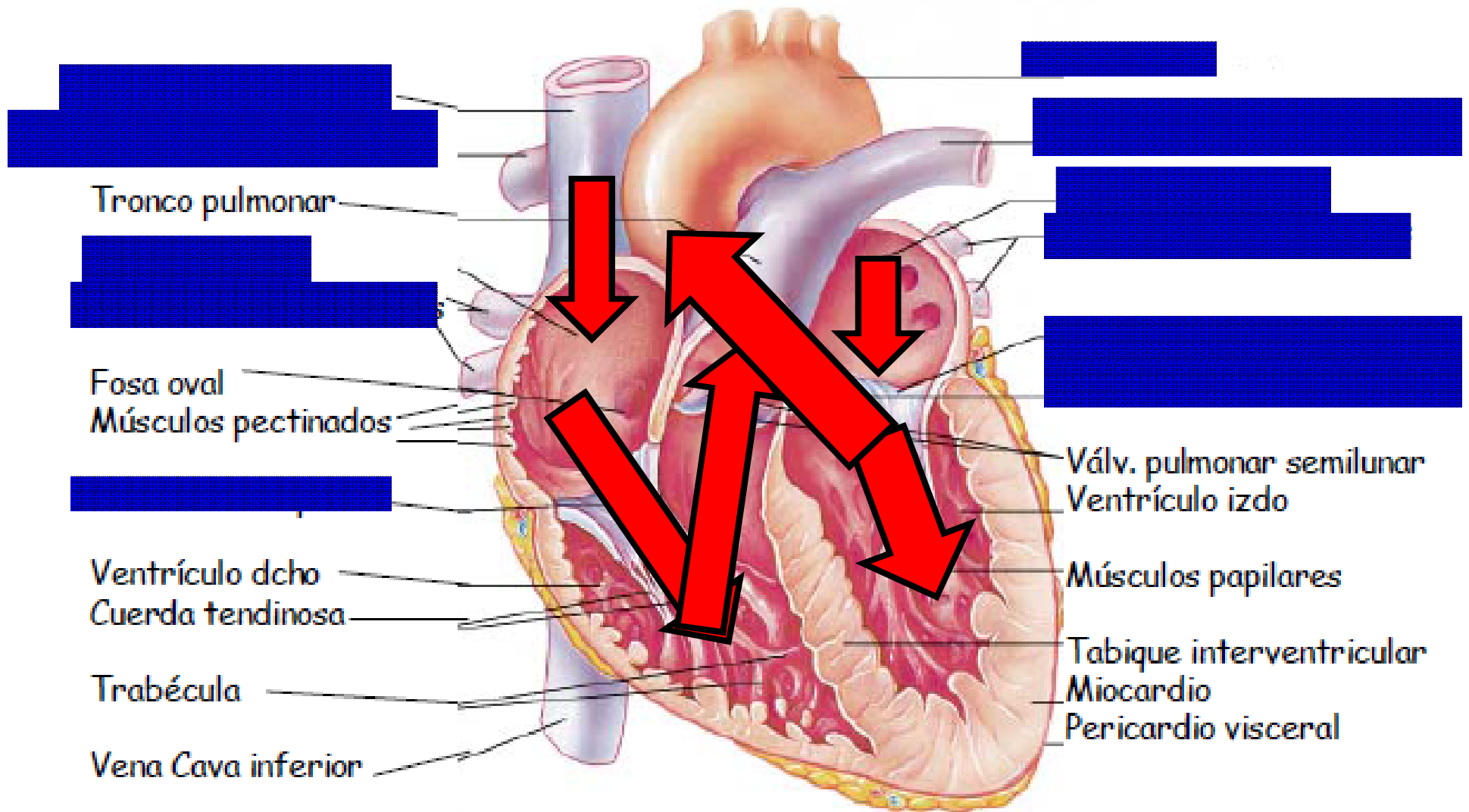




VASOS PRINCIPALES

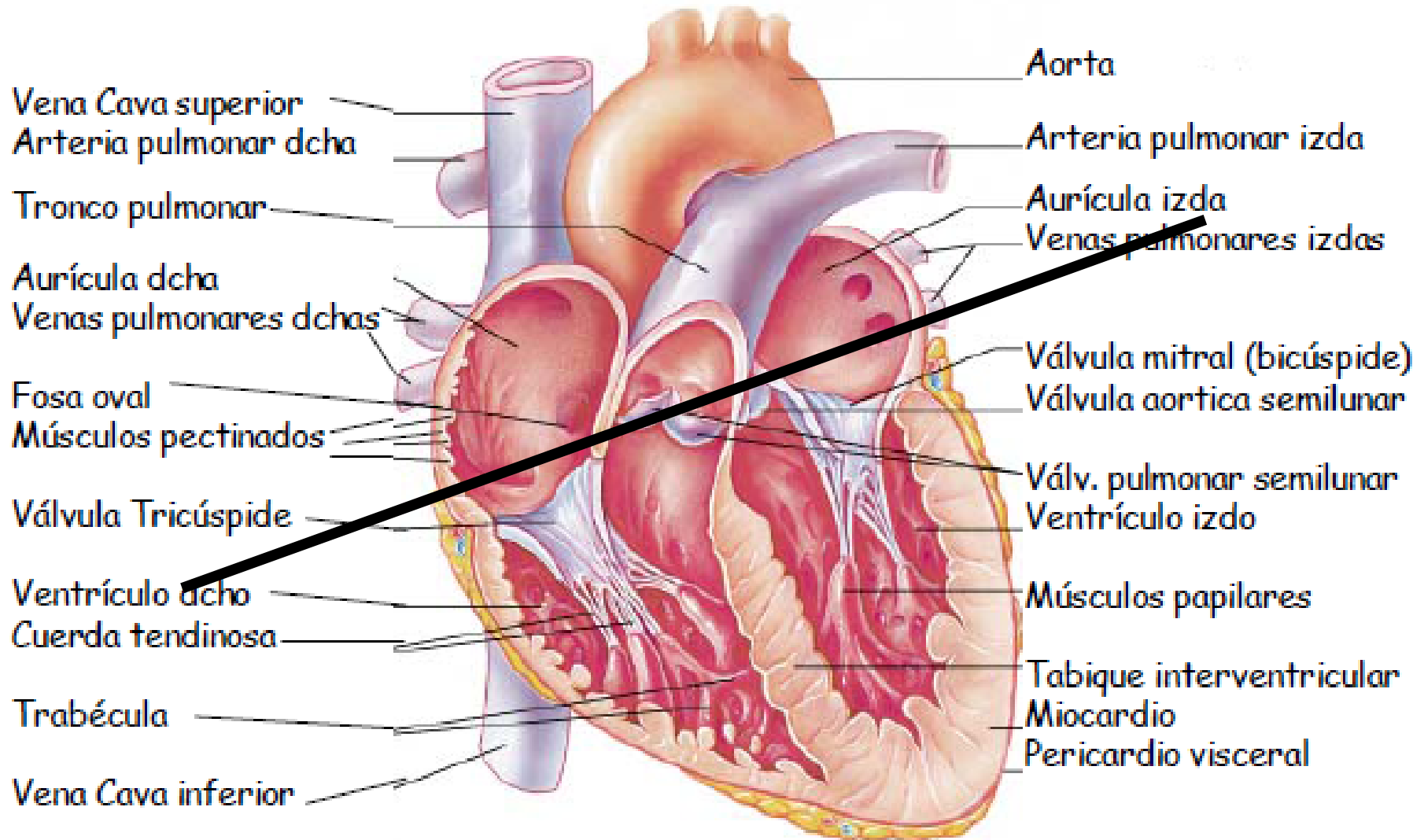
Arterias y venas tienen capas similares en sus paredes, pero en distinta proporción. La pared arterial, gruesa, muscular y elástica, resiste las oleadas de sangre a presión que sale del corazón. La pared venosa es holgada y elástica, ya que la sangre tiene poca presión al volver al corazón. Las válvulas evitan que la sangre fluya en la dirección equivocada.

Anatomía del corazón: Sección Frontal



El tabique AV está perforado y contiene 4 válvulas: 2 AV y 2 SL que aseguran el flujo de sangre unidireccional

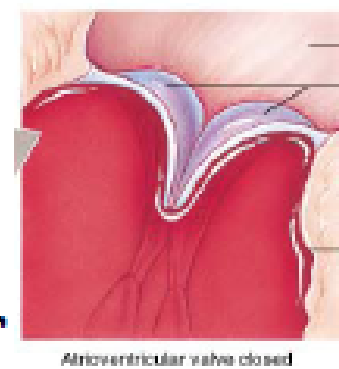
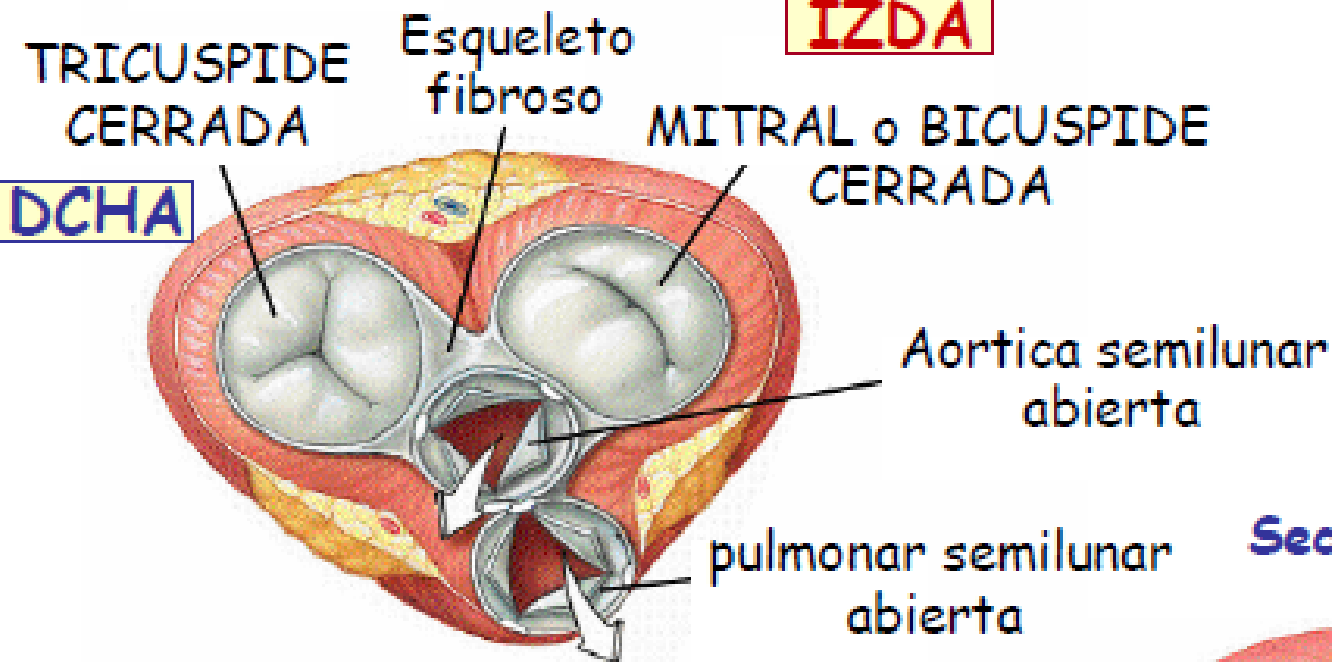
Anatomía del corazón: Sección Frontal



El tabique AV está perforado y contiene 4 válvulas: 2 AV y 2 SL que aseguran el flujo de sangre unidireccional

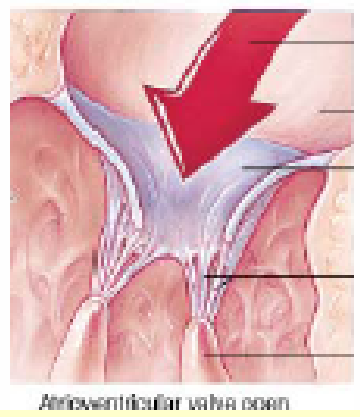
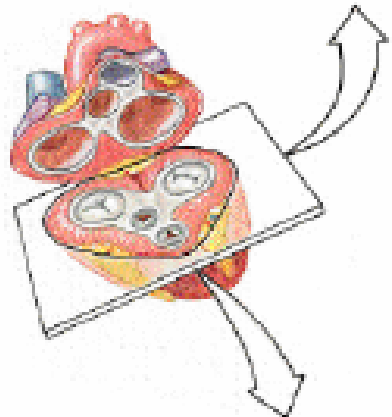
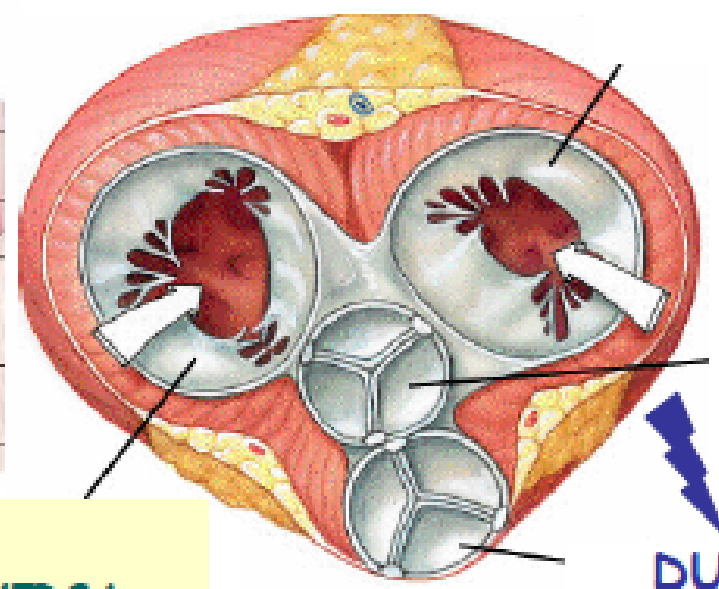
VÁLVULAS CARDIACAS

IZDA



LUB

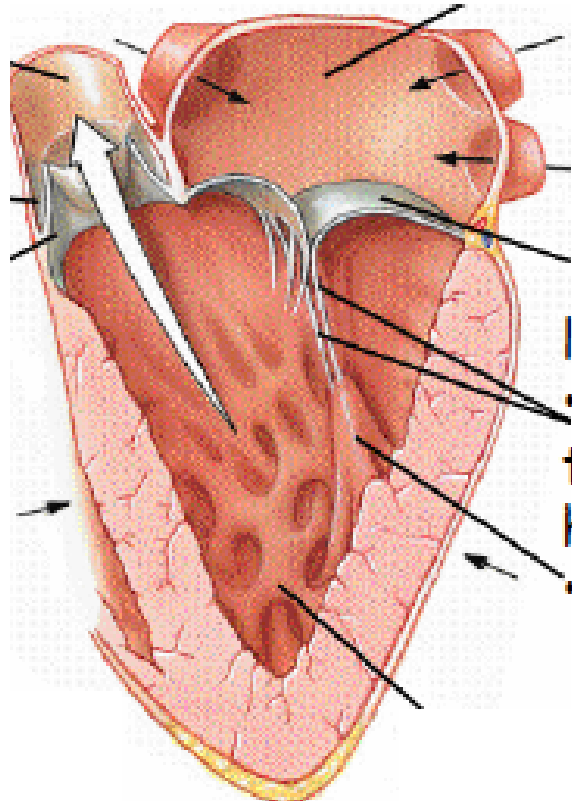
Sección transversal



Atrioventricular valve open

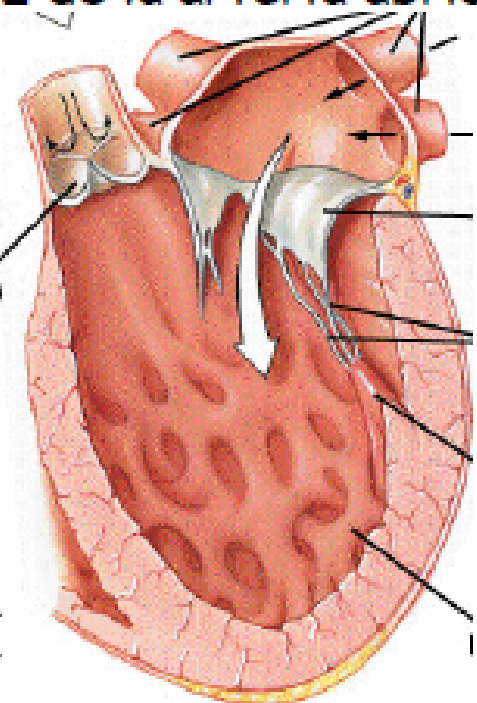
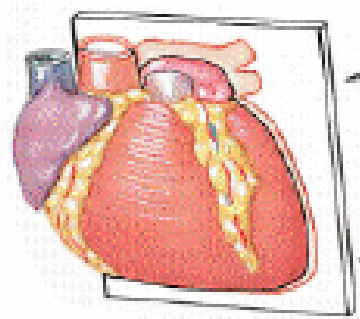
**APERTURA Y CIERRE SINCRONIZADOS:
APERTURA DE AV → CIERRE DE SL Y VICEVERSA**

VÁLVULAS CARDIACAS



Cuando el ventrículo está lleno la presión de la sangre en el V empuja a las

- válvulas AV cerrándolas (músculo papilar/cuerda tendinosa se estiran impidiendo reflujos de sangre hacia aurículas) y a la
- SL de la arteria abriéndola.



Cuando la sangre está llenando el V, su Presión en la A fuerza la apertura de las válvulas AV y como la P de la sangre en el V es menor que en la arteria se mantiene cerrada la válvula semilunar

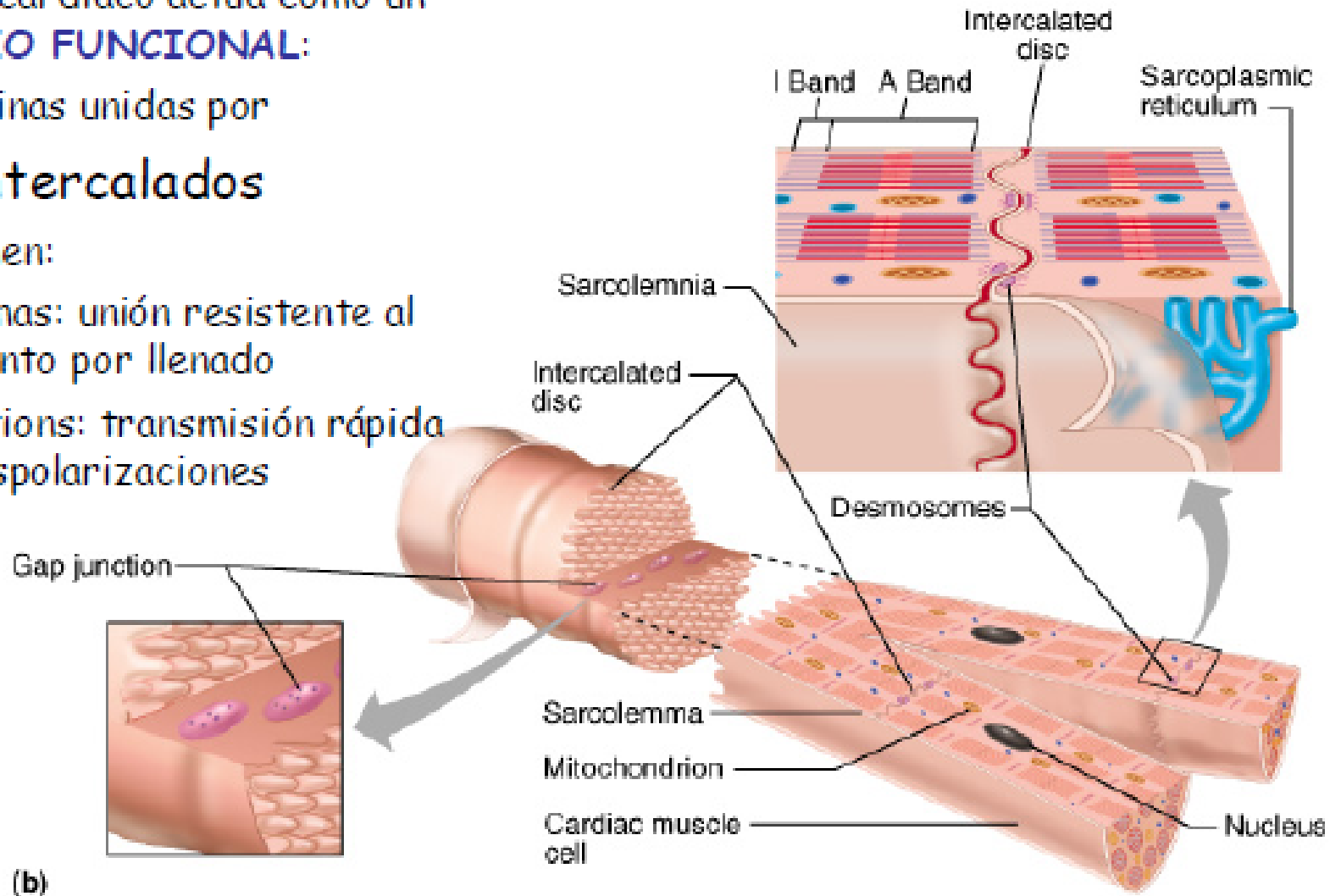
ANATOMIA MICROSCÓPICA DEL MUSCULO CARDIACO

El músculo cardíaco actúa como un **SINCITIO FUNCIONAL**:

Células vecinas unidas por **discos intercalados**

que contienen:

1. desmosomas: unión resistente al estiramiento por llenado
2. gap-junctions: transmisión rápida de las despolarizaciones



TODAS LAS CÉLULAS DEL VENTRÍCULO SE CONTRAEN A LA VEZ!

2 tipos principales de células cardiacas:

-MARCAPASOS: actividad eléctrica Y

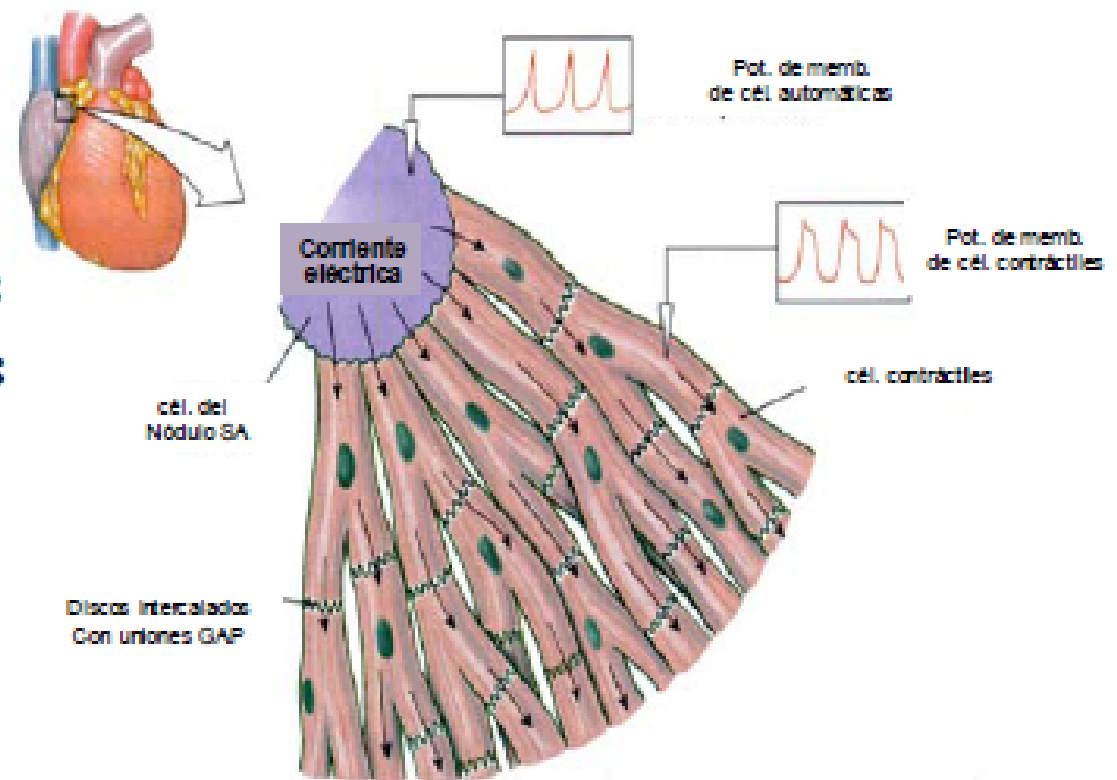
-CONTRACTILES: actividad contráctil

- **Ciclo Cardíaco**

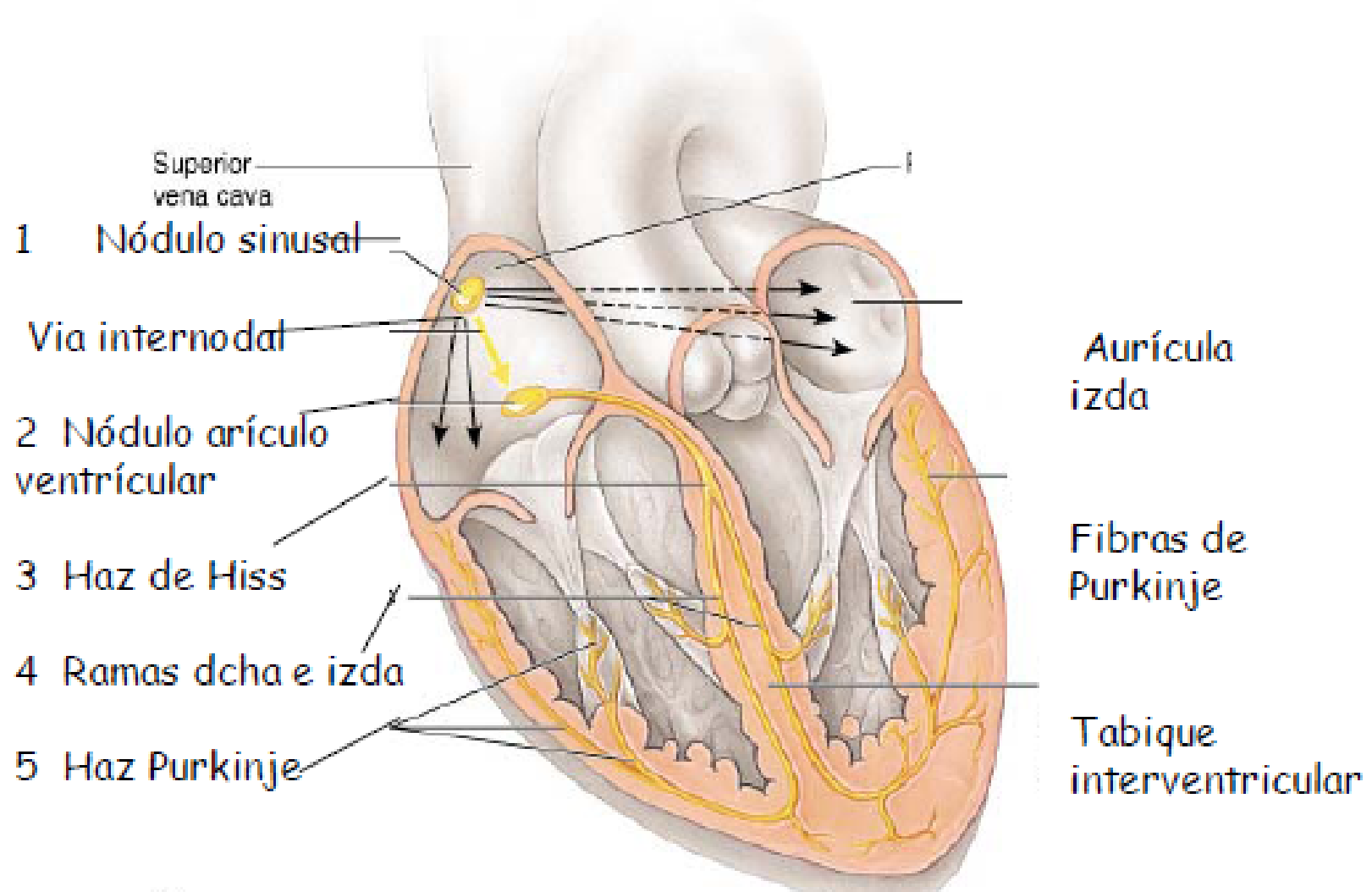
1. Acontec. eléctricos
2. Acontec mecánicos

- **La conducción eléctrica en el corazón coordina la contracción**

- **Acontecimientos a nivel de la célula y a nivel del corazón**



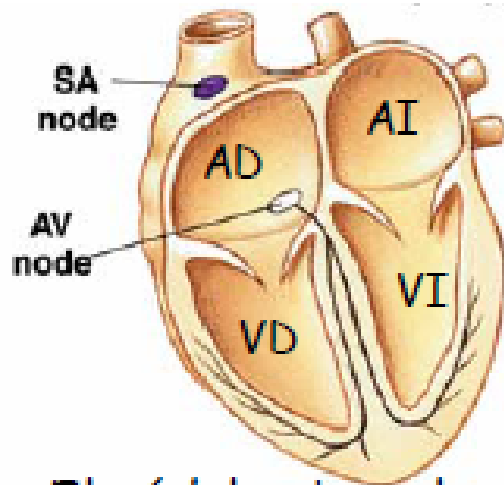
LOCALIZACIÓN DE CÉLULAS MARCAPASOS Y HACES DE CONDUCCIÓN



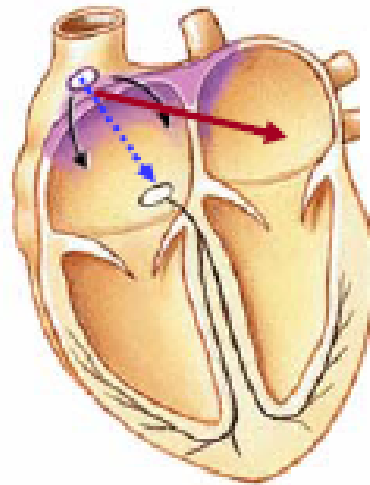
Las células marcapasos NO son contráctiles

Actividad eléctrica del corazón

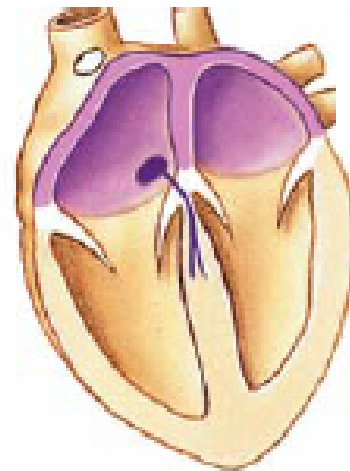
retraso en transmisión a la aurícula izda y AV (30 msg)



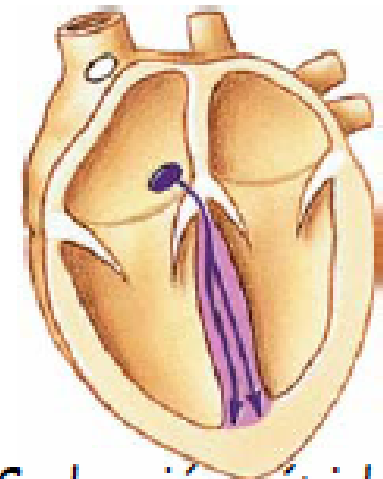
El nódulo sinusal se despolariza



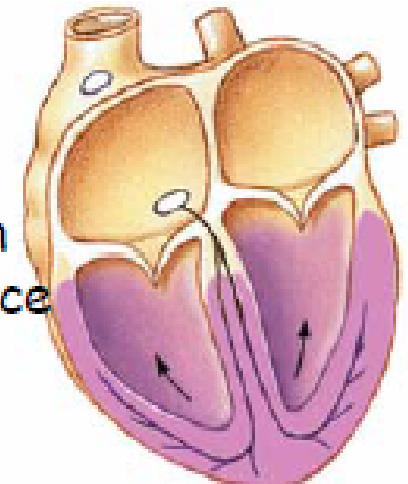
Retraso en el nódulo AV (100 msg)



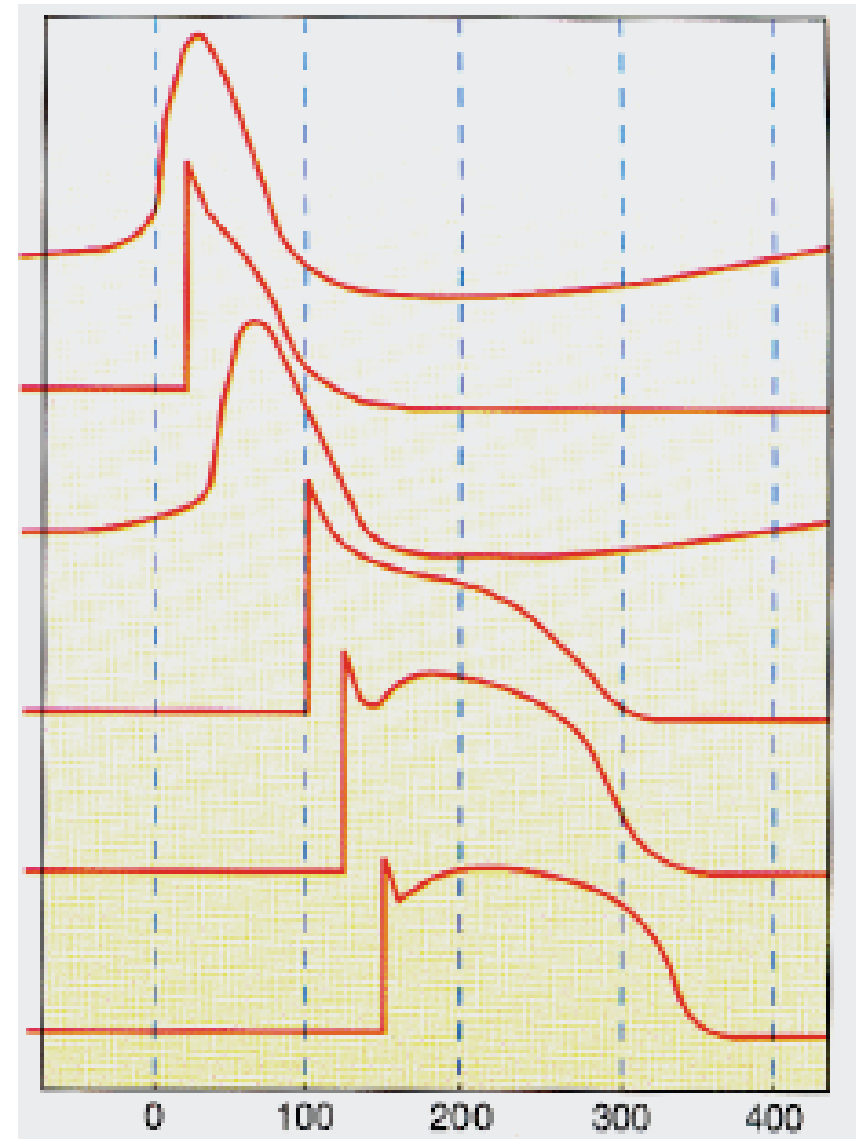
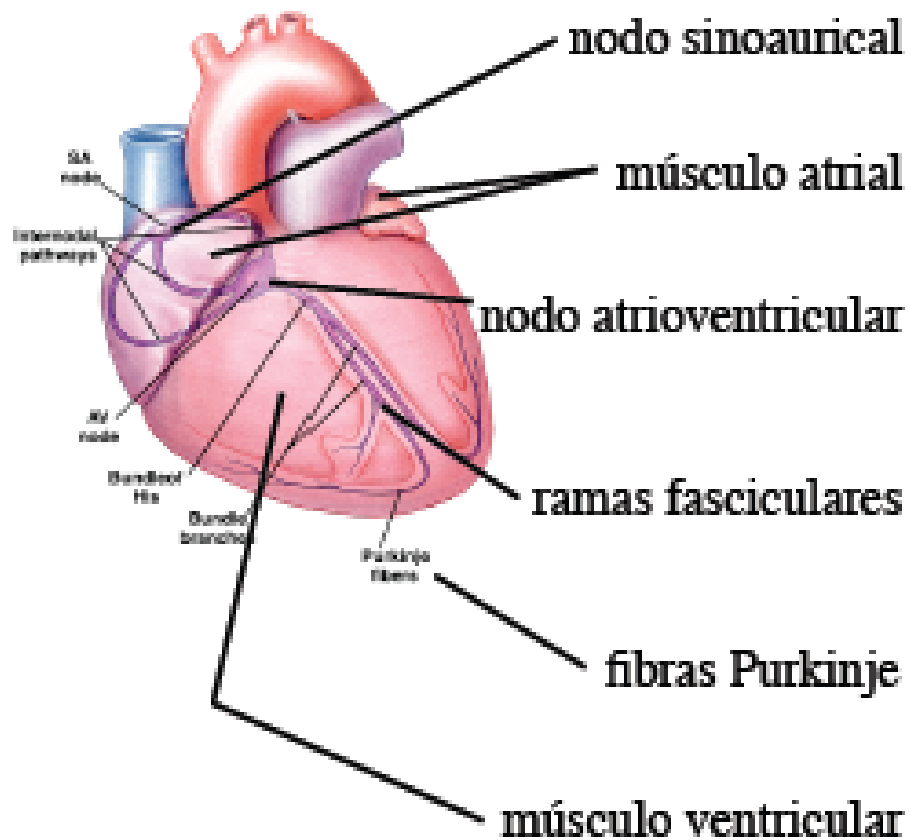
Coducción rápida por el Haz de Hiss



La onda de despolarización se extiende desde el vértice Por las fibras de Purkinje



Potenciales de acción cardíacos



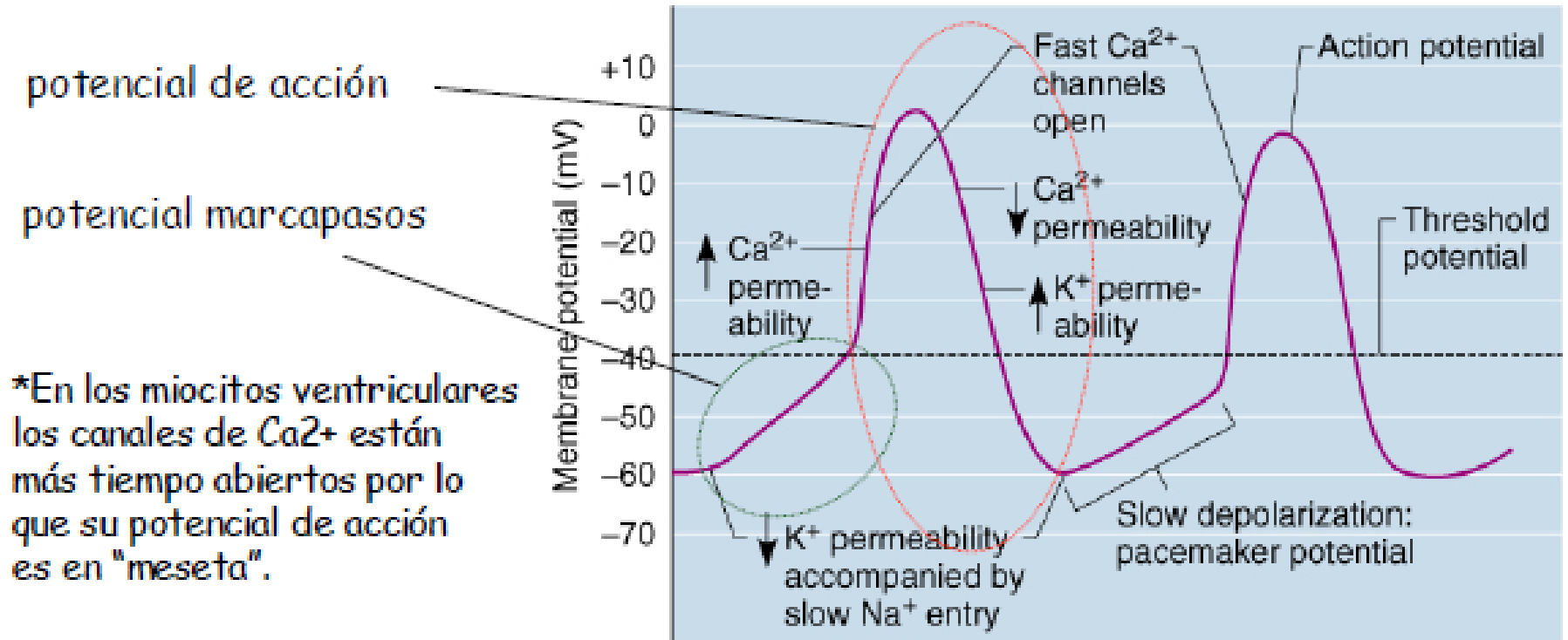
POTENCIALES DE ACCIÓN (PA) DE LAS CÉLULAS MARCAPASOS:

MARCAPASOS: por entrada de Ca^{++} , sin canales de Na^+ operados por V

Las cls marcapasos tienen un potencial de reposo inestable:

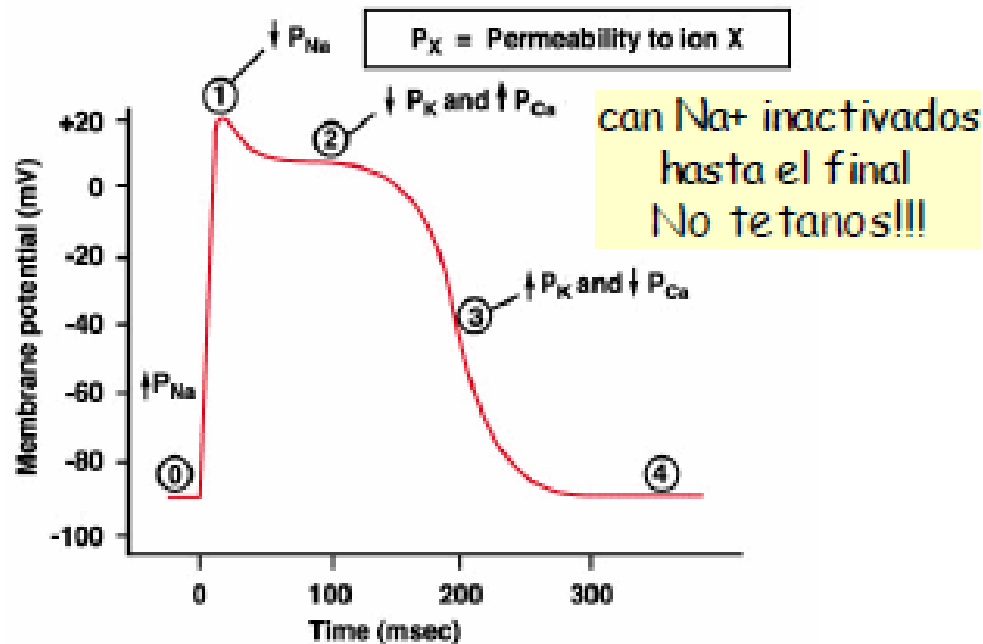
| permeabilidad al K^+ , entrada lenta de Na^+ : "potencial marcapasos"

El potencial de acción (despolariz) se desencadena por entrada de Ca^{2+} , no de Na^+ .



La pendiente del potencial marcapasos determina la frecuencia de los potenciales de acción y por tanto el ritmo intrínseco de latido del corazón.

PAs DE LAS CÉLULAS CONTRÁCTILES: en plateau por canales lentos de Ca^{++}



0: canales de Na^+ se abren

1: " " se cierran
ENTRA RAPIDA Na^+

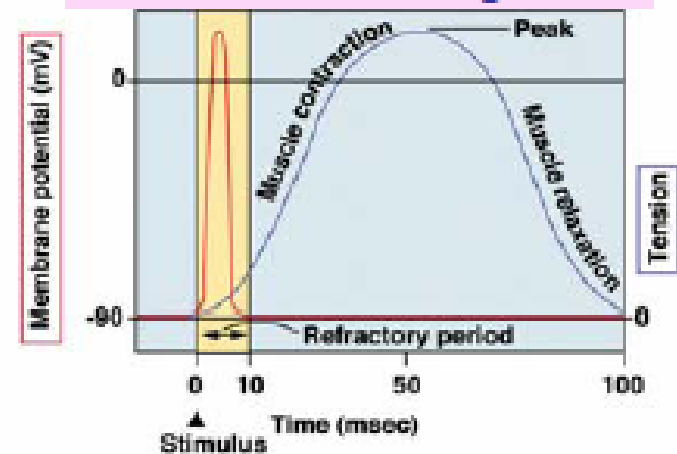
2: " " Ca^{++} se abren; de K^+ se cierran
ENTRA Ca^{++} LENTO

3: " " Ca^{++} se cierran; K^+ se abren
SALE K^+ RAPIDA

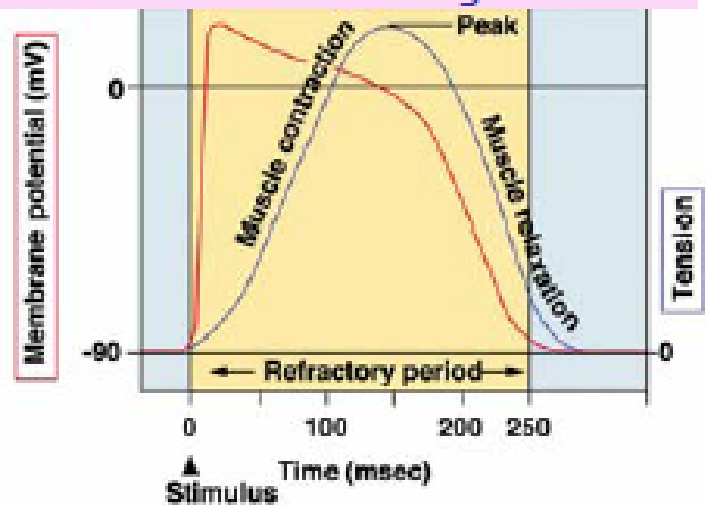
4: Pot de reposo.

4: Pot de reposo.

Musc. Esquelético: PA corto,
contracción larga

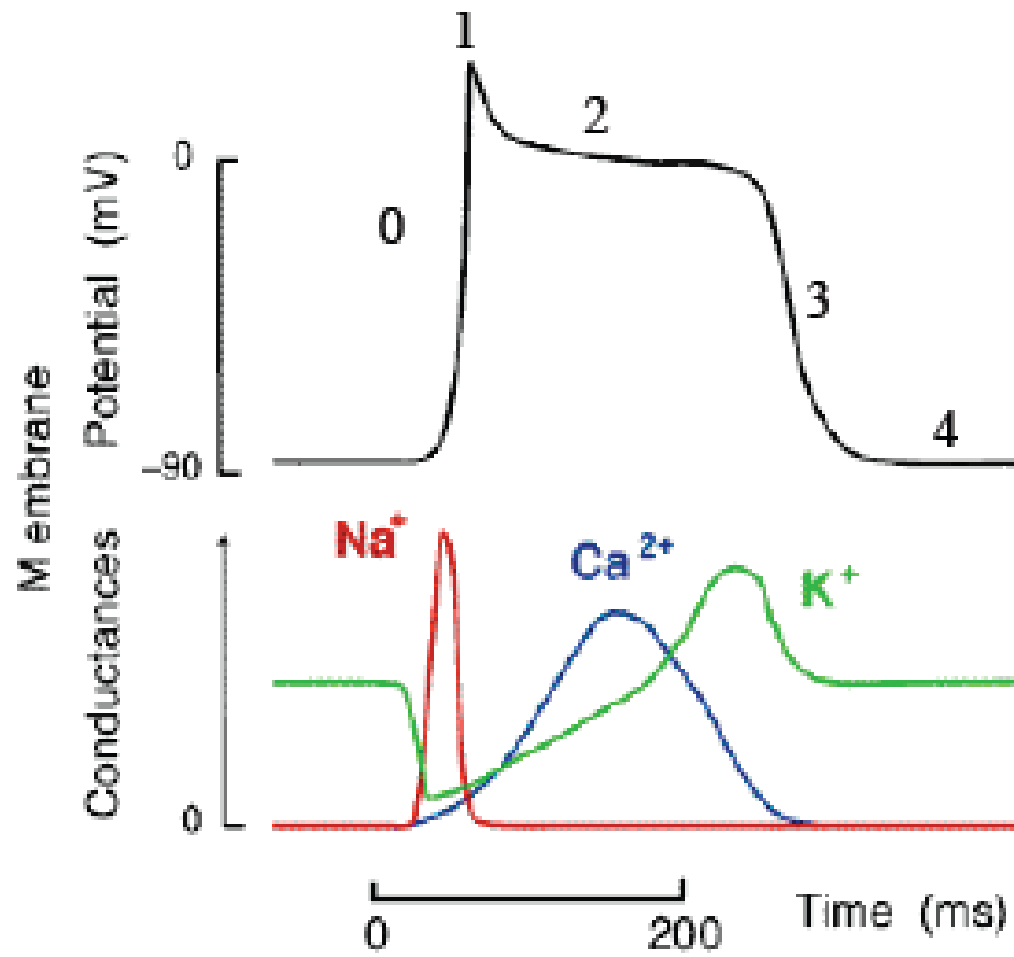


Musc. Cardíaco: PA largo,
contracción larga



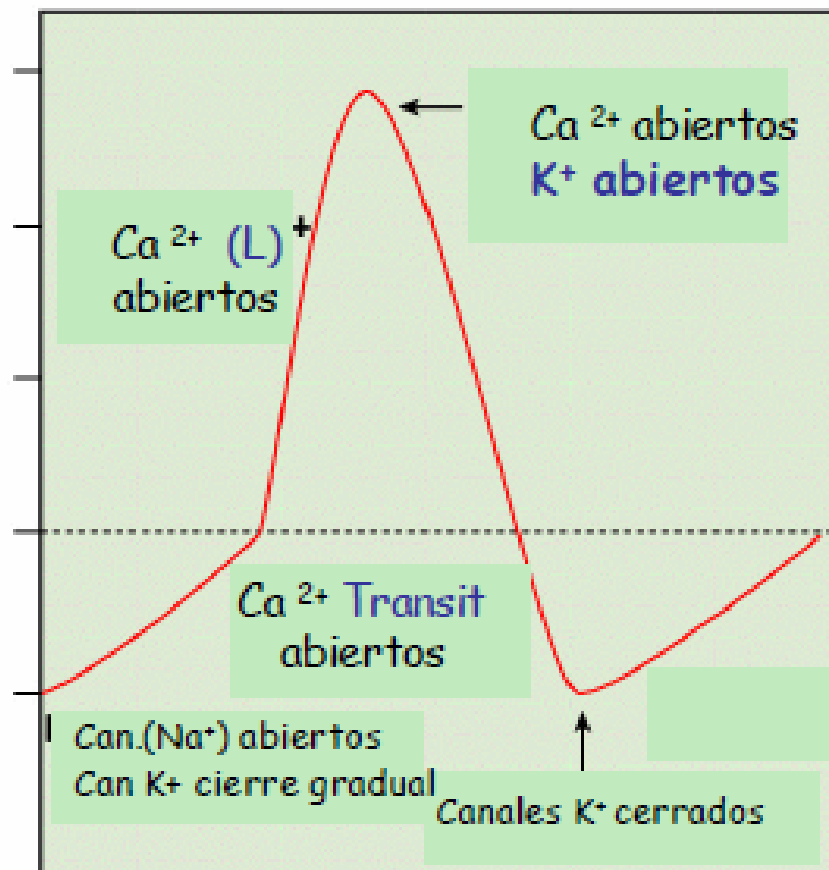
Potenciales de acción cardíacos

Potencial en la fibra muscular cardíaca
(ventricular típica)



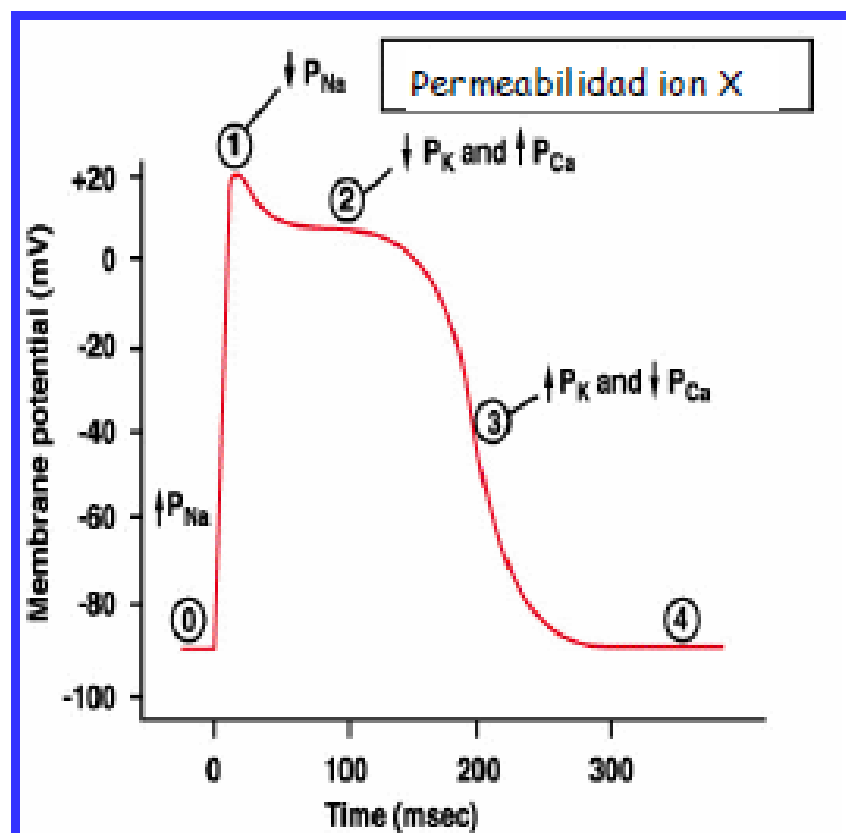
COMPARACIÓN PA_s EN CLS MARCAPASOS Y CONTRACTILES

CLS MARCAPASOS



No tienen canal de Na⁺ operados por V!
 El PA se dispara por canales de Ca⁺⁺
 El cierre gradual de canales K⁺ es el responsable de P. marcapasos

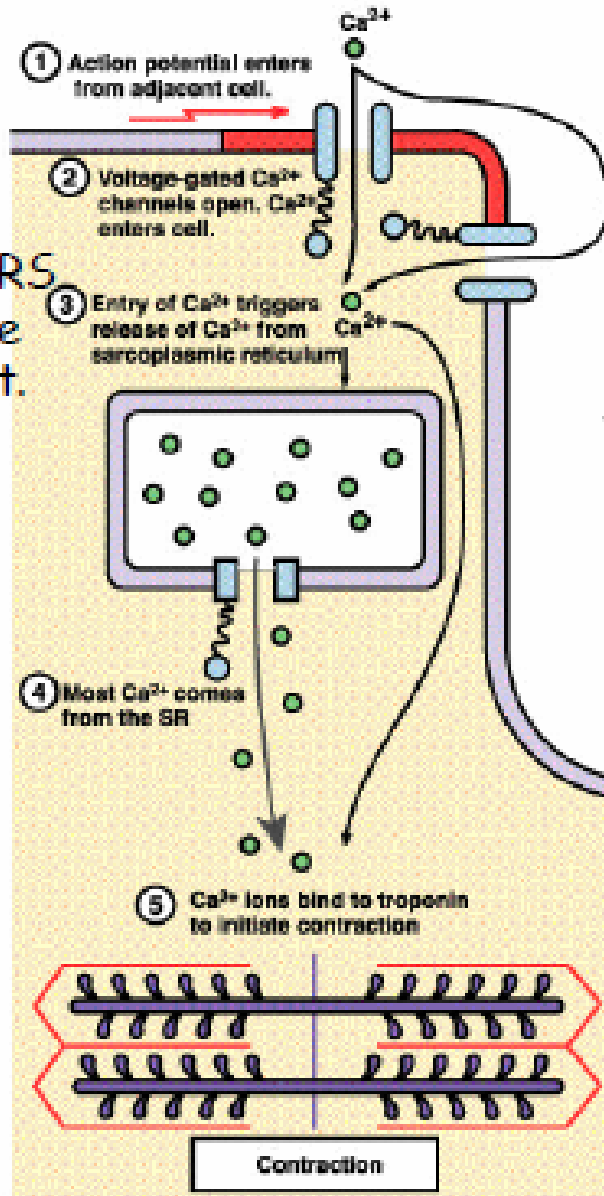
CLS CONTRACTILES



PA: (0-1) canal de Na⁺ operados por V!
 plateau: (1-2) cierre de can. K⁺ y
 apertura can. lentos de Ca⁺⁺
 repolar rápida cierre Ca⁺⁺ y apertura K⁺

CONTRACCIÓN

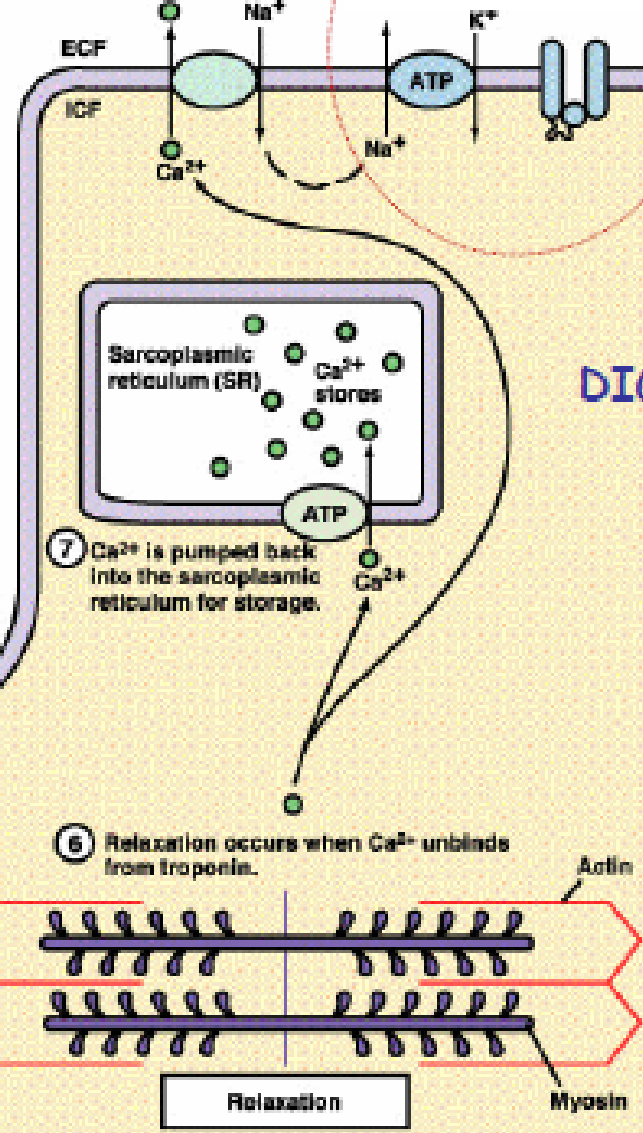
Liberación de Ca^{2+} del RS
Dependiente de Ca^{2+} ext.



RELAJACIÓN

Intercambiador Na^+/Ca^{2+}
BOMBA Na^+/K^+ ATPasa

DIGITÁLICOS



(a) Atrial systole begins:
Atrial contraction forces a small amount of additional blood into relaxed ventricles.

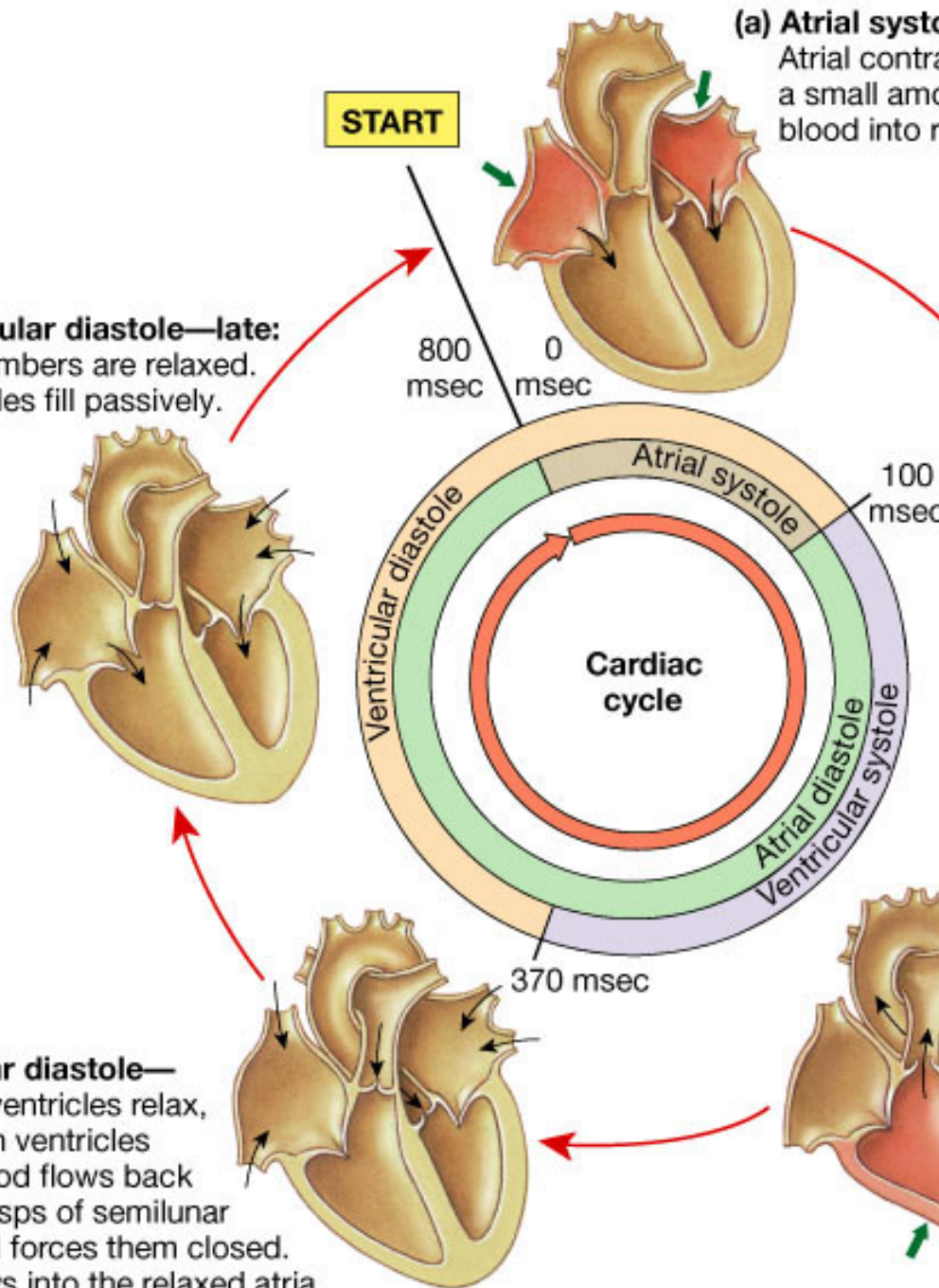
**(b) Atrial systole ends
atrial diastole begins**

**(c) Ventricular systole—
first phase:** Ventricular contraction pushes AV valves closed but does not create enough pressure to open semilunar valves.

**(d) Ventricular systole—
second phase:** As ventricular pressure rises and exceeds pressure in the arteries, the semilunar valves open and blood is ejected.

**(e) Ventricular diastole—
early:** As ventricles relax, pressure in ventricles drops; blood flows back against cusps of semilunar valves and forces them closed. Blood flows into the relaxed atria.

(f) Ventricular diastole—late:
All chambers are relaxed. Ventricles fill passively.



START

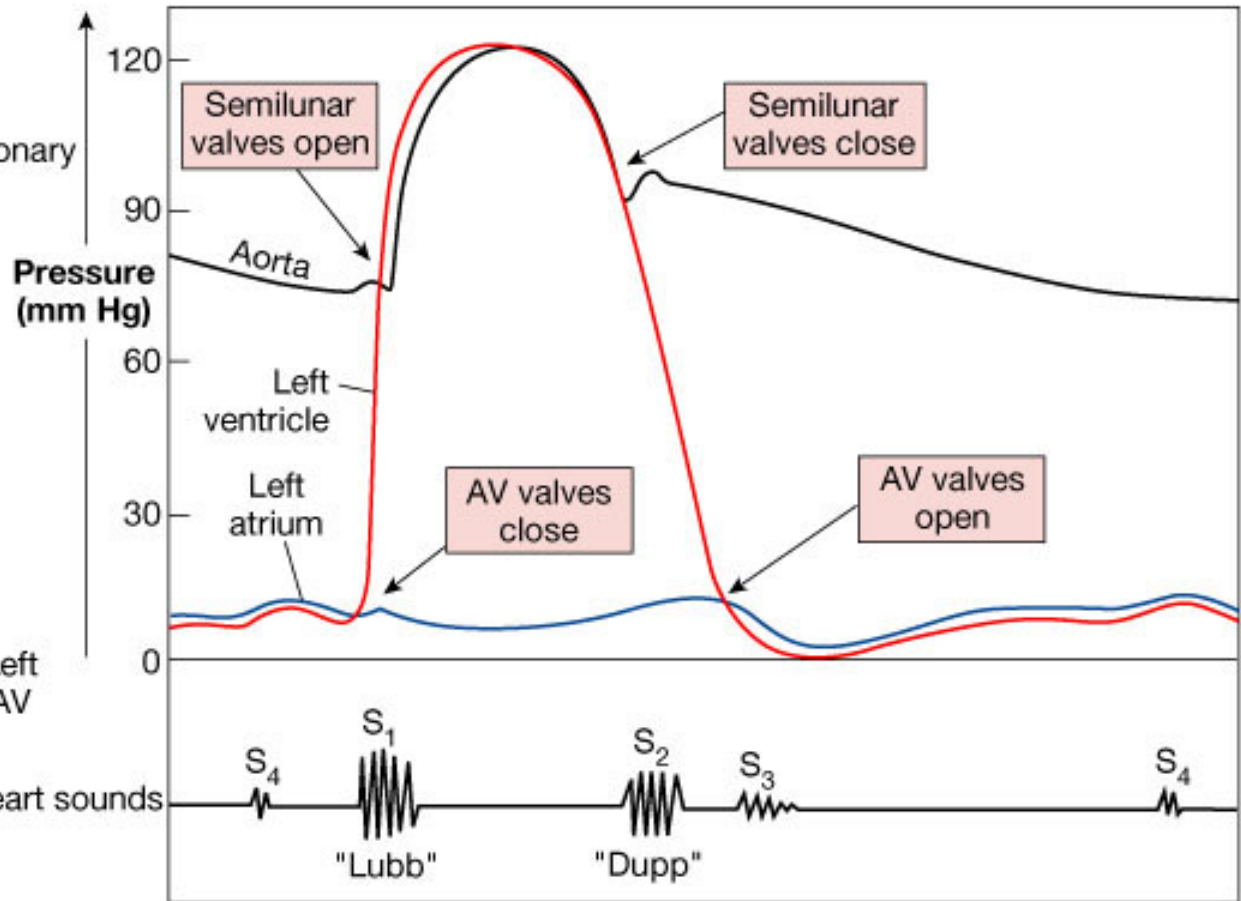
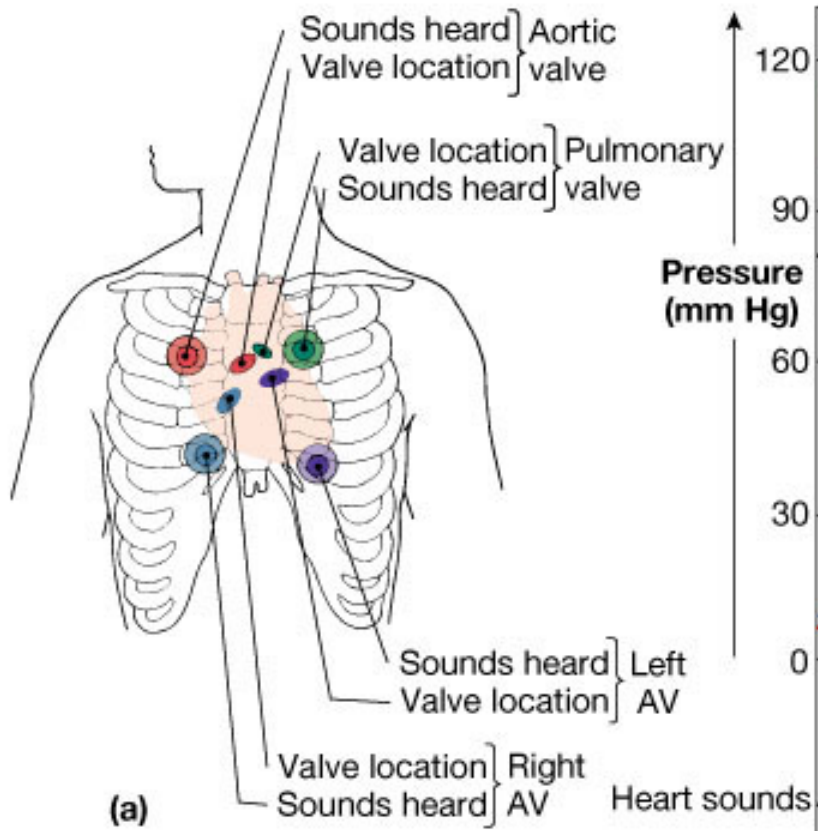
800 msec
0 msec

100 msec

370 msec

Cardiac cycle

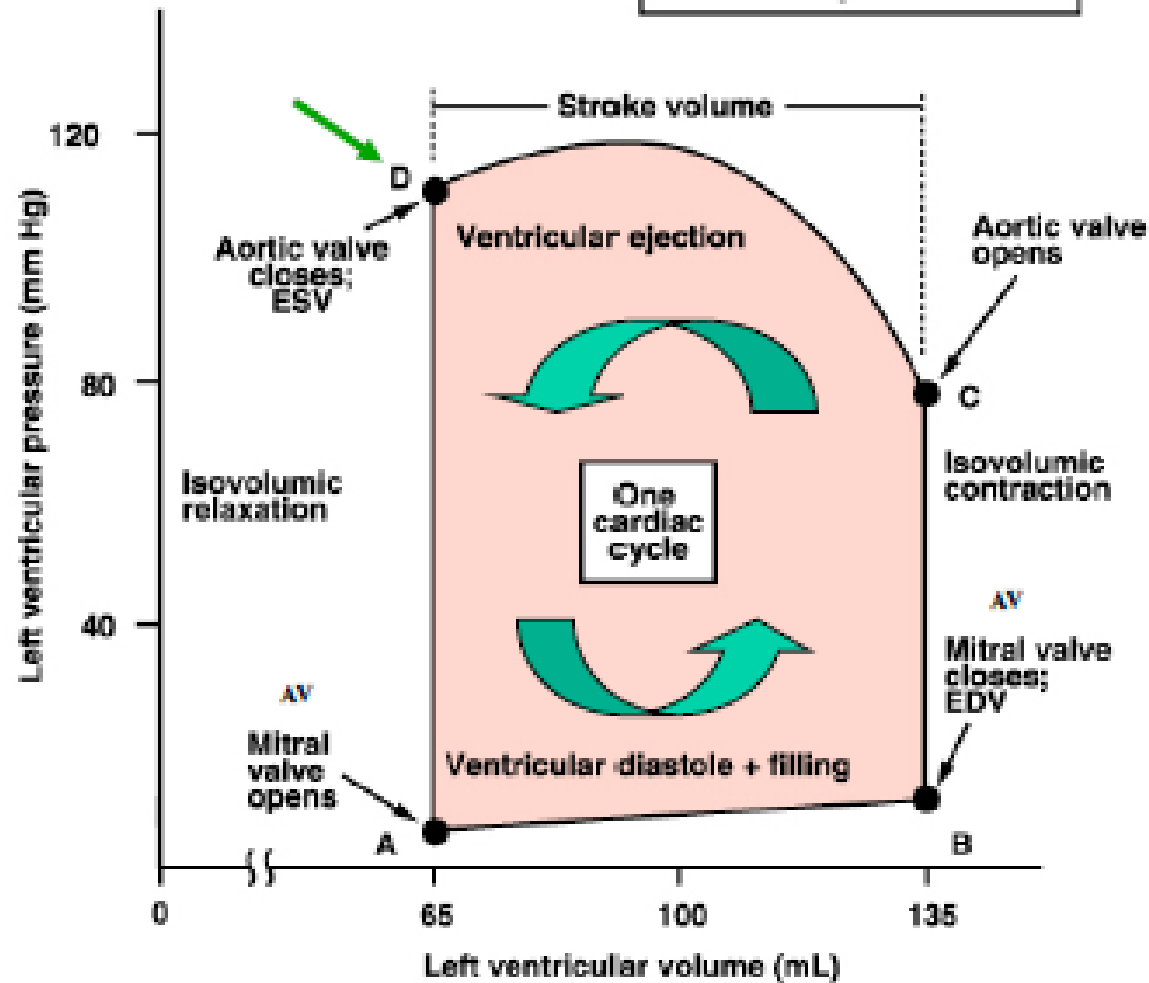
Atrial systole
Atrial diastole
Ventricular systole
Ventricular diastole



Nikolai Sergeevich Korotkoff

Ciclo cardíaco: loop P-V

EDV = End-diastolic volume
ESV = End-systolic volume



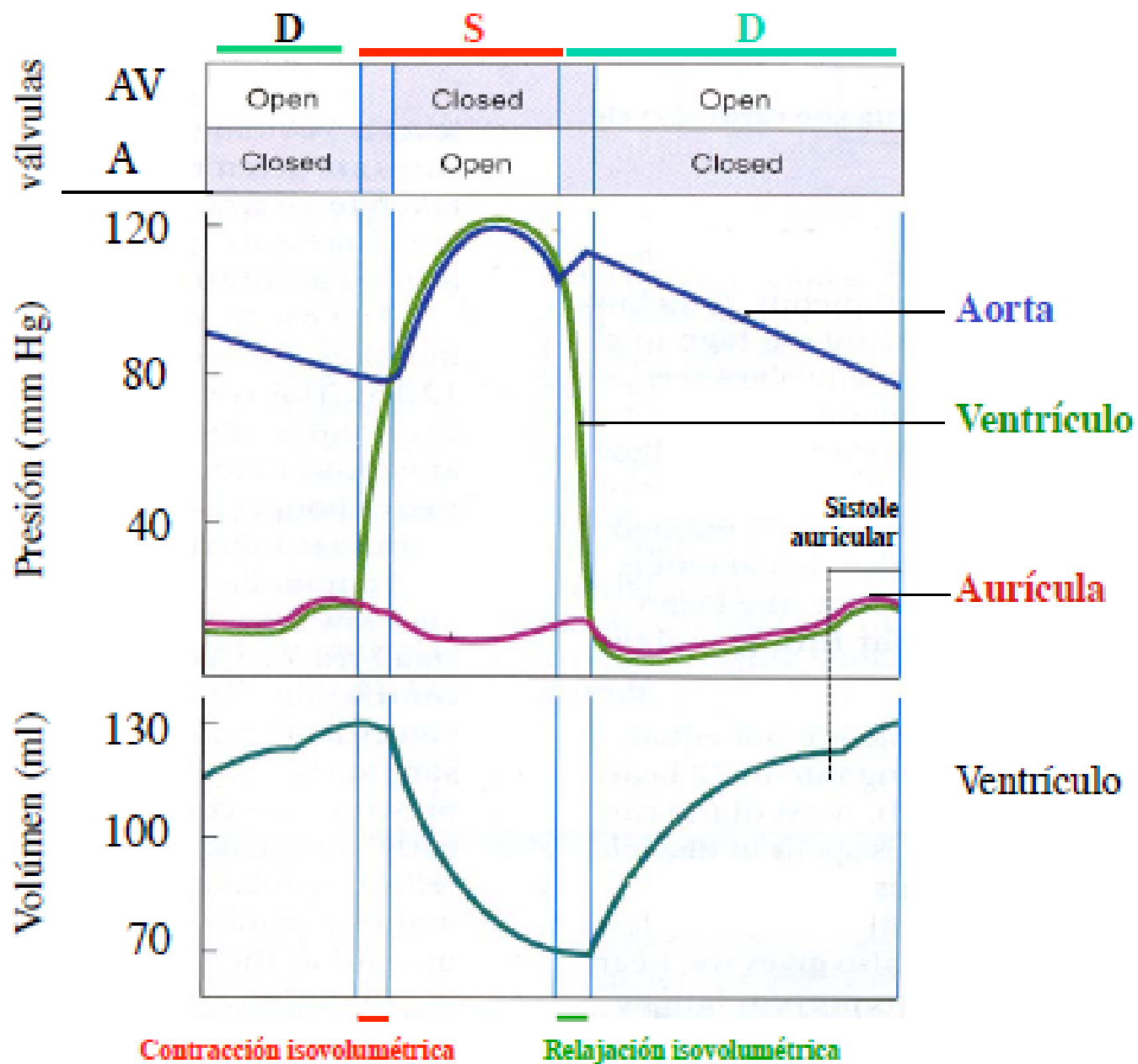
A → B: Passive filling and atrial contraction

B → C: Isovolumic contraction

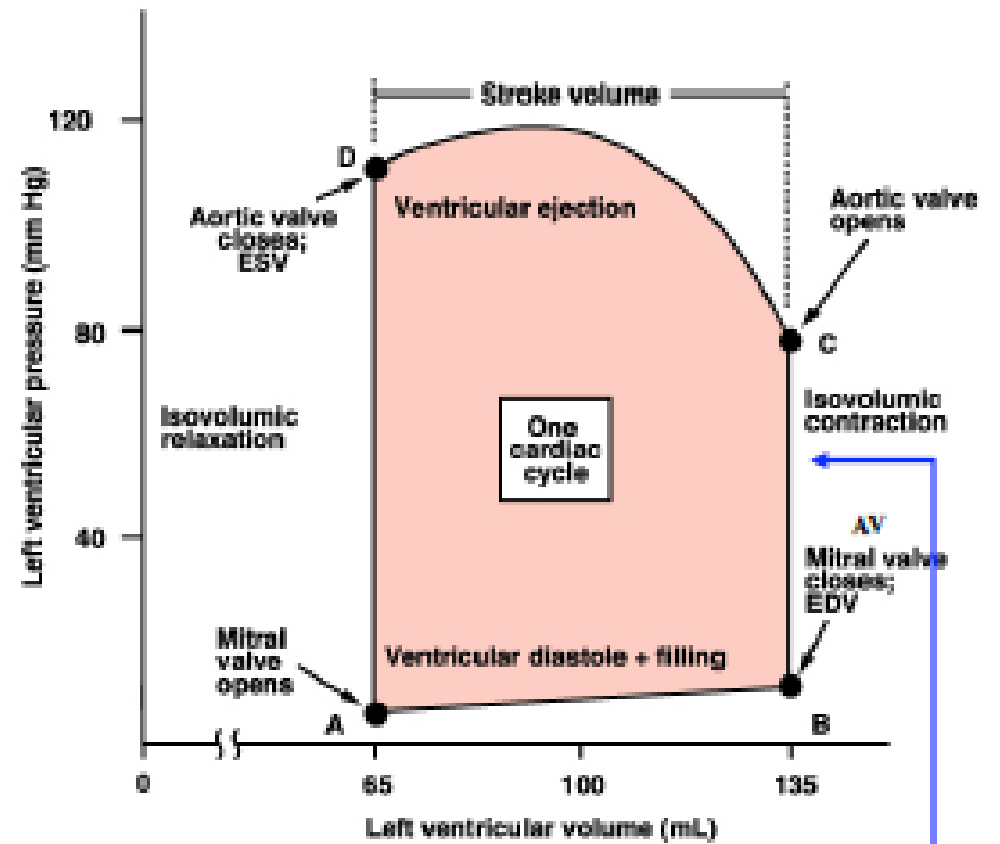
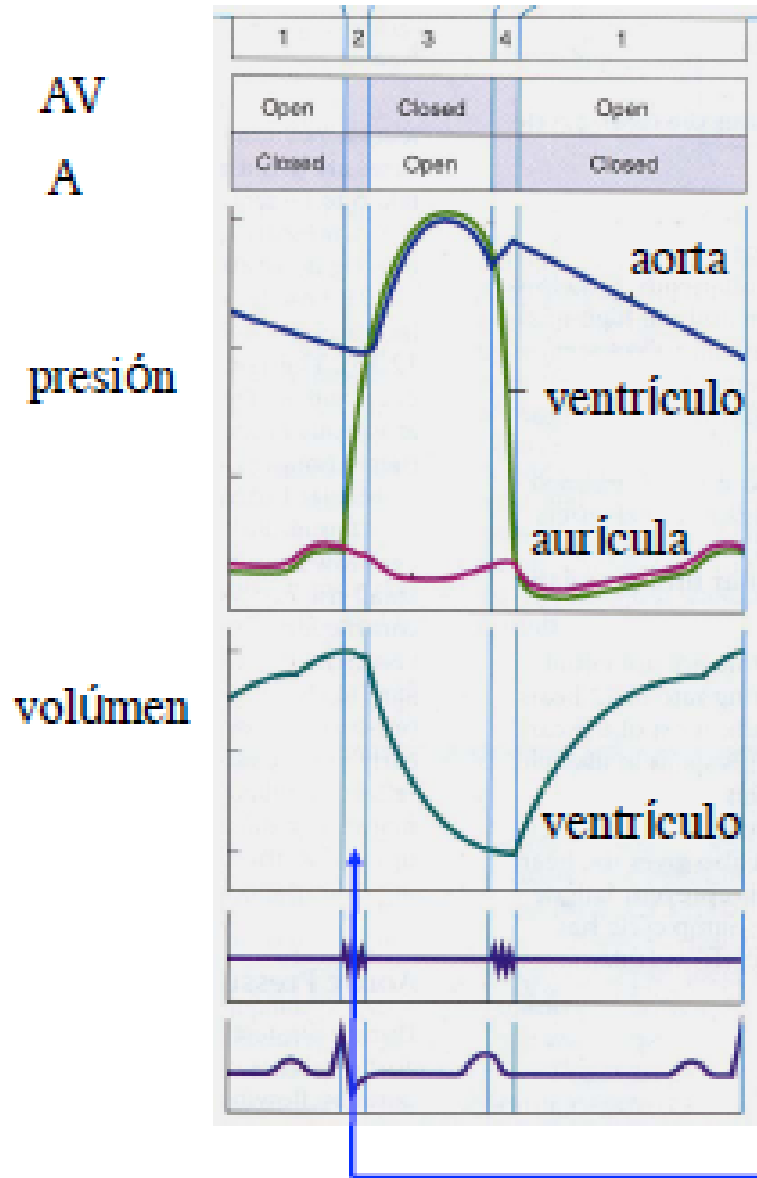
C → D: Ejection of blood into aorta

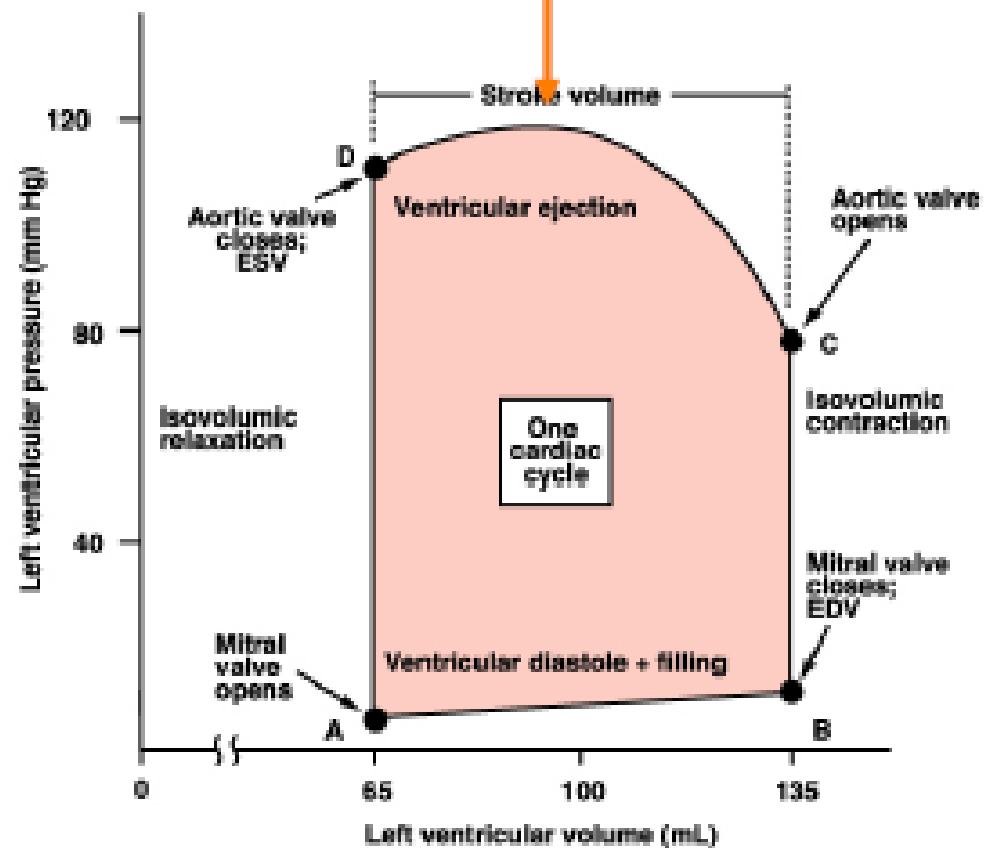
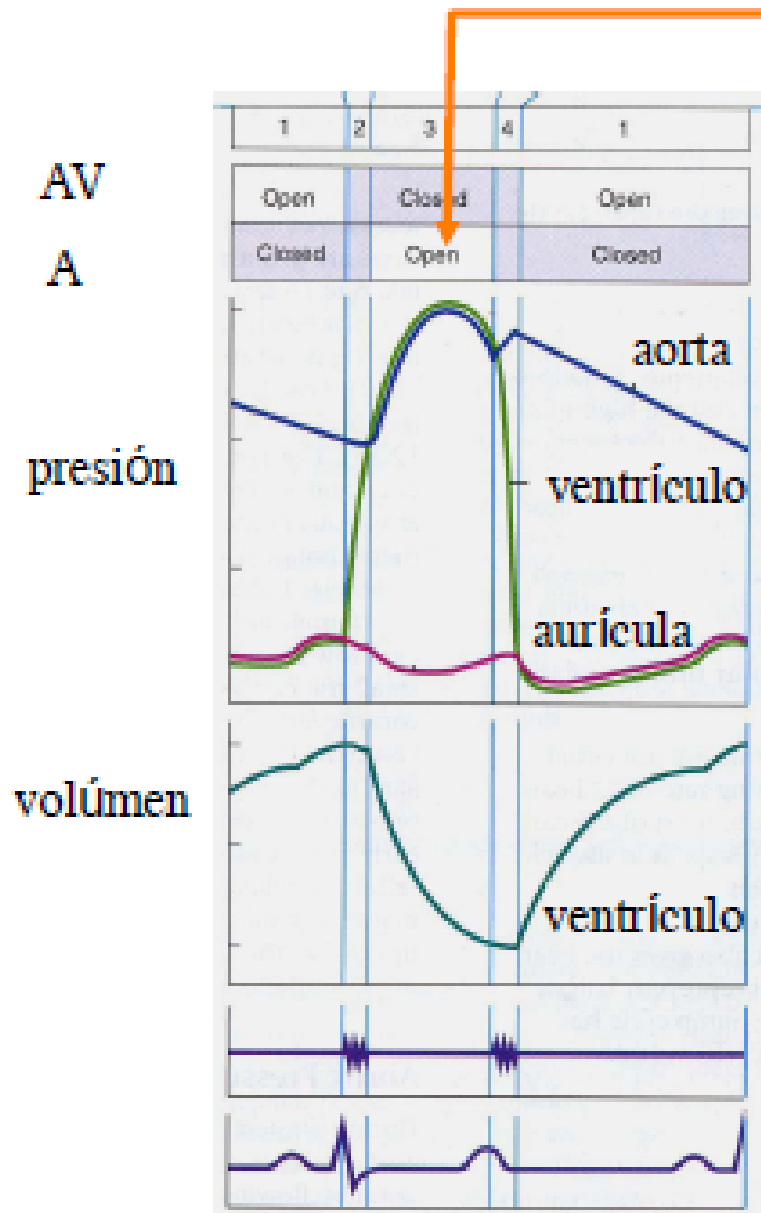
D → A: Isovolumic relaxation

Ciclo cardíaco



Ciclo cardíaco

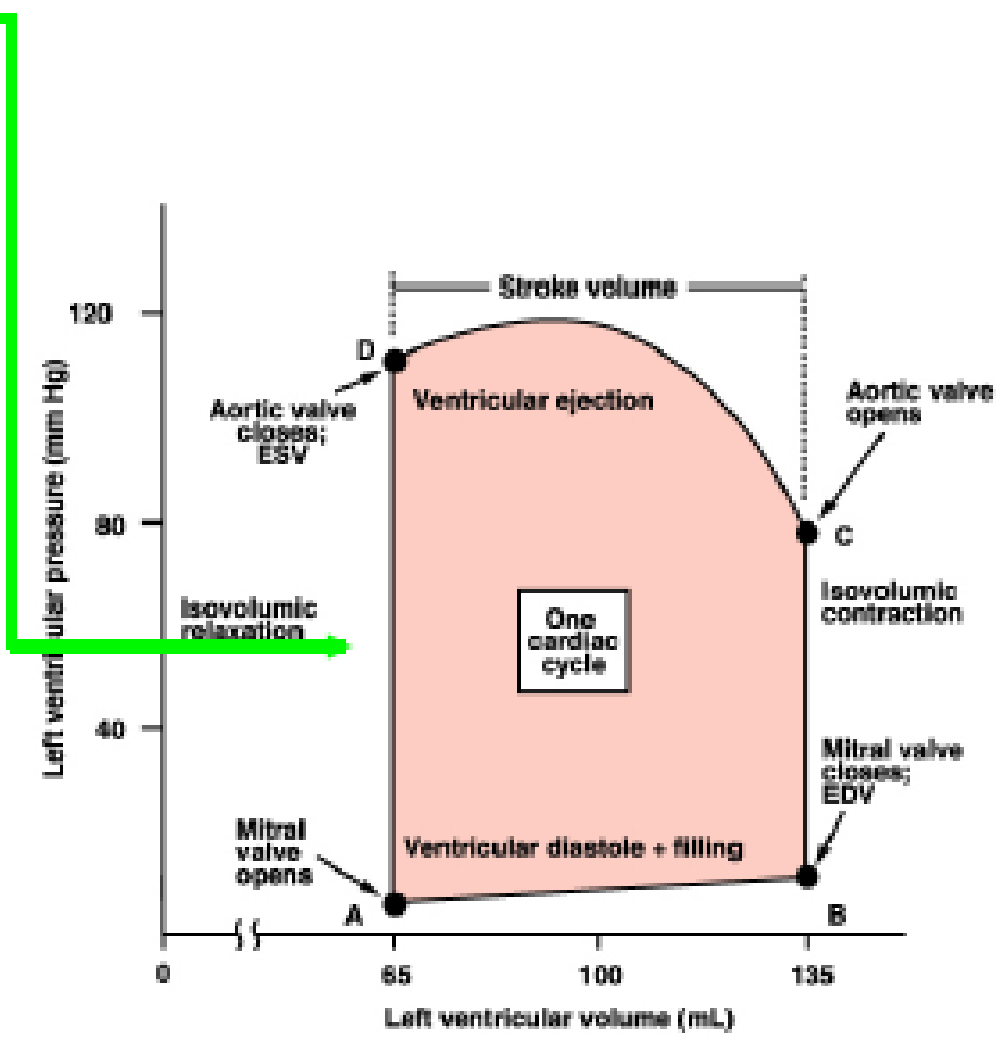
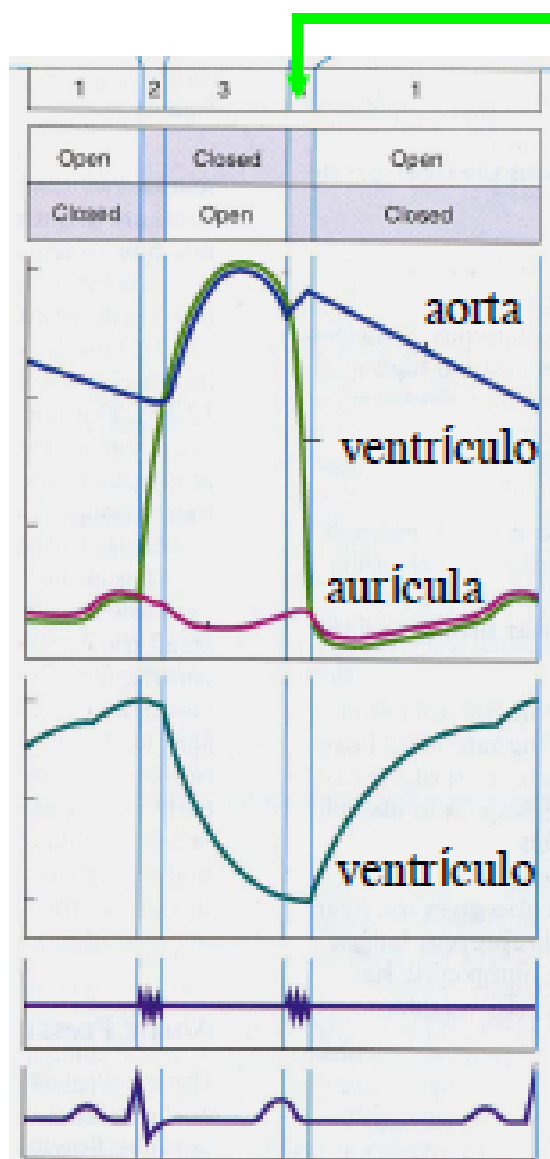




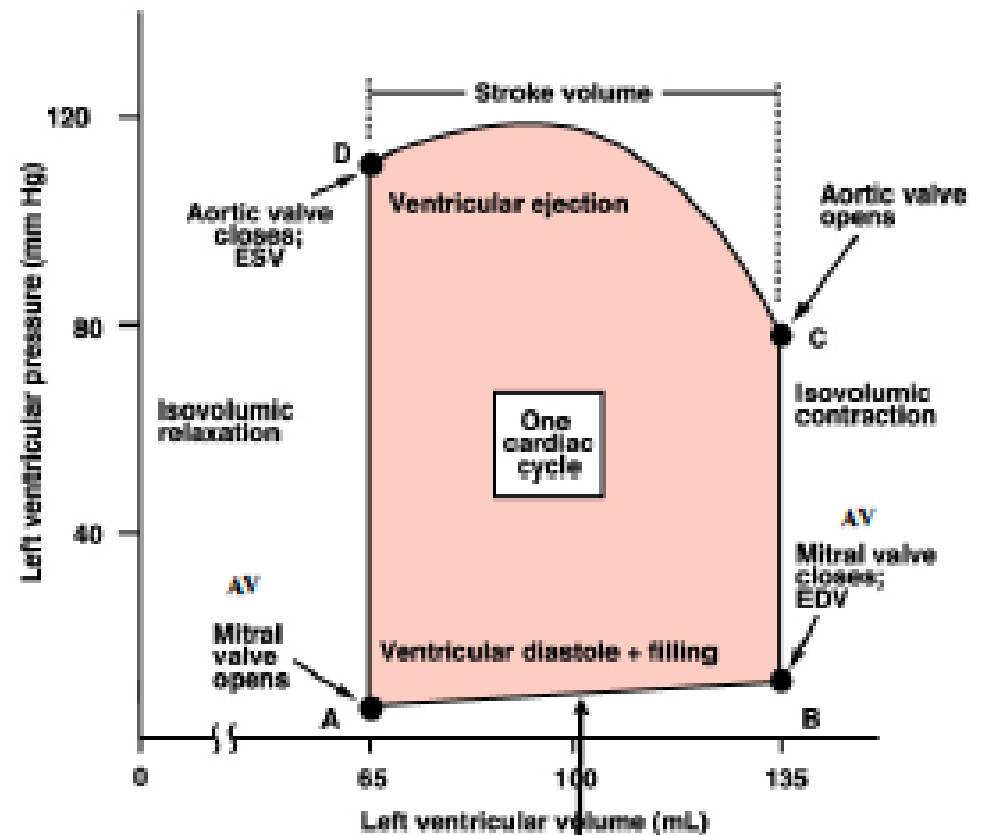
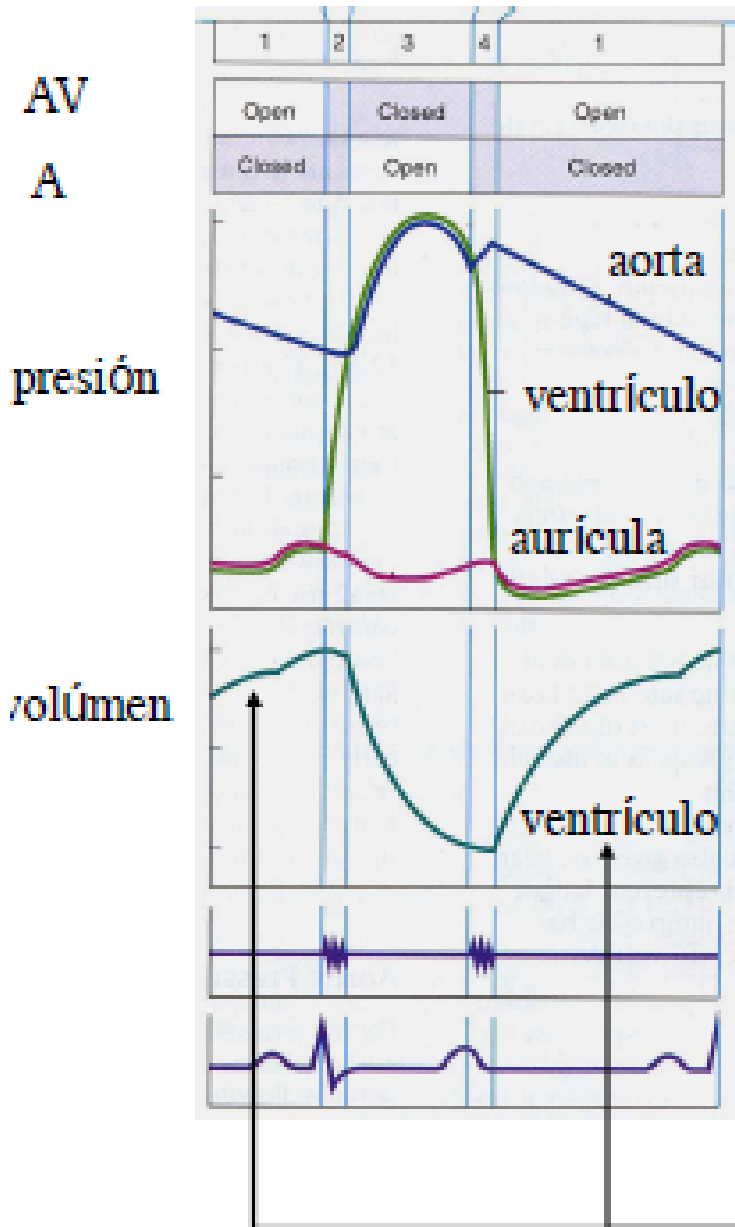
AV
A

presión

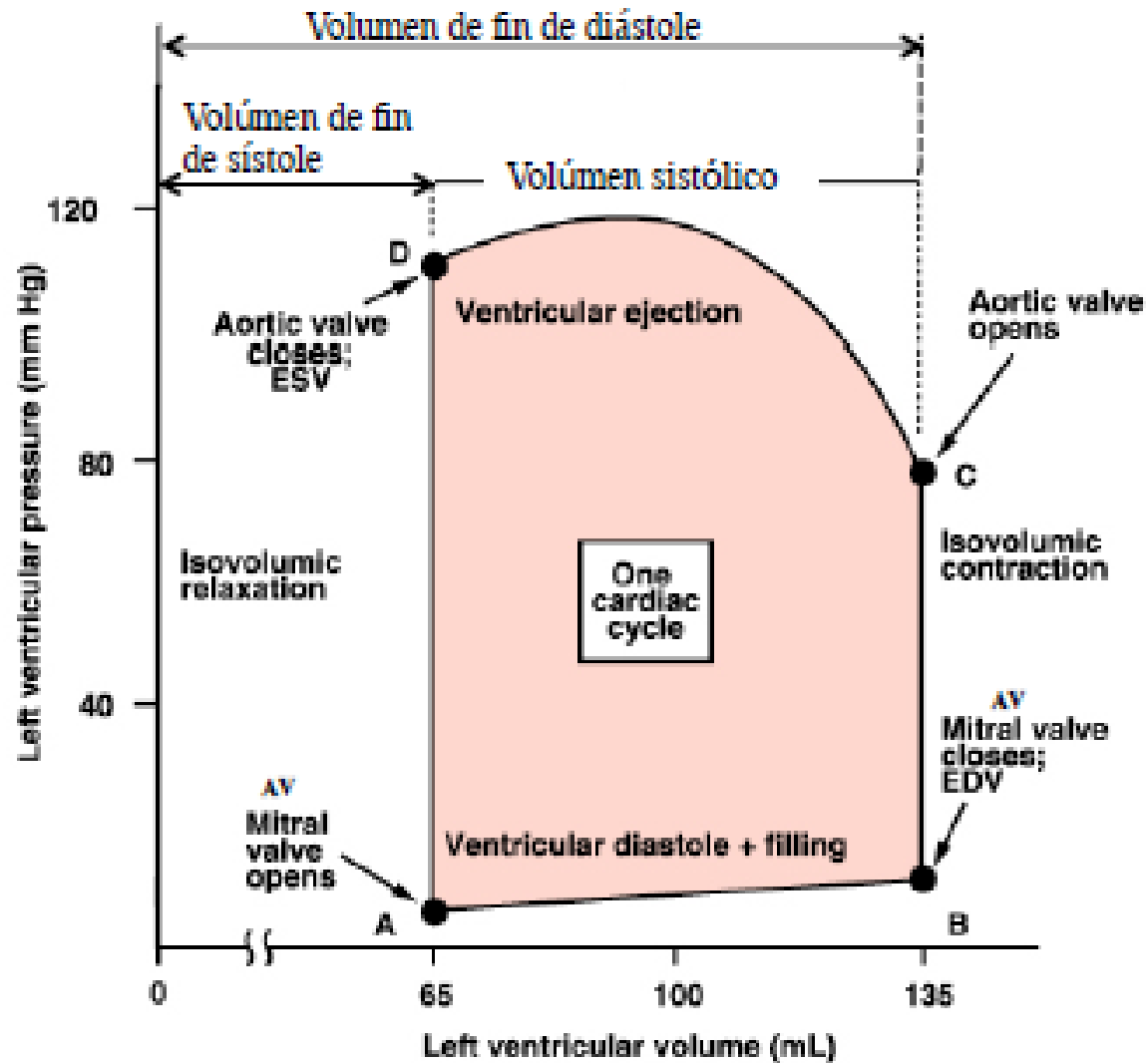
volúmen



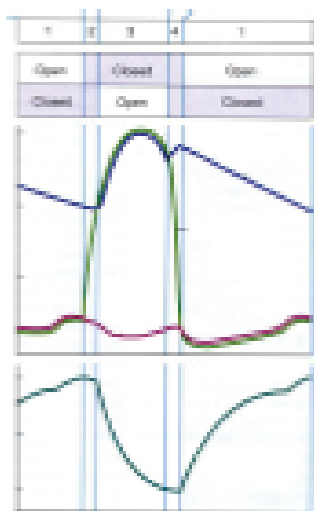
Ciclo cardíaco



Ciclo cardíaco



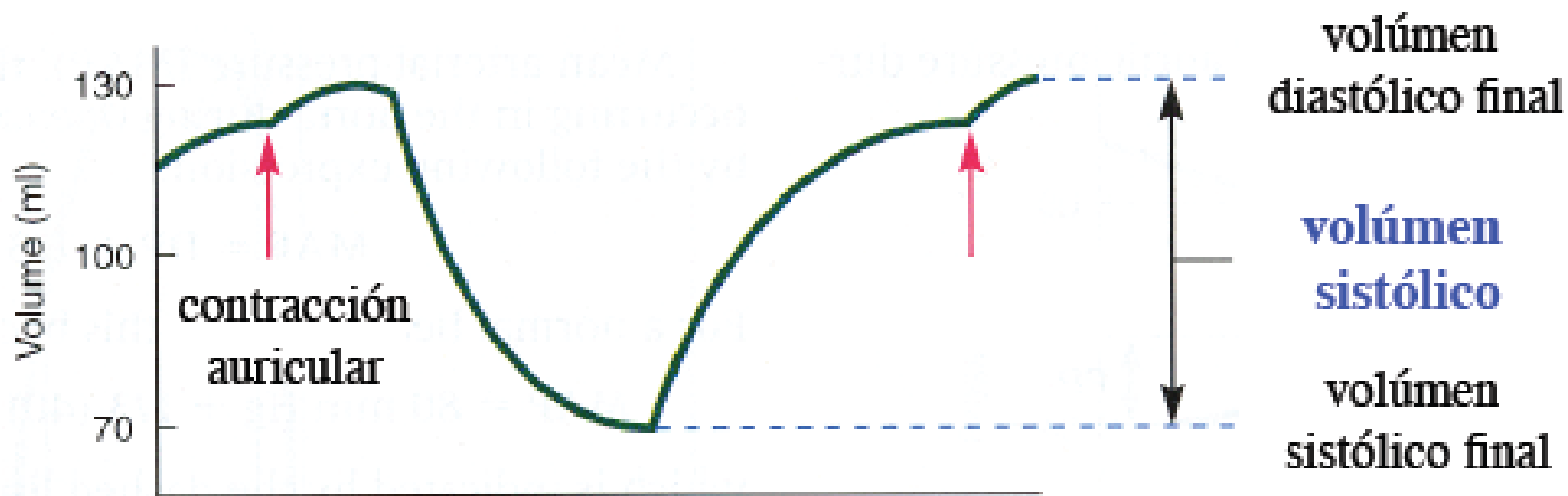
- A → B: Passive filling and atrial contraction
- B → C: Isovolumic contraction
- C → D: Ejection of blood into aorta
- D → A: Isovolumic relaxation



GASTO CARDIACO

DESDE EL PUNTO DE VISTA CARDIACO

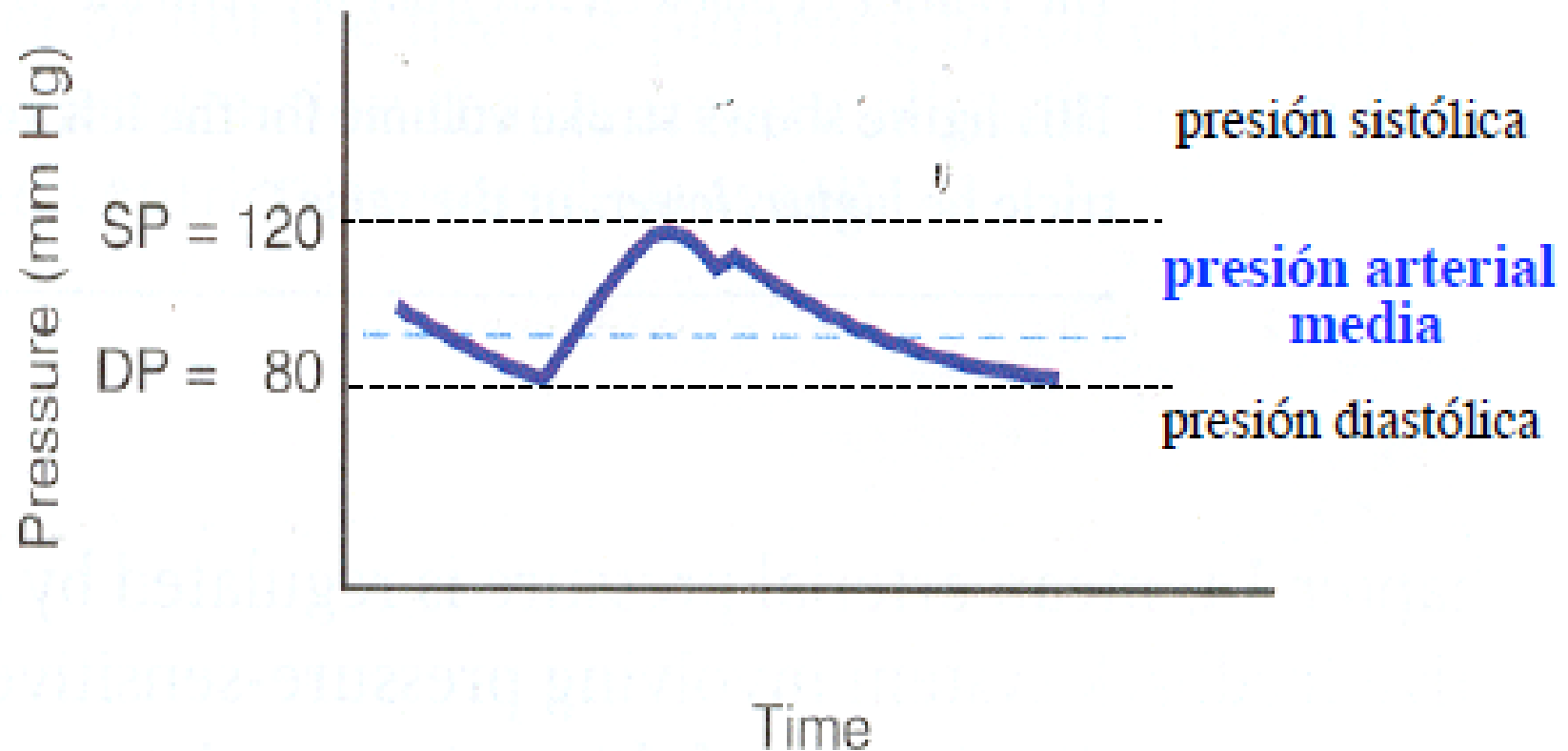
gasto cardíaco = **volúmen sistólico** x frecuencia cardíaca



GASTO CARDIACO

DESDE EL PUNTO DE VISTA HEMODINAMICO

$$\text{gasto cardíaco} = \frac{\text{presión arterial media}}{\text{resistencia periférica total}}$$



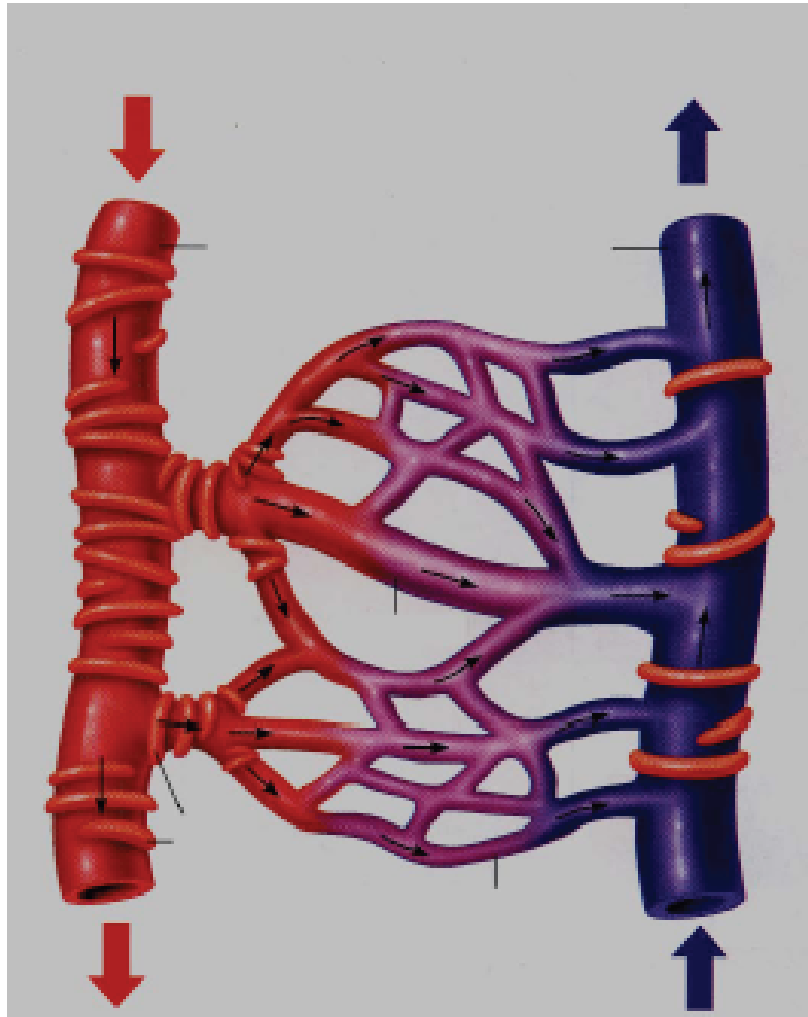
$$\text{Flujo} = \Delta P / R$$

[Flujo] ml/min

[P] mm Hg

[R] mm Hg. min. ml⁻¹

Resistencia vascular



Resistencia en serie

R_1

R_2

R_3

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$

Resistencia en paralelo

R_1

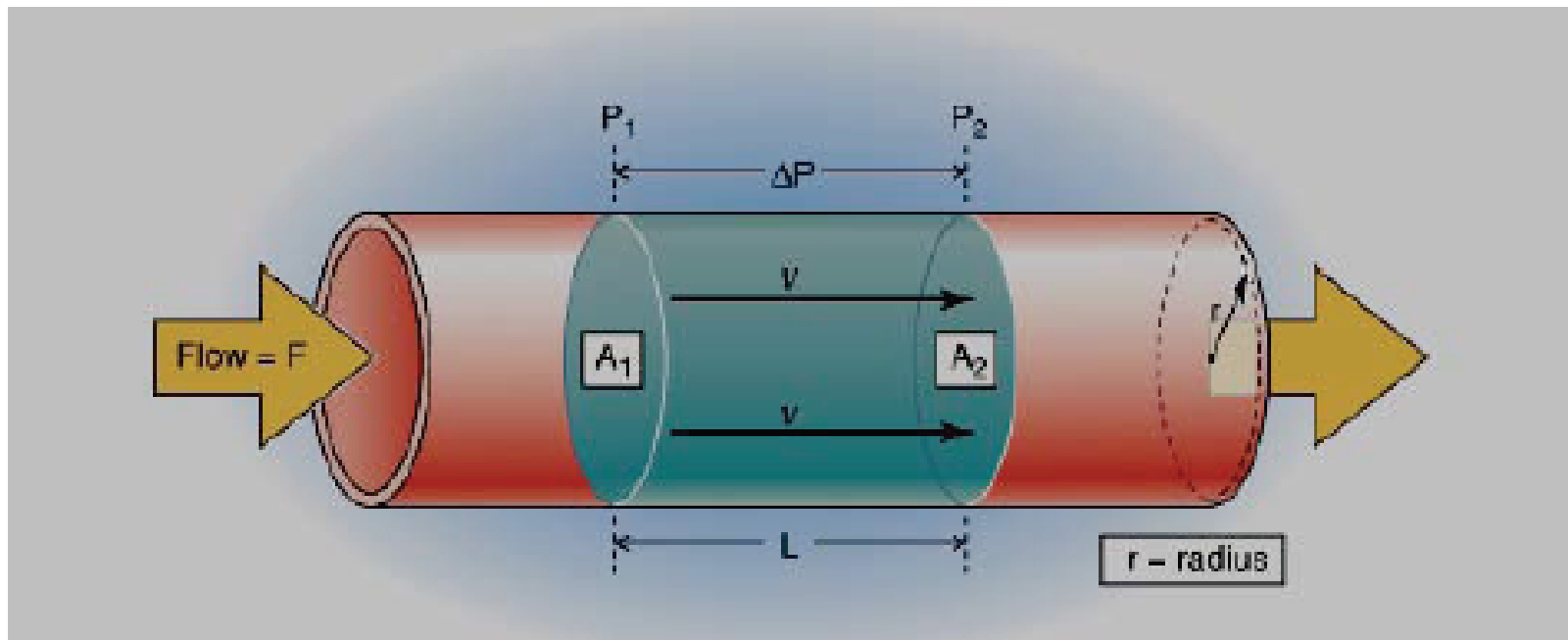
R_2

R_3

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

Resistencia vascular

$$\text{Flujo} = \Delta P / R$$



$$R = \frac{8L\eta}{\pi r^4}$$

(η viscosidad del fluido)

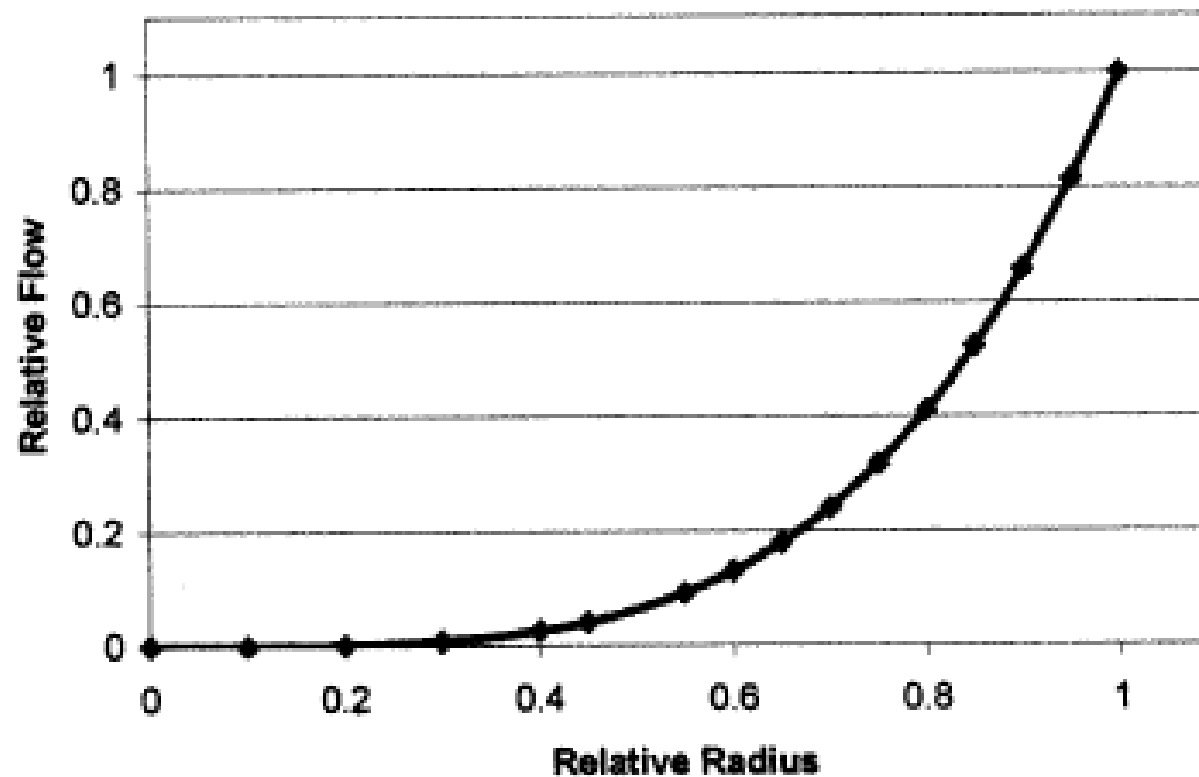
Ley de Poiseuille

Resistencia vascular

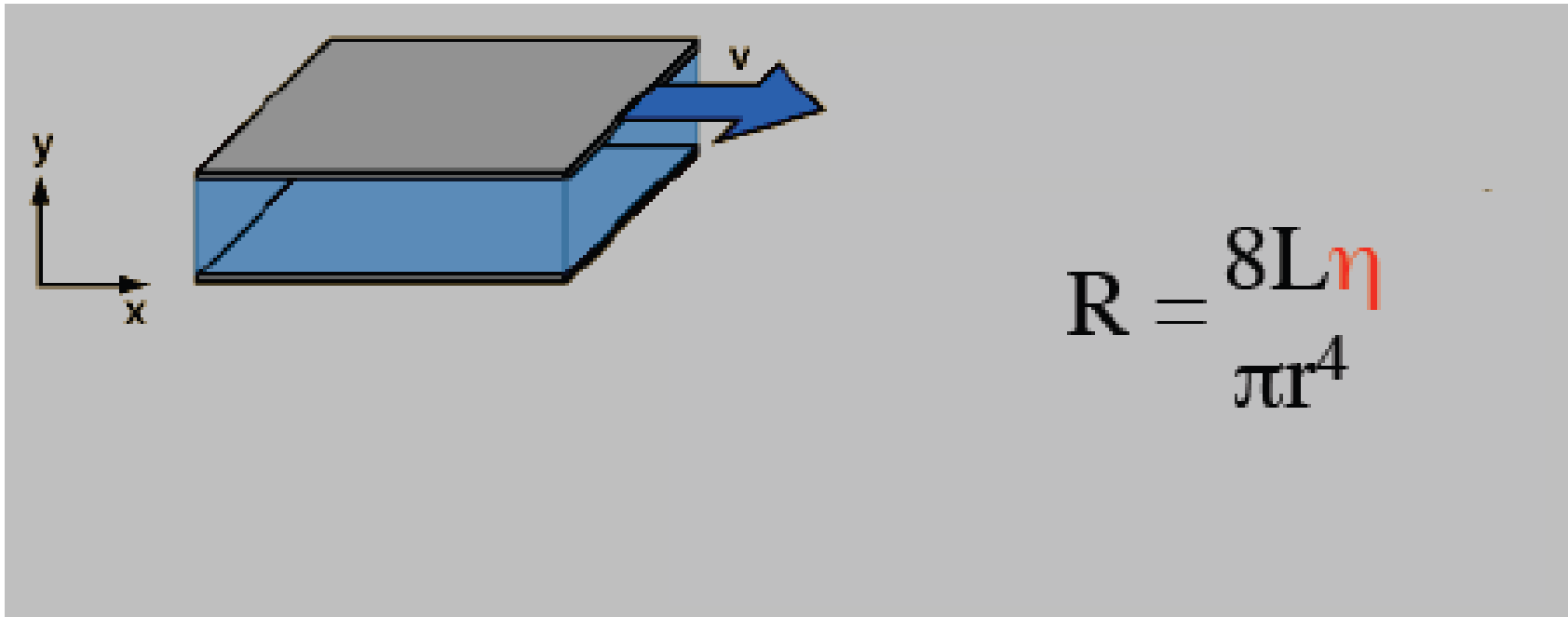
La resistencia al flujo depende del radio del vaso

$$\text{Flujo} = \Delta P / R$$

$$R = \frac{8L\eta}{\pi r^4}$$



Viscosidad



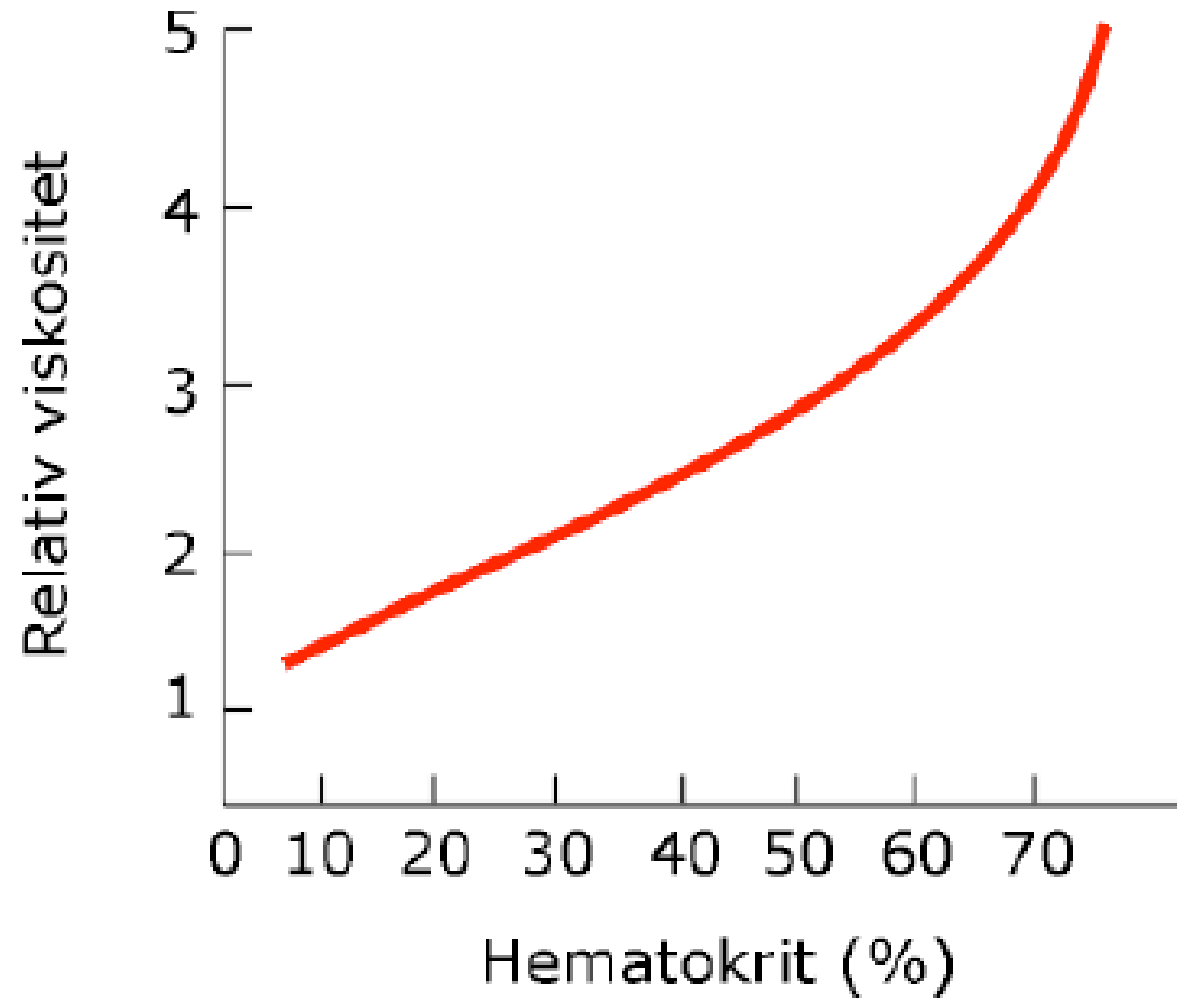
Viscosidad es la propiedad física de los líquidos de oponerse a su deformación. O también, la resistencia que oponen los fluidos a la variación de la velocidad de sus líneas de corriente.

Viscosidad de la sangre

La viscosidad depende del hematocrito

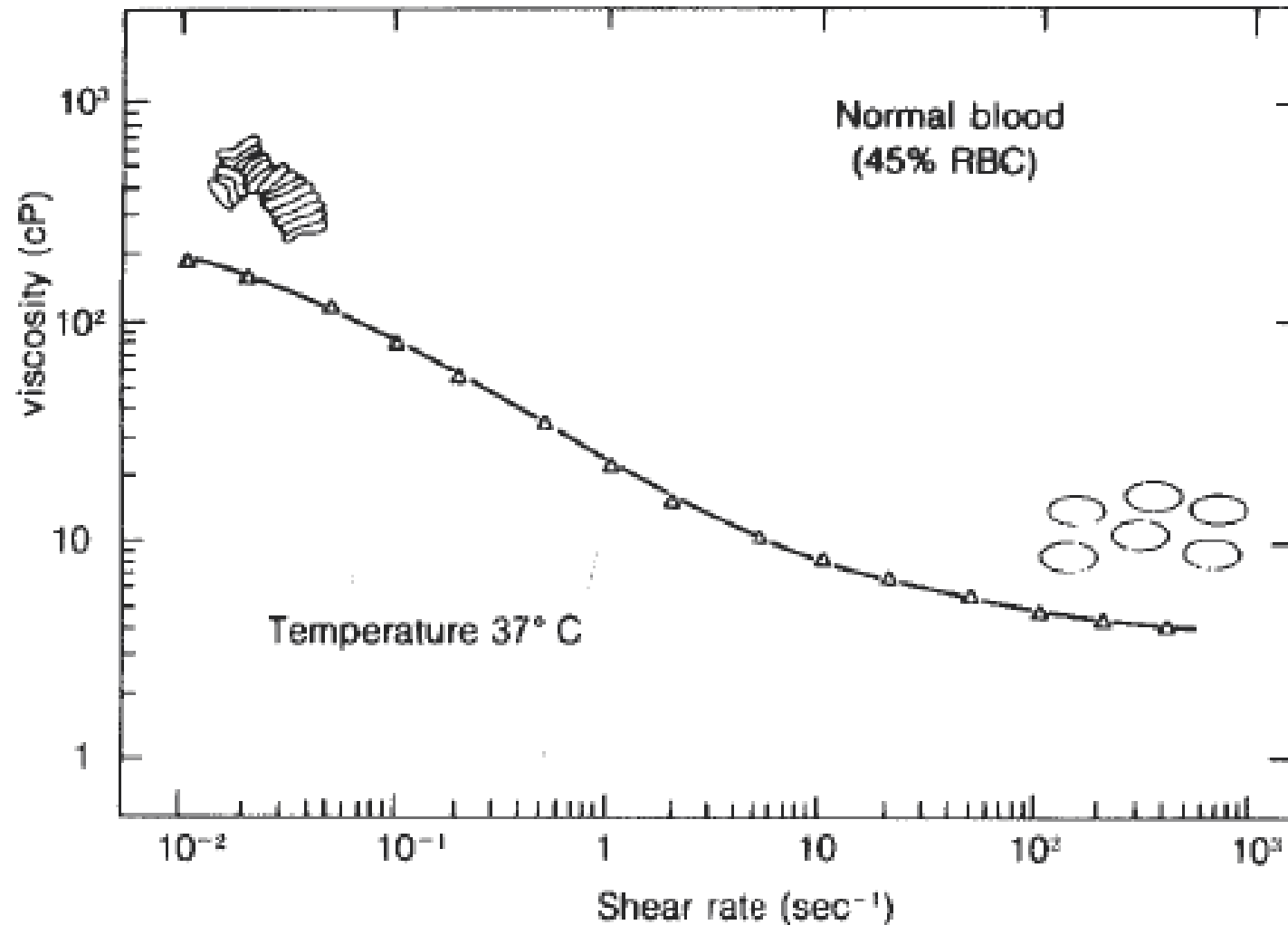
$$\text{Flujo} = \Delta P / R$$

$$R = \frac{8L\eta}{\pi r^4}$$



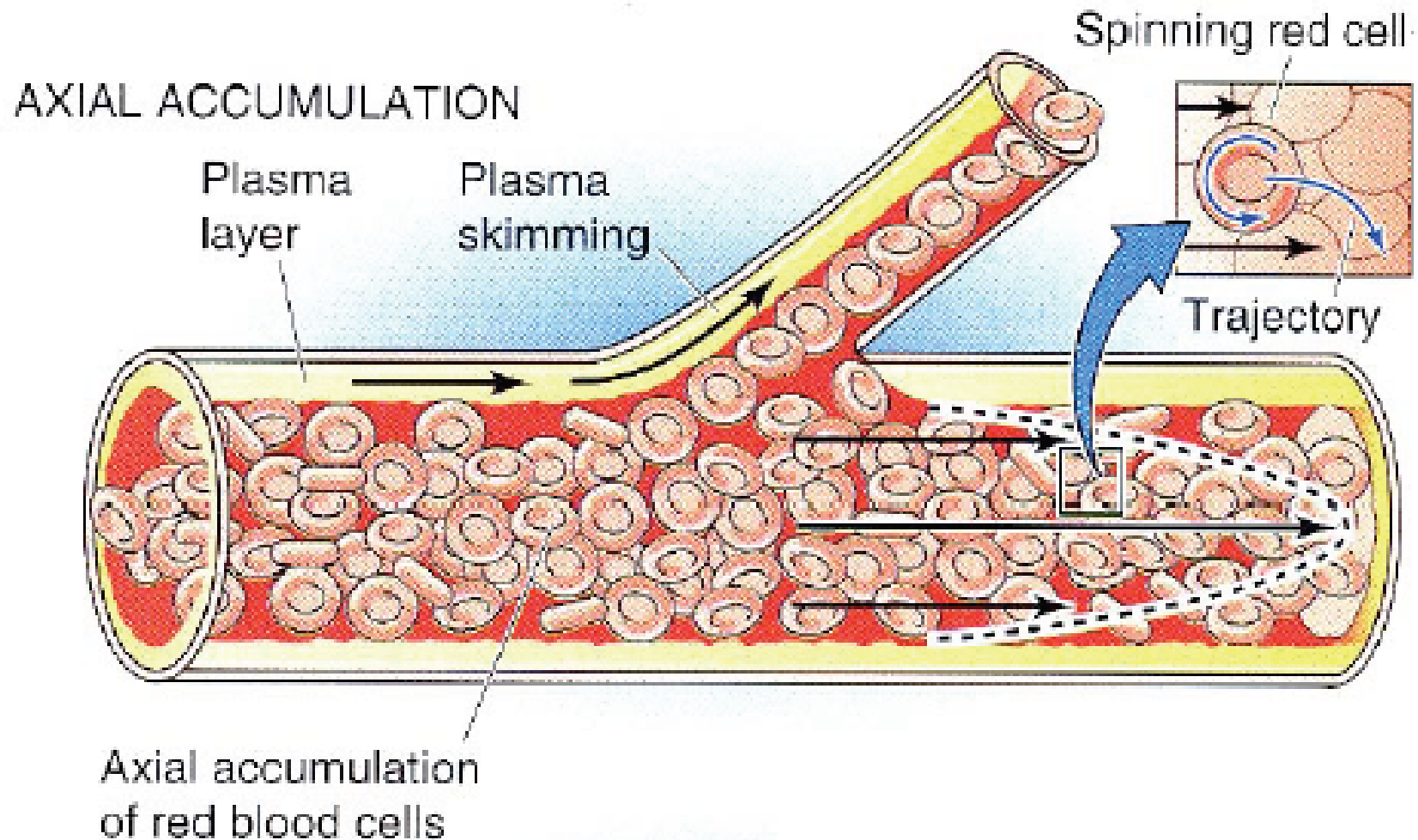
Viscosidad de la sangre

La viscosidad depende de la velocidad del flujo



Viscosidad de la sangre

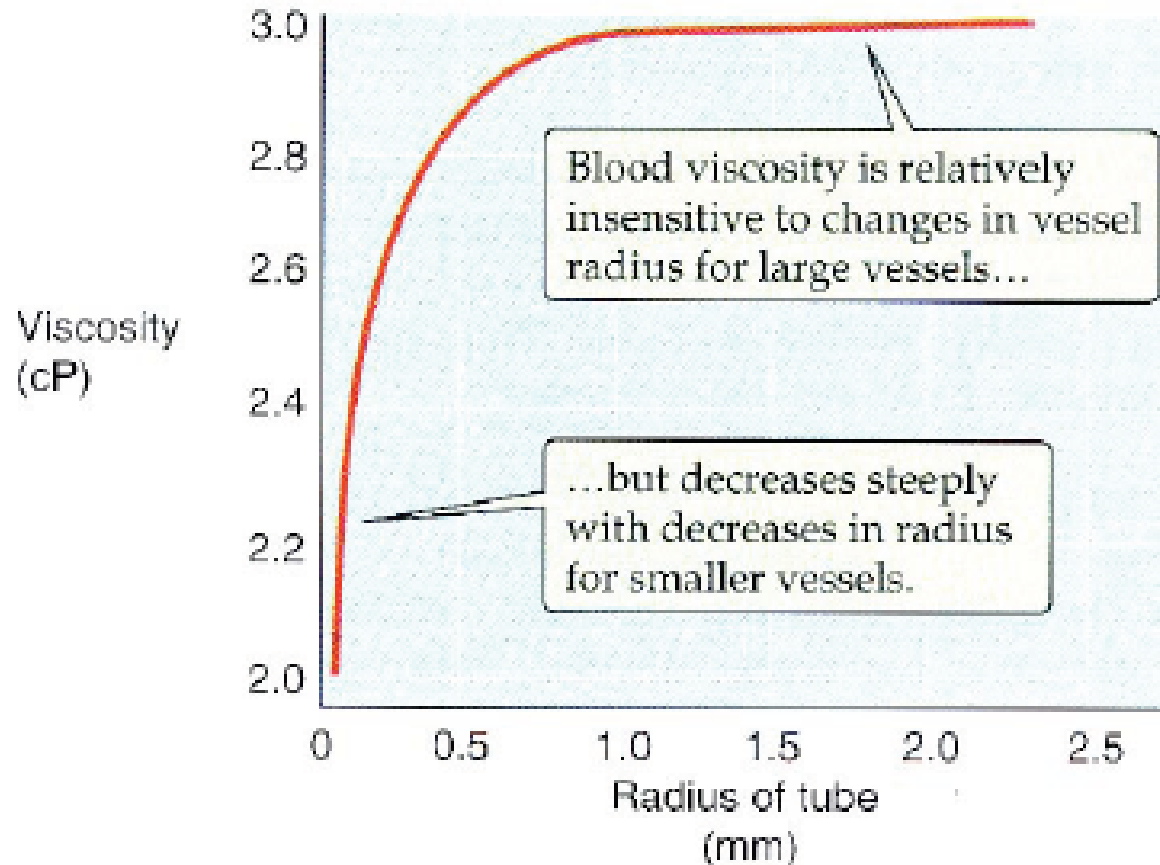
Efecto Fahraeus-Lindqvist



Viscosidad de la sangre

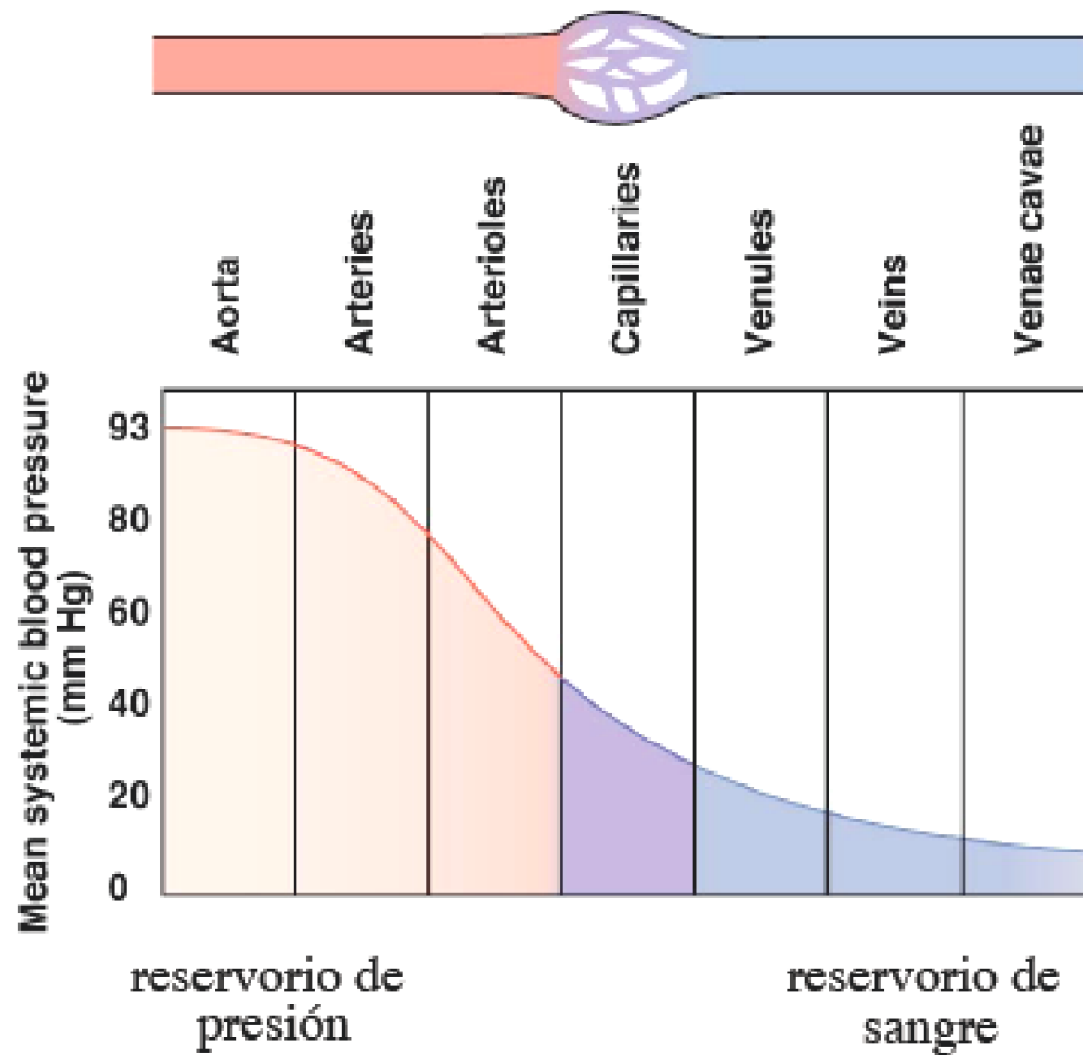
Efecto Fahraeus-Lindqvist

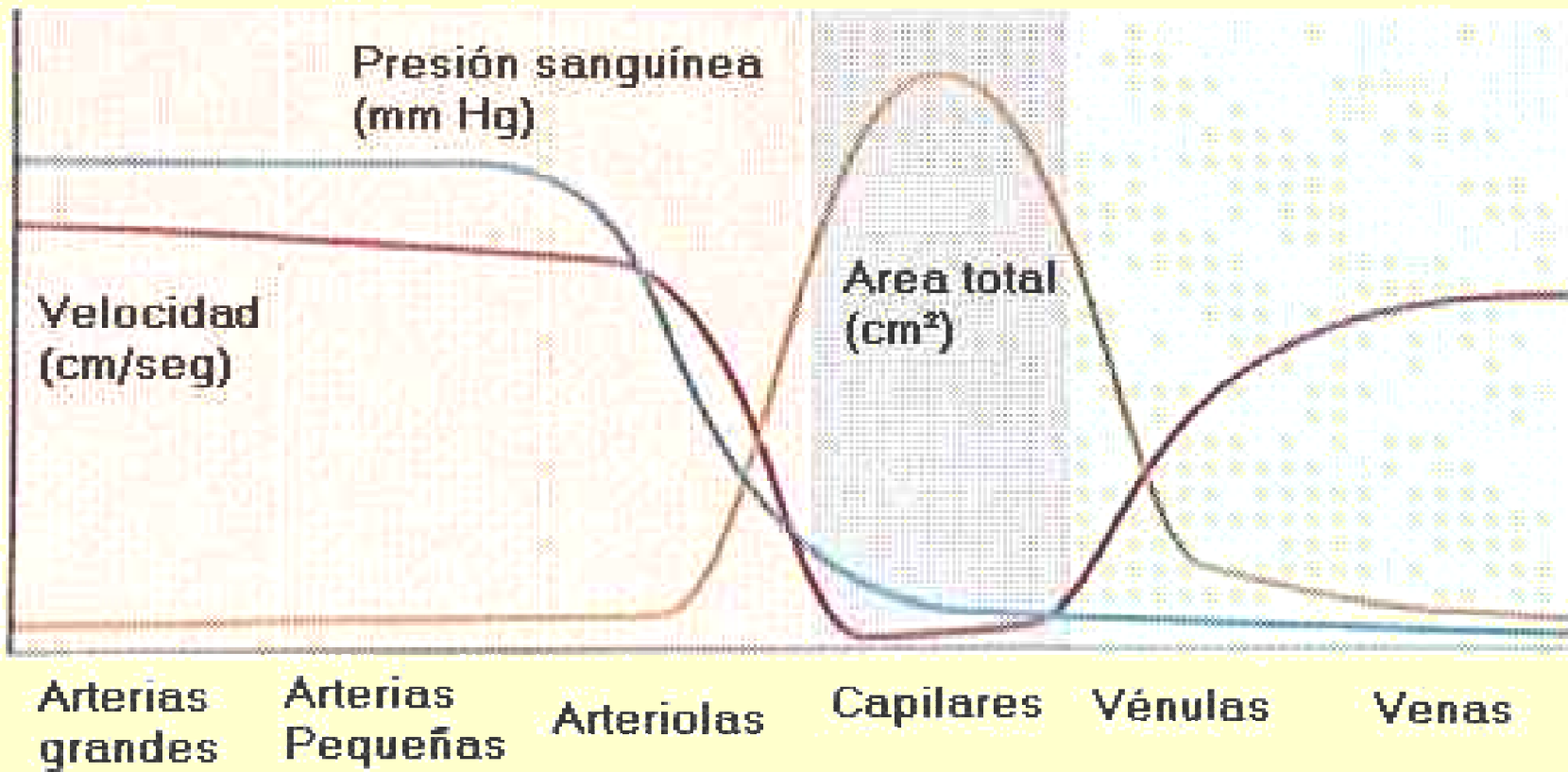
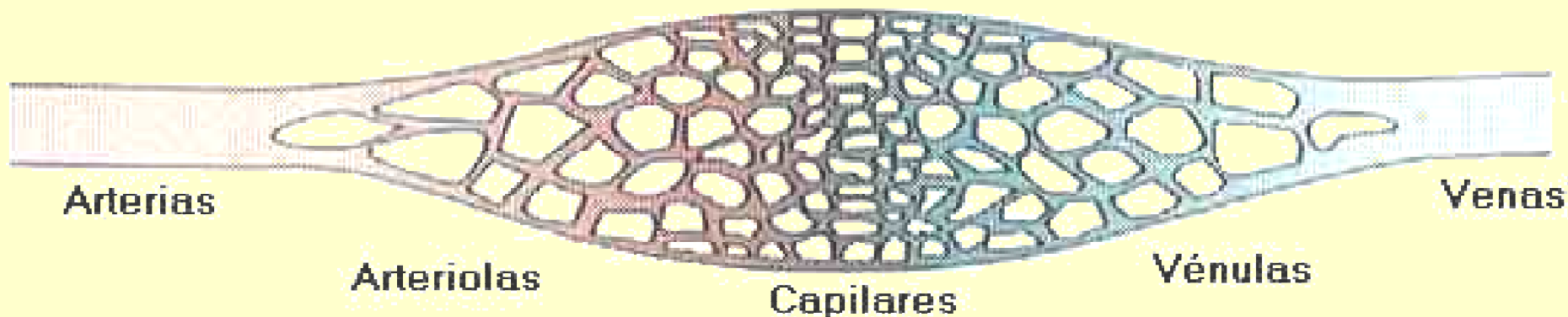
En los capilares la viscosidad efectiva es menor que en vasos de radio mayor.



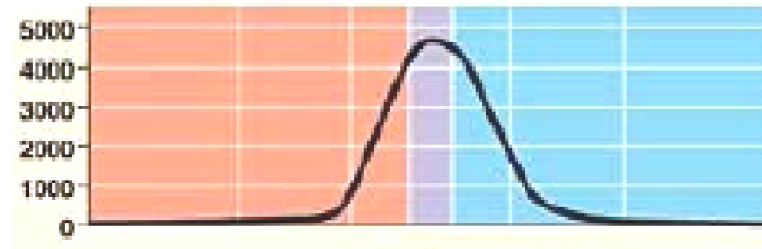
Presión sanguínea

Gradiente de presión entre arterias y venas



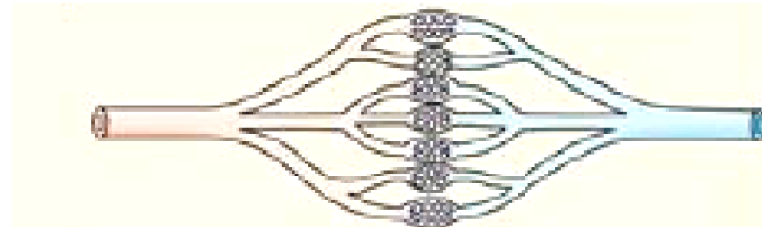


Área total (cm²)



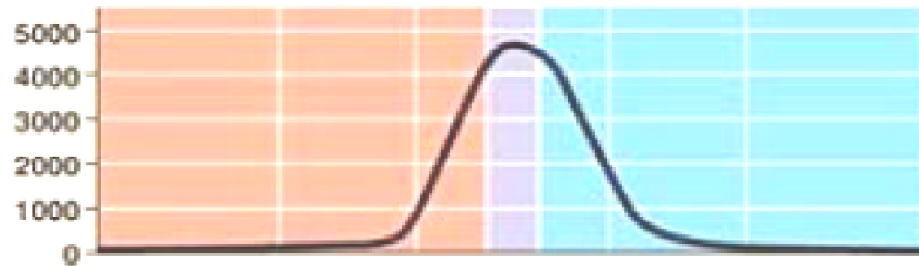
$$R = \frac{8L\eta}{\pi r^4}$$

$$\frac{1}{R_T} = \sum \frac{1}{R}$$

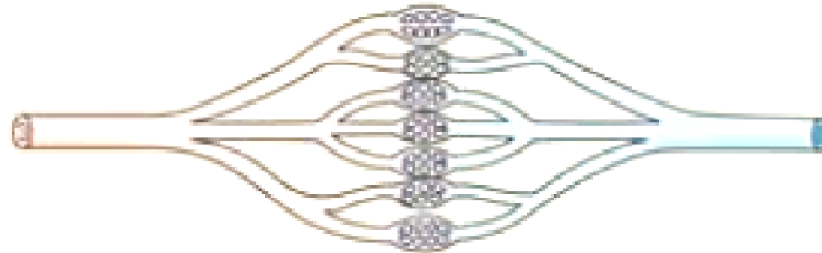
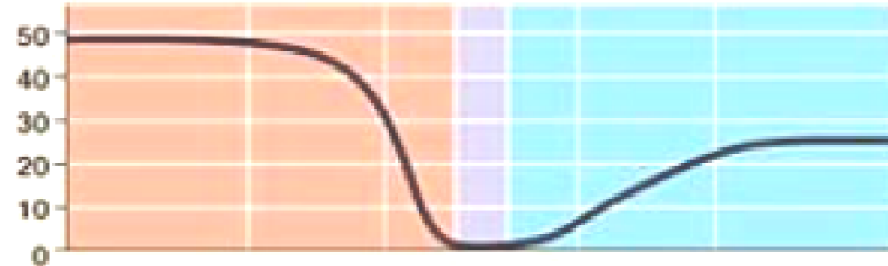


	aorta	arterias pequeñas	arteriola	capilares
Nro elementos	1	8×10^3	2×10^7	1×10^{10}
Radio interno	1000 mm	0.5 mm	0.015 mm	0.003 mm
Area	4 cm ²	8×10^{-3} cm ²	7×10^{-7} cm ²	3×10^{-7} cm ²
Area total	4 cm ²	63 cm ²	141 cm ²	2827 cm ²

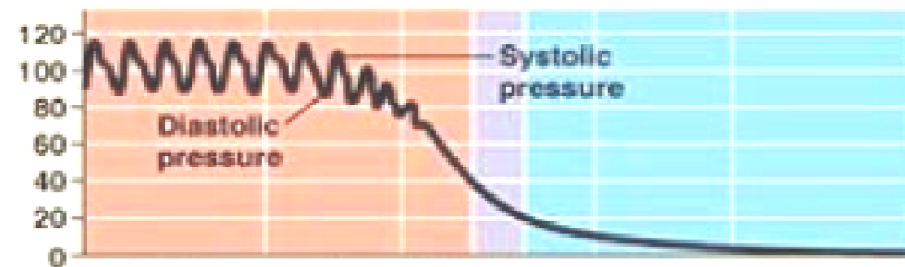
Área total (cm²)



Velocidad (cm/s)



Presión (mm Hg)



aorta

arteria

arteriola

capilares

venulas

venas

vena cava

Retorno venoso

Es el regreso de la sangre a la aurícula derecha desde la circulación sistémica.

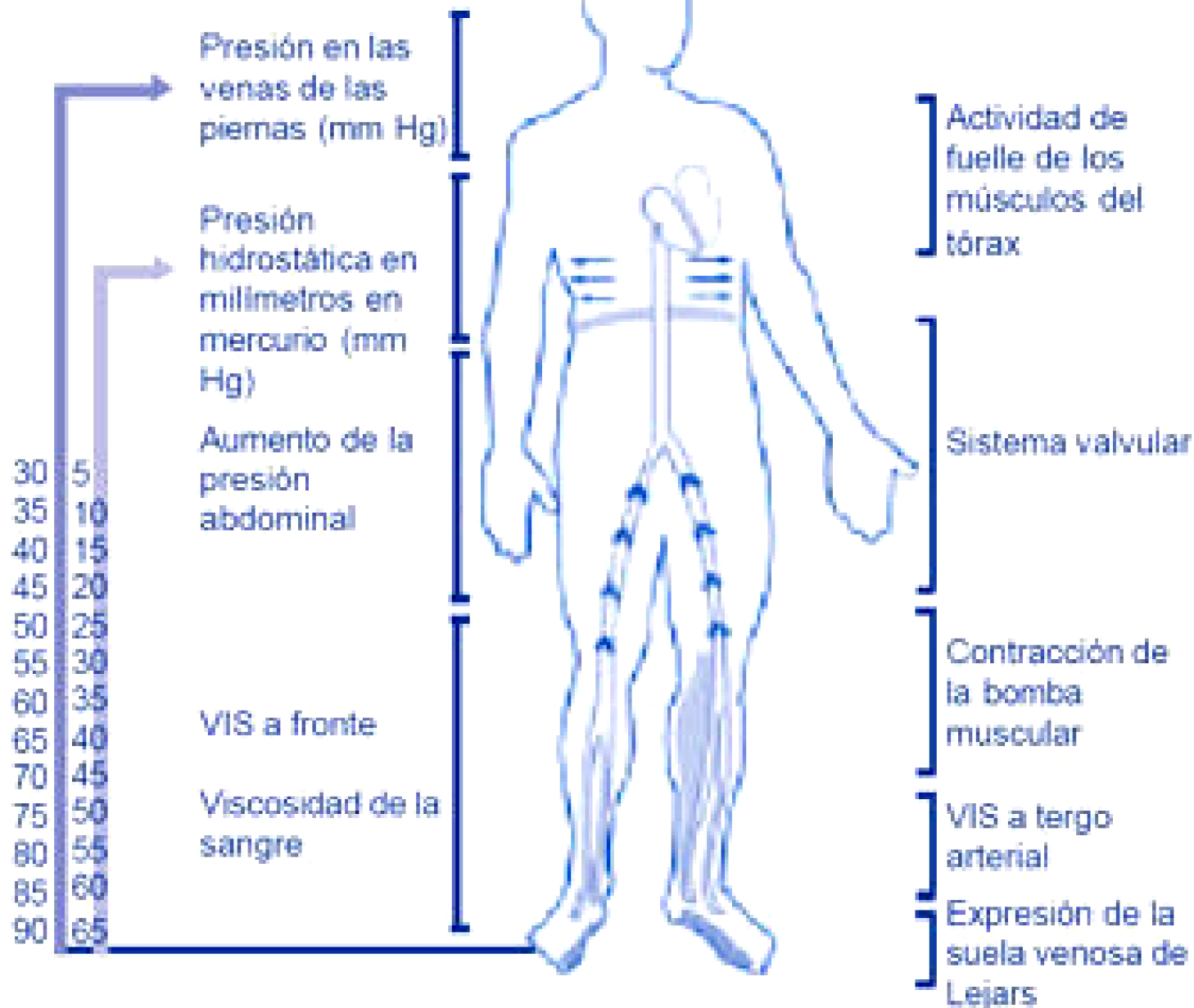
La presión en las vénulas es de 12 a 18 mm Hg.

La presión en las grandes venas, desciende a 5 mmHg, fuera del tórax.

La presión a la entrada de la A.D., es en promedio, de 4, 6 mmHg y fluctúa con la respiración y la acción cardíaca.

Factores que dificultan el retorno venoso

Factores que favorecen el retorno venoso



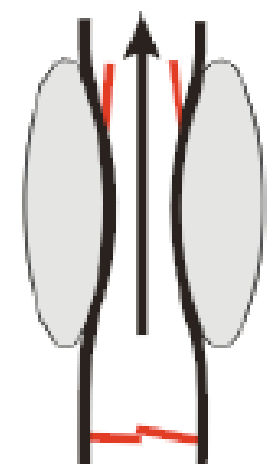
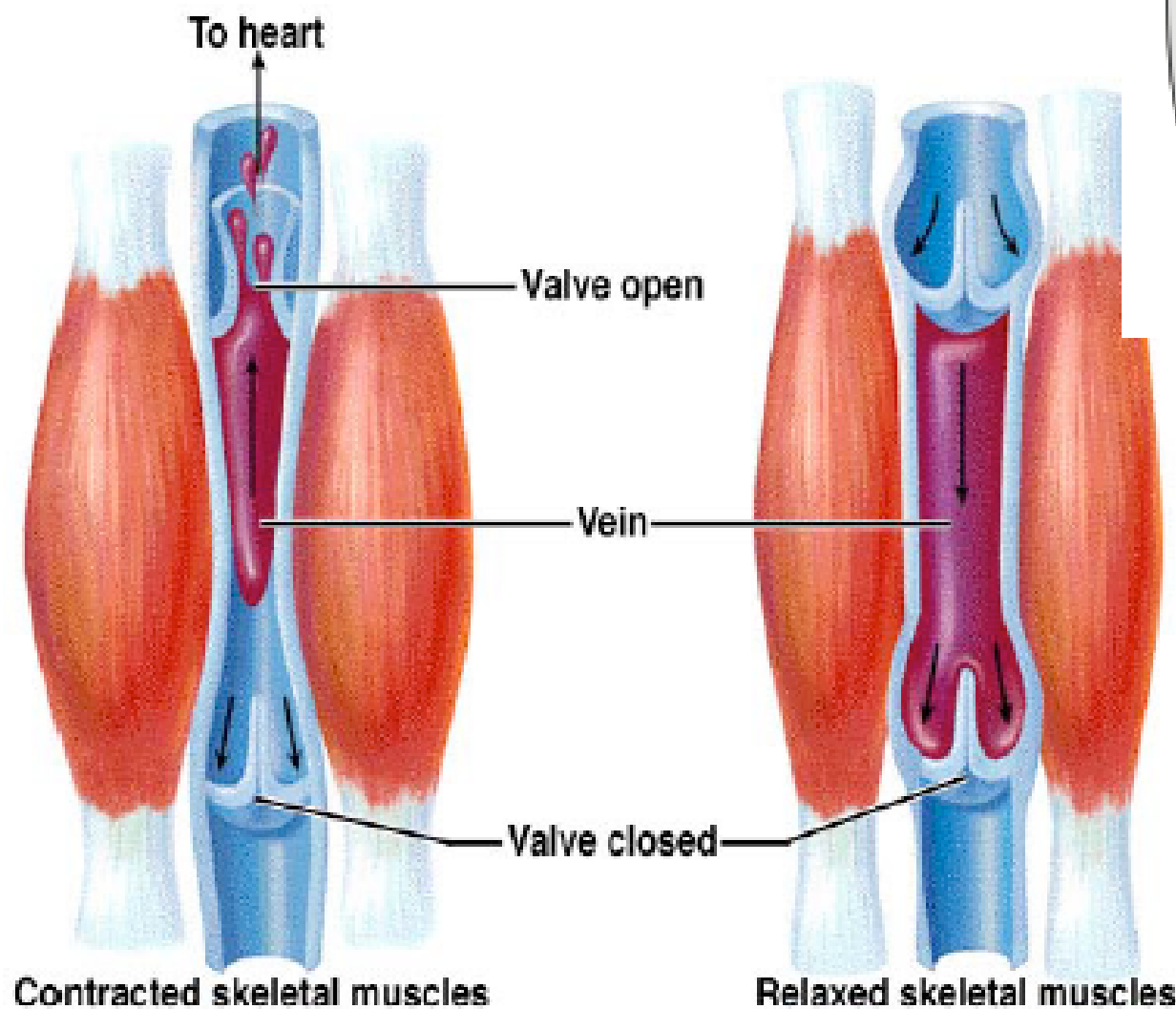
MECANISMOS QUE INFLUYEN SOBRE EL RETORNO VENOSO

- **Vis a tergo.** Es lo que queda de la fuerza de propulsión sistólica del ventrículo izquierdo, después de haber pasado por el amortiguamiento del lecho capilar.
- **Aspiración de la diástole cardíaca.** Al relajarse el corazón, se produce una diferencia de presión favoreciendo el retorno venoso
- **Vis a fronte.** Se trata de una fuerza de aspiración provocada por los músculos cardíaco y respiratorio

MECANISMOS QUE INFLUYEN SOBRE EL RETORNO VENOSO

- **Suficiencia valvular.** Esta permite el normal ascenso de la columna de sangre
- **Bomba veno-músculo-articular.** La acción coordinada de estos dos sistemas es la principal fuente que obliga a la sangre a seguir un trayecto ascendente
- **Suela venosa (Lejars).** Su compresión favorece el retorno venoso

El retorno venoso es asistido por la
contracción muscular



MECANISMOS QUE DIFICULTAN EL RETORNO VENOSO

- **Fuerza de gravedad.** Es ejercida sobre la columna líquida de sangre
- **Aumento de la presión torácica.** Por ejemplo en el asma, y, fisiológicamente, durante la espiración
- **Aumento de la presión abdominal.** Se genera durante el embarazo y el estreñimiento
- **Insuficiencia valvular venosa.** Por causas congénitas (avalvulación parcial o total) o adquiridas (trombosis)

PRESIÓN ARTERIAL

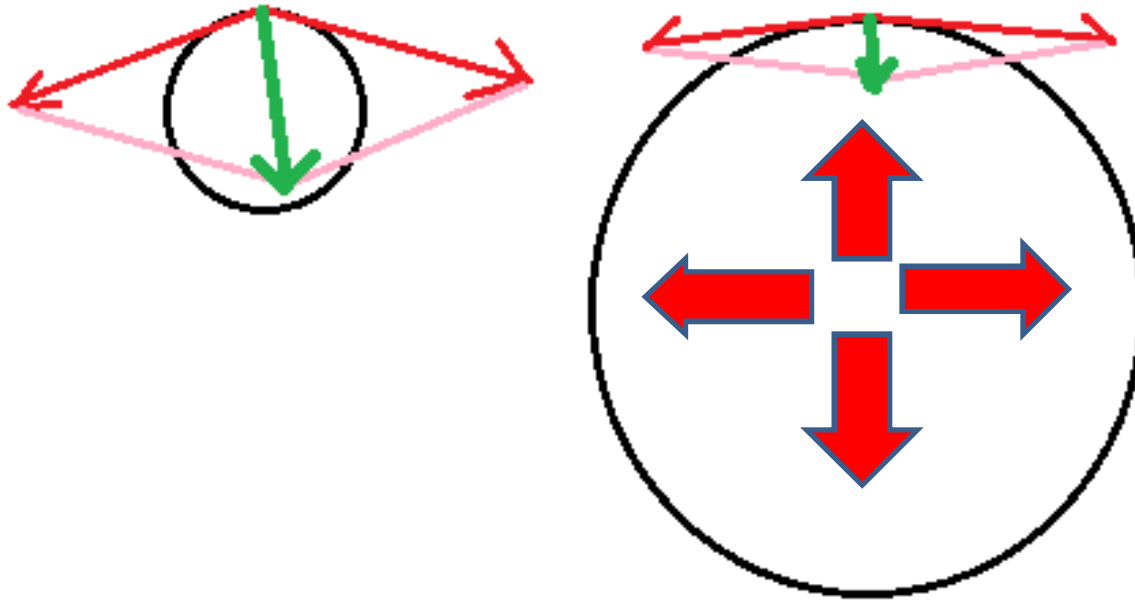
Es la fuerza que ejerce la sangre sobre la pared de un vaso, en forma perpendicular y que determina una distensión de la pared del vaso o *tensión*.

La tensión la soporta el vaso y se halla en sentido tangencial en su pared y es en parte consecuencia de la presión.

LEY DE LAPLACE

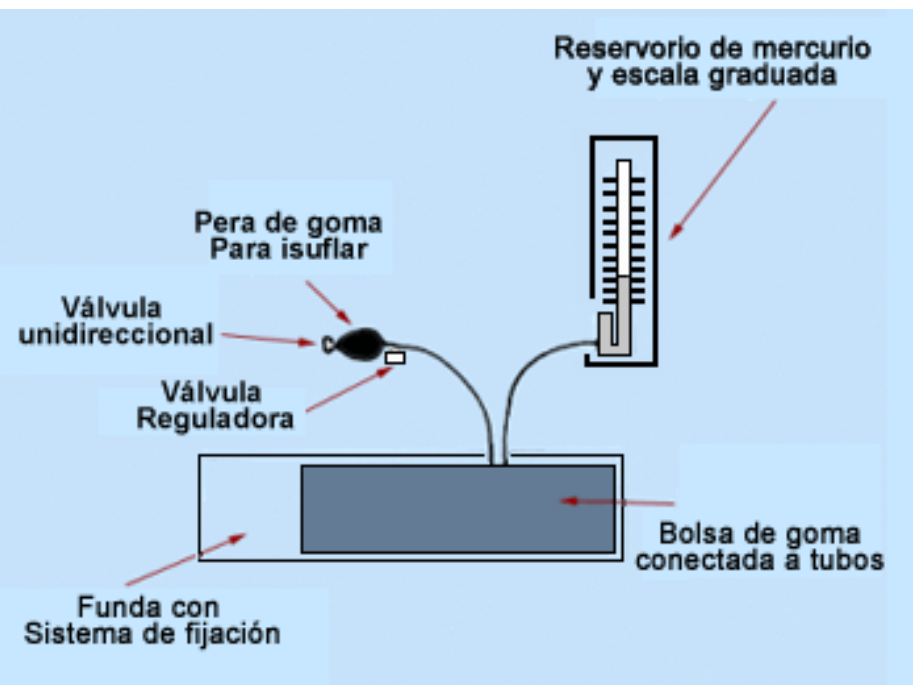
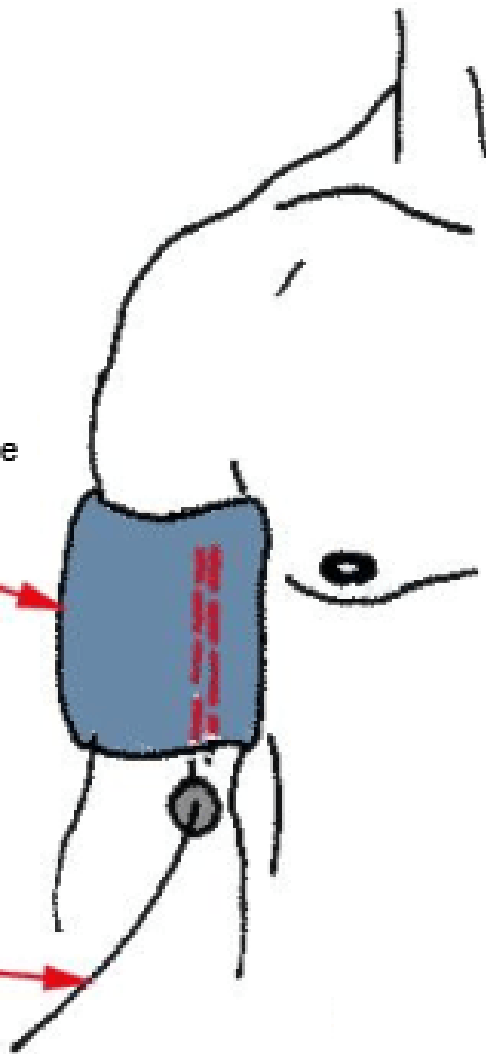
En equilibrio, la presión y la tensión se relacionan por medio de la ley de Laplace.

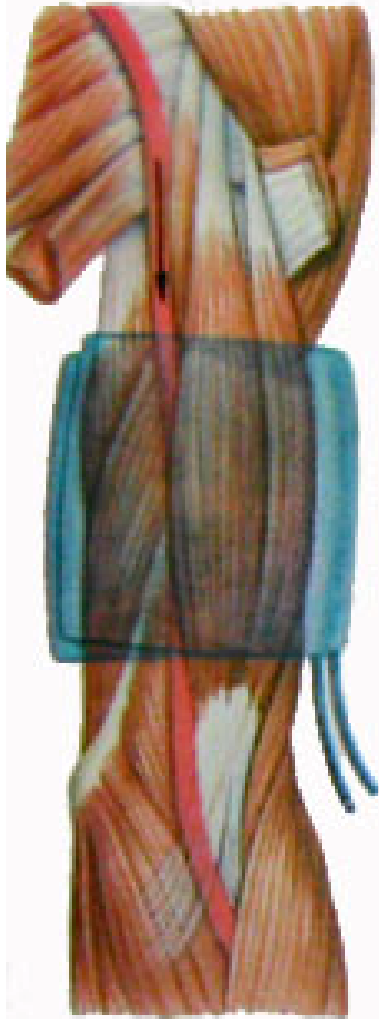
$$T = (P r) / 2$$



La línea media de la bolsa de goma debe quedar sobre la arteria braquial.

Estetoscopio sobre la línea braquial.



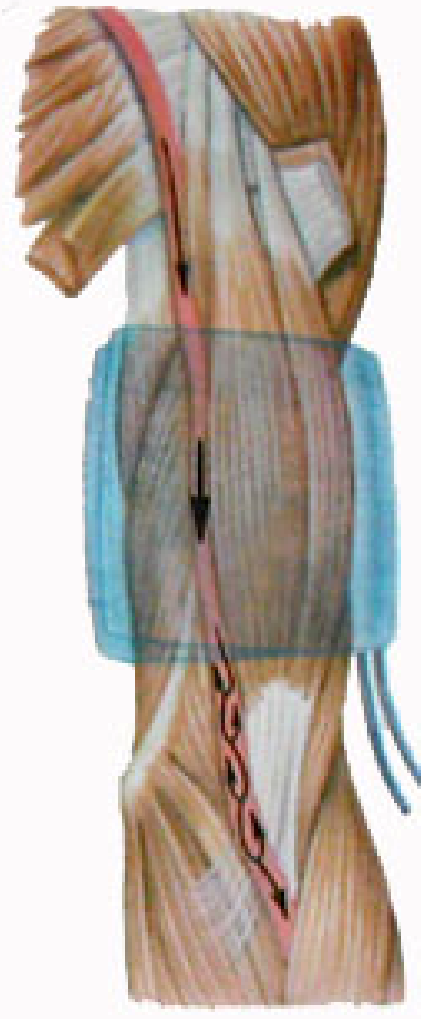


Sin sonidos

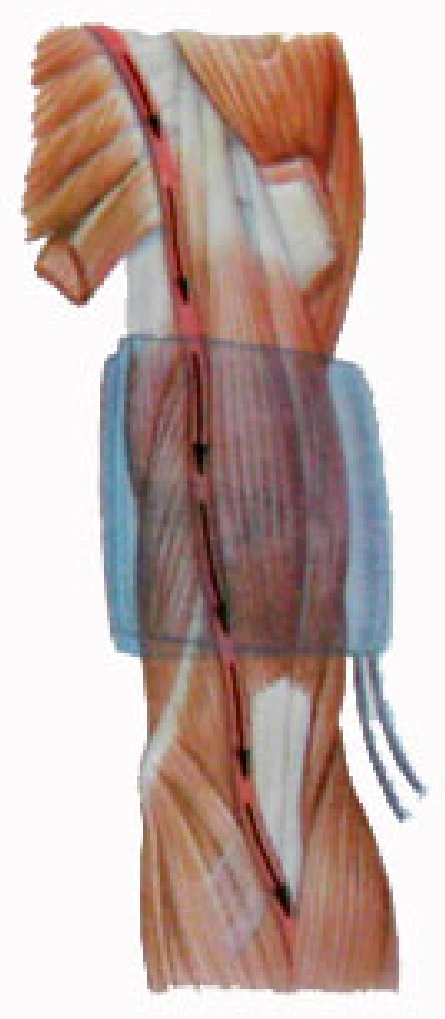


Primera fase

Presión Sistólica

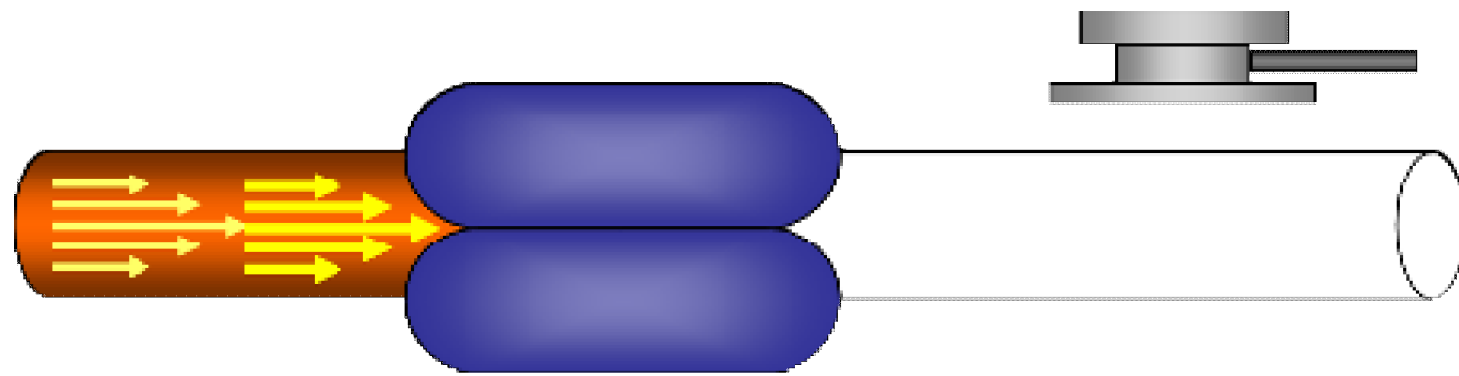
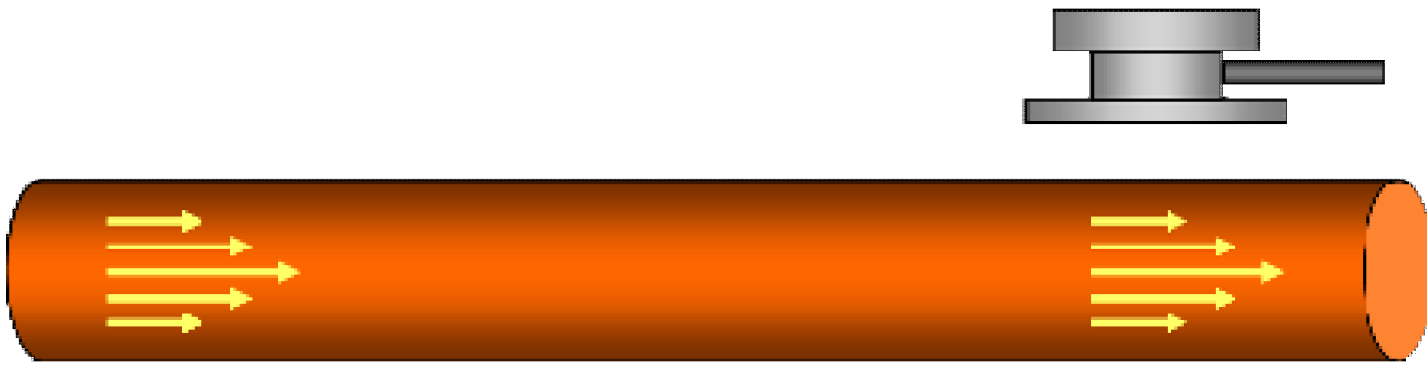


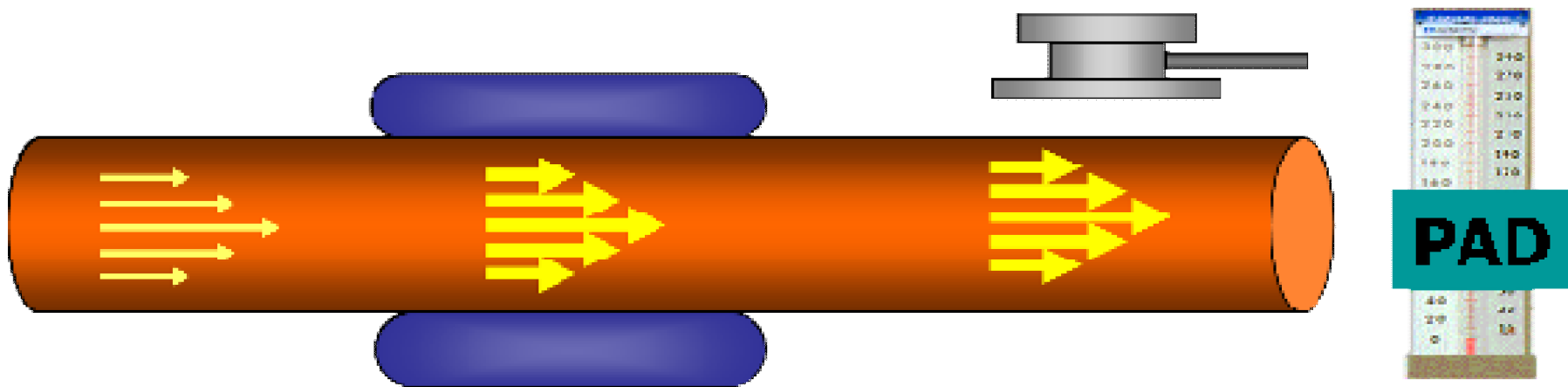
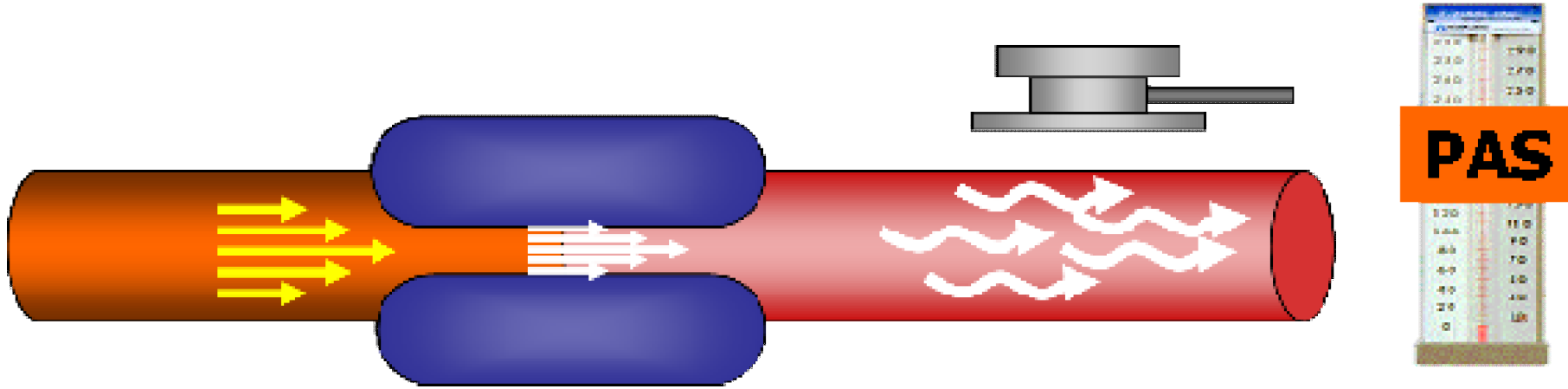
**Sonidos con
cada latido**



Quinta fase

Presión Diastólica

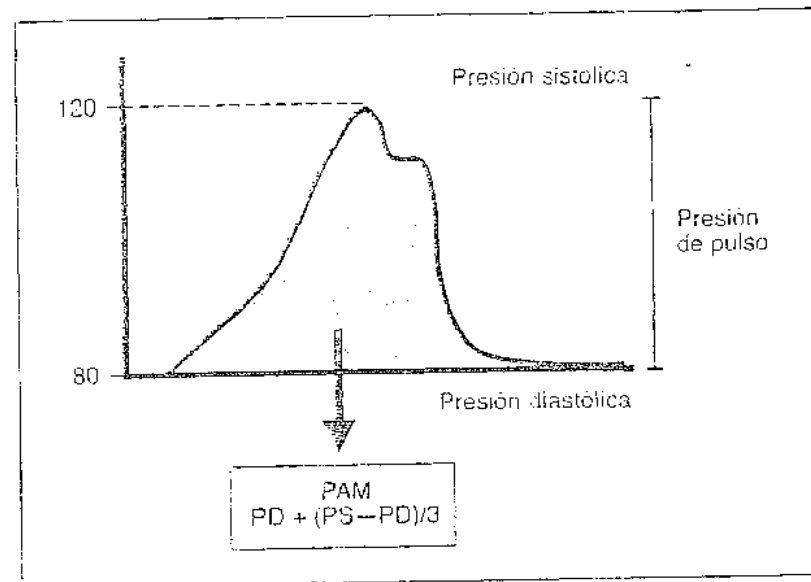




La **Presión Arterial Sistólica** depende del Volumen Sistólico y de la elasticidad de la aorta.

La **Presión Arterial Diastólica** depende sobre todo de la Resistencia Periférica Total

La **Presión de Pulso** es la amplitud de la onda de pulso y es la diferencia entre PAD y PAS



Curva de presión arterial.

La **Presión Arterial Media** se calcula mediante la fórmula

$$\text{PAM} = \text{PAD} + [(\text{PAS} - \text{PAD}) / 3]$$

Y su valor es más cercano a la PAD que a la PAS porque la diástole dura el doble que la sístole

Resistencia Periférica Total

Es la resistencia al flujo ejercida por todo el lecho vascular periférico, pero sobre todo a nivel de arteriolas.

Gasto cardíaco = ΔP entre aorta u aurícula derecha / RPT

Si Gasto está en ml/s y ΔP en mmHg, la RPT se mide en unidades de RP (**URP**)

Ejemplo:

Calcular la RPT si el gasto cardíaco es de 83 ml/s, la P aórtica es 100 mmHg y la P de la vena cava es de 5 mmHg.

$$\text{RPT} = (100 \text{ mmHg} - 5 \text{ mmHg}) / 83 \text{ ml/s} = \mathbf{1,14 \text{ URP}}$$