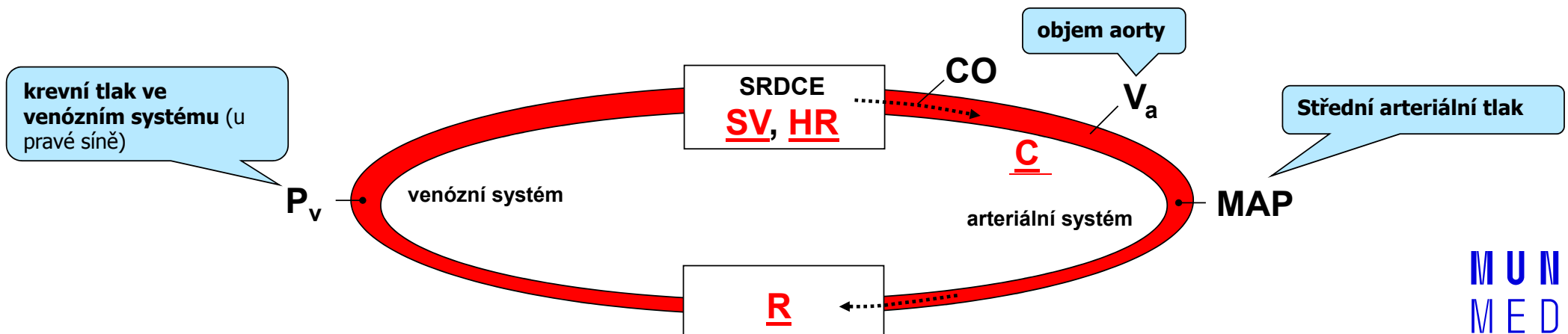


# Matematický model funkce aorty

Praktické cvičení z fyziologie (jarní semestr: 10. – 12. týden)

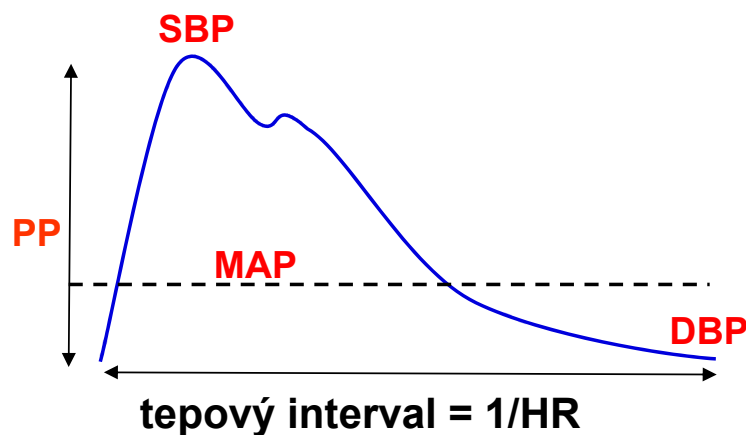
# Definice klíčových slov a symbolů

- Systolický objem (*SV, stroke volume*) – objem krve vypuzený z levé komory do aorty při jednom stahu.
- Tepová frekvence (*HR, heart rate*) – odpovídá počtu srdečních stahů za 1 m
- Srdeční výdej (*CO, cardiac output*), průtok krve srdcem/aortou za min  
 $CO = SV \cdot HR$
- Poddajnost aorty (*C, compliance*) – schopnost aorty měnit svůj objem při změnách tlaku
- Periferní cévní odpor (*R*) – odpor malých cév (arteriol), které kladou proudění krve



# Definice klíčových slov - křivka arteriálního tlaku

- *Systolický tlak (SBP, systolic blood pressure)* – nejvyšší hodnota krevního tlaku v průběhu tepového cyklu
- *Diastolický tlak (DBP, diastolic blood pressure)* – nejvyšší hodnota krevního tlaku v průběhu tepového cyklu
- *Střední arteriální tlak (MAP, mean arterial pressure)* – průměrná hodnota krevního tlaku v průběhu tepového cyklu
- *Pulzový tlak (PP, pulse pressure)* – amplituda krevního tlaku v průběhu tepového cyklu, SBP – DBP



# Odvození hemodynamických parametrů

Vycházíme z rovnice pro průtok

$$CO = \frac{\Delta P}{R} = \frac{MAP - P_v}{R}$$

$$MAP - P_v = CO \cdot R$$

$P_v \rightarrow 0$   
 Tlak v dutých žilách při vstupu do pravého srdce se blíží nule

a zároveň  
 $CO = HR \cdot SV$

$$MAP \cong CO \cdot R = HR \cdot SV \cdot R$$

Vycházíme z rovnice pro compliance

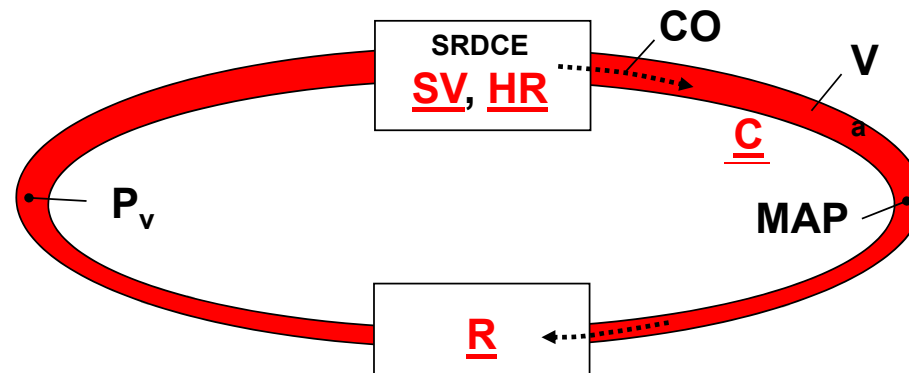
$$C = \frac{\Delta V}{\Delta P}$$

Změna objemu v aortě je systolický objem  
 $\Delta V = SV$

Změna tlaku (amplituda) v aortě je pulzový tlak  
 $\Delta P = PP = SBP - DBP$

$$C = \frac{\Delta V}{\Delta P} = \frac{SV}{PP}$$

$$PP = \frac{SV}{C}$$



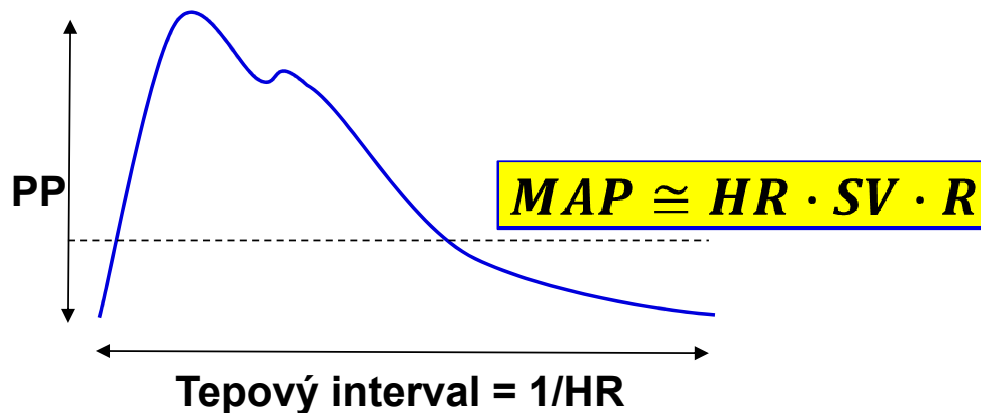
# Výsledná definice křivky arteriálního tlaku

Křivku arteriálního krevního tlaku lze rozdělit na konstantní složku a na ní nasedající pulzační složku

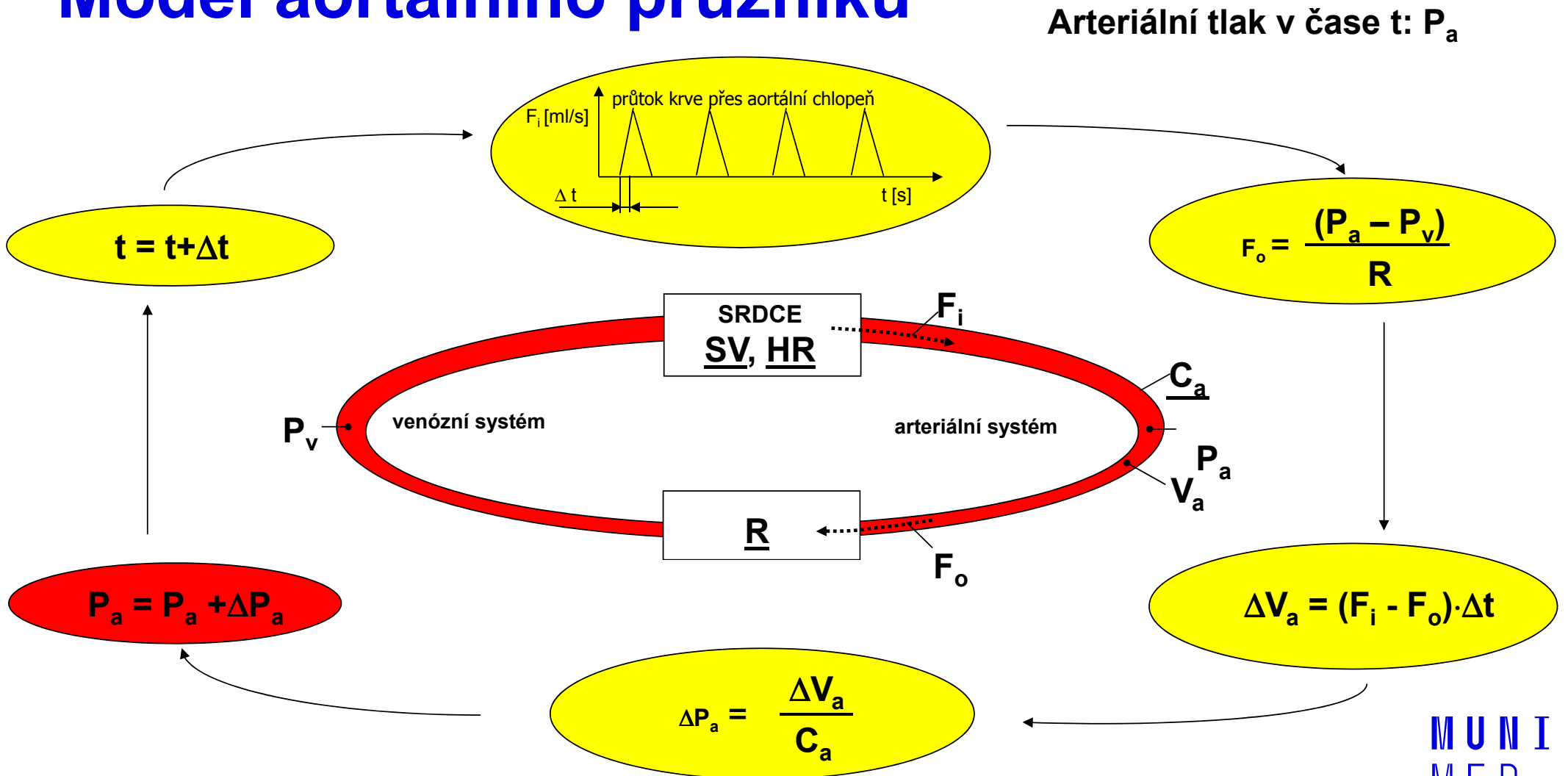
- **Konstantní složka** – MAP, hnací síla pro tok krve  
*Střední arteriální tlak je přímo úměrný srdeční frekvenci, systolickému objemu a celkové cévní rezistenci*
- **Pulzační složka** – PP, důsledek pulzačního charakteru pumpování krve srdcem, střídání systolických a diastolických tlaků  
*Pulzová amplituda je přímo úměrná systolickému objemu a nepřímo úměrná aortální compliance*

Křivku arteriálního tlaku lze sestavit na základě znalosti HR, SV, R a C

$$PP = \frac{SV}{C}$$



# Model aortálního pružníku



# Celková cévní periferní rezistence - R

- Odpor je tlakový gradient, který musíme vyvinout, abychom zachovali určitý daný průtok trubicí (pokud se např. trubice zúží, je třeba vyvinout vyšší tlak na zachování daného průtoku)
- Odpor cévy je určen Hagen-Poiseuilleho zákonem pro odpor trubice
  - r – poloměr cévy (u cévního řečiště se jako poloměr počítá sumární poloměr všech cév na dané úrovni);
  - $\eta$  – viskozita; L – délka cévy
  - Jednotky: mmHg.s/l, mmHg.min/l kPa.min/l, dyn.s/cm<sup>3</sup>,...
- Průsvit cévy má nejvýznamnější vliv na R, protože je ve 4. mocnině (zmenšení poloměru pouze o 16% vede ke zdvojnásobení rezistence!)
- U člověka je celkový odpor cév velkého oběhu: 700-1600 dyn.s/cm<sup>3</sup>
- Největší vliv mají malé arterie a arterioly (odporové cévy), protože mají velký podíl hladké svaloviny ve stěně, mohou významně měnit poloměr. Nejmenší odpor má kapilární řečiště (kapiláry jsou malé, ale je jich mnoho).
- Zvýšení R (běžné fyziologické situace)
  - sympatická aktivace (většina cév má především vasokonstrikční alfa receptory) – například odpověď baroreflexu na ortostatickou změnu polohy, stres, další vasokonstrikční hormony
  - chlad (skok do vody po sauně)
- Snížení R
  - Odpověď baroreflexu na klinostatickou změnu polohy,
  - teplo (sauna), dynamická fyzická zátěž (čím více svalů je zapojeno, tím nižší R)

$$R = \frac{8 \cdot \eta \cdot L}{\pi \cdot r^4}$$

# Systolický objem, srdeční frekvence – SV, HR

- Sympatická aktivace zvyšuje srdeční činnost – frekvenci a sílu stahu - aby došlo ke zvýšení CO

## SV je určen

- sympatickou regulací síly stahu
- plněním komor (žilní návrat), které také ovlivňuje sílu stahu (Frank-Starling)
  
- Zvýšení SV
  - klinostatická změna polohy (před reakcí baroreflexu), ↑objem krve (rychlé podání infuze)
- Snížení SV
  - ortostatická změna polohy (před reakcí baroreflexu), ↓objem krve (dehydratace, ztráta, darování krve)

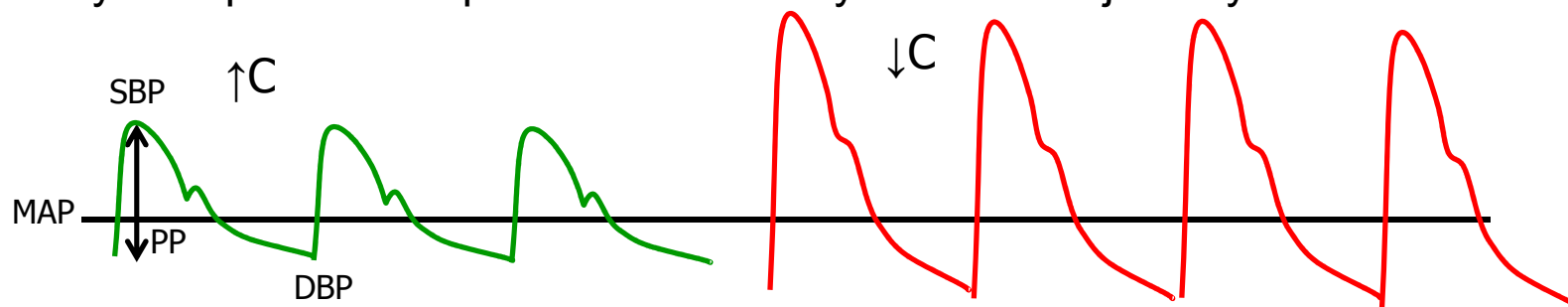
## Změny HR jsou čistým odrazem sympatho-vagální rovnováhy

- Zvýšení HR
  - Stres psychický, fyzický, emoce
- Snížení HR
  - spánek



# Funkce aorty jako pružníku

- Aorta se během systoly roztáhne a pojme vypuzený objem krve (změna kinetické energie v elastickou) a během diastoly se stahuje a posouvá krev dál do řečiště (změna elastické energie na kinetickou)
- Funkce aorty jako pružníku
  - Kontinualizace toku krve (proud krve se nezastaví v diastole)
  - Tlumení tlakové amplitudy (při zachování MAP)
- Aortální compliance je nejvyšší v dětství, s věkem se ztrácí (úbytek elastických vláken). Onemocnění snižující poddajnost jsou např. diabetes, hypertenze.
- Důsledek snížení C – zvýšení SBP a lehké snížení DBP (pružníková či izolovaná systolická hypertenze)
  - srdce musí v systole pracovat proti vyššímu tlaku, vyčerpávání srdce
  - vysoká pulzová amplituda mechanicky více zatěžuje cévy



# Žilní návrat a mechanismy žilního návratu

- žilní návrat je návrat krve do pravého srdce
- mechanismy:
  - žilní chlopně a svalová pumpa
  - podtlak v hrudníku při nádechu (a přetlak v břišní dutině)
  - sací síla systoly – systola komor změni tvar pravé síně (vtáhnutí trojcípé chlopně do komory), síň zvětší svůj objem a nasaje krev
  - síla zezadu (vis a tergo): tlak, co zbyl z MAP

