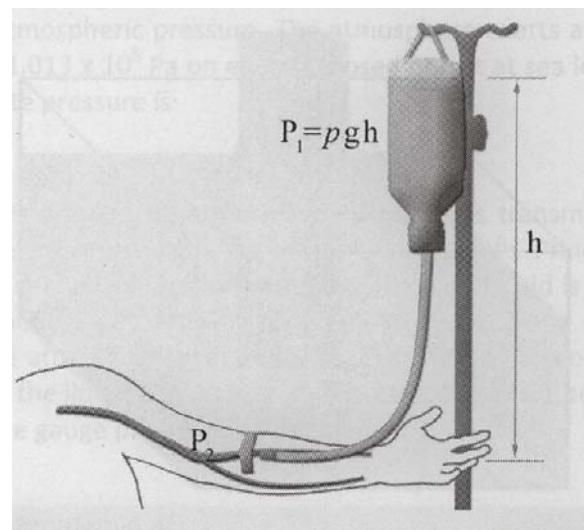




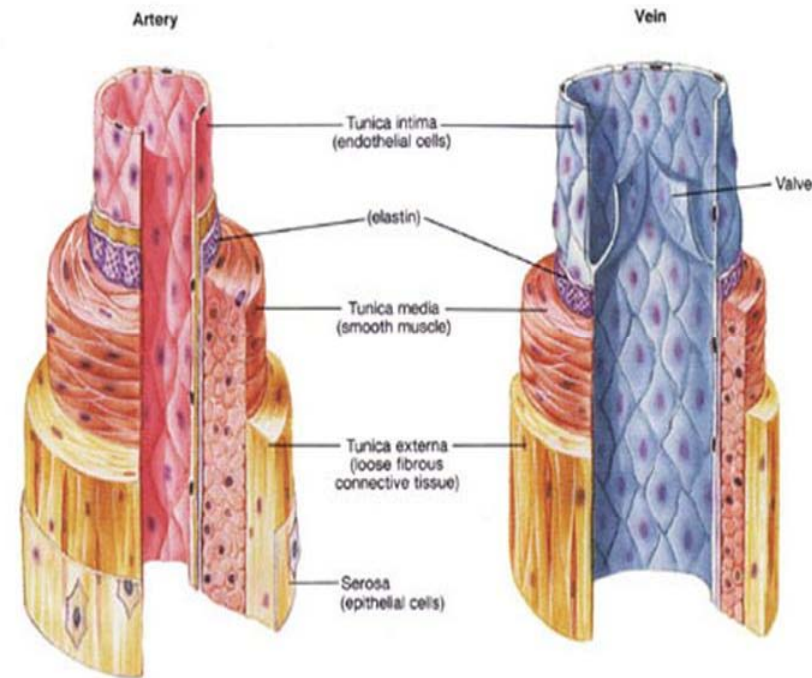
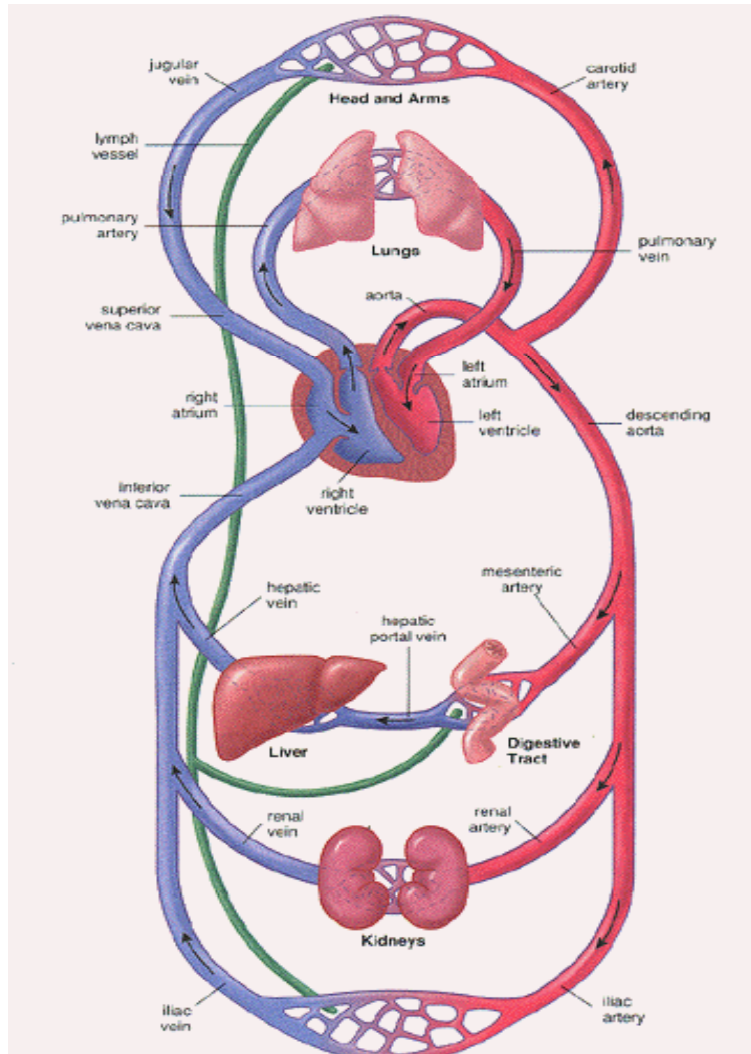
BIOFZIKA

APLIKACIJA POAZEJEVOG (POISEUILLE'S) ZAKONA

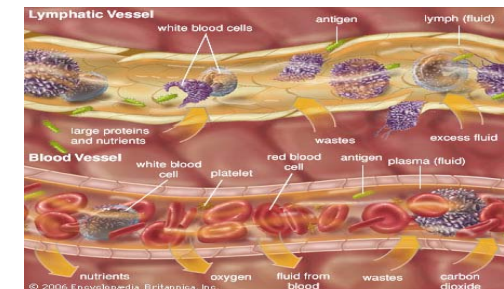
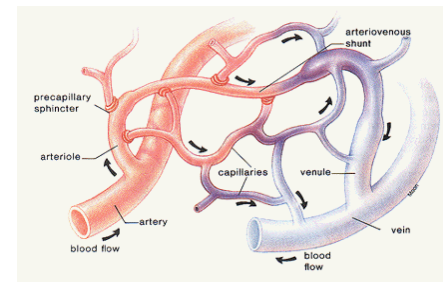


KRVNI SUDOVI

Krvni sudovi: arterije, arteriole, kapilare, venule, vene. Ako bi sastavili sve krvne sudove jedne na druge, mogli bi smo okružiti Zemlju 2,5 puta.



Source: Fox, Stuart I. Human physiology 4th edition, Brown Publishers

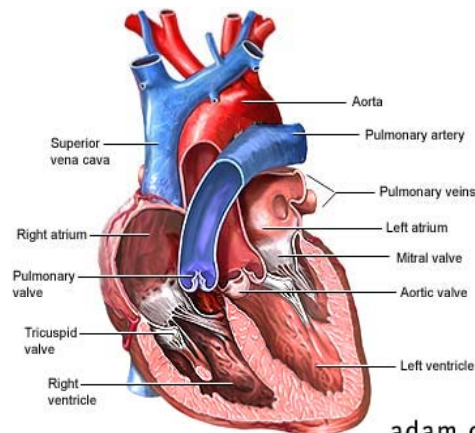
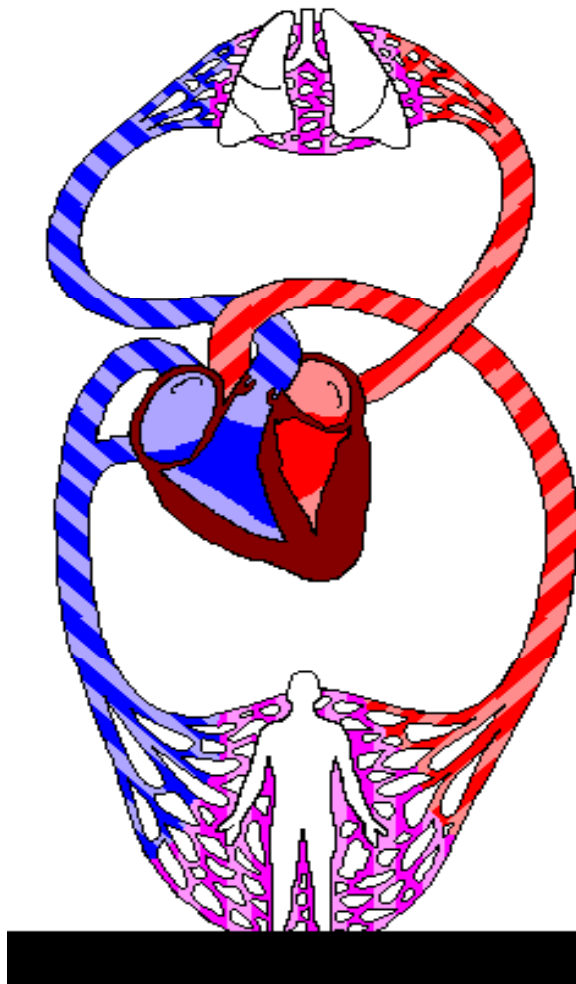


SRCE I KRVOTOK

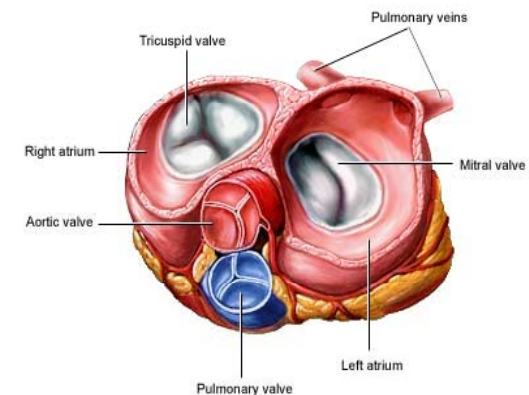
Srce je dvostruka pumpa, koja pumpa krv kroz dva cirkulatorna sistema: *pulmonalni* (mali) (~20%) i *sistemi* (veliki) krvotok (~80%).

Vaše srce se kontrahuje (kuca) oko **70** puta u minutu i oko **30 miliona** puta tokom jedne godine!

Energija potrebna za istiskivanje krvi u krvotok dobija se kontrakcijom mišića atrijuma, odnosno ventrikula.



adam.com



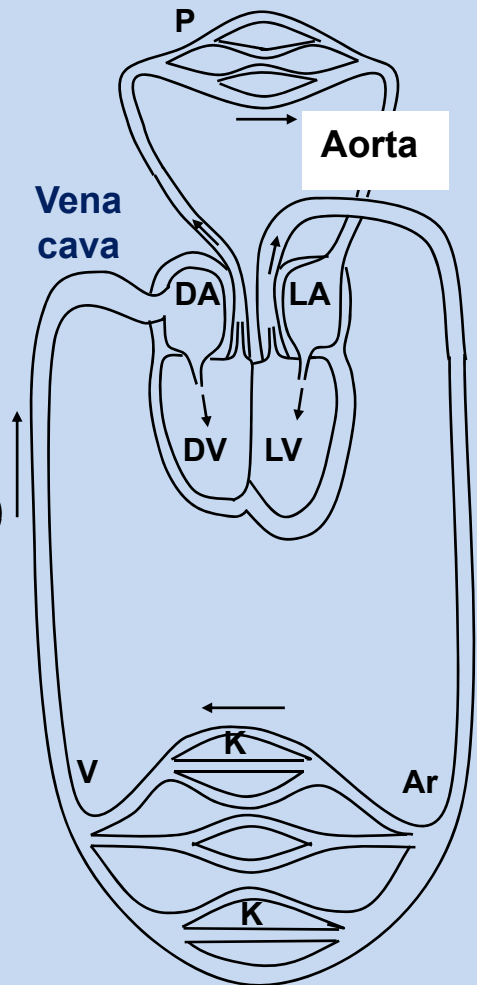
adam.com

SRCE I KRVOTOK

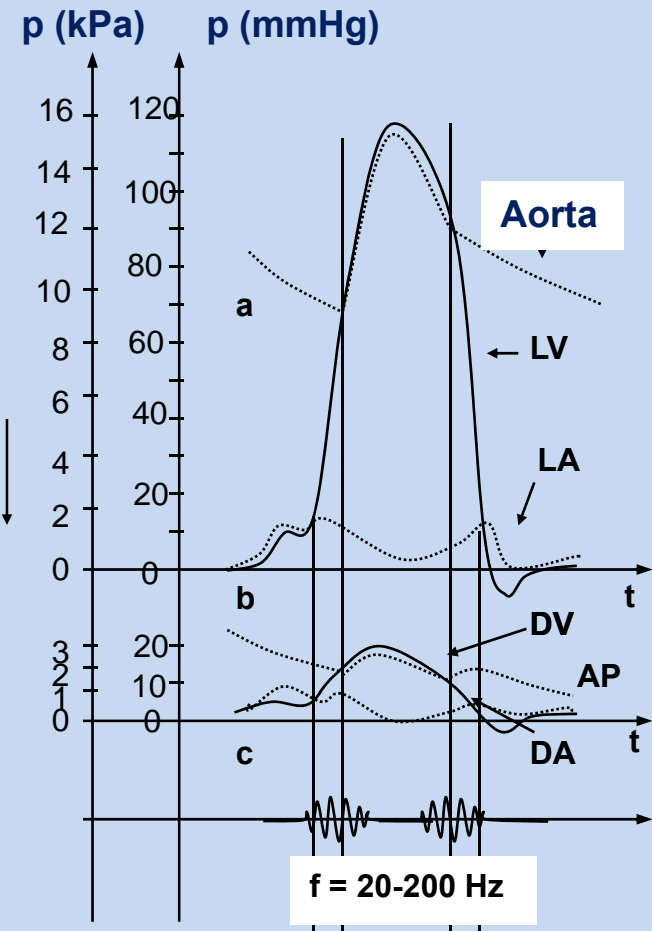
Proticanje krvi ima uvek isti smjer.

Jedan ciklus:

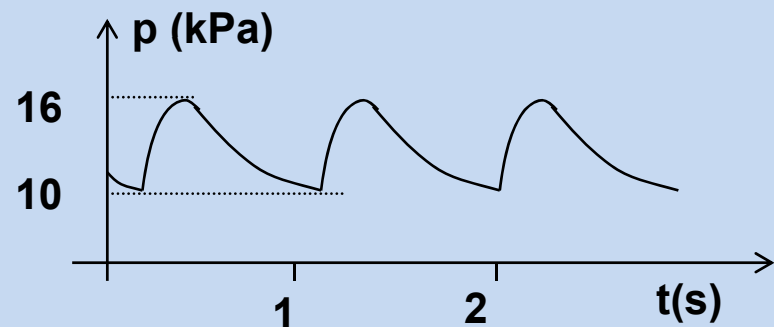
1. **Lijevi atrijum (LA)**
p oko 1 kPa (7,5 mm Hg)
2. **Lijevi ventrikul (LV)**
p oko 16 kPa (120 mmHg)
3. **Protok krvi kroz veliki krvotok**
4. **Desni atrijum (DA)**
p oko 0,8 kPa (6 mmHg)
5. **Desni ventrikul (DV)**
p oko 3 kPa (20 mmHg)
6. **Protok krvi kroz mali krvotok**



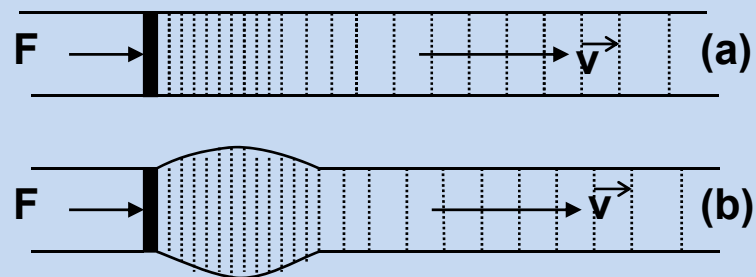
Elementi KVS – srce, sistemski i plućni krvotok.



Pulsni talasi i elastičnost krvnih sudova



Pulsni oblik kretanja krvi.

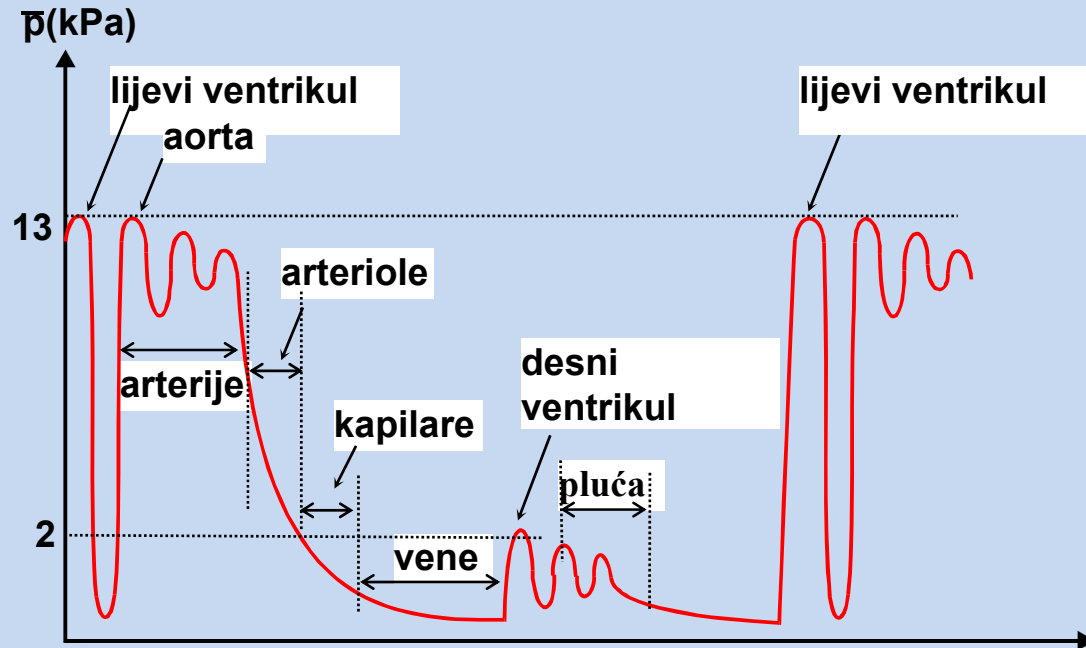


Kretanje tečnosti kroz cijevi neelastičnih (a) i elastičnih zidova (b).



Mehanički rad srca

Udarni volumen srca iznosi $V = 70 - 80$ ml i prolazi kroz oba krvotoka istovremeno.

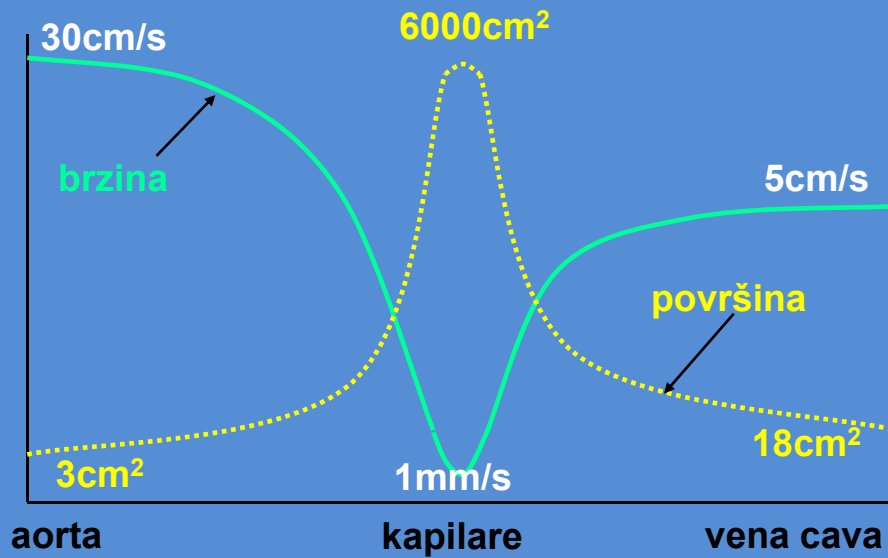


Promena pritiska krvi duž krvnog stabla.

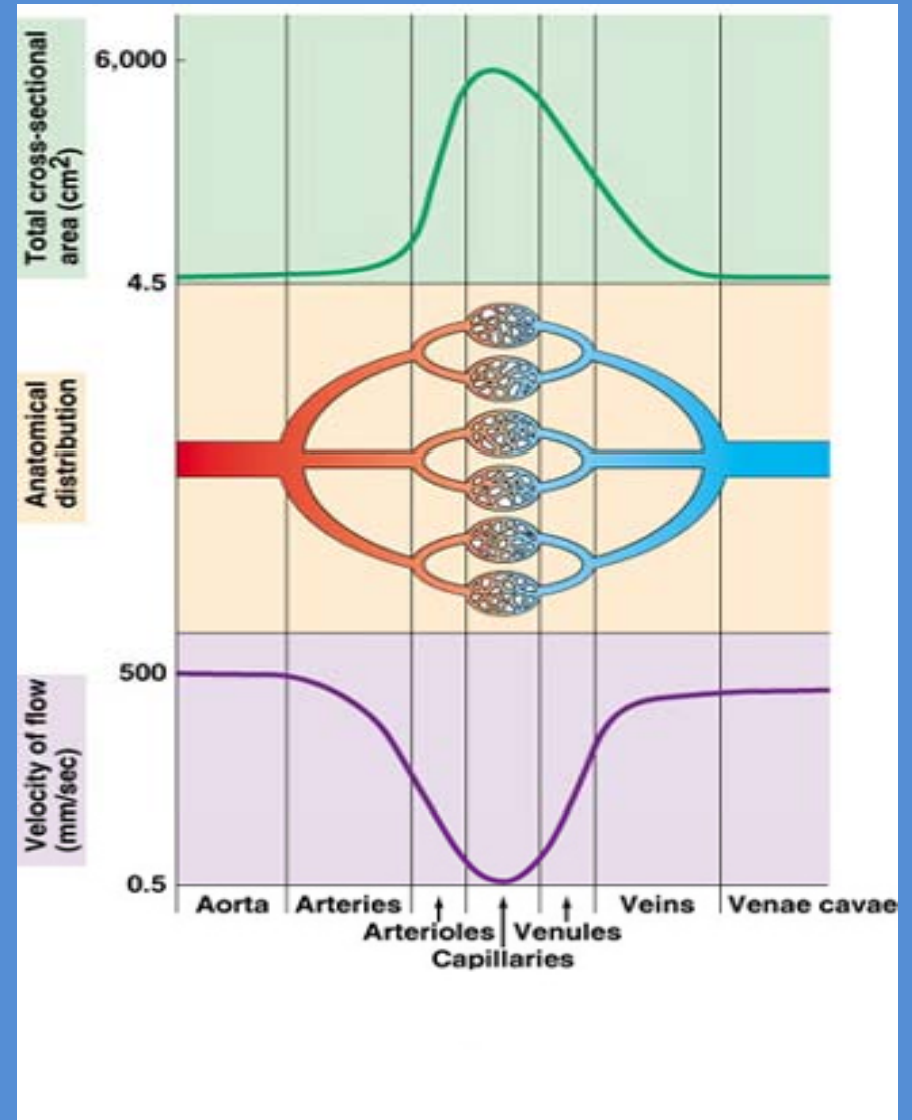
Rad i snaga srca. Srce svojim mehaničkim kontrakcijama mora da generiše energiju koja se troši na nekoliko načina:

1. Rad na prebacivanju 70 ml krvi od levog ventrikula do desnog atrijuma kroz sistemski krvotok i od desnog ventrikula do levog atrijuma kroz pulmonalni krvotok
2. Rad na prebacivanju krvi iz atrijuma u ventrikule (ta energija je mala pa se može zanemariti)
3. Kinetička energija toka krvi; ova energija je približno ista u oba krvotoka.

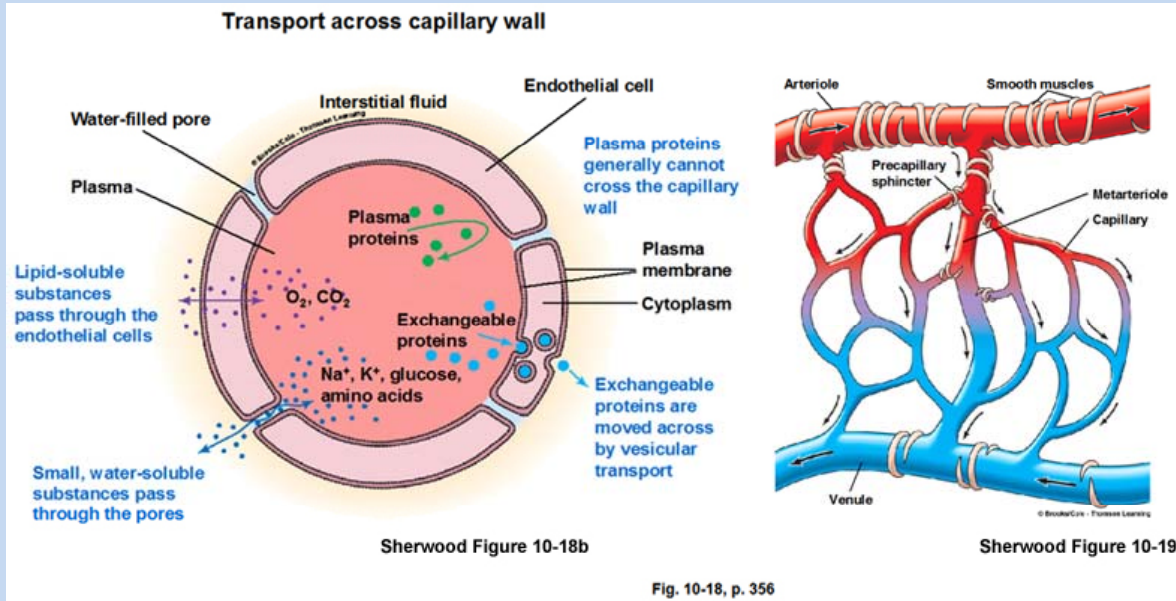
Brzina proticanja krvi kroz krvne sudove



Promjena brzine krvi duž krvnog stabla



Karakteristike protoka krvi kroz kapilare



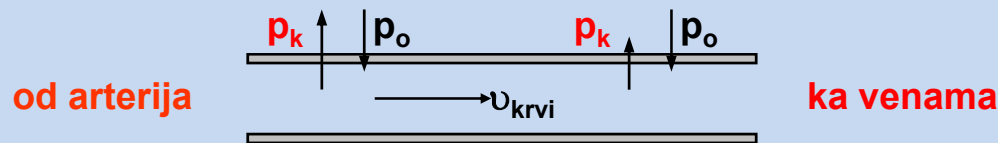
Najmanji krvni sudovi su kapilare (dijametar ~ 20 μm).

Njihov ukupni poprečni presjek je ogroman - oko 6000 cm^2 jer ih ima više miliona.

Na preseku aktivnog mišića kapilara je oko 190/ mm^2 .

U 1 kg mišićne mase ukupna dužina kapilara iznosi oko 190 km, a površina zidova, kroz koje se odvija razmena materije, oko 12 m^2 .

Na taj način su ćelije mišića u dobrom kontaktu sa kapilarama. U srčanom mišiću je skoro svaka ćelija u kontaktu sa kapilarom.



Simultano dejstvo krvnog i osmotskog pritiska duž kapilare.

Osmotski pritisak p_o je oko 3 kPa (20 mmHg), p_k vrednost menja od 3,3 kPa (25 mmHg) na arterijskom kraju, do 1,3 kPa (10 mmHg) na venskom kraju.

APLIKACIJA POAZEJEVOG ZAKONA

- **Velčina promjera igle**
- **Kontrola protoka krvi (Blood Volumen Flow Rate)**
- **Ateroskleroza**

Najinteresantnija odlika Poazejevog zakona je činjenica da je veličina volumnog protoka (intenzitet protoka) fluida zavisi od veličine radijusa medicinske igle.

Efikasnije je povećati promjer igle nego gradijent pritiska, kako bi se povećao intenzitet protoka.

Primjer: Povećajmo radijus igle 2 puta i uočimo šta treba uraditi da bi se isti efekat postigao sa povećanjem pritiska.

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_1^4}{r_2^4}; r_2 = 2 \cdot r_1$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_1^4}{(2 \cdot r_1)^4}$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_1^4}{16 \cdot r_1^4}$$

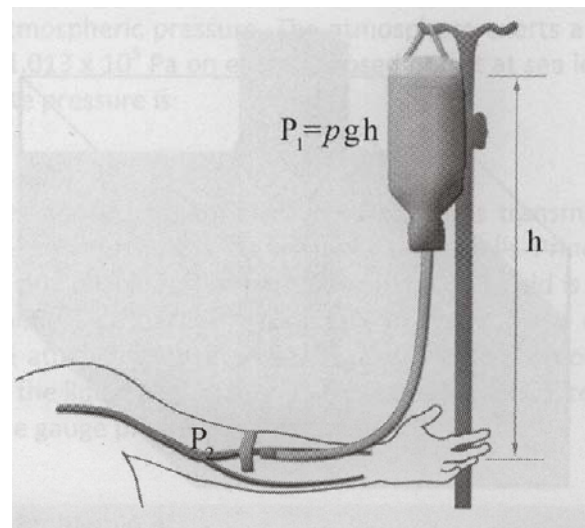
$$I_2 = 16 \cdot I_1$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{\Delta p_1}{\Delta p_2}$$

$$\frac{I_1}{16 \cdot I_1} = \frac{\Delta p_1}{\Delta p_2}$$

$$\Delta p_2 = 16 \cdot \Delta p_1$$

Kod intravenske ubrizgavanja fluida korištenjem intravenske aparature, povećanje promjera radijusa igle je mnogo efektniji način povećanja volumnog protoka fluida, u odnosu na pomjeranje boce na viši položaj.



Kontrola protoka krvi

Srce pumpa krv kako bi dopremilo oksigen i hranjiljive tvari do tjelesnih ćelija.
Šta se dešava kada nema potrebe za opskrbom?

GENERIŠE SE POVRATNI SIGNAL !!!!

Srce i cirkulatorni sistem, naizmjenično, koriste sve načine koji im stoje na raspolaganju da generišu odgovarajući intenzitet protoka.

Koji fizikalni faktori utiču na intenzitet protoka krvi??

- a) razlika pritisaka,
- b) radijus,
- c) dužina,
- d) viskoznost krvi.

Koje od navedenih faktora cirkulatorni sistem koristi za kratkoročnu kontrolu krvnog pritiska??

Krvni pritisak

Radijus krvnog suda

Tijelo može povećati razliku pritisaka povećanjem intenziteta sile kontrakcije i frekvencije otkucaja srca (brzine rada).

Primjer:

Ako se zahtjeva dvostruko povećanje intenziteta protoka, sistolni pritisak bi trebao porasti 100 %, što je, ustvari, sa 120 mmHg na 240 mmHg, mjereno na sljedeći način:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{\Delta p_1}{\Delta p_2}$$
$$\frac{I_1}{2 \cdot I_1} = \frac{\Delta p_1}{\Delta p_2}$$
$$\Delta p_2 = 2 \cdot \Delta p_1$$
$$\Delta p_2 = 2 \cdot 100\% = 200\%$$

Ovako velik pritisak (abnormalan) je veoma opasan i može uzrokovati krvarenje i hipertrofiju srčanog mišića !!!!

Šta je alternativni mehanizam??

ARTERIOLE (kada se skupljaju i šire uveliko mjenjaju svoj promjer)

Kako je otpor protoku snažno ovisan o povećanju radijusa cijevi, ovakva promjena može efikasno kontrolisati intenzitet protoka krvi do tkiva.

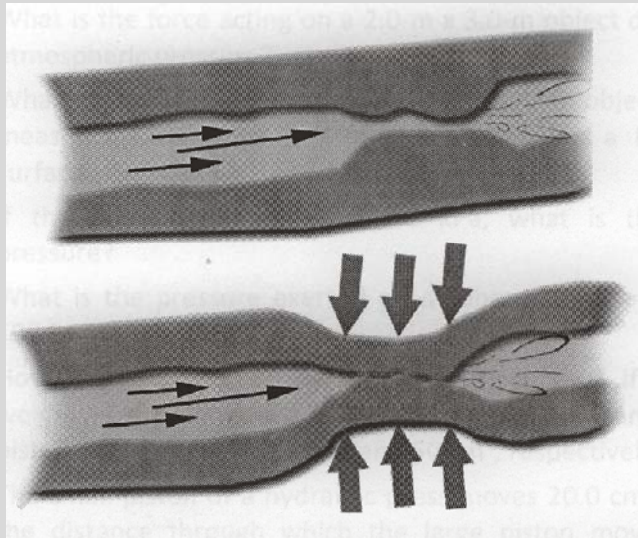
Dvostruko povećanje inteziteta protoka zahtjeva samo 20% povećanje radijusa arteriola, što se računom i dokazuje:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_1^4}{r_2^4};$$
$$\frac{I_1}{2 \cdot I_2} = \frac{r_1^4}{r_2^4}$$
$$r_2^4 = 2 \cdot r_1^4$$
$$r_2 = \sqrt[4]{2 \cdot r_1^4} = 1,2 \cdot 100\% = 120\%$$

Ustvari, kada postoji potreba za povećanjem intenziteta protoka krvi, tijelo povećava obadvoje: kontrakciju srca i frekvenciju rada, kao i radijus arteriola.

ATEROSKLEROZA

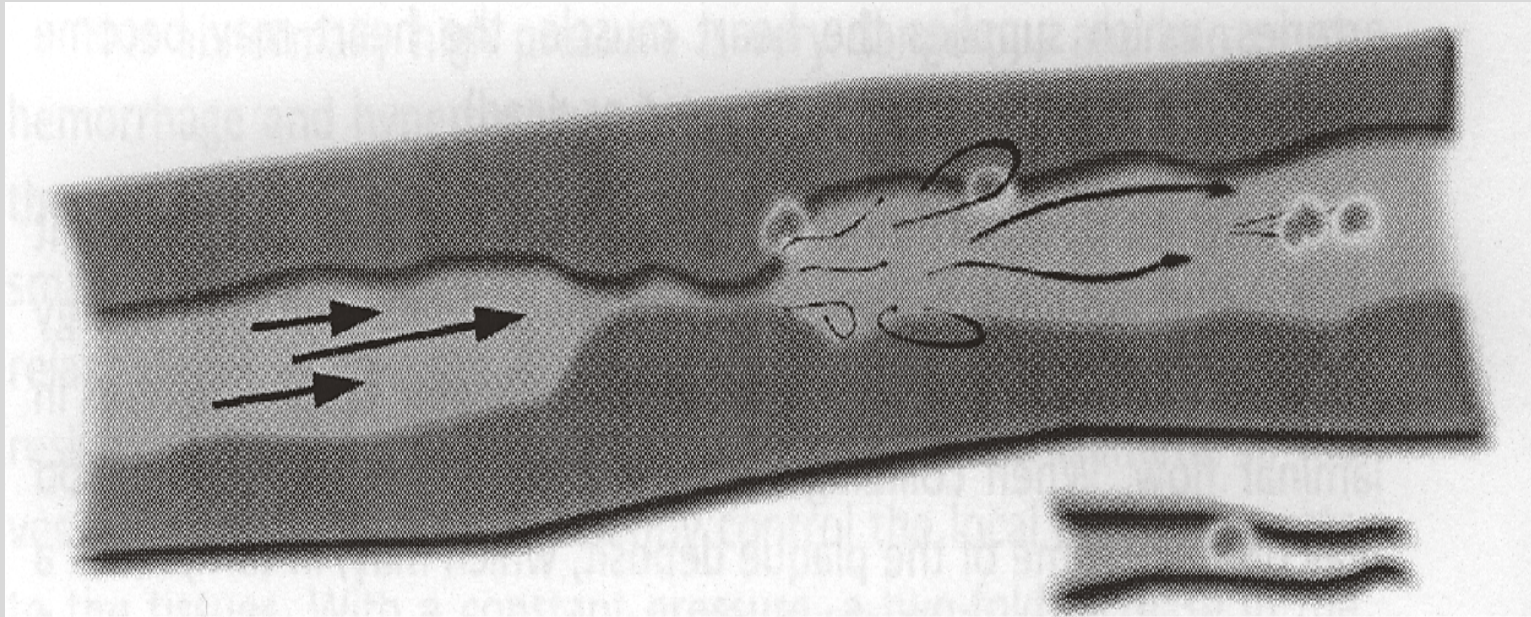
Kod ateroskleroze, arterije imaju abnormalno debele zidove, i abnormalan uzak promjer krvne žile.



„suženje- stenoza“

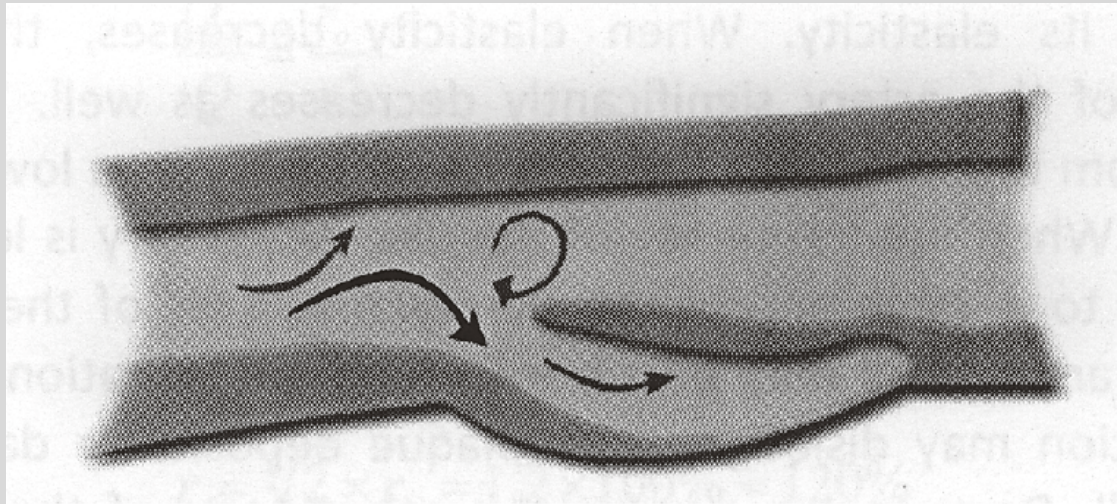
Za posljedicu, imamo da organ koji se snabdjeva pomoću stenozne arterije prestaje funkcionisati.

Naprimjer, ako se ovakav primjer blokade desi u koronarnoj arteriji, kojom se snabdjeva srčani mišić, srce može postati ishemično (restrikcija u snabdjevanju krvlju) ili za posljedicu može imati infarkt.



Naslage na zidovima povećavaju masu arterijskog zida, što smanjuje njegovu elastičnost !!!

Kada je frekventnost oboljele arterije umanjena naslagama koje opterećuju njene zidove do aproksimativne jednake vrijednosti kao kod pulsirajućeg toka krvi, zid arterije može početi da rezonantno osciluje.



Dva scenarija uzrokovana oštećenjem zbog oscilovanja zida arterije:

- a) dodatno suženje ostalove arterije uzrokujući utočišta za izgradnju akumulacija plaka i drugih ostataka
- b) rasjecanje arterije