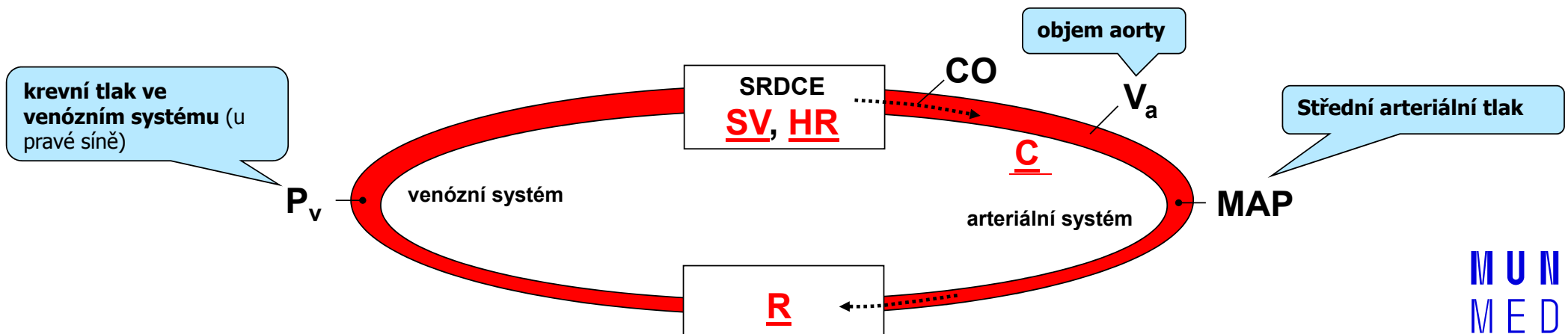


Matematický model funkce aorty

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

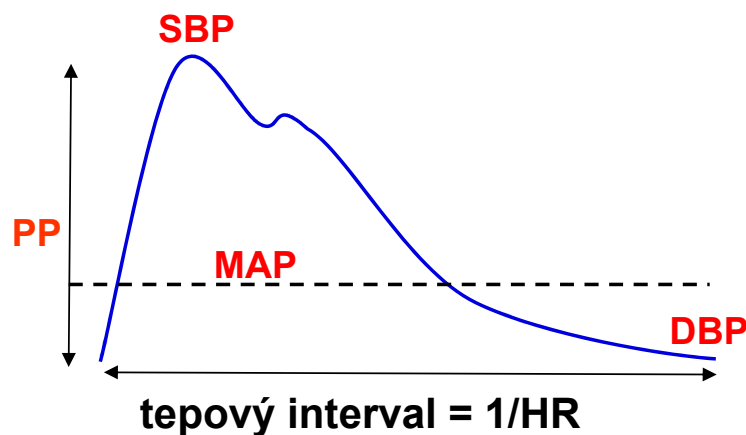
Definice klíčových slov a symbolů

- 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

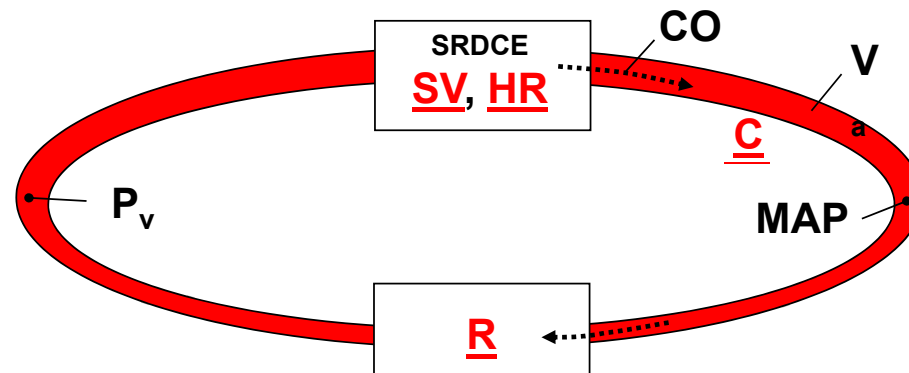
$$C = \frac{\Delta V}{\Delta P}$$

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

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

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

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



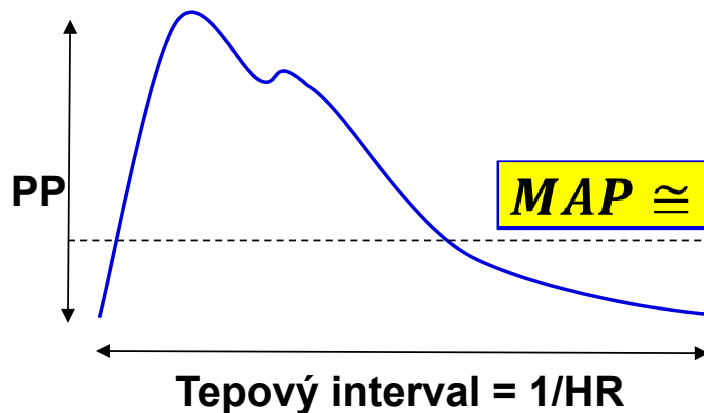
Výsledná definice křivky arteriálního tlaku

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

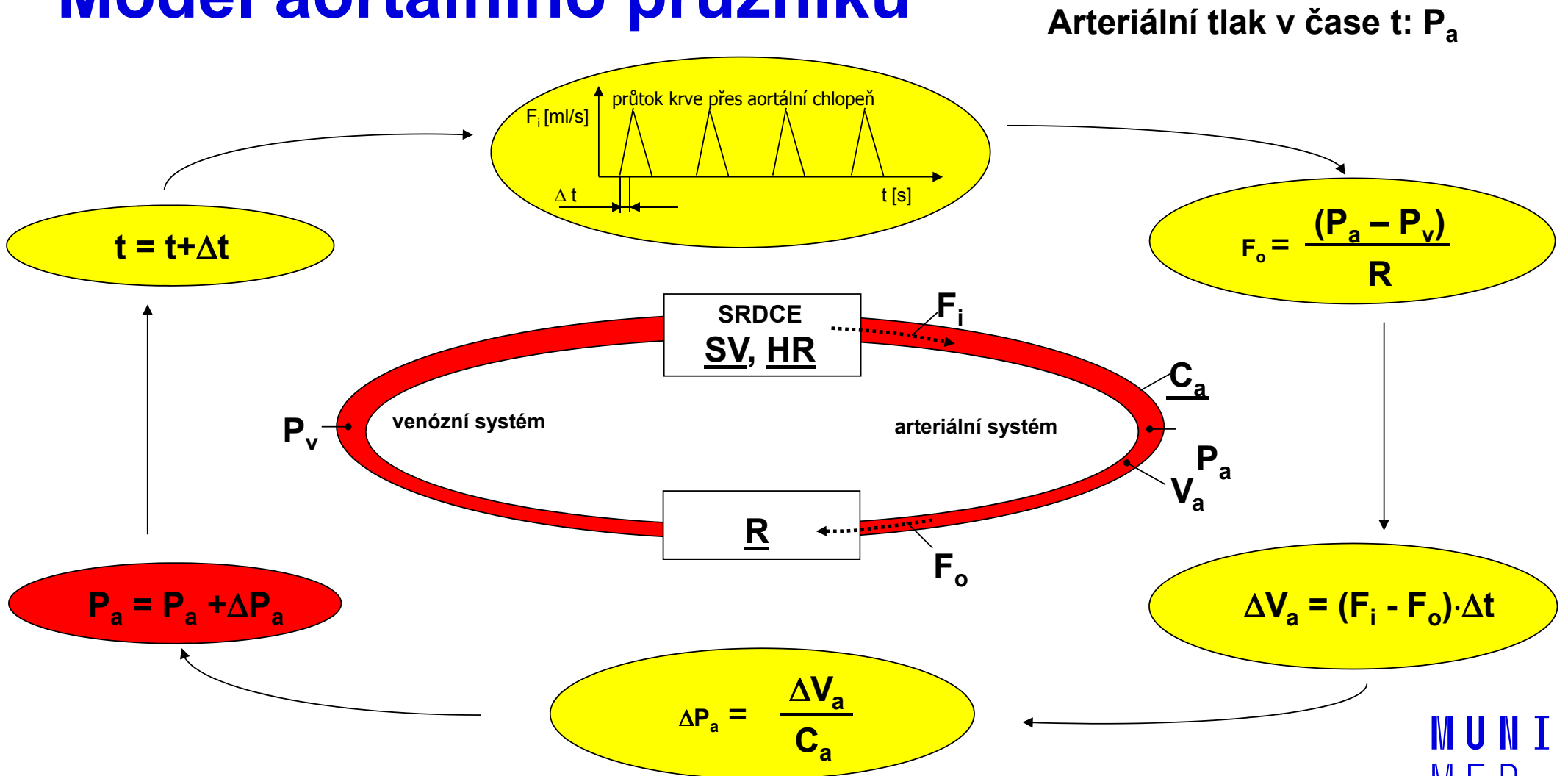
Křivku arteriálního tlaku lze sestavit na základě znalosti HR, SV, R a C

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



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

Model aortálního pružníku



Arteriální tlak v čase t : P_a

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);
 - η – viskozita; L – délka cévy
 - Jednotky: mmHg.s/l, mmHg.min/l kPa.min/l, dyn.s/cm³,...
- 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/cm³
- 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 vasokonstriční alfa receptory) – například odpověď baroreflexu na ortostatickou změnu polohy, stres, další vasokonstriční 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)

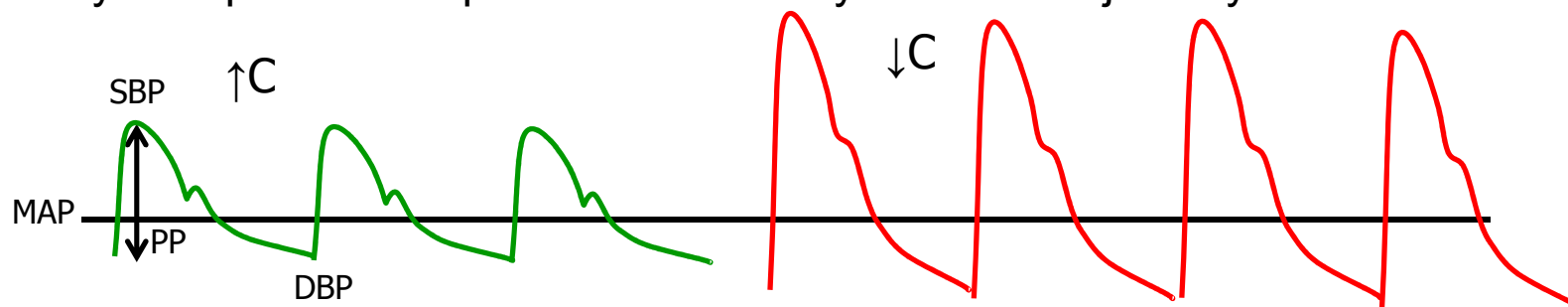
- Zvýšení SV
 - klinostatická změna polohy (před reakcí baroreflexu), ↑objem krve (rychlé podání infuze)
- Snížení SV
 - ortostatická změna polohy (před reakcí baroreflexu), ↓objem krve (dehydratace, ztráta, darování krve)

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

