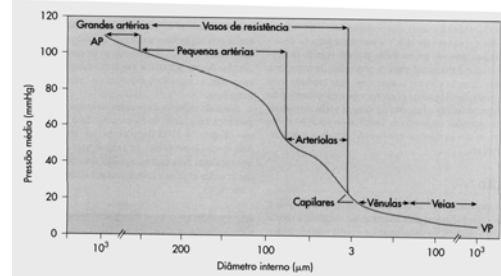
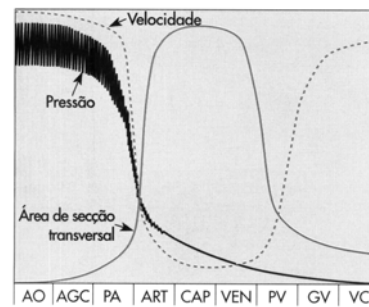




- Grandes artérias : resistência friccional é relativamente pequena e pressão pouco menores do que na aorta.
- Pequenas artérias: resistência moderada ao fluxo sanguíneo.
- Arteriolas: essa resistência atinge seu nível máximo- válvulas do sistema vascular.
- Assim, por essas razões observa-se uma queda de pressão maior nos segmentos terminais das pequenas artérias e arteriolas.



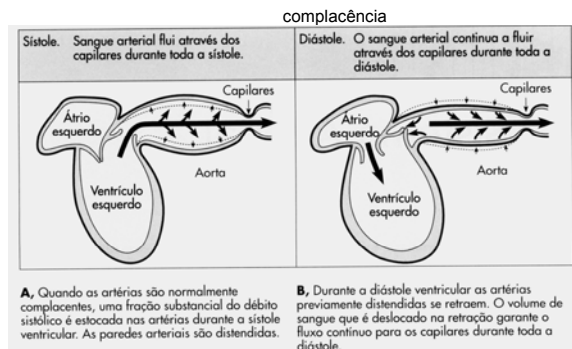
- O grau de contração da musculatura circular dos pequenos vasos (artérias e arteriolas) regulam o fluxo sanguíneo tecidos e auxiliam no controle da pressão arterial.
- Na arteriolas observa-se também mudança no padrão do fluxo sanguíneo de pulsátil para contínuo.
- O fluxo pulsátil é amortecido nos capilares pela combinação de dois fatores: distensibilidade das grandes artérias e resistência por atrito nas pequenas artérias e arteriolas.
- A área total de secção transversal do leito capilar é muito grande e a área de secção transversal de cada capilar é menor do que a de cada arteriola. assim a velocidade sanguínea se torna muito lenta nos capilares.



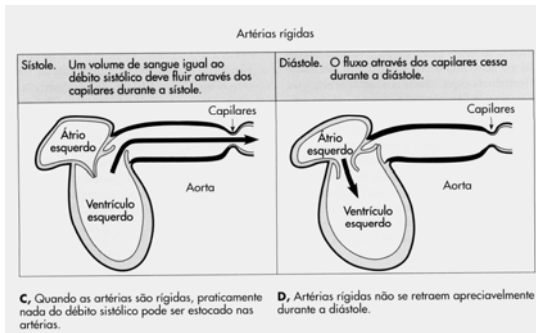
## O sistema arterial

- Principal função: distribuir sangue aos leitos capilares por todo o corpo.
- Condutos elásticos e terminais de alta resistência- são características do sistema arterial que também são compartilhadas por certos sistemas mecânicos de fluidos chamados filtros hidráulicos.
- Vantagem da filtração hidráulica no sistema arterial:
  - Converter o débito intermitente do coração em um fluxo estável nos capilares.

## Sinopse do filtro hidráulico

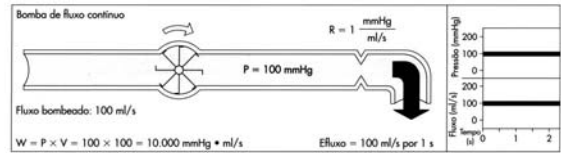


## Sinopse do filtro hidráulico



- A filtração hidráulica minimiza o trabalho do coração .
- Bombear um fluxo intermitentemente é necessário mais trabalho do que para bombeá-lo de maneira contínua.

- Exemplo:

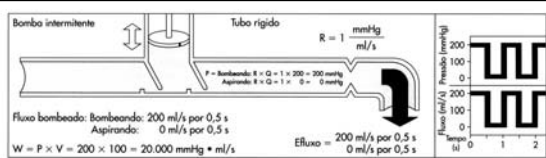


- O fluxo é estável, e a pressão permanecerá constante, independentemente da distensibilidade do conduto.

$$W = \int_{t_1}^{t_2} P \cdot dV \quad (1)$$

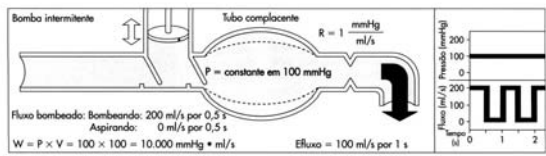
Para fluxo estável:

$$W = P \cdot V \quad (2)$$



O fluxo (Q) produzido pela bomba é intermitente; ele é contínuo para a metade do ciclo e cessa para a segunda metade do ciclo. O conduto é rígido, portanto, o fluxo produzido pela bomba durante o seu débito deve passar pela resistência no mesmo tempo de 0,5 s, em que é bombeado.

- A bomba deve realizar o dobro do trabalho realizado pela bomba em A.



A bomba opera como em B, mas o conduto é infinitamente distensível. Isso resulta em uma perfeita filtração da pressão; isto é, a pressão é estável, e o fluxo através da resistência é também estável. O trabalho é igual ao que em A.

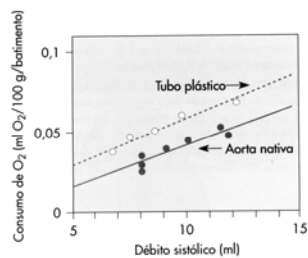
- A filtração realizada pelos sistemas arteriais, sistêmico e pulmonar, é intermediária entre o sistema com condutos rígidos (fig.B) e o sistema com ductos infinitamente distensíveis (fig.C).

- trabalho adicional (intermitência do bombeamento) – aproximadamente de 35% para o ventrículo direito e de 10% para o ventrículo esquerdo .

- As maiores necessidades de energia cardíaca impostas por um sistema arterial rígido são demonstradas experimentalmente.

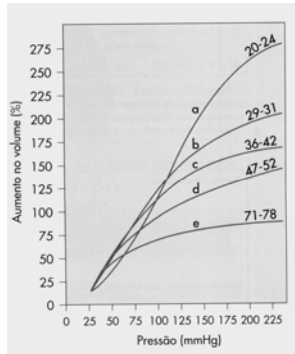
## Experimento

- Um grupo de cães anestesiados, do débito bombeado pelo VE podia fluir pela aorta ou ser desviado para um tubo plástico ligado às artérias periféricas. Resistências periféricas totais idênticas.



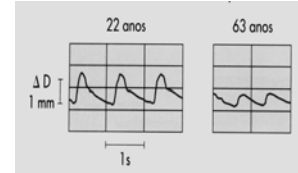
## Elasticidade arterial

- Um modo de apreciar as propriedades elásticas da parede arterial é considerar a relação: pressão–volume estática para a aorta.
- Para obter essa relação , aortas foram obtidas em autópsia de pessoas de diferente grupos etários. Todos os ramos da aorta foram ligados e volumes crescente de líquido foram injetados neste sistema elástico fechado.
- A cada aumento de volume a pressão interna foi medida .

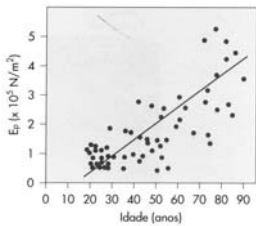


- A complacência aórtica em qualquer ponto da linha é representada pela inclinação,  $dV/dP$ .
- Em indivíduos jovens a complacência é maior no intervalo de pressões (75 a 140 mmHg) que prevalece em pessoas saudáveis.
- Em pessoas idosas, para qualquer pressão acima de 80 mmHg, a complacência diminui com a idade.
  - Manifestação do aumento da rigidez do sistema (arteriosclerose).

- Mudanças relacionadas à idade tem sido confirmadas por imagem de ultra-som.
- O aumento do diâmetro da aorta, produzido pela contração cardíaca, é menor em pessoas de idade avançada.



- Os efeitos da idade nos módulos elásticos da aorta em pacientes saudáveis.



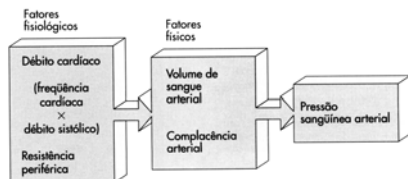
- O módulo elástico,  $E_p$ , é definido como:
  - $E_p = \Delta P / (\Delta D / D)$  (3)
- Onde:
  - $\Delta P$ : pressão de pulso da aorta
  - $D$ : diâmetro médio da aorta durante o ciclo cardíaco
  - $\Delta D$ : mudança máxima no diâmetro da aorta
- Mudança fracional do diâmetro ( $\Delta D / D$ ) da aorta reflete a mudança no volume aórtico qdo o VE ejeta sangue na aorta, em cada sístole.

- $E_p$ : inversamente relacionada à complacência
  - Razão  $\Delta V$  por  $\Delta P$
- Assim:
  - Aumento do módulo elástico com a idade
  - E o decréscimo da complacência com a idade

↓  
refletem o enrijecimento das paredes arteriais qdo os indivíduos envelhecem.

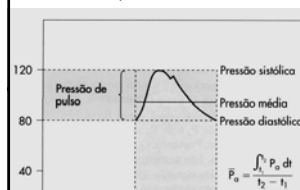
### Determinantes da pressão sanguínea arterial

- Esses determinantes não podem ser avaliados precisamente.
- Arbitrariamente dos determinantes da pressão sanguínea arterial serão divididos em fatores “físicos” e “fisiológicos”.



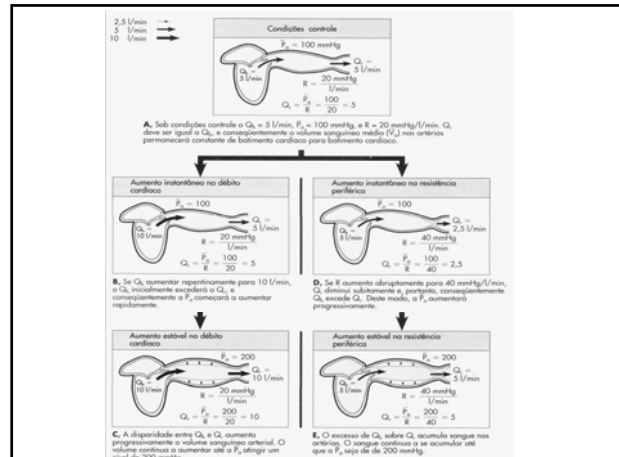
### Pressão arterial média

- A  $P_a$  pode ser estimada de um registro da pressão sanguínea arterial pela medida da área sob a curva sobre o intervalo de tempo.
- Alternativamente,  $\bar{P}_a$  pode ser obtida pelos valores medidos das pressões sistólica ( $P_s$ ) e diastólica ( $P_d$ )

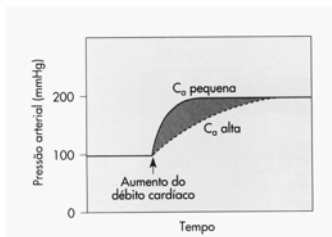


$$P_a = P_d + (P_s - P_d) / 3 \quad (4)$$

- $P_a$  depende de 2 fatores físicos: volume sanguíneo médio no sistema arterial e complacência.
- O volume,  $V_a$  depende:
  - do influxo,  $Q_h$ , do coração para as artérias do coração (débito cardíaco)
  - e do fluxo de saída,  $Q_r$ , das artérias através dos vasos de resistência (fluxo periférico).
- Matematicamente:
- $dV_a/dt = Q_h - Q_r$  (5)
- Se o influxo exceder o efluxo arterial, o volume aumenta, as paredes arteriais são estiradas e a pressão aumenta.
- O contrário acontece qdo o efluxo excede o influxo.



- Para qualquer valor da complacência arterial ( $C_a$ ), a inclinação diminui gradualmente com o aumento de pressão e está próxima ao seu valor assintótico final (equilíbrio).
- O valor atingido pela pressão arterial no equilíbrio independe das características elásticas das paredes arteriais.

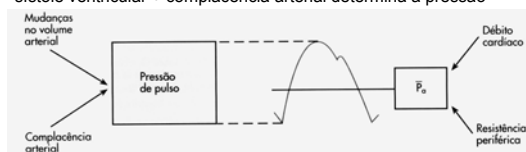


## Resistência periférica

- Mudanças na pressão arterial média acompanham alterações na resistência periférica.
- Ex. anterior:  $Q_h = 5$ ,  $P_a = 100$ , e  $R = 20$
- Caso  $R = 40$ , nos instantes iniciais a  $P_a$  permanece inalterada
- O  $Q_r = P_a / R = 2,5 \text{ l/min}$
- Se  $Q_h = 5$ , constante,  $Q_h > Q_r$  -  $P_a$  aumentará
- $P_a$  aumentará até atingir  $200 \text{ mmHg}$ .
- O  $Q_r = 200 / 40 = 5 \text{ l/min} = Q_h$
- A pressão arterial média permanecerá nesse novo nível de equilíbrio enquanto  $Q_h$  e  $R$  não mudarem novamente.

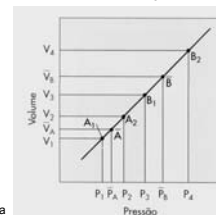
## Pressão de pulso arterial

- Definida como a diferença entre as pressões sistólica e diastólica.
- A pressão de pulso arterial é função de apenas um fator fisiológico, o débito sistólico.
  - mudança no volume sanguíneo arterial (f. físico) durante a sístole ventricular + complacência arterial determina a pressão



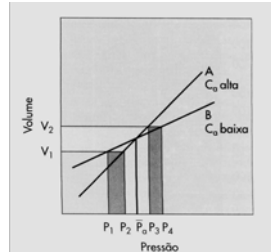
## Débito sistólico

- O efeito de uma mudança no débito sistólico sobre a pressão de pulso pode ser analisado sob condições em que complacência arterial ( $C_a$ ) permanece virtualmente constante.



- $P_1$  pressão diastólica
- $P_2$  pressão sistólica

- A complacência arterial afeta a pressão de pulso.
- A complacência arterial diminuída impõe uma maior carga ao VE de pessoas idosas em comparação com pessoas jovens, mesmo se os débitos sistólicos, resistência periférica total e as pressões arteriais médias forem iguais nos dois indivíduos.



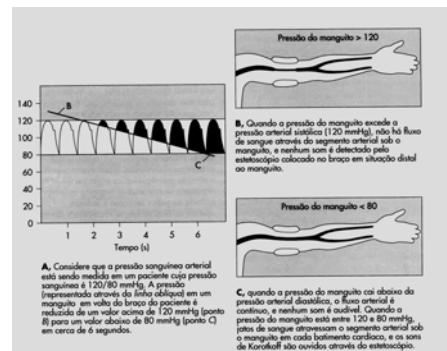
## Curvas de pressão arterial periférica

- Ejeção ventricular esquerda inicia uma onda de pressão que se propaga pela aorta e suas ramificações.
  - Onda de pressão viaja mais rapidamente do que o sangue
- Essa onda de pressão é o "pulso"
  - Detectado na palpação de uma artéria periférica.
- Velocidade da onda de pressão varia inversamente com a complacência arterial.

## Medição da pressão sanguínea em humanos

- Diretamente: transdutores de pressão média
  - Agulhas ou cateteres introduzidos nas artérias periféricas.
- Indiretamente: esfigmomanômetro
  - Manguito não complacente que contém uma bolsa inflável.
  - Método da palpação:
    - medida de pressão sanguínea feita no braço
    - Palpação da artéria radial do punho.
    - Pressão na bolsa excede o nível sistólico – pulso não percebido
    - Pressão na bolsa cai abaixo do nível sistólico-jato de sangue- pulso

- Método auscultatório:



## Microcirculação

- Definida como a circulação de sangue através do menores vaso do corpo- arteríolas, capilares e vênulas.
- Arteríolas dão origem aos capilares e regulam o fluxo através dos capilares pela sua constrição ou dilatação.

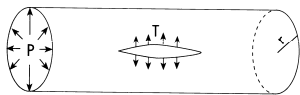
## Propriedades funcionais dos capilares

- Distribuição varia de tecido a tecido
  - Tecidos metabolicamente ativos ( cardíaco, muscular, esquelético e glandular)- alta densidade
  - Tecidos menos ativos (subcutâneo, cartilaginoso)- baixa densidade.
- Apresentam diâmetro variável.
- Fluxo sanguíneo depende principalmente do estado contrátil das arteríolas.
- Velocidade média do fluxo: 1mm/segundo
  - variando de 0 a vários mm/s no mesmo vaso em um breve período.
  - Essas oscilações podem ser aleatórias ou rítmicas (vasomotilidade).

- Alterações na pressão transmural (pressão intravascular - pressão extravascular)- influenciam o estado contrátil dos vasos pré-capilares.
- Fatores humorais e neuronais também afetam a vasomotilidade.
- Verdadeiros capilares são destituídos de músculo liso.
  - Incapazes de uma contração ativa
  - Vasos endoteliais da parede do capilar - actina e miosina que podem alterar a sua forma em resposta a estímulos químicos.

## A lei de Laplace

- Devido aos seus lúmens estreitos os capilares de paredes finas podem tolerar pressões internas elevadas sem se romperem.
- Propriedade essa explicada pela lei de Laplace.
- Equação:  $T = Pr$
- Onde: T= tensão na parede do vaso
  - P= pressão transmural
  - r= raio do vaso



- T- (força por unidade de comprimento de um vaso de paredes finas) tende a afastar as bordas de uma fenda longitudinal no vaso se opondo à força de distensão (Pr).
- P- pressão transmural = pressão transluminal.

- A equação de Laplace pode ser aplicada a vasos de paredes espessas como a aorta.
- Para tal considera-se a espessura parietal da aorta:
  - Pr (pressão x raio)/ w (espessura da parede)

- A equação torna-se:

$$\sigma \text{ (estresse parietal)} = Pr/w$$

- $\sigma$ - é a força por unidade de área dentro da parede do vaso.

- A pressão é convertida a dinas por centímetro quadrado, de acordo com a equação:
- $P = hpg$  onde:
  - h: altura de um coluna de Hg em cm.
  - P: densidade do Hg em g/cm<sup>3</sup>
  - g: aceleração da gravitacional em cm/s<sup>2</sup>
- Assim, com pressões aórtica e capilares normais, a tensão na aorta é cerca de 12000 vezes maior do que a do capilar.

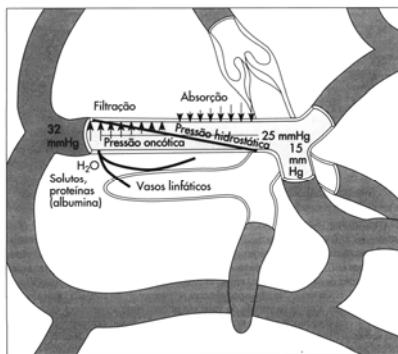
Tabela 20-1 Tensão na aorta e em um capilar

	Aorta	Capilar
Raio (r)	1,5 cm	$5 \times 10^{-4}$ cm
Altura da coluna de Hg (h)	10 cm Hg	2,5 cm Hg
$\rho$	13,6 g/cm <sup>3</sup>	13,6 g/cm <sup>3</sup>
g	980 cm/s <sup>2</sup>	980 cm/s <sup>2</sup>
P	$10 \times 13,6 \times 980 = 1,33 \times 10^6$ dina/cm	$2,5 \times 13,6 \times 980 = 3,33 \times 10^6$ dina/cm
w	0,2 cm	$1 \times 10^{-4}$ cm
T = Pr	$(1,33 \times 10^6)(1,5) = 2 \times 10^6$ dina/cm	$(3,33 \times 10^6)(5 \times 10^{-4}) = 16,7$ dina/cm
$\sigma = Pr/w$	$2 \times 10^6/0,2 = 1 \times 10^7$ dina/cm <sup>2</sup>	$16,7/1 \times 10^{-4} = 1,67 \times 10^7$ dina/cm <sup>2</sup>

- Além de explicar a capacidade dos capilares suportarem as grandes pressões internas, a partir desses cálculos podemos concluir que, conforme os vasos se dilatam, o estresse parietal aumenta se a pressão interna permanecer constante.

## Forças hidrostáticas

- A pressão hidrostática (pressão sanguínea) dentro dos capilares não é constante.
  - Depende da pressão arterial e da pressão venosa.
  - Das resistências pré-capilares (arteríolas) e pós capilares (vênulas)
- A pressão hidrostática é a principal força na filtração capilar.
- A pressão hidrostática capilar ( $P_c$ ) varia de  $t_c$  a  $t_c$ .
  - Valores médios aproximados
    - 32mmHg na extremidade arterial dos capilares
    - 15mmHg na extremidade venosa dos capilares no nível do coração



- A pressão no líquido intersticial ( $P_i$ ) –fora dos capilares opõe-se à filtração capilar.
- $P_c - P_i =$  força motriz para a filtração, normalmente,  $P_i = 0$

## Forças osmóticas

- Pressão osmótica das proteínas plasmáticas ou oncótica ( $\pi_p$ ): Fator chave que restringe a perda de líquidos dos capilares.
- Pressão osmótica total do plasma: 6000 mmHg
- Pressão oncótica: 25 mmHg

- Pressão oncótica real ( $\pi$ ) é definida pela equação:

$$\pi = \sigma RT(C_i - C_o)$$

Onde:  $\sigma$  : coeficiente de reflexão

R: constante dos gases

T: temperatura absoluta

$C_i$  e  $C_o$ : concentração do soluto dentro e fora do capilar.

## Balço entre forças hidrostáticas e osmóticas

- Starling (1896) : A relação entre as pressões hidrostática e oncótica e o papel destas forças na regulação da passagem do líquido pelo endotélio capilar.

- Equação de Starling:

$$Q_r = K[(P_c + \pi_i) - (P_i + \pi_p)]$$

- $Q_r$ - movimento do líquido
- $P_c$ - pressão hidrostática no capilar
- $P_i$ - pressão hidrostática no líquido intersticial
- $\pi_p$ - pressão oncótica plasmática
- $\pi_i$ - pressão oncótica do líquido intersticial
- K- constante de filtração para membrana capilar.

- Pressão capilar depende de vários fatores
  - Principal : estado contrátil do vaso pré capilar
  - Normalmente a pressão arterial, a pressão venosa, a resistência pós capilar, pressões hidrostáticas e oncóticas do líquido intersticial e pressão oncótica plasmática são relativamente constantes.
    - Em estado normal: filtração e absorção na parede capilar são equilibradas.