

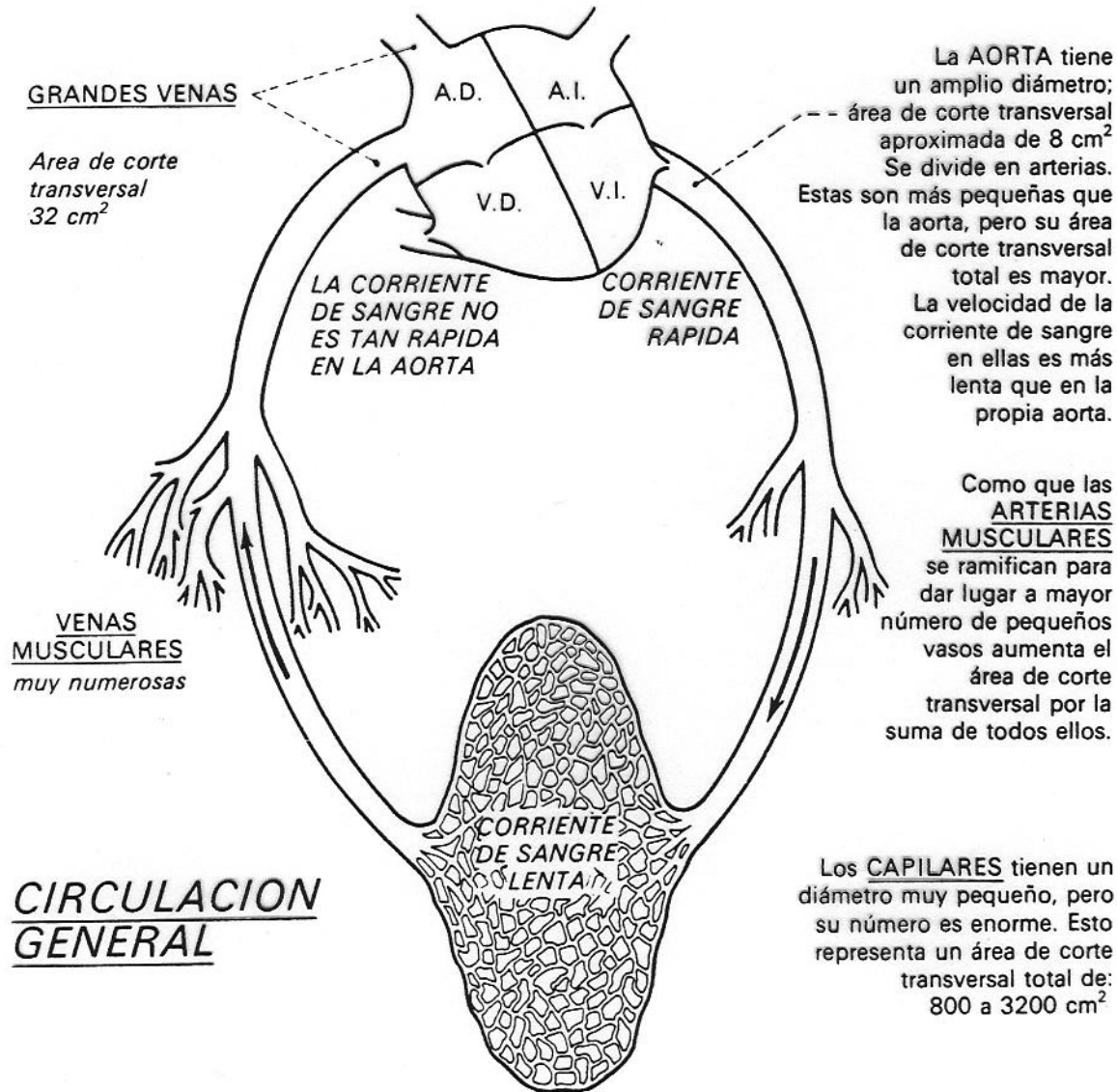
Física
de la
circulación sanguínea

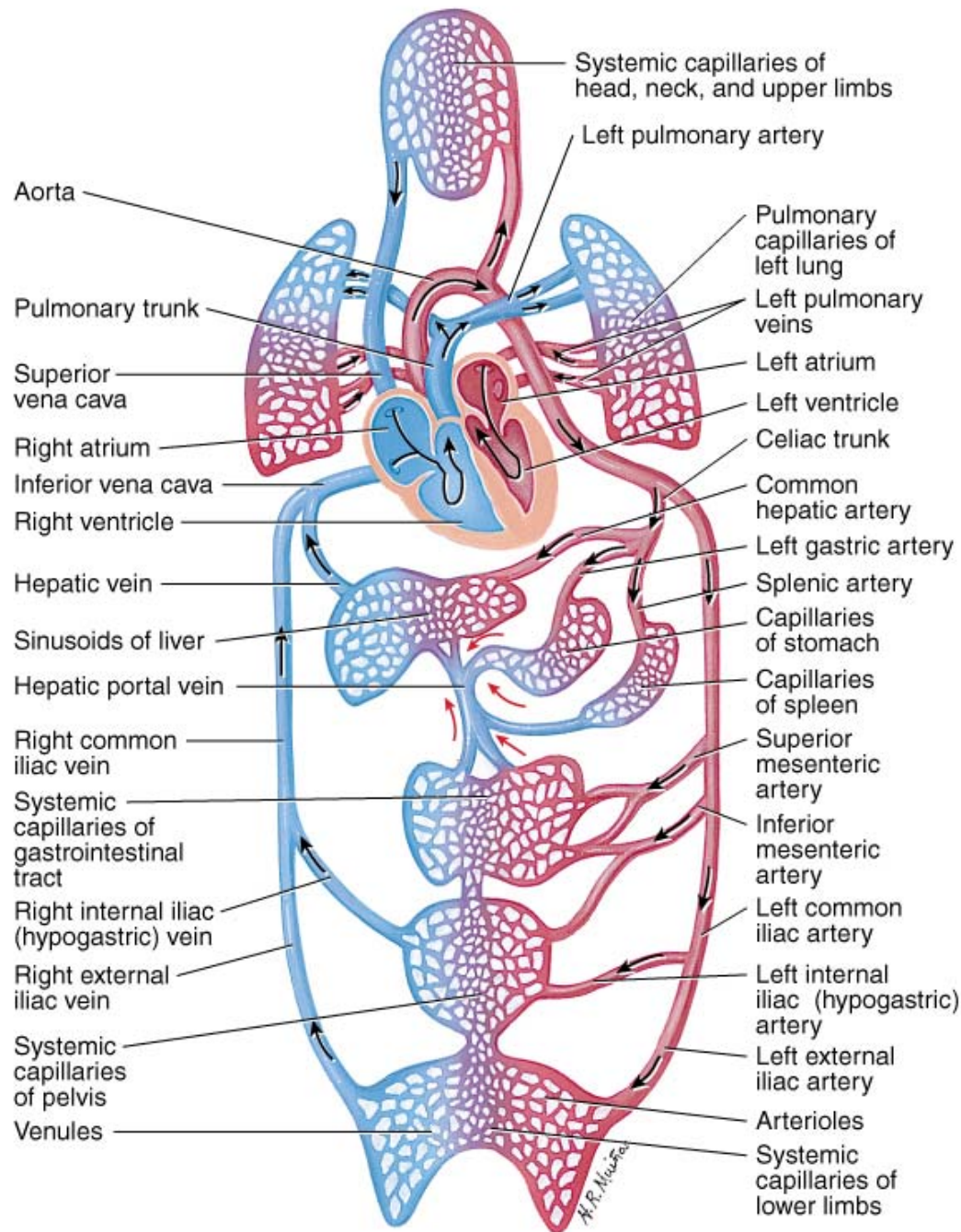
BIOFÍSICA
DE LA
CIRCULACIÓN ARTERIAL

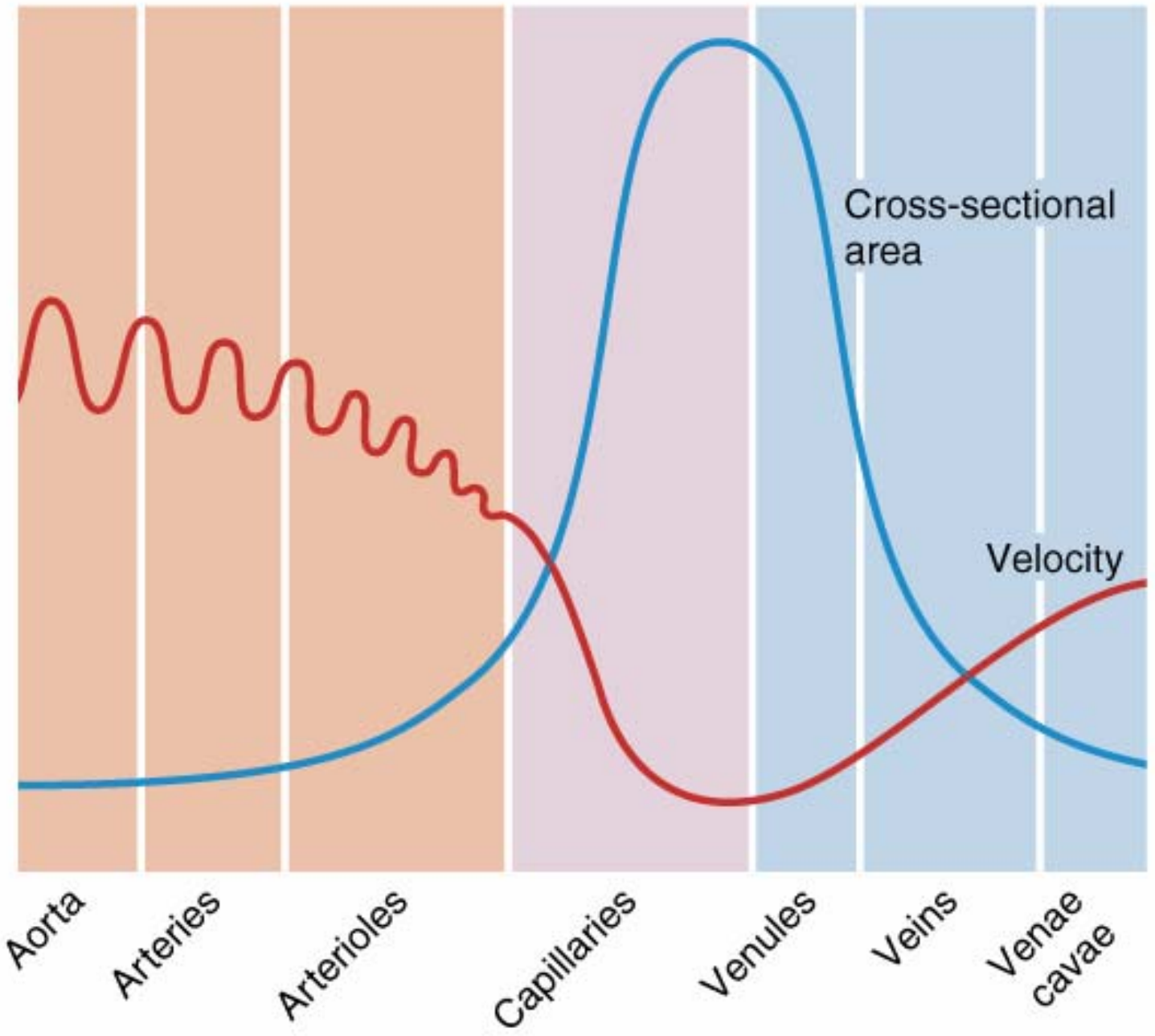
Velocidad de flujo
según
area de corte transversal

CORRIENTE SANGUINEA

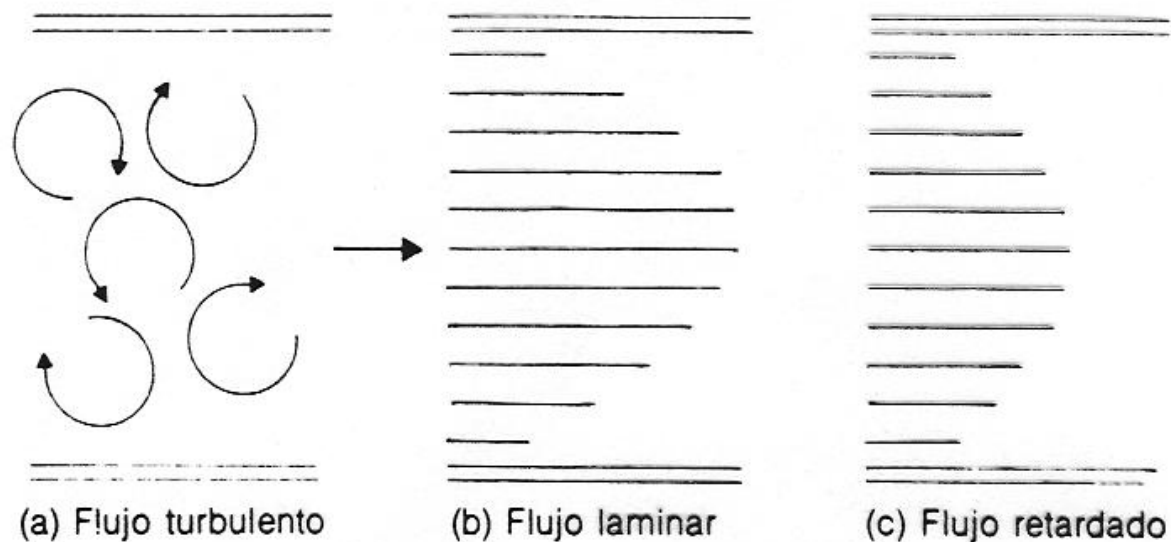
La velocidad de la corriente sanguínea varía en diferentes partes del sistema vascular. Es rápida en los grandes vasos; más lenta en los pequeños vasos. *(Cuanto mayor es el área del corte transversal total representada, más lenta es la velocidad de la corriente.)*







Régimen de flujo

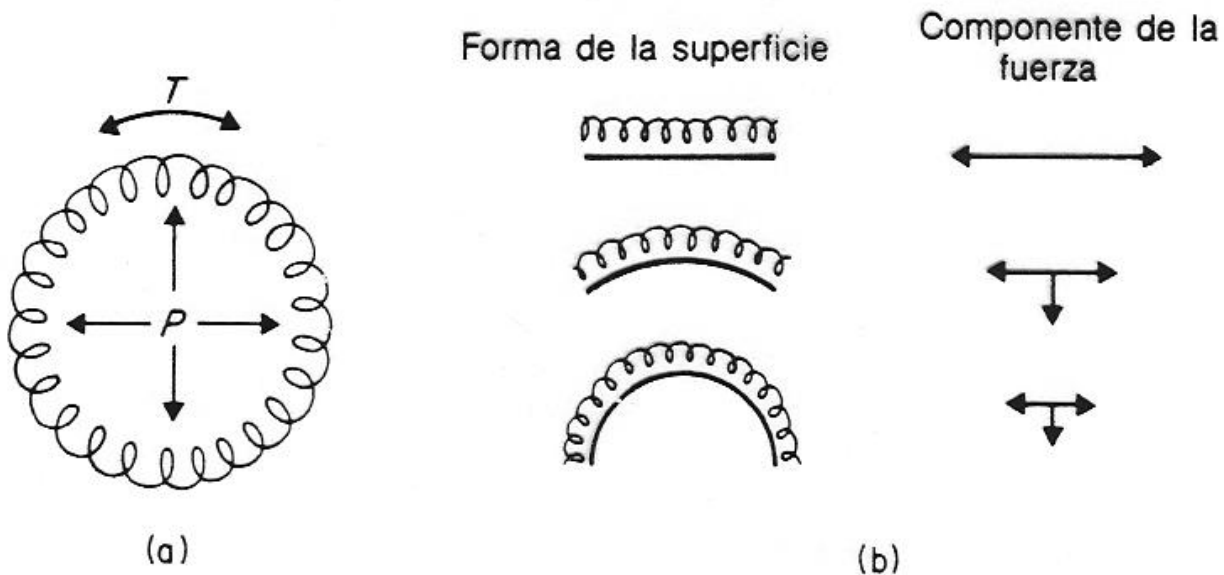


Naturaleza del flujo de un líquido en un tubo. La resistencia friccional está producida por moléculas que chocan unas contra otras y contra las paredes del tubo. En (a) las moléculas se mueven al azar y producen una resistencia al flujo máxima; en (b) las moléculas «marchan en columnas» y aparece un marcado perfil de velocidad —esto ocurre si el flujo es mantenido y uniforme; en (c) las moléculas se mueven también en columnas pero el perfil de velocidad es mucho menos pronunciado («flujo de obturador») — esto ocurre cuando, como en el sistema vascular, el flujo es pulsátil.

La probabilidad de que haya turbulencia aumenta al aumentar la velocidad, pero se presenta a velocidades mucho más bajas con un flujo continuo (b) que con uno pulsátil (c), de forma que en una circulación normal raramente aparece.

probab. de turbulencia \uparrow como $\left(\frac{\text{radio del tubo} \times \text{veloc. flujo}}{\text{viscosidad}} \right) \uparrow$

Relaciones cuantitativas en la
FÍSICA de la
circulación sanguínea



Relación entre la presión (P) necesaria para distender una esfera o un tubo elásticos y la tensión en las paredes (T). T es una medida de la tensión elástica en la pared (representada como un muelle) que debe ser superada para mantener el vaso abierto, la fuerza requerida para ello depende del radio de curvatura (R) y de la presión en el vaso (estrictamente debería ser la diferencia de presión entre el interior y el exterior).

$$\text{Para una esfera } P = \frac{2T}{R}$$

$$\text{Para un tubo } P = \frac{T}{R}$$

(b) Una explicación aproximada para este comportamiento es la siguiente: un muelle plano sólo ejerce fuerza en su propio plano, un muelle curvo ejerce también fuerza en ángulos rectos a la superficie; a medida que aumenta la curvatura aumenta el componente interno, que debe ser compensado para mantener el tubo abierto.

ECUACIÓN DE LAPLACE

para un flujo “*no pulsátil*” (teórico)
contenido en vasos de *paredes elásticas*:

$$\text{Presión interior vaso (contenido)} = \frac{\text{Tensión de la pared elástica (continente)}}{\text{Radio de curvatura del vaso}}$$

Consecuencia:

se ajusta el grosor de la pared de un vaso
según el radio y la presión interna del mismo

RELACIONES EN LA FISICA DEL FLUJO SANGUINEO:

a) **Resistencia al Flujo (gasto):**

$$\text{resistencia} = \frac{\text{longitud vaso} * \text{viscosidad sangre}}{\text{radio}^4}$$

b) **Fuerza impulsora de la sangre:**

Depende de un gradiente de presión entre los extremos del vaso, que se expresa como:

$$\text{fuerza impulsora} = \text{flujo} * \text{resistencia al flujo}$$

o su equivalente:

$$\text{flujo} = \frac{\text{fuerza impulsora}}{\text{resistencia al flujo}}$$

ECUACION DE POISEUILLE

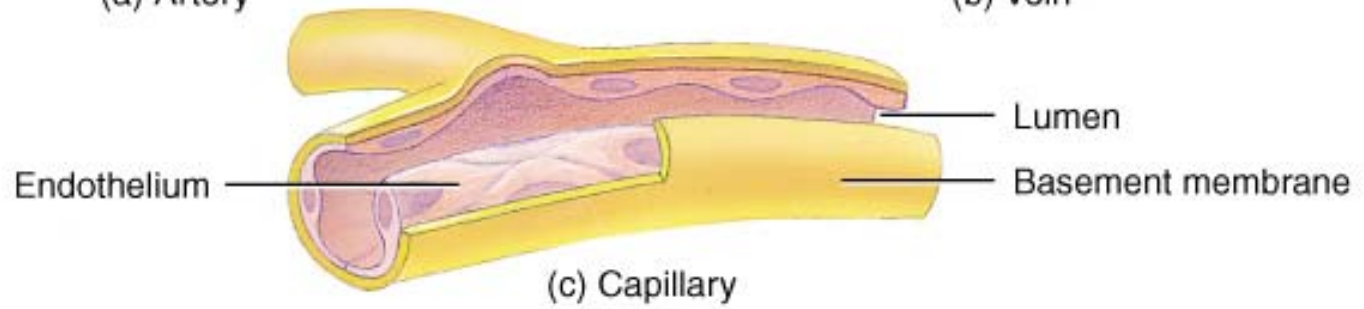
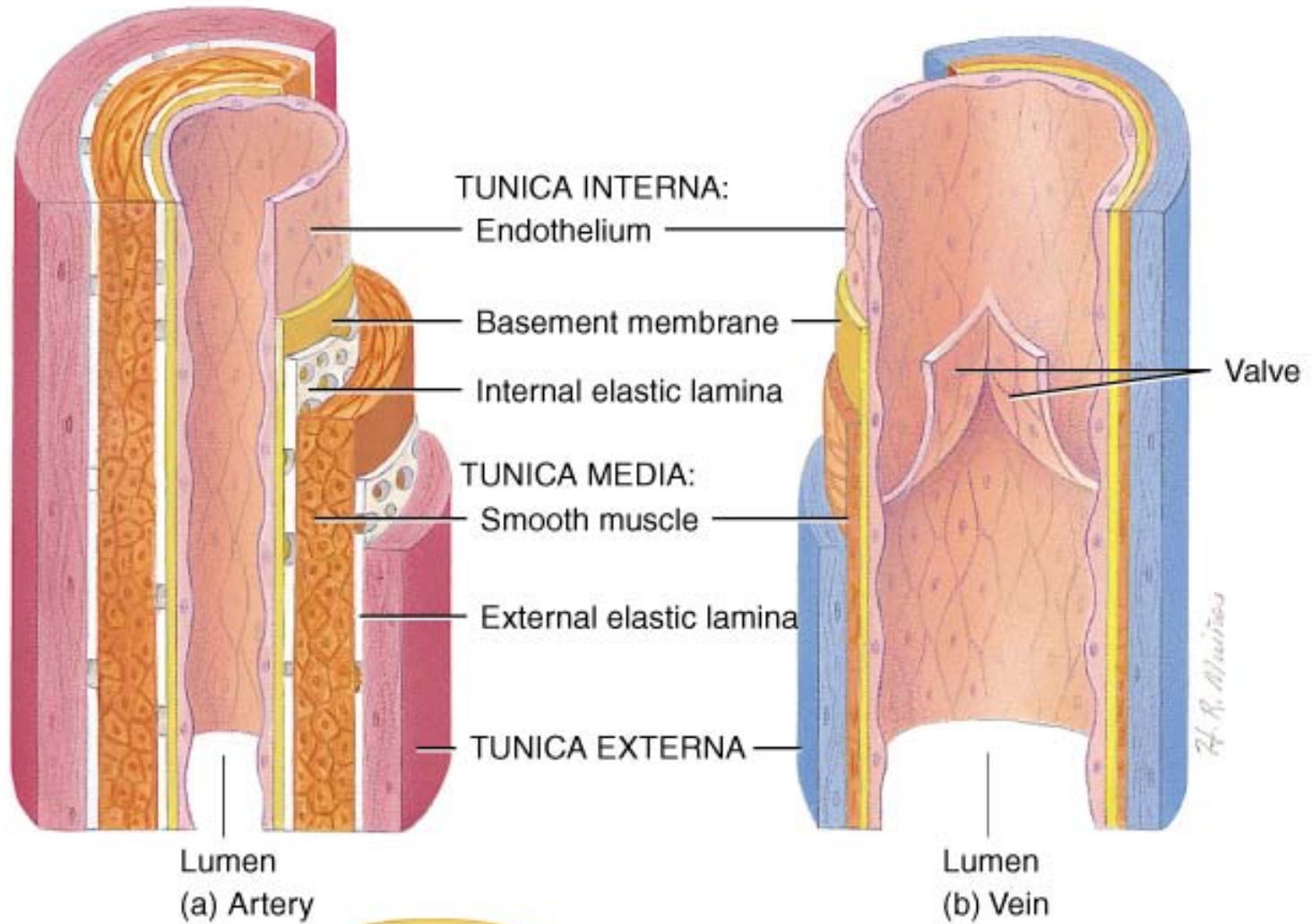
De las expresiones a) y b), que se cumplen simultáneamente, se deduce:

$$\text{FLUJO SANGUINEO} = \frac{\text{FUERZA IMPULSORA (dif. de presión)} * (\text{RADIO}^4)}{(\text{LONGITUD} * \text{VISCOSIDAD})} \quad (2)$$

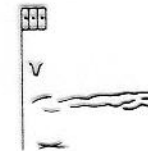
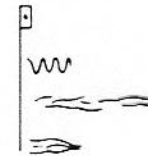
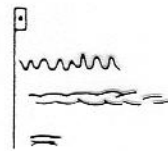
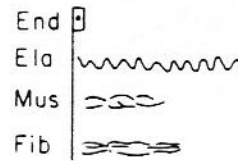
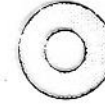
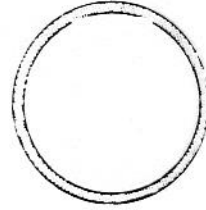
(1)

- (1) la LONGITUD del vaso, lógicamente, no cambia
la VISCOSIDAD de la sangre normalmente es constante, en períodos de tiempo cortos
- (2) siendo RADIO⁴, *pequeños* cambios del *radio* del vaso dan *GRANDES* cambios en *flujo*
por tanto, la principal forma de controlar la distribución de sangre por el organismo es
VARIANDO EL CALIBRE DE LOS VASOS, principalmente de las arteriolas

Proporción de
componentes tisulares
según
la función del vaso



Vaso	Aorta	Arteriola media	Arteria pequeña arteriola	Esfinter precap. AVA
Diámetro interno	2,5 cm	0,4 cm	30 μm	35 μm
Grosor de la pared	2 mm	1 mm	20 μm	30 μm

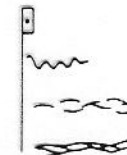
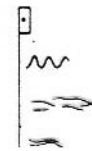
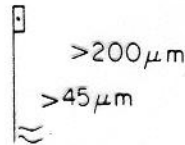
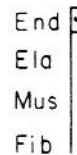
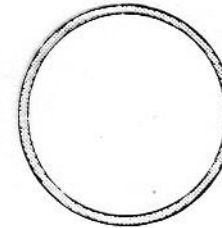


Capilar verdadero
8 μm
1 μm

Vénula
20 μm
2 μm

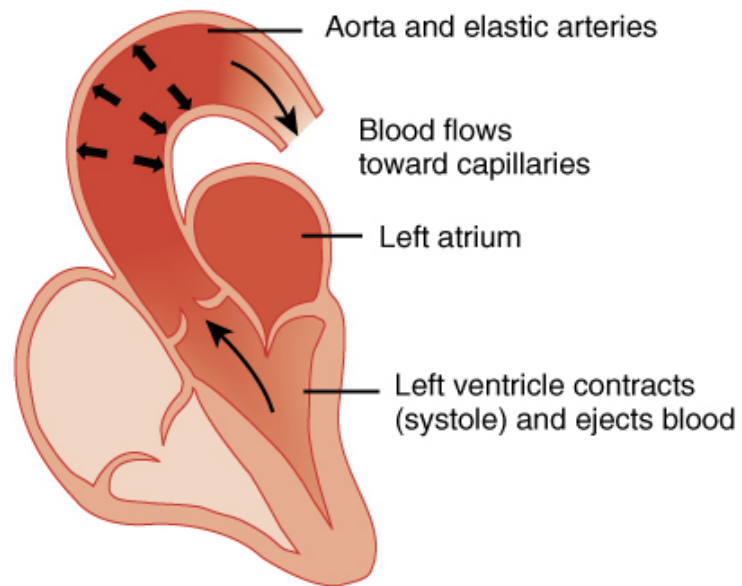
Vena
0,5 cm
0,5 mm

Vena cava
3 cm
1,5 mm

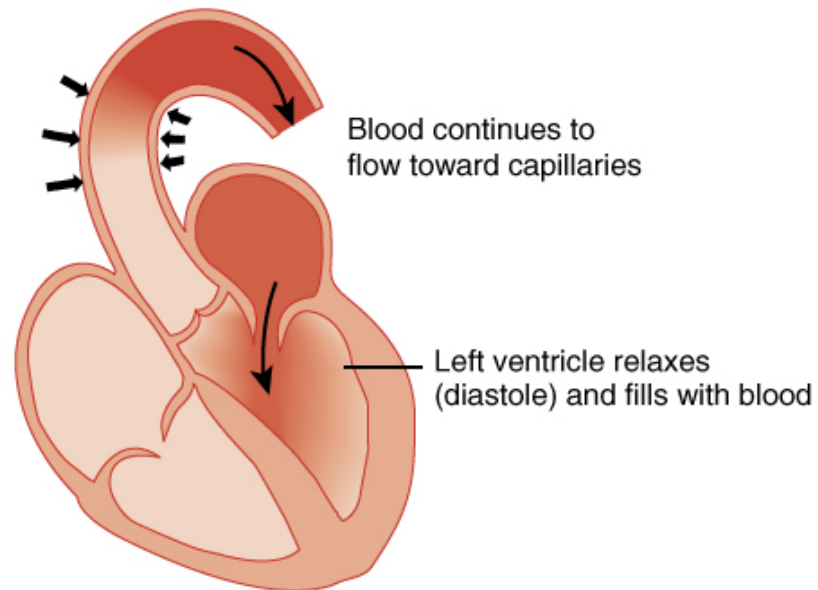


Tamaño, grosor de la pared y cantidad relativa de los principales tejidos que constituyen los diferentes vasos sanguíneos. End = Células endoteliales de revestimiento; Ela = fibras elásticas; Mus = Células musculares lisas; Fib = fibras de colágeno (según Burton 1954).

Arterias Elásticas



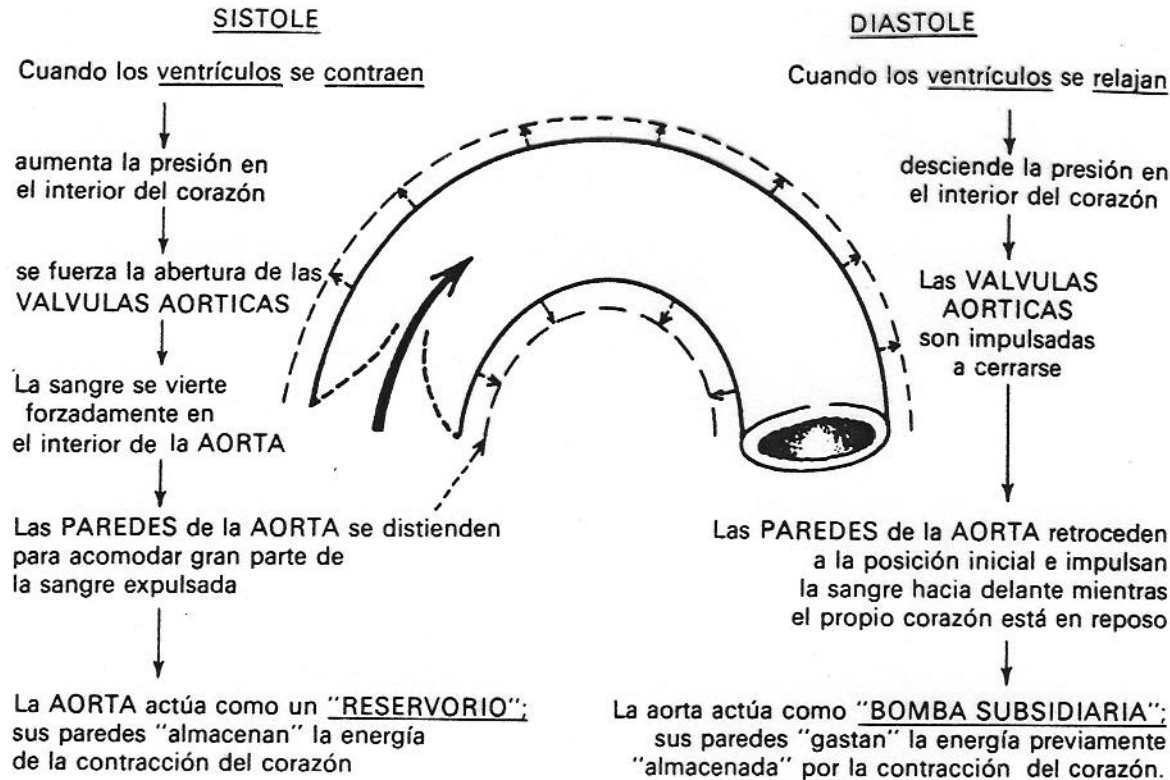
(a) Elastic aorta and arteries stretch during ventricular contraction



(b) Elastic aorta and arteries recoil during ventricular relaxation

ARTERIAS ELASTICAS

Las grandes ARTERIAS CONDUCTORAS cercanas al CORAZON son ARTERIAS ELASTICAS

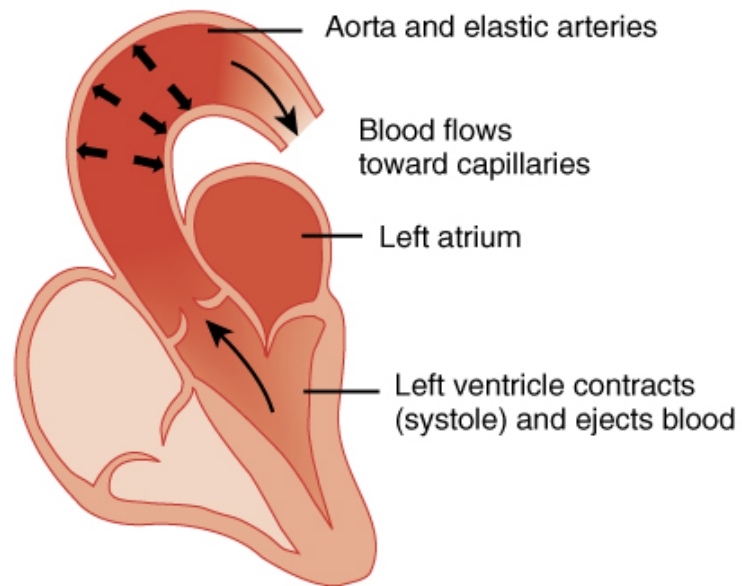


A medida que la sangre es bombeada del corazón durante la sístole, esta distensión y aumento de la presión que empieza en la aorta pasa a lo largo de la totalidad del sistema arterial como una *onda del pulso*.

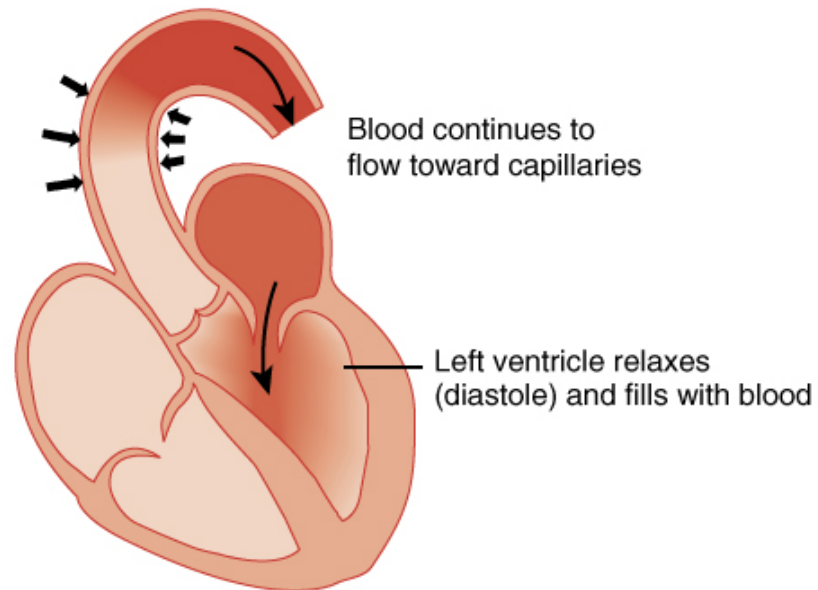
La expansión y subsiguiente relajación de la pared de la arteria radial puede apreciarse como "el pulso a nivel de la muñeca".

Puede producirse un gran aumento en la presión sanguínea si las paredes pierden parte de su elasticidad a causa del progreso de la edad o por enfermedad y ya no pueden distenderse con facilidad para acomodarse al gasto del corazón durante la sístole.

Onda de Pulso



(a) Elastic aorta and arteries stretch during ventricular contraction



(b) Elastic aorta and arteries recoil during ventricular relaxation



(a) Superficial temporal artery

Lateral to orbit of eye.



(b) Facial artery

Mandible (lower jawbone) on a line with the corners of the mouth.



(c) Common carotid artery

Lateral to larynx (voice box).



(d) Brachial artery

Medial side of biceps brachii muscle.



(e) femoral artery

Inferior to inguinal ligament.



(f) Popliteal artery

Posterior to the knee.



(g) Radial artery

Distal half of wrist.



(h) Dorsalis pedis artery

Superior to instep of foot.

Presión Sanguínea Arterial

PRESION SANGUINEA ARTERIAL

Por definición, la *presión arterial media*

es la PRESION PROMEDIO DURANTE UN CICLO CARDIACO
que existe en la AORTA y sus RAMAS MAYORES

Todo el gasto cardíaco en cada latido

NO PUEDE PASAR a través de las ARTERIOLAS
de una sola vez
hacia los capilares y venas

Sólo las $3/8$ partes de dicho gasto

pasarán el filtro arteriolar durante la sístole

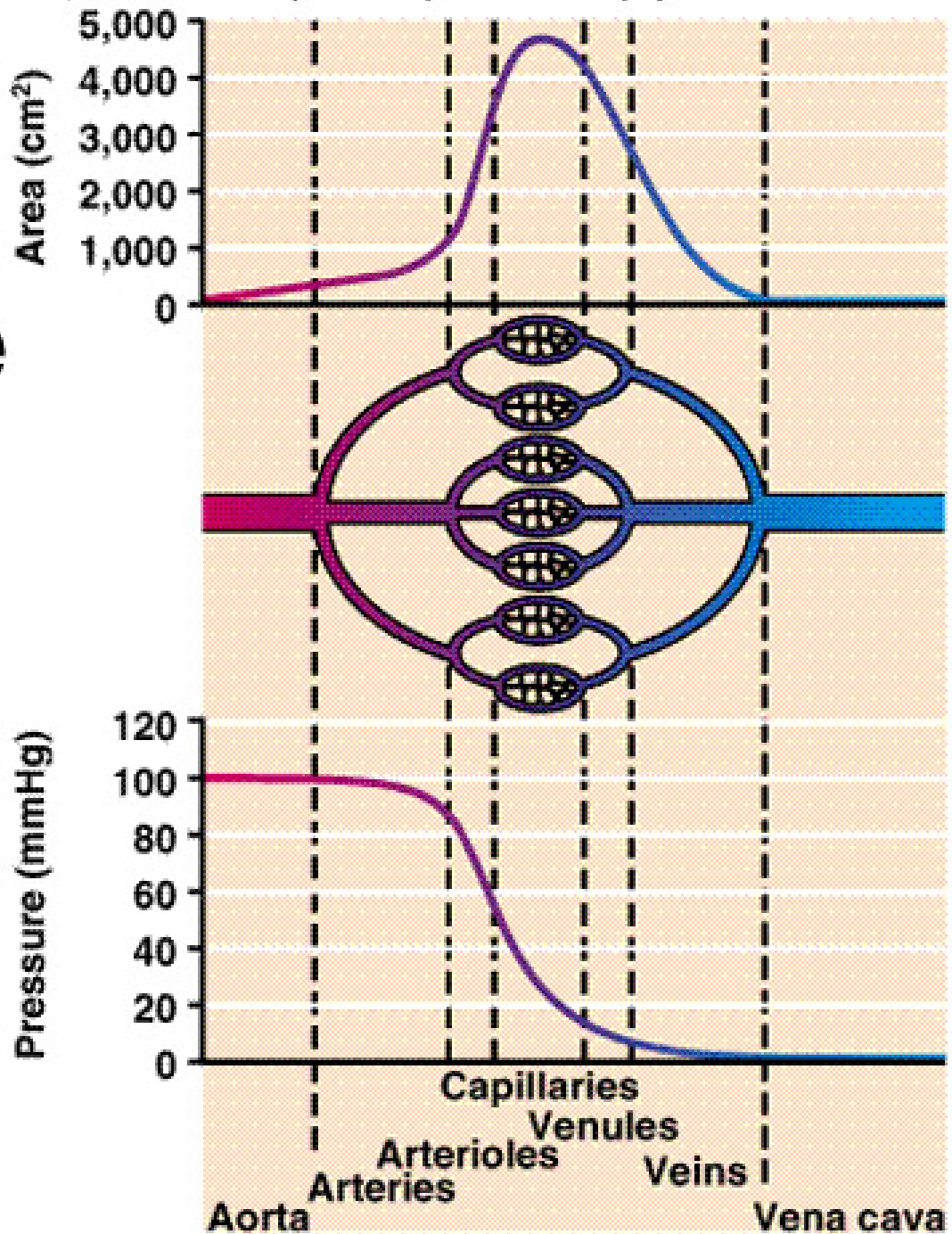
Las restantes $5/8$ partes del gasto

tienen que almacenarse durante la sístole
para pasar posteriormente durante la diástole

De este modo, se constituye un

sistema de **RESISTENCIA PERIFERICA** originado por
el tono o contracción parcial
de la capa de músculo liso de las ARTERIOLAS

Blood Pressure and Cross-sectional Area of Vessels



PRESION SANGUINEA

Cada ventrículo en cada latido cardíaco expulsa en forma forzada aproximadamente 70 ml de sangre en el interior de los vasos sanguíneos. Toda esta sangre no puede pasar a través de las arteriolas hacia el interior de los capilares y venas durante la contracción del corazón. Esto significa que aproximadamente 5/8 partes del GASTO CARDIACO en cada latido del corazón tiene que almacenarse durante la sístole y pasar durante la diástole.

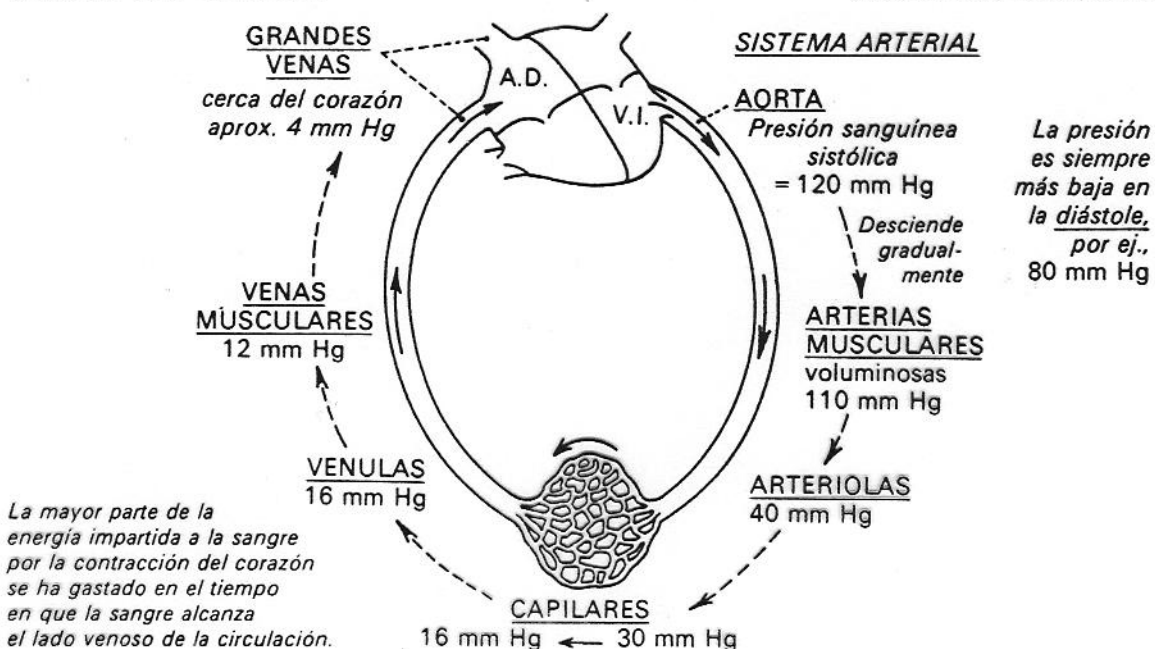
Las ARTERIAS CONDUCTORAS están siempre más o menos distendidas.

La RESISTENCIA PERIFERICA se ofrece al paso de la sangre desde el lado arterial al venoso del sistema, principalmente por constricción parcial ("tono") del músculo liso en las paredes de las arteriolas. (El calibre se regula por la acción del sistema nervioso simpático y parasimpático)

Estos factores son principalmente responsables de la considerable presión de la sangre en el sistema arterial. La presión es más elevada en el momento máximo de la contracción del corazón, es decir, la PRESION SANGUINEA SISTOLICA, y es más baja cuando el corazón está relajado, es decir, la PRESION SANGUINEA DIASTOLICA.

La presión es más baja a medida que la sangre drena al interior de la aurícula derecha al término de la DIASTOLE.

La presión es más elevada a medida que la sangre abandona el ventrículo izquierdo al término de la SISTOLE.



NOTA: Cualquier alteración en la CANTIDAD TOTAL o en la VISCOSIDAD de la sangre afectará también a la PRESION SANGUINEA.

El sistema de alta presión

de las arterias elásticas y musculares

se define por dos parámetros principales:

PRESION ARTERIAL SISTOLICA

presión arterial durante la sístole ventricular, 120 mm Hg;

al existir comunicación vascular con el ventrículo, en la sístole,

traduce la *función contractil del ventrículo*

PRESION ARTERIAL DIASTOLICA

presión arterial durante la diástole ventricular, 80 mm Hg;

al NO existir comunicación vascular con el ventrículo, en la diástole,

traduce el *estado de distensibilidad elástica de las arterias,*

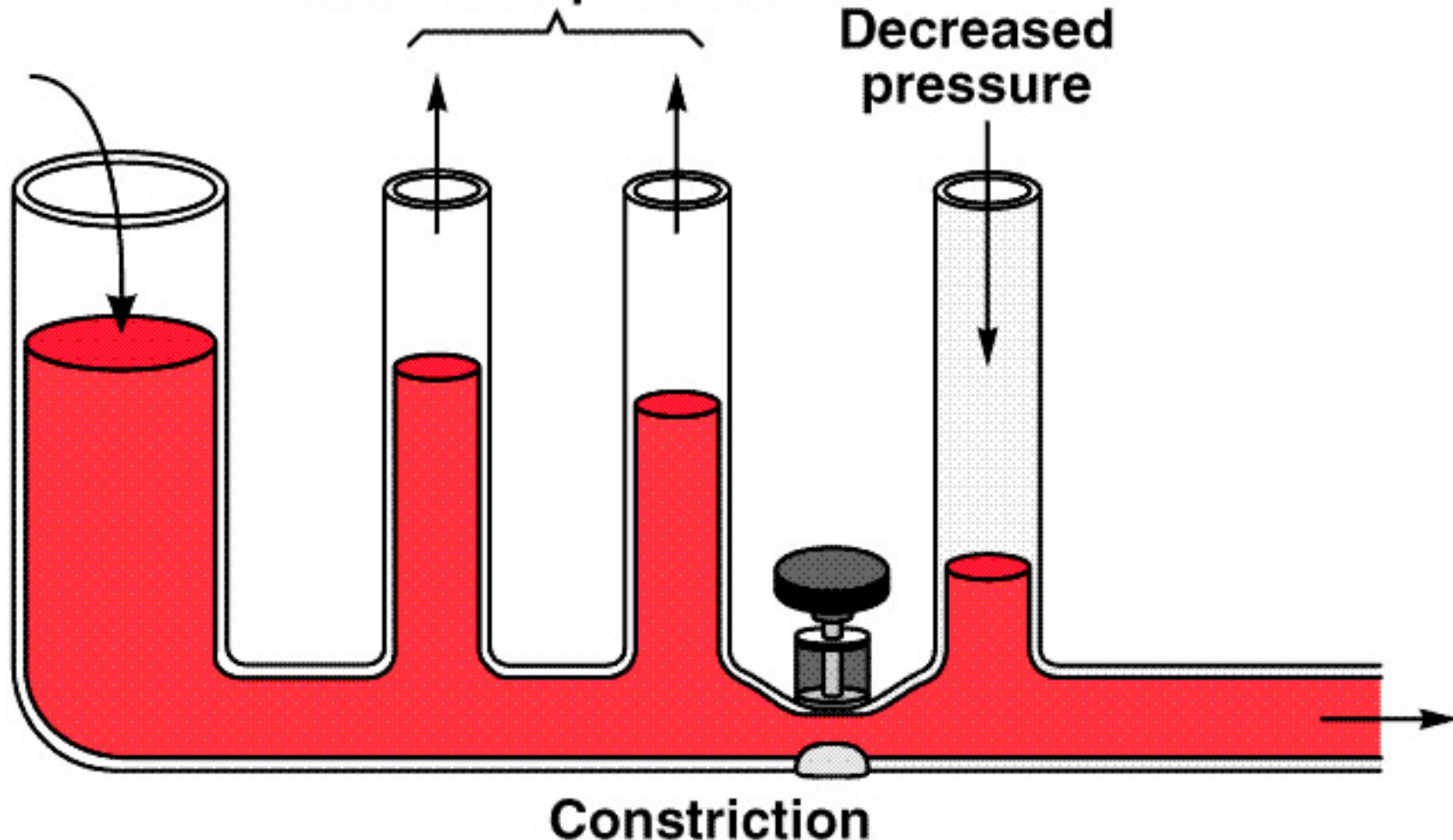
en situación basal

Control
de la
resistencia periférica

Effect of Vasoconstriction on Blood Pressure

Increased pressure

Decreased pressure



El grado de contracción del músculo arteriolar

está bajo el **CONTROL del sistema nervioso autónomo:**

SIMPATICO

vasoconstricción:

-en piel, mucosas y vísceras

-receptores ALFA (α) para los neurotransmisores:

son catecolaminas: - noradrenalina

- adrenalina

vasodilatación:

-en coronarias cardíacas y músculo esquelético

-receptores BETA (β) para

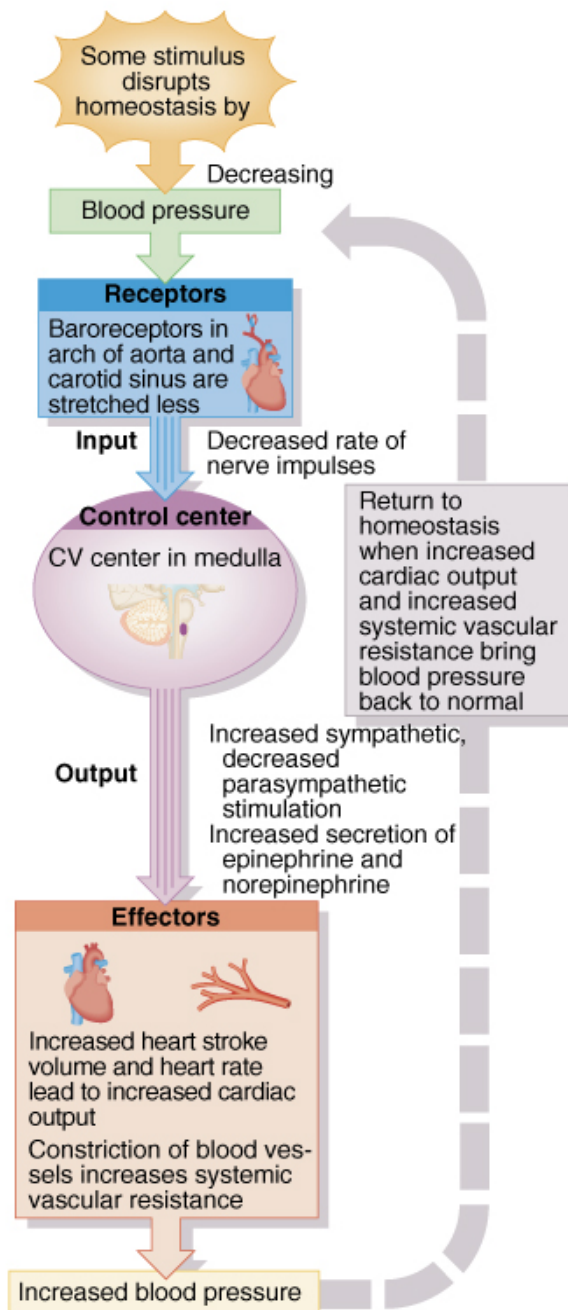
las mismas catecolaminas

PARASIMPATICO

vasodilatación siempre

-receptores para el neurotransmisor acetilcolina (Ach)

Regulación
de la
Presión Sanguínea Arterial



REGULACIÓN ó CONTROL DE LAS VARIACIONES EN LA PRESION ARTERIAL

De la ecuación de Poiseuille: $Fuerza\ impulsora = Flujo * Resistencia$

donde:

fuerza impulsora = dif. presión A-V = PRESIÓN ARTERIAL (presión venosa es baja)

se deduce que, en condiciones normales, las variaciones de la presión arterial dependen PRIMORDIALMENTE DE DOS VARIABLES:

- el flujo ó GASTO CARDIACO
- la resistencia arteriolar ó RESISTENCIA PERIFERICA

según la expresión FUNDAMENTAL:

PRESION ARTERIAL = GASTO CARDIACO * RESISTENCIA PERIFERICA

Diferencias de
presión sanguínea arterial
según zonas

EFEECTO DE LA GRAVEDAD SOBRE LA PRESION ARTERIAL

las presiones descritas suponen un individuo en horizontal,
pero el hombre normal suele estar erecto, en vertical,
gravitando la sangre hacia porciones más declives,
originándose una vasoconstricción refleja
arteriolar y venular,

con aumento de presión

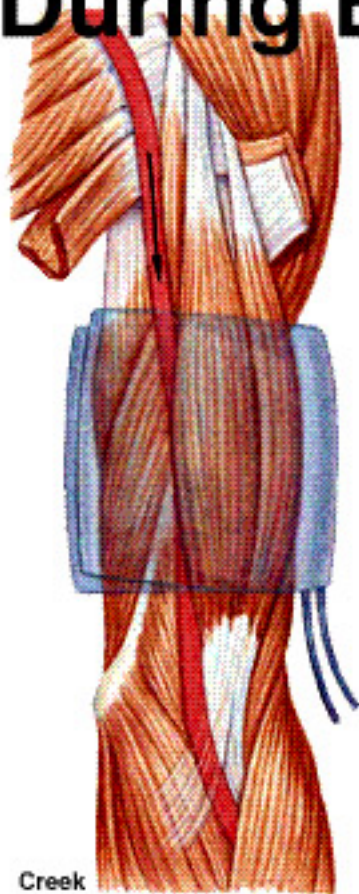
por aumento de volemia local,
de presión hidrostática y de
resistencia periférica

según esto, la GRAVEDAD MODIFICA LA PRESION
del sistema vascular RESPECTO DEL CORAZON

- la PRESION SISTOLICA en los PIES es 180 mm Hg
- en una mano sobre la cabeza puede ser 40 mm Hg

Presión Externa para Estenosis

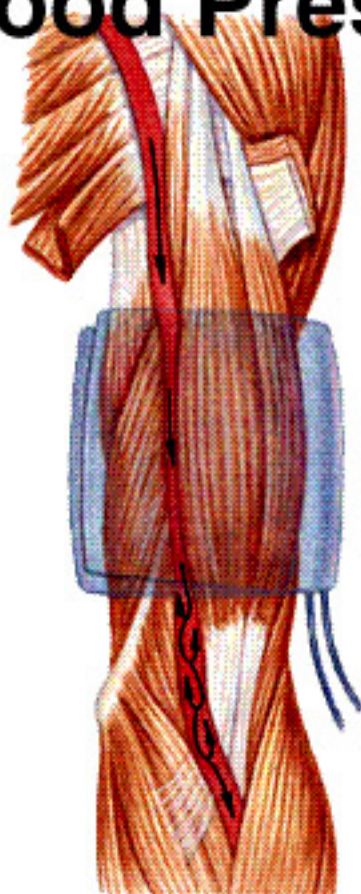
Blood Flow and Korotkoff Sounds During Blood Pressure Measurement



Creek

No sounds

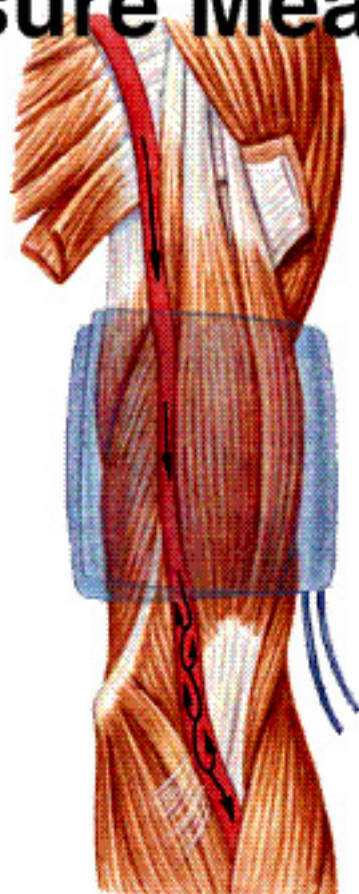
Cuff pressure = 140



First Korotkoff sounds

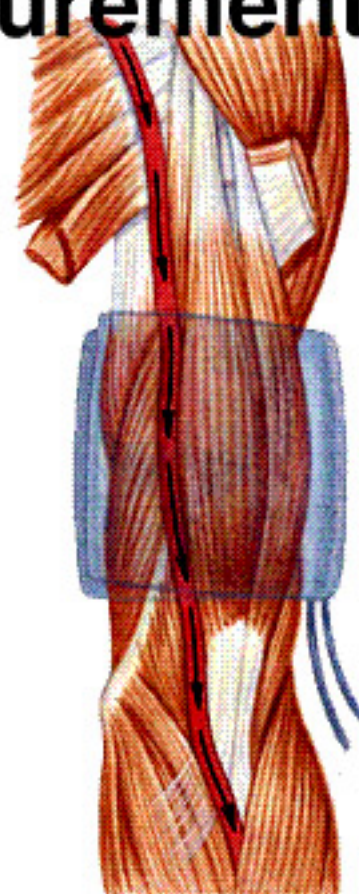
Cuff pressure = 120

Systolic pressure = 120 mmHg



Sounds at every systole

Cuff pressure = 100



Last Korotkoff sounds

Cuff pressure = 80

Diastolic pressure = 80 mmHg

Blood pressure = 120/80

Medida indirecta
de la
presión arterial

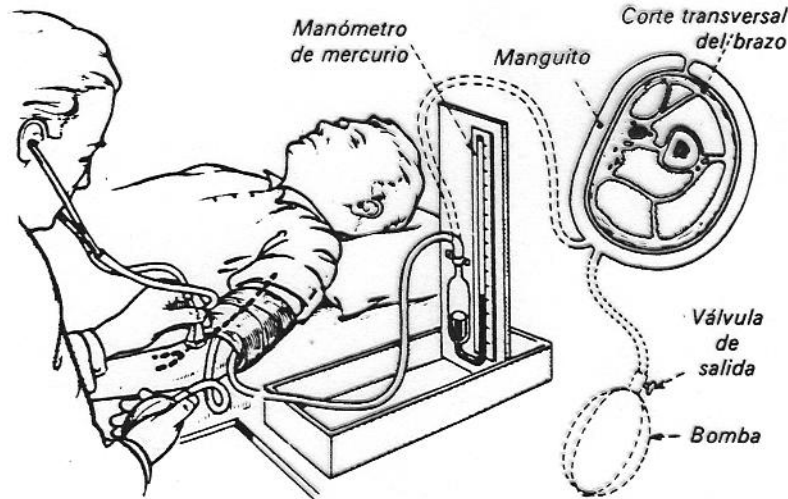
MEDICION DE LA PRESION SANGUINEA ARTERIAL

La presión sanguínea arterial se mide por medio de un ESFIGMOMANOMETRO.

Este consta de un SACO de GOMA (envuelto con una cubierta de tela) que se enrolla alrededor del BRAZO sobre la ARTERIA HUMERAL.

Un tubo conecta el interior del saco con un MANÓMETRO que contiene MERCURIO.

Otro tubo conecta el interior del saco con una BOMBA accionada a mano con VALVULA de salida.



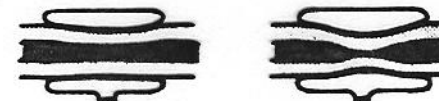
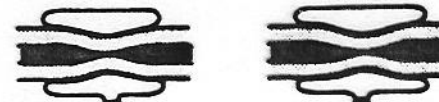
METODO

Se bombea el aire al interior del saco de goma hasta que la presión en el manguito sea mayor que la presión en la arteria, incluso durante la sistole del corazón.

La arteria se cierra entonces durante la **SISTOLE** y la **DIASTOLE**

(Al propio tiempo el aire impulsa hacia arriba la columna de mercurio en el manómetro.)

Aflojando la válvula de la bomba se reduce gradualmente la presión en el manguito hasta la presión máxima en la arteria que iguala la presión en el manguito. Parte de la sangre empieza a brotar a su través durante la



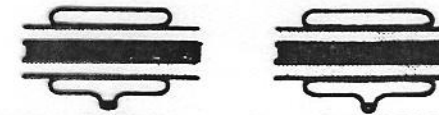
SISTOLE

La arteria todavía está cerrada durante la **DIASTOLE**

En este momento empiezan a escucharse a través del ESTETOSCOPIO TENUES SONIDOS de PERCUSION rítmicos. La altura del mercurio en milímetros se registra como la presión sanguínea **SISTOLICA** (por ej., 120 mm Hg)

Se reduce la presión en el manguito hasta inmediatamente por debajo de la presión más inferior en la arteria hacia el final de la diástole (es decir, inmediatamente antes del siguiente latido cardíaco).

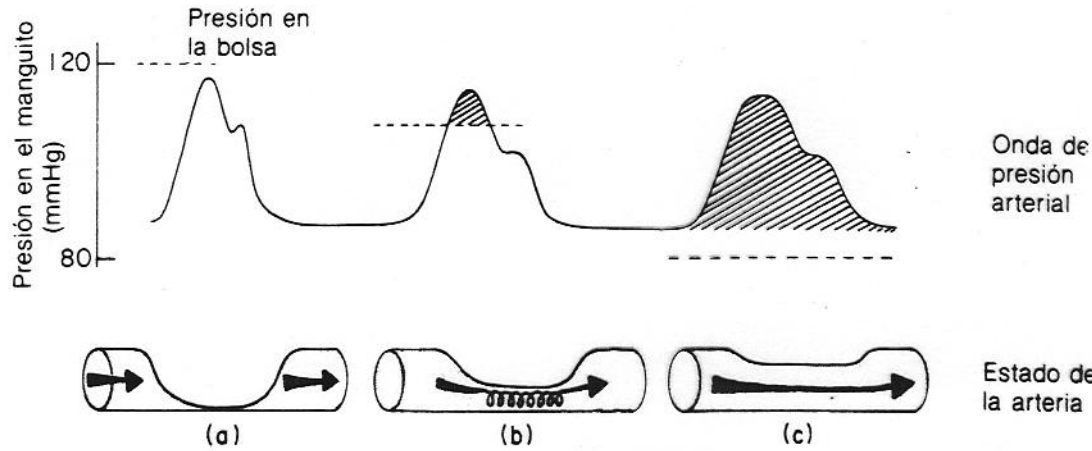
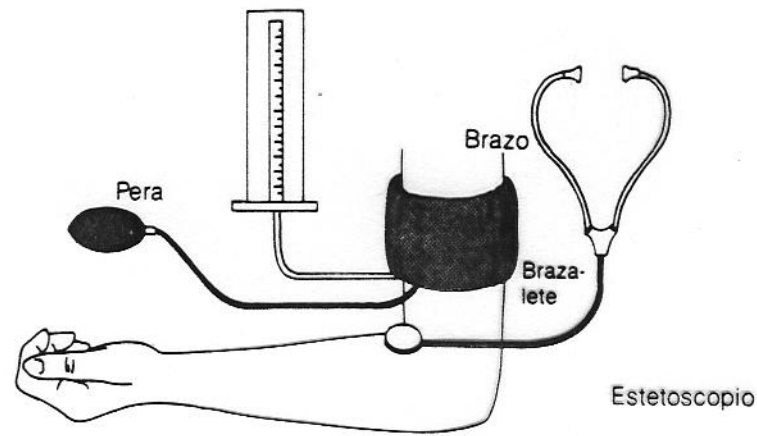
La corriente sanguínea no está impedida durante la **SISTOLE** y la **DIASTOLE**



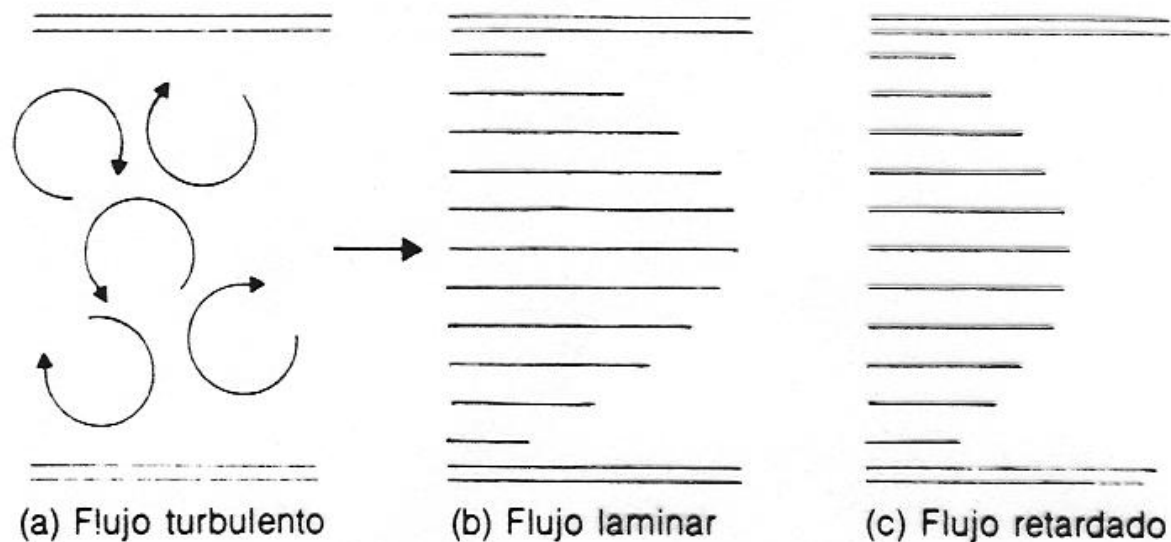
Los sonidos se detienen. La altura del mercurio en el manómetro en este punto se considera como la presión sanguínea **diastólica** (por ej., aproximadamente 80 mm Hg)

Estos valores difieren con el SEXO, EDAD, EJERCICIO, SUEÑO, etc.

Cambio de
Régimen de flujo
por Estenosis



Método del esfigmomanómetro para medir la presión sanguínea. Se aplica a la parte superior del brazo un brazaletes que contiene un saco de goma conectado con un manómetro de mercurio y que puede ser hinchado con aire. El saco queda situado sobre la arteria radial, de forma que al inflarse la comprime. Si se hincha por encima de la presión sistólica (a) el flujo cesa por completo y no se detecta pulso en la muñeca, ni se oye en el codo; si se infla justo por debajo de la presión sistólica, en cada sístole pasa un poco de sangre (a gran velocidad); este flujo es turbulento y puede oírse con el estetoscopio (b). Si se va disminuyendo la presión el período de flujo, y con ello la turbulencia, se alarga en cada ciclo, hasta que cuando la presión es inferior a la diastólica (c) el vaso no está nunca cerrado durante el ciclo y por lo tanto no hay turbulencia. La presión diastólica se toma en el momento en que cambia el tono de la turbulencia, justo inmediatamente antes del silencio o en el punto en el que cesa la turbulencia.



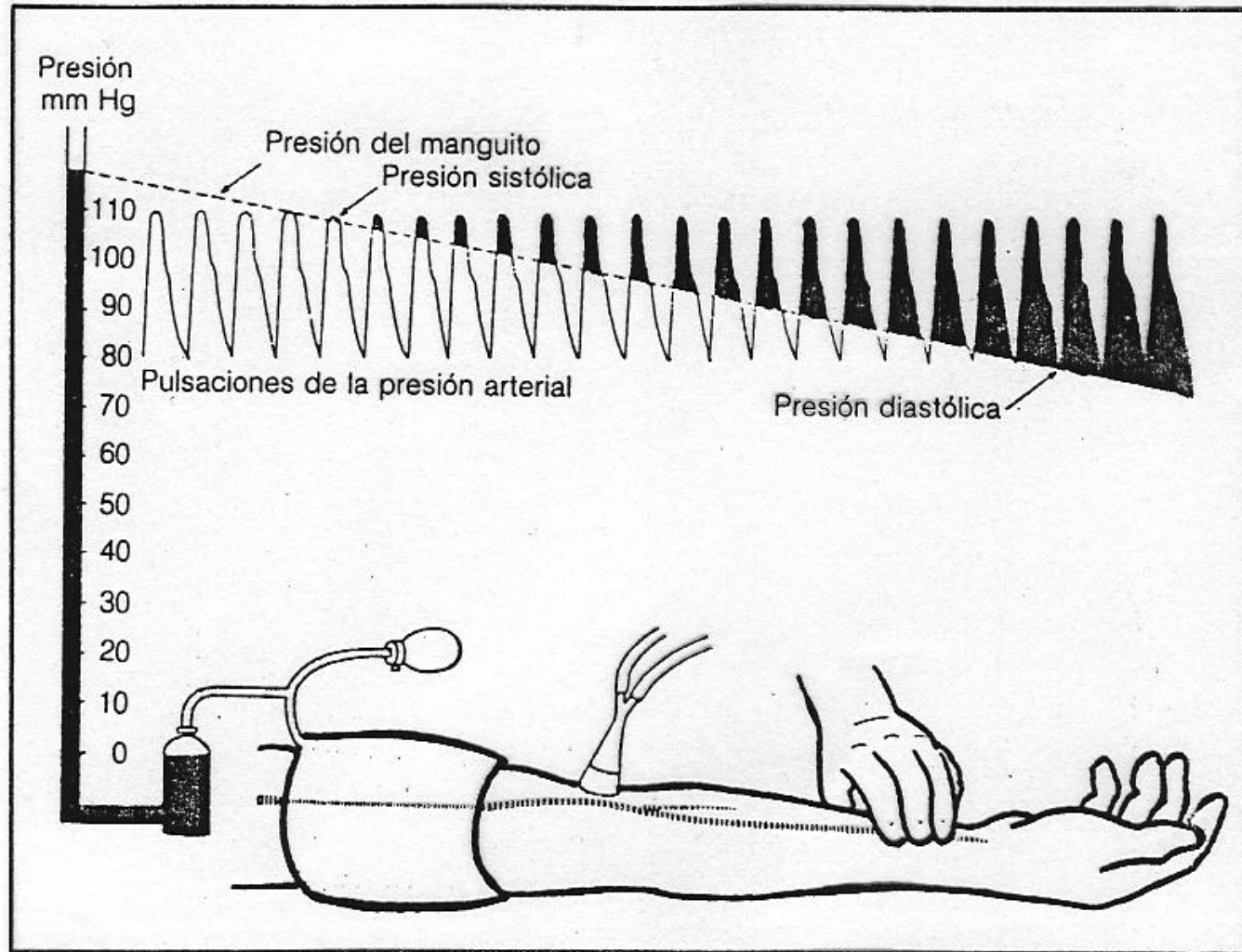
Naturaleza del flujo de un líquido en un tubo. La resistencia friccional está producida por moléculas que chocan unas contra otras y contra las paredes del tubo. En (a) las moléculas se mueven al azar y producen una resistencia al flujo máxima; en (b) las moléculas «marchan en columnas» y aparece un marcado perfil de velocidad —esto ocurre si el flujo es mantenido y uniforme; en (c) las moléculas se mueven también en columnas pero el perfil de velocidad es mucho menos pronunciado («flujo de obturador») — esto ocurre cuando, como en el sistema vascular, el flujo es pulsátil.

La probabilidad de que haya turbulencia aumenta al aumentar la velocidad, pero se presenta a velocidades mucho más bajas con un flujo continuo (b) que con uno pulsátil (c), de forma que en una circulación normal raramente aparece.

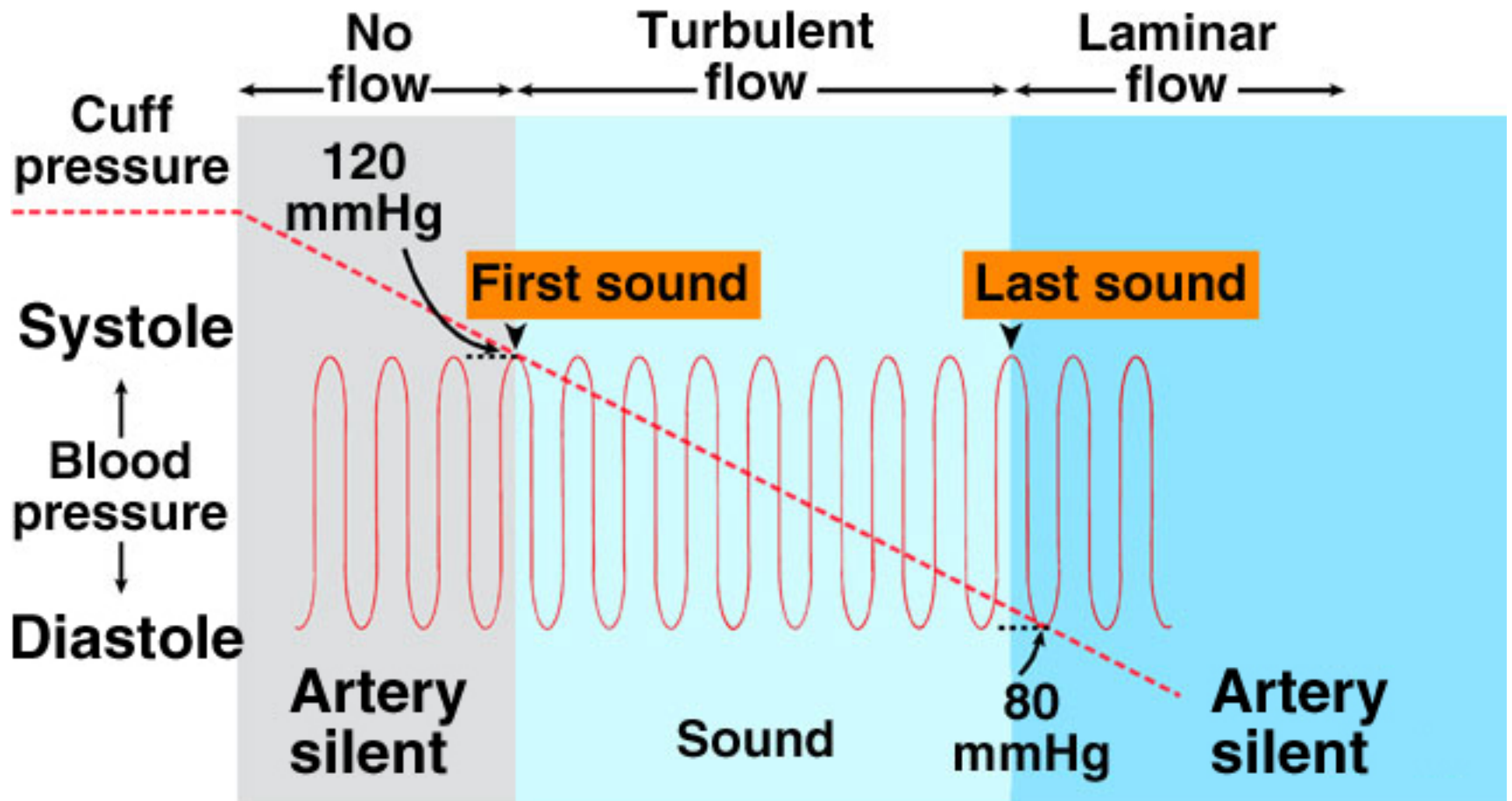
probab. de turbulencia \uparrow como $\left(\frac{\text{radio del tubo} \times \text{veloc. flujo}}{\text{viscosidad}} \right) \uparrow$

Soplos

Presión arterial

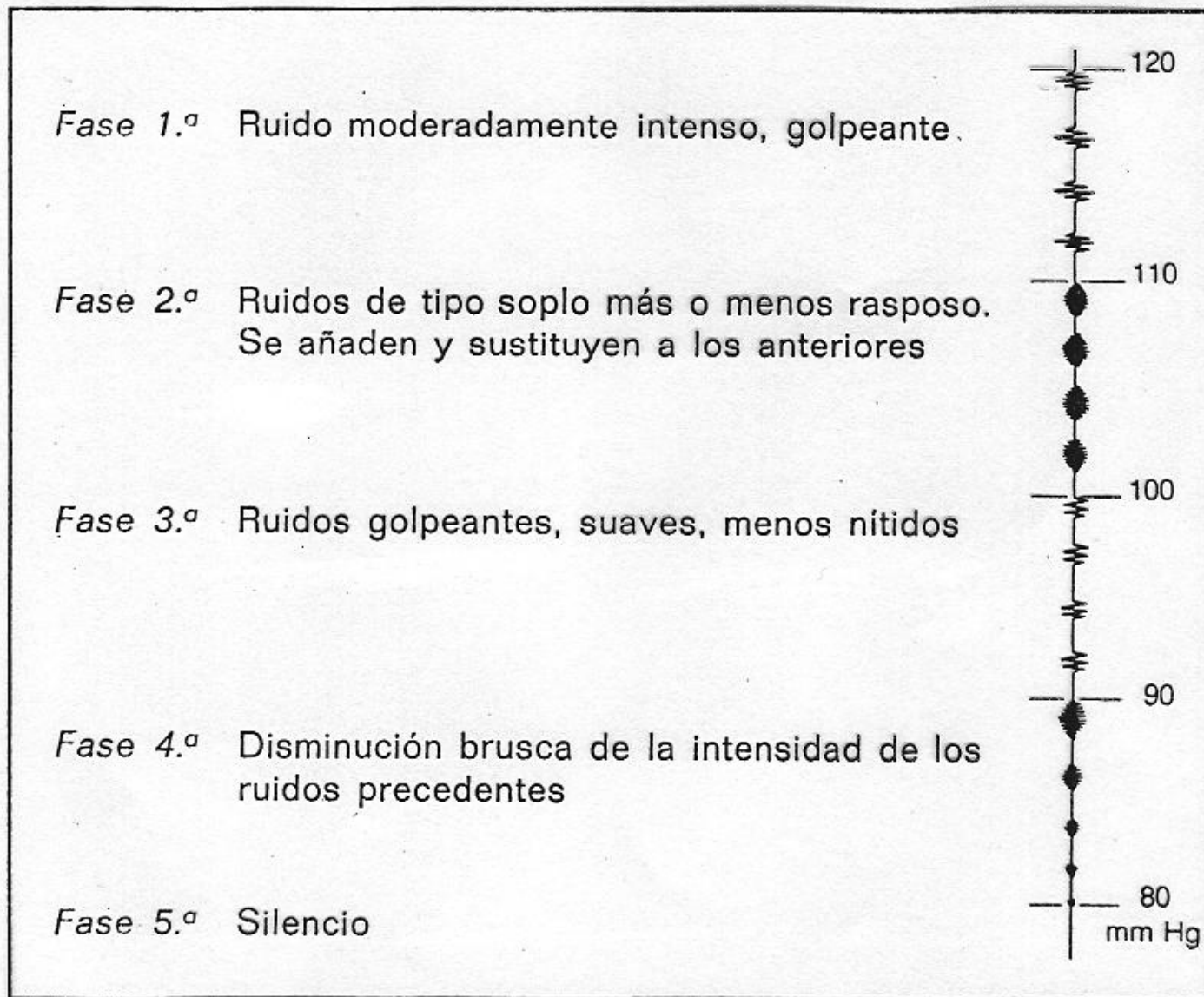


Fundamento de la determinación de la presión sanguínea por esfigmomanometría.



Indirect (Auscultatory) Method of Blood Pressure Measurement

Fases en el Soplo



Características de las vibraciones asociadas a las distintas fases que se detectan durante el registro de la presión arterial.

Esfigmomanómetros

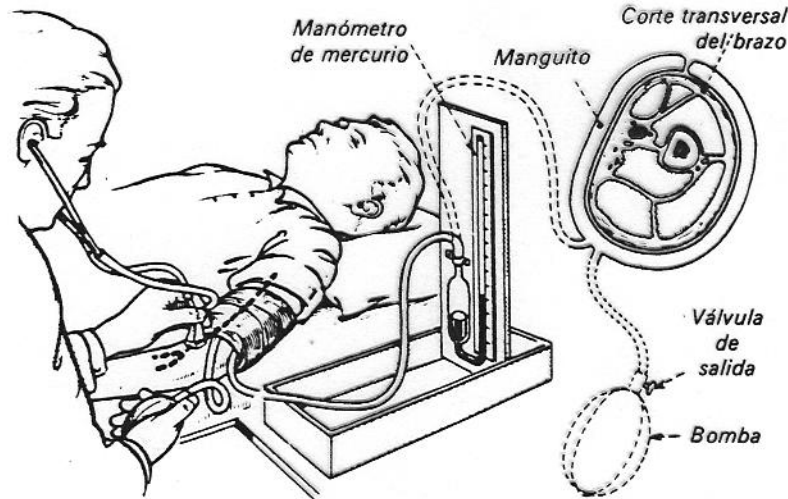
MEDICION DE LA PRESION SANGUINEA ARTERIAL

La presión sanguínea arterial se mide por medio de un ESFIGMOMANOMETRO.

Este consta de un SACO de GOMA (envuelto con una cubierta de tela) que se enrolla alrededor del BRAZO sobre la ARTERIA HUMERAL.

Un tubo conecta el interior del saco con un MANÓMETRO que contiene MERCURIO.

Otro tubo conecta el interior del saco con una BOMBA accionada a mano con VALVULA de salida.



METODO

Se bombea el aire al interior del saco de goma hasta que la presión en el manguito sea mayor que la presión en la arteria, incluso durante la sistole del corazón.

La arteria se cierra entonces durante la **SISTOLE** y la **DIASTOLE**

(Al propio tiempo el aire impulsa hacia arriba la columna de mercurio en el manómetro.)

Aflojando la válvula de la bomba se reduce gradualmente la presión en el manguito hasta la presión máxima en la arteria que iguala la presión en el manguito. Parte de la sangre empieza a brotar a su través durante la



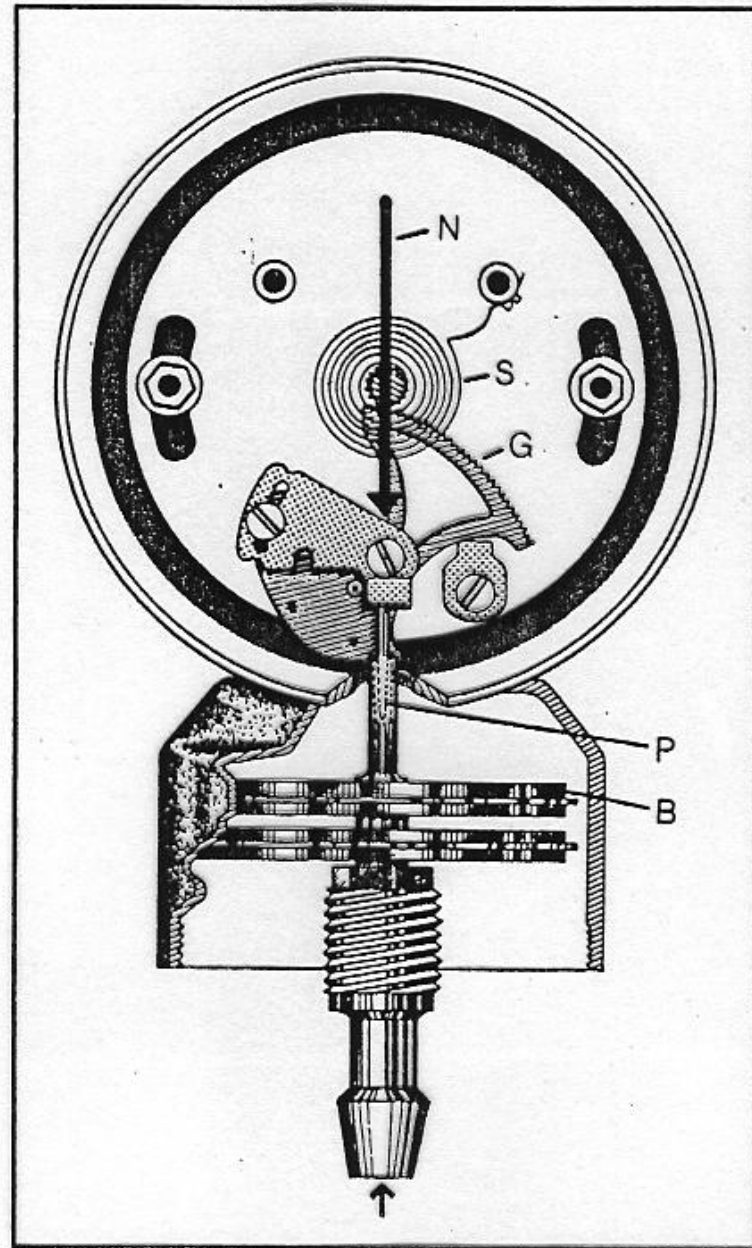
En este momento empiezan a escucharse a través del ESTETOSCOPIO TENUES SONIDOS de PERCUSION rítmicos. La altura del mercurio en milímetros se registra como la presión sanguínea **SISTOLICA** (por ej., 120 mm Hg)

Se reduce la presión en el manguito hasta inmediatamente por debajo de la presión más inferior en la arteria hacia el final de la diástole (es decir, inmediatamente antes del siguiente latido cardíaco).

La corriente sanguínea no está impedida durante la **SISTOLE** y la **DIASTOLE**

Los sonidos se detienen. La altura del mercurio en el manómetro en este punto se considera como la presión sanguínea **diastólica** (por ej., aproximadamente 80 mm Hg)

Estos valores difieren con el SEXO, EDAD, EJERCICIO, SUEÑO, etc.



Manómetro de tipo aneroide.

