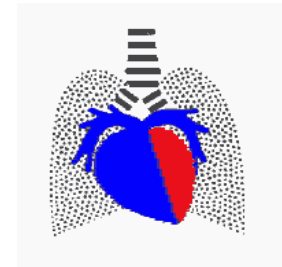


# Fyziologie srdce II.

(CO, preload, afterload, kontraktilita...)

Milan Chovanec

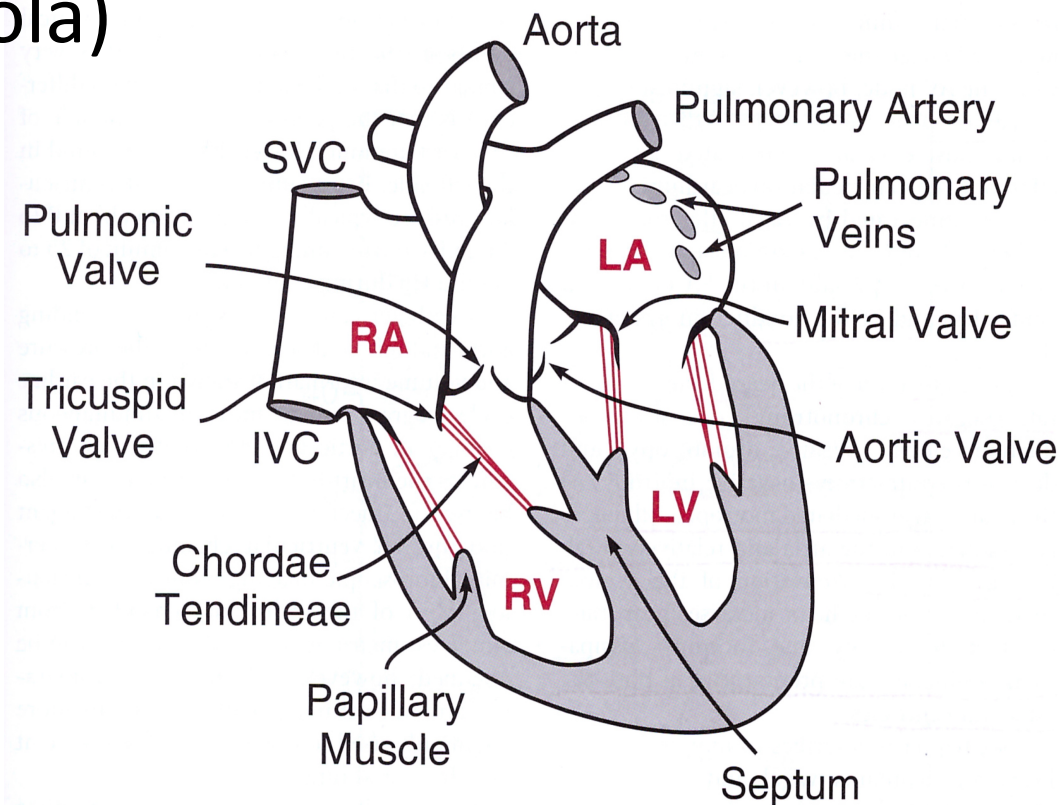
Ústav fyziologie 2.LF UK



- Srdeční cyklus, minutový srdeční výdej
- Preload
- Afterload
- Kontraktitina – inotropie
- Vztahy mezi CO, žilním návratem....

# Srdce = pumpa

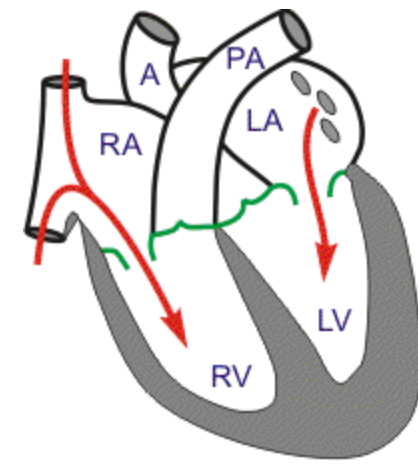
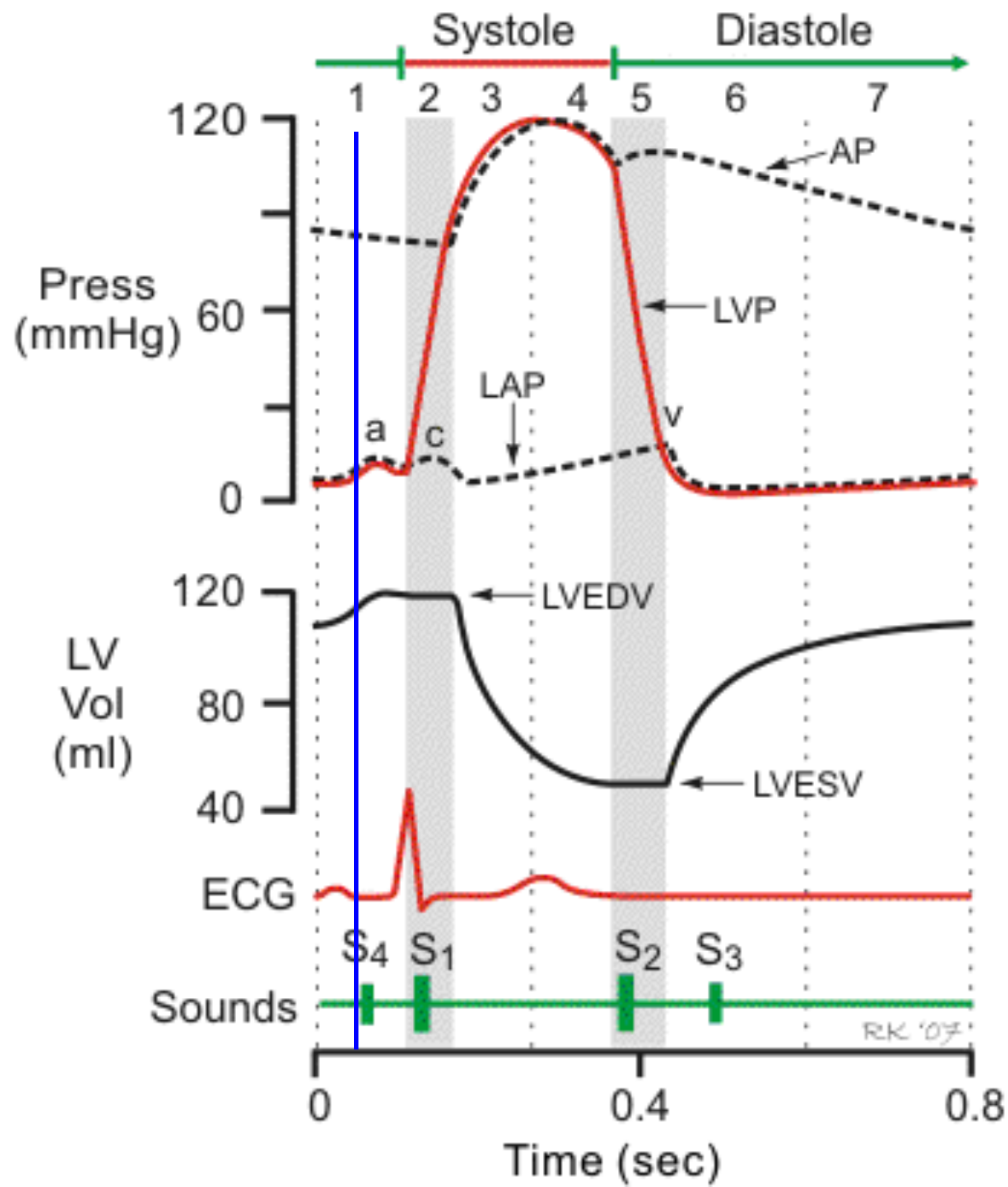
- zařízení čerpající krev v cyklech
- Plnění (diastola) / vypuzování (systola)
- tlaková práce / objemová práce
- izotonická }  
                  } kontrakce  
                  } relaxace  
izometrická }



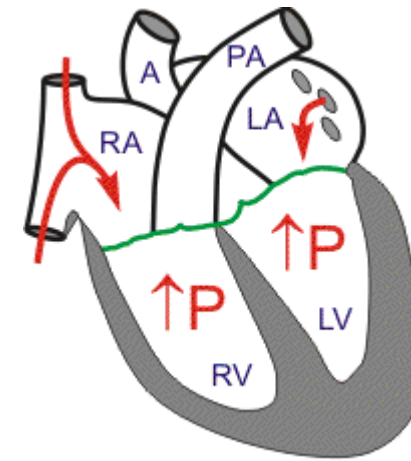
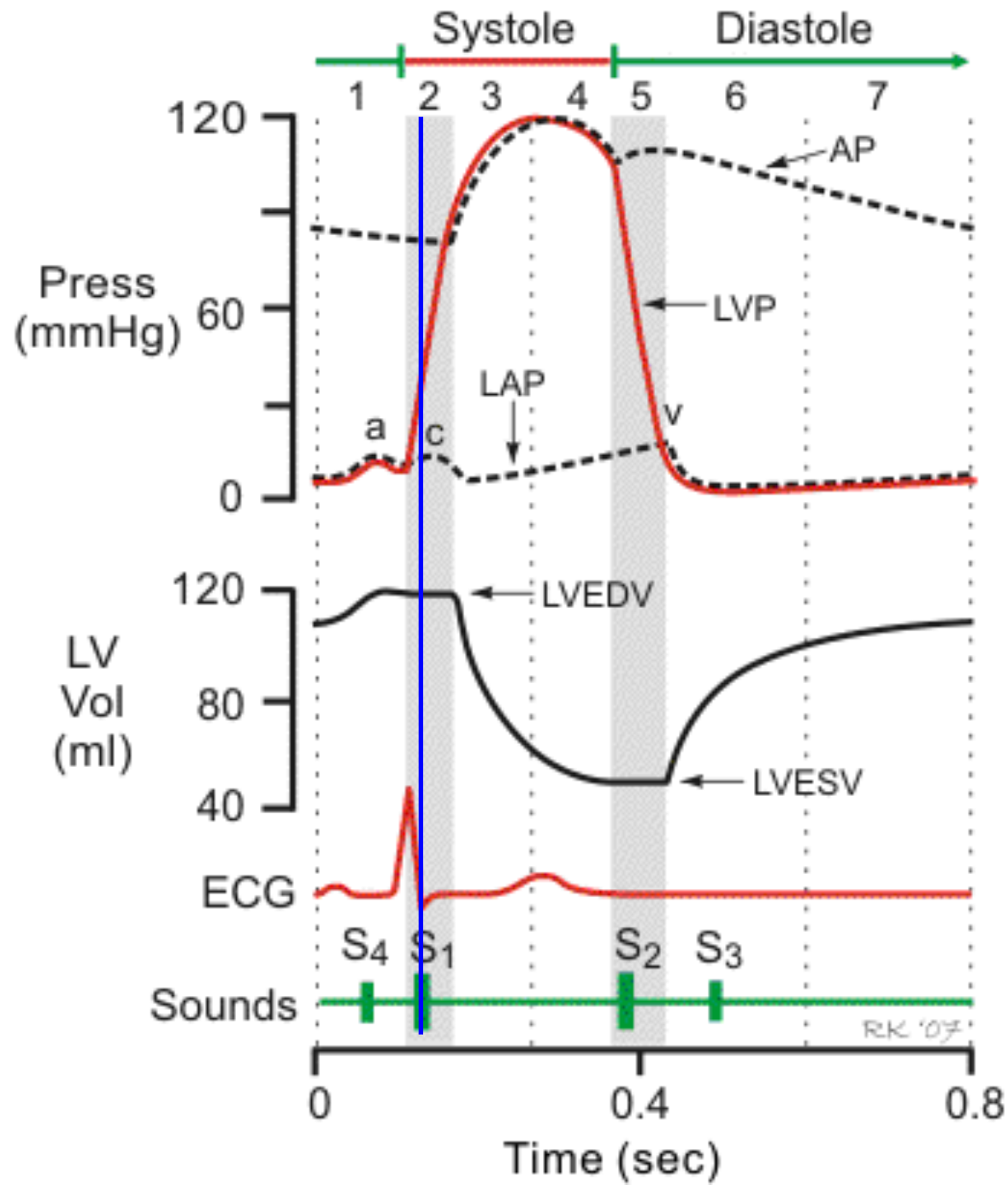
# Srdeční cyklus

- Kontrakce síní
- Izovolumetrická kontrakce komor
- Ejekce komor
- Izovolumetrická relaxace komor
- Pasivní plnění komor

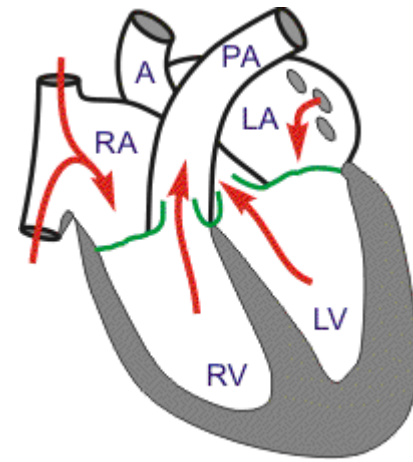
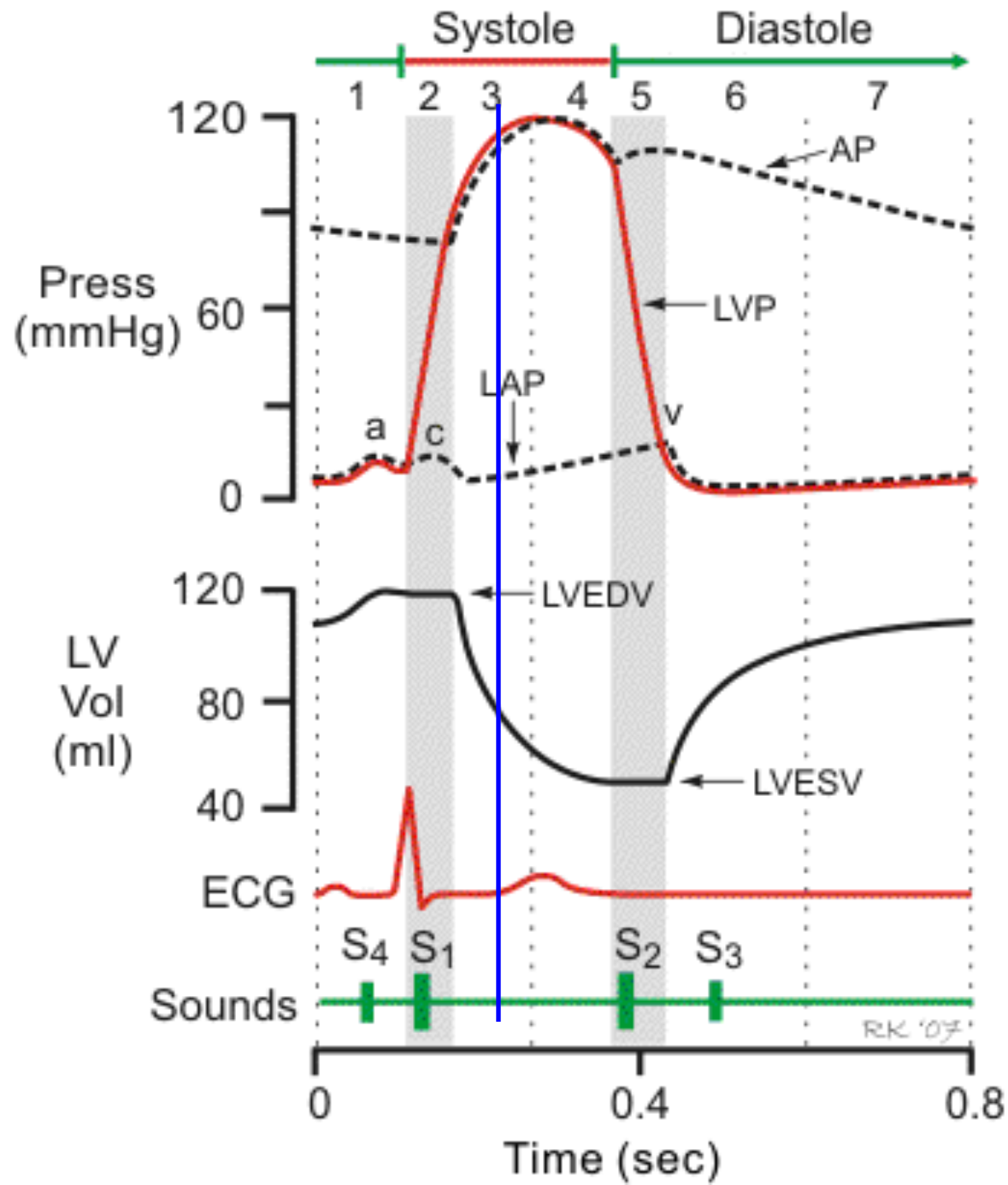




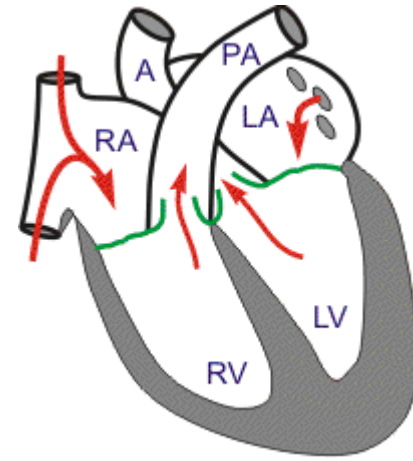
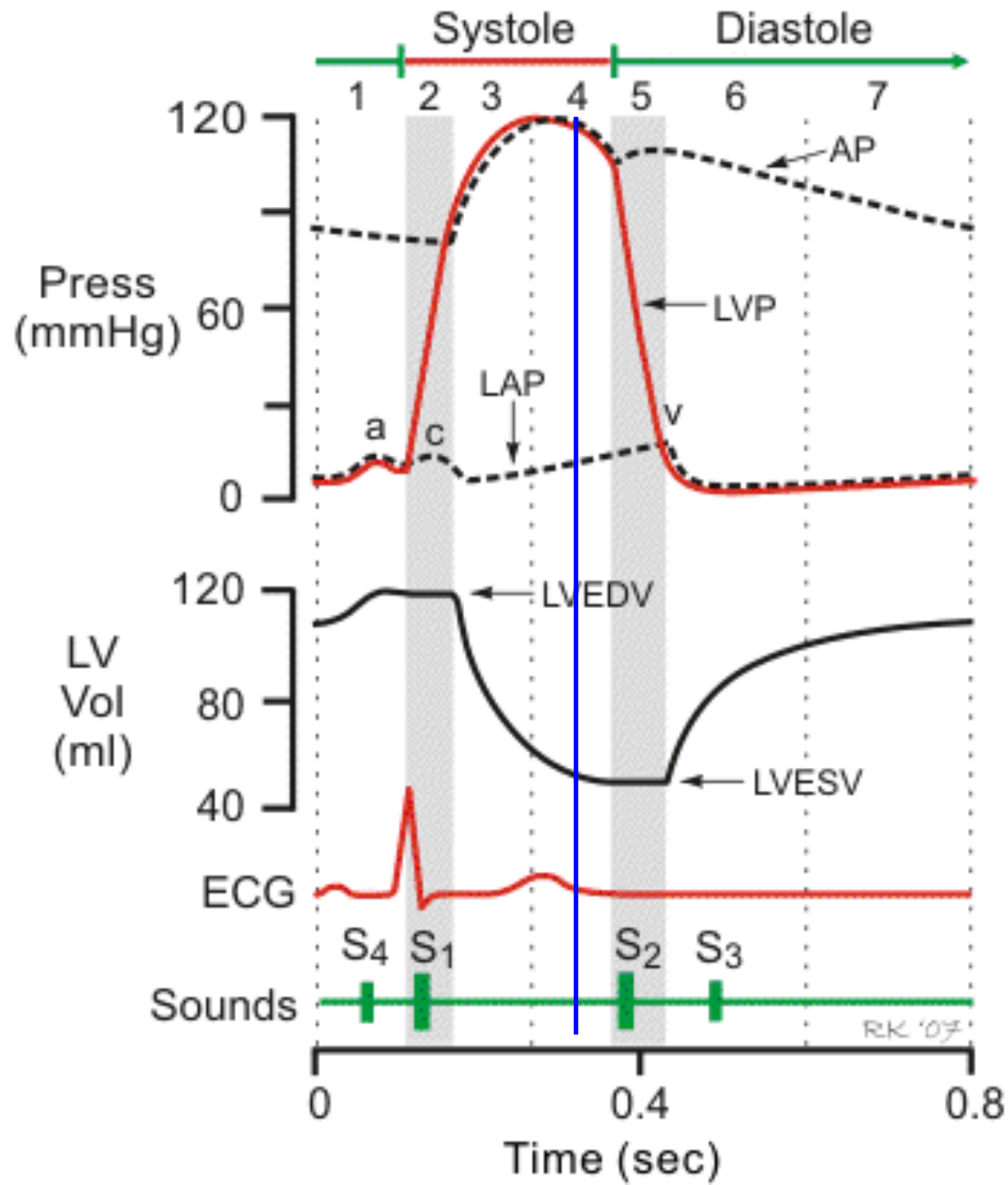
## 1. Kontrakce síní



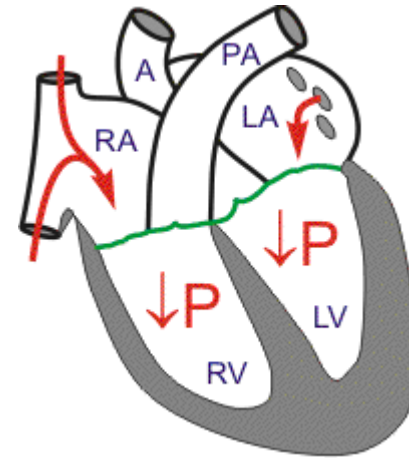
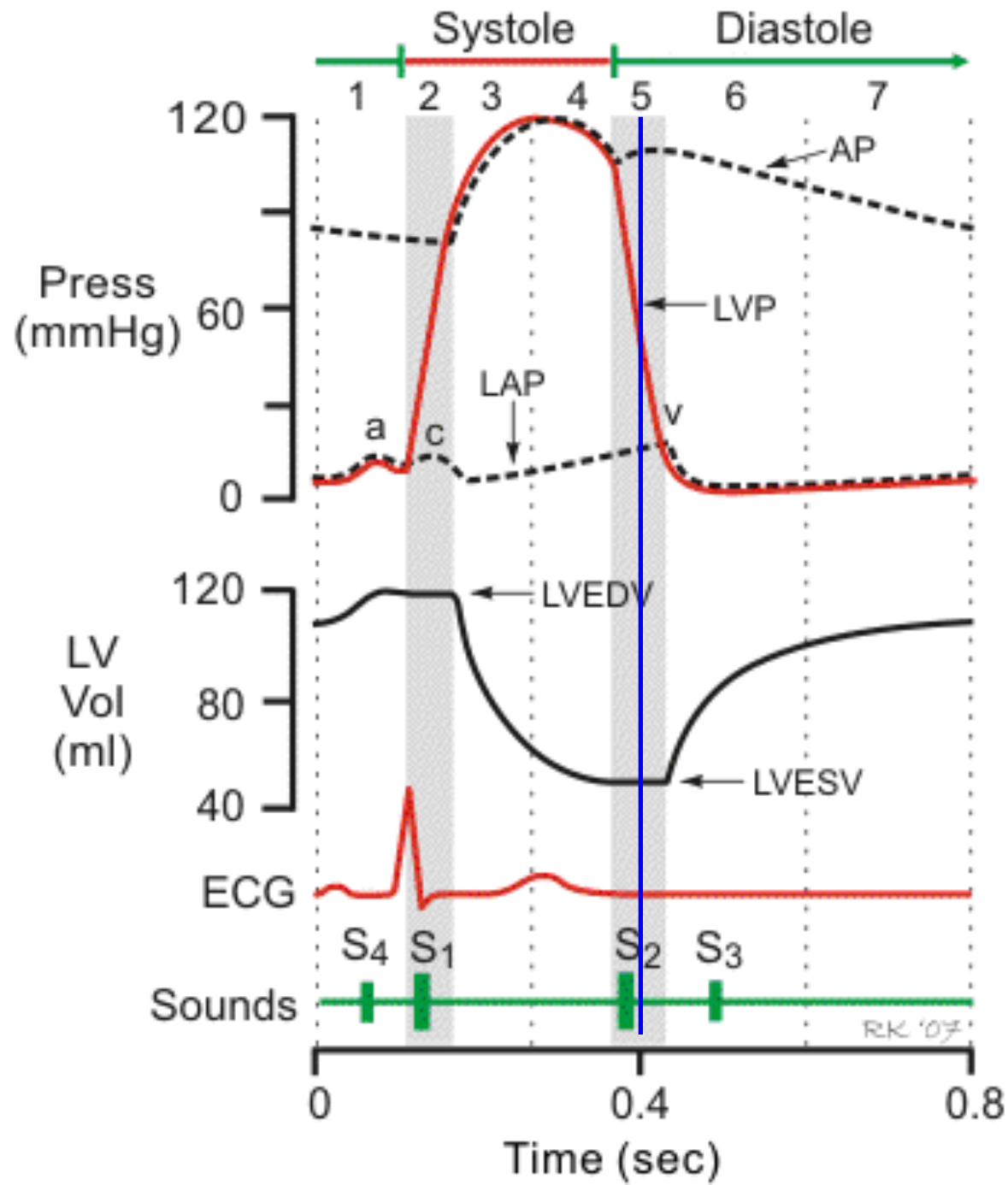
## 2. Isovolumová kontrakce



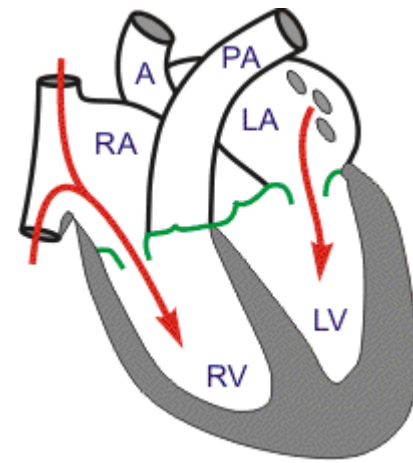
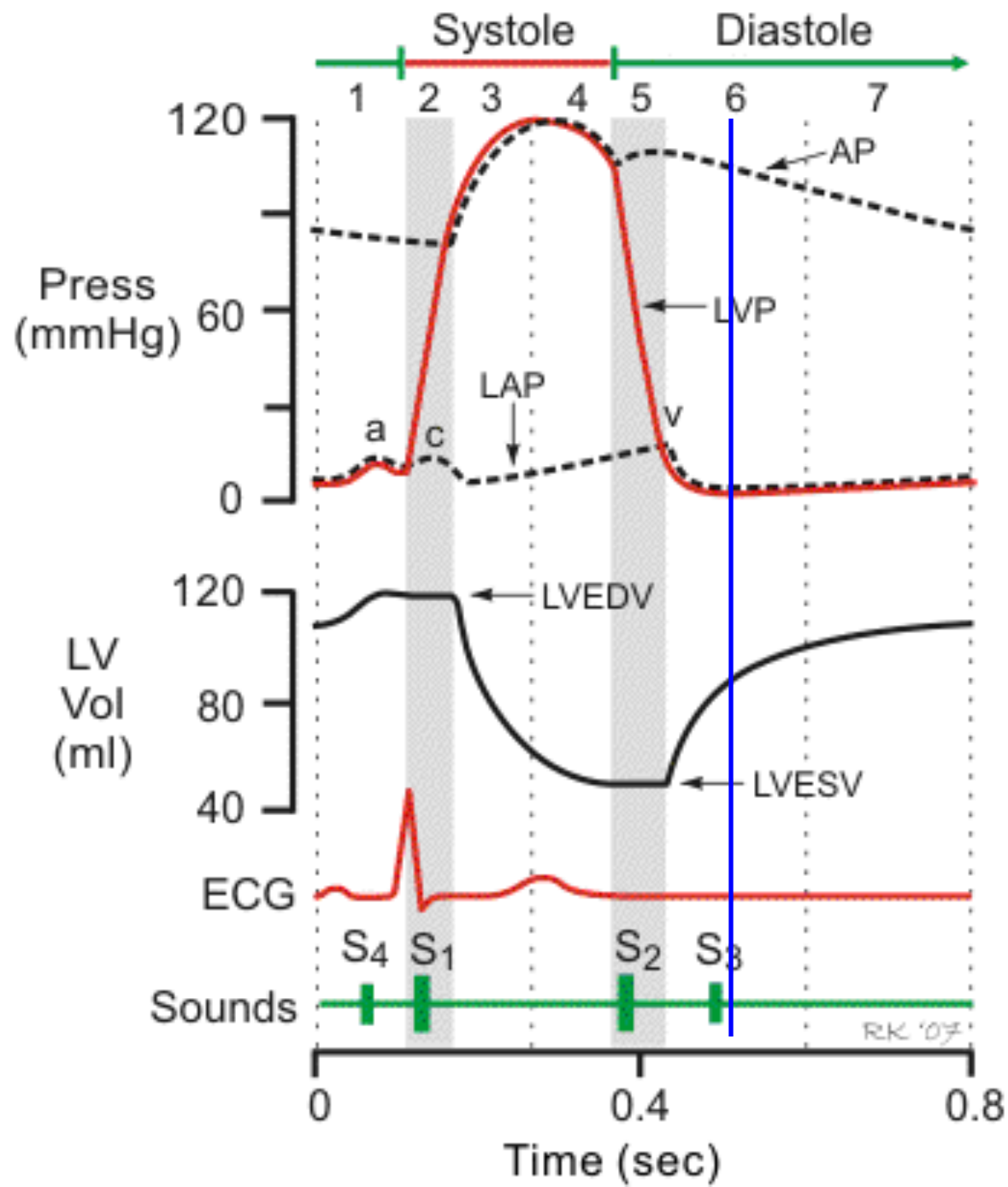
### 3. Rychlá ejekce



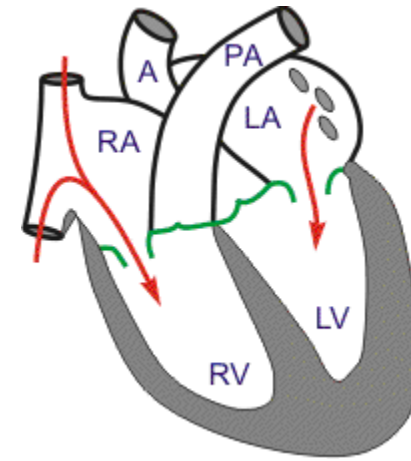
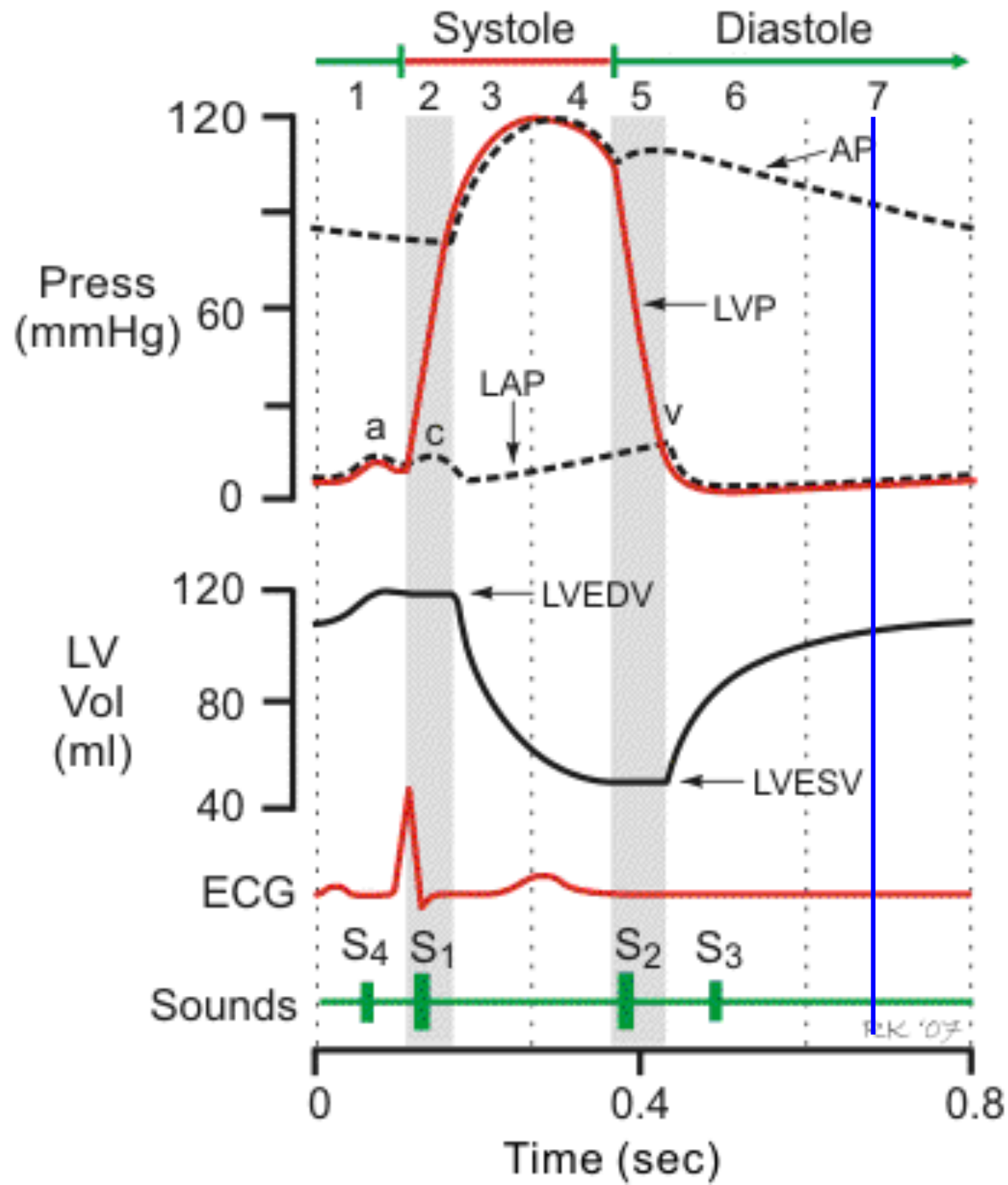
## 4. Pomalá ejekce



## 5. Isovolumová relaxace

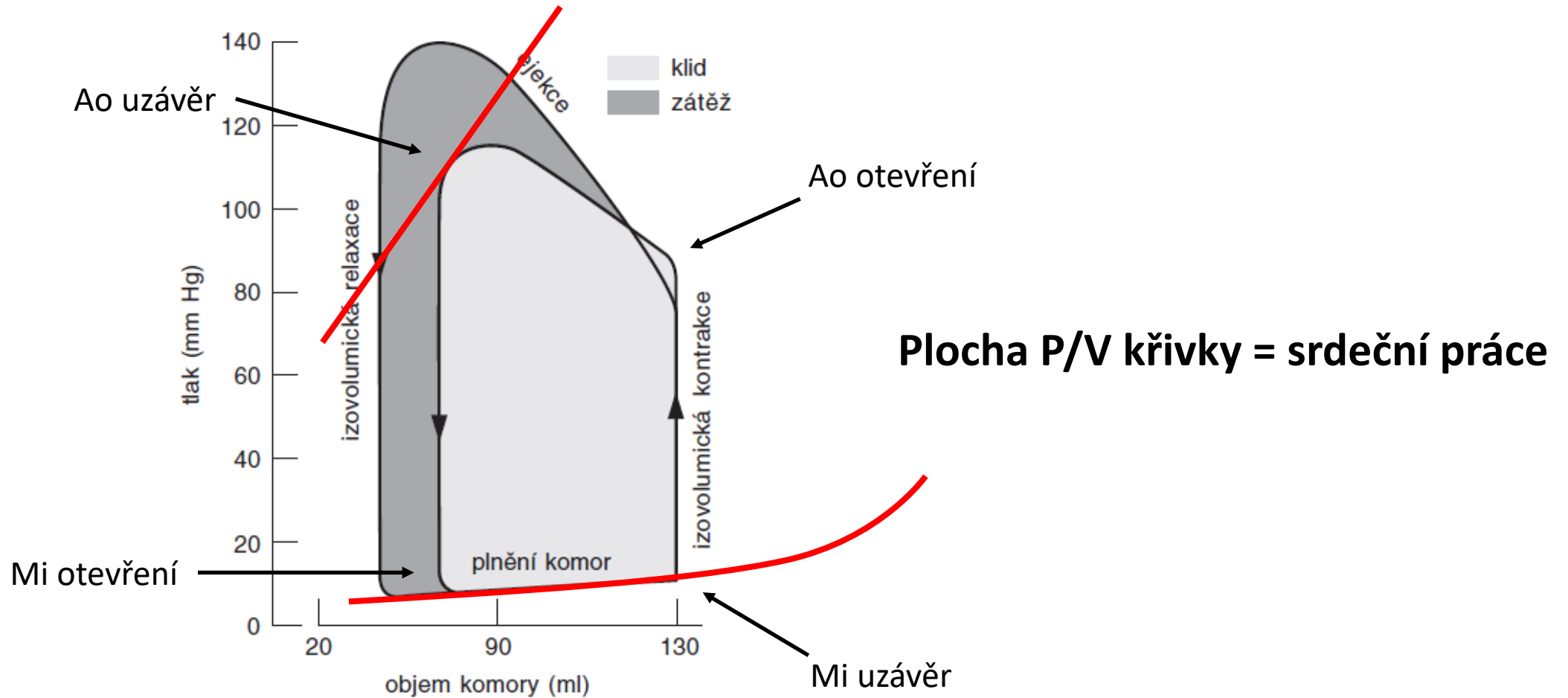


## 6. Rychlé plnění



## 7. Pomalé plnění

# Tlakově objemová srdeční křivka/závislost





# Cardiac Output = Minutový Objem Srdeční

$$CO = SV \cdot HR$$

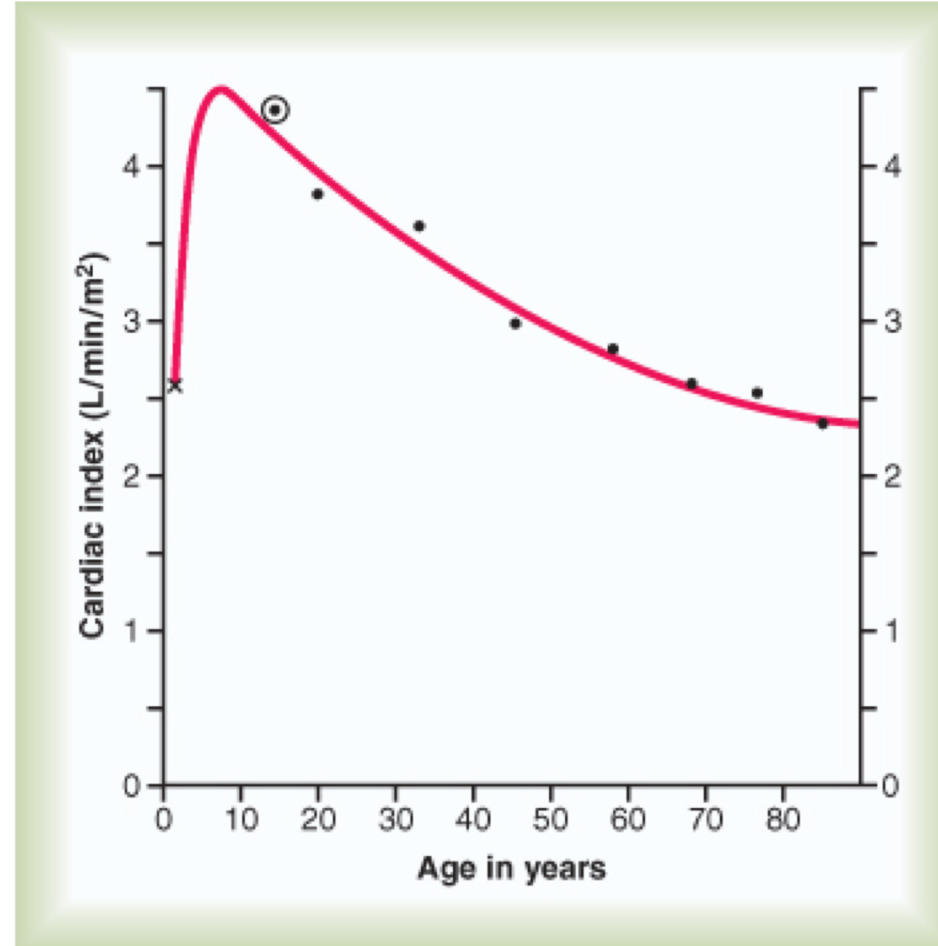
CO – srdeční výdej (5.0 - 6.0 l/min )  
CI – srdeční index (2.6 - 4.2 l/min/m<sup>2</sup>)  
SV – vývrhový objem, cca 70ml/stah  
HR – srdeční frekvence, cca 60-100/min  
BSA – body surface area (plocha těla)

$$\text{Cardiac Index (CI)} = CO / BSA$$

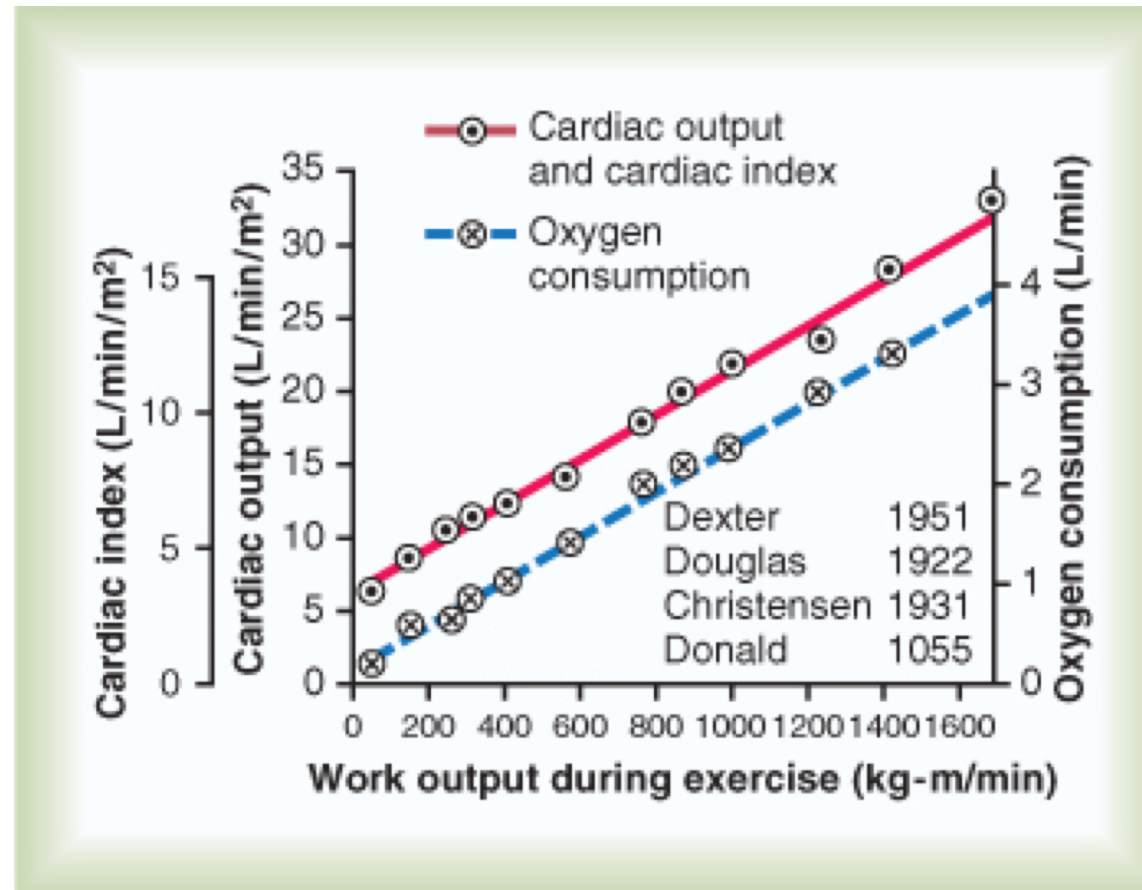
Pokud srdce není schopné zvýšit dostatečně CO, podle potřeb orgánů  
= srdeční selhání!!!

Zvyšováním frekvence dochází ke zkracování doby plnění srdce krví (diastoly).  
Od určité frekvence další zvýšení HR způsobí snížení CO!!!!

# Vztah mezi CO a věkem



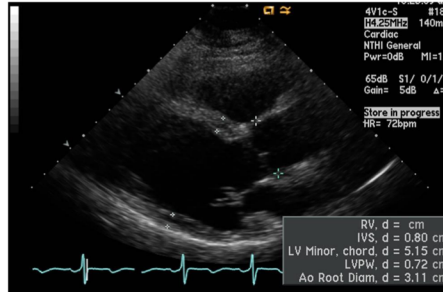
# Vztah mezi CO a fyzickou zátěží



# Měření CO

- US – echokg:

Průměr LVOT=výpočet plochy LVOT

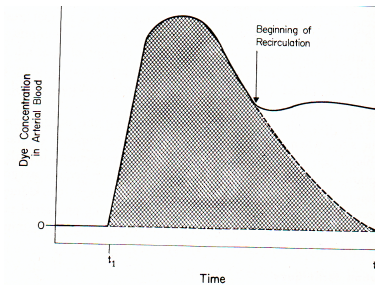


Rychlost proudění v LVOT = VTI v LVOT



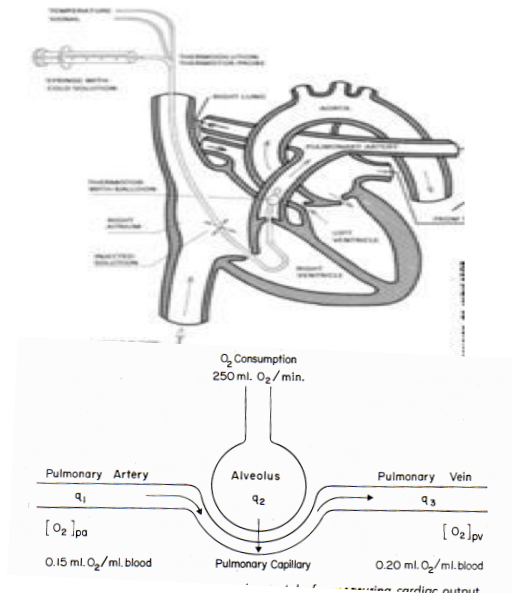
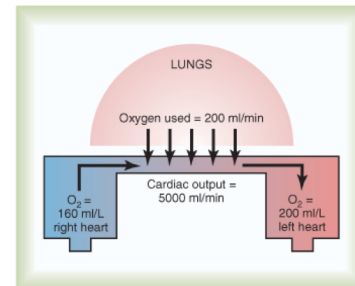
- Diluční metody:

Barvivová diluce – spíše výzkum



Thermodiluce – běžně u kriticky nemocných

- Fickův princip:

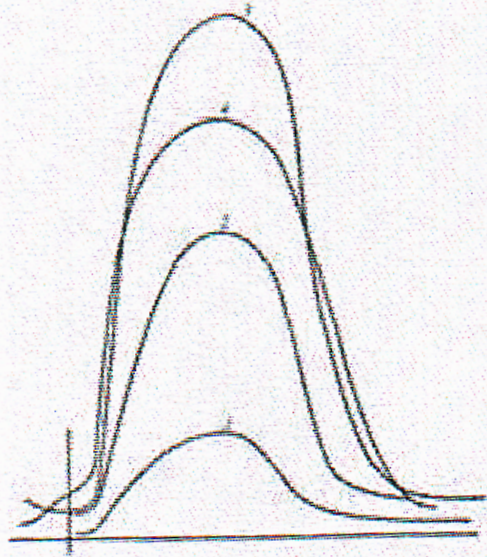


# Preload (přetížení)

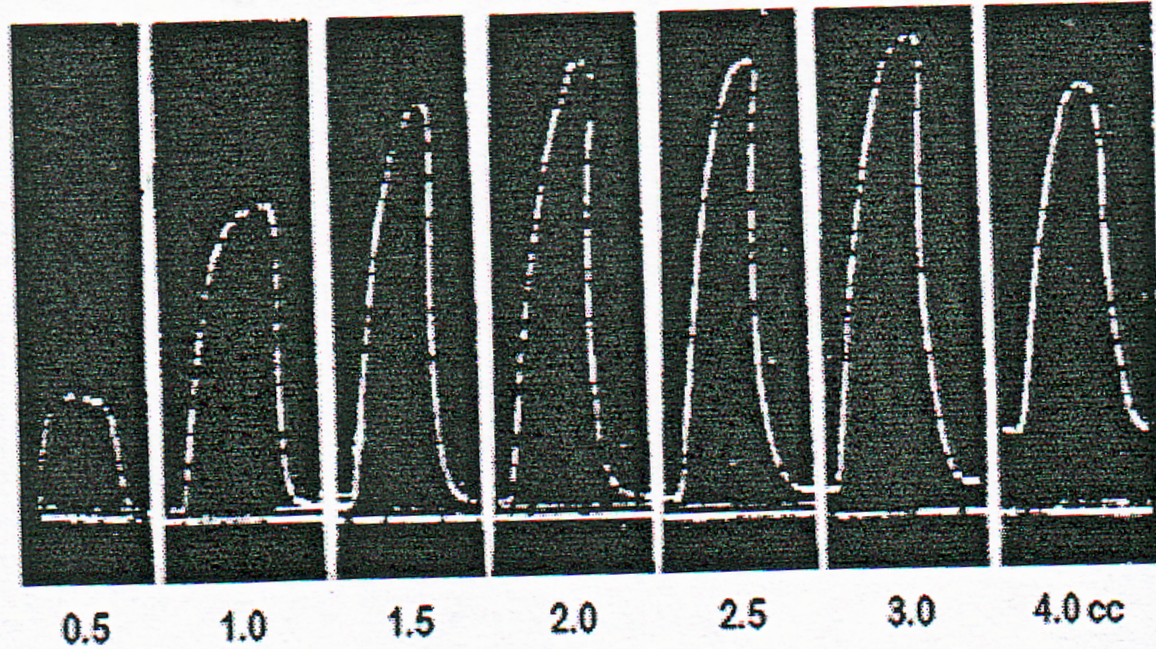
- Síla kontrakce svalového vlákna se zvyšuje a zrychluje se zvyšující se délkou sarkoméry na konci diastoly.  
Tzn. čím více se srdce naplní krví (zvýšený žilní návrat, prodloužené sarkoméry...) způsobí, že následná kontrakce bude silnější a rychlejší (zvýšený SV, zvýšený CO)
- Žilní návrat, CVP
- HETEROMETRICKÁ REGULACE SRDEČNÍ KONTRAKCE
- Frank-Starlingova závislost



## Frank-Starling



Frank (frog, 1895)

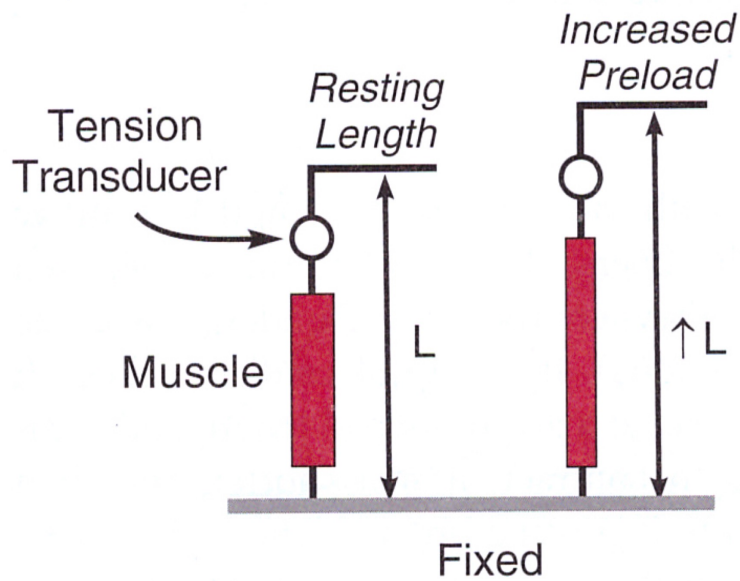


Starling (dog, 1914)

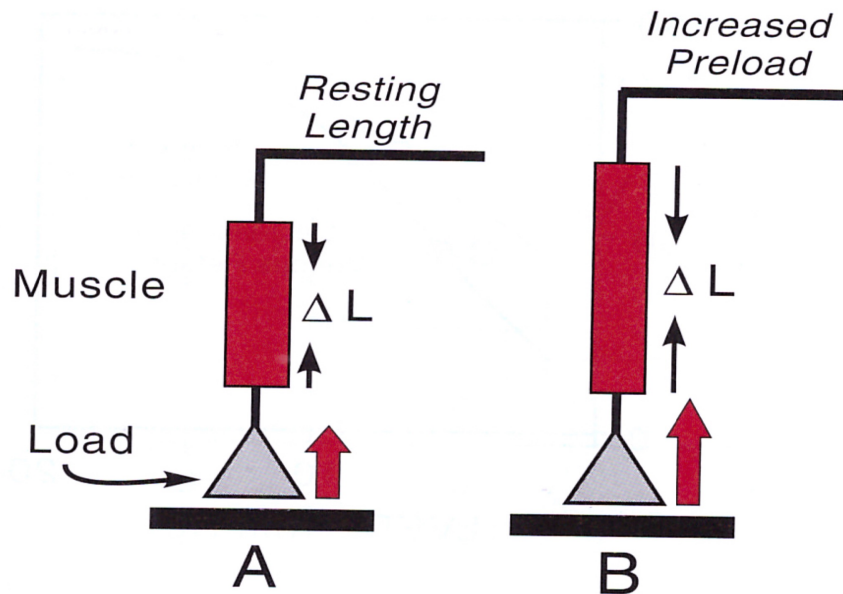
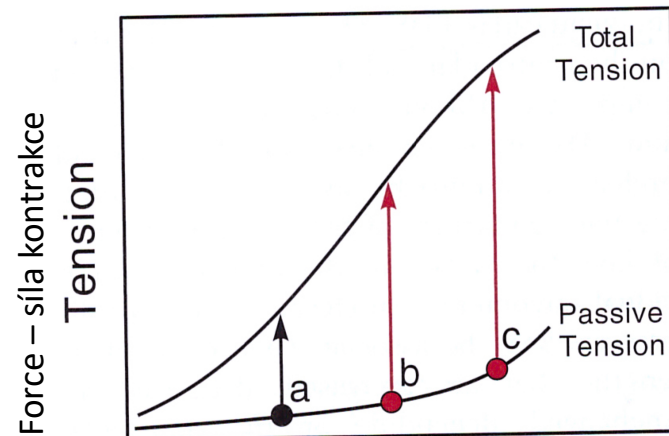
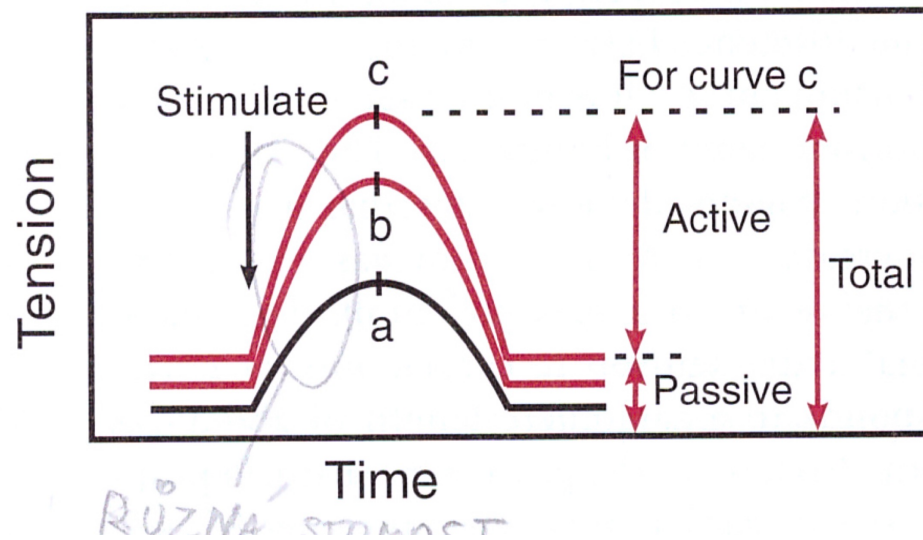
“Experiments carried out in this laboratory have shown that in an isolated heart [...] (within physiological limits) the larger the diastolic volume [...] the greater is the energy of its contraction.”

EH Starling & MB Visscher. The regulation of the energy output of the heart. *J Physiol* 1926/62:243-261.

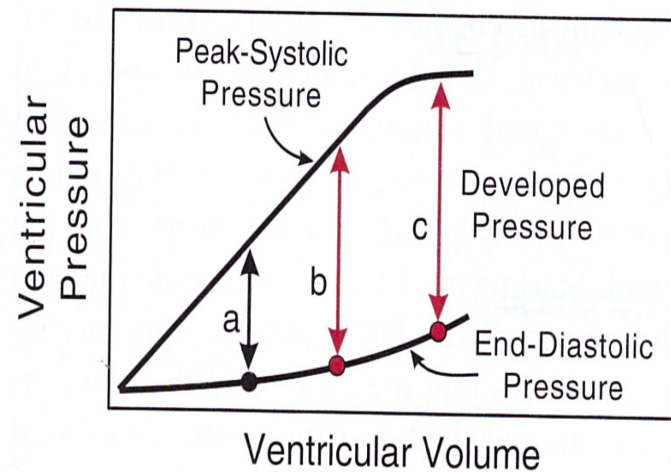
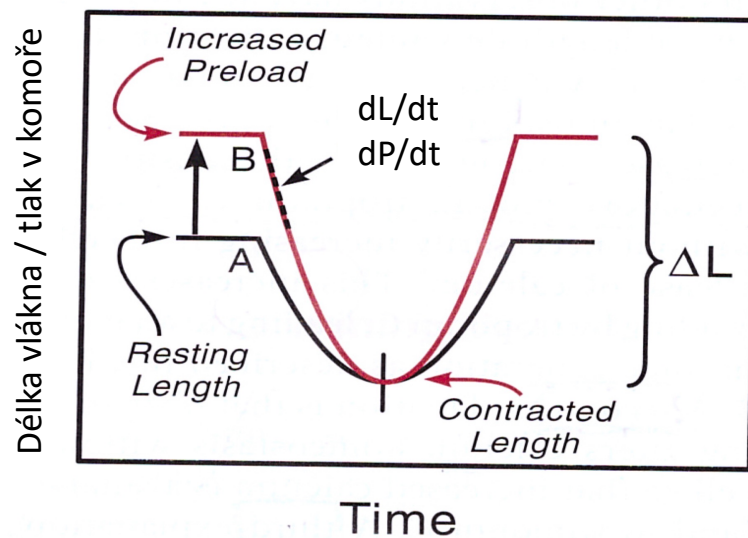




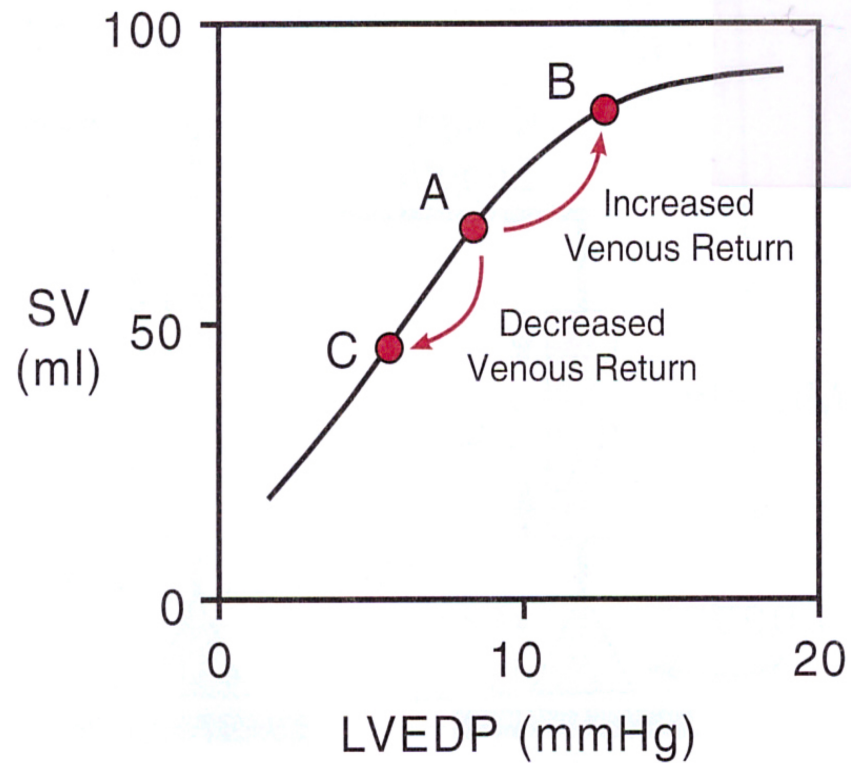
### Isometrická kontrakce



### Isotonická kontrakce

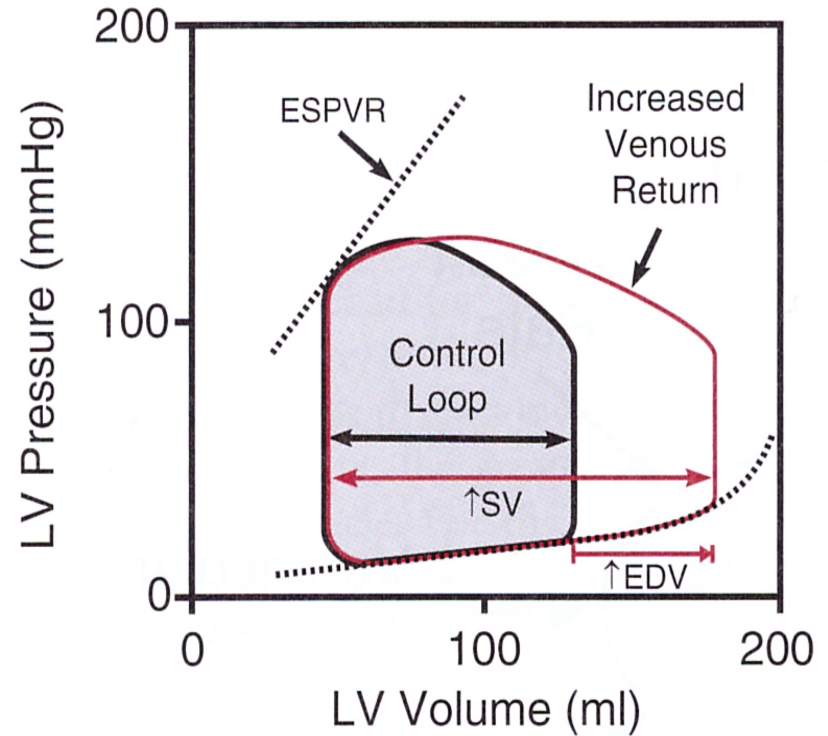
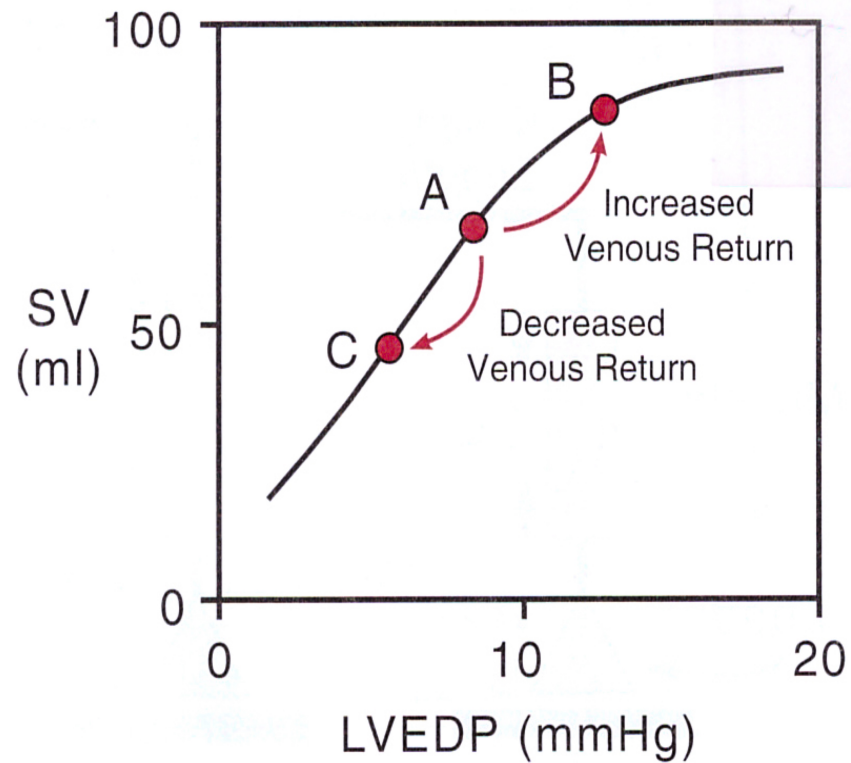


# Frank-Starlingův mechanismus (Heterometrická regulace srdeční kontrakce)





# Frank-Starlingův mechanismus (Heterometrická regulace srdeční kontrakce)



# Frank-Starlingův mechanismus

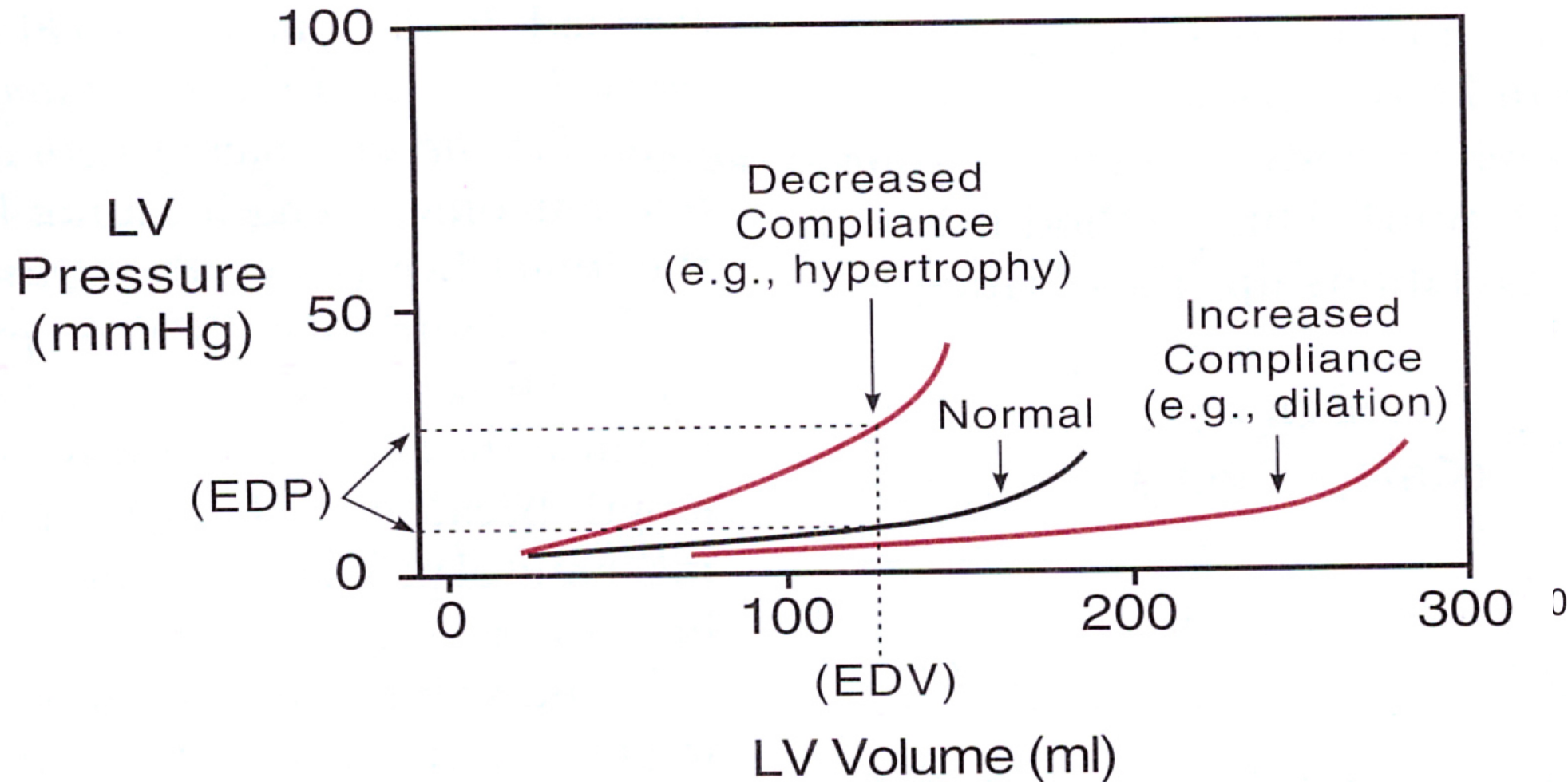
Zvýšená náplň komory – zesílená a zrychlená kontrakce, proč?

- Delší sarkoméra:

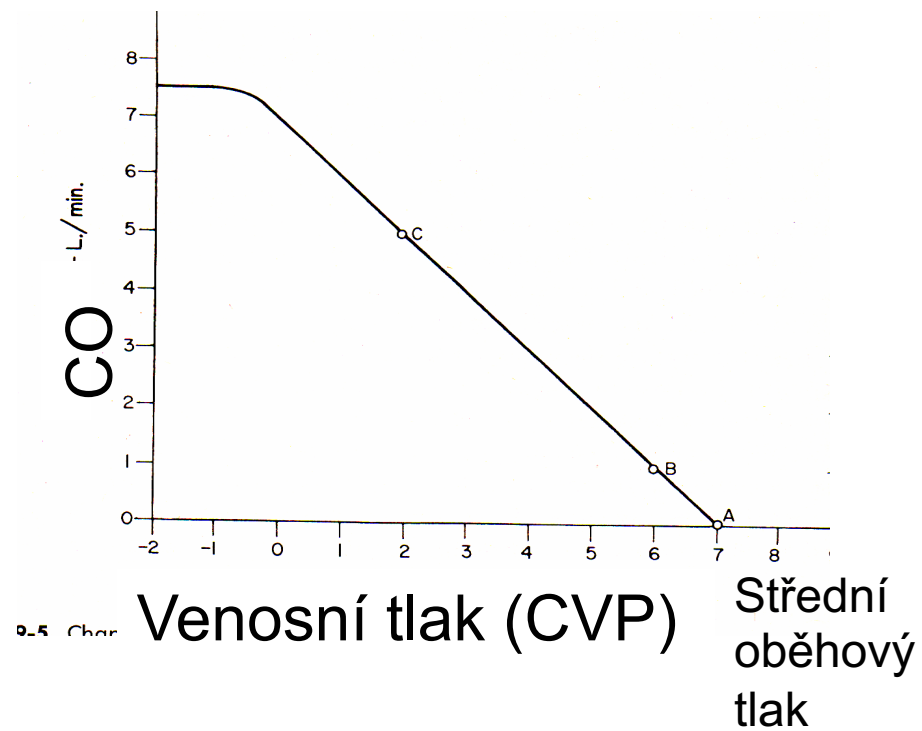
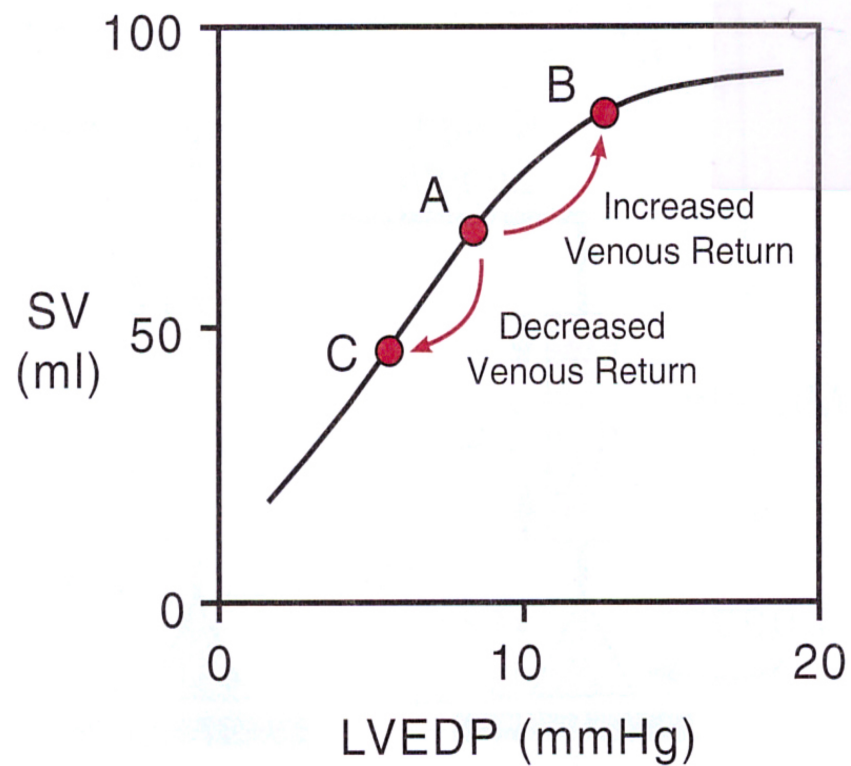
- Více interakcí aktin-myozin – uvolnění více energie
- Větší citlivost k troponinu C k  $\text{Ca}^{2+}$
- Větší množství  $\text{Ca}^{2+}$  intracelulárně
- Zmenšení průměru svalového vlákna – aktin a myozin blíže u sebe

# Frank-Starlingův mechanismus – poddajnost komory

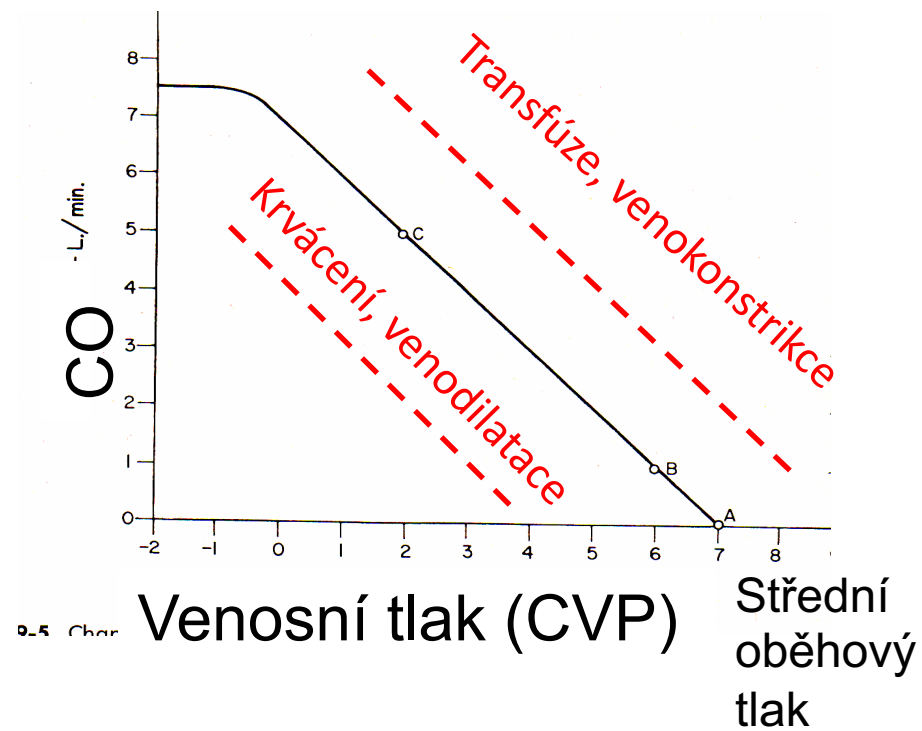
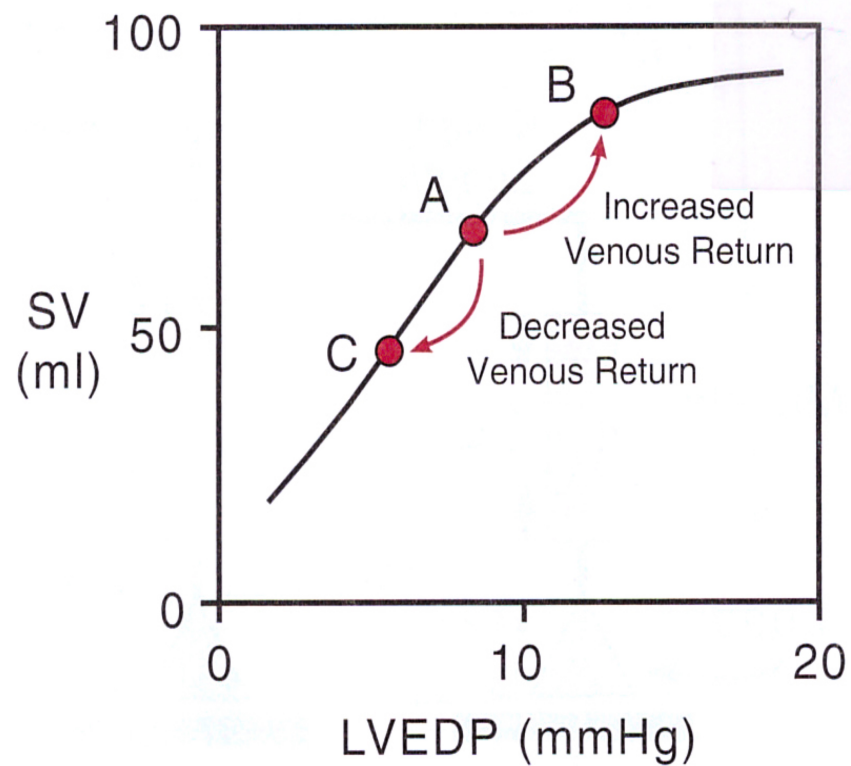
(Heterometrická regulace srdeční kontrakce)



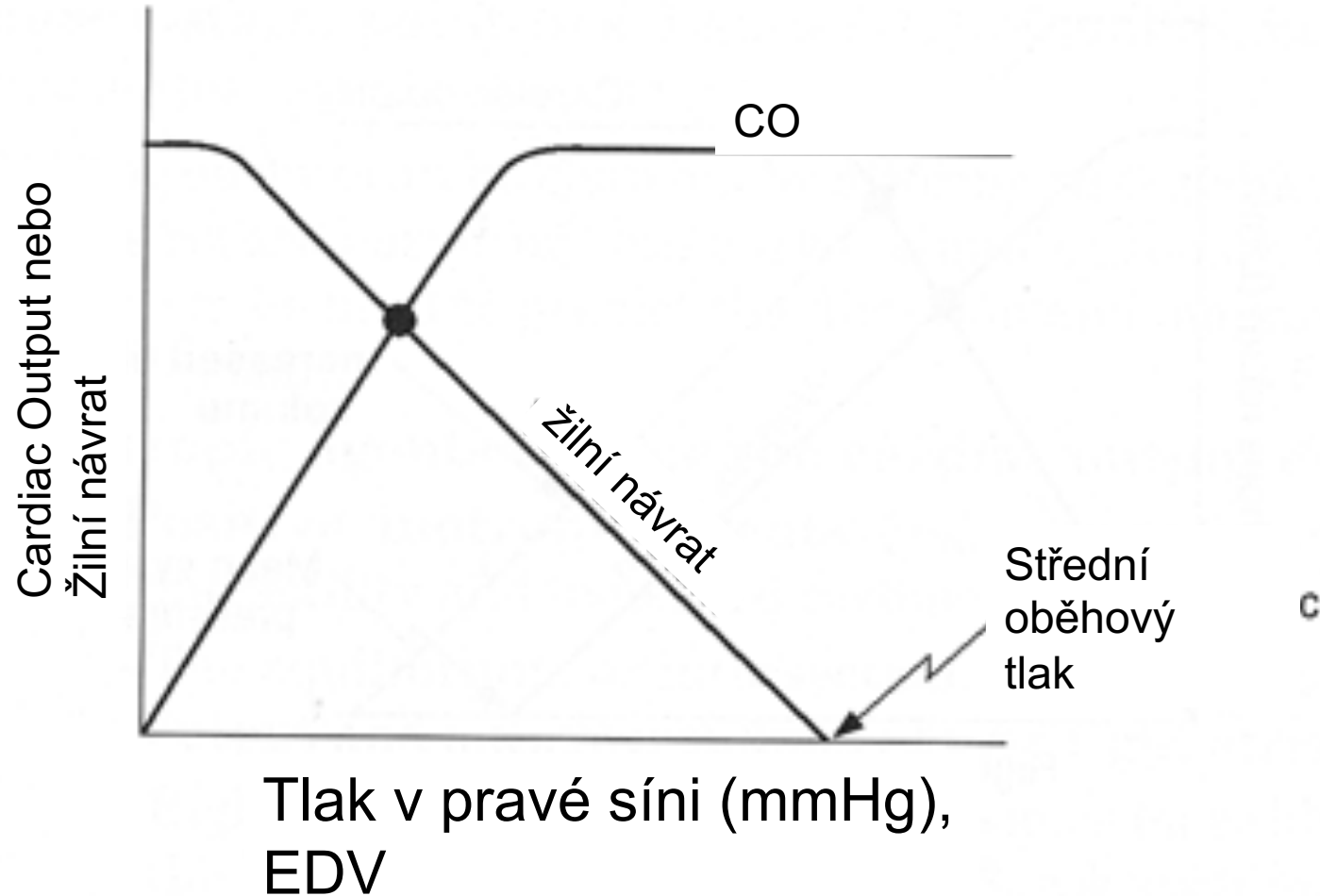
# CO a žílní návrat

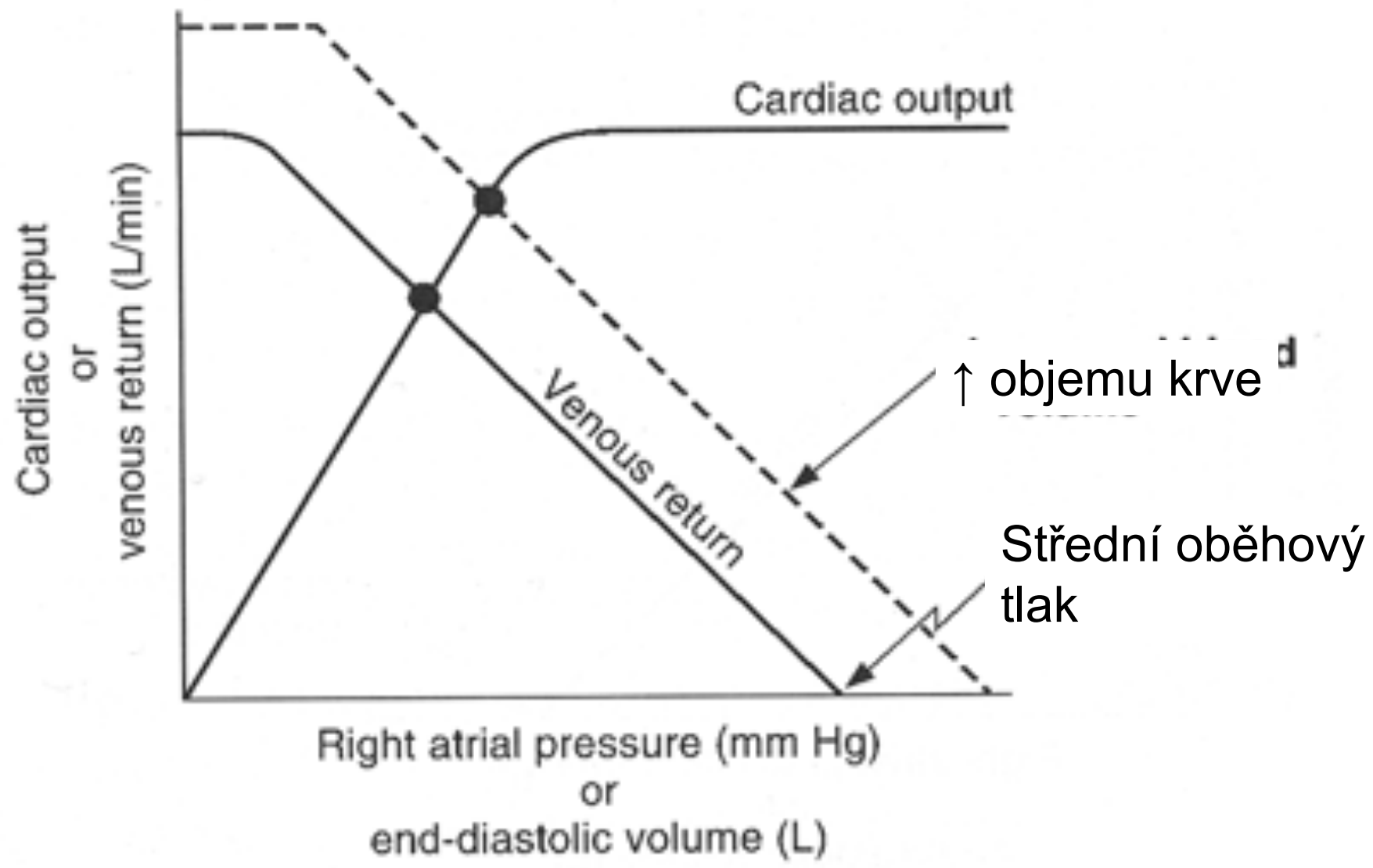


# CO a žílní návrat



# Vztah mezi CO a žílním návratem





# Faktory ovlivňující preload

- Žilní tlak, žilní návrat, CVP
- Poddajnost komorové svaloviny
- Frekvence srdce – doba plnění, doba diastoly
- Kontrakce síní – při tachykardii nabývá na významu z 20 na 50%, fibrilace síní
- Odpor při vtoku – Tri stenóza, Mi stenóza
- Odpor při výtoku – PAP, Pu stenóza, hypertenze, Ao stenóza
- Kontraktilita komor – snížená kontraktilita vede ke zvýšení preloadu

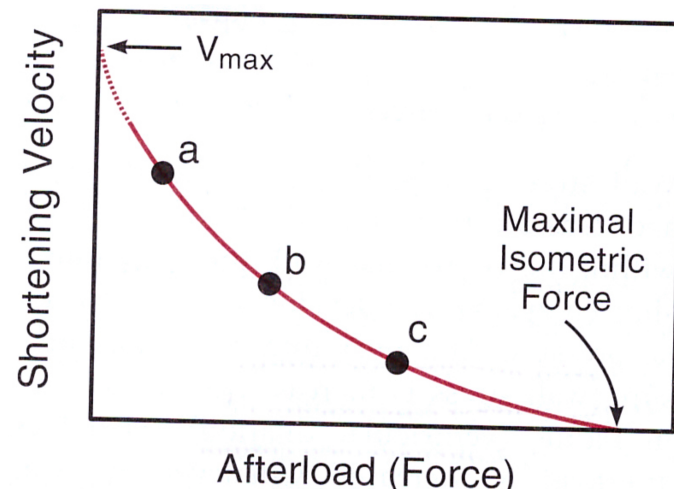
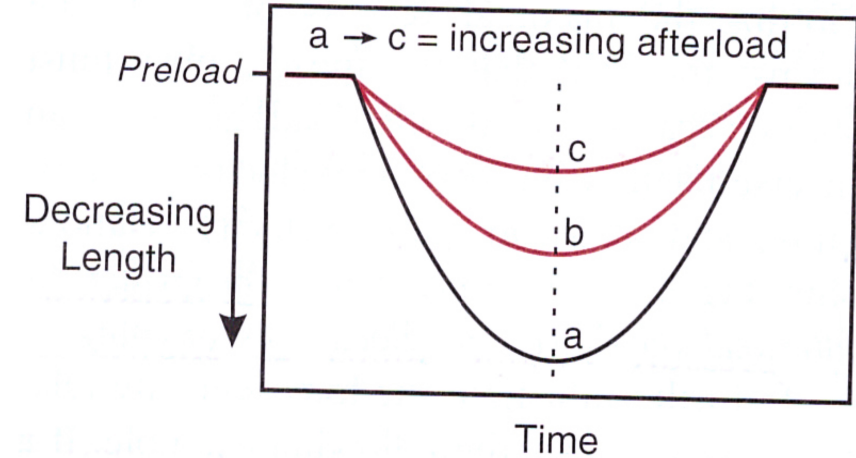
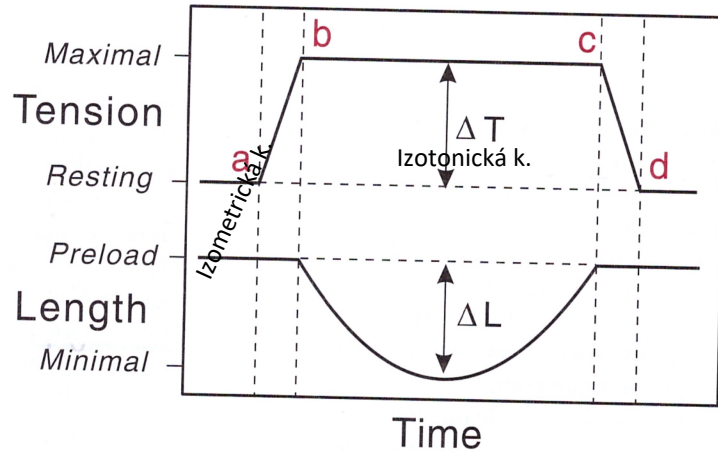
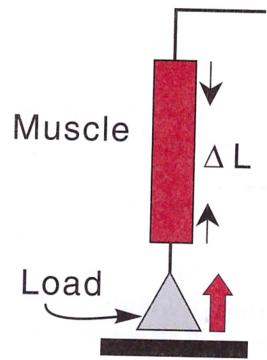


# Afterload (dotížení)

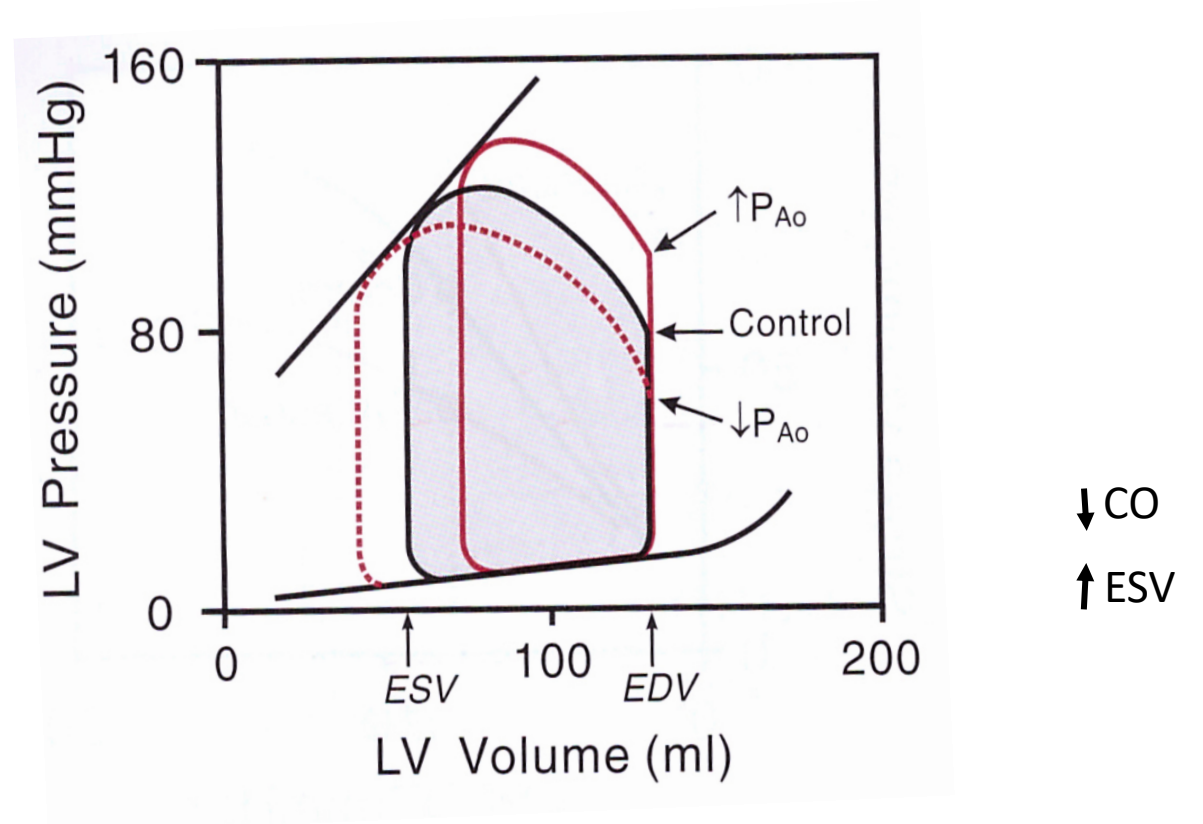
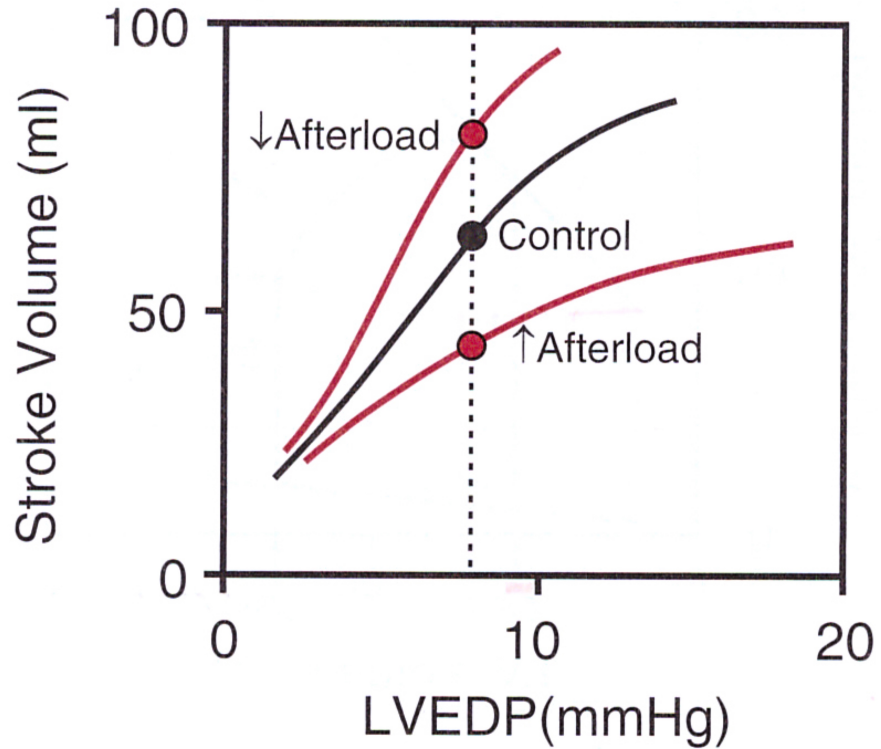
- Odpor proti kterému musí srdce pumpovat krev
- Jeho hodnotu charakterizuje SVR (malé areterie, arterioly)
- Jeho hodnotu je možné charakterizovat napětím stěny komory, Laplace zákon:  
$$\sigma \propto \frac{P \cdot r}{h}$$

$\sigma$  - napětí stěny  
 $P$  - tlak v komoře  
 $r$  - poloměr komory  
 $h$  - tloušťka stěny
- Chronicky zvýšený afterload (např. hypertenze) – hypertrofie LK je výhoda proti vysokému afterloadu, ale hypertrofie snižuje poddajnost LK, což působí horší plnění (pod vyšším tlakem)!

# Afterload: vztah síla/rychlost kontrakce



# Afterload

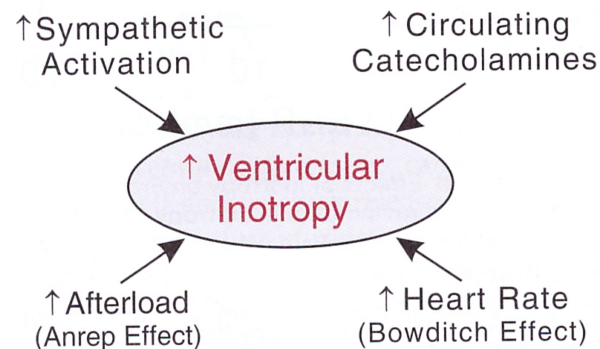


Pokles SV na podkladě zvýšeného afterloadu je možné “kompenzovat” zvýšením preloadu !!!

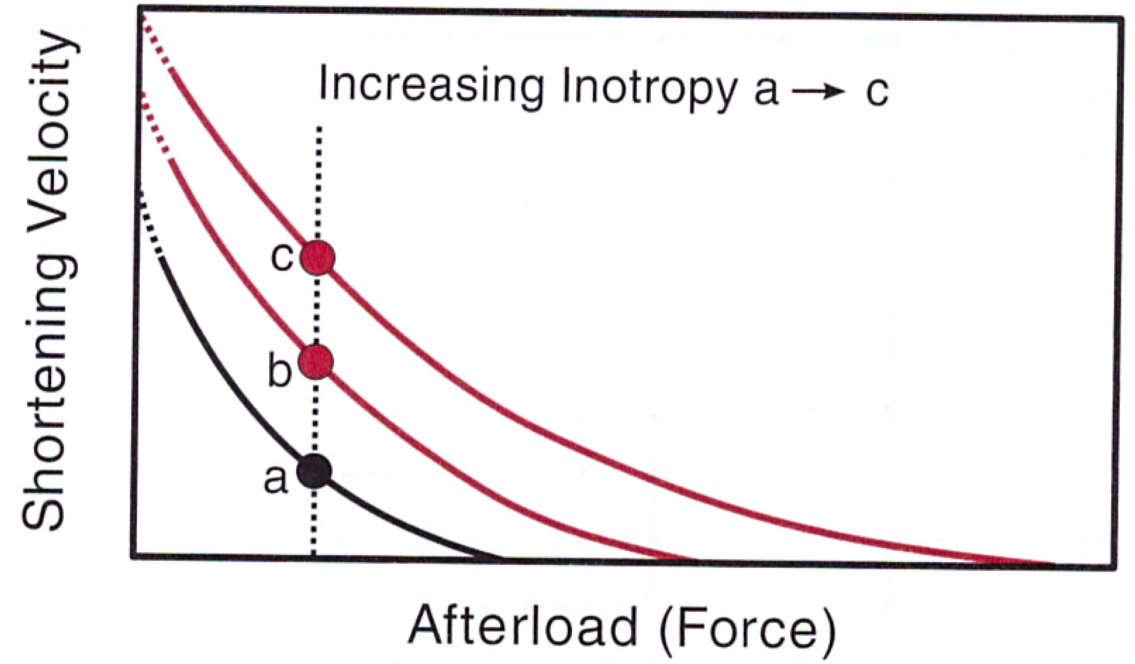
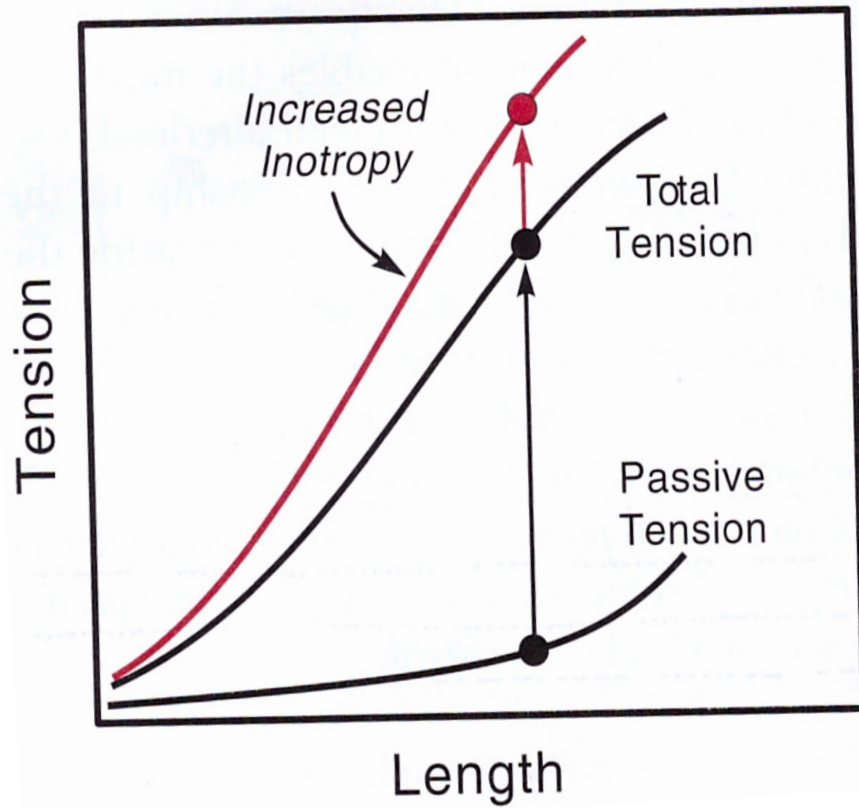
# Kontraktilita - inotropie

- Kontraktilita (inotropie) = síla kontrakce
- Mění délku sarkoméry jiným mechanismem než změnou interakce aktin-myozin:
  - Zvýšený vstup  $\text{Ca}^{2+}$  do buňek z extracel. prostoru
  - Zvýšené uvolnění  $\text{Ca}^{2+}$  z ER
  - Zvýšená citlivost troponinu C na  $\text{Ca}^{2+}$
- Nesouvisí s délkou sarkoméry = HOMEOMETRICKÁ REGULACE KONTRAKCE

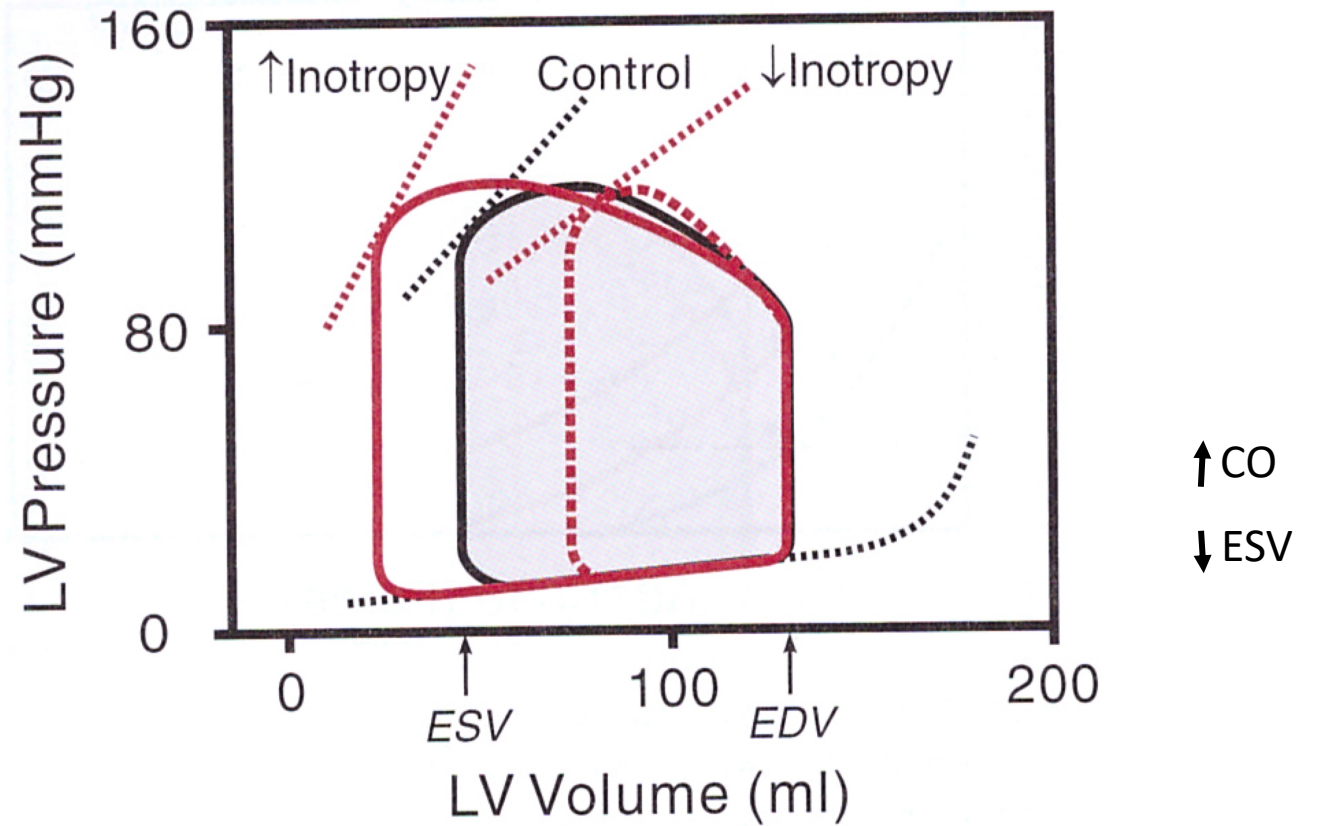
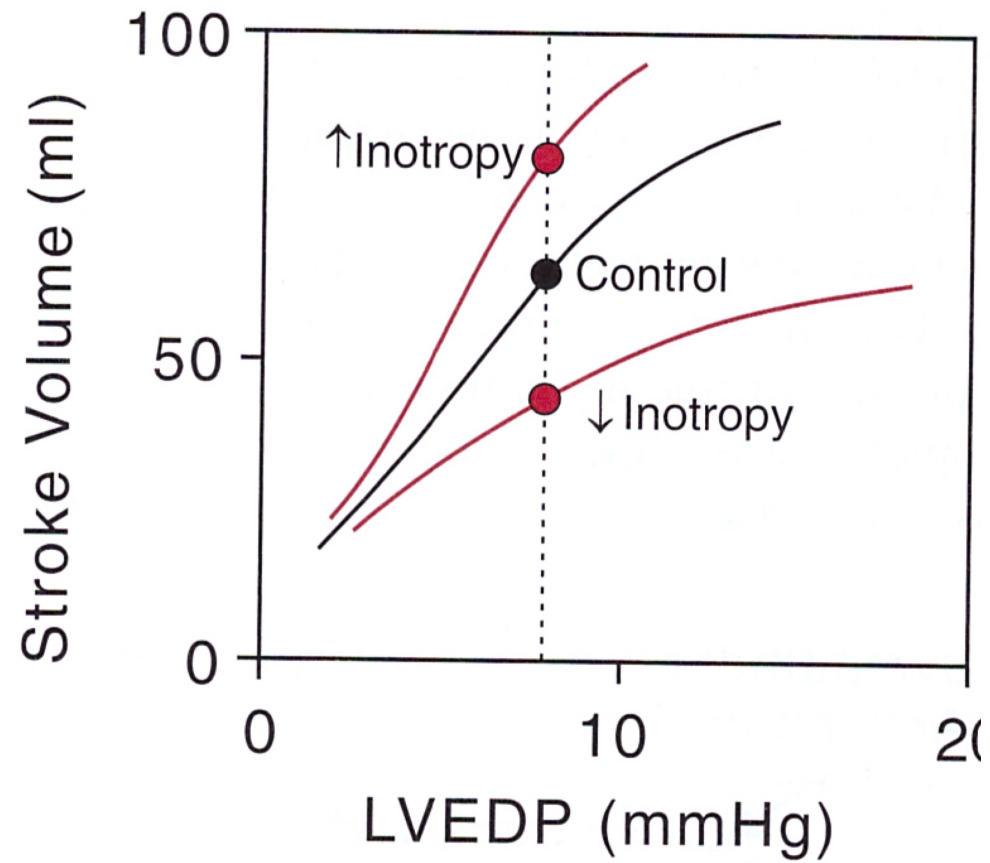
- Faktory zvyšující inotropii:



# Inotropie

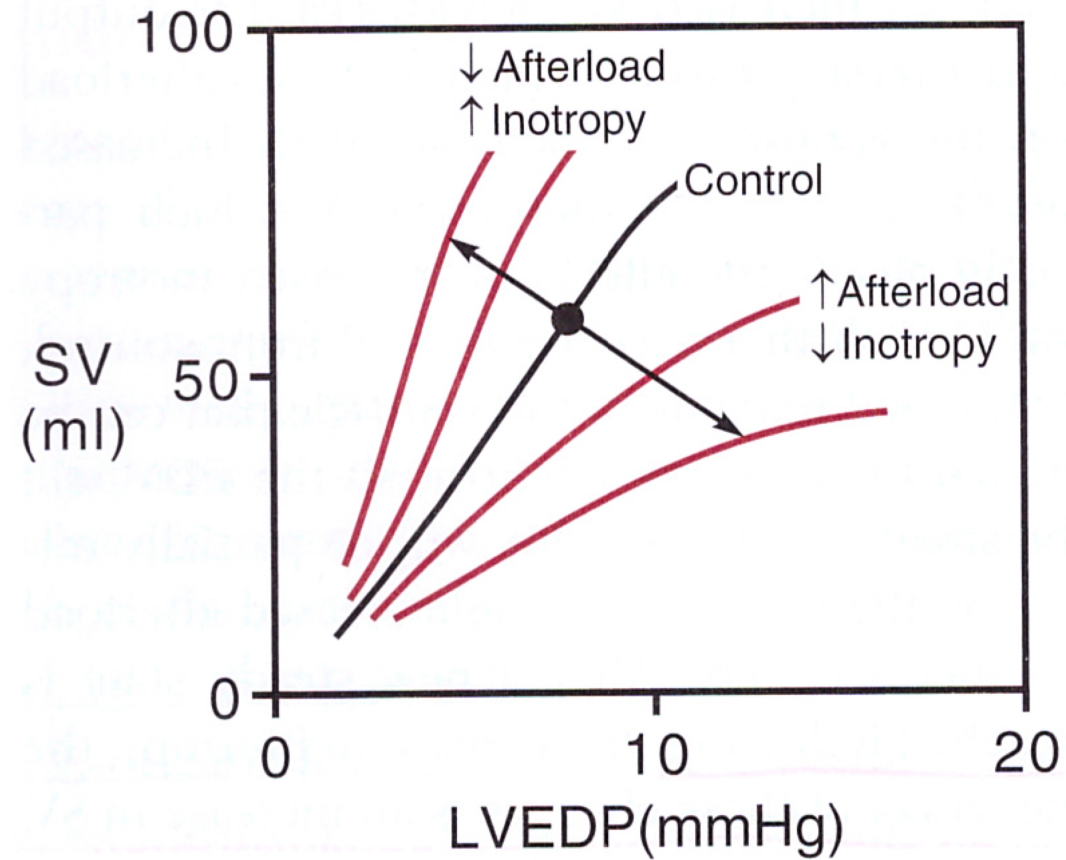


# Inotropie





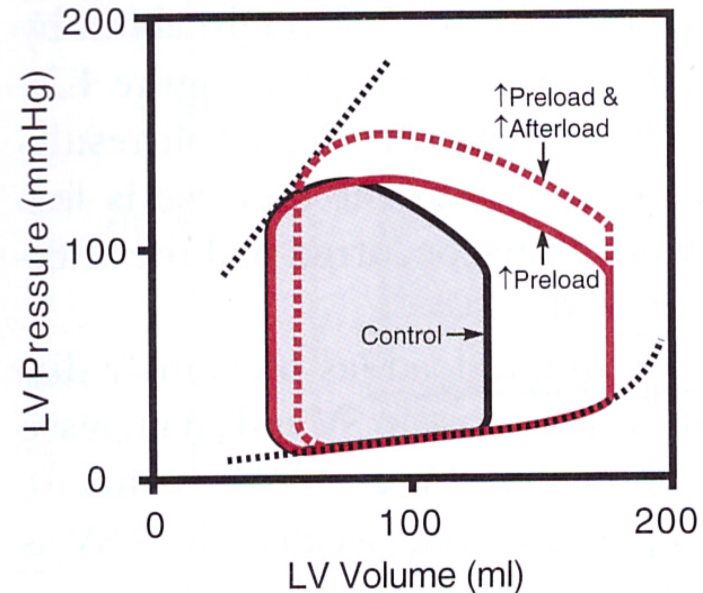
# Inotropic vs. afterload



# Interakce: preload, afterload, inotropie

## Zvýšený preload:

- Zvýšený SV, zvýšený CO
- SVR není ovlivněn
- Původní cévní tonus způsobí relativní zvýšení afterloadu:

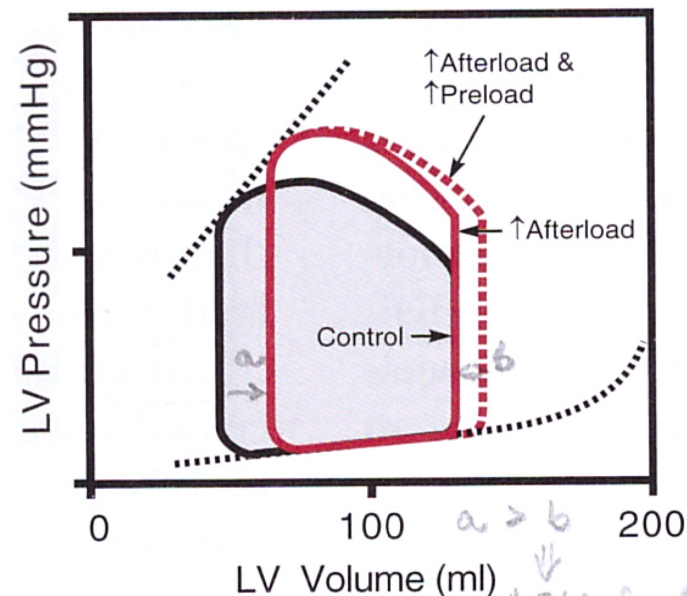




# Interakce: preload, afterload, inotropie

## Zvýšený afterload:

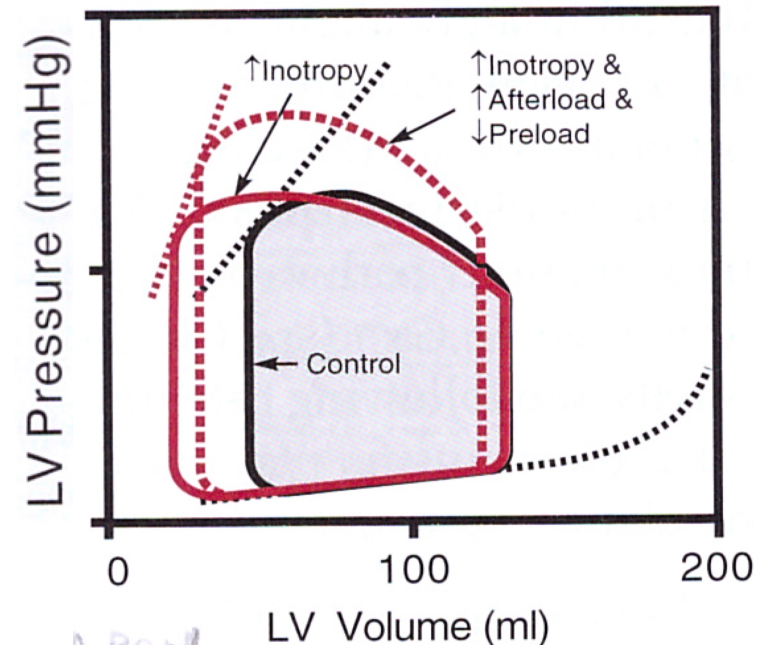
- snížený SV, snížený CO
- Snížený CO nedokáže odčerpat celý žilní návrat
- Zvýšený žilní návrat vede ke zvýšení preloadu:



# Interakce: preload, afterload, inotropie

## Zvýšená inotropie:

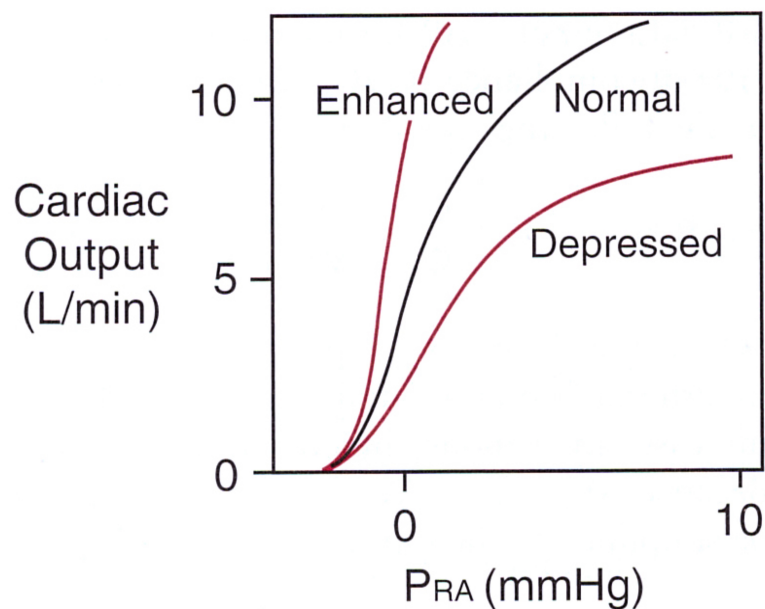
- Zvýšený CO + snížený ESV
- SVR se nemění
- Relativní zvýšení afterloadu
- Zvýšený afterload sniží poddajnost
- Nížší poddajnost sniží preload



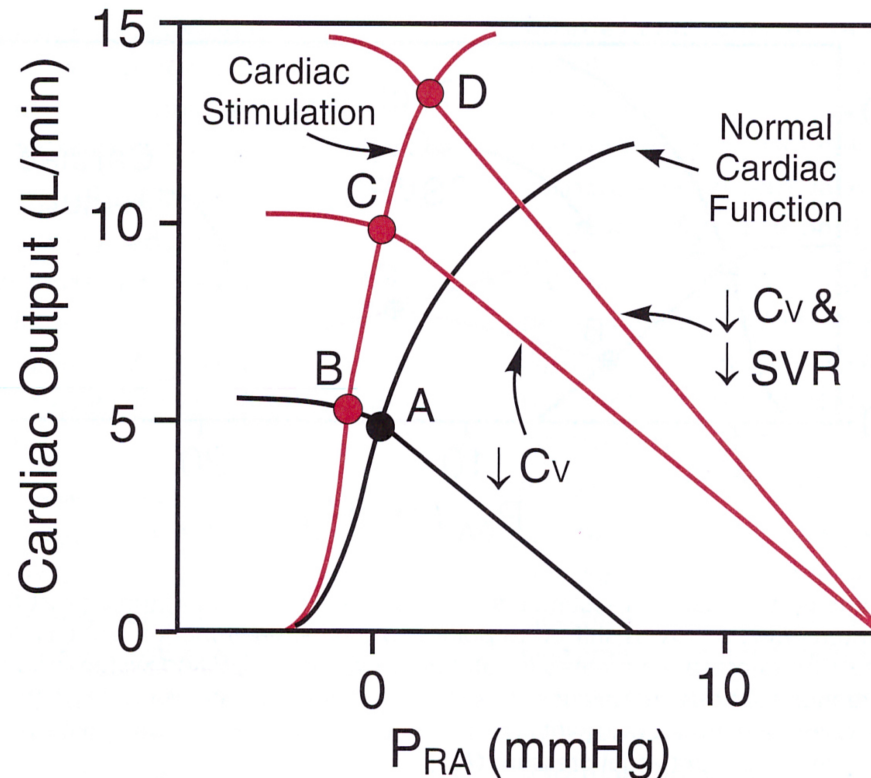
# Zvýšená aktivita sympatiku

(zvýšená srdeční stimulace + žilní splanchnická vazokonstrikce + arteriolární vazodilatace)

Srdeční funkční křivka



Kombinace srdeční a cévní funkční křivky

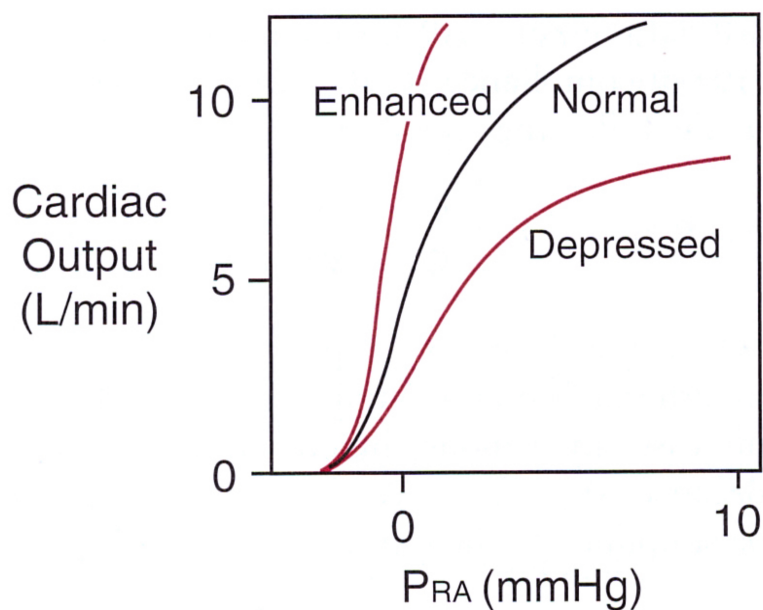


A – rovnováha mezi CO a žilním návratem

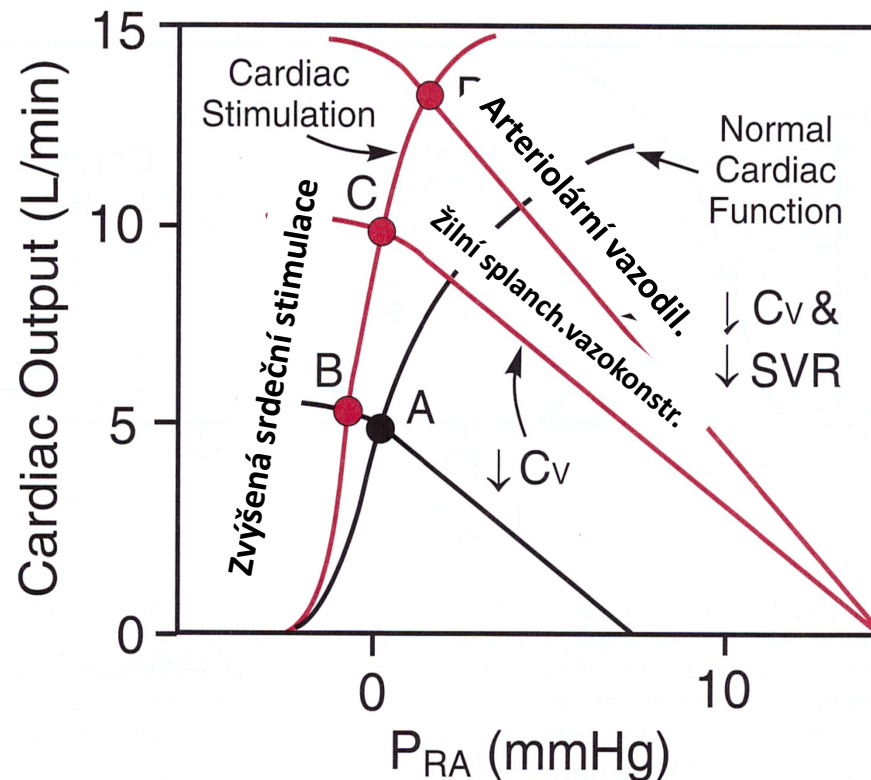
# Zvýšená aktivita sympatiku

(zvýšená srdeční stimulace + žilní splachnická vazokonstrikce + arteriolární vazodilatace)

Srdeční funkční křivka



Kombinace srdeční a cévní funkční křivky



A – rovnováha mezi CO a žilním návratem

# Srdeční selhání

