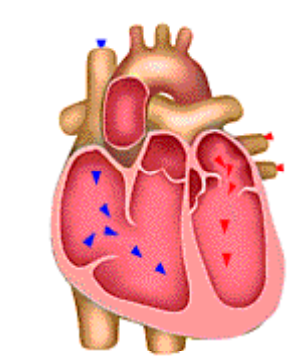


**UNIVERZITET U TUZLI
MEDICINSKI FAKULTET
KATEDRA ZA BIOFIZIKU**



BIOFZIKA

KARDIOVASKULARNI SISTEM



KARDIOVASKULARNI PROCESI

Kardiovaskularni sistem

Srce

Srčani ciklus (srčana revolucija)

Radni efekat srca

Krvotok

Srednja brzina lamilarnog kretanja krvi

Intenzitet protoka (ili protok) krvi kroz krvni sud

Otpor krvnog suda

Pritisak u krvnom sudu

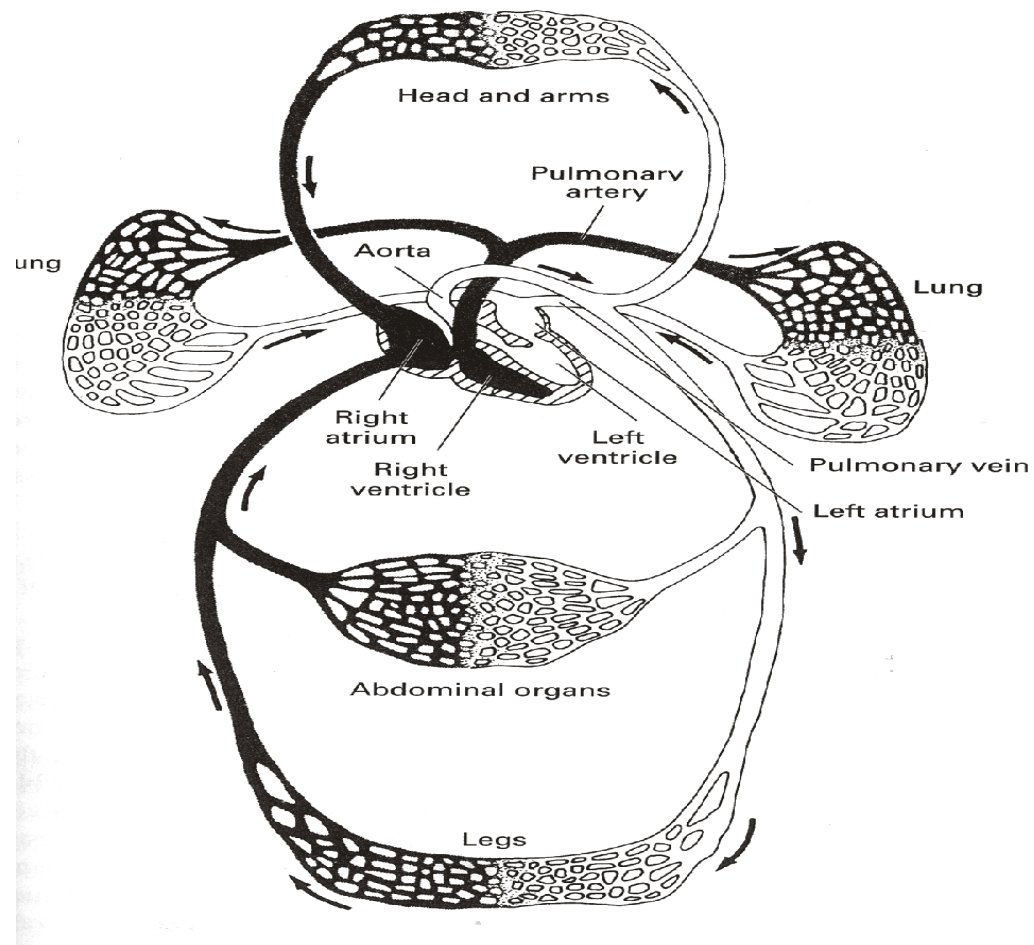
Elastičnost krvnih sudova

Regulisanje krvnog pritiska

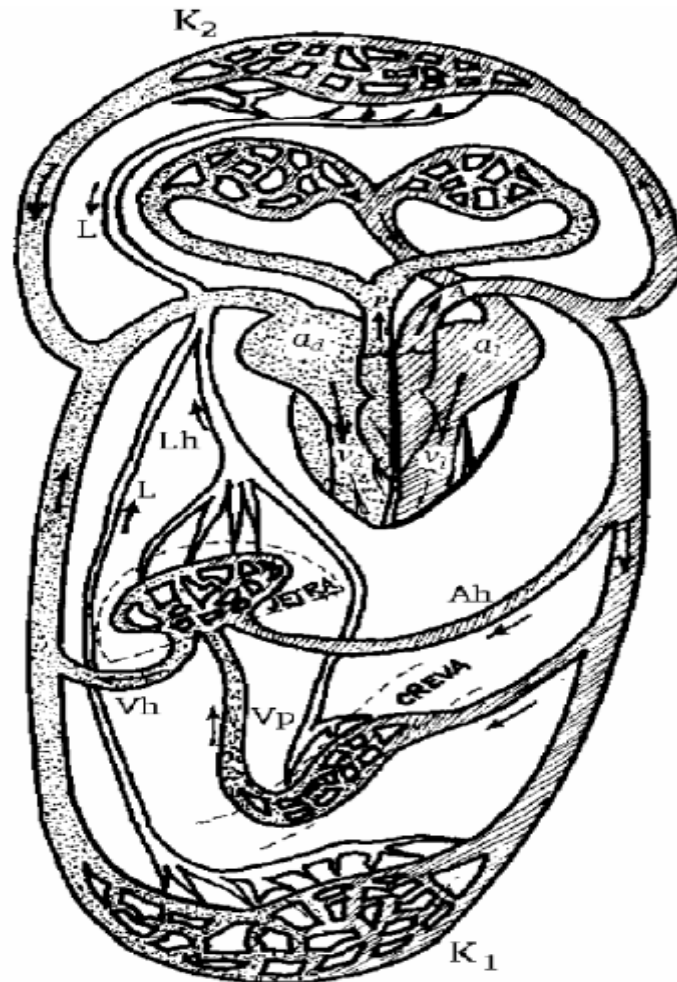
Raspodela krvi u organizmu

Kardiovaskularni sistem

- Srce
- Krvni sudovi (arterije, kapilare, vene)

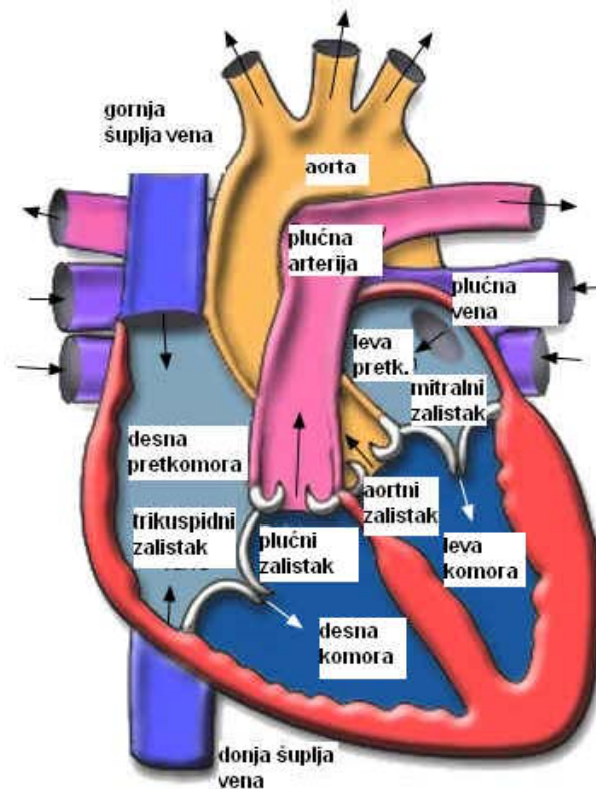


Shema krvotoka



SRCE

Centralni šuplji mišićni organ (Uloga: vrši ritmičke kontrakcije ;
Rezultat: dovoljno velik gradijent pritiska između početnog i završnog
dijela krvotoka).



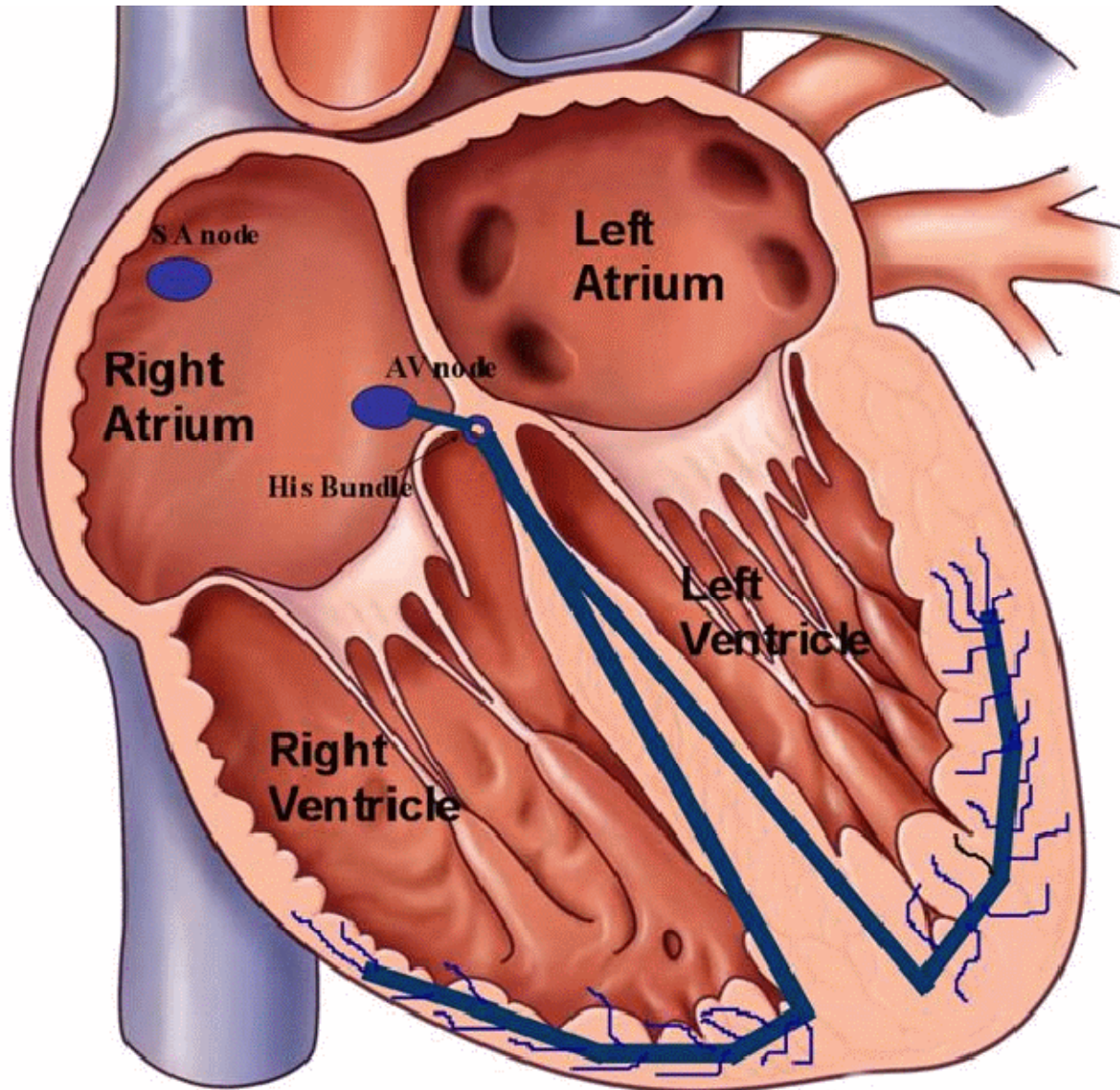
Između komora i pretkomora nalaze se atrio-ventrikularni zalisci !!!

Mišićni zid srca (miokard) je sastavljen od poprečnoprugastih mišićnih vlakana specijalne građe:

- Strukturno (poprečno-prugastim (skeletnim) mišićima)
- Funcionalne specifičnosti (ritmičko grčenje) približne osobine kao glatki mišići unutrašnjih organa !!!!!!!!!!

Ritmičko grčenje srca reguliše se:

- ✓ sinusnim čvorom (Kejt – Flakov čvor), koji se nalazi u zidu desne pretkomore;
- ✓ pretkomorno-komorni čvor (Ašof-Tavarinov čvor), koji je podređen sinusnom čvoru.

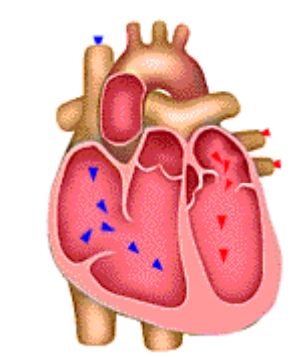


Srčani ciklus (srčana revolucija)

Dvije faze:

Sistola (grčenje srca)

Dijastola (opuštanje srca, i punjenje pretkomora i komora krvlju)



Maksimalni pritisak za vrijeme srčanog ciklusa je sistolni a minimalan pritisak je dijastolni. (sistolni/dijastolni)

Mladi zdravi ljudi:

- **sistolni pritisak 120 mmHg (torr)**
- **dijastolni pritisak 80 mmHg (torr)**

Oko 60% od ukupnih 200 ml krvi u svakoj komori se ne isprazni pri sistoli !!

Trajanje pojedinih faza srčanog ciklusa za frekvencu srca 75 otkucaja/min
(Izvor: D.Raković, 2008.)

Trajanje celokupne srčane revolucije	0,80 s
Sistola pretkomora	0,10 s
Dijastola + punjenje pretkomora	0,70 s
S i s t o l a	0,25 – 0,30 s
Period zatezanja (izometrijska faza)	0,04 – 0,06 s
Period istiskivanja	0,21 – 0,30 s
	0,09 – 0,14 s
	0,12 – 0,16 s
D i j a s t o l a	0,50 s
Prava dijastola - opuštanje	0,21 s
Punjenje komora	0,29 s

Normalna frekvenca: 60-100 otkucaja/min

Spavanje može pasti do 40 otkucaja/min

Fizička aktivnost: 160 otkucaja/min

Radni efekat srca

$$A_S = \bar{p}_a \cdot \Delta V_S$$

U toku jedne sistole (u mirnom stanju osobe) radni efekat srca iznosi:

$$A_S \approx A_{sd} + A_{sl} \approx 0.1J + 0.8J \approx 0,9J$$

Regulisanje srčanog rada je moguće sa dvije grupe faktora:

- hemijskim (humoralnim),
- nervnim

Navedeni faktori mogu uticati na automatski rad srca.

Najznačajniji humoralni faktori – hormoni !!!

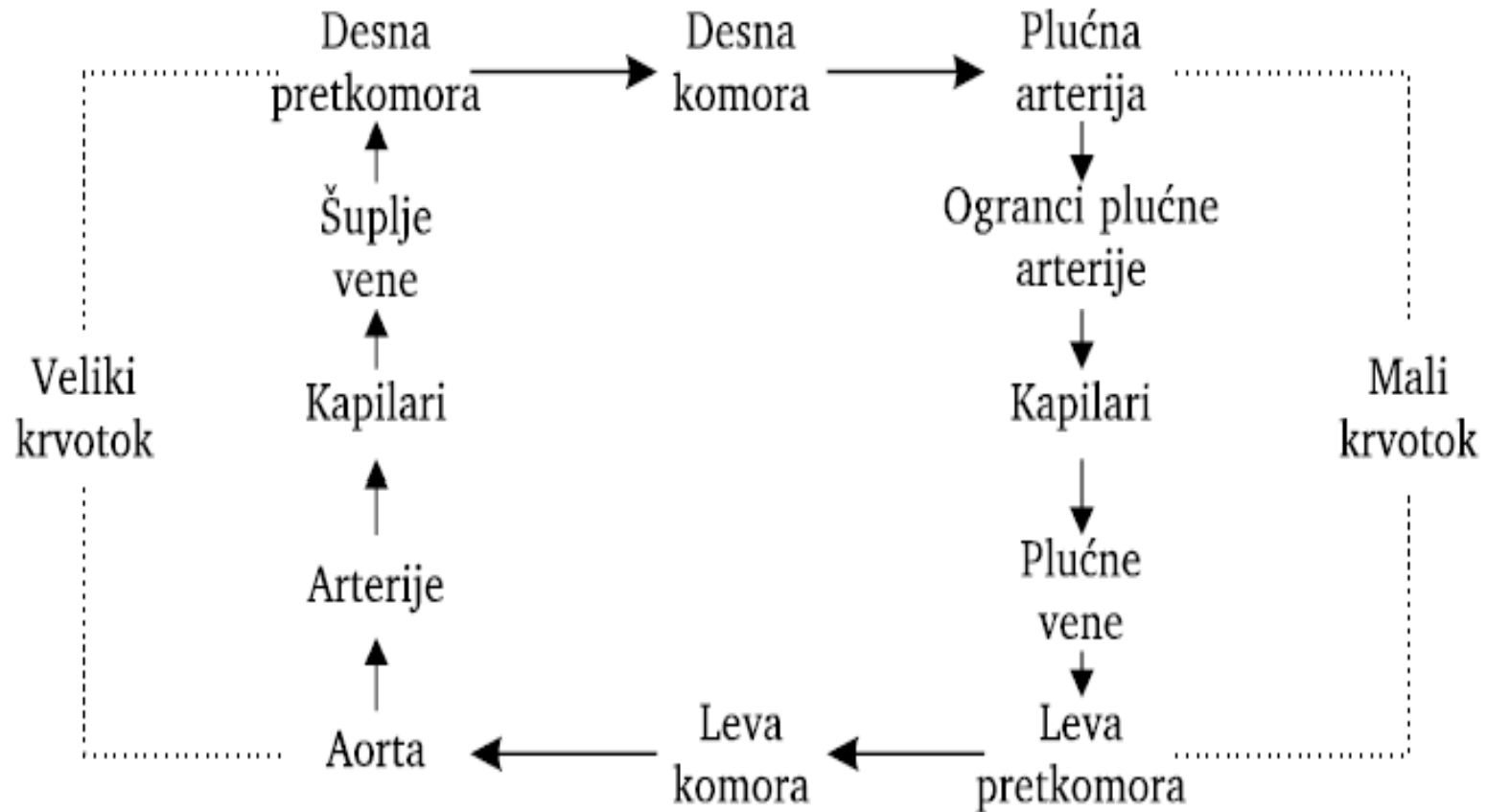
- Inhibitorno (acetilholin, insulin, vazopresin, itd.)
- Stimulativno (adrenalin, noradrenalin, tiroksin, itd.)

Inervacija srca je ostvarena antagonističkim dejstvom oba djele autonomnog nervnog sistema: simpatikusa (djeluje stimulativno) i parasimpatikusa (djeluje inhibitorno).

Medijatori u prenošenju nervnih uticaja vegetativnog sistema su hormoni !!!!!

KRVOTOK

- Veliki (tjelesni krvotok)
- Mali (plućni krvotok)



Srednja brzina laminarnog kretanja krvi u krvnom sudu poluprečnika r i dužine l , data je Hagenovim zakonom (1839):

$$v = \frac{r^2}{8 \cdot \eta} \cdot \frac{p_1 - p_2}{l} = \frac{r^2 \Delta p}{8 \cdot \eta \cdot l}$$

Δp – razlika pritiska na krajevima krvnog suda (fiziološki – *srednji pritisak krvnog suda*)

$$\frac{\Delta p}{l}$$

- gradijent krvnog pritiska

Biomehanička svojstva krvotoka određena su *gradijentom pritiska* u krvnim sudovima i *viskoznošću krvi*.

Vrijednosti krvnog pritiska u raznim djelovima krvotoka

<i>Krvni sud</i>	<i>Pritisak (mmHg) ²</i>
Aorta	110-130
Krupne arterije ekstremiteta	100-120
Manje arterije ekstremiteta	70-90
Kapilari	20-40
Sitne vene	oko 18
Krupne vene ekstremiteta	10-12
Šuplje vene - udisaj	2-5
Šuplje vene - izdisaj	0-3

2* 1mmHg = 133.322 Pa

Intenzitet protoka krvi kroz krvni sud

$$I = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{\Delta l \cdot S}{\Delta t} = v \cdot S = v \cdot r^2 \pi$$

Uvrstimo li sada izraz za srednju brzinu laminarnog toka krvi u krvnom sudu u prethodnu relaciju dobijamo Poazejev zakon:

$$I = \frac{\pi \cdot r^4 \Delta p}{8 \cdot \eta \cdot l}$$

Otpor krvnog suda (hidraulični otpor krvotoka)

$$R = \frac{\Delta p}{I} = \frac{8 \cdot \eta \cdot l}{\pi \cdot r^4} \quad \left(\frac{\text{Pa} \cdot \text{s}}{\text{m}^3} \right)$$

Pritisak u krvnom sudu je definisan relacijom

$$\Delta p = \frac{8 \cdot \eta \cdot l \cdot v}{r^2}$$

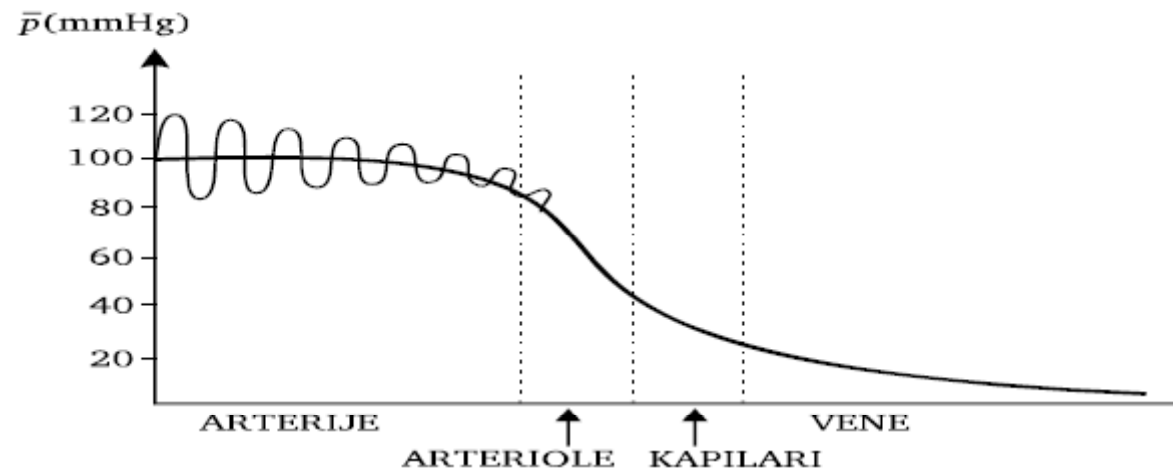
l – dužina krvnog suda,

v – srednja brzina proticanja,

r^2 - poprečni presjek krvnog suda.

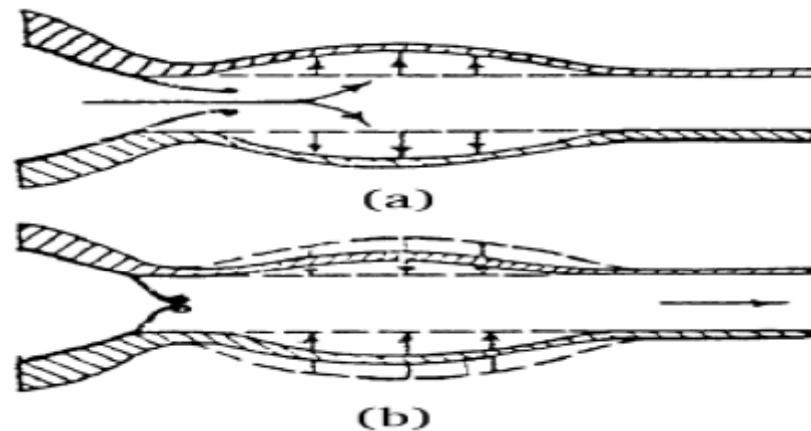
Sužavanje kapilara dovodi do porasta pritiska u njima!!!!

Vrijednosti krvnog pritiska u raznim djelovima krvotoka



Oscilacije krvnog pritiska (na slici) uzrokovane su promjenom vrijednosti arterijskog pritiska tokom srčanog ciklusa i respiracionih oscilacija grudnog koša.

Elastičnost krvnih sudova, posebno arterija, je od vitalnog značaja za kontinuirano proticanje krvi.



Slika: Promje elastičnog zida aorte za vrijeme ubacivanja krvi iz srca.
a) pri sistoli komore
b) po prestanku sistole

Elastični talas se širi duž cijele arterije kao pulsni talas, brzina je data Jungovom jednačinom:

$$v = C \sqrt{\frac{E \cdot d}{2 \cdot \rho \cdot r}}$$

E – Jungov modul elastičnosti arterije,

ρ – specifična gustoća krvi,

d – debljina zida arterije,

r – njen unutrašnji poluprečnik,

C – empirijska konstanta koja zavisi od uslova proticanja krvi.

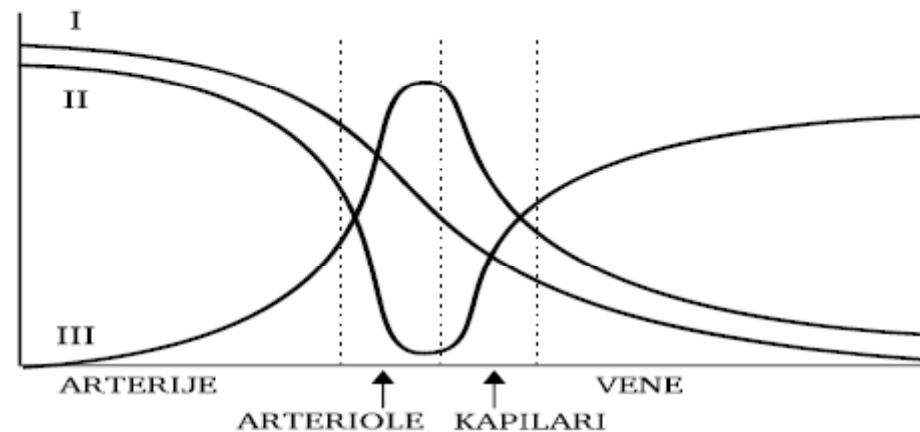
Brzina pulsnoeg talasa eksperimentalno:

~ 3 m/s (na početku aorte)

~ 10 m/s (u perifernim arterijama)

Regulisanje krvnog pritiska, vrši se promjenom otpora krvnih sudova, odnosno njihovog poprečnog presjeka !!!

Da bi se desila **znatna promjena krvnog pritiska** ispred mjesta suženja ili proširenja, potrebno je da dođe do suženja ili proširenja **većeg broja** arteriola, kapilara ili vena !!!!



Uporedni kvalitativni prikaz promjene krvnog pritiska(I), brzine proticanja krvi (II) i otpora krvnog suda (III) u raznim djelovima krvotoka.

Brzina proticanja krvi, je u šupljim venama samo nešto manja nego u aorti:

- ✓ u aorti ~ 0.25 m/s ;
- ✓ kapilarama ~ 0.0005 m/s;
- ✓ venama ~ 0.20 m/s.

Na stanje krvnog pritiska utiču nervni faktori i humoralni (hemijski) faktori (proizvodi metabolizma (CO_2) i hormoni).