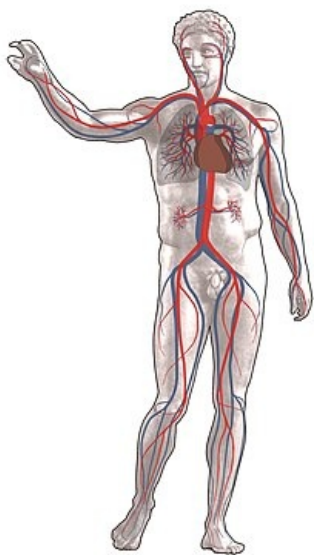


# Krevní řečiště

Tok a proud krve v řečišti, jež studuje biomechanika, se nazývá **bioreologie** (možno použít i **hemodynamika**, která v překladu znamená „krevní pohyb a rovnováha způsobená vnějšími silami“). Popisuje oběh krve na základě fyzikálních principů včetně jejich zvláštností v lidském organismu, proudění krve v krevním oběhu, tlaky krve v různých částech těla a za různých okolností, činností srdce jako pumpy, cév jakožto trubic vedoucích krev a rovněž studuje regulaci těchto jevů. Účelem řečiště je umožnit cirkulaci krve a tím tak zajistit **transport a výměnu** látek s okolím.



Oběhový systém lidského těla

## Součásti Oběhového systému

Oběhový systém se skládá ze 3 hlavních částí:

### Srdce

Svalová pumpa, která svými pohyby vyvolává **kinetickou energii** a tím pohyb krve v **cévním řečišti**. Pumpuje okysličenou krev do tělního systému a odkysličenou krev do plic. V lidském srdci jsou vcelku 4 čerpadla: **levá a pravá srdeční síň & levá a pravá komora**. Pravá síň je horní dutina pravé strany srdce. Krev, která se vrací do pravé síně je odkysličená a následně putuje do pravé komory. Tam je pulmonární arterií vypumpovaná do plic (systola), kde se okyslíčí a vymění oxid uhličitý s okolím. Nově okysličená krev pak proudí z plic do levé síně (diastola), následně do silné levé komory, která skrz aortu vypumpuje krev do tělního systému. Takto popsaný srdeční cyklus systola & diastola trvá cca. 0,75 s. Mechanismus srdečních stahů se nazývá **mechanismus ventilové roviny** – při systole se ventilová rovina sníží a tím je tak nasátý tepový objem další systoly. Komory se plní krví ze síní tak dlouho, dokud je *tlak krve v síních větší než v komorách* – následně se otevřou poloměsíčitě chlopně a krev se vypudí ze srdce dál do krevního oběhu.

Mechanická vypuzovací práce srdce je rovna 1/10 celkové mechanické energie srdce, zbytek energie je na udržení tonu (napětí) srdeční svaloviny. Změny tlaku a průtoku krve srdečními oddíly a cévami jsou vyvolány kontrakcí jednotlivých srdečních dutin. Srdce je tvořeno srdečním svalem **myokardem**. Rytmičtý tlukot srdce vykonává převodní systém. Nejsilnější část myokardu se nachází v levé komoře srdce, kde dochází k vypuzování okysličené krve do velkého krevního systému. Účinnost myokardu je cca 30 %. Objemová práce má vyšší účinnost než tlaková práce tzn. návrat krve žilami využije energii lépe, než periferní odpor. Srdeční svalovina je tvořena **myokardiocyty**, vazivem, kapiláry a mezibuněčnou tekutinou. Kompozice tohoto složitě uspořádaní myokardu tvoří tlakové gradienty cévních stěn. Je to důležitý určovací faktor průchodnosti koronárních cév a mikrocirkulace srdeční stěny. Vztah délky a napětí srdečního svalu je určen **Laplaceovým a Starlingovým zákonem** – při vypuzování krve v systole *klesá napětí* jednotlivých svalových vláken *i bez změny tlaku*, což je zapříčiněno zmenšováním poloměru komor a zvětšováním stěny komor.

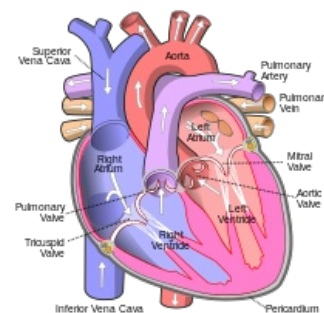


Schéma lidského srdce

Z fyzikálního hlediska vykonává srdce tlakově-objemovou práci, kde  $W$  značí práci,  $p$  tlak a  $V$  objem.

$$W = p \cdot V$$

### Pulzový (tepový) objem

Množství krve vypuzené jednou srdeční systolou do aorty. Objem vypuzené krve není konstantní, mění se např. s tělesnou činností či patologickými stavy. Průměrná hodnota objemu vypuzené krve se však uvádí kolem 70–90 ml.<sup>[1]</sup>

## Cévy

Cévní řečiště člověka je uzavřené a skládá se ze dvou hlavních okruhů:

- **Malý srdeční oběh**, cirkuluje krev mezi srdcem a plícemi – má nízký tlak & odpor
- **Velký srdeční oběh**, cirkuluje krev mezi srdcem a tělem – má vysoký tlak & odpor

Cévní systém se skládá z:

### Artérie

silně elastické tepny vedoucí krev od srdce; jsou hlavním místem odporu krevního proudu



Cévní systém

Artérie (pružňkové cévy) mají velmi pevné, pružné stěny cév, což jim umožňuje přijmout srdcem vypuzený tepový objem. V systole se céva roztáhne v diastole se smrští. Tato tlaková vlna je hmatatelná jako puls. Arteriální tlaková mechanika se označuje za **pružňkový efekt**, který bez zvýšeného angažmá srdce umožňuje snadný oběh krve. Arteriola (rezistenční céva) – menší tepna má hustou svalovinu inervovanou adrenalinem (cévy kontrahuje) a cholinergními vlákny (cévy rozšiřuje). Systém arteriol zapřičiňuje změny v celkovém objemu tepenného řečiště a mění i tepenný tlak, což umožňuje řízenou distribuci krve podle potřeb organismu.

## Kapiláry

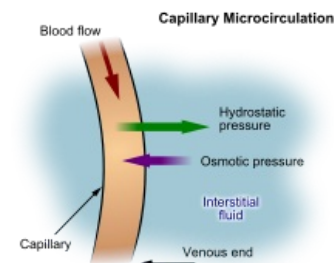
– drobné, tenkostěnné cévky; filtrují krev mezi tkáněmi

Celkový povrch kapilár u člověka je cca. 1000 m<sup>2</sup>, krev v nich protéká pomalu, stěny kapilár jsou stlány endotelií, kterou snadno prochází molekuly menší než proteiny. V kapilárách probíhají následující děje:

- Difúze – kapiláry umožňují průchod vody a rozpustných látek přes póry kapilární membrány
- Permeace – průchod velkých molekul – proteinů přes velké póry
- Filtrace – dána vztahem hydrostatického a koloidně osmotického tlaku

$$V = K * (p_k - \pi_k + \pi_{iF} - p_{iF})$$

V – objem, K – filtrační koeficient,  $p_k$  – krevní tlak,  $p_{iF}$  – tlak intersticiální tekutiny,  $\pi_k$  – koloidně osmotický tlak krve,  $\pi_{iF}$  – koloidně osmotický tlak intersticiální tekutiny



Mikrocirkulace v kapiláře

## Vény

Tenkostěnné žíly vedoucí krev k srdci; brání zpětnému toku krve díky chlopním na jejich stěnách

Žíly (kapacitní cévy) jsou méně elastické a mají méně svaloviny, což se vyznačuje celkově menším objemem krve. Tok krve zpátky do srdce je pasivnější a je zapřičiněn svalovou prací dolních končetin, chlopní a negativním tlakem v pohrudniční dutině. Žilní systém je nízkotlaký.

## Koronární oběh

Oběh krve zásobující myokard. Průtok krve v koronárním oběhu se liší od ostatního krevního oběhu – objem krve, který proteče koronárním oběhem za minutu je cca 240 ml. **Koronární rezerva** je až pětinasobek zvýšeného objemu koronární krve při zátěži.

## Krev

Krev je tělní kapalina složená z **tekuté plazmy** a **buněk** (červené krvinky, bílé krvinky, krevní destičky). Plazma, která obsahuje 55 % krevní kapaliny, je převážně voda (92 % jejího objemu) a obsahuje látky jako jsou proteiny, glukóza, minerální ionty, hormony, oxid uhličitý a krevní buňky. Krev tvoří cca 7 % hmotnosti člověka s hustotou přibližně 1060 kg/m<sup>3</sup>, což je velmi blízké hustotě vody (1000 kg/m<sup>3</sup>). Chemické složení krve se mění v závislosti na průchodu krevním řečištěm. Její viskozita je asi 4,5krát větší než viskozita vody. Chová se jako nenewtonovská neboli nelineárně viskózní kapalina.

## Proudění krve

Příčinou proudění krve jsou tlakové rozdíly mezi tepnou a žilní částí systému, které vznikají činností srdce. Rozeznáváme dva typy proudění krve:

- laminární (přímočaré – při nižší rychlosti)
- turbulentní (vířivé – při zrychlení proudu)

### Laminární proudění

Laminární proudění je nestacionární proudění reálné kapaliny, jejíž částice se pohybují ve vzájemně rovnoběžných vrstvách, aniž by se navzájem mísily. V trubici (cévě) má malou rychlost, která pomalu stoupá od okraje ke středu trubice, kde je největší. Laminární proudění zůstává zachováno až do tzv. kritické rychlosti, kdy se mění na proudění turbulentní. Pravděpodobnost přechodu laminárního proudění na turbulentní je ovlivněno kromě rychlosti proudění ještě průměrem trubice (cévy), viskozity a hustoty kapaliny. Pružnost cévních stěn zvyšuje jeho stabilitu.

### Turbulentní proudění

Při turbulentním proudění reálné kapaliny dochází k turbulencím – změnám rychlosti, hustoty a tlaku proudící kapaliny. Turbulence mohou být způsobeny větvením cév nebo nehomogenitou jejich stěn. Přechod proudění od laminárního k turbulentnímu charakterizuje hodnota Reynoldsova čísla. Pravděpodobnost turbulence závisí přímo úměrně na hustotě kapaliny  $\rho$ , průměru uvažované trubice  $R$ , rychlosti proudu  $v$  a nepřímo úměrně závisí na dynamické viskozitě  $\eta$ .

$$Re = \frac{\rho \cdot R \cdot v}{\eta}$$

Za určitých patologických okolností, především při snížení viskozity krve, v zúžených místech aorty vzrůstá rychlost, a tím vzniká turbulentní proudění. U zdravého člověka by k tomuhle nemělo docházet. Přesné určení turbulentních oblastí v krevním oběhu má mimořádně veliký klinický význam. Projevuje se šelestem.

### Rychlost proudění krve

Mezi molekulami krve existuje vnitřní tření, které způsobuje nehomogenost vektorového pole rychlosti proudění. Při podélném řezu cévou vytváří pole rychlosti parabolu. Rychlost proudění  $v_r$  ve vzdálenosti od středu cévy je dána vztahem:

$$v_r = v_m + \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right)$$

kde  $v_m$  je maximální rychlost proudění ve středu trubice. U stěny cévy je rychlost nulová. Z tohoto důvodu (a také kvůli pružnosti cév) přesně neplatí ani Bernoulliho rovnice, podle které je při proudění objemové jednotky ideální kapaliny součet potenciální energie tlakové, energie kinetické a energie polohy v každém bodě tekutiny konstantní:

$$\frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh + P = \text{konst.}$$

Fyzikální zákony jsou na neneutronovské tekutiny obvykle jenom přibližně aplikovatelné.

### Průtok krve

Průtok krve je veličina definována součinem průřezu (průsvitu) cévy a lineární rychlosti toku daným průřezem. Pokud kapalina (krev) proudí ustáleně systémem uzavřených trubic (cév) o nestatejné průměru, platí zákon kontinuity. Rovnice vyjadřuje, že pokud průtok zůstává stálý, jeho rychlost je pak nepřímo úměrná průřezu cévního řečiště.

$$Q_v = S \cdot v = \text{konst.}$$

## Odkazy

<https://is.muni.cz/th/xju1e/BP.pdf?so=nx>

### Související články

LF a FZV UP Olomouc e-learning klinických a preklinických předmětů — <http://pfyziol.upol.cz/>

- Srdce
- Cévy
- Krev

### Externí odkazy

<http://didsom.webnode.cz/obehova-soustava/velky-a-maly-obeh/>

### Zdroj

- BIGATELLO, GEORGE, L.M., E.. *Hemodynamic monitoring* [online]. [cit. 2013-11-25]. <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12024086>>.

## Reference

- NAVRÁTIL, Leoš a Jozef ROSINA. *Medicínská biofyzika*. 1. vydání. Praha : Grada, 2005. Kapitola 3.4 Biomechanika krevního oběhu. s. 109. ISBN 978-80-247-1152-2.

### Použitá literatura

- NAVRÁTIL, Leoš. *Medicínská biofyzika*. 1. vydání. Praha : Grada, 2005. ISBN 80-247-1152-4.
- HRAZDÍRA, Ivo. *Základy biofyziky a zdravotnické techniky*. 1. vydání. Praha : Neptun, 2006. ISBN 80-86850-01-3.

- BENEŠ, Jiří. *Základy lékařské biofyziky*. 2. vydání. Praha : Neptun, 2007. ISBN 80-86850-01-3.

## **Doporučená literatura**