

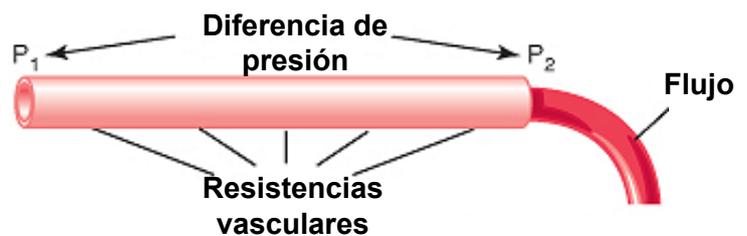
HEMODINÁMICA

La dinámica de fluidos en el aparato circulatorio es compleja por:

1. El flujo intermitente de sangre se hace continuo por las propiedades físicas del sistema circulatorio
2. Los vasos sanguíneos son conductos distensibles, ramificados y con dimensiones variables
3. La sangre es una suspensión de eritrocitos en plasma
4. El plasma es una solución coloidal de proteínas

HEMODINÁMICA

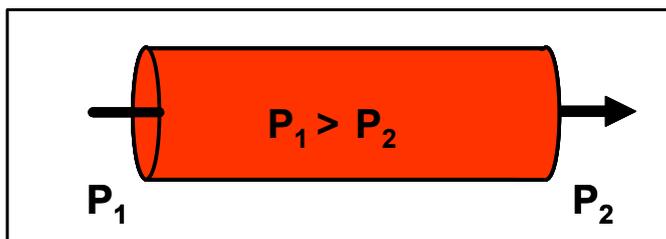
Factores que determinan el flujo:
- El gradiente de presión
- Las resistencias vasculares



La ley fundamental de la hemodinámica es una modificación de la Ley de Ohm:

$$I = \frac{V}{R}$$

A simple circuit diagram showing a resistor symbol between two points labeled V_1 and V_2 .

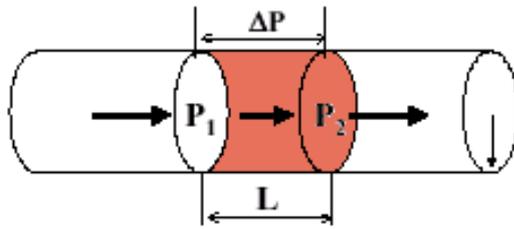


$$Q = \frac{\Delta P}{R}$$

$$ml / min = \frac{mmHg}{mmHg \cdot min / ml}$$

$$Q = \frac{\Delta P}{R}$$

Factores que determinan R: Eq. de POISEUILLE



$$Q = \frac{\pi \Delta P r^4}{8 \eta L}$$

$$Q = \frac{\Delta P}{R}$$

llamemos a esto R

$$Q = \frac{\pi \Delta P r^4}{8 \eta L}$$

Q - Flujo
 r - radio
 ΔP - gradiente de P
 η - viscosidad (eta)
 L - longitud

$$R \sim \frac{\eta L}{r^4}$$

Conclusiones:

- El flujo está determinado por el gradiente de presión
- Para un determinado ΔP, se regula modificando la resistencia (R)
- El parámetro más importante para determinar R es el radio del vaso

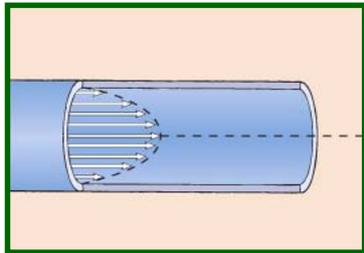
Limitaciones:

- Sólo se aplica con propiedad para fluidos newtonianos a través de tubos rígidos abiertos y con un patrón de flujo laminar

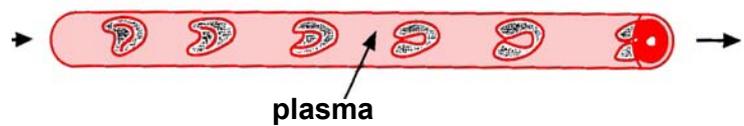
$$Q = \frac{\Delta P}{R}$$

PATRONES DE FLUJO

Flujo laminar (aa, vv)



Flujo en hilera (capilares)



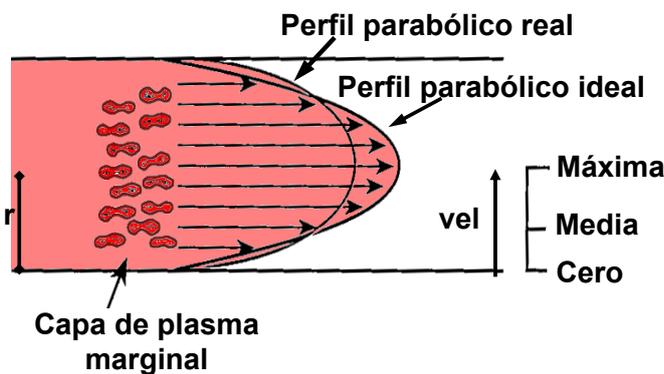
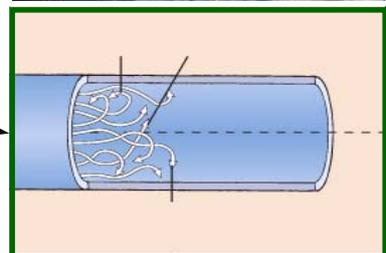
Número de Reynolds

$$N_R = \frac{\rho D \bar{v}}{\eta}$$

$N_R < 2000$ $N_R > 3000$

Flujo turbulento

(ventrículos, aa estenosadas)

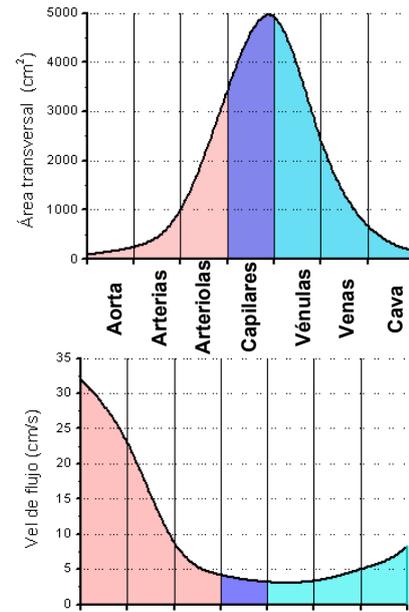


$$Q = \frac{\Delta P}{R}$$

DIFERENCIA ENTRE FLUJO Y VELOCIDAD DE FLUJO



**Q = volumen/tiempo
(constante en un sistema)**

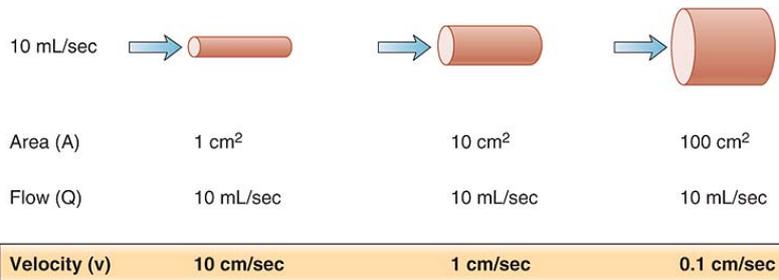


**Velocidad del Q (v) = espacio/tiempo (cm/s)
(inversamente proporcional a la sección)**

DIFERENCIA ENTRE FLUJO Y VELOCIDAD DE FLUJO

$$v = Q/A$$

$$cm/s = \frac{ml/s}{cm^2} = \frac{cm^3/s}{cm^2}$$



Parámetros vasculares que varían con la ramificación

Parámetro	Aorta	Pequeñas aa	arteriolas	Capilares	V. cava
Nº unidades	1	8000	2 x 10 ⁷	1 x 10 ¹⁰	1
Radio interno	1,13 cm	0,5 mm	15 µm	3 µm	1,38 cm
Área de sección (cm ²) π · r ²	4	7,9 x 10 ⁻³	7,1 x 10 ⁻⁷	2,8 x 10 ⁻⁷	6
A. de sección total (cm ²) N · π · r ²	4	63	141	2827	6
Flujo total	83 ml/s	83 ml/s	83 ml/s	83 ml/s	83 ml/s
Vel lineal media	21 cm/s	1,3 cm/s	0,6 cm/s	0,03 cm/s	14 cm/s
Flujo por 1 unidad	83 ml/s	0,01ml/s	4 · 10 ⁻⁶ ml/s	8 · 10 ⁻⁹ ml/s	83 ml/s

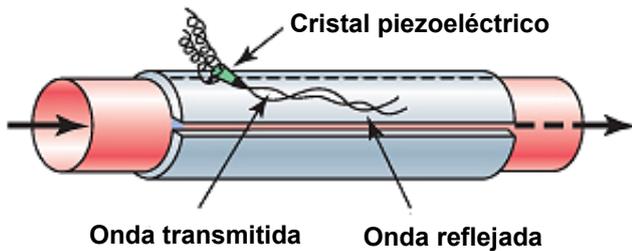
$$Q = \frac{\Delta P}{R}$$

MÉTODOS DE MEDIDA DEL FLUJO

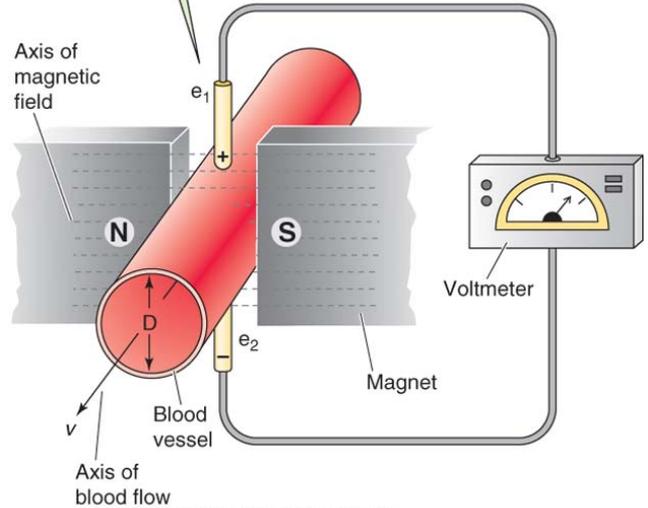
FLUJÓMETRO ELECTROMAGNÉTICO (métodos invasivos)

Unidades de flujo (Q):
ml/min, l/min, ml/s

FLUJÓMETRO DOPLER DE ULTRASONIDOS (métodos no invasivos)



The movement of an electrical conductor (i.e., blood in a vessel) through a magnetic field induces a voltage between two points (e_1 and e_2) along an axis that is mutually perpendicular to both the axis of the magnetic field and the axis of blood flow.



Boron & Boulpaep: Medical Physiology, 2nd Edition.
Copyright © 2009 by Saunders, an imprint of Elsevier, Inc. All rights reserved.

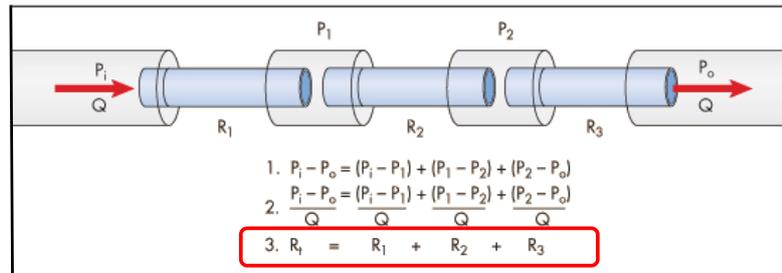
MÉTODOS INDIRECTOS: Método de Fick y variaciones (métodos de dilución)

$$Q = \frac{\Delta P}{R}$$

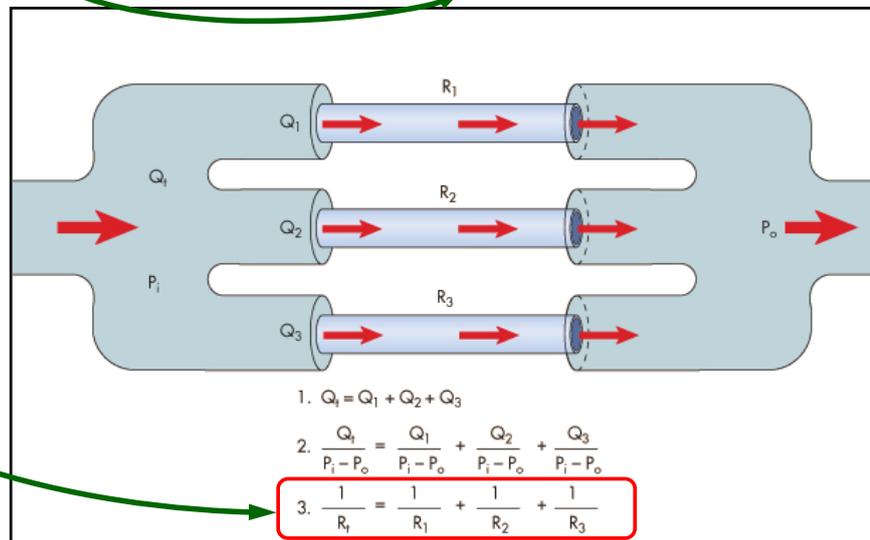
RESISTENCIAS VASCULARES

El conjunto de R de cualquier red de tubos se puede convertir en una única R equivalente

red de conductos en serie: "se suman las resistencias"



red de conductos en paralelo: "se suman las conductancias"



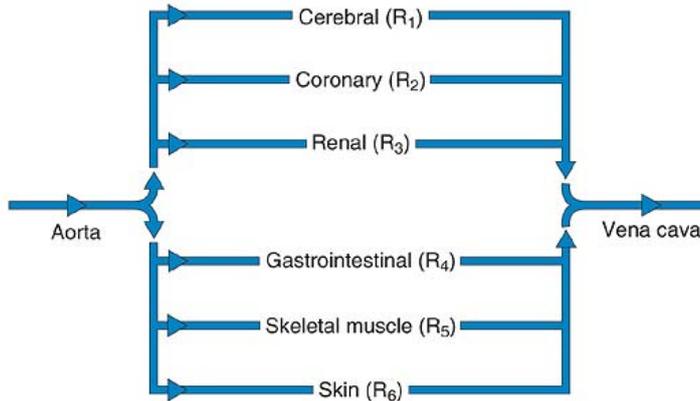
RESISTENCIAS EN SERIE: Representadas por la distribución de los vv en el interior de un órgano concreto

$$R_{\text{total}} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 \quad R_{\text{Total}} \text{ es mayor que cualquier } R_i$$



RESISTENCIAS EN PARALELO: Representadas por la distribución del flujo entre arterias mayores desde la aorta

$$\frac{1}{R_{\text{total}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_6} \quad R_{\text{Total}} \text{ es menor que cualquier } R_i$$



$$Q = \frac{\Delta P}{R}$$

UNIDADES Y MEDIDA DE LA RESISTENCIA

Unidades: - PRU= Unidades de Resistencia Periférica
- mmHg.min/l

$$R = \frac{\Delta P}{Q} \quad 1PRU = \frac{1mmHg}{1ml/s}$$

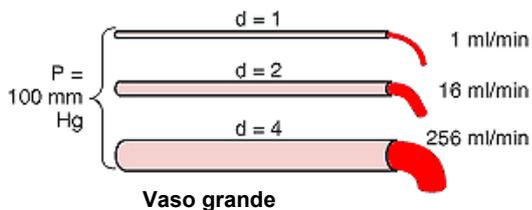
Q = 6 l/min = 100 ml/s

R de la circulación mayor

$$R = \frac{100 - 0mmHg}{100ml/s} = 1 = 1PRU$$

R de la circulación menor

$$R = \frac{16 - 4mmHg}{100ml/s} = 0,12PRU$$



De acuerdo con la Eq de Poiseuille, la resistencia es muy sensible al radio:

$$R = 8L\eta/\pi r^4$$

Las aa. musculares y arteriolas son los vv. de R



Vaso pequeño
Arteriola r = 0.01cm

¿Por qué no los capilares?

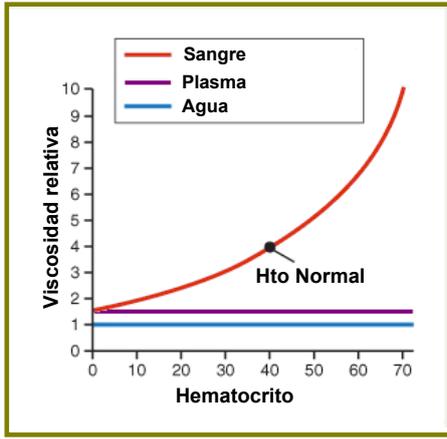
Su gran número en paralelo (R_T)

Su escasa longitud

El flujo en hilera

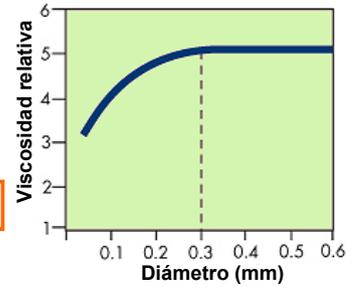
$$R = 8L\eta/\pi r^4$$

VISCOSIDAD DE LA SANGRE

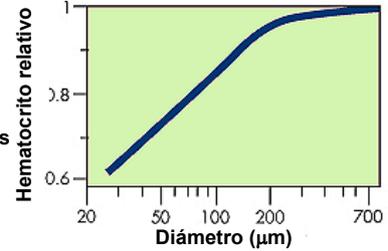


η depende del diámetro del tubo (efecto Fahraeus-Lindqvist)

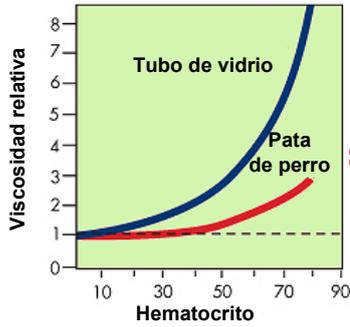
(capa de plasma marginal)



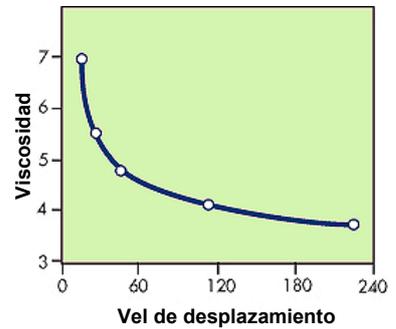
El hematocrito aparente disminuye en los vv pequeños



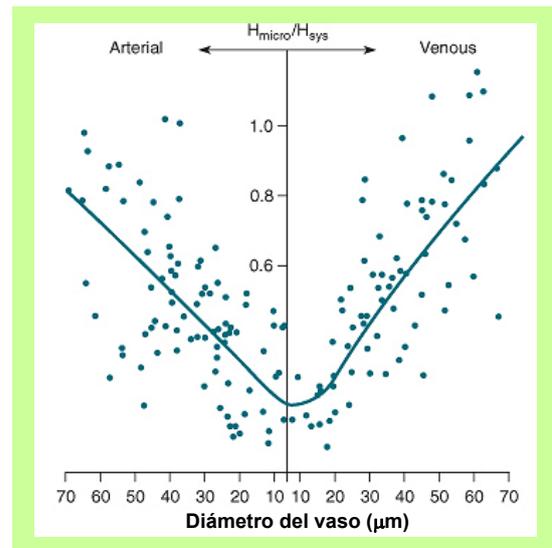
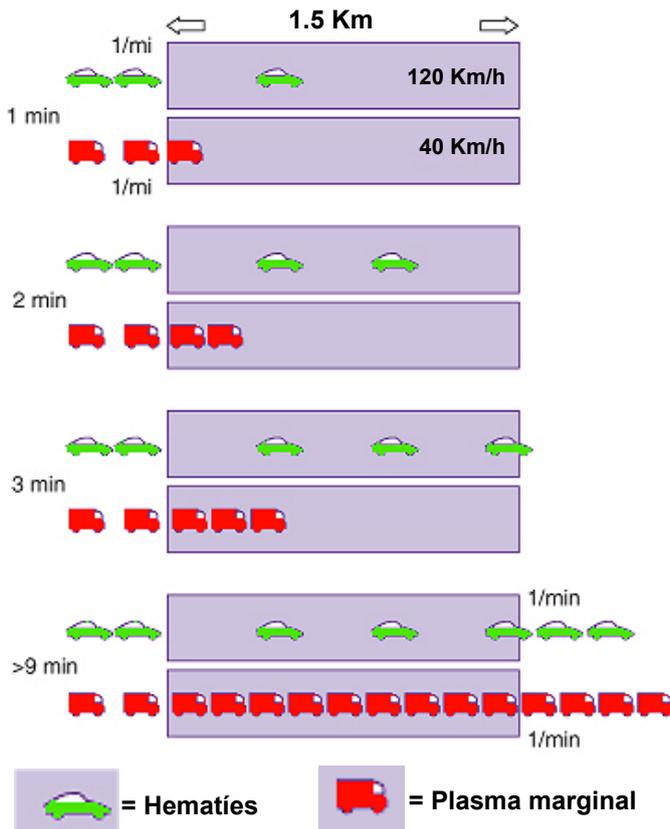
La sangre no es un fluido newtoniano en relación con su viscosidad



η disminuye al aumentar la velocidad del flujo (dilución por deslizamiento)



VISCOSIDAD DE LA SANGRE: Dilución por deslizamiento

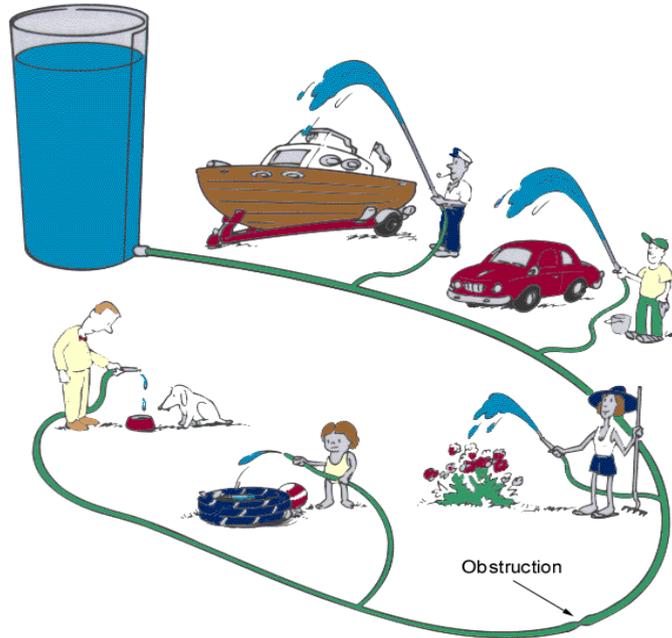


EL SISTEMA ARTERIAL

Funciones:

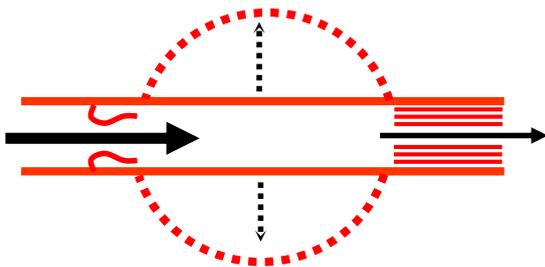
- Distribución de la sangre
- Grandes arterias: filtro hidráulico
- Pequeñas arterias: Regulación de la perfusión tisular

Filtro hidráulico:
La gran elasticidad de las aa grandes junto con la resistencia al flujo de las aa pequeñas convierte el flujo intermitente del corazón en un flujo constante a través de los capilares

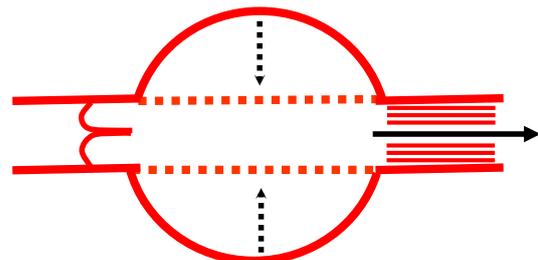


LAS AA ELÁSTICAS SON UN RESERVORIO DE PRESIÓN

SISTOLE

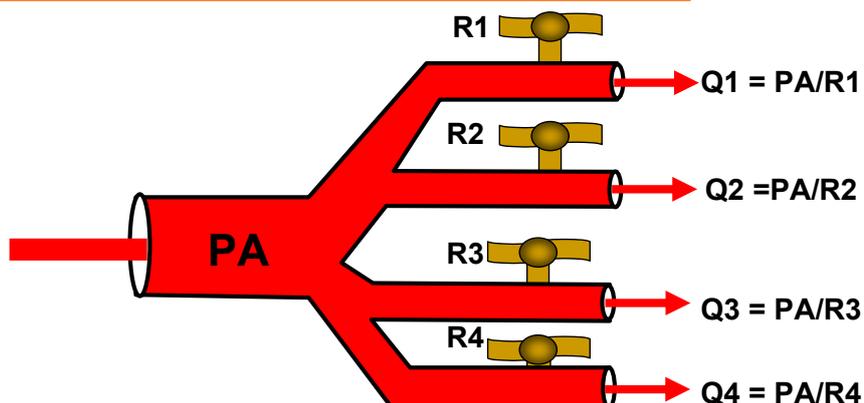


DIASTOLE

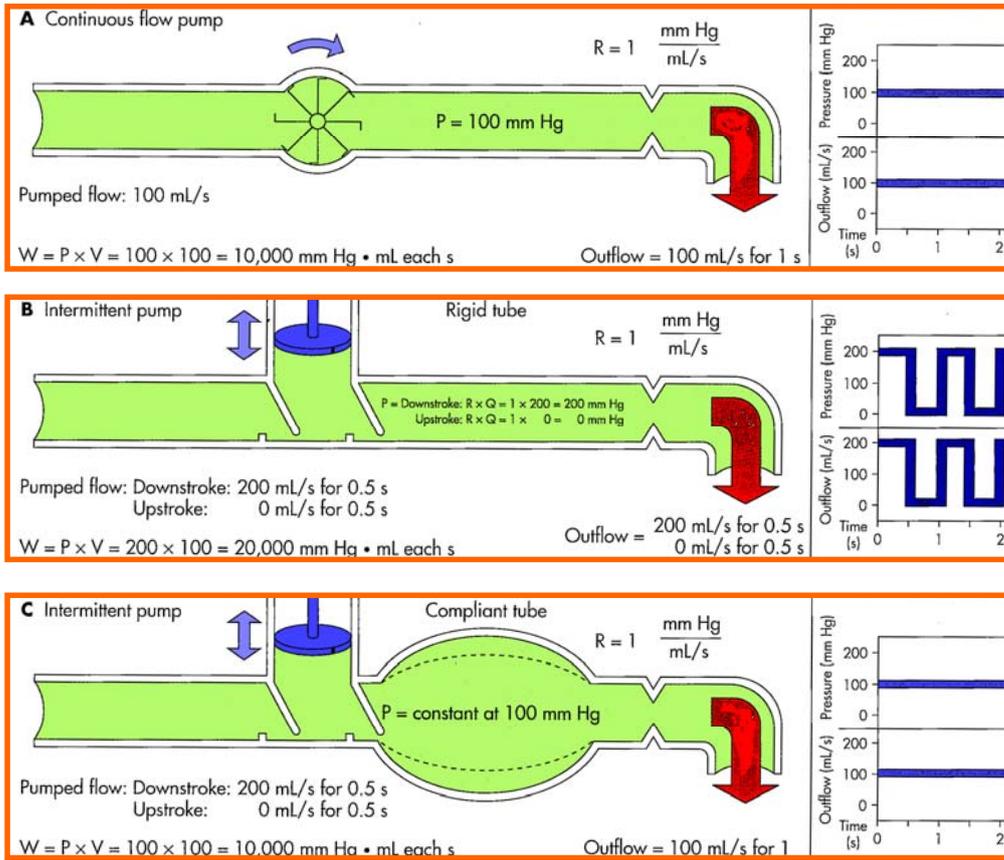


Es útil pensar en un "espacio arterial" (y un "espacio venoso") con una Presión que depende del volumen de sangre acumulado y de su elasticidad

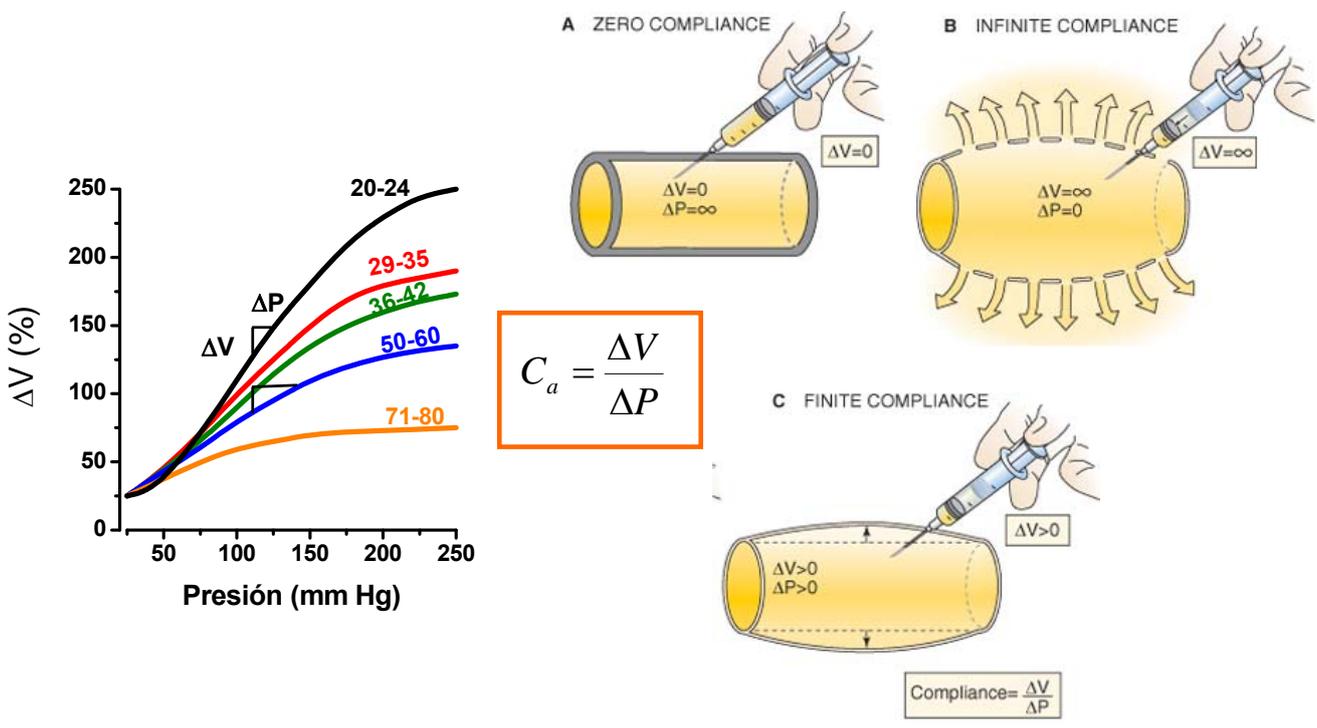
LAS AA MUSCULARES REGULAN EL FLUJO



LAS AA ELÁSTICAS DISMINUYEN EL TRABAJO DEL CORAZÓN



PROPIEDADES ELÁSTICAS DE LA PARED ARTERIAL

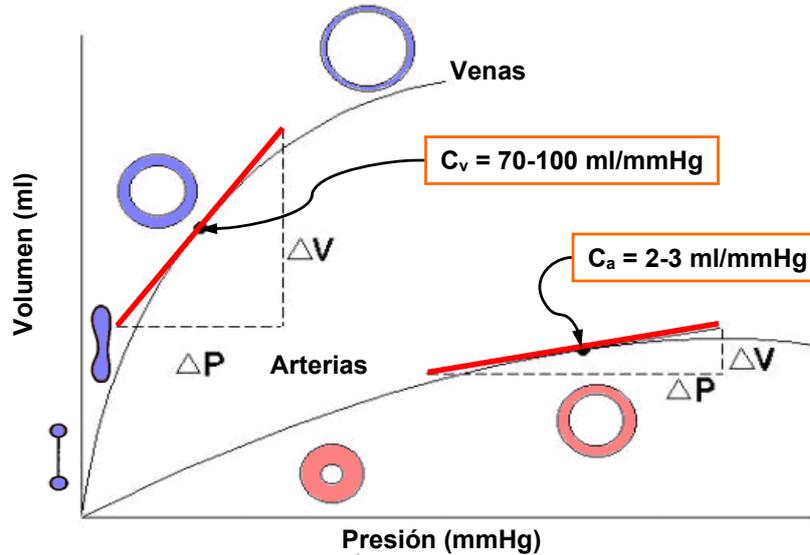


PROPIEDADES ELÁSTICAS DE LA PARED ARTERIAL

Complianza = Distensibilidad arterial

$$C_a = \frac{\Delta V}{\Delta P}$$

- Es la pendiente de la relación presión-volumen
- No es un valor constante,
 - Depende del rango de presión (< a valores extremos de P)
 - Disminuye con la edad
- Es mayor en las venas que en las arterias (30-50x)
- Determina la capacidad de las arterias y las venas (definimos capacitancia como complianza x Vol)

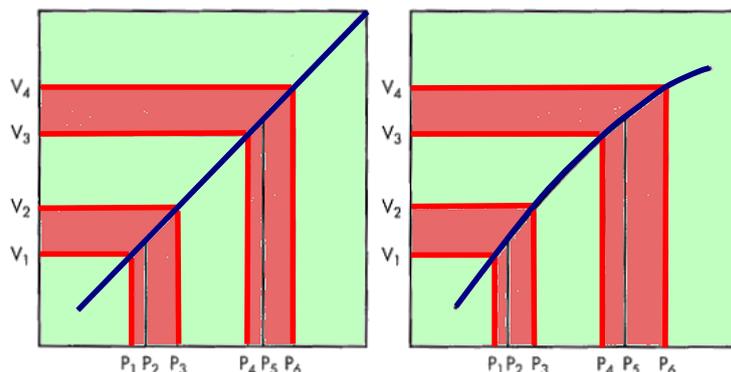


$$C_a = \frac{\Delta V}{\Delta P}$$

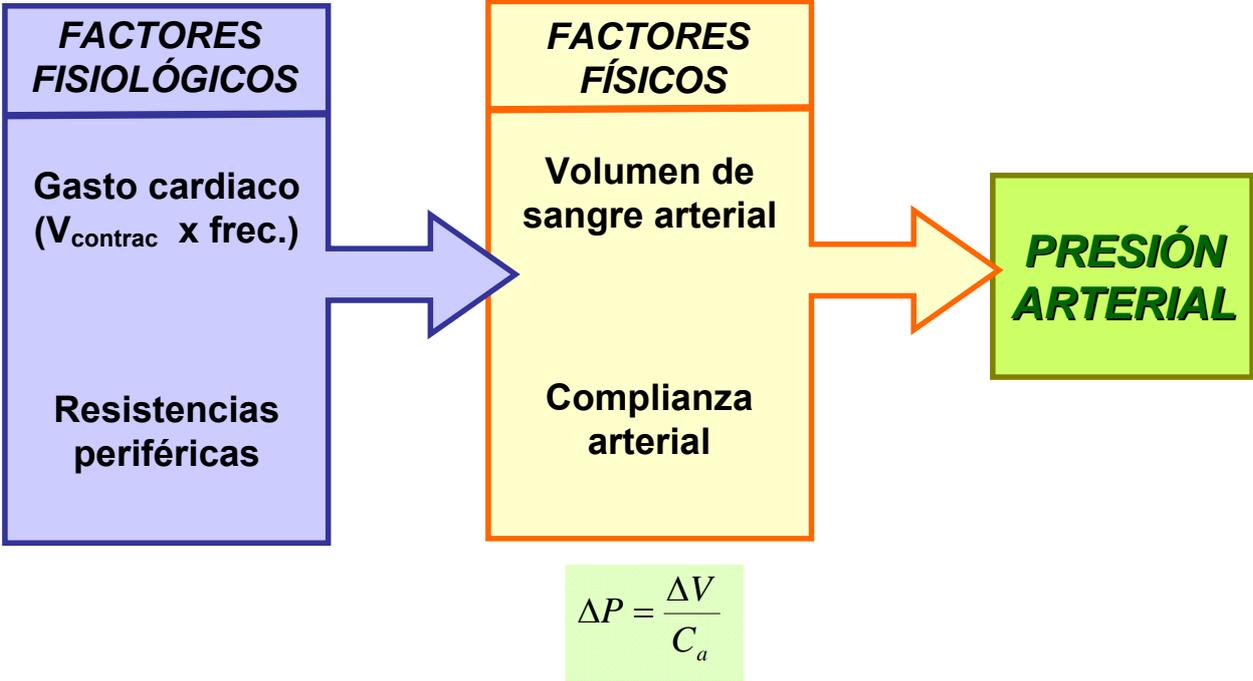
La relación entre el volumen de contracción y la presión arterial es una de las relaciones hemodinámicas esenciales, y el término que relaciona estas dos variables es la complianza

1. La manera más antigua, barata, simple y rápida de determinar el gasto cardiaco es la palpación del pulso radial.
2. Lo que nuestros dedos detectan es la expansión de la arteria mientras la P sube en la sístole
3. Este aumento de P (la P del pulso) refleja el cambio en la P en respuesta al aumento del volumen (el vol. de contracción)
4. La variación en la P del pulso depende de la complianza arterial, pero debido al hecho de que la complianza no es constante, esta medida tiene limitaciones

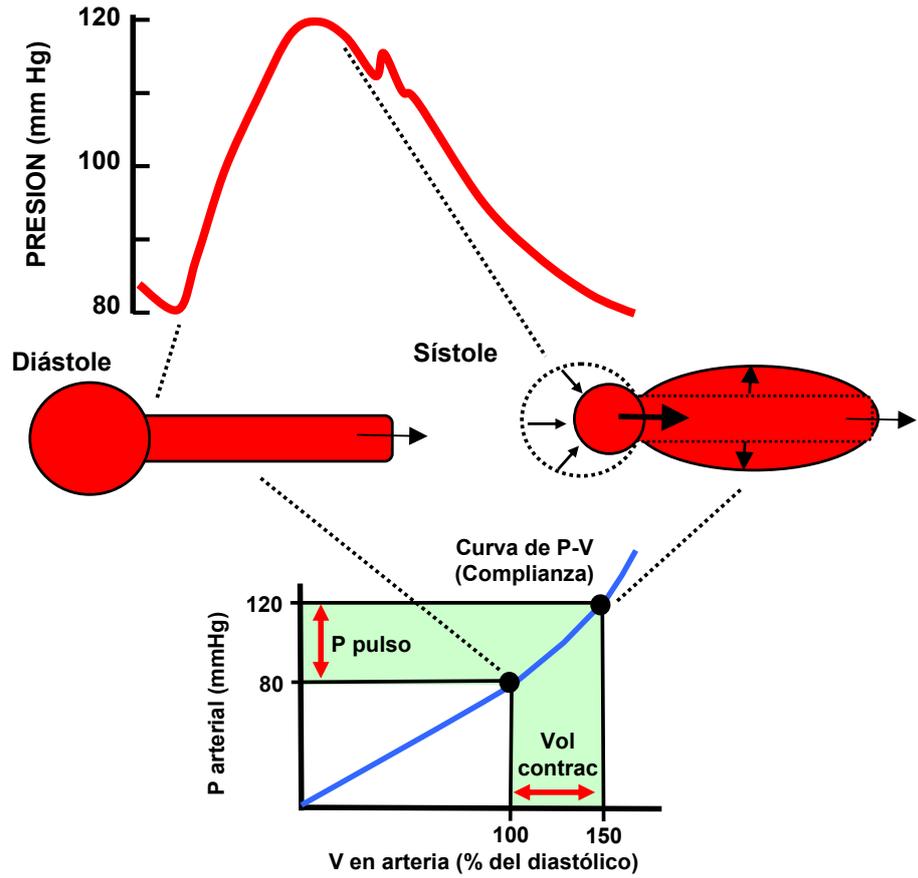
El mismo ΔV produce un cambio en la P mayor a valores altos de P (donde la C_a cae)



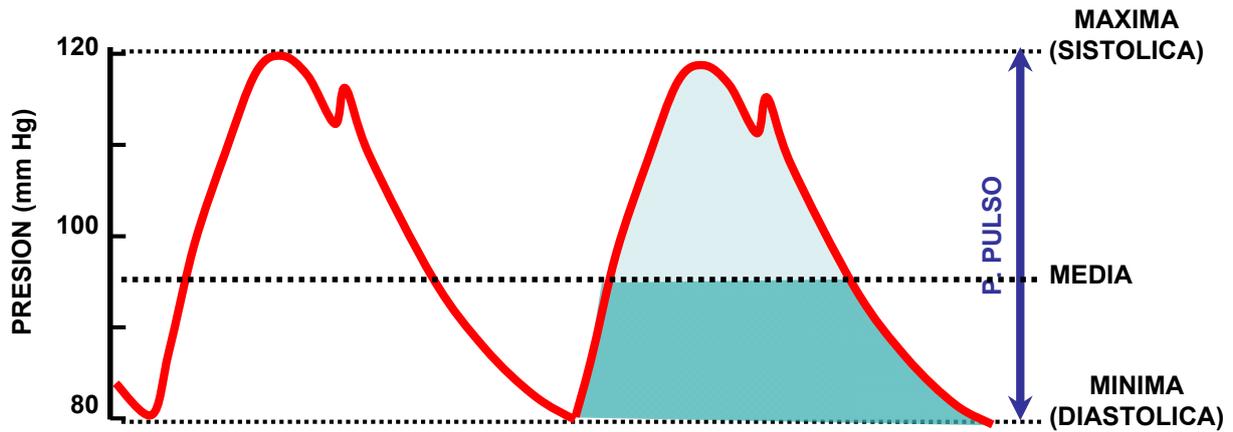
FACTORES QUE DETERMINAN LA P_a



FLUCTUACIONES DE LA PRESIÓN ARTERIAL (P_a)



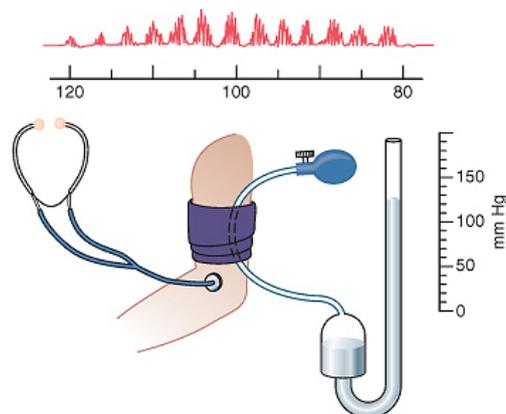
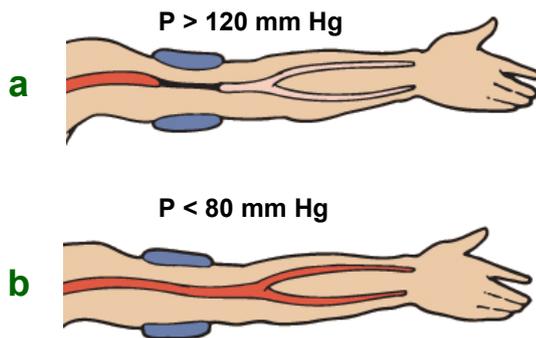
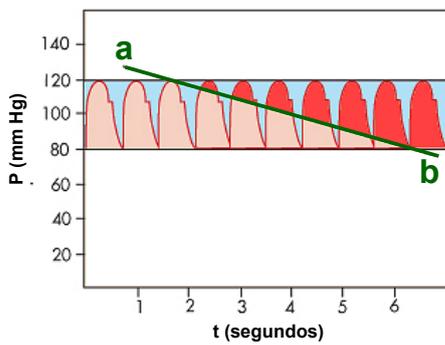
DETERMINACIÓN DE LA \bar{P}_a Y LA P_{PULSO}

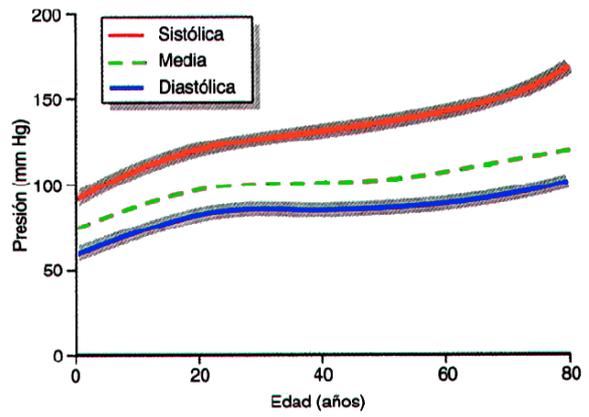
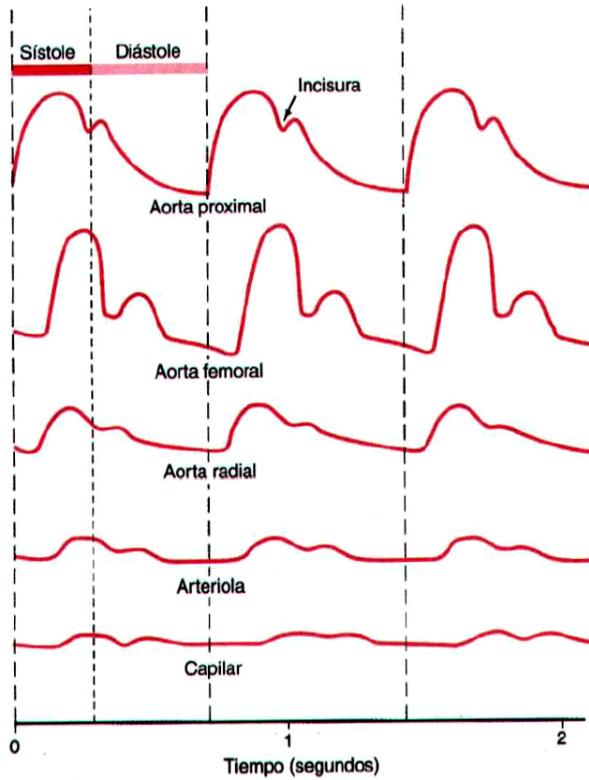


$$PA_{MEDIA} \cong PA_{MIN} + P_{PULSO}/3$$

$$PA_{MEDIA} \cong P_D + (P_S - P_D)/3$$

MEDIDA DE LA PRESIÓN ARTERIAL





Los valores de P_s , P_d y P_{media} se modifican con la edad

Las presiones relevantes para la función circulatoria son la \bar{P}_a (P promedio que lleva la sangre a los tejidos) y la P_{pulso} (la variación máxima de P , que refleja el ΔV y la distensibilidad arterial)

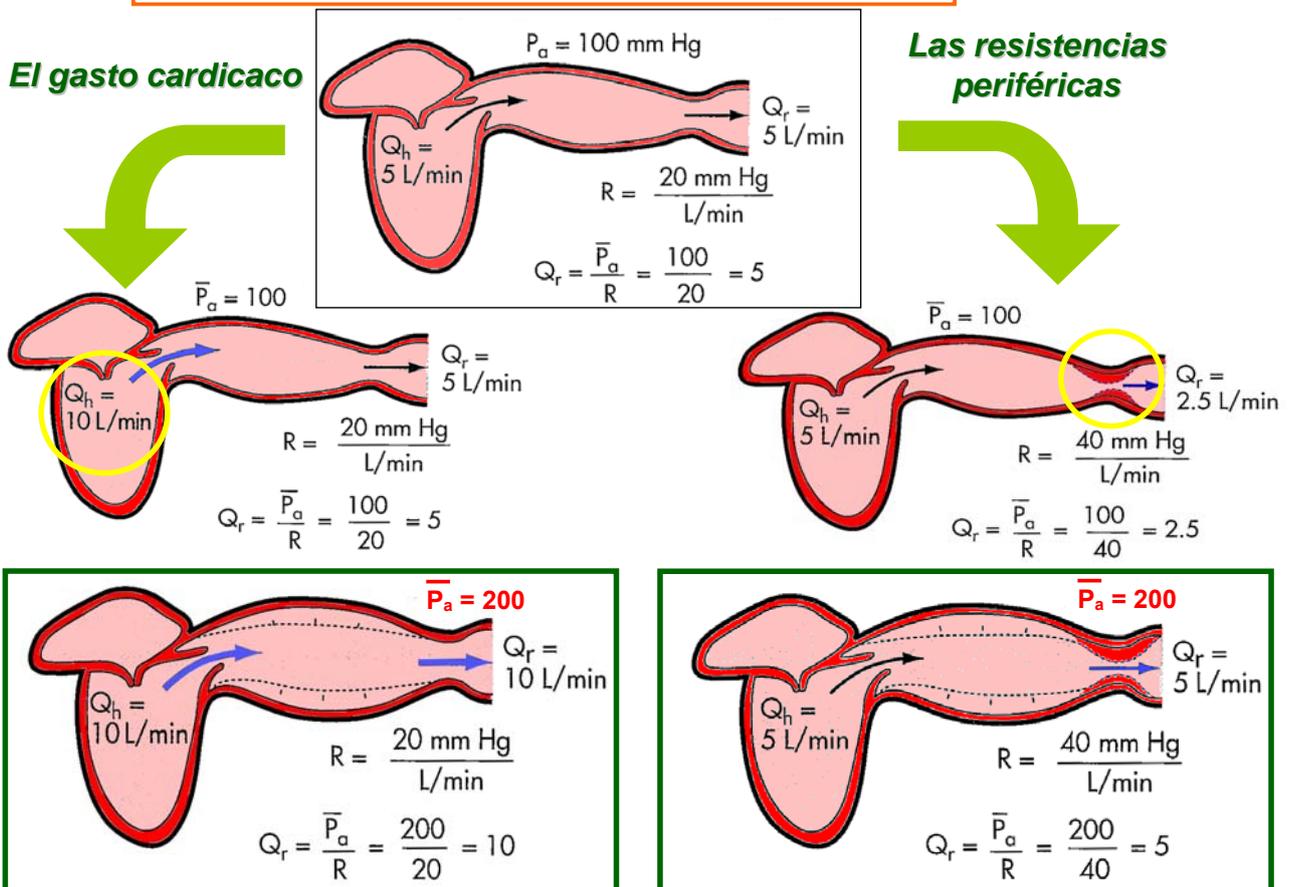
La onda del pulso se amortigua en la circulación

FACTORES QUE DETERMINAN LA \bar{P}_a

$$\bar{P}_a = CO \times TPR$$

El gasto cardíaco

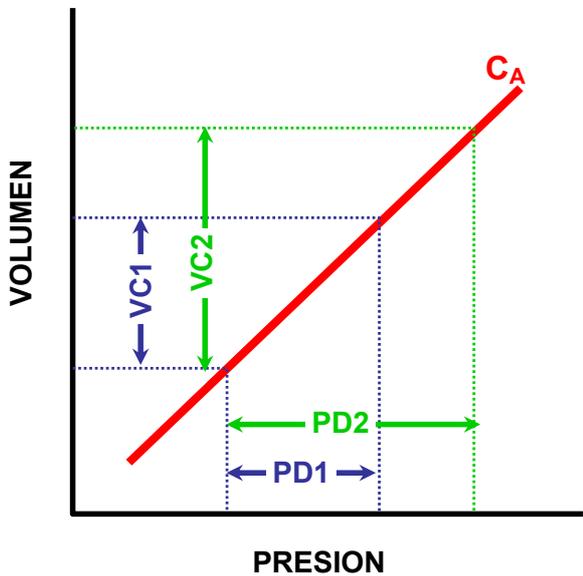
Las resistencias periféricas



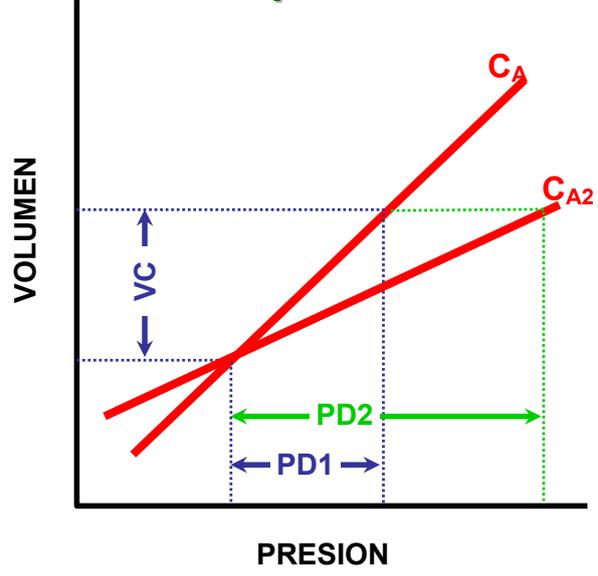
$$P_{pulso} = \frac{V_{contracc} - V_{fluye}}{C_a}$$

FACTORES QUE DETERMINAN LA P_{PULSO}

El Volumen de contracción

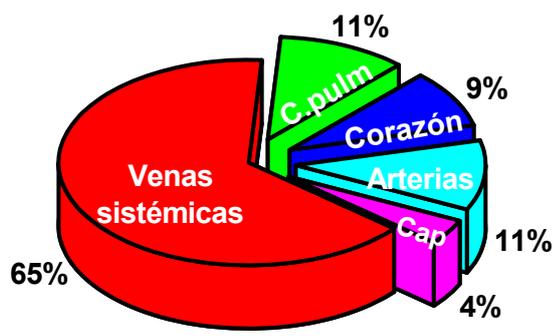


La complianza arterial



Los cambios en las R tienen poco efecto en la Ppulso, porque modifican por igual Ps y Pd

EL SISTEMA VENOSO



Características:

- Paredes delgadas, elásticas
- Reservorio ajustable de sangre (en función de Pv y del tono de la pared)
- Sistema de baja resistencia (necesita poco ΔP)
- Alta complianza

Valores normales de Presión venosa

PVC =
0-6 mmHg

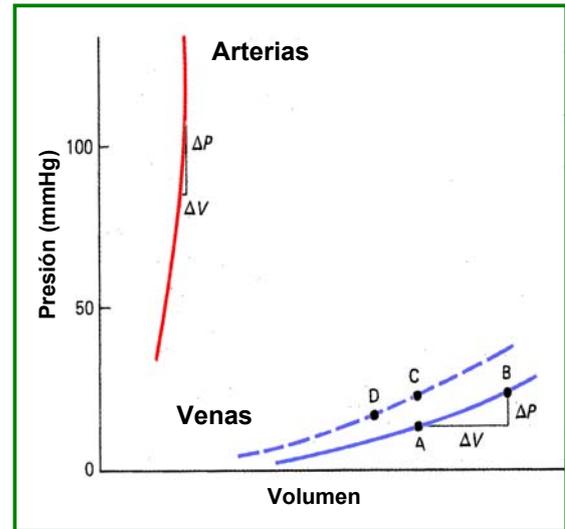
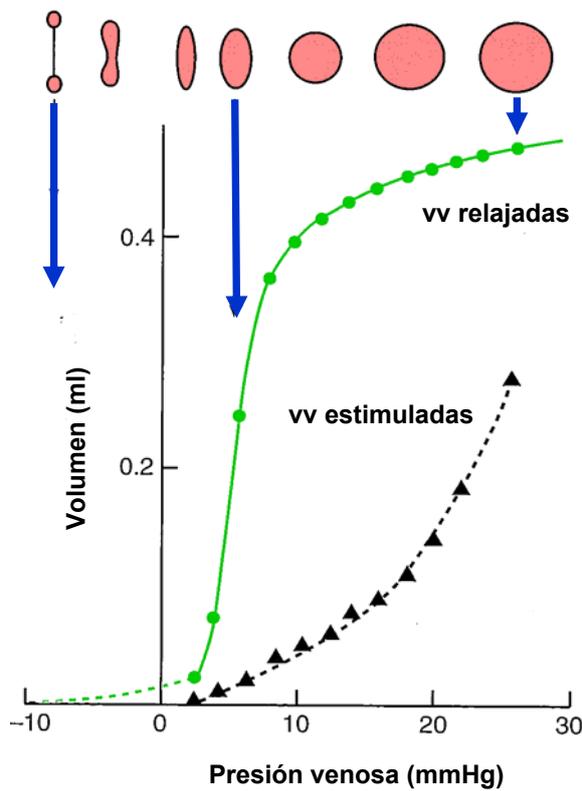
PV periférica =
12-20 mmHg
(medido al nivel del corazón)

Límite máximo 20-30 mmHg
Insuficiencia cardiaca
Transfusión masiva

Límite mínimo -5 mmHg
Hemorragia intensa
↑ fuerza de contracción

Aumenta por debajo del corazón y disminuye por encima debido a la gravedad

CURVA PRESIÓN VOLUMEN PARA EL SISTEMA VENOSO

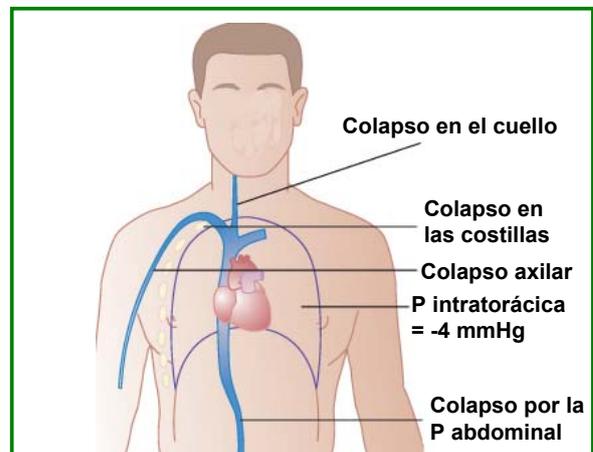
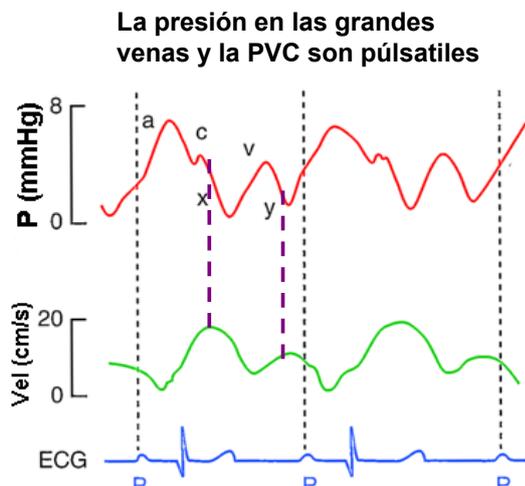
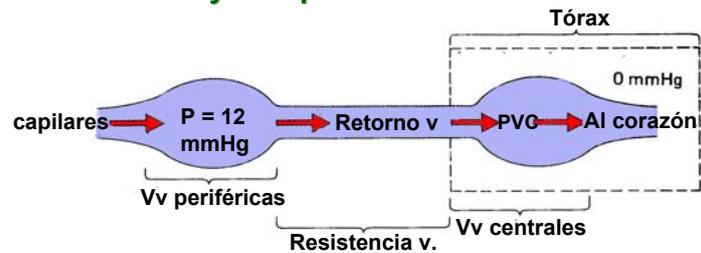


Sistema de alta capacidad
Complianza máxima para $P \sim 4$ mmHg

VARIACIONES DE LA PRESIÓN VENOSA CENTRAL

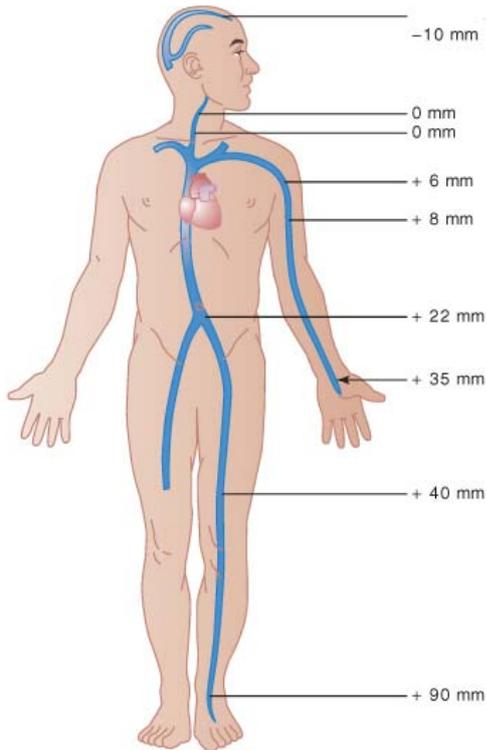
Depende del equilibrio entre el retorno venoso y la capacidad de bombeo del corazón

El flujo venoso se consigue por el ΔP desde la periferia a la AD, pero se propulsa por dos reducciones transitorias de la P por delante por el movimiento del corazón



La R venosa es casi despreciable, pero existen puntos de compresión que suponen un obstáculo al flujo

EFFECTO DE LA GRAVEDAD SOBRE LA PRESIÓN VENOSA

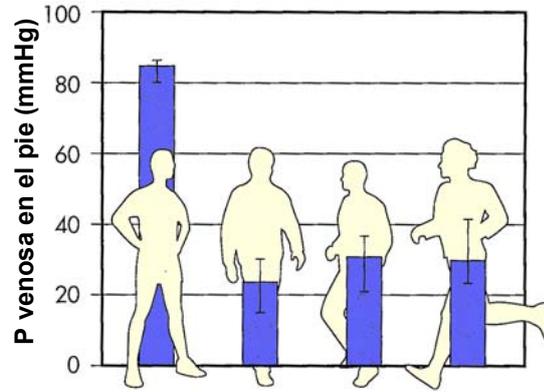


La gravedad determina un cambio de P particularmente importante en las venas por su gran distensibilidad

Errores comunes:

La posición ortostática hace que la sangre se remanse en las extremidades

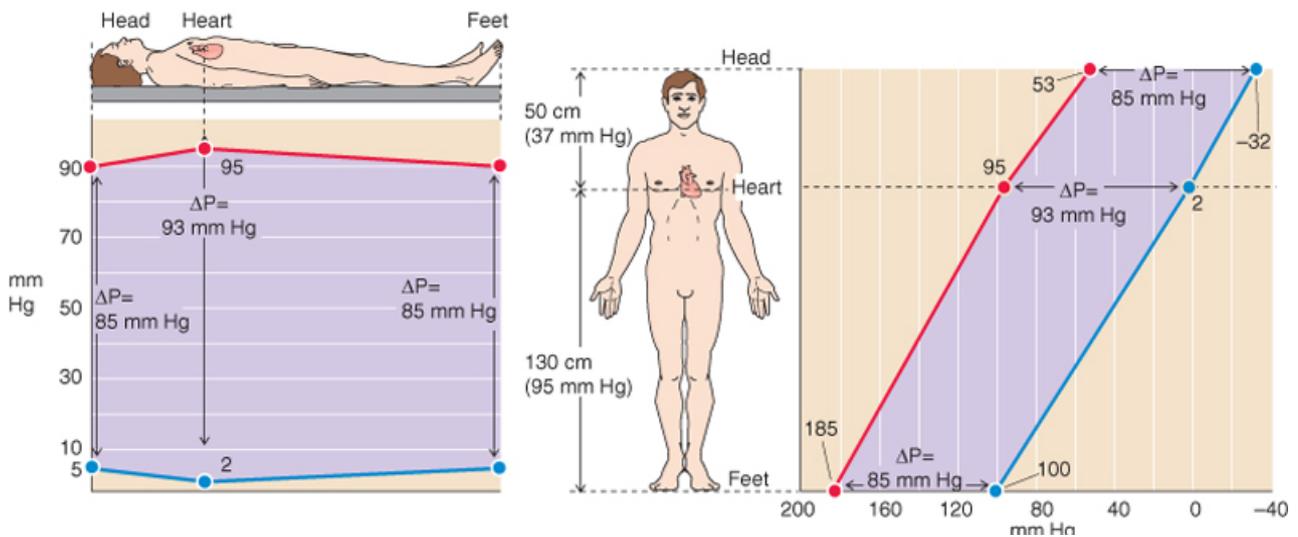
La posición ortostática disminuye el flujo venoso porque va contra corriente



Control del retorno venoso:

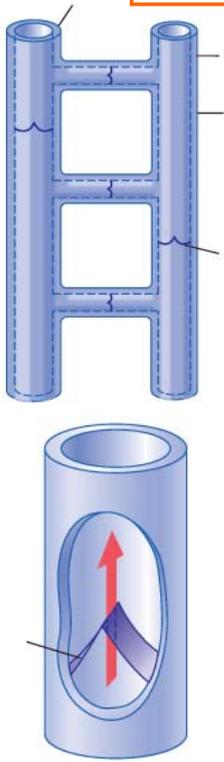
- Tono de las paredes musculares (el \uparrow SNS \rightarrow \uparrow Volumen arterial)
- Bombas accesorias
- Válvulas unidireccionales

EFFECTO DE LA GRAVEDAD SOBRE LA PRESIÓN VENOSA

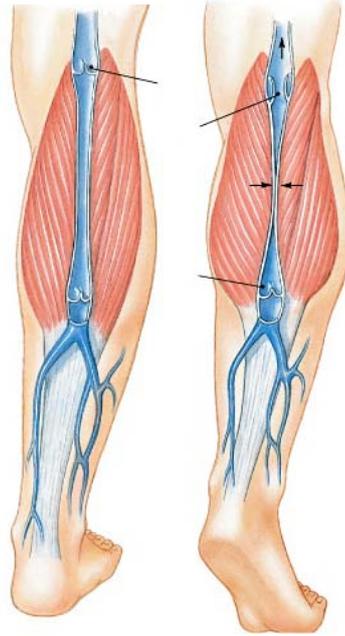


La gravedad determina una diferencia de presión hidrostática ($P = \rho gh$) cuando existe una diferencia en la altura

RETORNO VENOSO Y BOMBAS ACCESORIAS

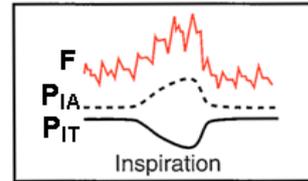
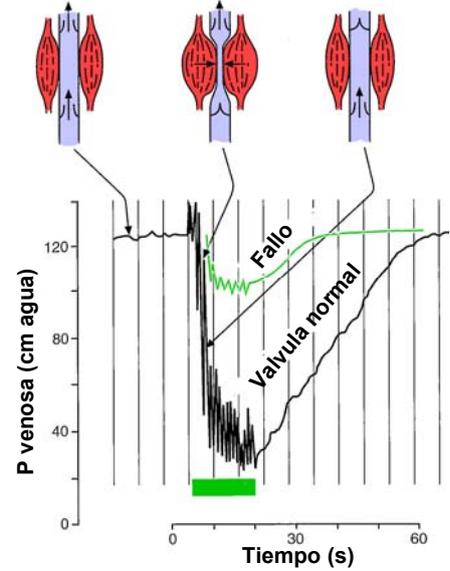


Sistema de válvulas



Bomba muscular

- Previene ↓PVC
- ↓Pv distal
- Previene edema (↓Pc)

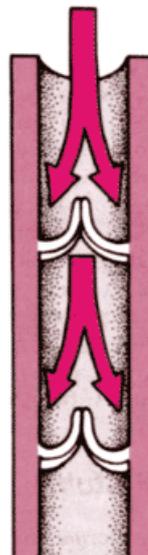


Bomba respiratoria

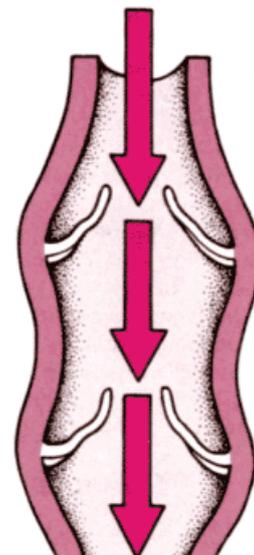
INSUFICIENCIA VALVULAR



Vena normal

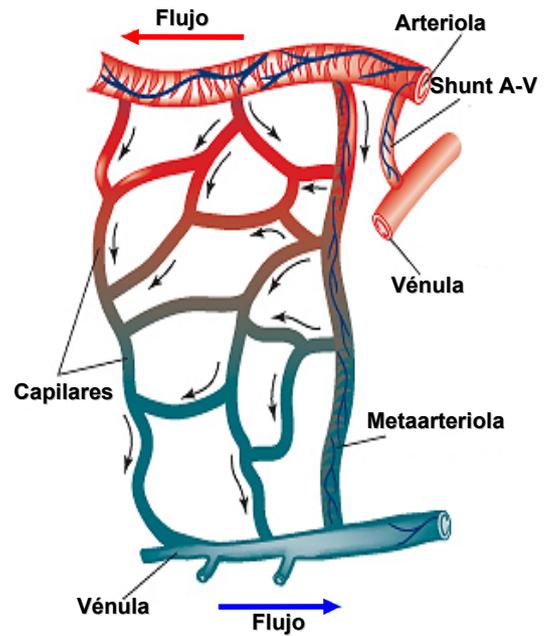
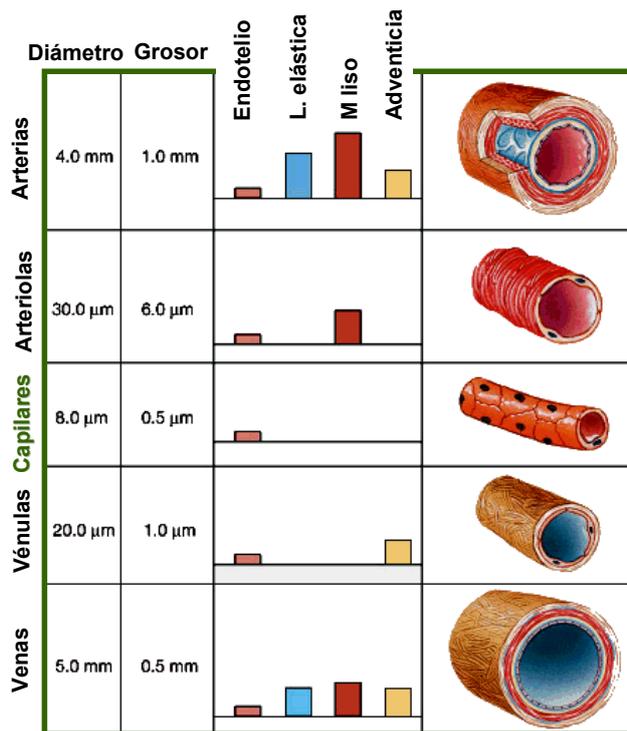


Vena varicosa



Determina un fallo en la bomba muscular, que conduce a un aumento de la Pv y de la Pc (edema)

LA MICROCIRCULACIÓN



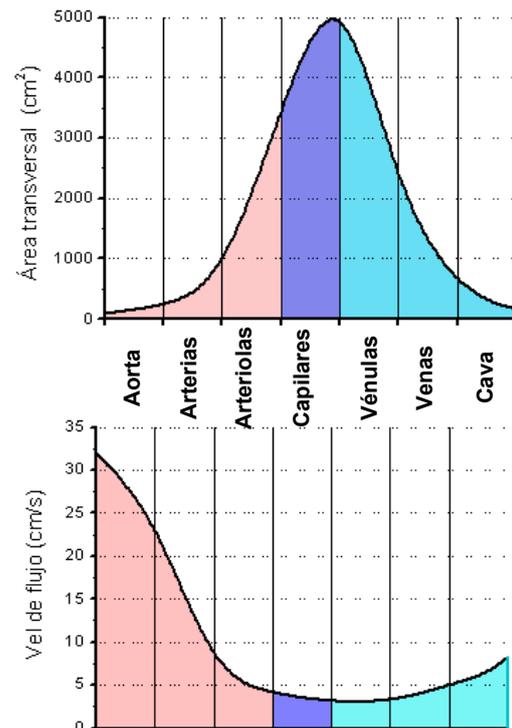
La densidad de capilares se adapta a la función del tejido

Determina el área total de intercambio

Determina la distancia intercapilar media

Características del flujo en la microcirculación

- Su velocidad es mínima por el aumento del área (aumenta el tiempo de intercambio)
- El flujo es regulable:
 - Estado de contracción de la arteriola
 - Tono vasomotor (determina el tiempo de tránsito)

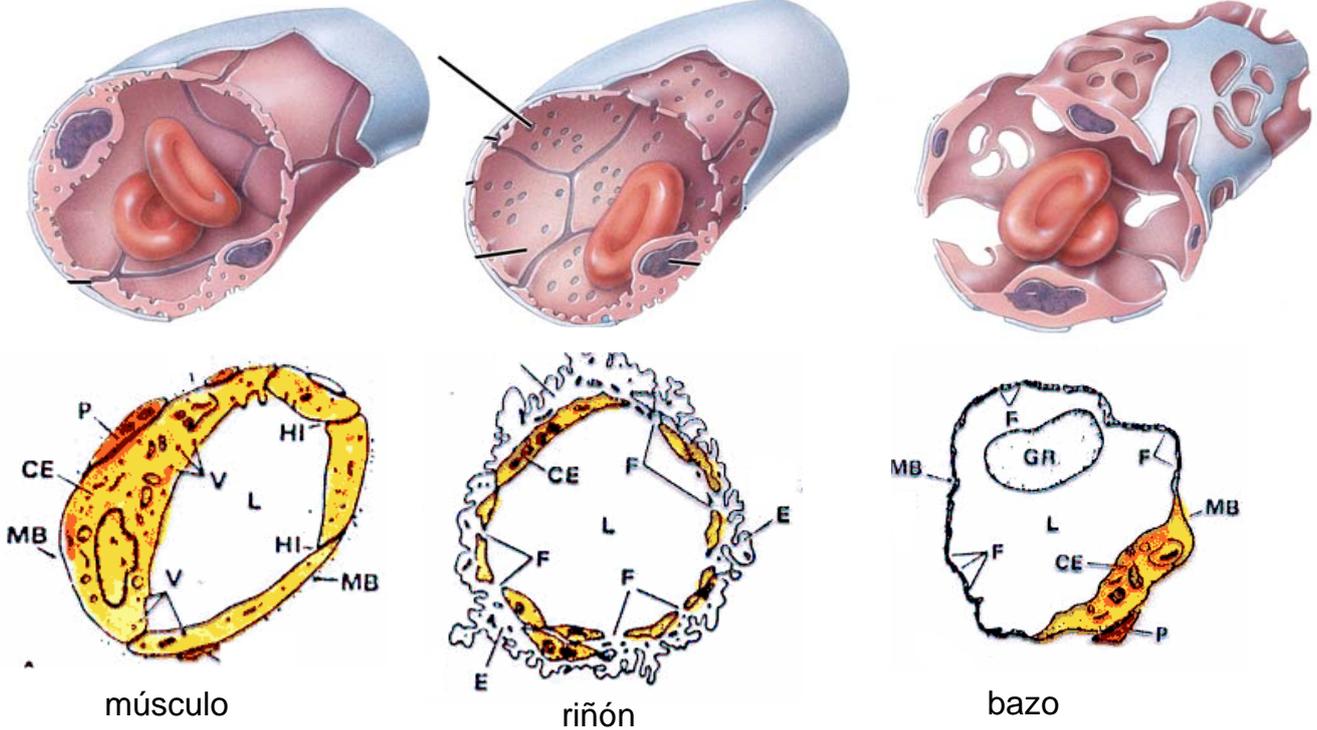


TIPOS DE CAPILARES

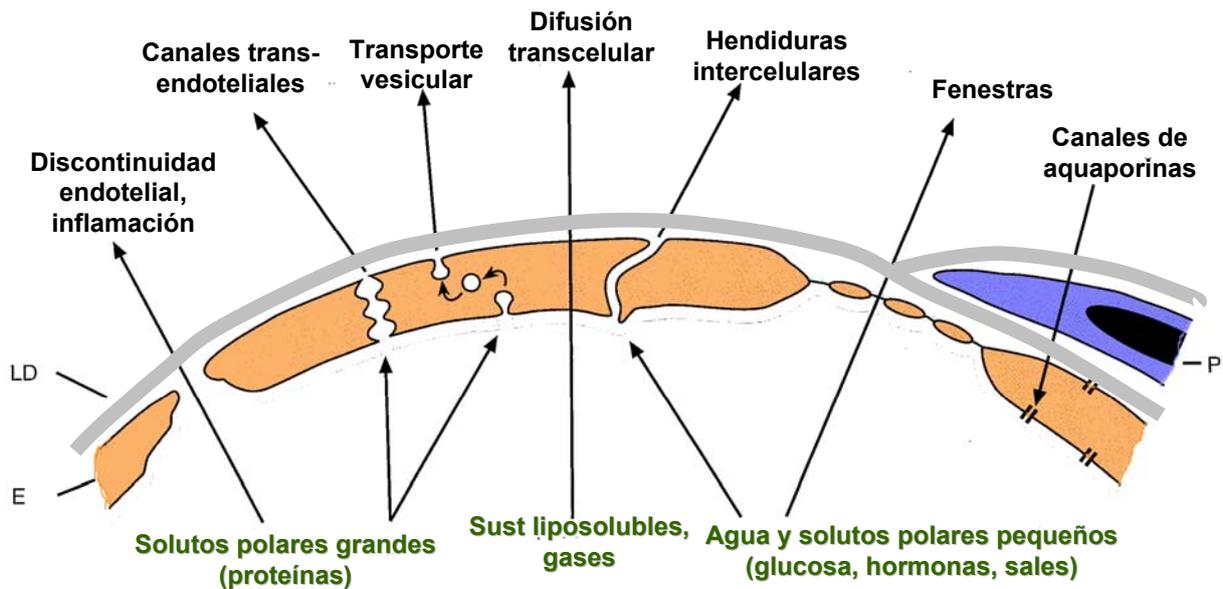
Capilares continuos

Capilares fenestrados

Capilares discontinuos



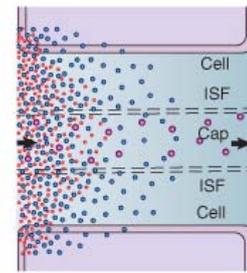
DIFUSIÓN TRANSCAPILAR DE SOLUTOS



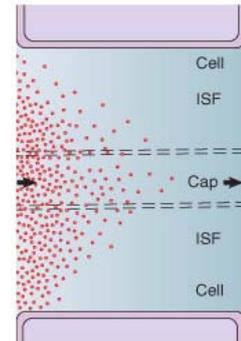
- Intercambio capilar {
- Difusión (Solutos)
 - Filtración (Agua)
 - Transporte vesicular (macromoléculas)

DIFUSIÓN TRANSCAPILAR DE SOLUTOS

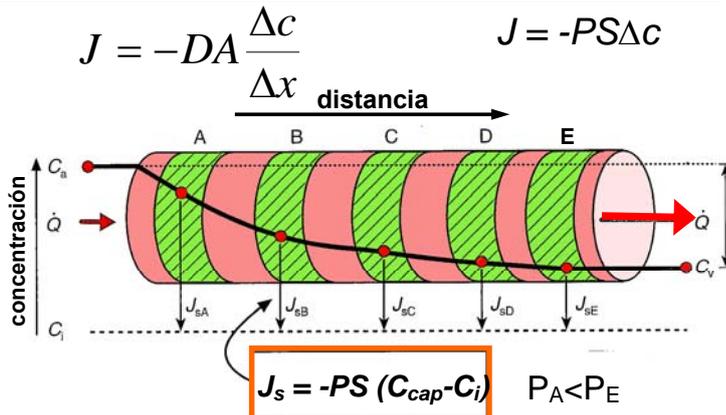
SUBSTANCIA	P. MOLECULAR	PERMEABILIDAD
Agua	18	1,00
ClNa	58,5	0,96
Glucosa	180	0,80
Sacarosa	384	0,60
Inulina	5.000	0,20
Mioglobina	17.600	0,03
Hemoglobina	68.000	0,01
Albúmina	69.000	0,0001



Transporte limitado por el flujo (moléculas pequeñas con alta PS)



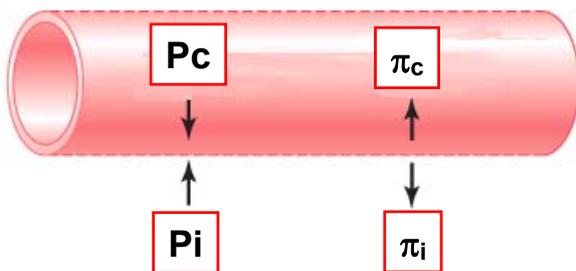
Transporte limitado por difusión (moléculas grandes o grandes distancias)



El motor para el flujo de solutos es el gradiente de concentración

FLUJO TRANSCAPILAR DE FLUIDOS

El motor para el flujo de fluidos es el gradiente de presión

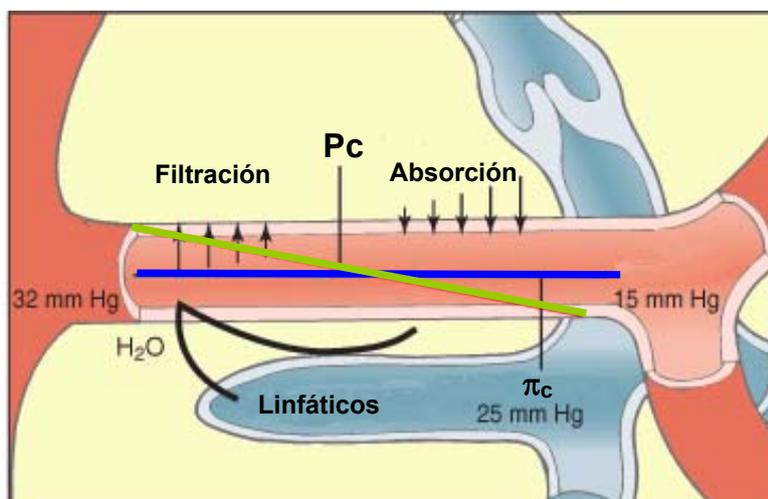


Equilibrio de Starling

$$Q_f = K[(P_c - P_i) - (\pi_c - \pi_i)]$$

$Q_f > 0 \Rightarrow$ Filtración

$Q_f < 0 \Rightarrow$ Absorción



En condiciones fisiológicas, el principal factor que determina cambios en el transporte de fluidos es la P_c , porque el resto son constantes

La autorregulación del flujo capilar (por la contracción de las arteriolas) hace que P_c sea relativamente independiente de P_a

La Pc depende de la distribución de las R

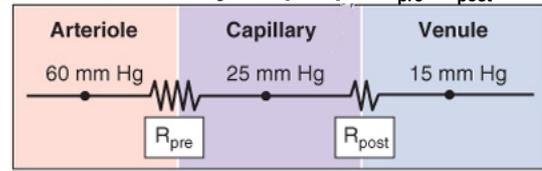
$$P_c = \frac{(R_{post}/R_{pre}) \cdot P_a + P_v}{1 + (R_{post}/R_{pre})}$$

$$Q = \frac{\Delta P}{R} \rightarrow \begin{cases} Q \cdot R_{pre} = P_a - P_c \\ Q \cdot R_{post} = P_c - P_v \end{cases}$$

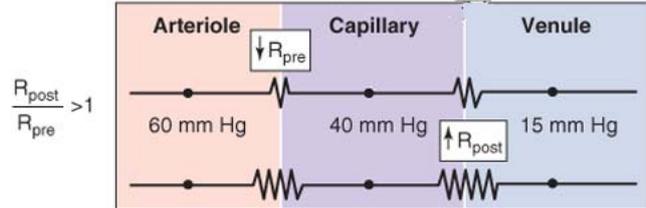
$$(P_a - P_c) / R_{pre} = (P_c - P_v) / R_{post}$$

- En condiciones normales $R_{post} / R_{pre} = 0.3$
- La P_c no es necesariamente la media entre P_a y P_v (sólo lo sería si $R_{pre} = R_{post}$)
- Mientras $R_{pre} + R_{post}$ sea constante, P_a y P_v serán también constantes
- Dependiendo del valor de R_{post} / R_{pre} , P_c será más sensible a cambios en P_a o en P_v

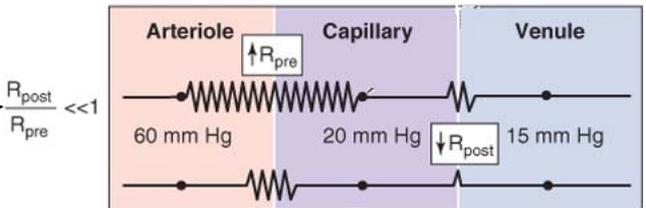
A. Normal: P_c es menor que la media aritmética de P_a y P_v , porque $R_{pre} > R_{post}$



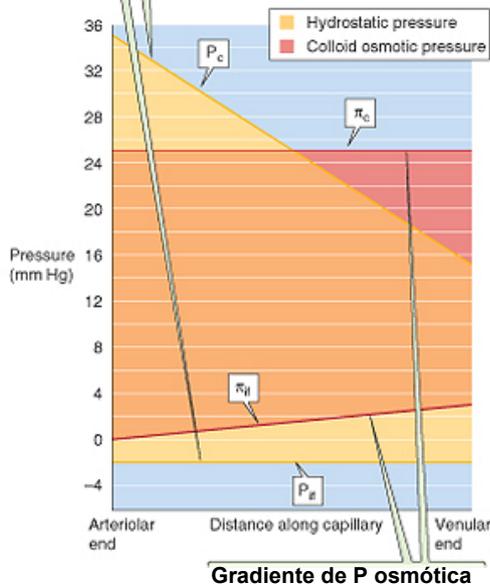
B. Dilatación arteriolar o constricción venular: P_c aumenta acercándose a P_a



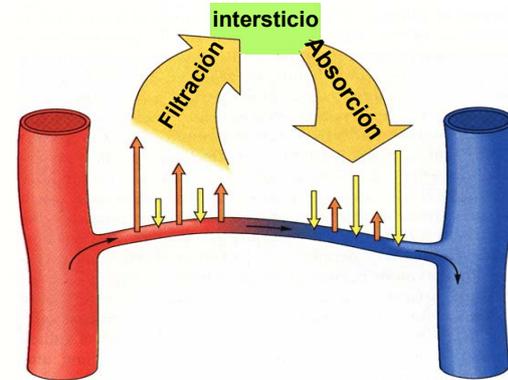
C. Constricción arteriolar o dilatación venular: P_c disminuye acercándose a P_v



Gradiente de P hidrostática



Gradiente de P osmótica

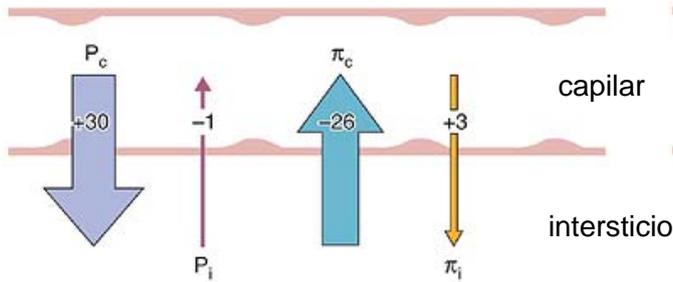


$$Q_f = K[(P_c - P_i) - (\pi_c - \pi_i)]$$

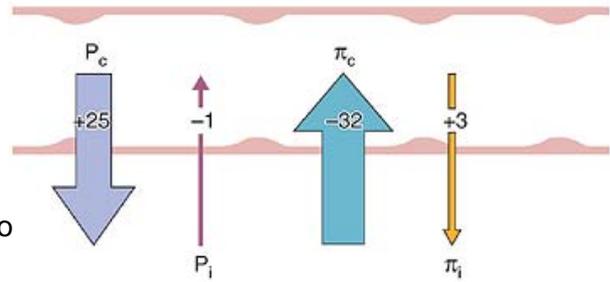
P_c	30	P_c	10
P_i	-2	P_i	-2
π_c	25	π_c	25
π_i	4	π_i	4
+11		-9	
Filtración		Reabsorción	

$$Q_f = K[(P_c - P_i) - (\pi_c - \pi_i)]$$

A. FILTRACIÓN NETA
(P = +6 mmHg)



B. ABSORCIÓN NETA
(P = -5 mmHg)



PAPEL DE LOS vv. LINFÁTICOS

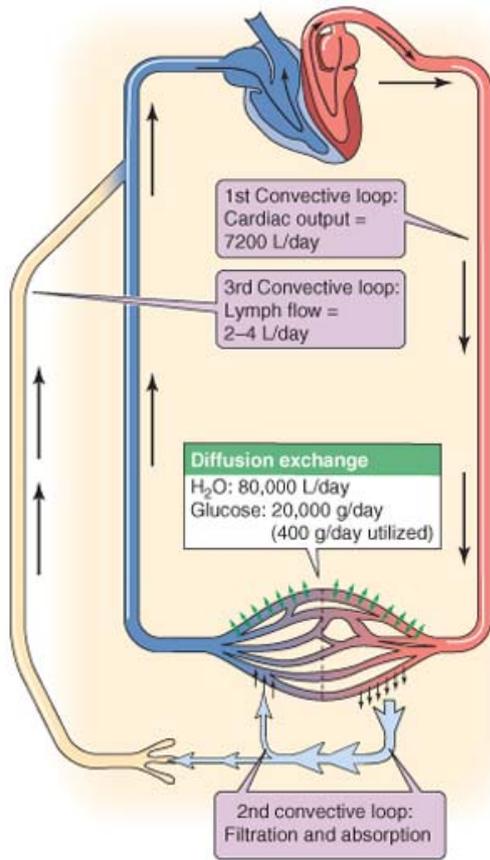
Q = 6000 ml/min

FILTRACION:
0.5-1 % Q =
15-30 ml/min =
0.9-1.8 l/h

**REABSORCION: 90%
FILTRACION =**
13.5-27 ml/min =
0.8-1.6 l/h

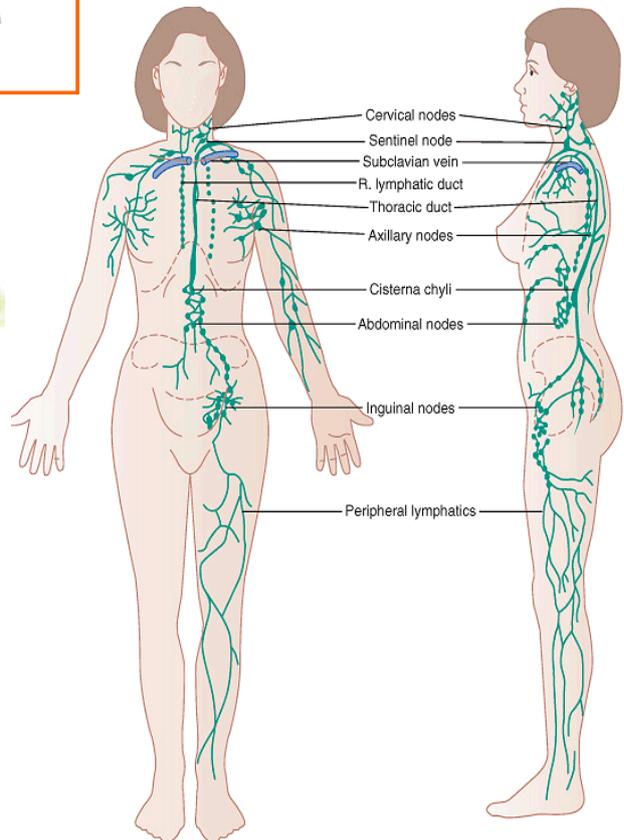
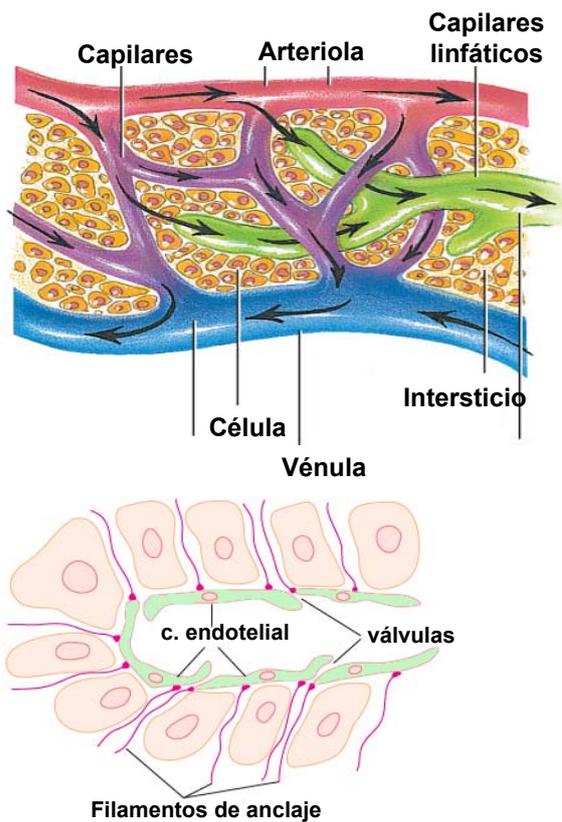
LINFATICOS:
10% FILTRACION = 1.5-3 ml/min
0,1-0,2 l/h = 2,4-4,8 l/día
+ Todas las proteínas!!!

PAPEL DE LOS vv. LINFÁTICOS



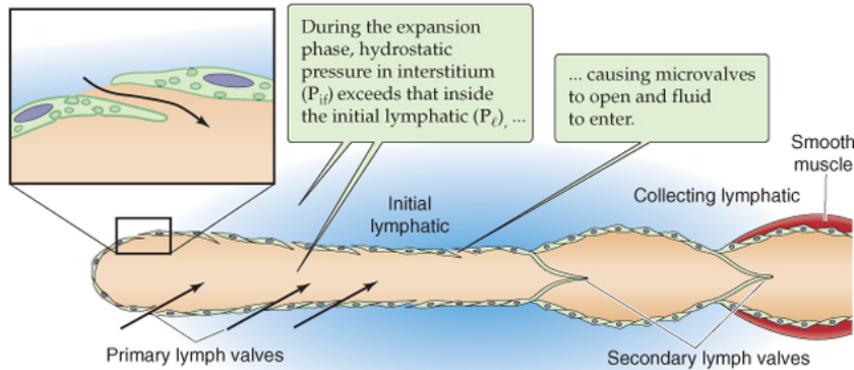
	Lymph flow (3rd loop)	Entry into capillary (2nd loop)	Exit from capillary (2nd loop)
FLUID	2-4 L/day	16-18 L/day	20 L/day
PROTEIN	95-195 g/day	5 g/day	100-200 g/day
GLUCOSE			20 g/day

ANATOMÍA DEL SISTEMA LINFÁTICO



CIRCULACIÓN LINFÁTICA

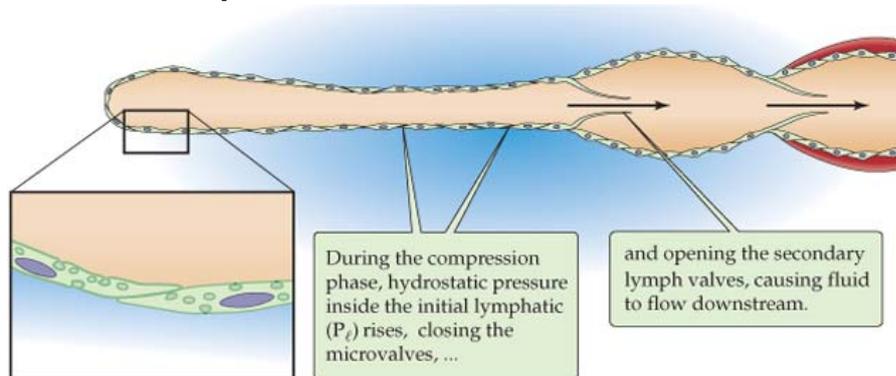
Fase de expansión



FLUJO DE LA LINFA:

- Bomba linfática
- Bomba muscular
- Válvulas

Fase de compresión

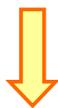


FACTORES QUE MODIFICAN EL FLUJO LINFÁTICO

Aumento del flujo linfático:

- **Presión capilar elevada**
transfusión masiva, insuficiencia cardiaca, trombosis venosa
- **Presión oncótica del plasma disminuida**
malnutrición, malbsorción, nefrosis, fallo hepático
- **Aumento de la permeabilidad capilar**
inflamación

Si se supera un margen de seguridad



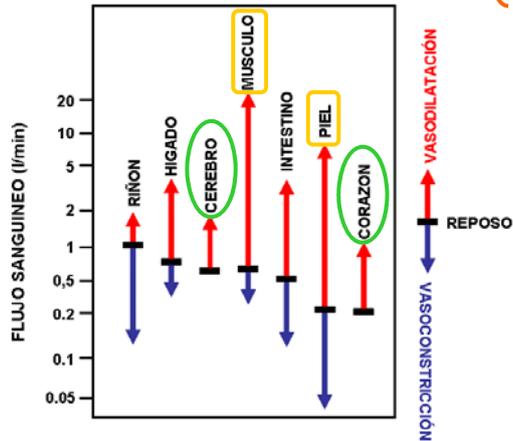
EDEMA



CIRCULACIONES ESPECIALES

CIRCULACIÓN CORONARIA
CIRCULACIÓN CUTÁNEA
CIRCULACIÓN MUSCULAR
CIRCULACIÓN ESPLÁCNICA
CIRCULACIÓN CEREBRAL

Funciones especiales
Adaptaciones estructurales
Adaptaciones funcionales
Problemas especiales



La importancia relativa de los mecanismos de regulación varía en función del tejido

CIRCULACIONES ESPECIALES

ORGANO	Qs (ml/min)	Qs/100g (ml/100g/min)	QO ₂ ml/100 g/min	DIF A-V ml/l
VISCERAS	1400	35	1,4	40
MUSC. ESQUEL.	1200	4	0,2	60
RIÑÓN	1100	350	6	20
CEREBRO	750	55	4	60
PIEL	350	5	0,1	10
CORAZON	300	85	9	120
OTROS	900	35	0,8	20
TOTAL	6000	8,5	0,4	45

ANATOMÍA DE LA CIRCULACIÓN CORONARIA

Cara anterior

Cara posterior

Funciones especiales

- Mantener un aporte basal de O₂ alto
- Aumentarlo en función del trabajo cardíaco

	CORAZÓN	Media Org.
Flujo (ml/100/min)	85	9
Cons. O ₂ (ml/100g/min)	9	0,4
O ₂ Sangre venosa (ml/l)	60	150

VENTRÍCULO IZQUIERDO

Adaptaciones estructurales

- La densidad de capilares es muy alta

M. esquelético

Díámetro de la fibra 50 μm
Capilares por mm² 400

M. cardíaco

Díámetro de la fibra 18 μm
Capilares por mm² 3000

- El entrenamiento induce angiogénesis

Adaptaciones funcionales

- ↑ flujo basal y ↑ extracción de O₂

extracción de O₂

25%
50%
75%

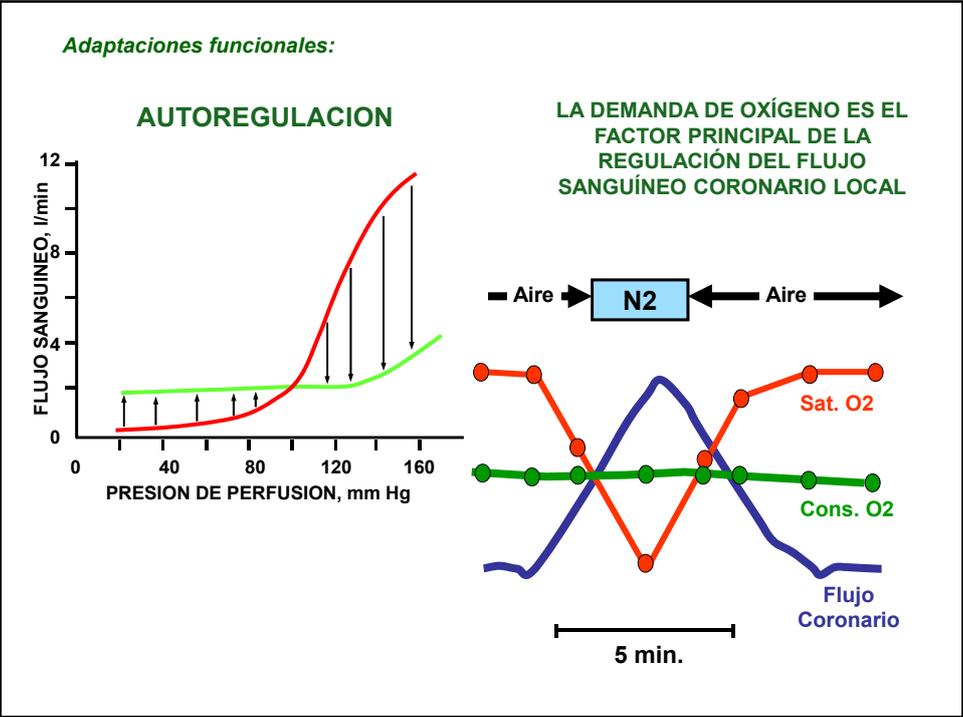
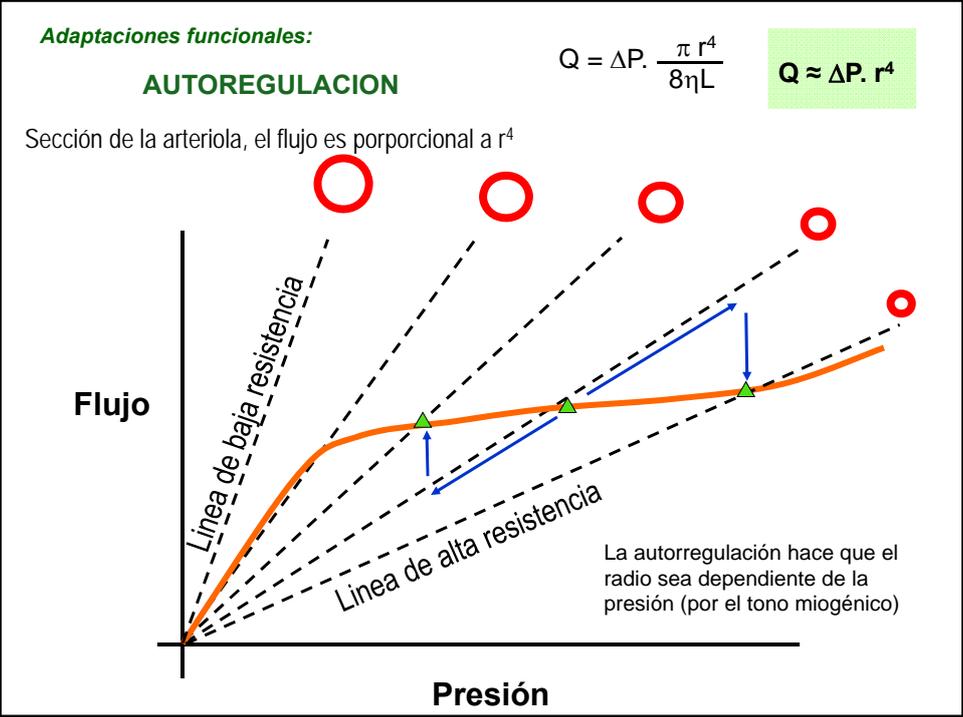
Total Corazón reposo Corazón ejercicio

Regulación vascular

• La regulación vascular se consigue por hiperemia metabólica

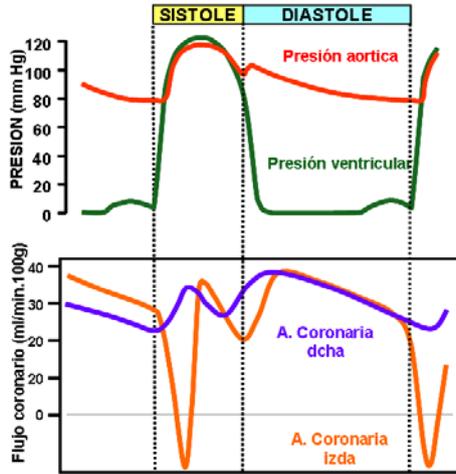
Consumo de O₂ (ml/min/100g)

- La actividad simpática basal es alta (receptores α1-adrenérgicos)
- La adrenalina causa vasodilatación (receptores β2-adrenérgicos)

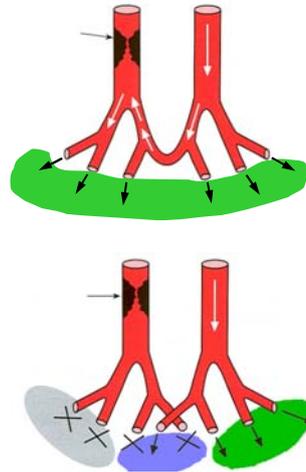


Problemas especiales

•La sístole interfiere con el flujo coronario



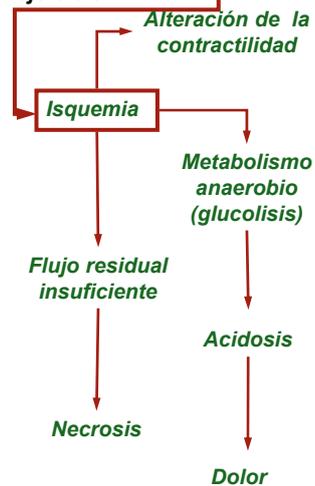
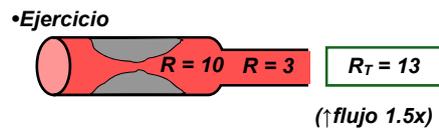
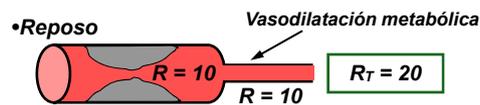
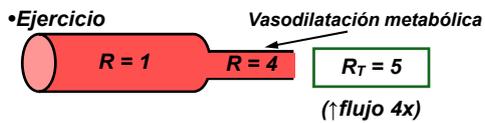
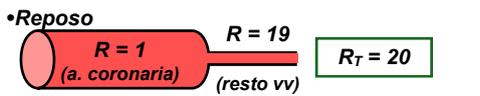
•Las aa coronarias son funcionalmente aa terminales



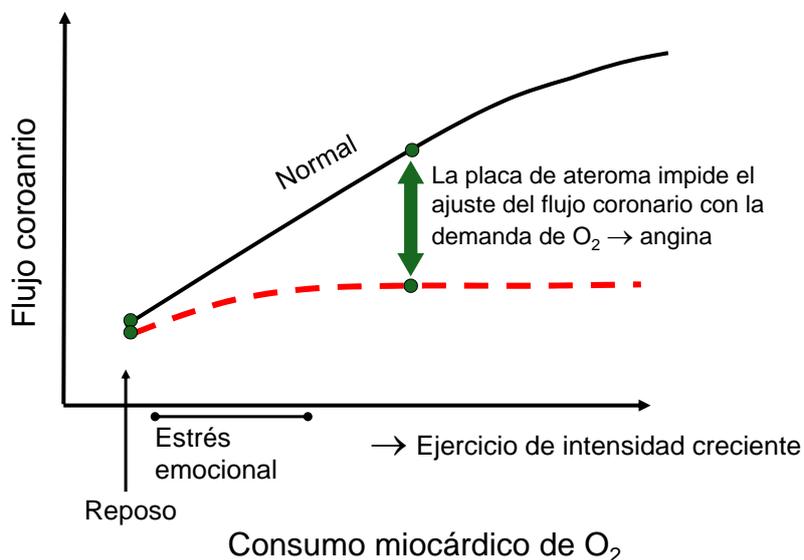
•El estrés y el frío pueden desencadenar angina

•La obstrucción súbita de una aa ateromatosa causa infarto de miocardio

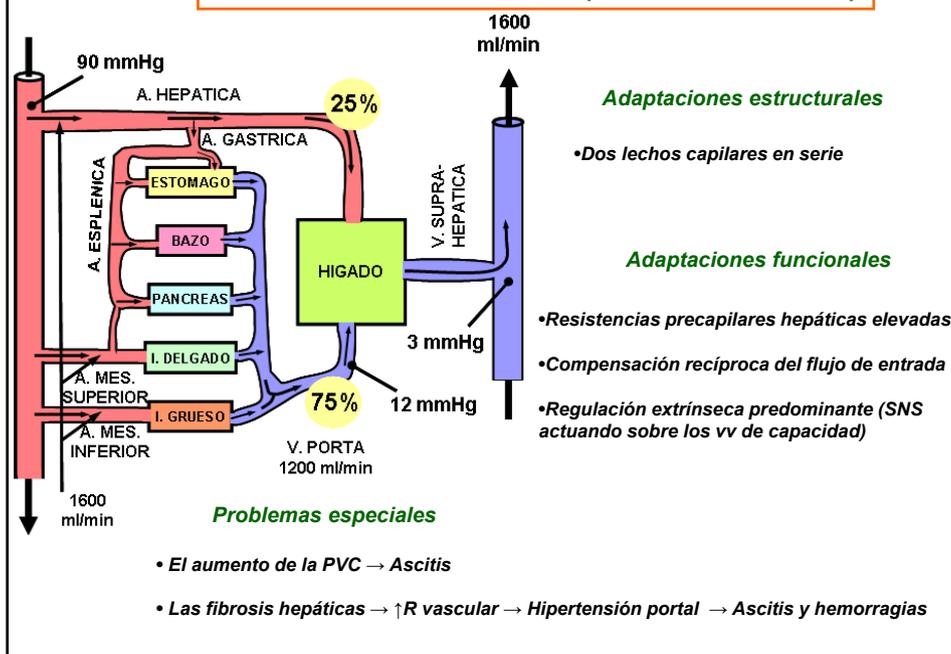
•La estenosis coronaria restringe la hiperemia durante el ejercicio



La estenosis coronaria restringe la hiperemia durante el ejercicio



CIRCULACIÓN ESPLÁCNICA (ENTERO-HEPÁTICA)



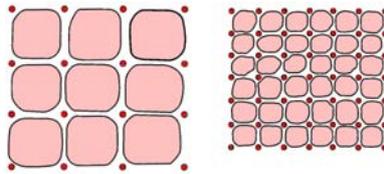
CIRCULACIÓN EN EL MÚSCULO ESQUELÉTICO

Funciones especiales

- **Ajustar las necesidades metabólicas durante el ejercicio** (aporte de O₂ y glucosa y retirada de productos de desecho y calor)
- **Regulación de la Pa:** El m. esquelético representa un 40% del peso del cuerpo, y los cambios en la R afectan a la Pa

Adaptaciones estructurales

- **La densidad de capilares es muy alta**



Diámetro de la fibra 50 μm 18 μm
 Capilares por mm² 400 3000

- **El entrenamiento induce angiogénesis** (especialmente en los m lentos)

	m. reposo	m. ejercicio	CORAZON	Media Org.
Flujo (ml/100/min)	4 (15)*	250 (400)	85	9
Cons. O ₂ (ml/100g/min)	0.2	15	9	0,4
O ₂ Sangre venosa (ml/l)	140	20	60	150



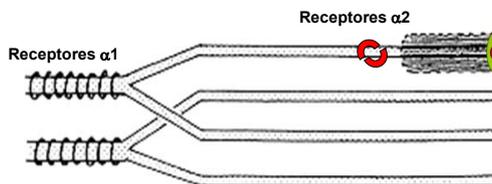
Vasoconstricción simpática

Vasodilatación metabólica

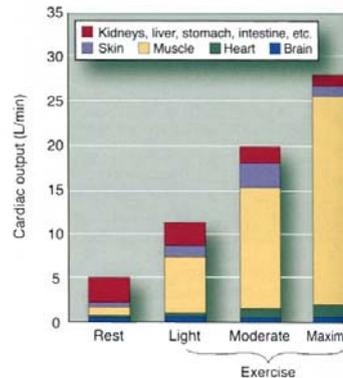
Adaptaciones funcionales

- **Elevado tono basal** (para controlar la Pa), que es de origen no neural (la denervación simpática duplica el flujo, el ejercicio lo aumenta x50-100)
- **Las R vasculares contribuyen al control de la Pa** (p.e., aumentando en hemorragias)

- **El tono simpático se mantiene durante el ejercicio sobre los vv proximales (receptores α1) pero no sobre los distales (receptores α2, simpaticolisis funcional).** Se consigue el control de la Pa y la vasodilatación.

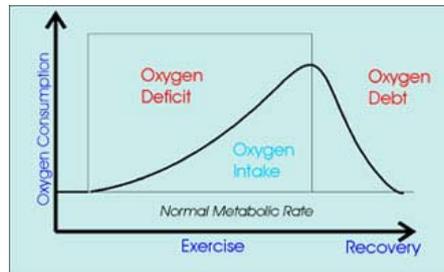


- **La hiperemia durante el ejercicio se debe a la caída de las R por vasodilatación metabólica** (sin cambios en la Pa)



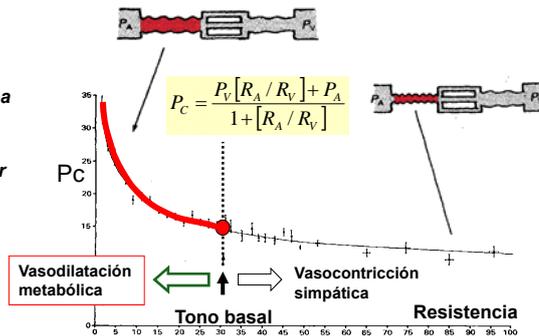
Adaptaciones funcionales

- Las variaciones en la extracción de O₂ determinan la hiperemia tras el ejercicio ("el pago de la deuda de O₂")

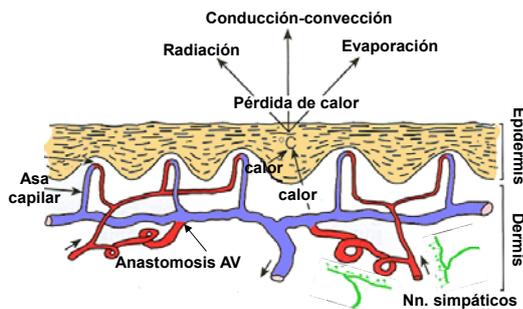


Problemas especiales

- Interferencia mecánica con la bomba muscular
- Aumento de la permeabilidad capilar durante el ejercicio intenso
- Claudicación intermitente en caso de obstrucción



CIRCULACIÓN CUTÁNEA



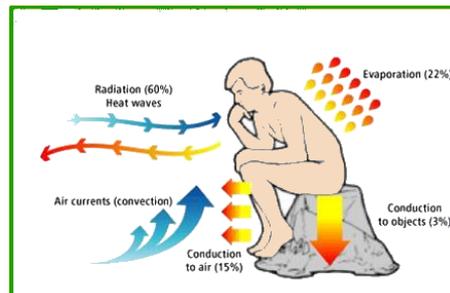
Funciones especiales

- Regulación de la temperatura
- Protección frente a traumas

Temperatura (cut/amb)

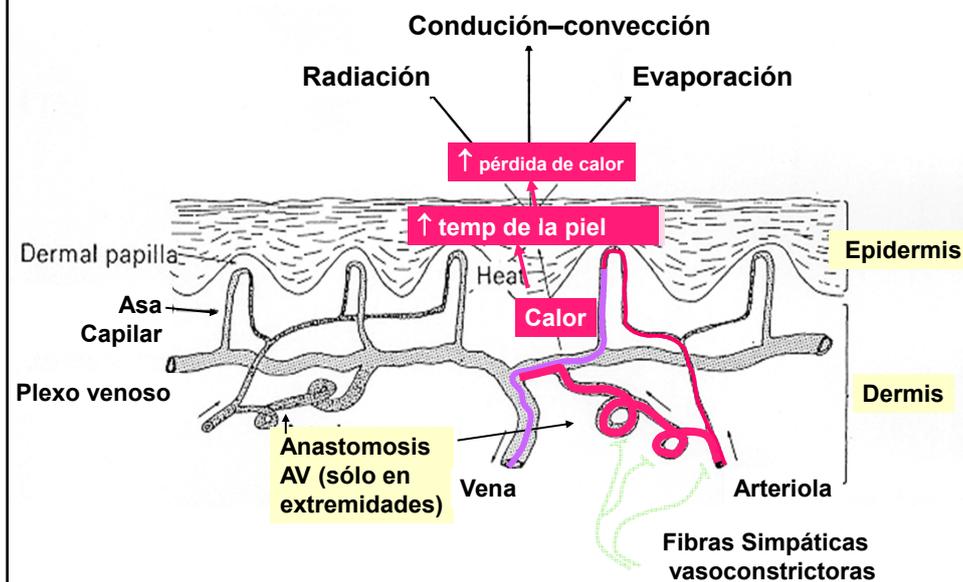


Flujo cutáneo



Adaptaciones estructurales:

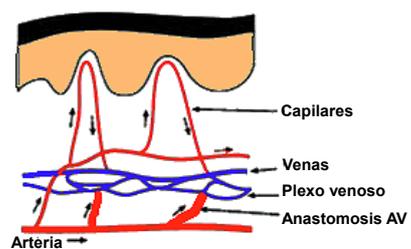
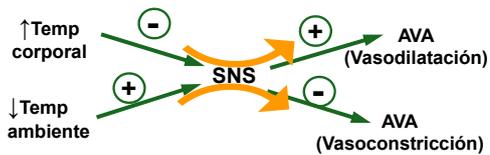
•Anastomosis A-V en zonas acras



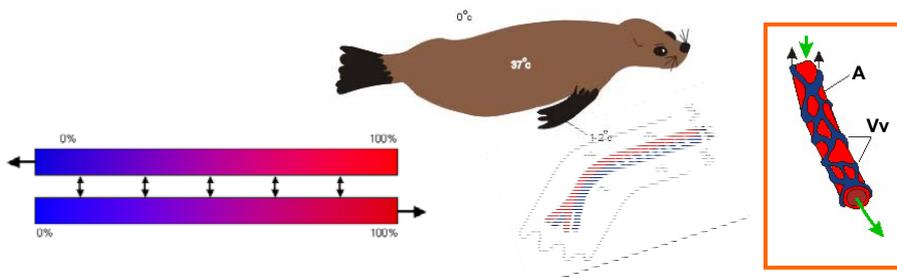
Adaptaciones estructurales

•Anastomosis A-V en zonas acras

↑Tono simpático basal

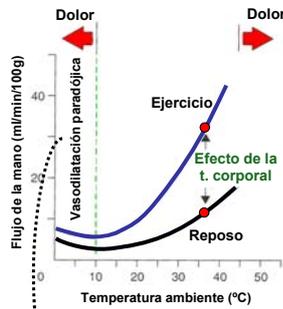


•Flujos de contracorriente

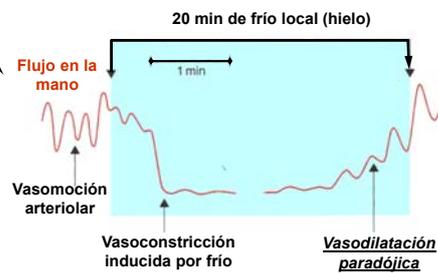
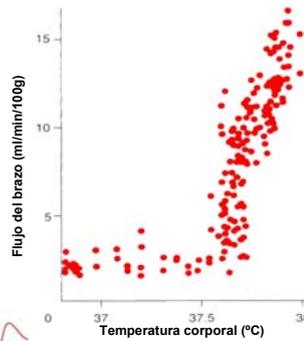


Adaptaciones funcionales

•La T° ambiente afecta al flujo cutáneo

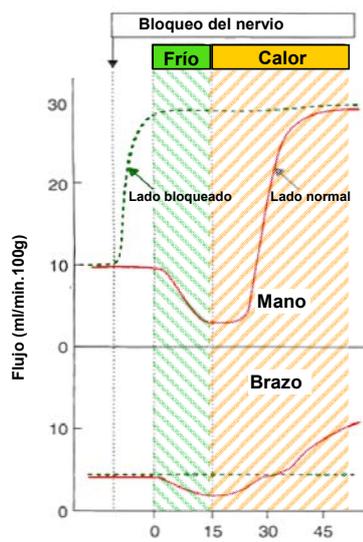


•La T° corporal afecta al flujo cutáneo



Adaptaciones funcionales

•La T° corporal afecta al flujo cutáneo



•Los vv cutáneos participan en la regulación de la P_a y la PVC

La hipovolemia \rightarrow vasoconstricción
La ortostasis \rightarrow respuesta veno-arterial

Problemas especiales

•Ulceras de decúbito
Se previenen por la R de la piel a la hipoxia y por la estimulación de los nociceptores

•Problemas por el calor
Hipotensión postural, edemas, desvanecimiento

•Problemas por el frío
Enfermedad de Raynaud

Diferencias en el control vascular cutáneo entre regiones acras y no acras

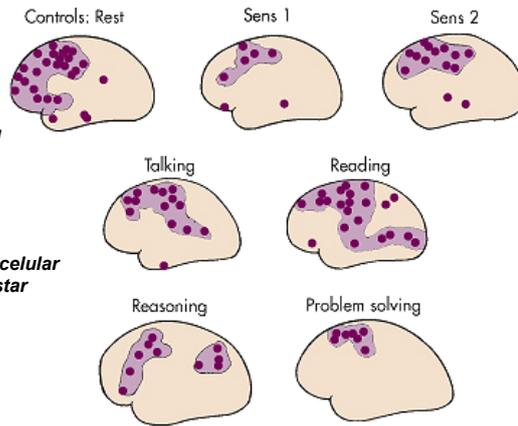
CIRCULACIÓN CEREBRAL

Funciones especiales

• El aporte de O_2 se ha de mantener a cualquier precio

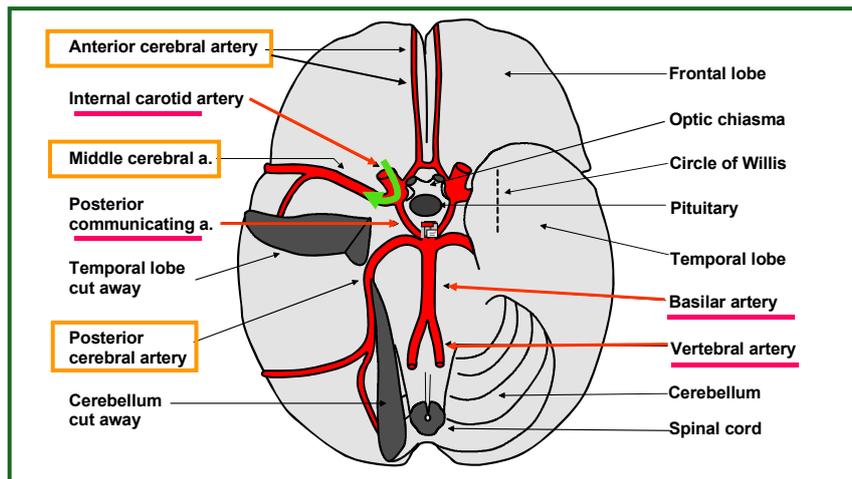
• La perfusión cerebral ha de adaptarse a la actividad neuronal

• La composición del medio extracelular rodeando a las neuronas ha de estar estrechamente regulada



Adaptaciones estructurales

• El polígono de Willis ayuda a proteger el aporte de sangre

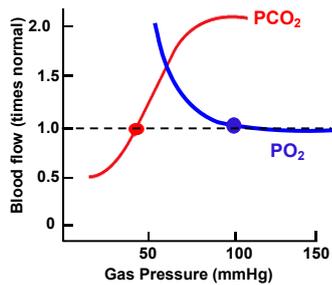


• Las uniones estrechas endoteliales forman la barrera hemato-encefálica

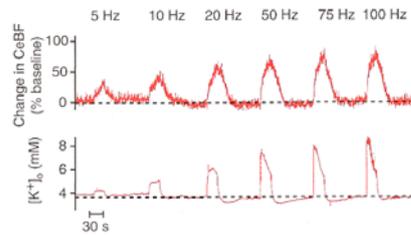
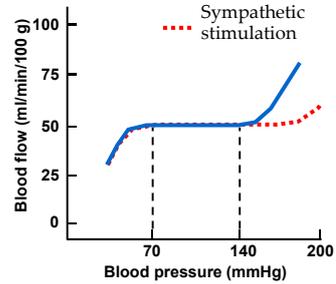
• La elevada densidad de capilares optimiza el transporte de O_2

Adaptaciones funcionales : Autorregulación e hiperemia funcional

- Elevado flujo basal (50 ml/min.100gr) debido a la baja R de las arteriolas cerebrales.
- El cerebro controla la circulación mediante el reflejo barorreceptor para garantizar su propia presión de perfusión, pero él está excluido del reflejo.
- La autorregulación del flujo mantiene la P de perfusión en situaciones de hipotensión
- Los vv cerebrales se dilatan en respuesta a la hipercapnia y a hipoxia local (no sistémica)

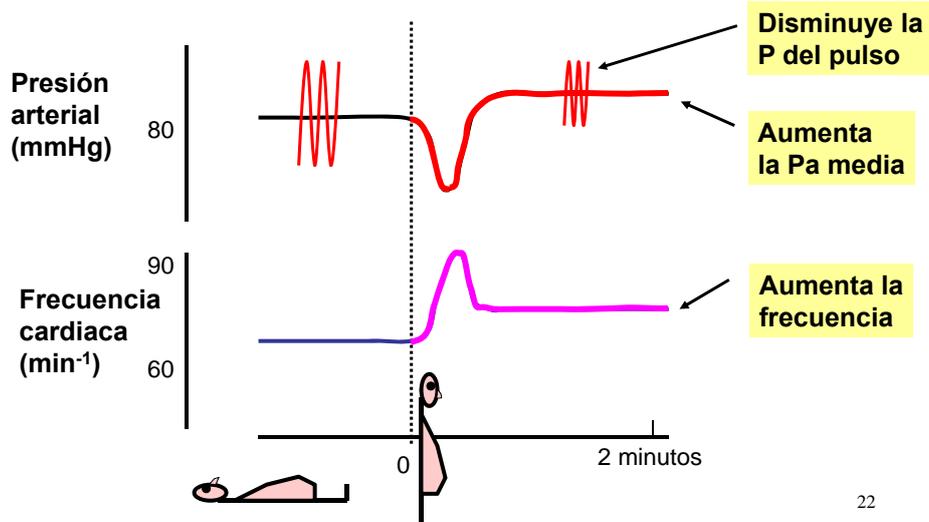


- La actividad neuronal produce hiperemia local (por aumento de K⁺ extracelular, liberación de adenosina y acoplamiento neurovascular de los astrocitos)



Problemas especiales

- La rotura de la BHE → edema cerebral
- Los accidentes cerebrovasculares (ACV) consecuencia de trombosis por placas de ateroma (80%) o de vasoespasmo por hemorragias (20%)
- Síncope ortostático si el reflejo barorreceptor no funciona correctamente



Problemas especiales

•Las lesiones que ocupan espacio → ↑P intracraneal → reflejo de Cushing (HTA y bradicardia)

