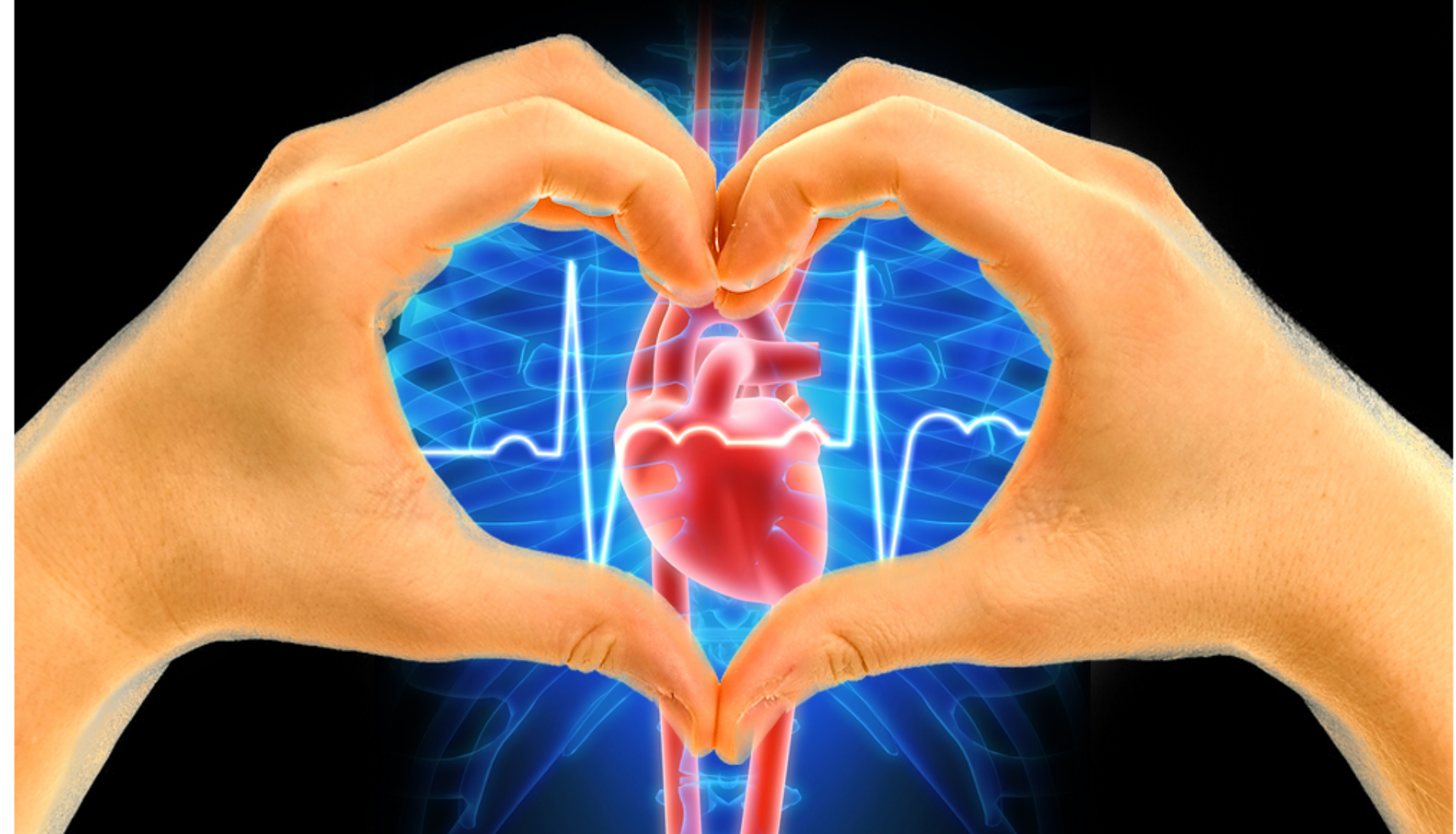


# INGENIERÍA CARDIOVASCULAR







*Fundación Favaloro circa 1988 (Buenos Aires)*



# INGENIERÍA CARDIOVASCULAR

*La Ingeniería Cardiovascular integra elementos de biología, ingeniería eléctrica, ingeniería mecánica, matemática y física con el fin de describir y comprender al sistema cardiovascular*



Cursos grado:

- Fisiología cuantitativa cardiovascular*
- Modelos y simulación*

Curso Posgrado:

- Ingeniería cardiovascular del laboratorio a la clínica*
- Ondas y circuitos en el SCV*





# INGENIERÍA CARDIOVASCULAR

Su objetivo es desarrollar, comprobar y validar una interpretación predictiva y cuantitativa del sistema cardiovascular en un adecuado nivel de detalle, y aplicar conceptos resultantes hacia la solución de diversas patologías.

La hemodinámica arterial abarca diversos dominios, y su campo de investigación podría resumirse en la descripción y comprensión de los fenómenos fisiológicos y fisiopatológicos que se relacionan a la onda de presión y al flujo de sangre en las arterias. Modelos de conocimiento deben ser aplicados, para lograr un mejor abordaje clínico que permita evaluar los efectos del envejecimiento y eventos patológicos como la hipertensión, la hipercolesterolemia y la aterosclerosis





**Visión holística y cuantitativa:** La dinámica del sistema cardiovascular caracteriza al corazón y al sistema vascular como un todo, y comprende la física del sistema circulatorio incluyendo el continente (las paredes arteriales) y el contenido(sangre), así como la interrelación entre ambos

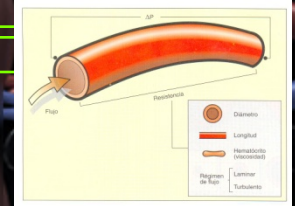
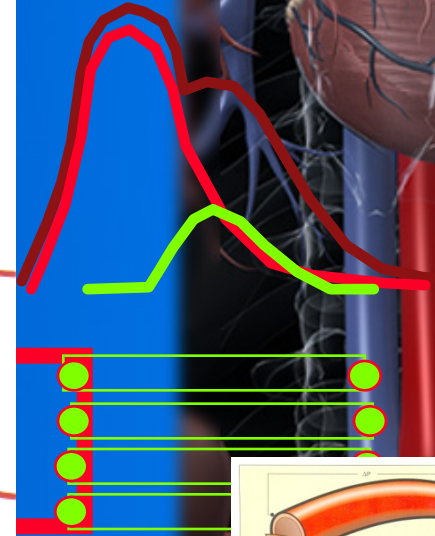
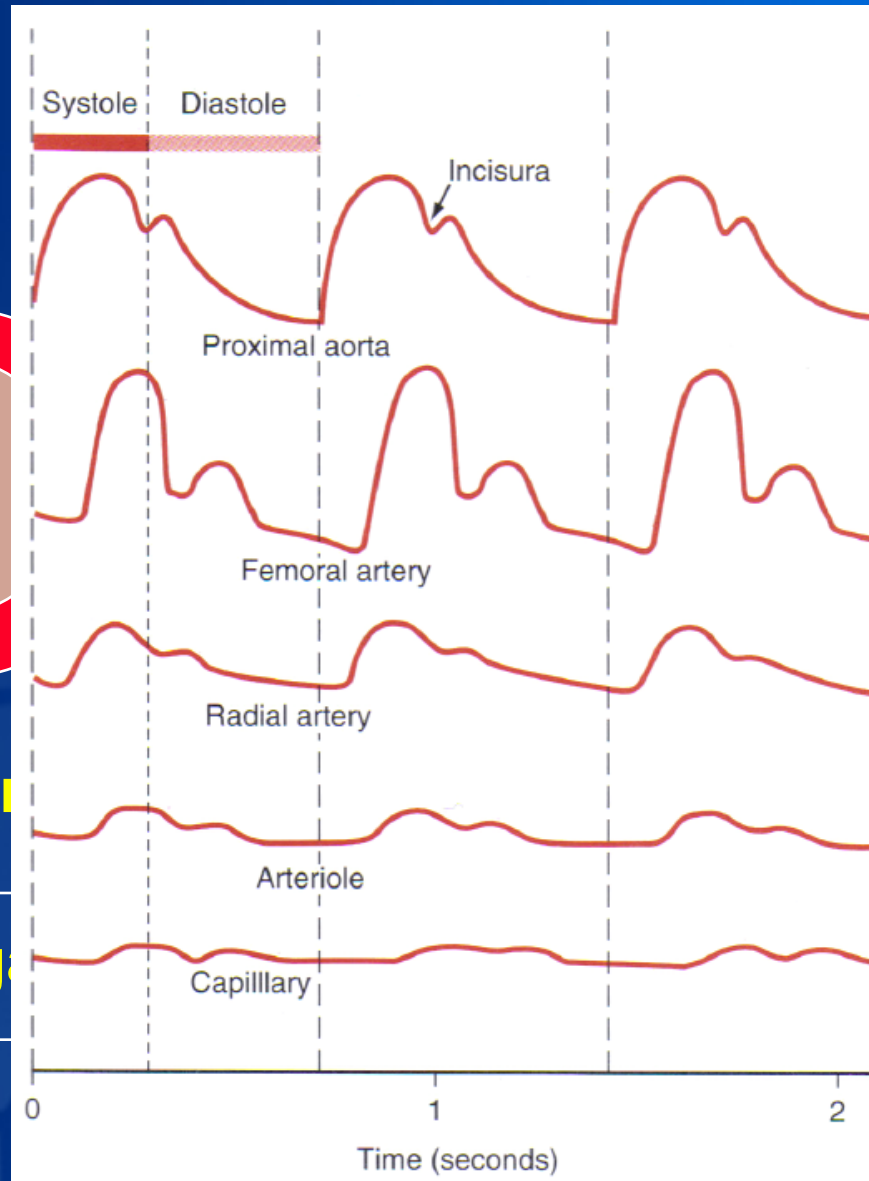
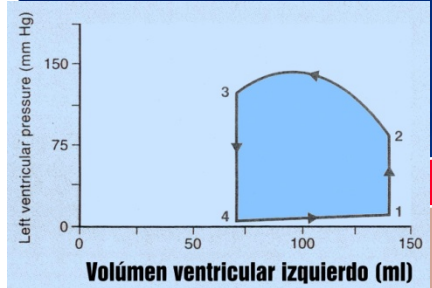




Centro de Ingeniería Cardiovascular  
DEPARTAMENTO DE Ing. BIOLÓGICA



# Visión holística de la circulación



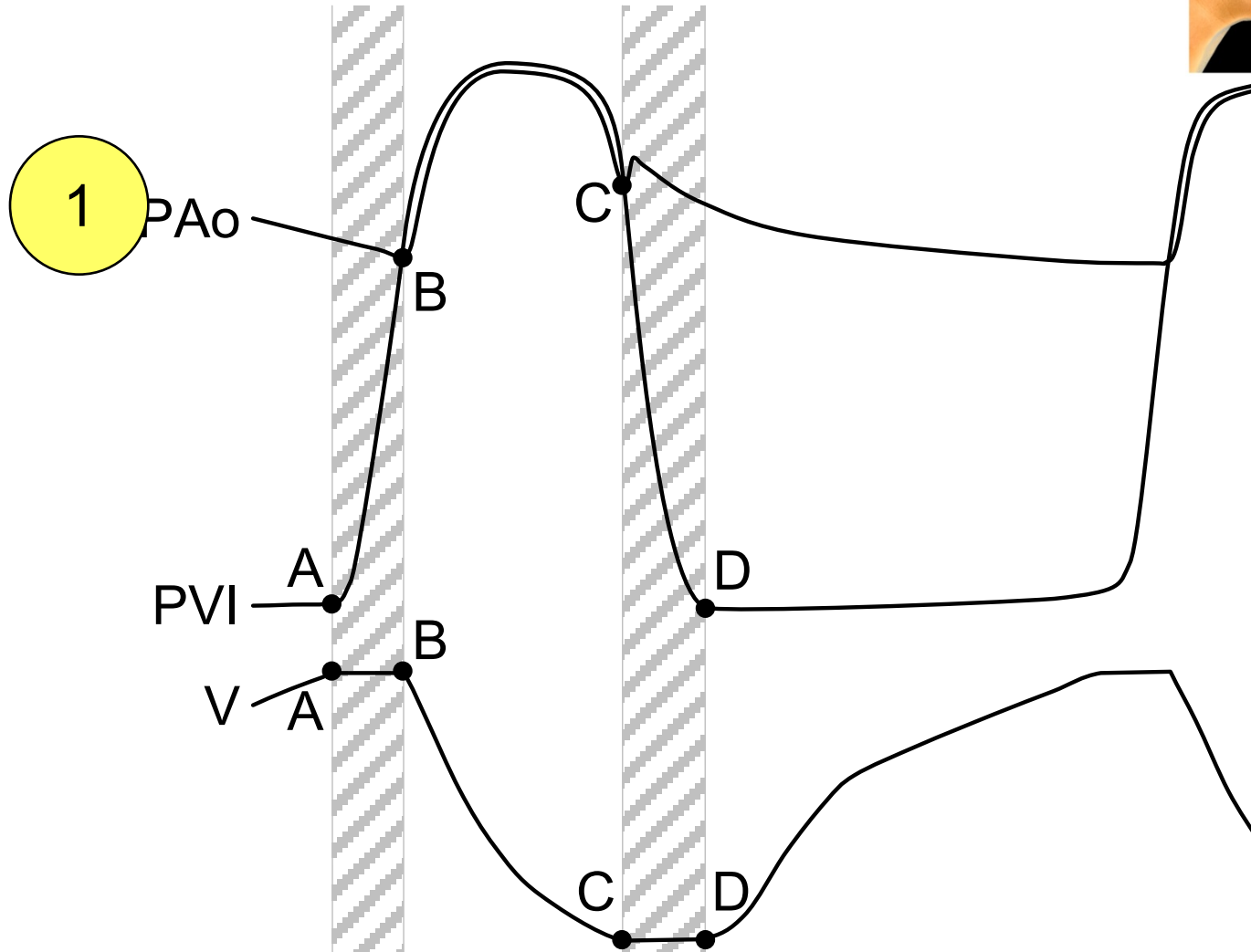
corazón

entrega

Arteriolas-  
capilares

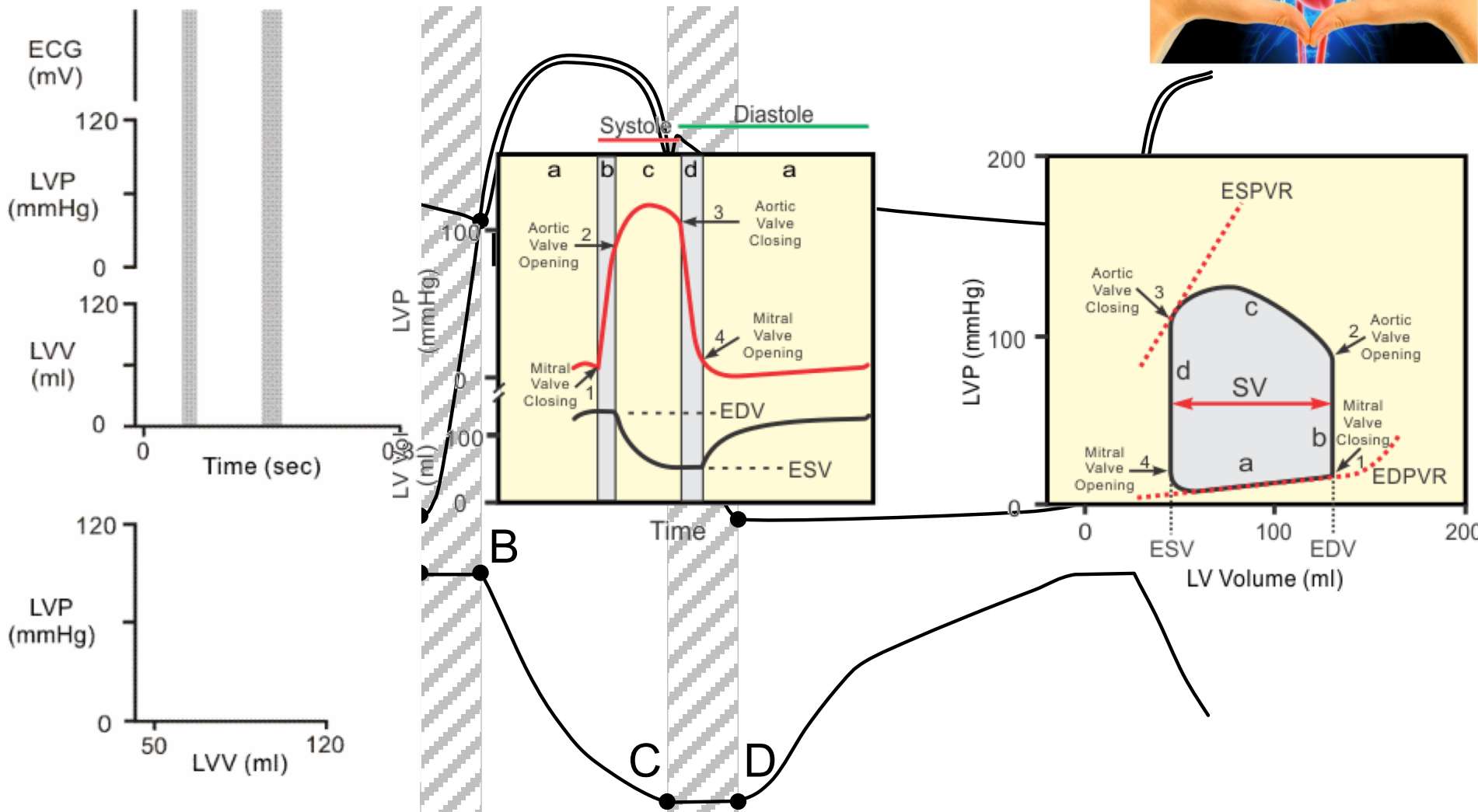
disipación

# Series temporales

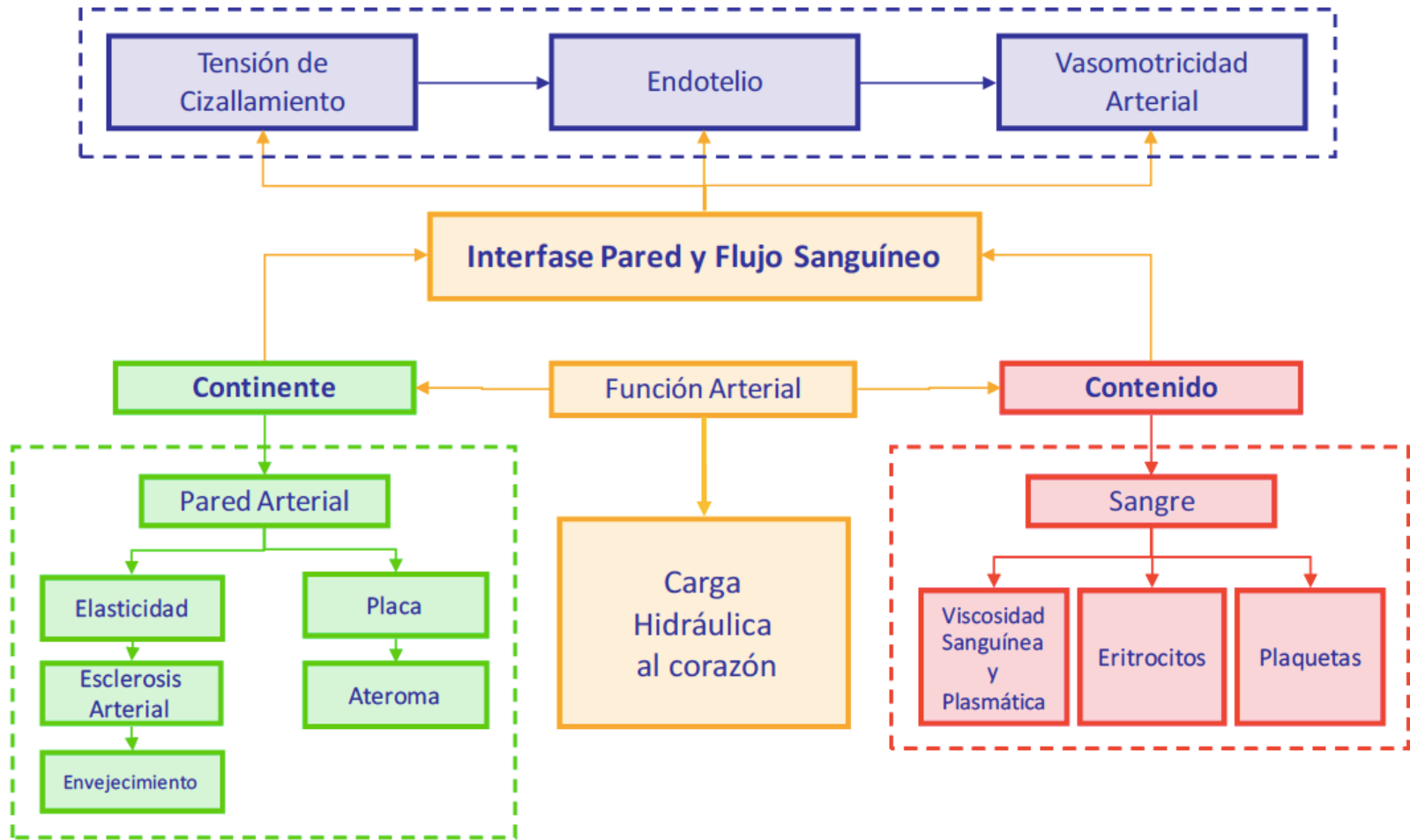




# Series temporales

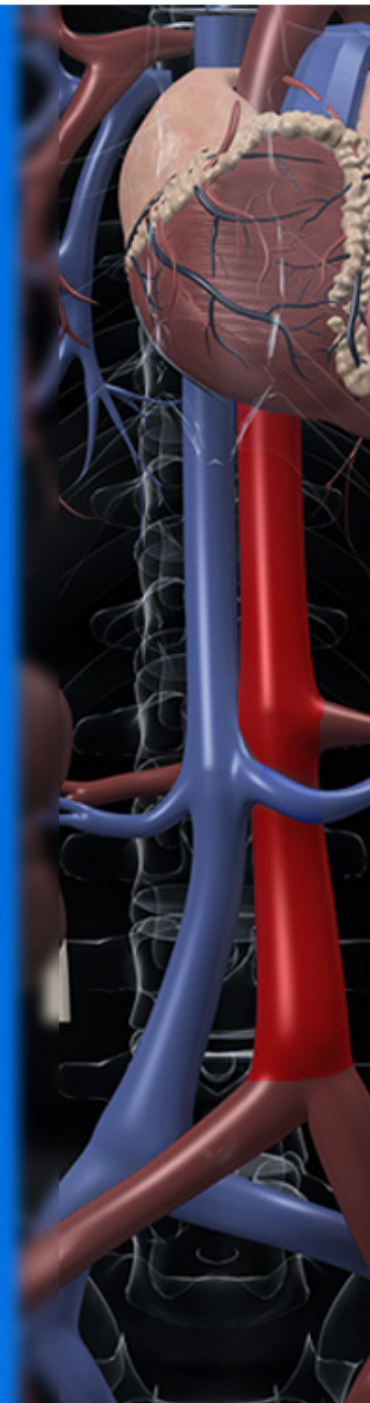
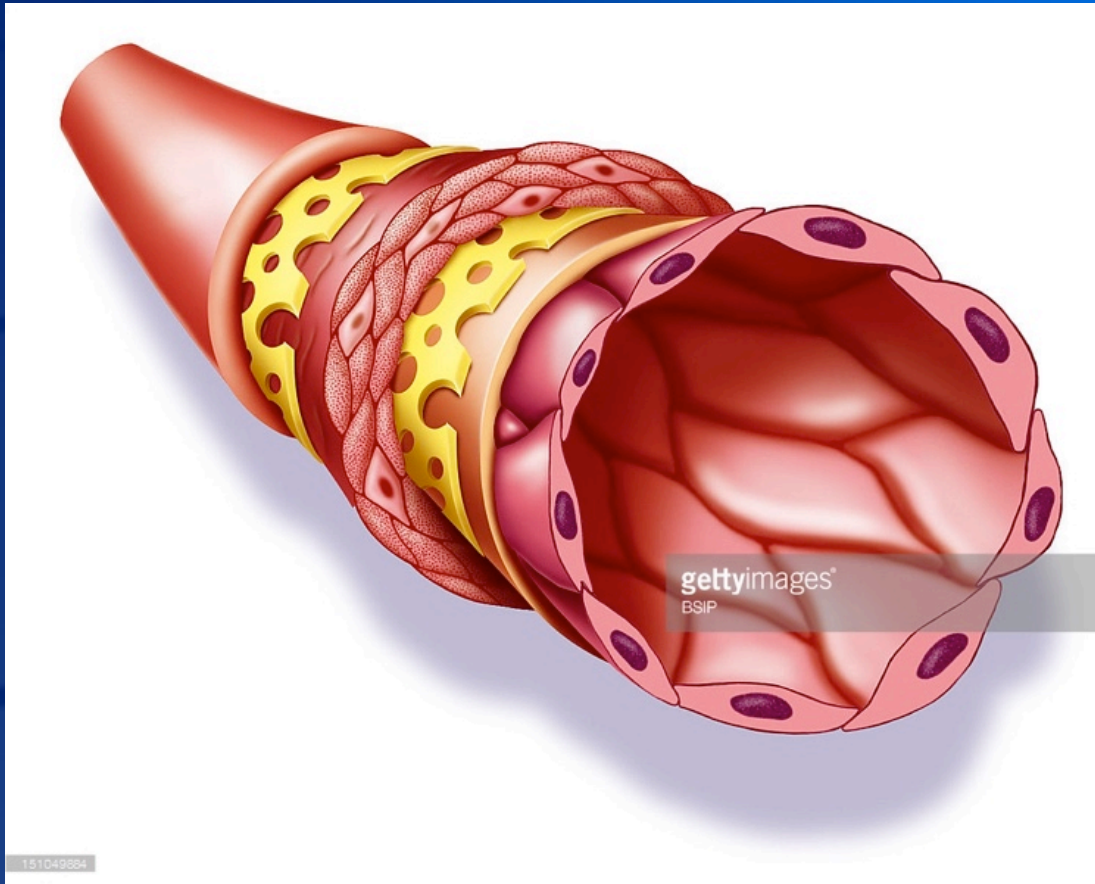


# Visión holística de la circulación

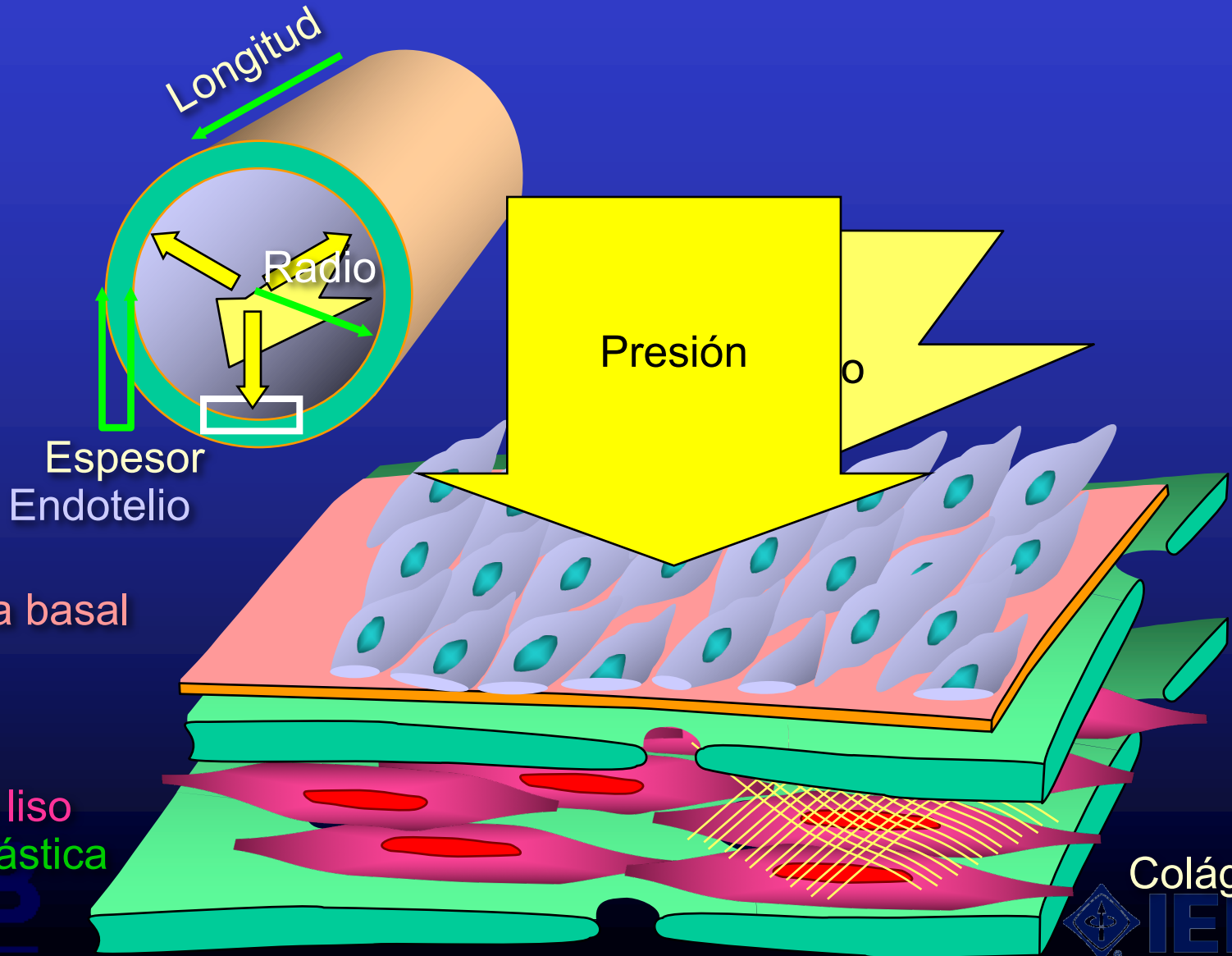




# PARED ARTERIAL (Continente)



# Pared vascular

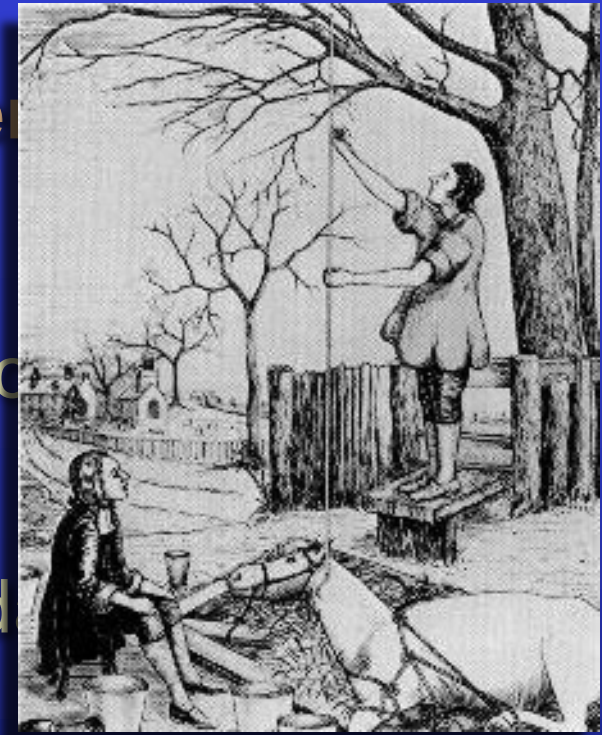
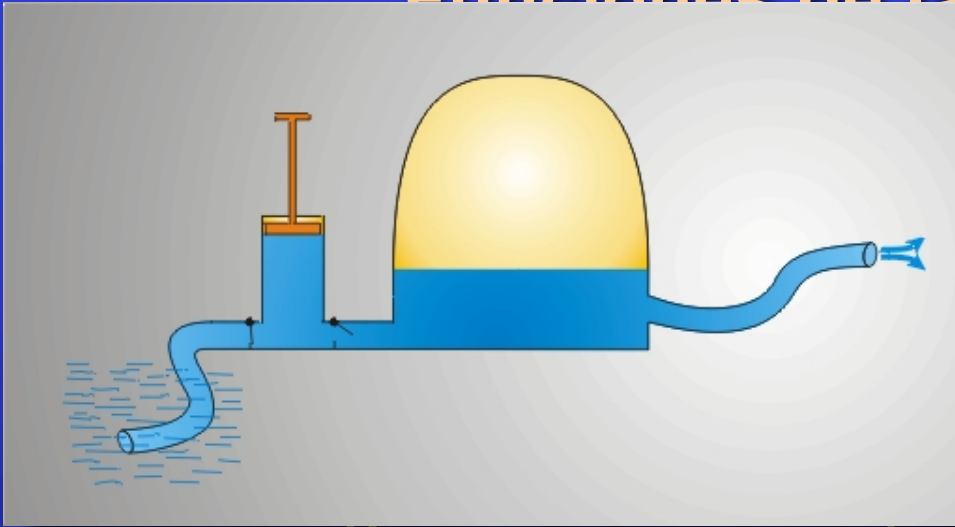


Músculo liso  
Lámina elástica

Colágeno  
IEEE



## Funciones de las arterias



en cada eyección cardíaca.

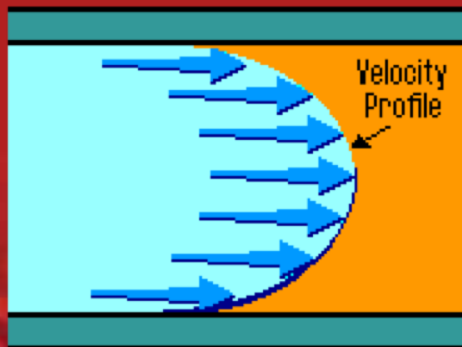
- Concepto de amortiguación (Stephen Hales, 1733).
- Modelo de Windkessel (Otto Frank, 1927).
- Propiedades mecánicas (Roy, 1881; Burton, 1954; Peterson *et al*, 1960; Bergel, 1961; Dobrin & Rovick, 1969; Cox, 1978; Pagani *et al*, 1979).





# Contenido: SANGRE

Figure 1. Laminar Flow



Duct or Pipe

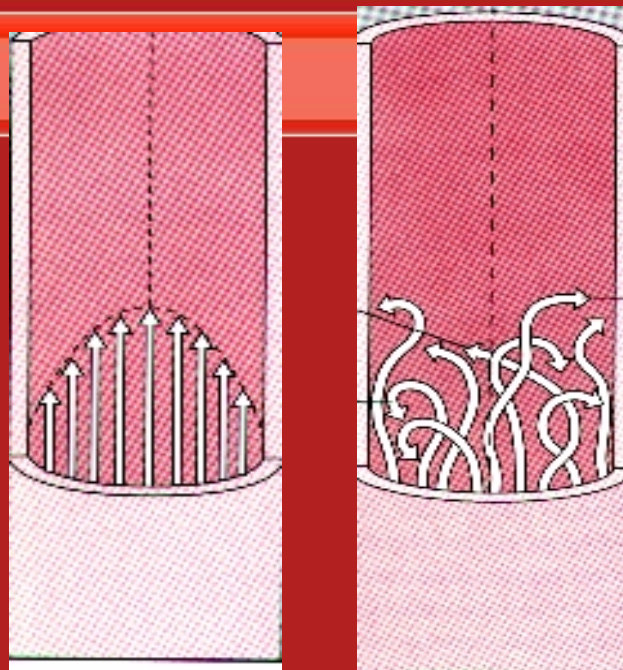
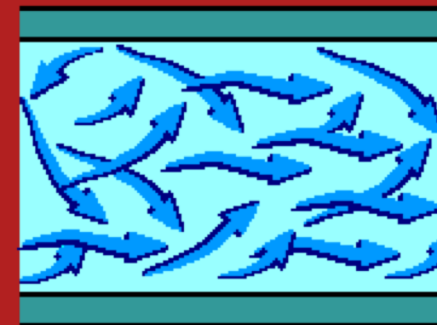
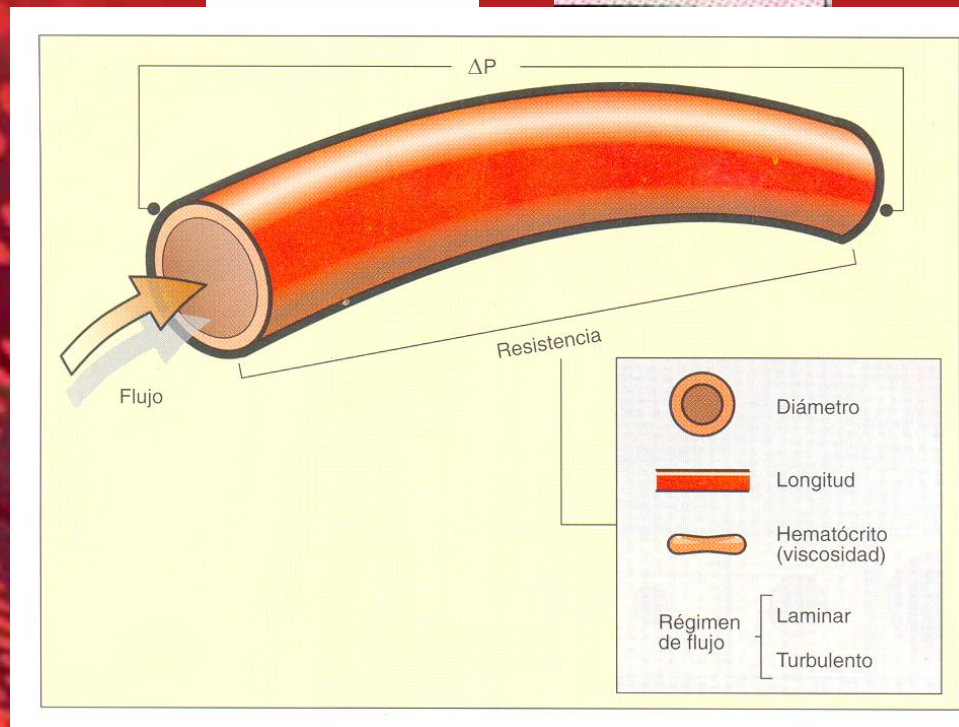
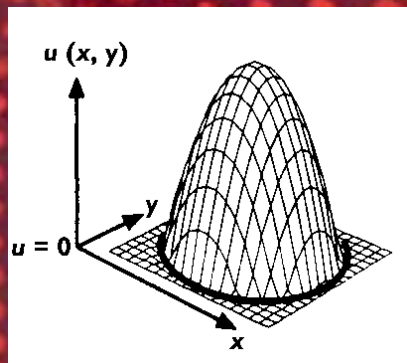


Figure 2. Turbulent Flow

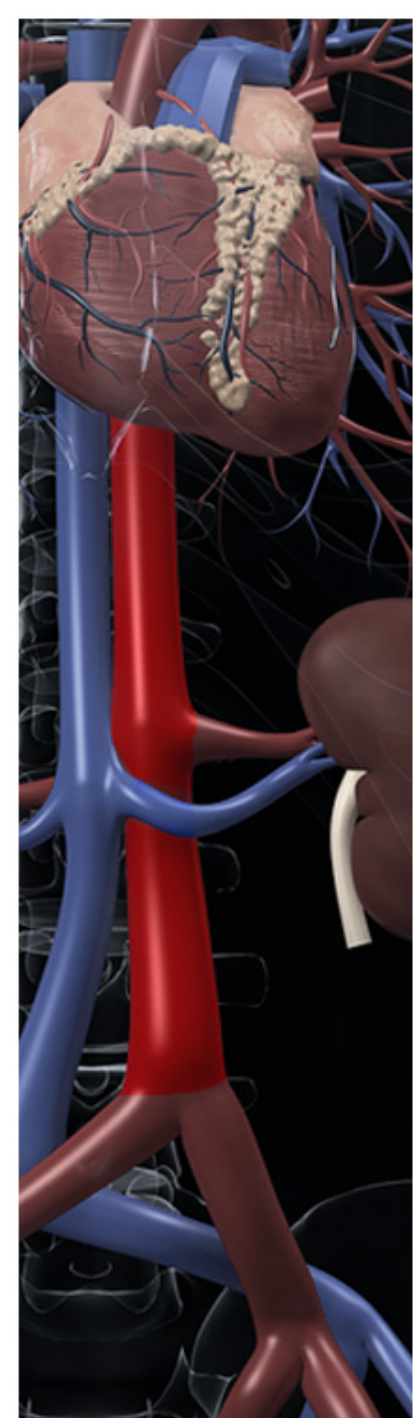
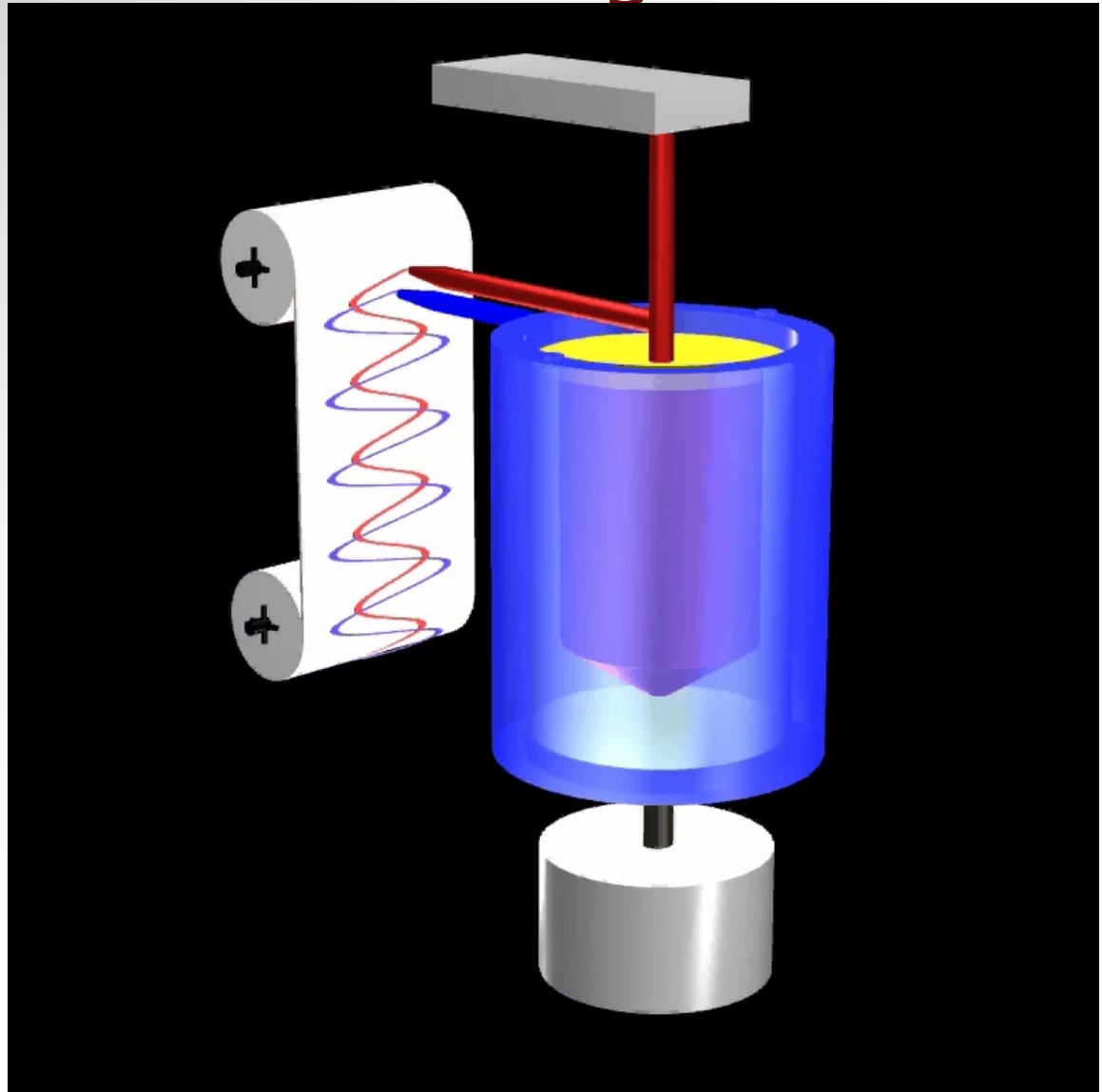


Duct or Pipe



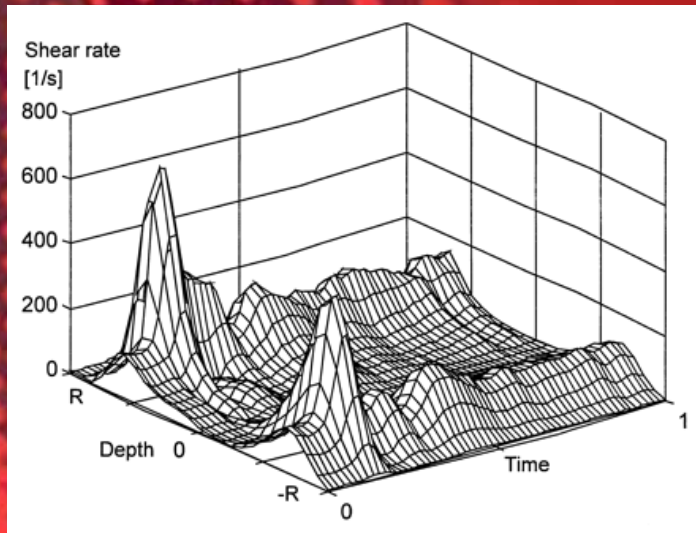
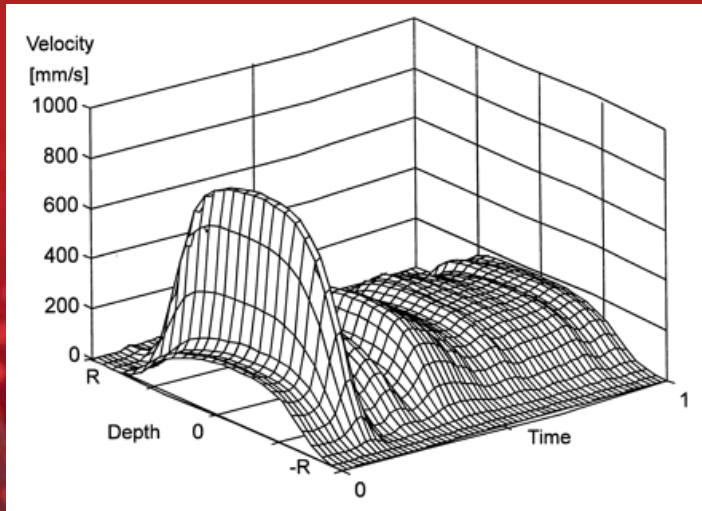


# Bio Reología





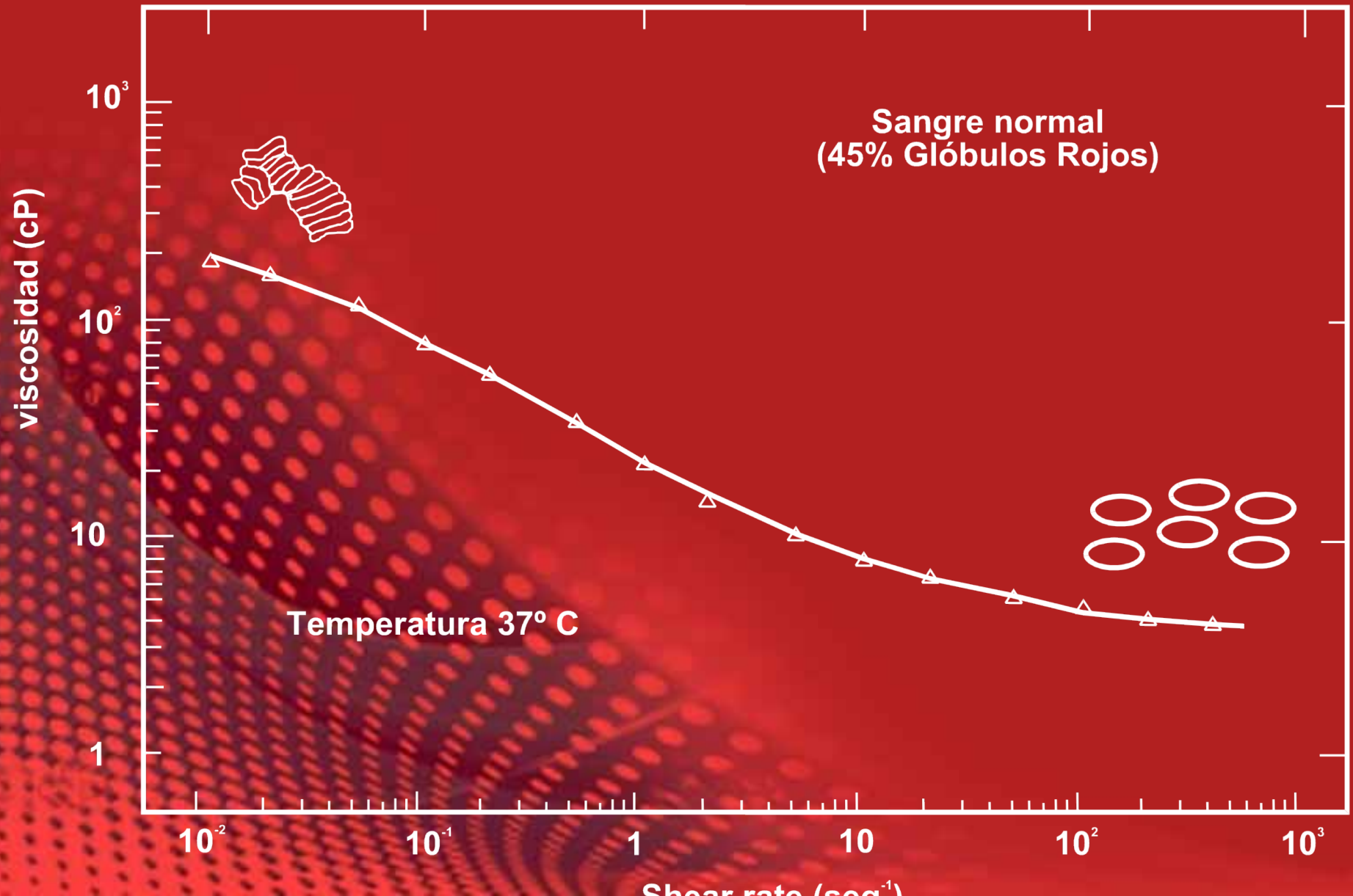
# Cizallamiento



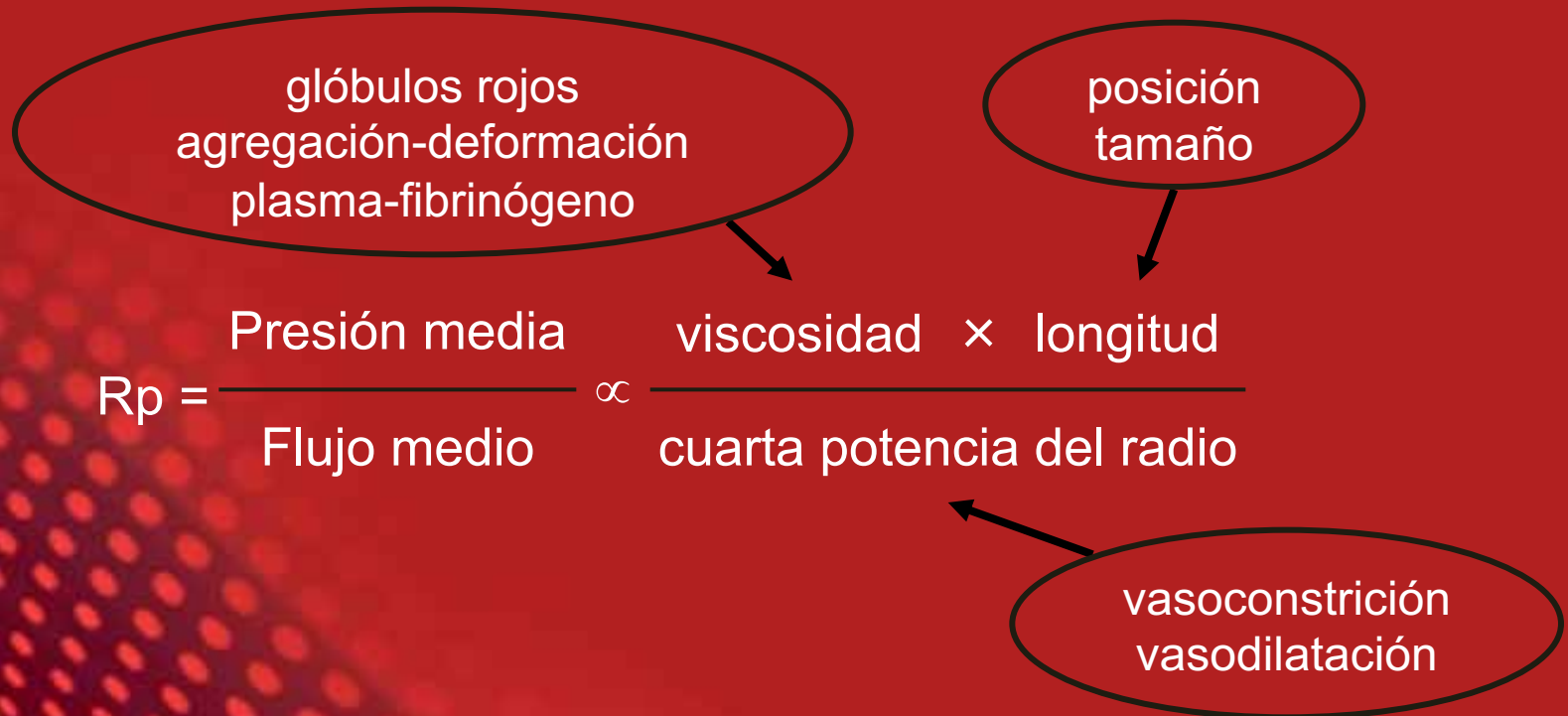
	Velocidad $\gamma$	
láminas axiales	Máxima	Mínima
láminas endoteliales	Mínima	Máxima



# Viscosidad y cizallamiento

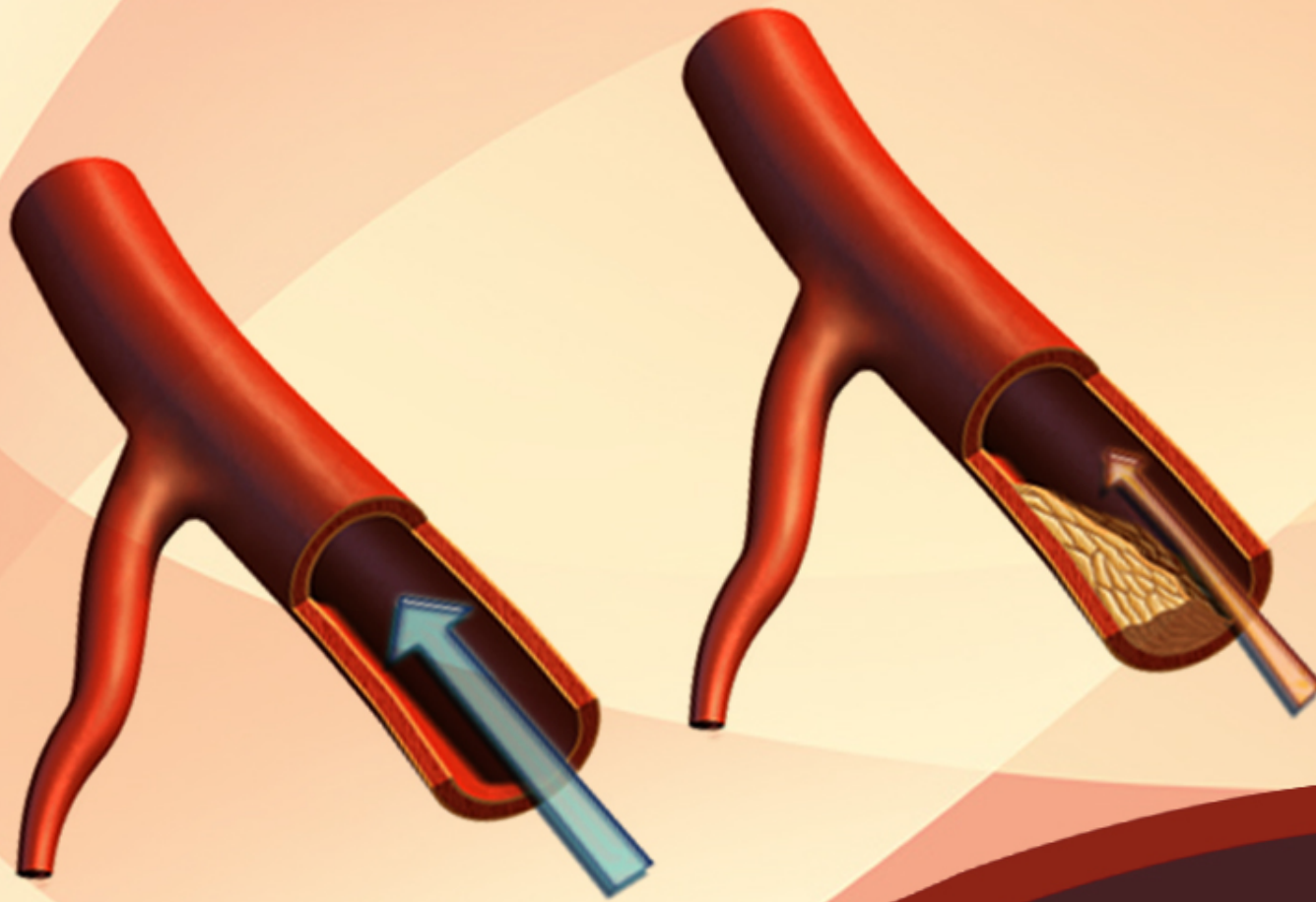


# Resistencia periférica



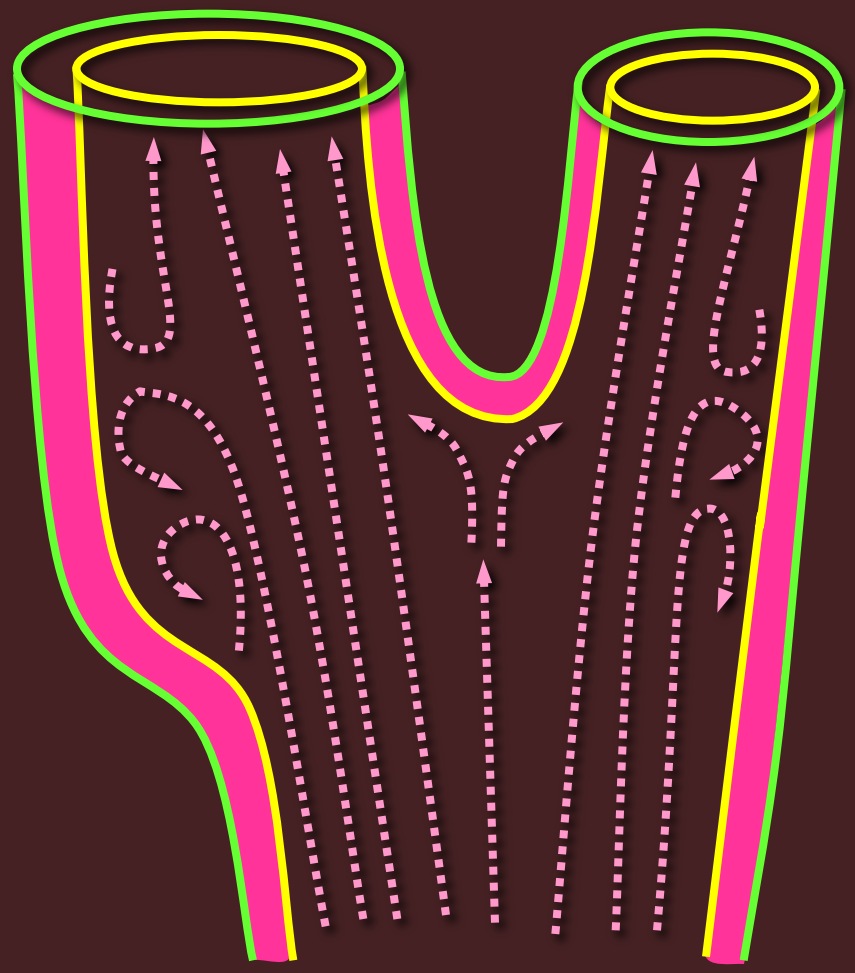
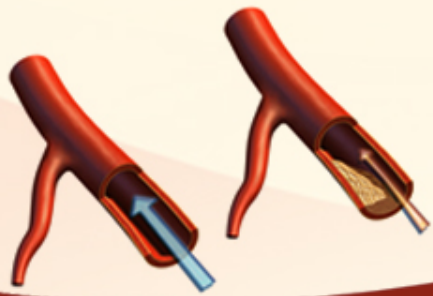
La disipación de la energía está generalmente asociada a fenómenos viscosos y por lo tanto a la disipación de calor por fricción. En el caso de sistema arterial la resistencia está concentrada en el lecho arteriolo-capilar y dos magnitudes físicas tienen una acción destacada sobre ella: la viscosidad de la sangre y la dimensión de los vasos

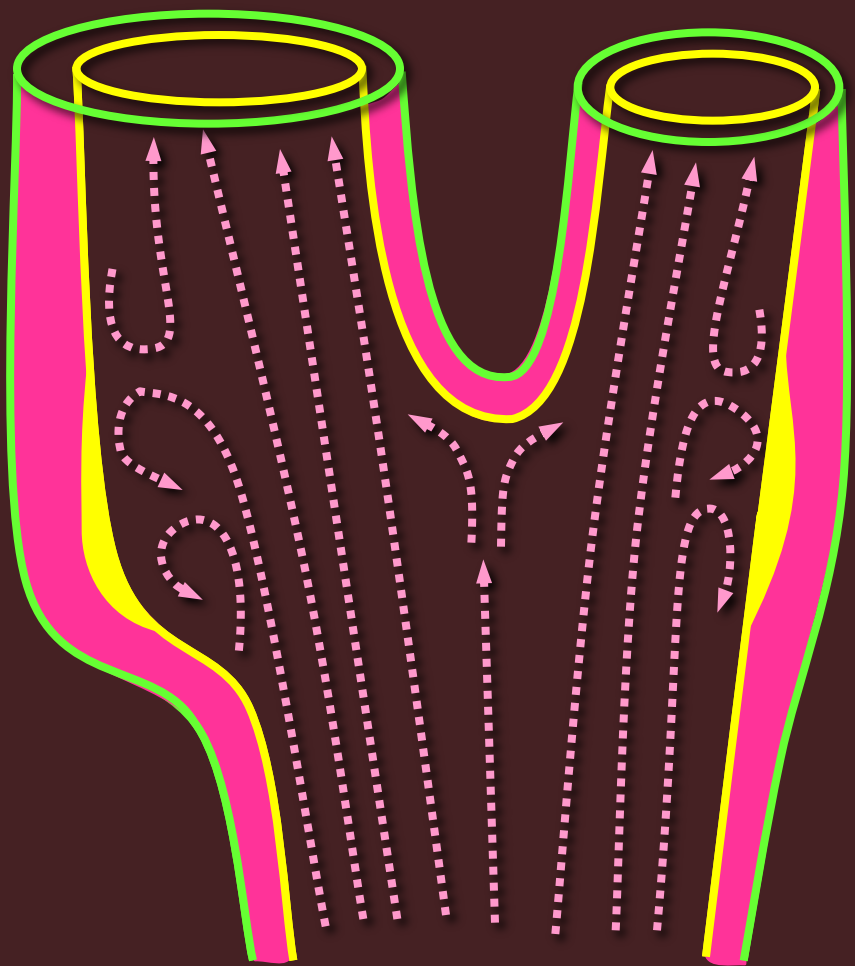
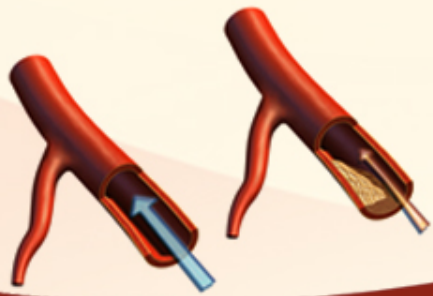




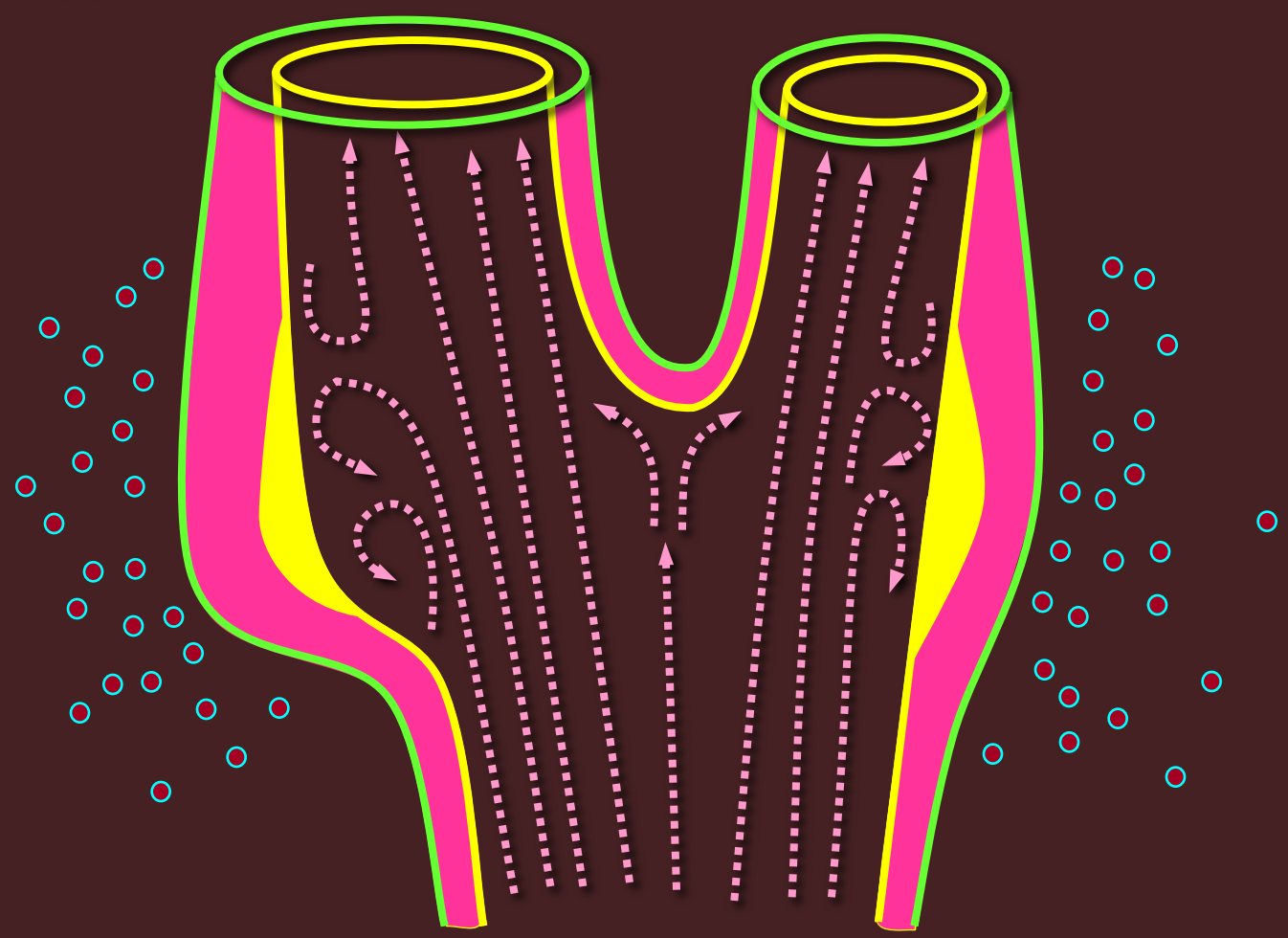
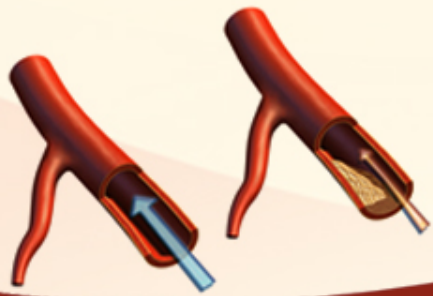
**interacción pared sangre:**

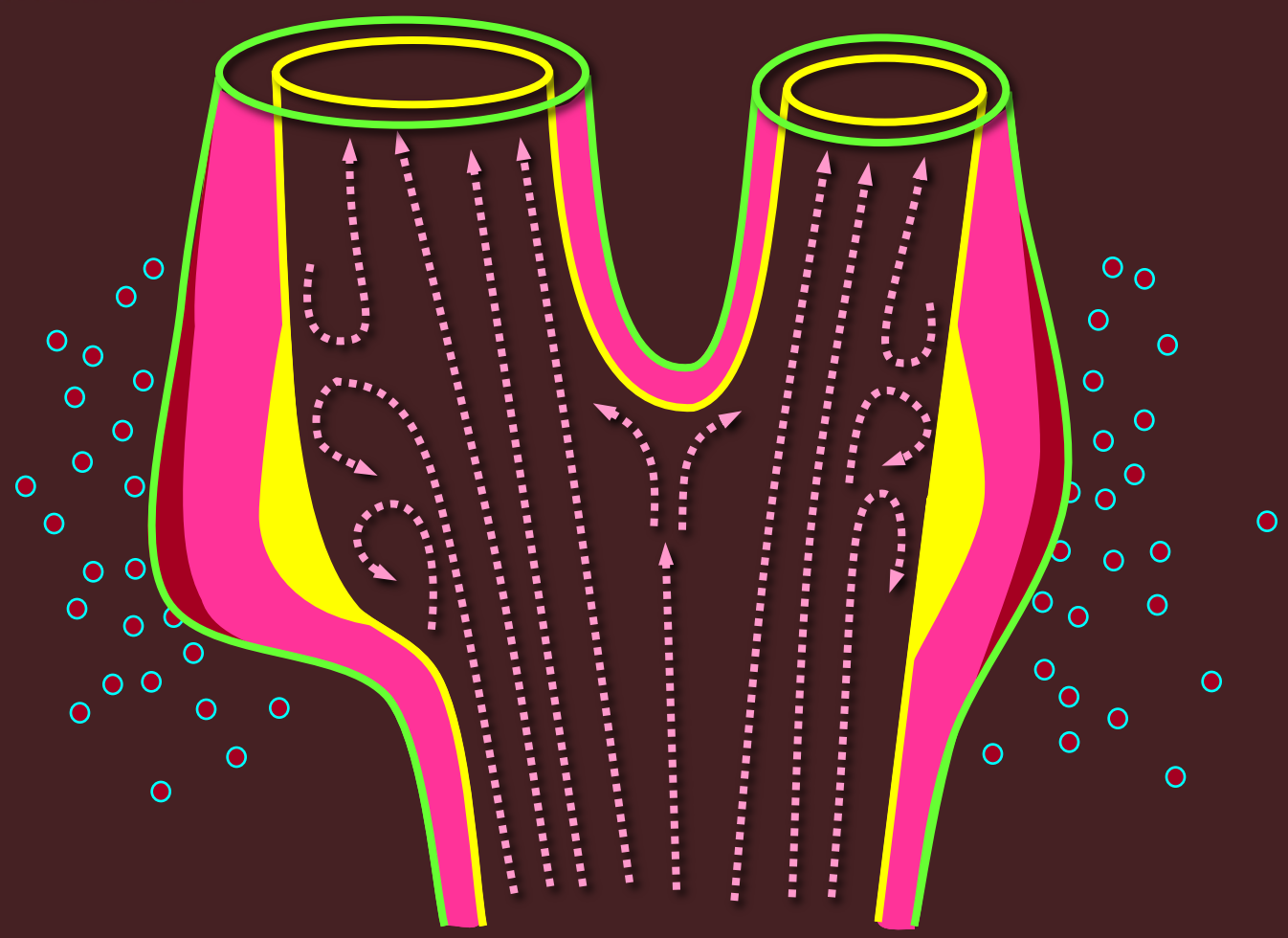
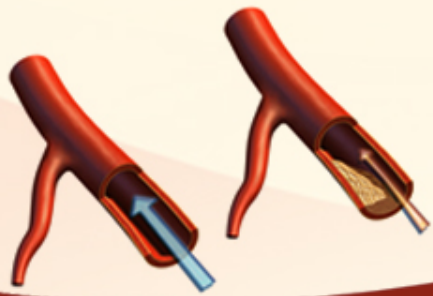
CIZALLAMIENTO

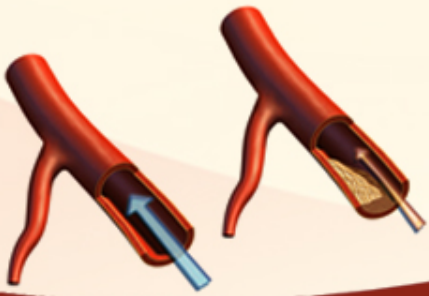








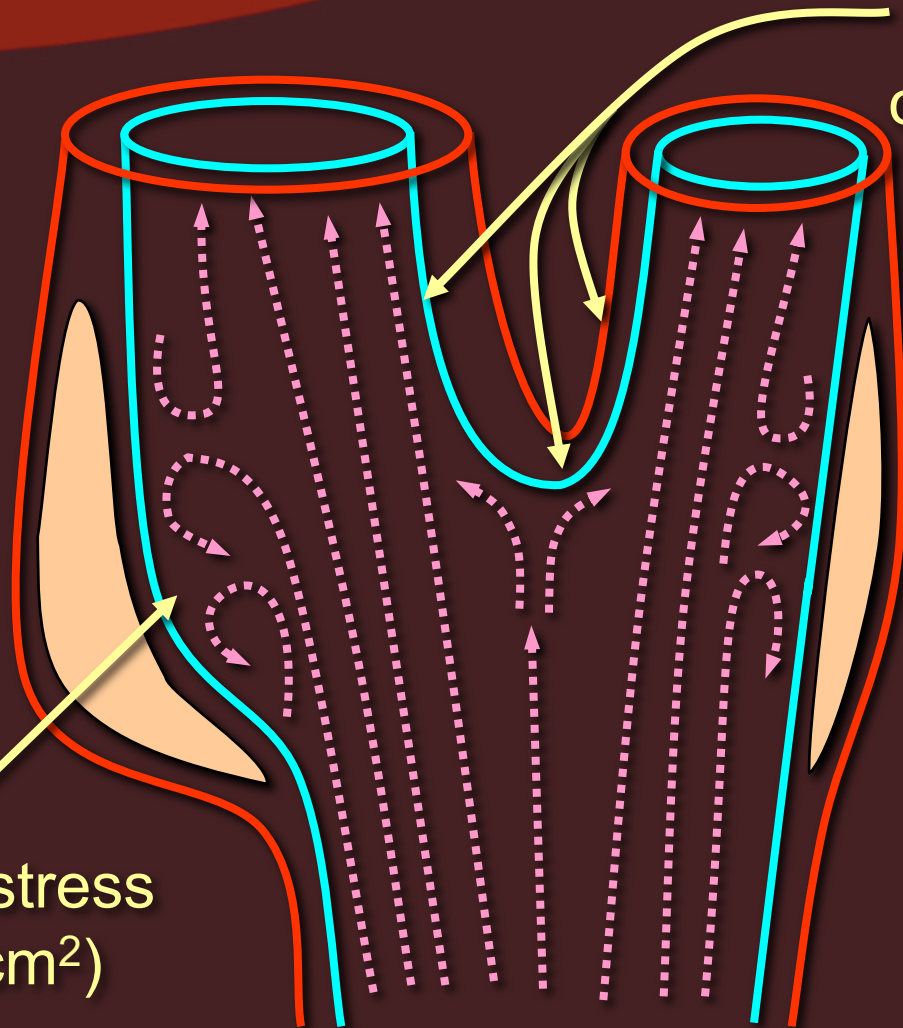




Bajo shear stress  
( $\pm 4$  dyn/cm<sup>2</sup>)

Valor fisiológico  
o alto shear stress  
( $>15$  dyn/cm<sup>2</sup>)

Aunque los disturbios  
en el flujo en las  
ramificaciones y  
curvas son  
proaterogénicos, el  
flujo laminar es  
ateroprotectivo en los  
vasos de trayecto  
recto.



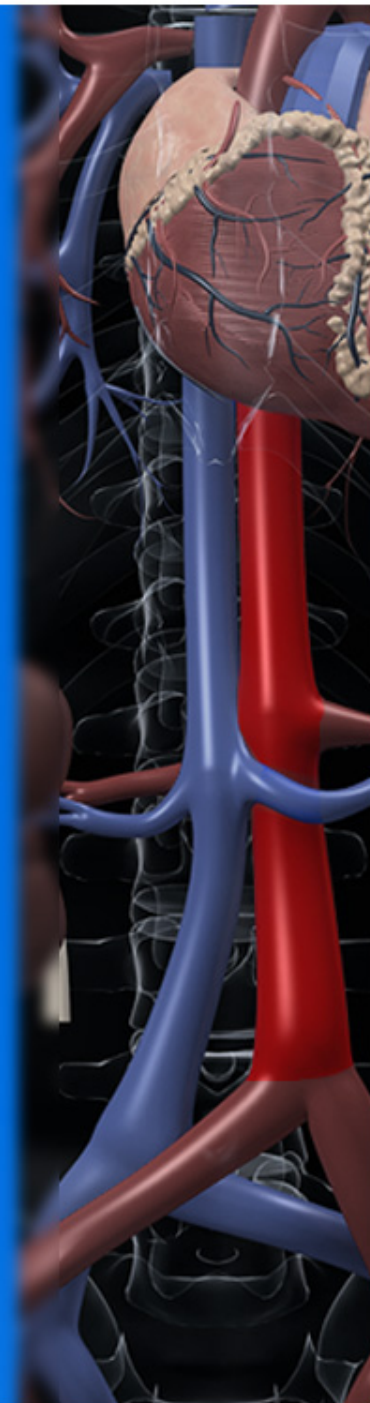
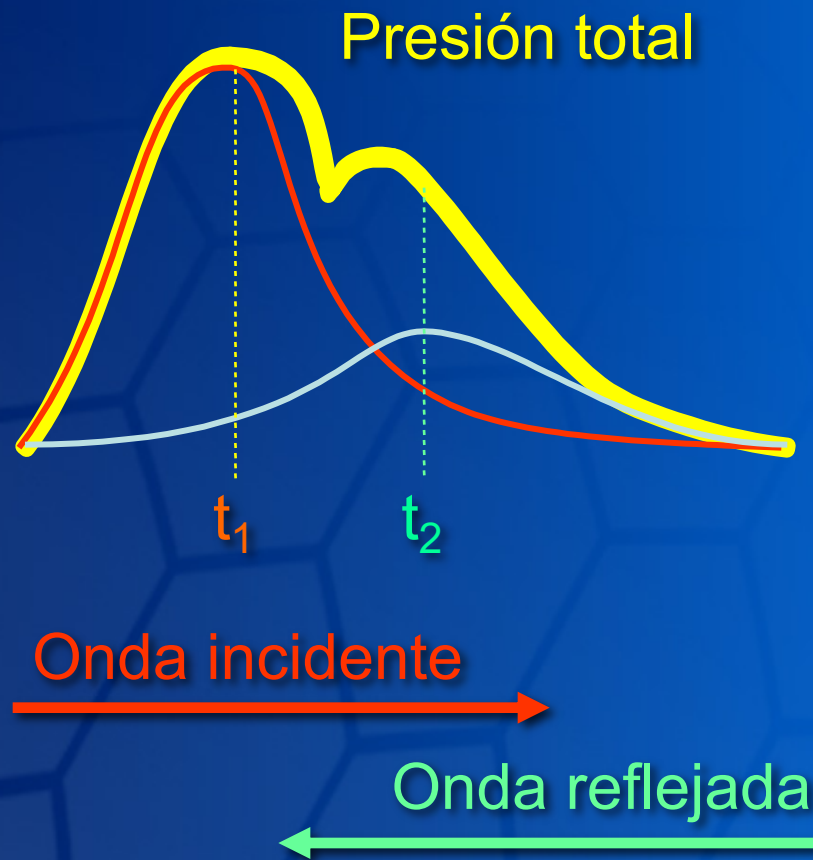


# LA ONDA REFLEJADA

Y sus efectos sobre la forma  
del pulso

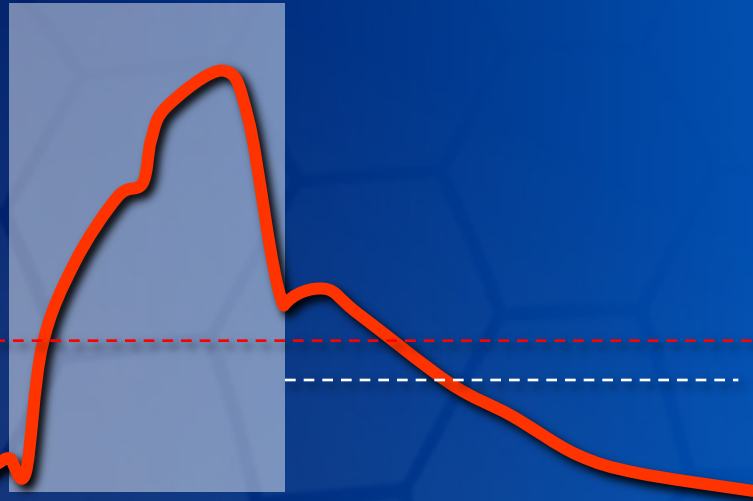


# Onda incidente y onda reflejada

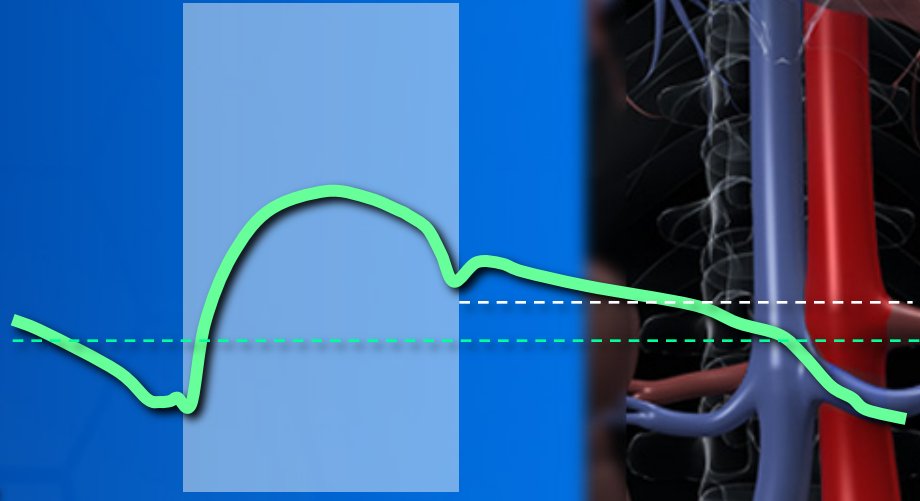


# Tipos de ondas

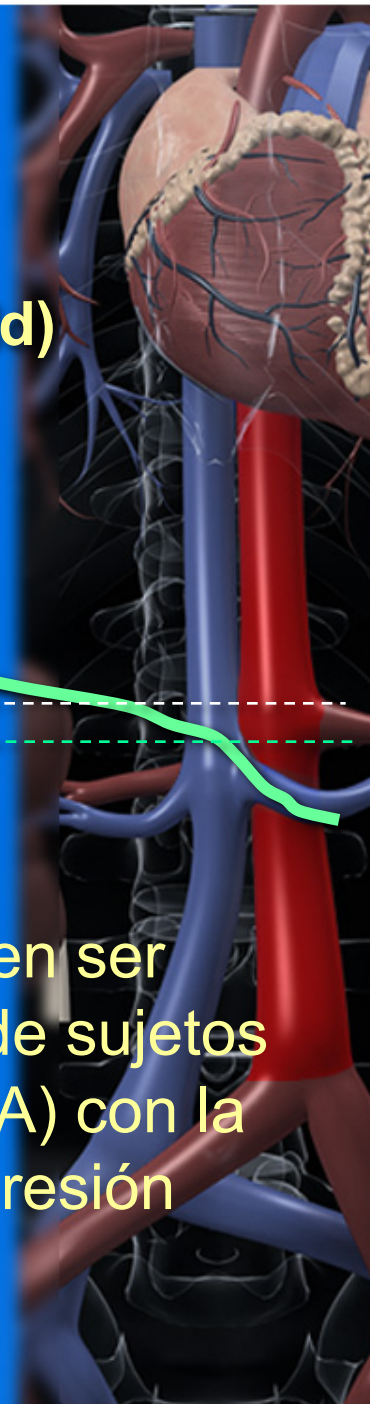
**Tipo A (aged)**



**Tipo C (child)**



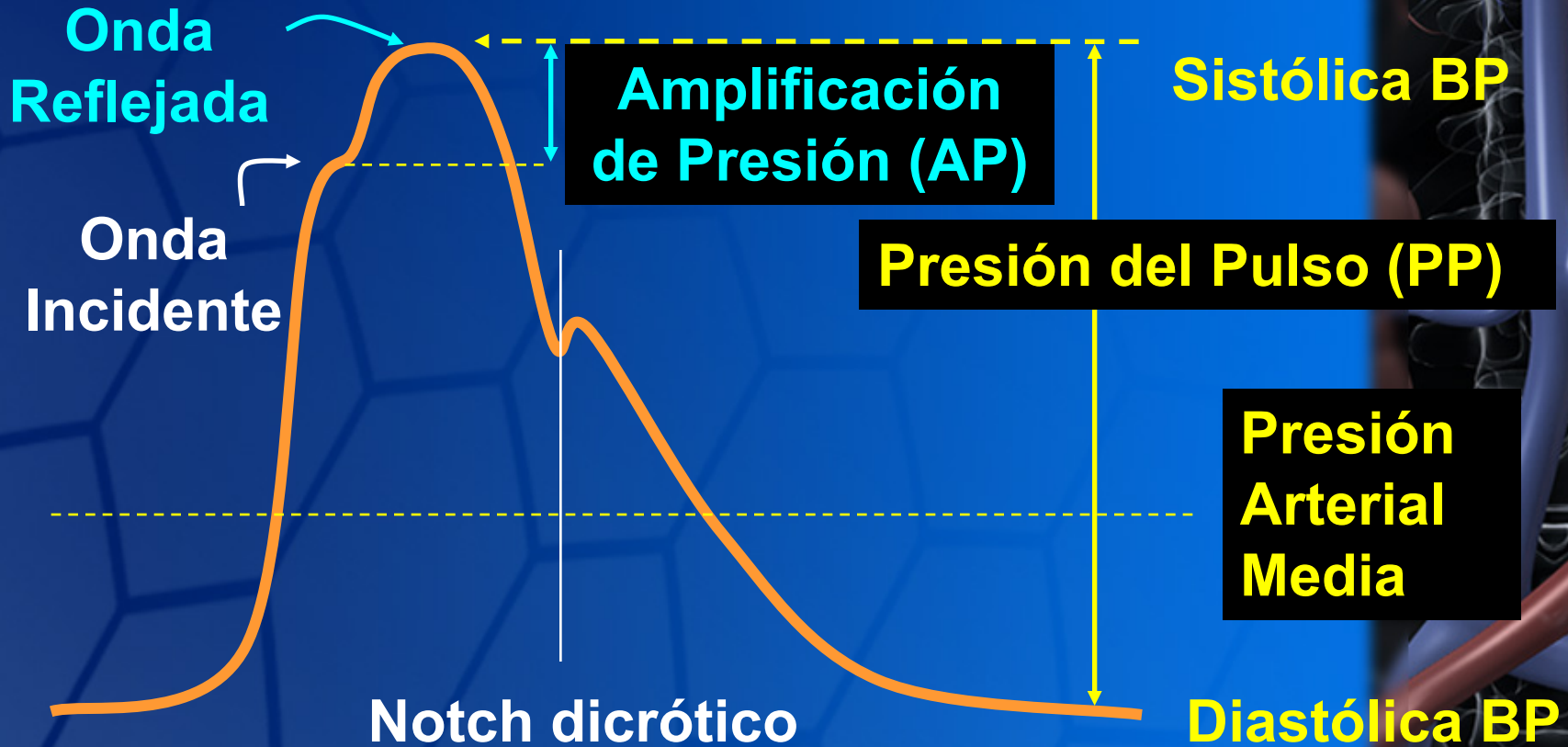
Los efectos de una onda reflejada temprana pueden ser comprendidos comparando las ondas de presión de sujetos jóvenes (tipo C) y sujetos de edad avanzada (tipo A) con la misma presión arterial media, pero con diferente presión media durante la diástole.





# PRESION CENTRAL

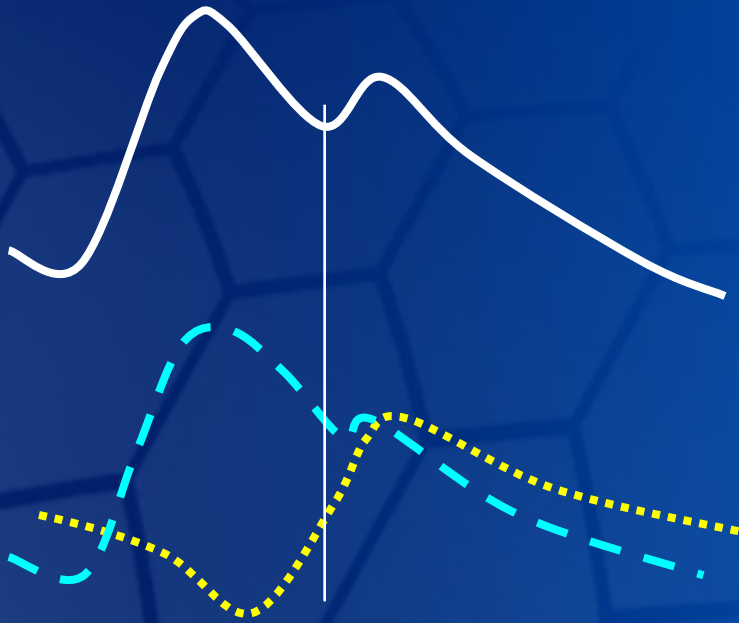
**Indice de aumentación (AIx) = AP/PP**



# Ondas Reflejadas y RIGIDEZ

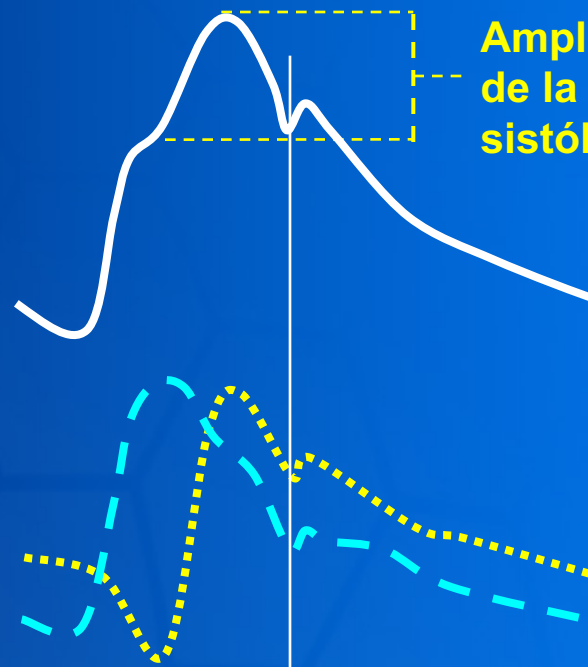
## VASOS ELASTICOS

PWV 8 M/SEC



## VASOS RIGIDOS

PWV 12 M/SEC



Amplificación  
de la presión  
sistólica

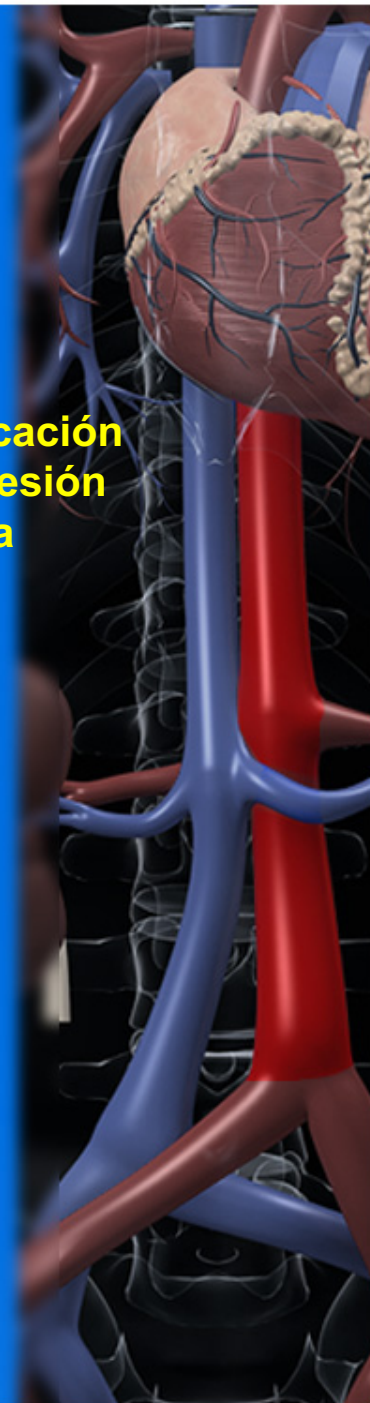


INCIDENTE-ONDA VIAJERA

REFLEJADA-ONDA VIAJERA

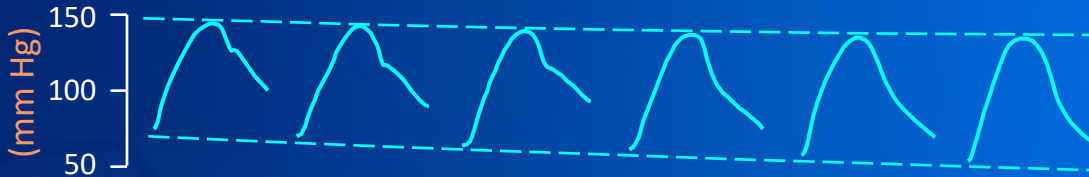
VERDADERA (COMPUESTA ONDA)

PWV = pulse wave velocity.

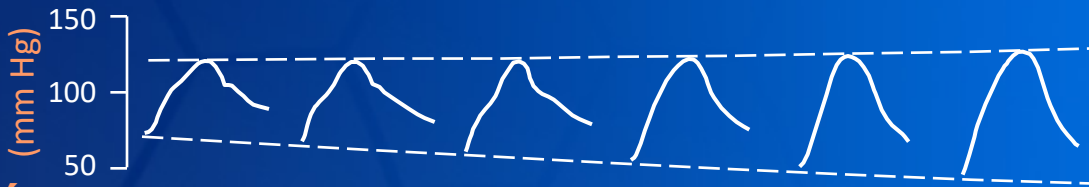


# AMPLIFICACIÓN del PULSO

↑ Onda Reflejada



Edad=68

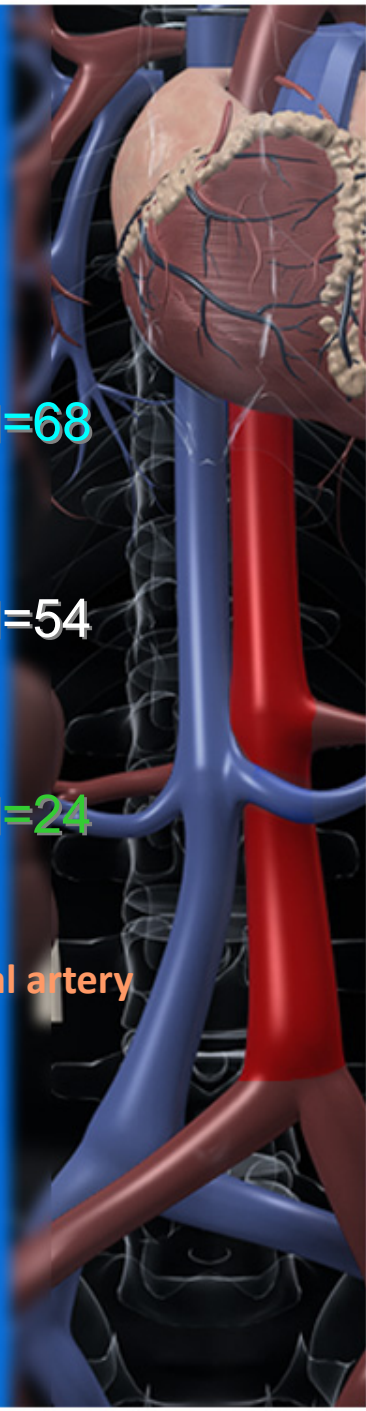
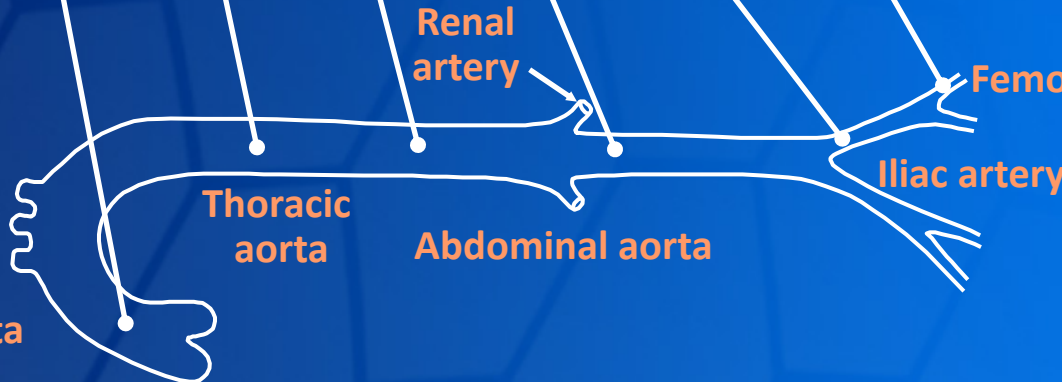


Edad=54



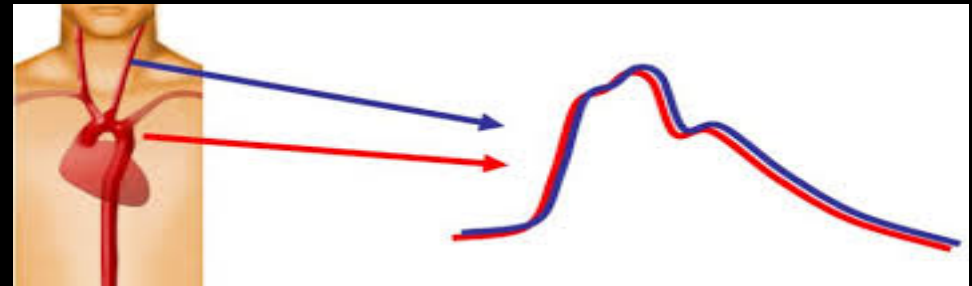
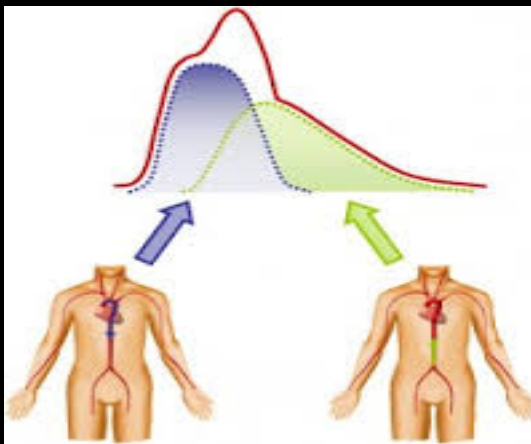
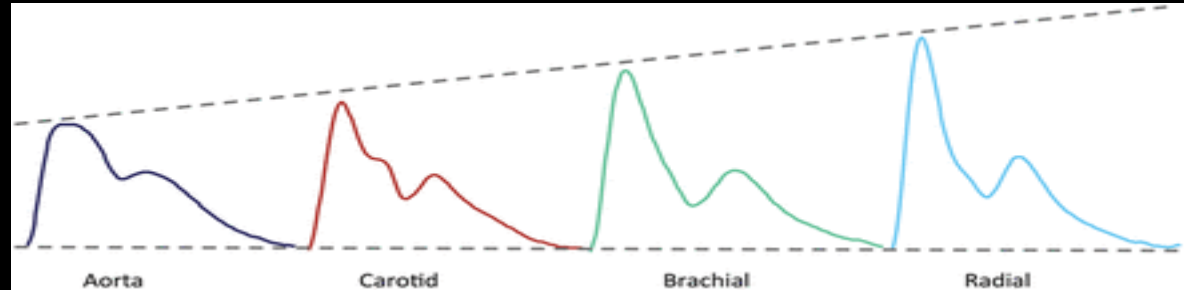
Edad=24

↑ Amplificación de la Presión





# Presion Arterial Central vs Periférica

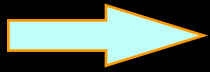


# OPOSICIÓN HIDRAULICA A LA EYECCIÓN CARDÍACA

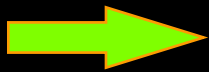
Tres parámetros básicos concentran los efectos macro y microcirculatorios involucrados en la carga hidráulica presentada por la circulación sistémica:



Elasticidad



Resistencia Periférica



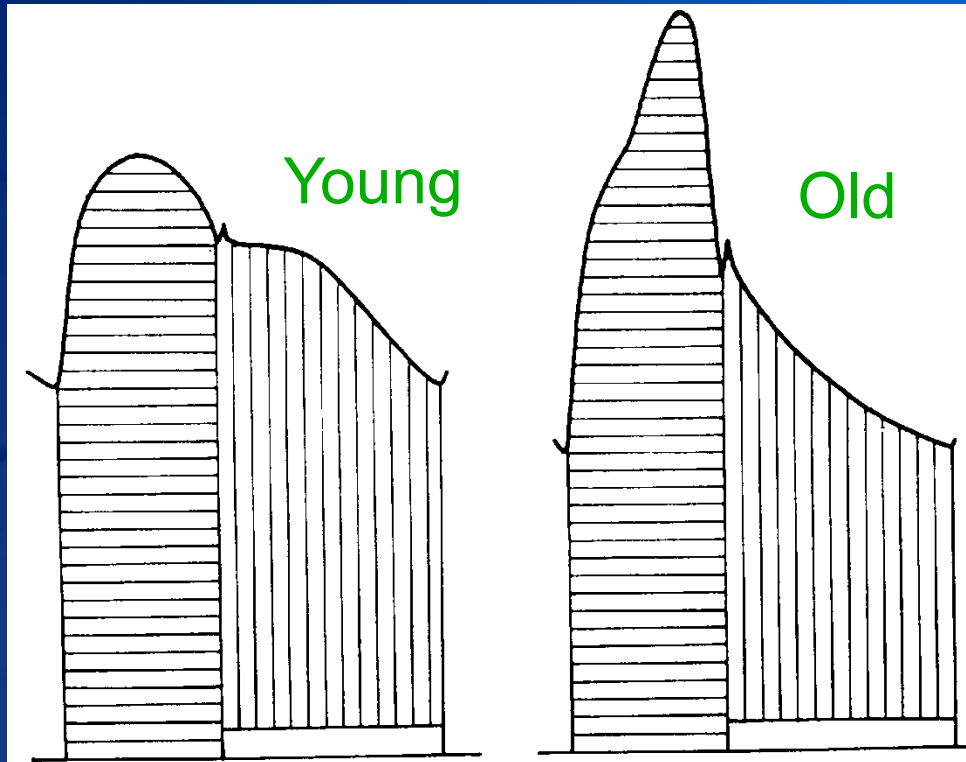
Onda Reflejada



Presión Central



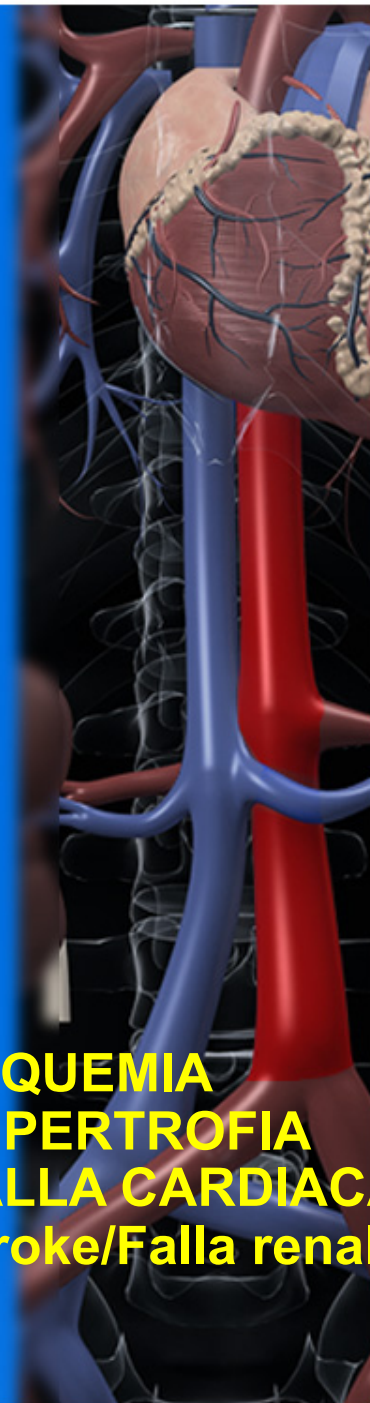
# IMPLICANCIAS DEL AUMENTO EN RIGIDEZ EN RIGIDEZ



Arribo temprano BP ↗

- \* Poscarga VI ↗
- \* Consumo de oxígeno ↗
- \* Perfusión coronaria ↘

- ISQUEMIA
- HIPERTROFIA
- FALLA CARDIACA
- Stroke/Falla renal





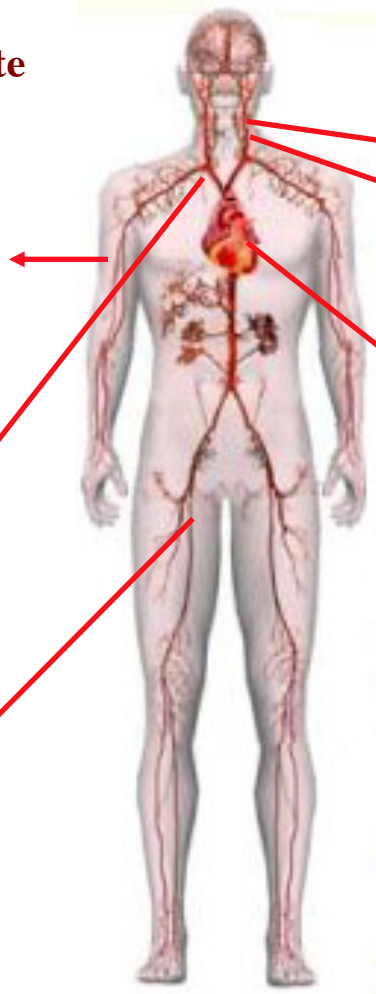
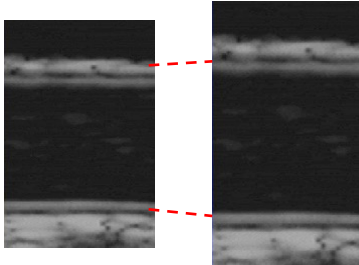


Abordaje No Invasivos

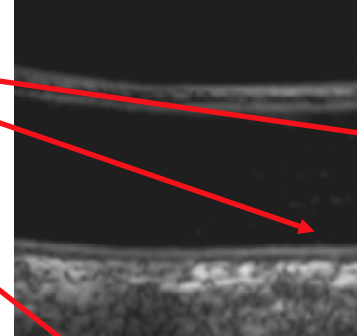
# Estudios no invasivos



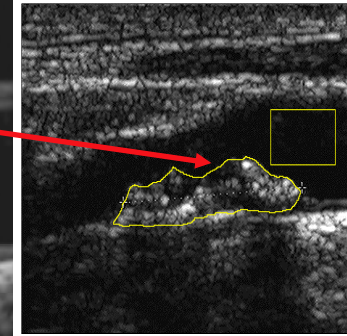
**Vasodilatación debito dependiente de la arteria humeral**



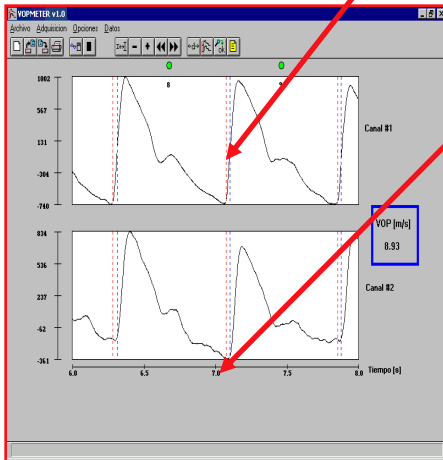
**Espesamiento de la pared (IMT)**



**Placa Intrusiva**



**Rigidez Arterial (desfasaje de la onda del pulso)**

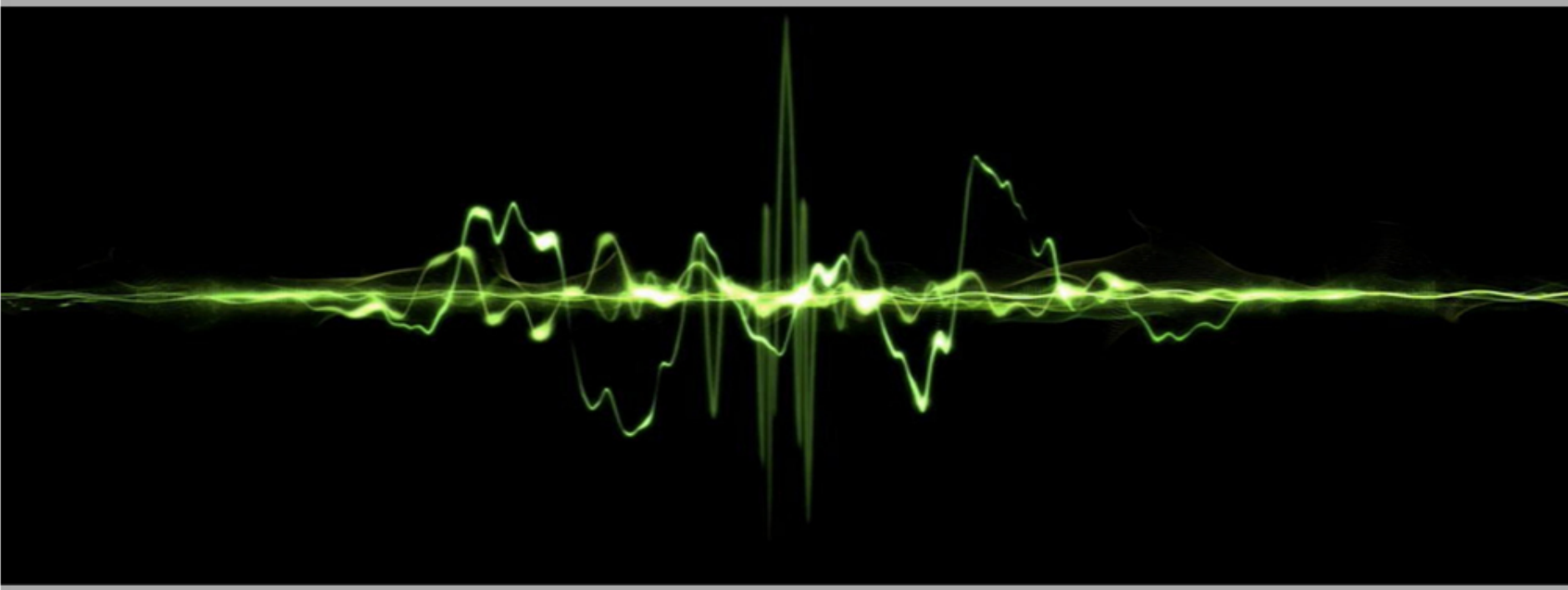


**Calcio Coronario (scanner)**



# Propagación de ondas en arterias

ARTERIAS MAS RIGIDAS: mayor velocidad de propagación





## VELOCIDAD DE LA ONDA DEL PULSO (PWV)

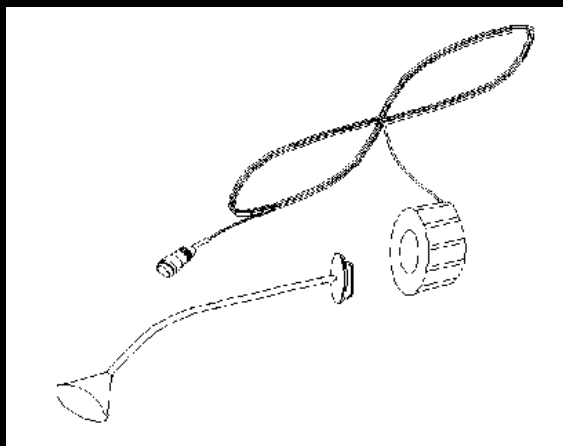
La velocidad de pulso se calcula:

$$\text{PWV} = \text{Distancia (m)} / \text{Tiempo de transito (s)}$$

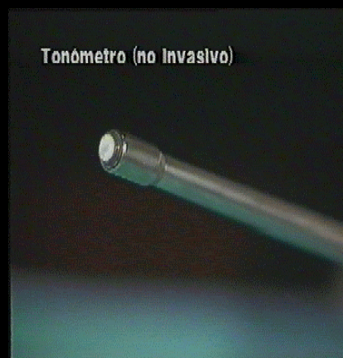
**PWV es la velocidad de la de onda del pulso a través de las arterias.**



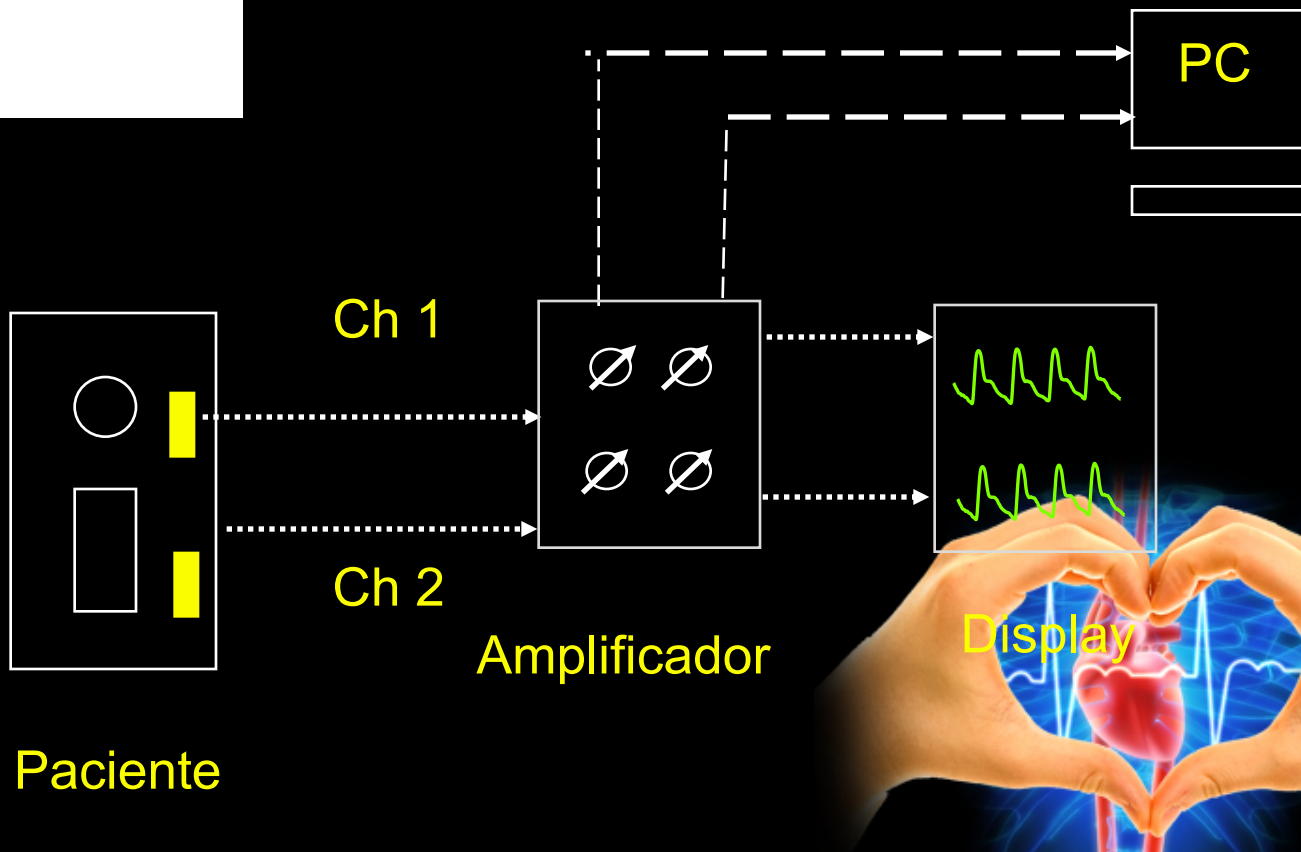
# Transductor mecanográfico

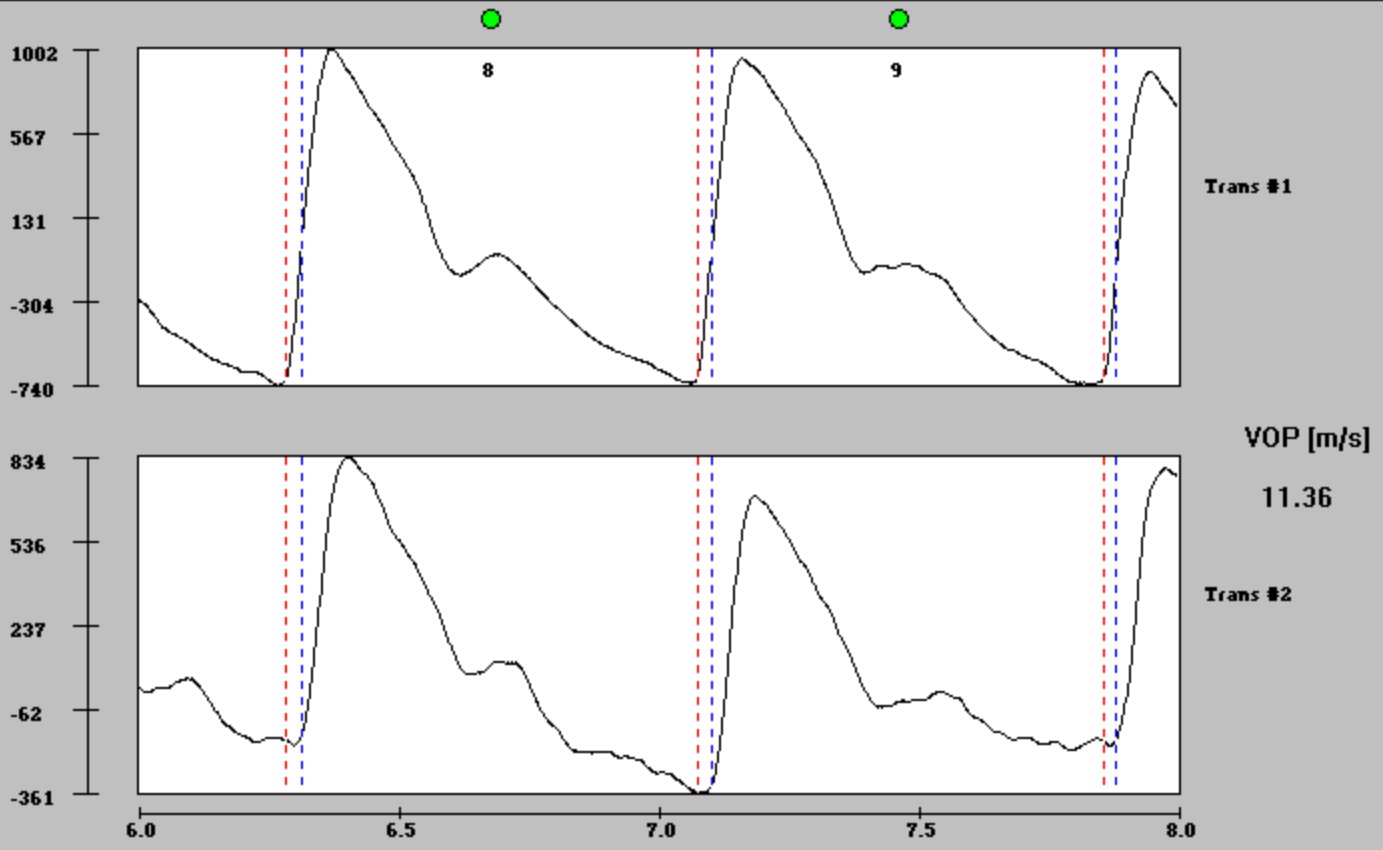
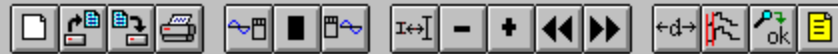


# Tonómetro



## Ondas de Presión





C:\Desarrollos\VopNew[Arg]\uno.TXT



# Evidencias

La velocidad de la onda del pulso tiene un valor predictivo independiente en pacientes con insuficiencia renal, enfermedad coronaria, hipertensión no complicada y población general de:

- **Mortalidad global**
- **Mortalidad cardiovascular**
- **Morbilidad cardiovascular**
  - **Enfermedad coronaria**
  - **Enfermedad cerebrovascular**



# DetECCIÓN AUTOMÁTICA DE DIMENSIONES A PARTIR DE IMÁGENES MODO B\*:

- Espesor del complejo íntima media
- Diámetro arterial instantáneo
- Tamaño y Composición de la placa.
- Función Endotelial





# La exploración ecográfica de la estructura de la pared de las arterias presenta las siguientes ventajas:

- Permite estudios no invasivos
- Puede ser usado en sujetos asintomáticos
- Puede ser usado repetidamente, reduciendo el tamaño de la muestra.
- Estudios de regresión y progresión



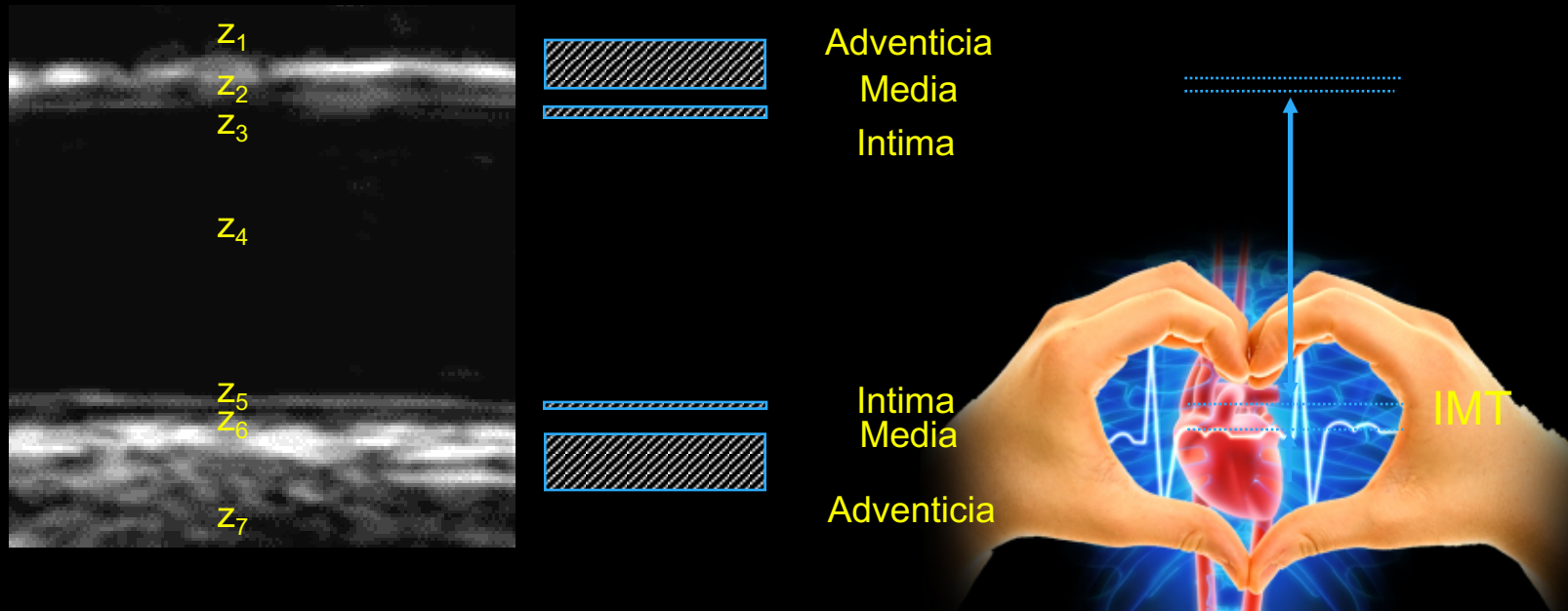
# Espesor Intima-Media Arterial



# Lugar de medición

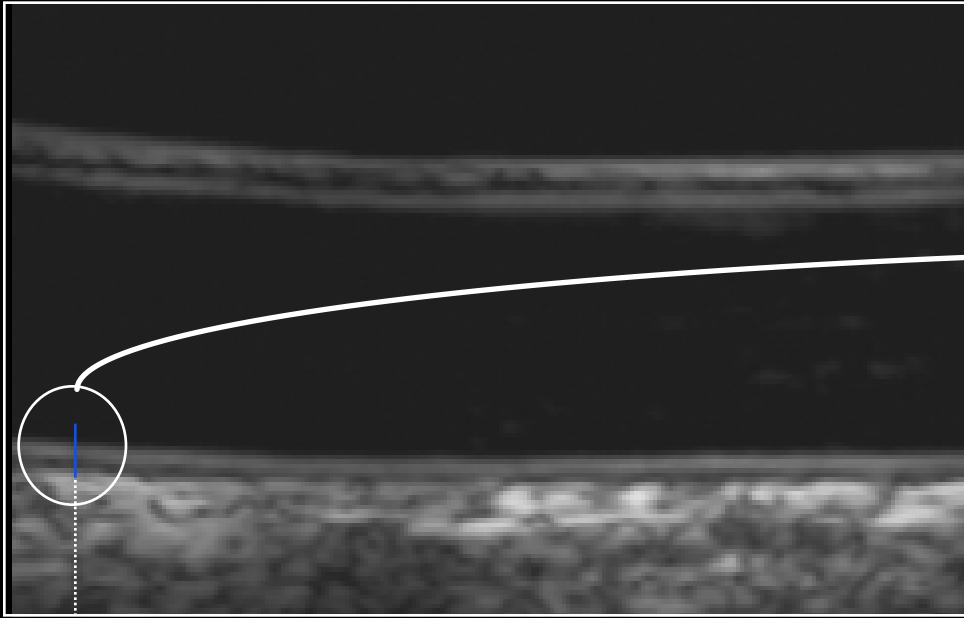
- En pared posterior

(Correlatos anatómicos de interfaces ultrasónicas arteriales)



# Sistema informático

RECTANGULO DE MEDICION



LUMEN

INTIMA

MEDIA

ADVENTICIA

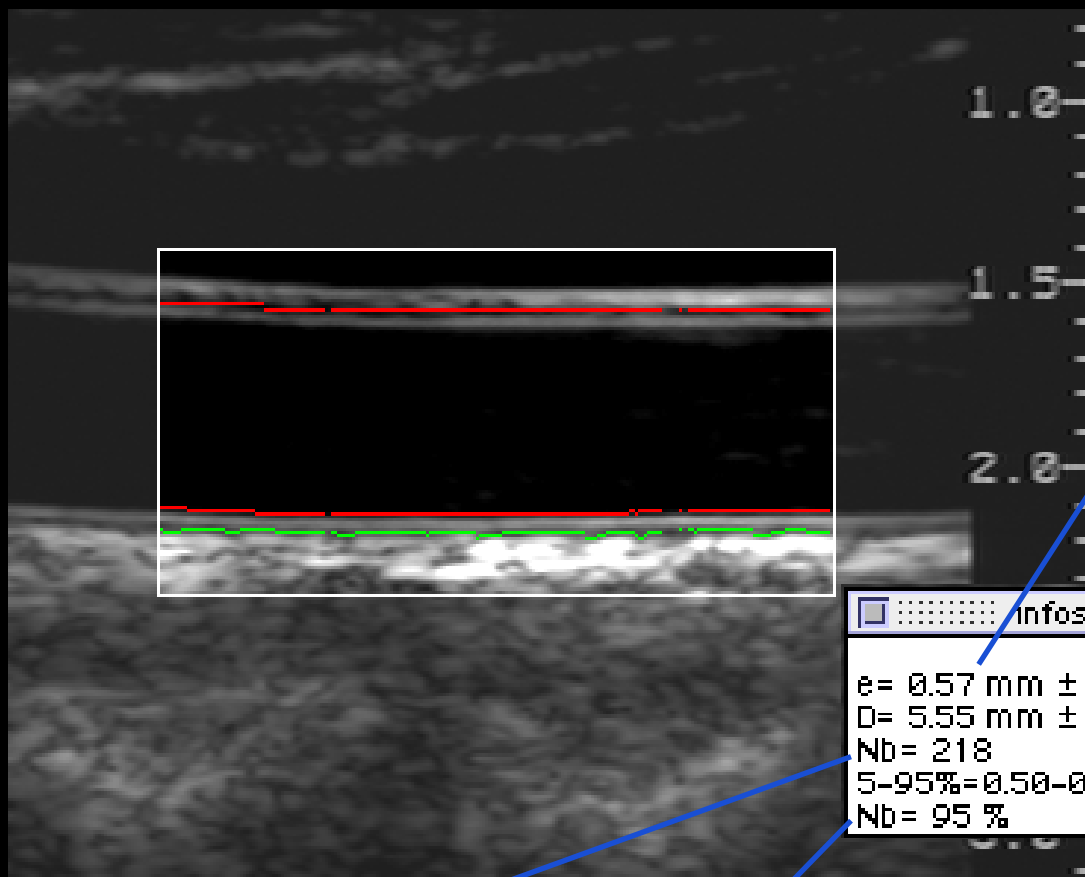
Numero de mediciones/cm = numero de pixels/cm

COLUMNA DE PIXELS





# Sistema Iô 2.0 - IôdP



Espesor medio  
± desvío standard

diámetro medio  
± desvío standard

infos  
e= 0.57 mm ± 0.05 mm  
D= 5.55 mm ± 0.05 mm  
Nb= 218  
5-95%= 0.50-0.70 mm  
Nb= 95 %

valores de 5 y  
95 percentiles

Número de puntos  
medidos

porcentaje de  
puntos medidos



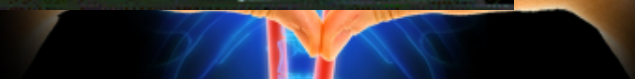
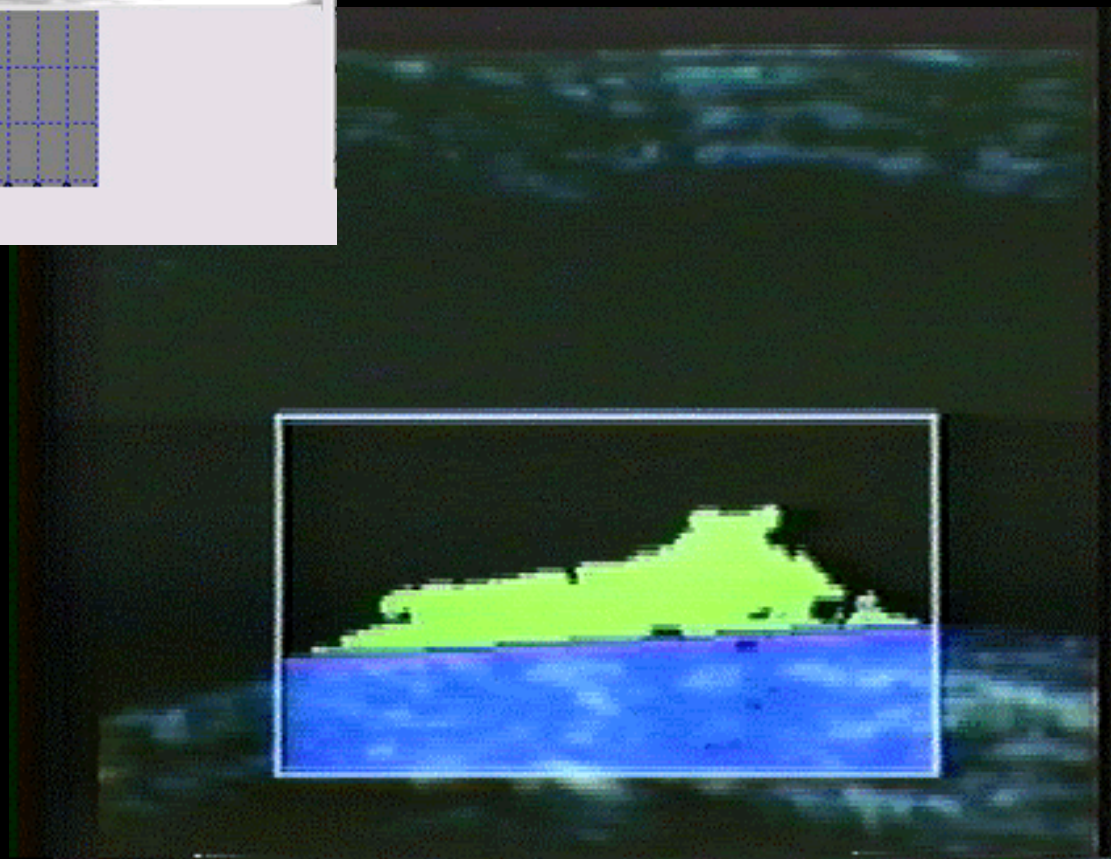
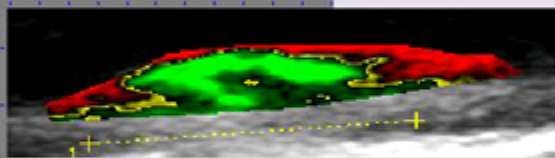
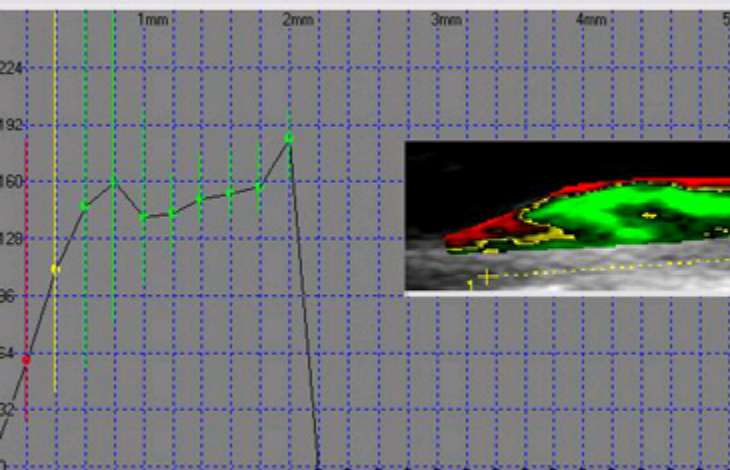
# Asociaciones entre IMT carotídeo y factores de riesgo cardiovascular y ciertas alteraciones cardiovasculares

- Tabaco
- Hipertensión
- LDL-colesterol
- Triglicéridos
- Fibr. plasmático
- Hipertrofia VI
- Lesiones sust blanca
- Calcificación coronaria
- Enfermedad coronaria



# Tamaño y Caracterización de Placa



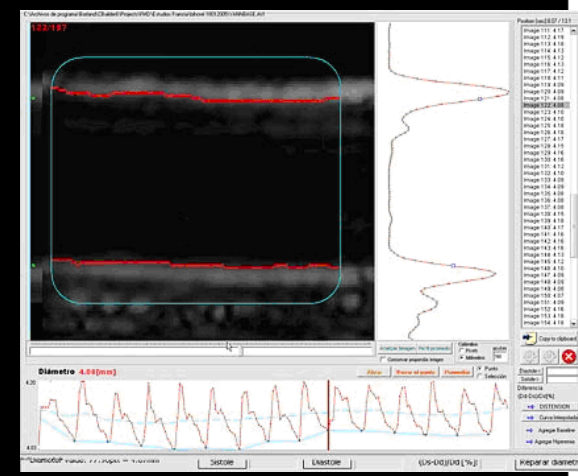
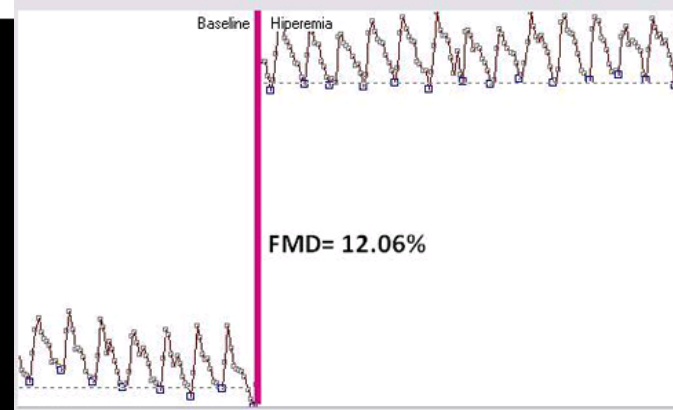
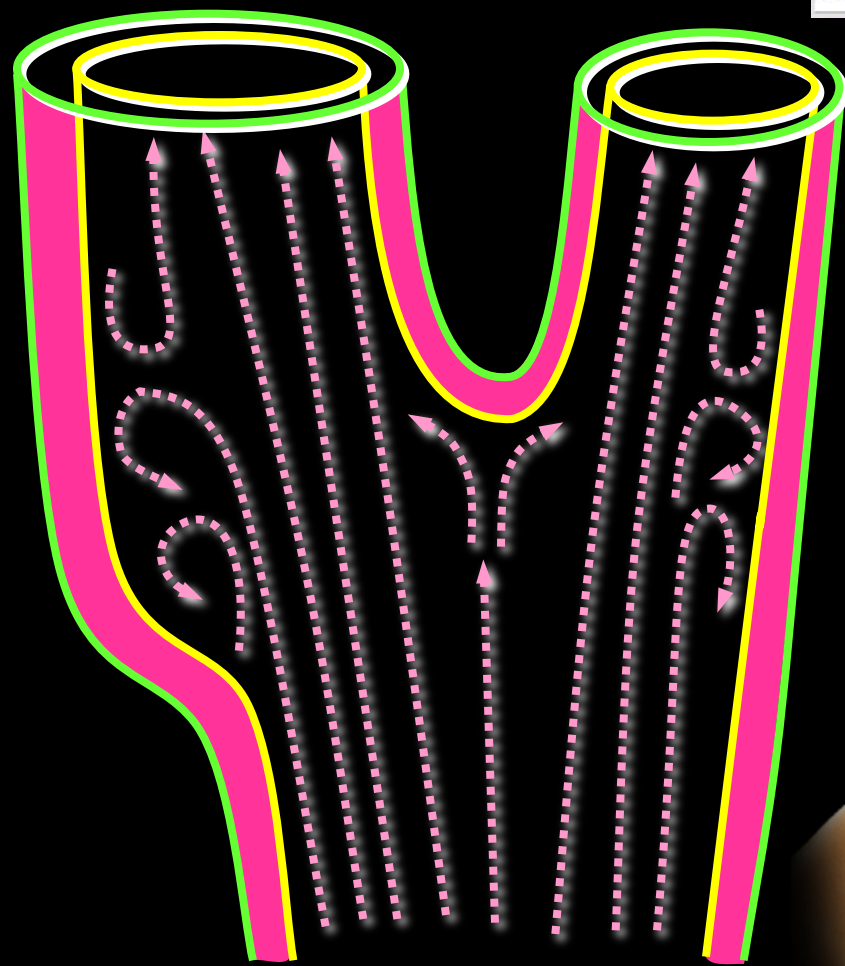




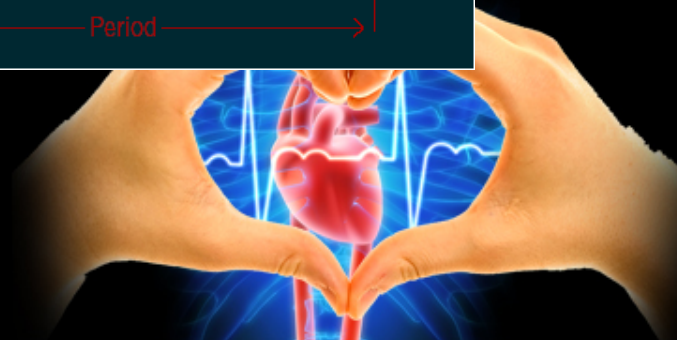
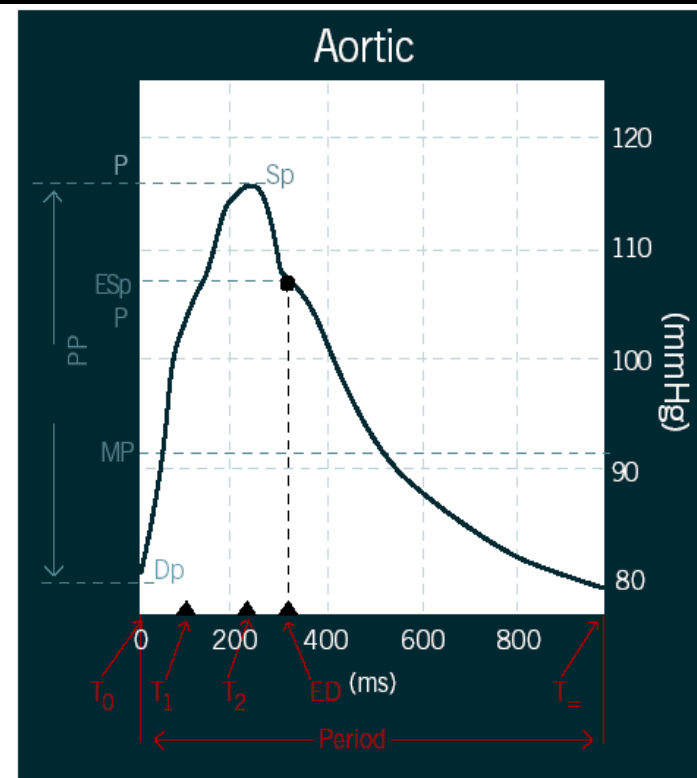
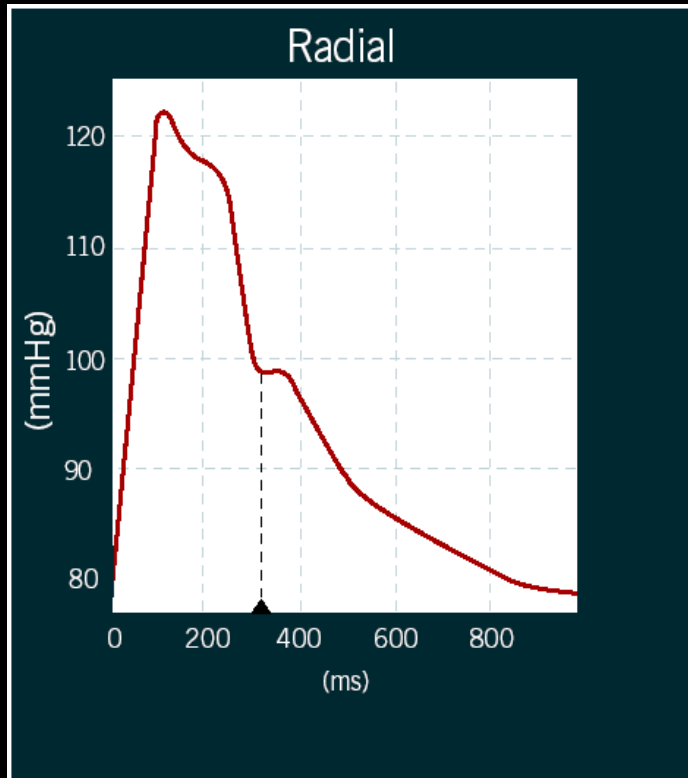
# Dilatación Mediada por Flujo



# Efecto de la fricción de la sangre sobre el endotelio



# ANALISIS DE LA FORMA DEL PULSO



# PRINCIPIOS DE LA OPERACIÓN

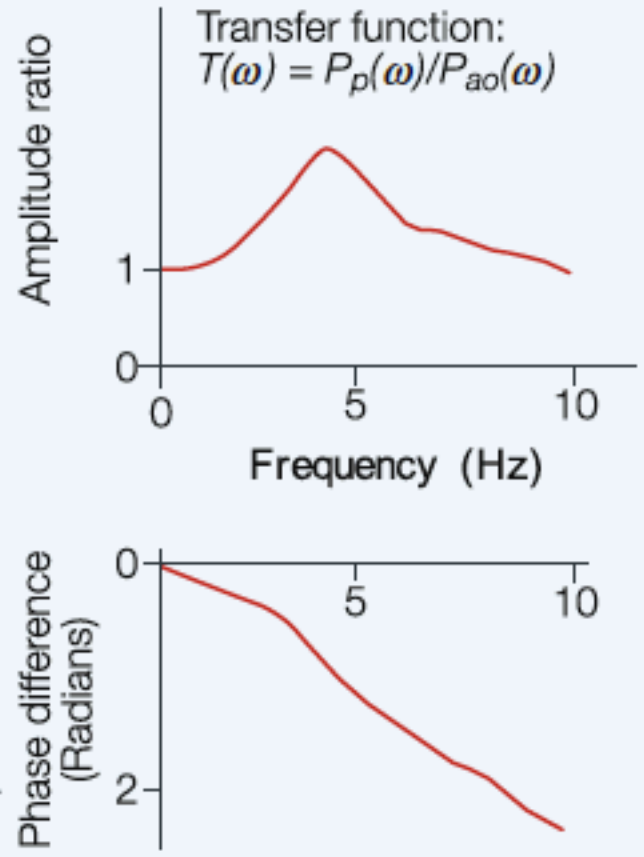
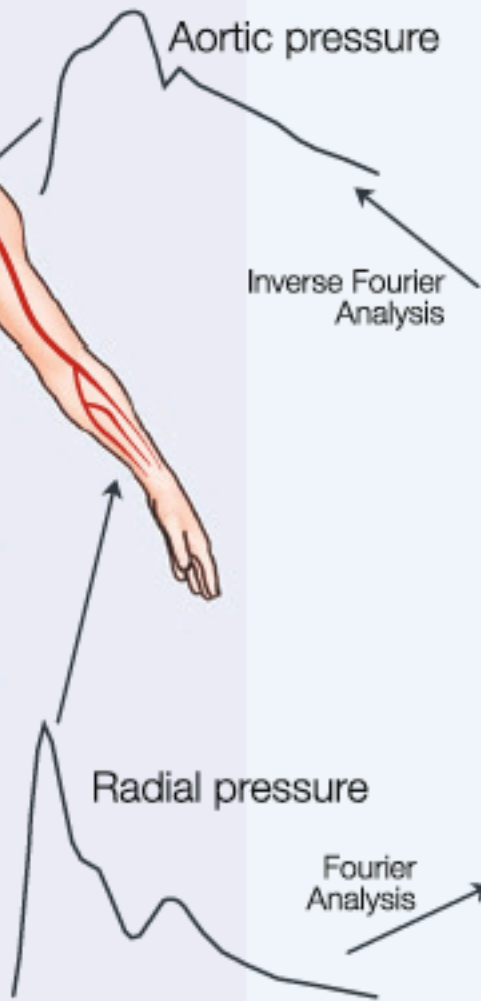
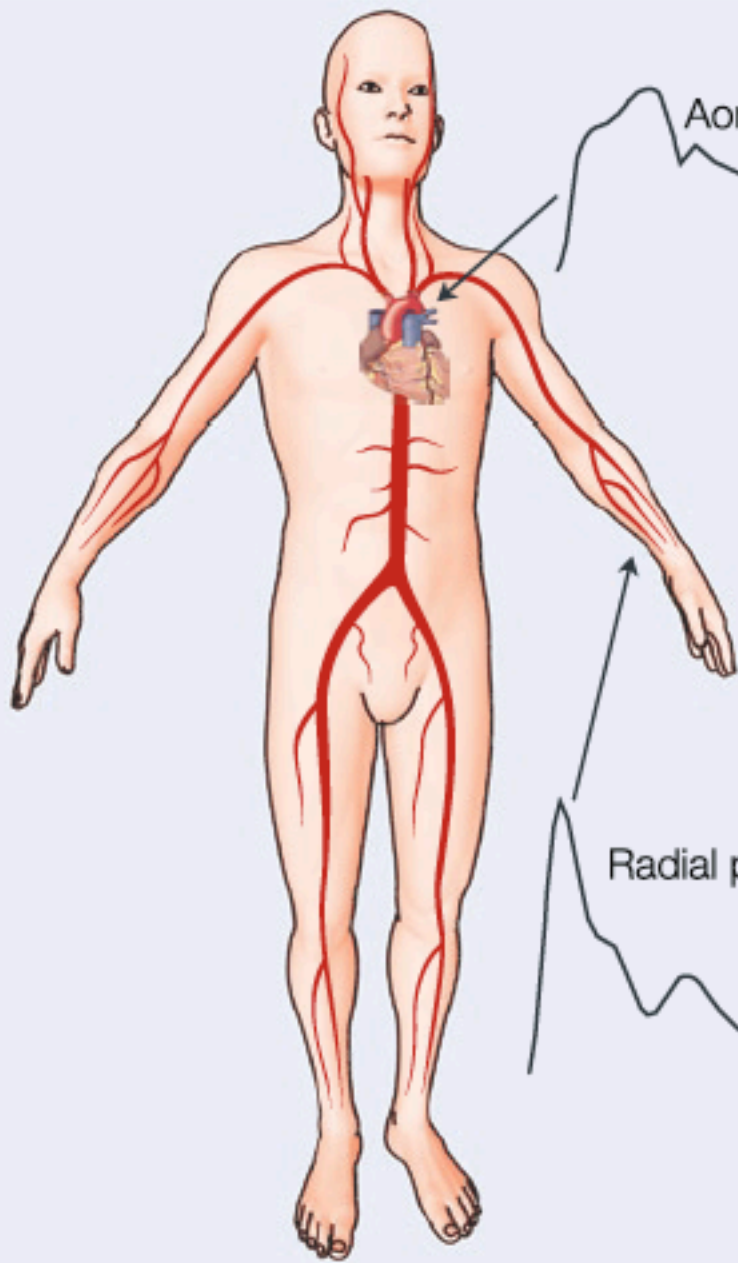
- Se realiza una tonometría de aplanación sobre la arteria radial para medir la presión de la onda del pulso.
- La función matemática de transferencia deriva la toma de la arteria radial en la onda aortica central ascendente.

Input = Presión del pulso en la arteria radial.

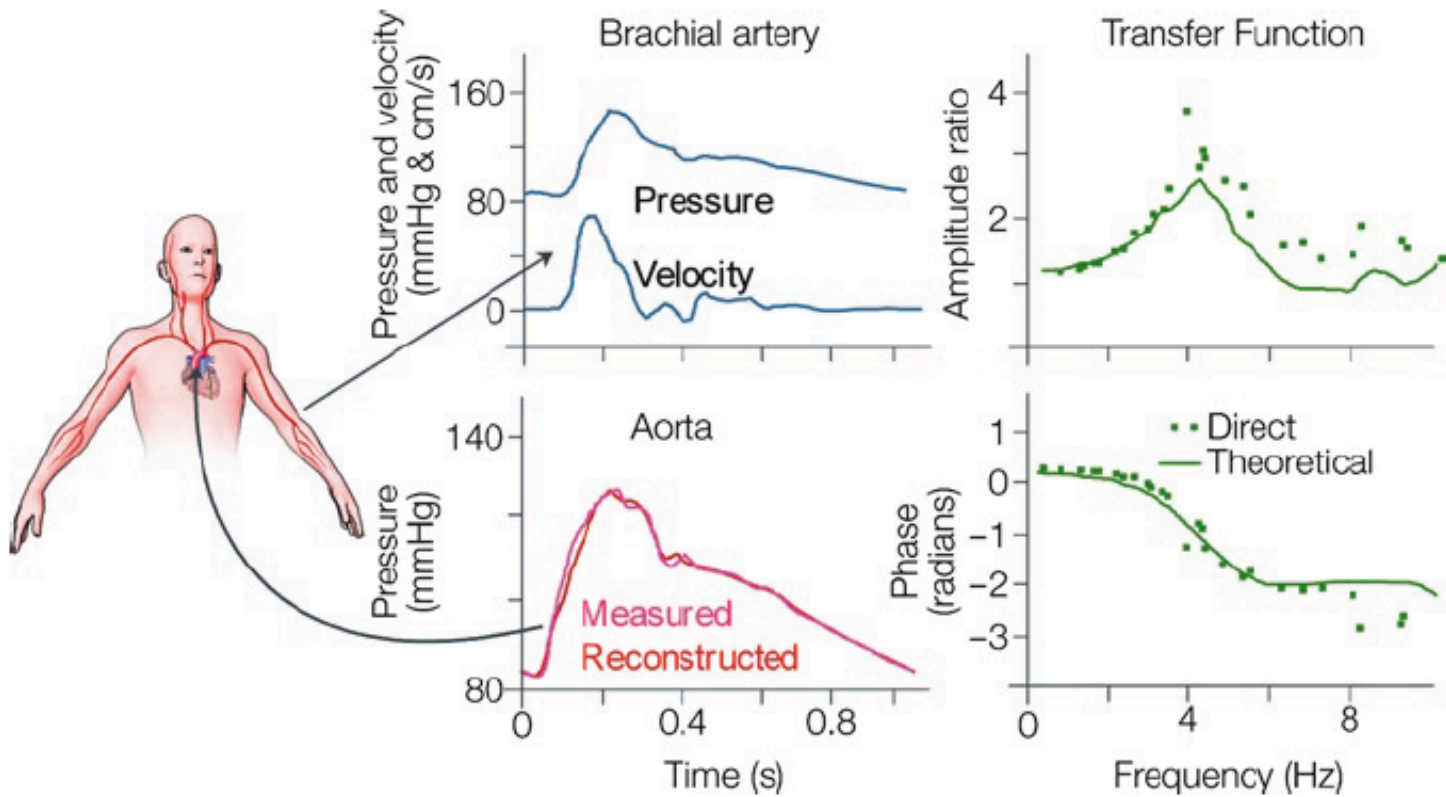
Output = Presión de onda en la orta ascendente.

(SphygmoCOR = Generalized transfer function approved by FDA)

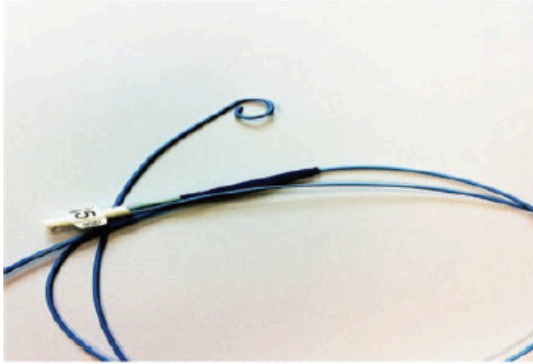




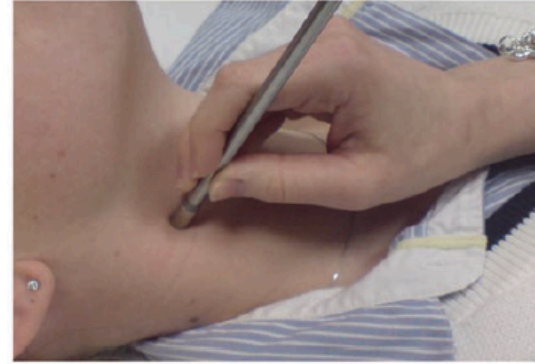




A



B



C



D



**Figure 4** Techniques for assessing central blood pressure. (A) Invasive cardiac catheterization; (B) direct applanation tonometry of the carotid artery; (C) applanation tonometry of the radial artery; (D) cuff-based oscillometry at the brachial artery.

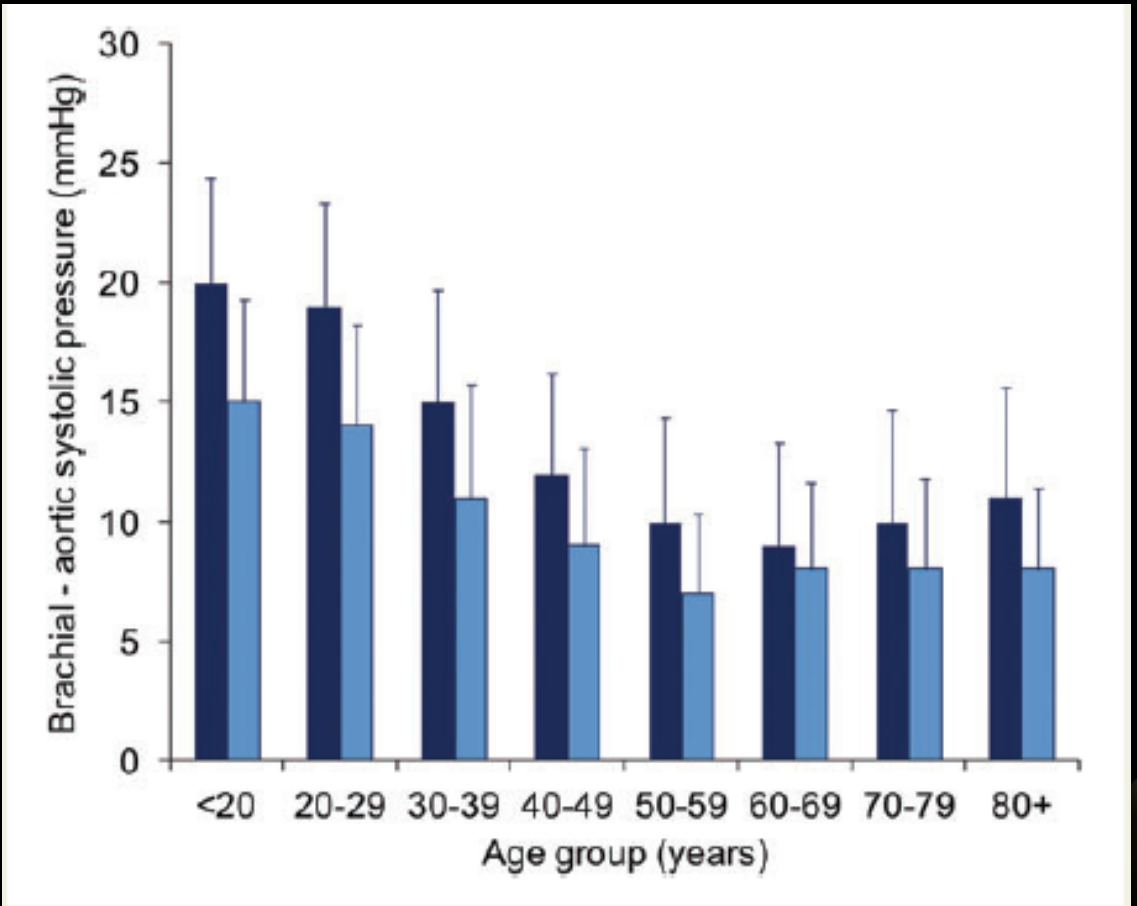
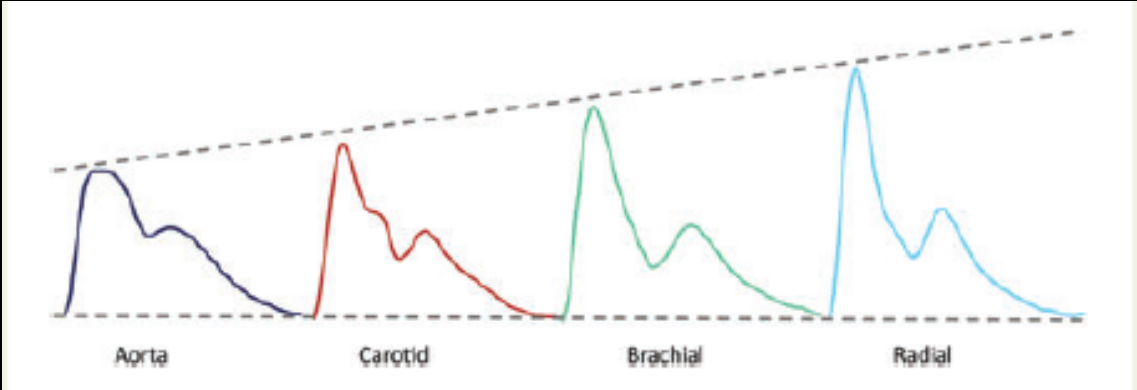


- La presión sistólica varía a través del árbol arterial.
- La presión sistólica central es menor que la sistólica braquial y esta diferencia es altamente dependiente entre individuos.



- Existe evidencia que la presión sistólica central es mejor predictor de eventos cardiovasculares que la braquial.
- Las drogas antihipertensivas pueden tener efectos diferenciales en las presiones centrales y braquiales.









**rarmentano@fing.edu.uy**

THE END