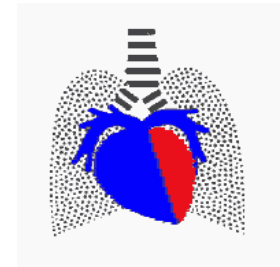


Fyziologie srdce II.

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

Milan Chovanec

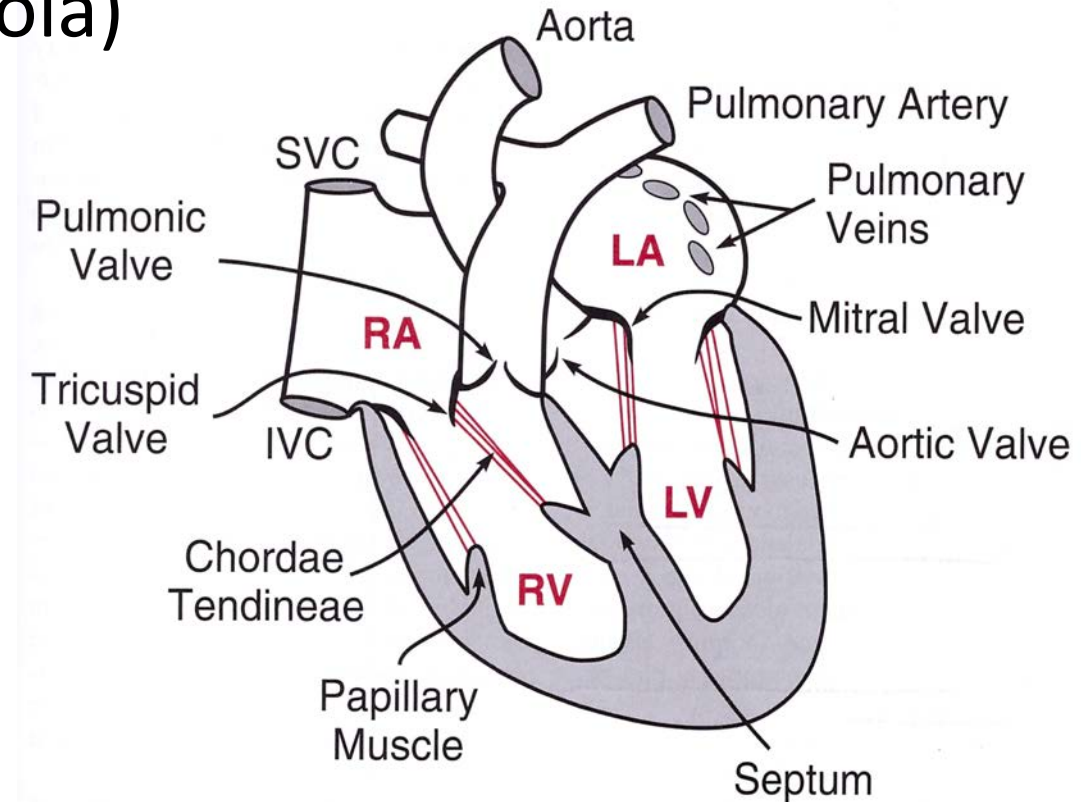
Ústav fyziologie 2.LF UK



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

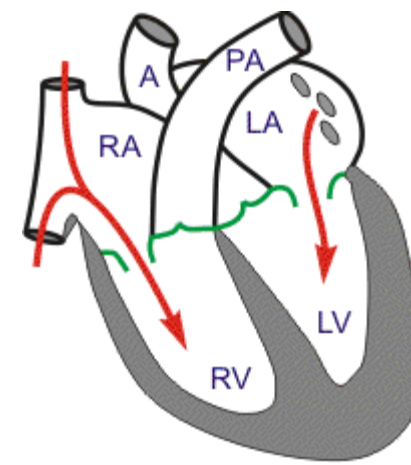
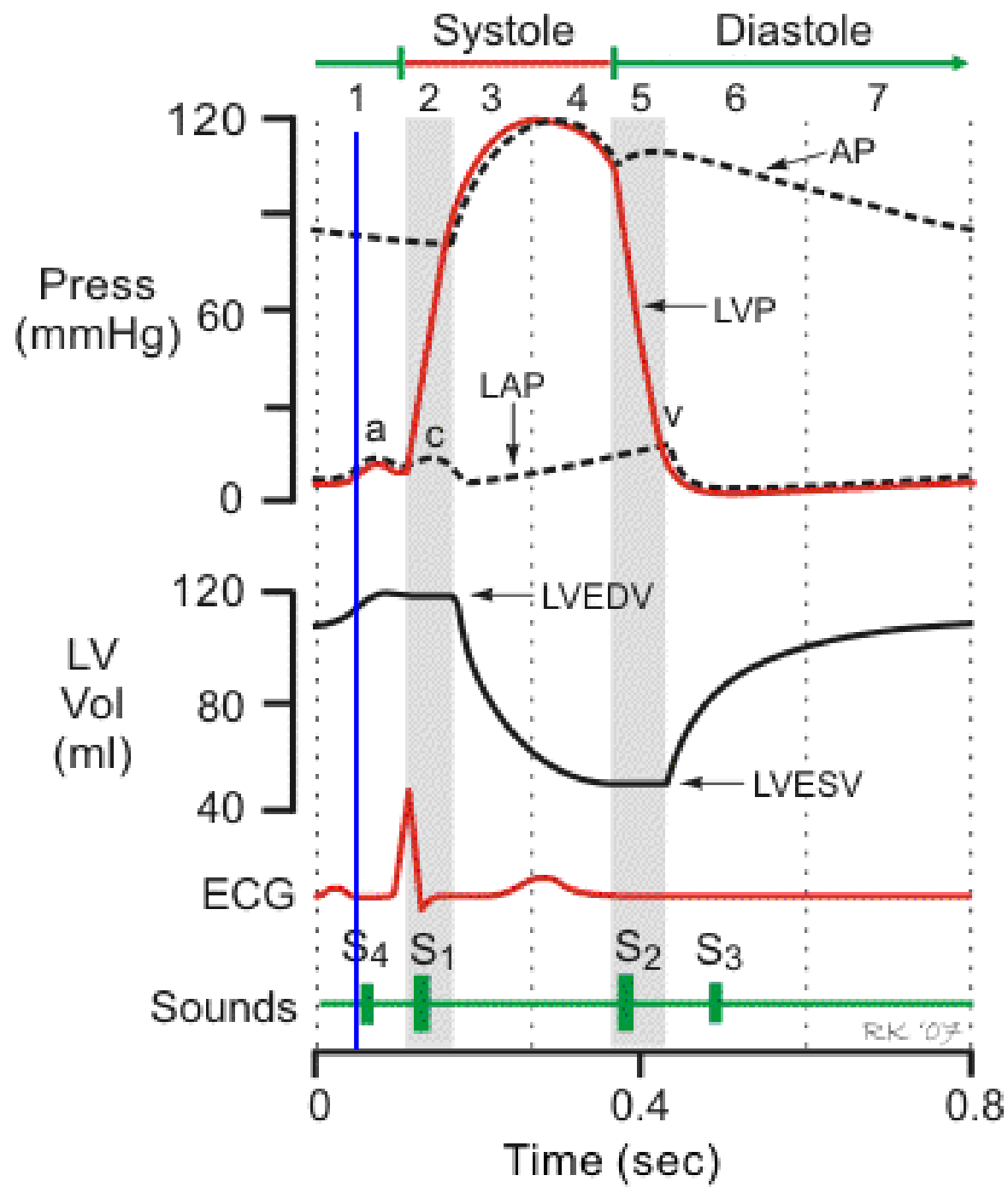
Srdce = pumpa

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

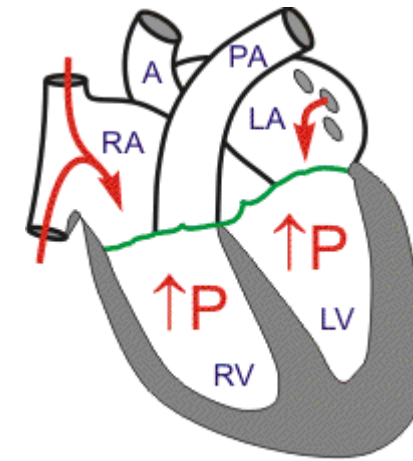
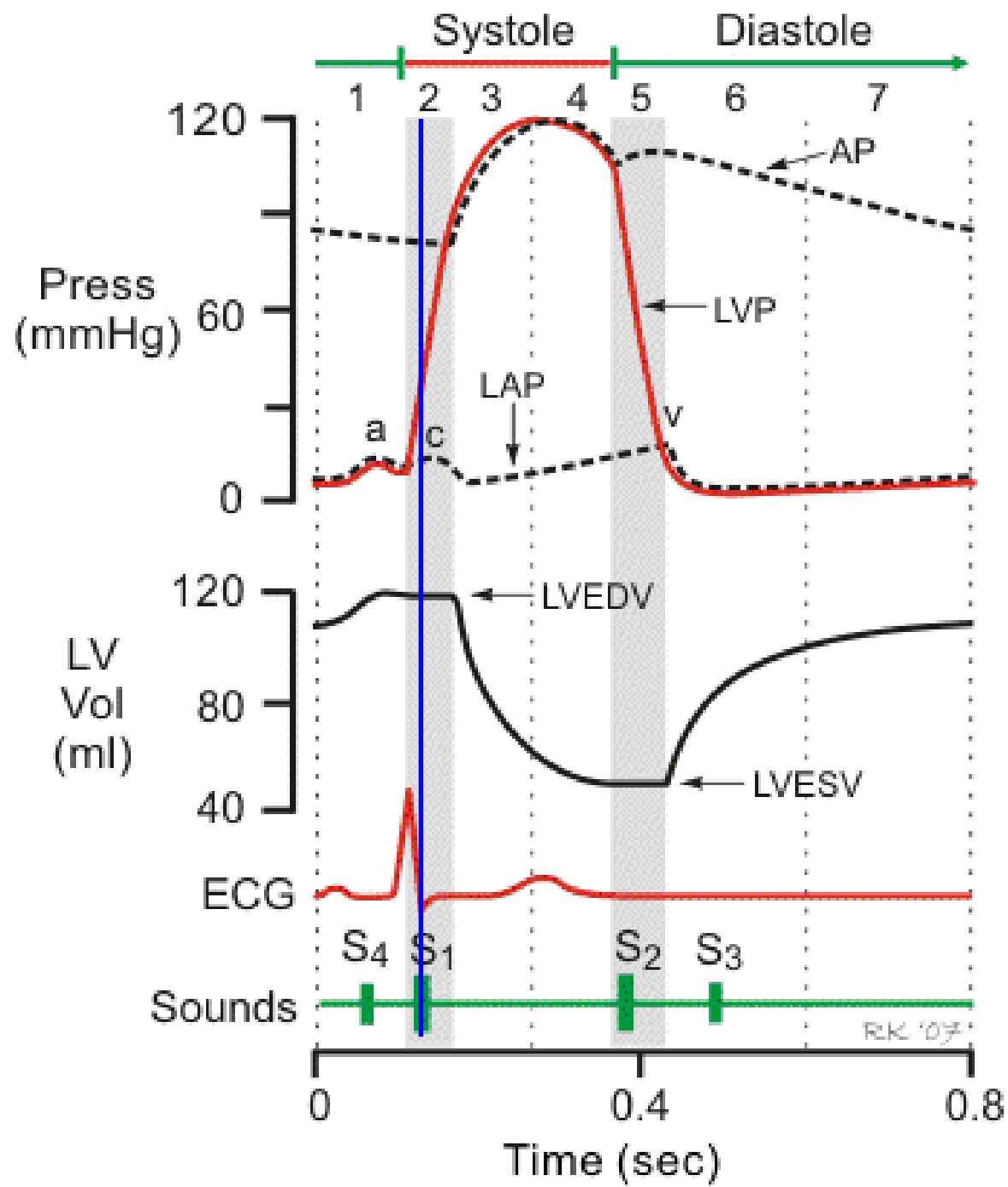


Srdeční cyklus

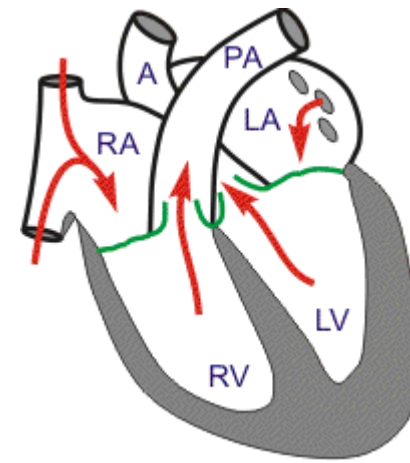
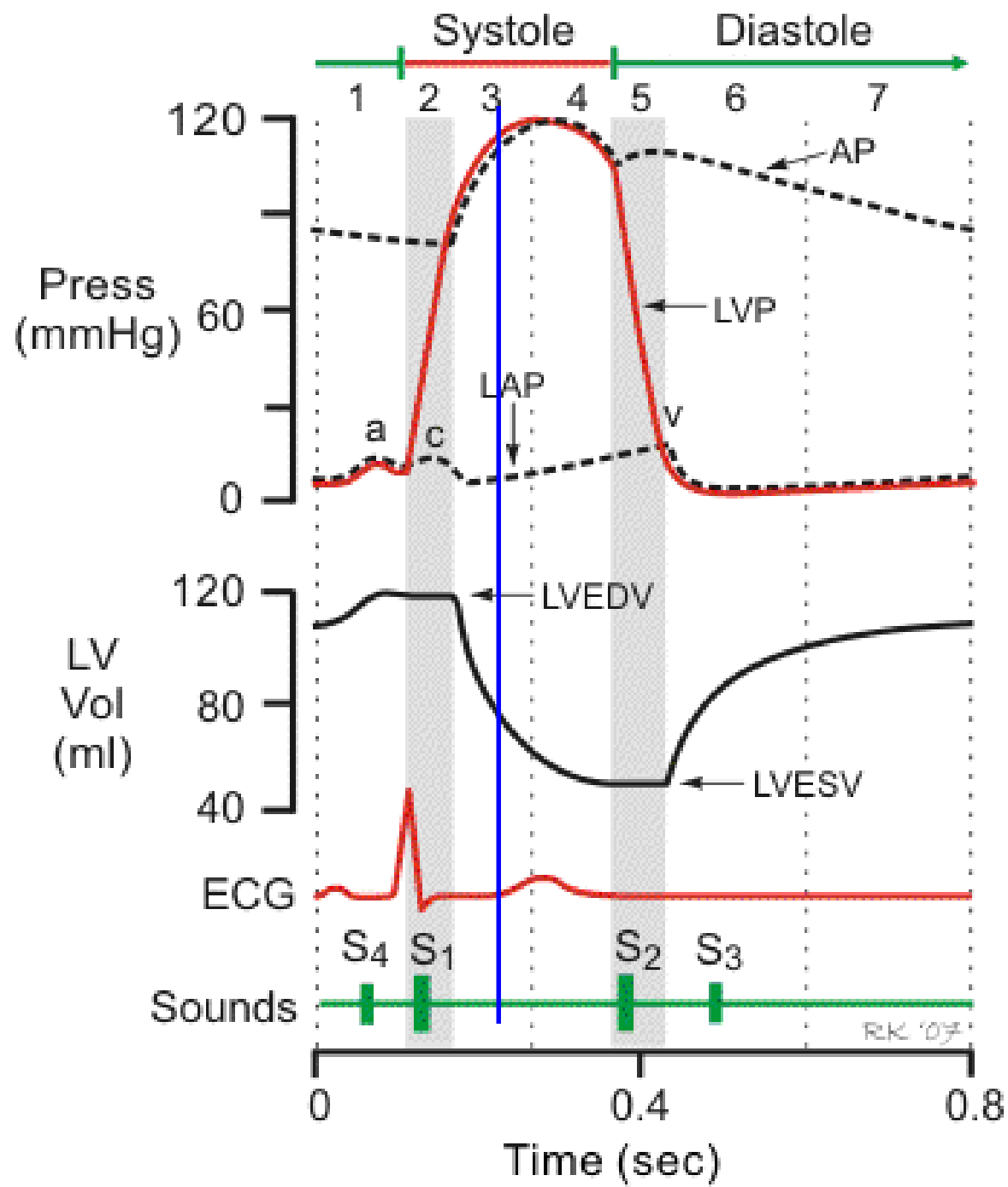
- Kontrakce síní
- Izovolumetrická kontrakce komor
- Ejekce komor
- Izovolumetrická relaxace komor
- Pasivní plnění komor



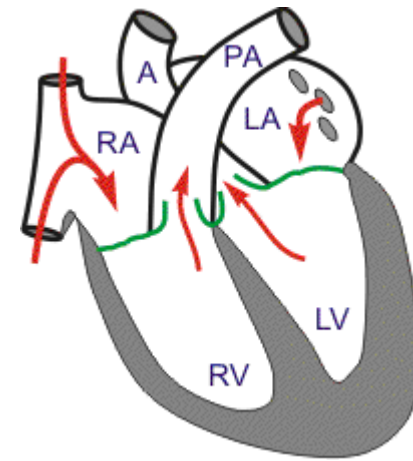
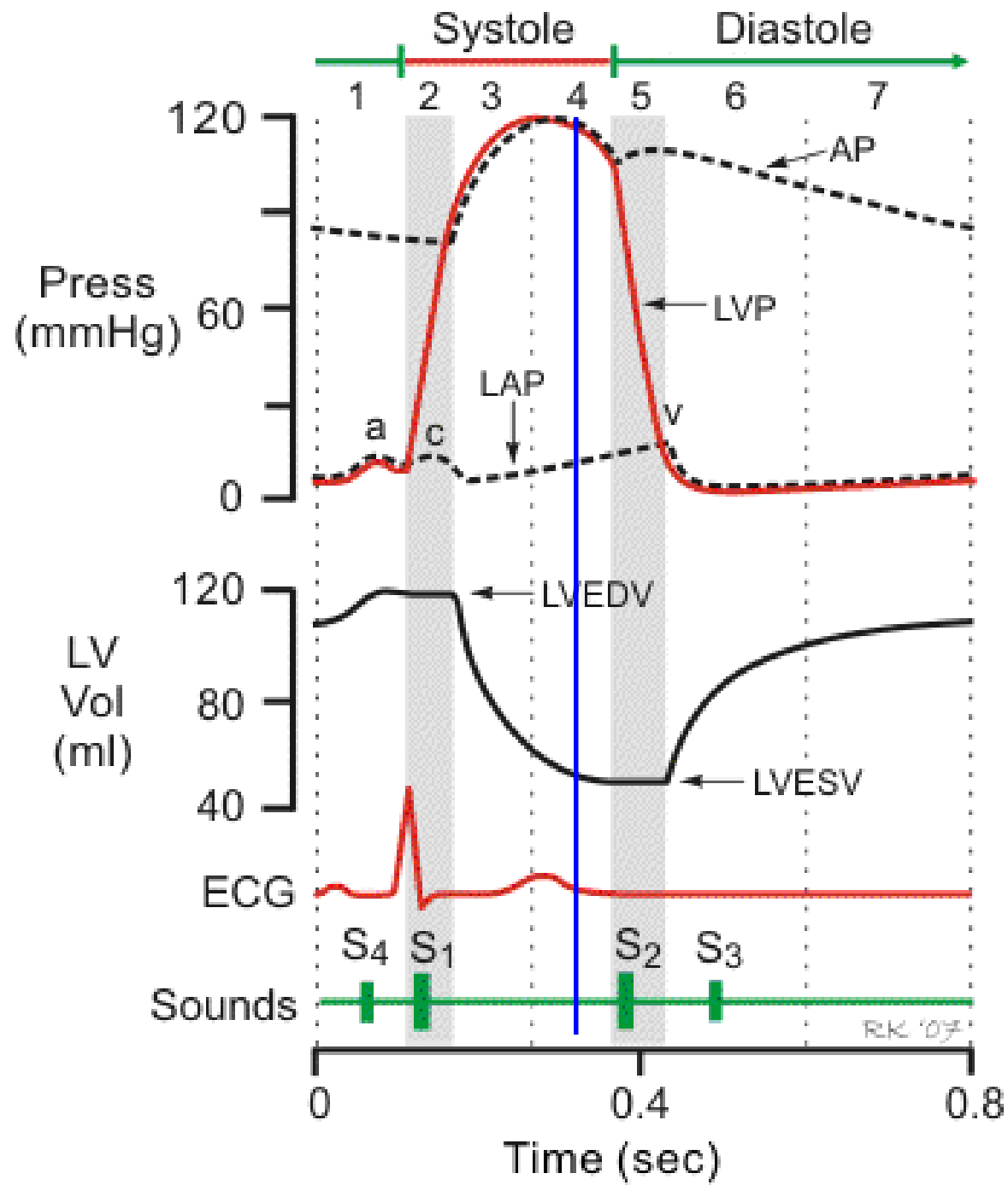
1. Kontrakce síní



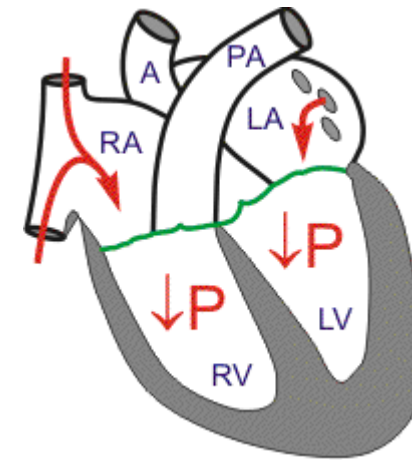
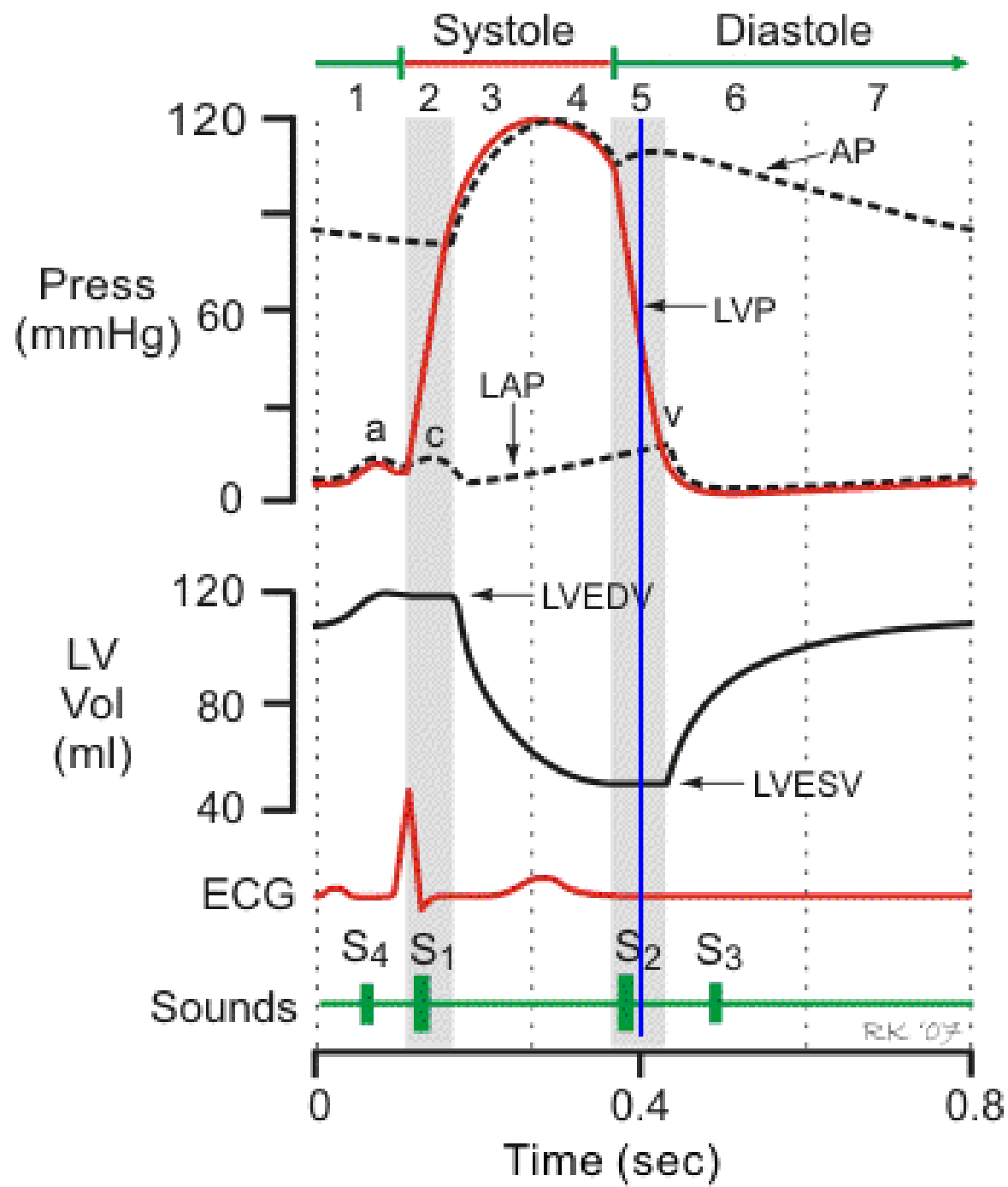
2. Isovolumová kontrakce



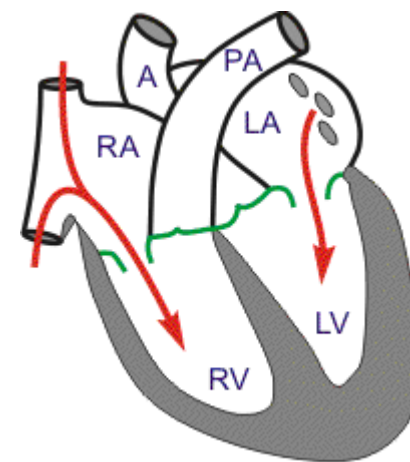
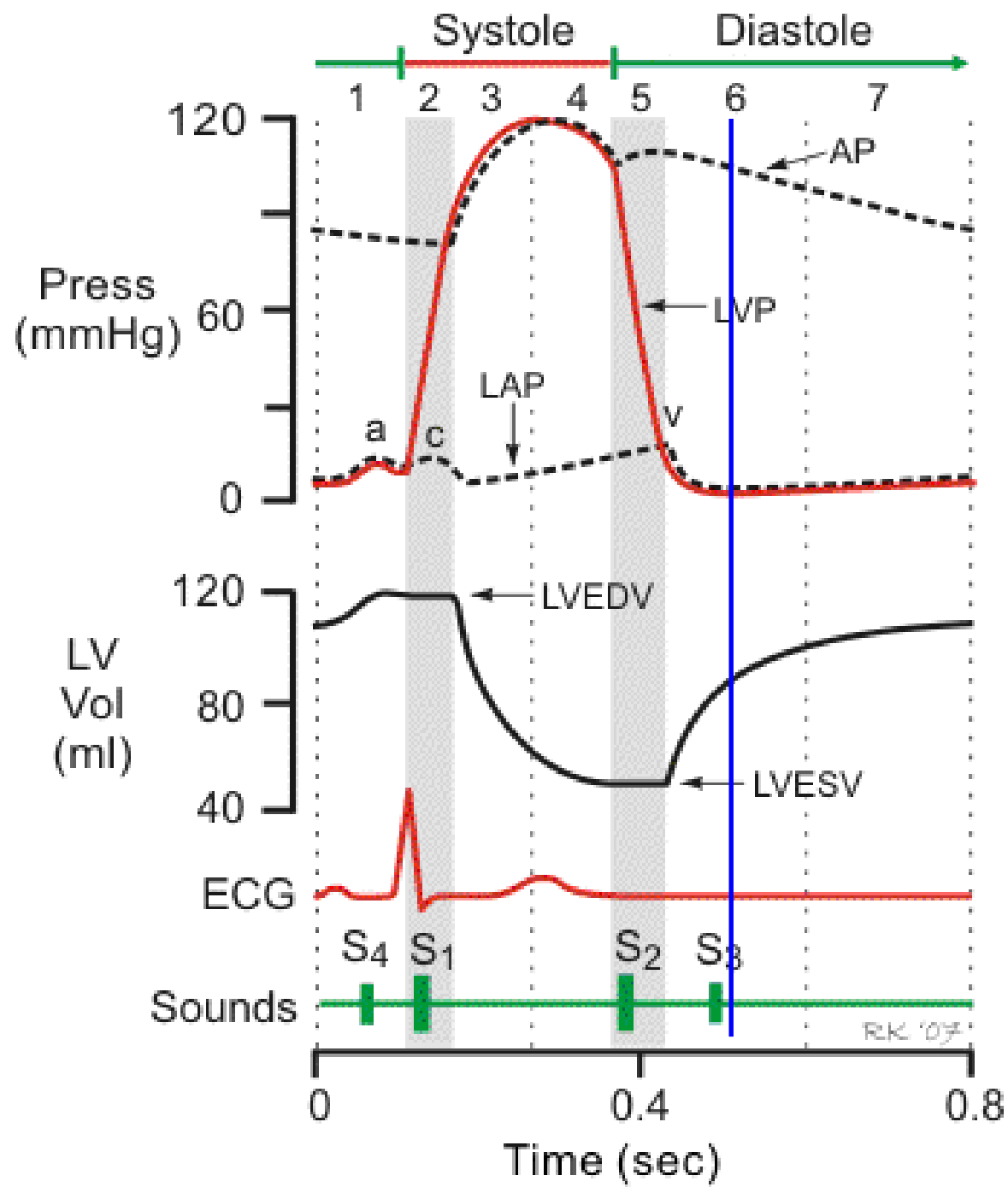
3. Rychlá ejekce



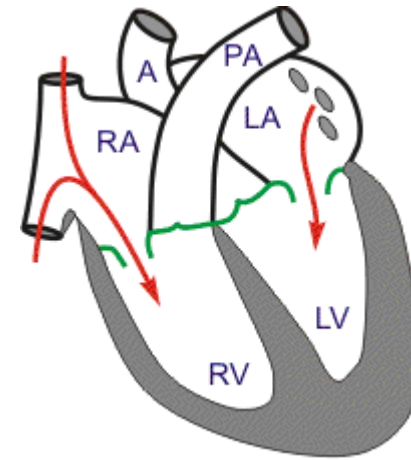
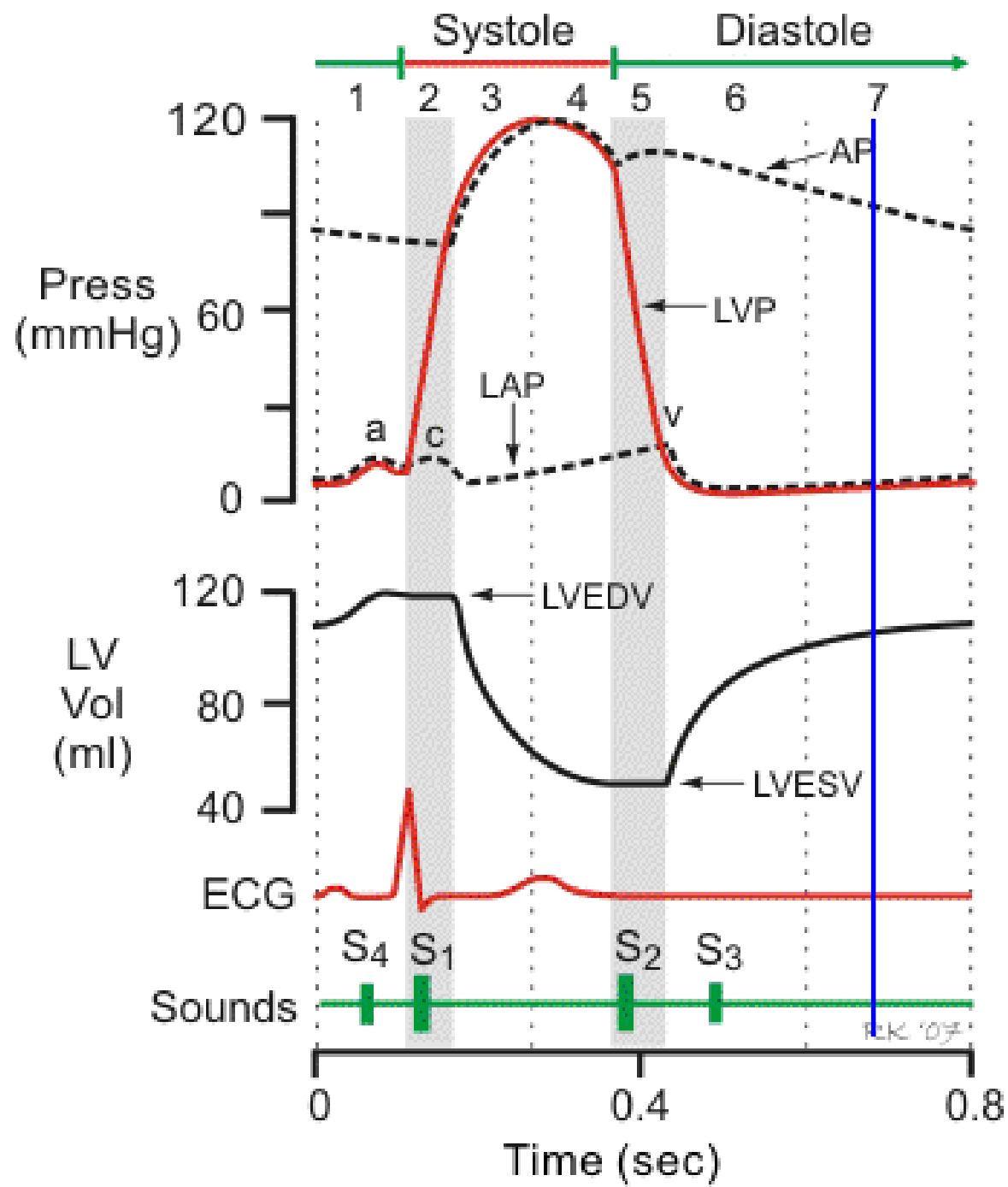
4. Pomalá ejekce



5. Isovolumová relaxace

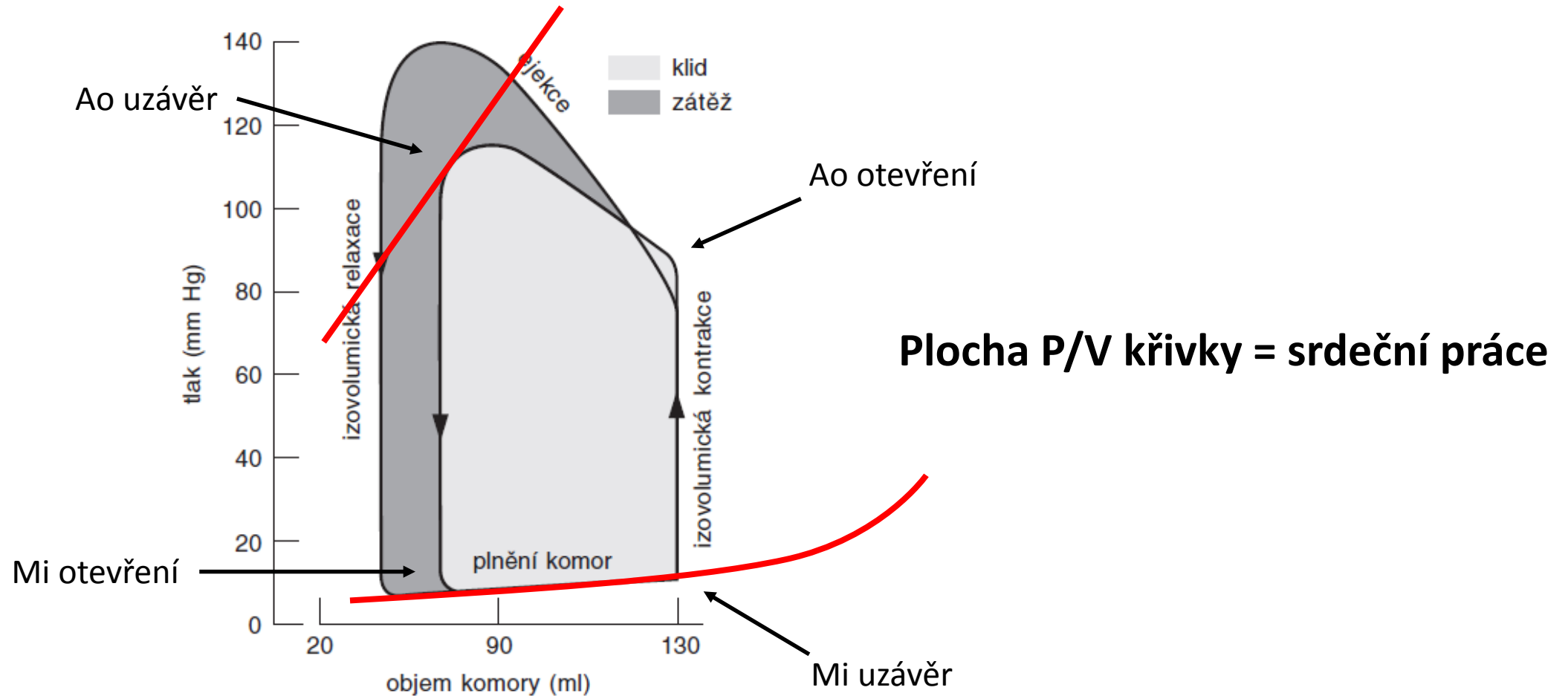


6. Rychlé plnění



7. Pomalé plnění

Tlakově objemová srdeční křivka/závislost



Cardiac Output = Minutový Objem Srdeční

$$CO = SV \cdot HR$$

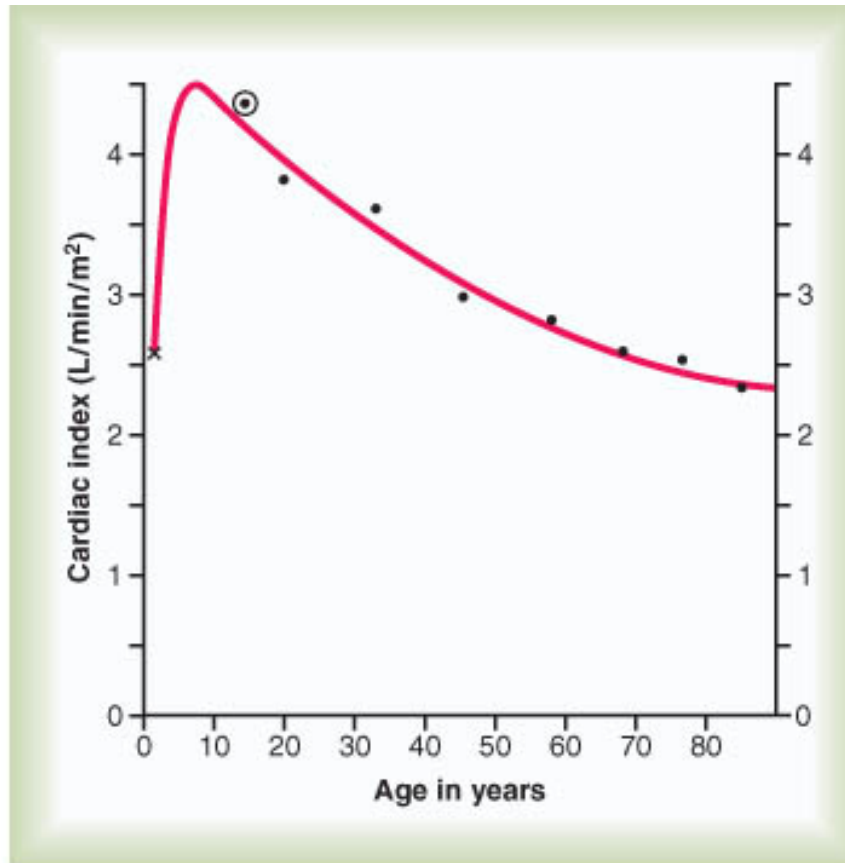
CO – srdeční výdej (5.0 - 6.0 l/min)
CI – srdeční index (2.6 - 4.2 l/min/m²)
SV – vývrhový objem, cca 70ml/stah
HR – srdeční frekvence, cca 60-100/min
BSA – body surface area (plocha těla)

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

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!!!!

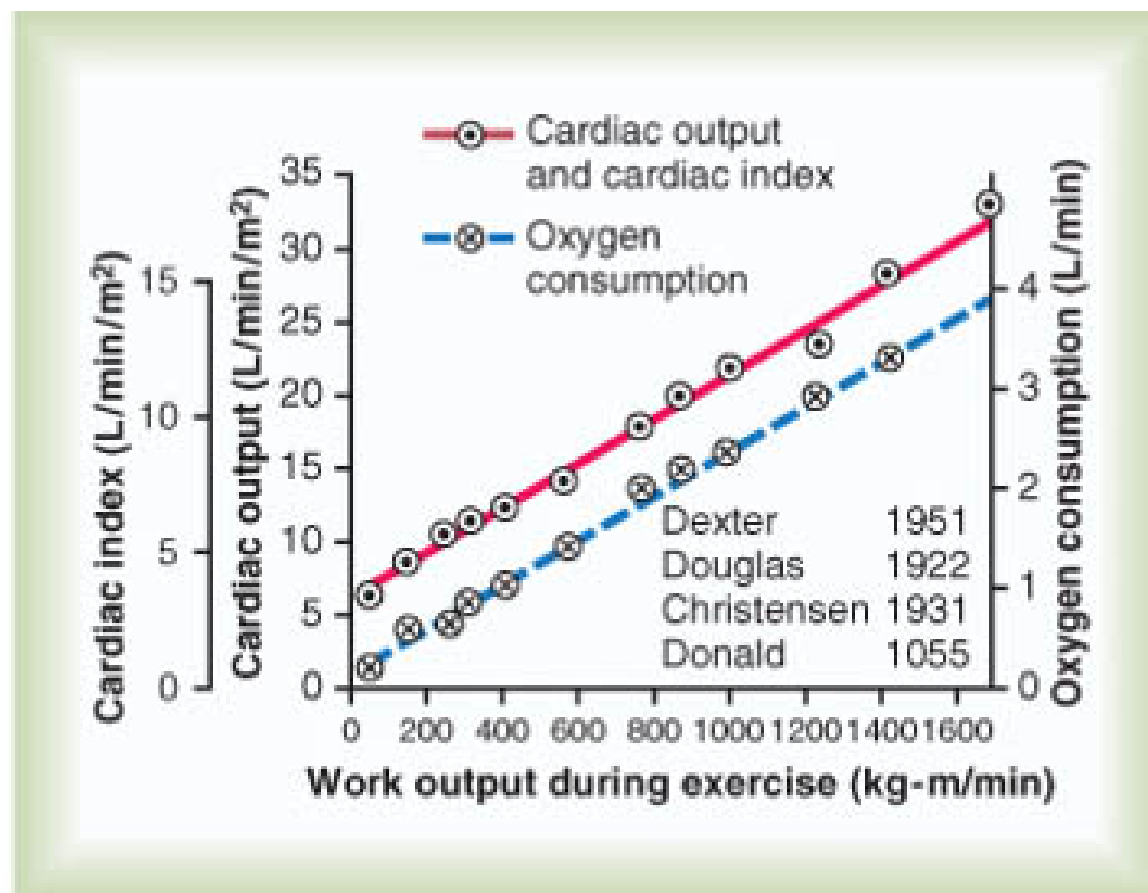
Vztah mezi CO a věkem



© Elsevier. Guyton & Hall: Textbook of Medical Physiology 11e - www.studentconsult.com

věk

Vztah mezi CO a fyzickou zátěží

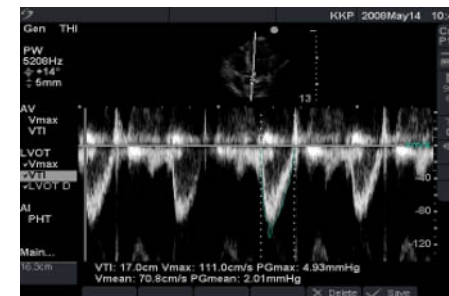
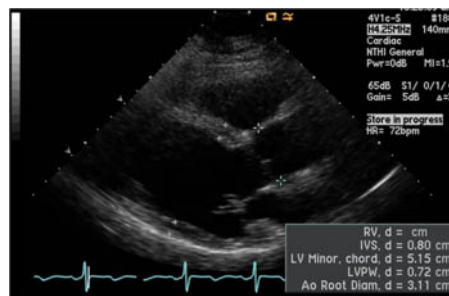


Měření CO

Průměr LVOT=výpočet plochy LVOT

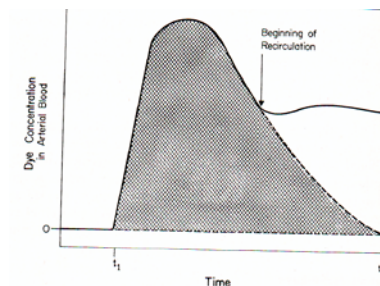
Rychlost proudění v LVOT = VTI v LVOT

- US – echokg:

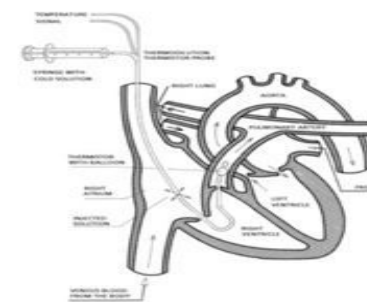


- Diluční metody:

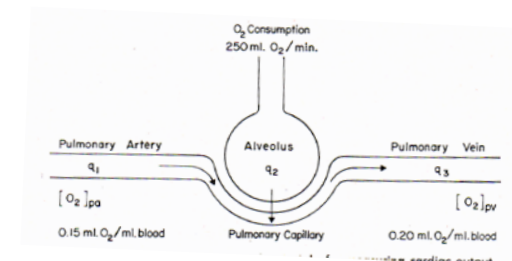
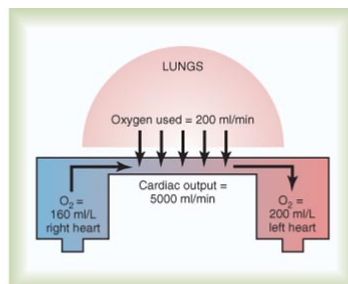
Barvivová diluce – spíše výzkum



Thermodiluce – běžně u kriticky nemocných



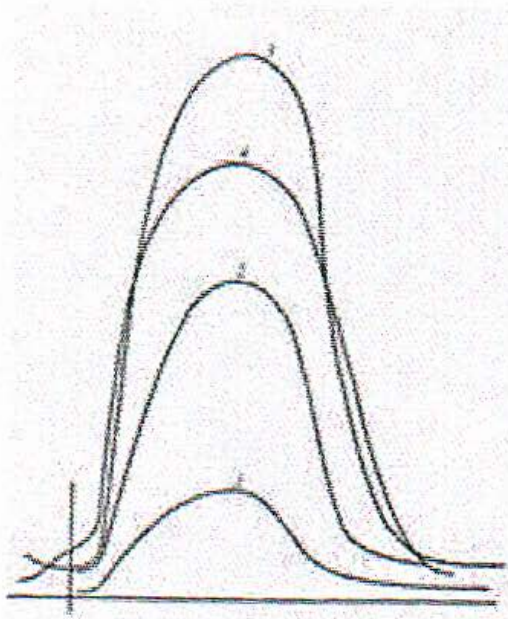
- Fickův princip:



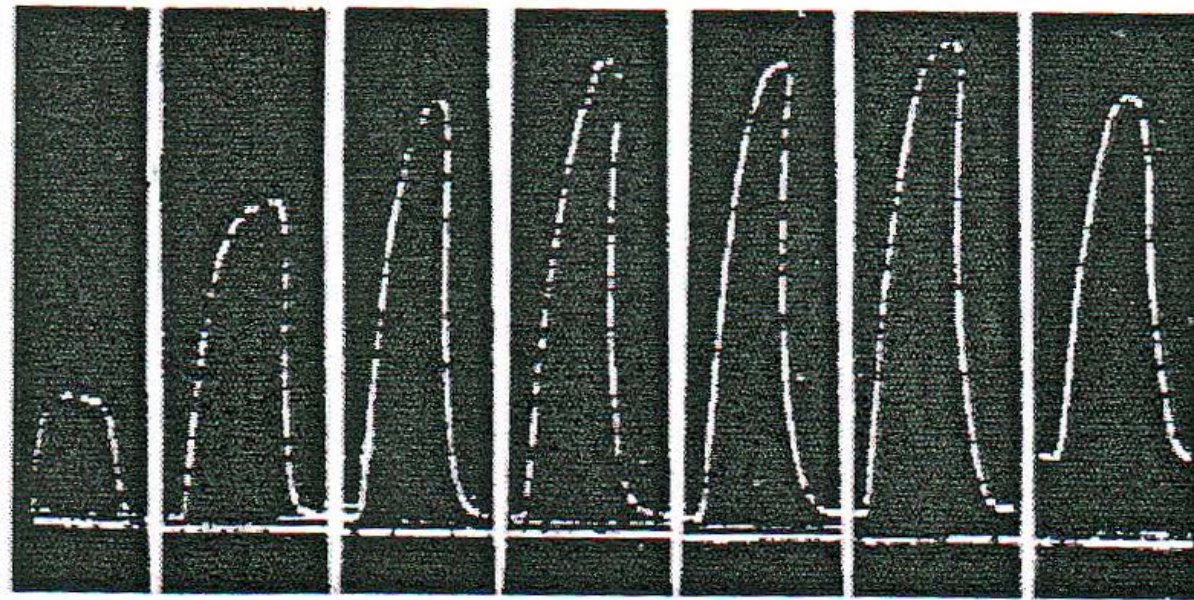
Preload (přetížení)

- 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)



0.5

1.0

1.5

2.0

2.5

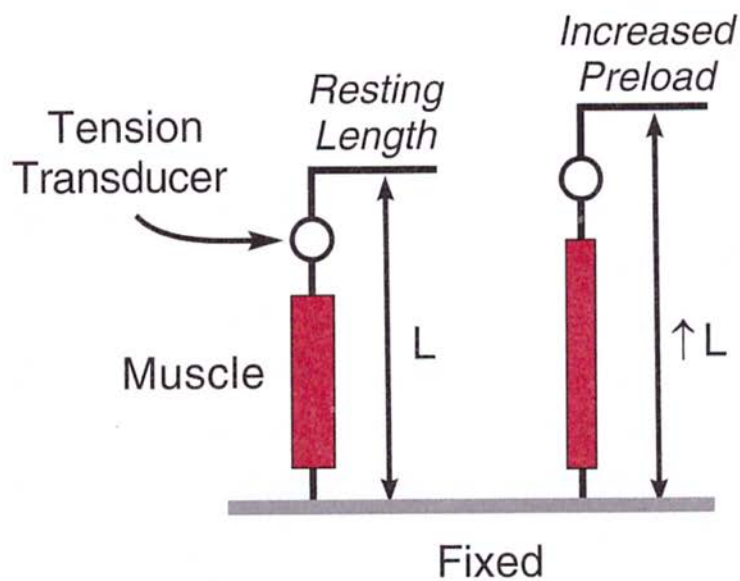
3.0

4.0 cc

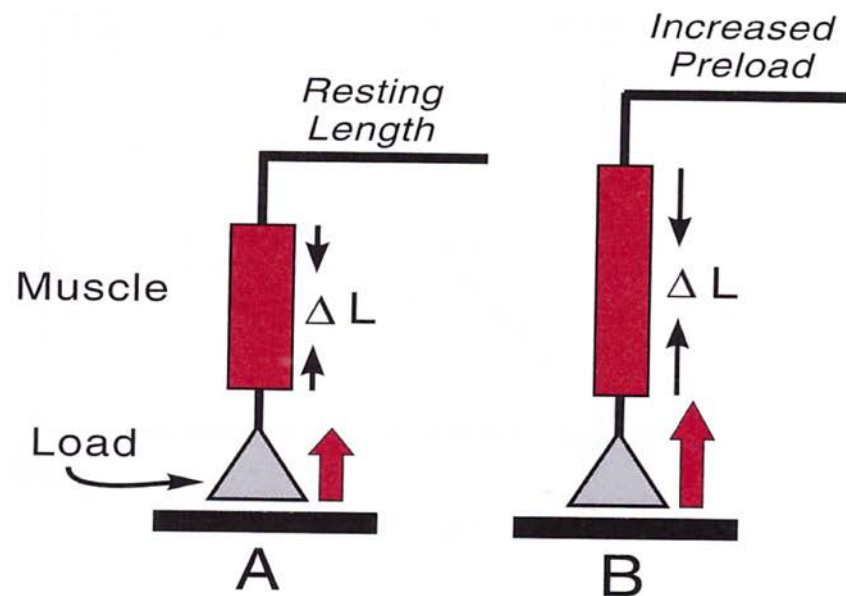
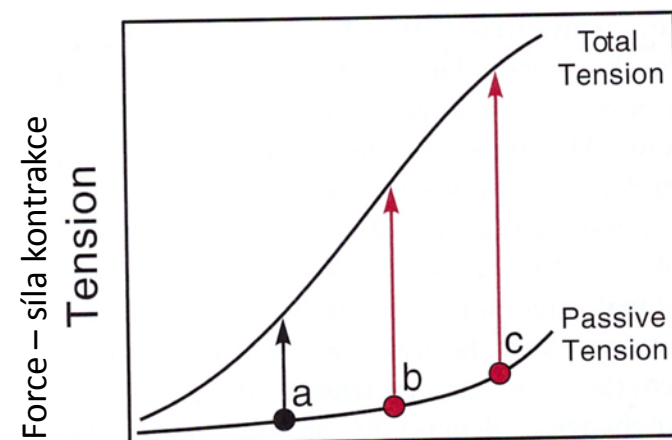
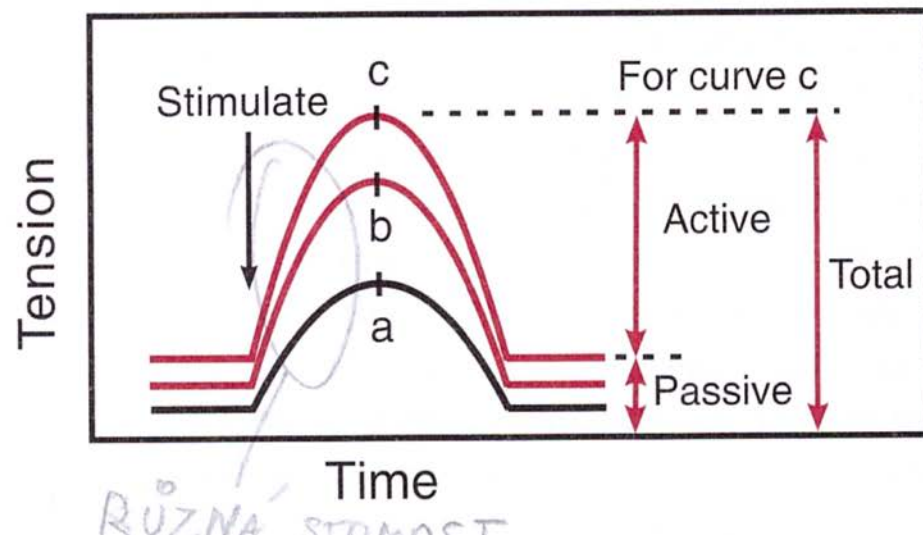
Starling (dog, 1914)

“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.”

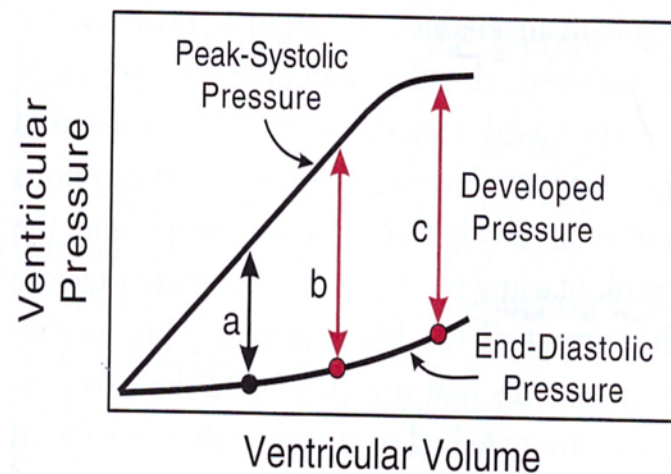
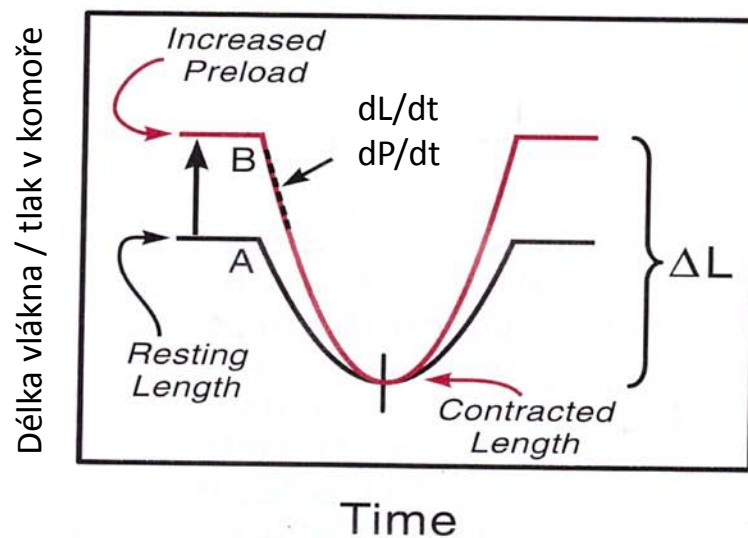
EH Starling & MB Visscher. The regulation of the energy output of the heart. *J Physiol* 1926/62:243-261.



Isometrická kontrakce

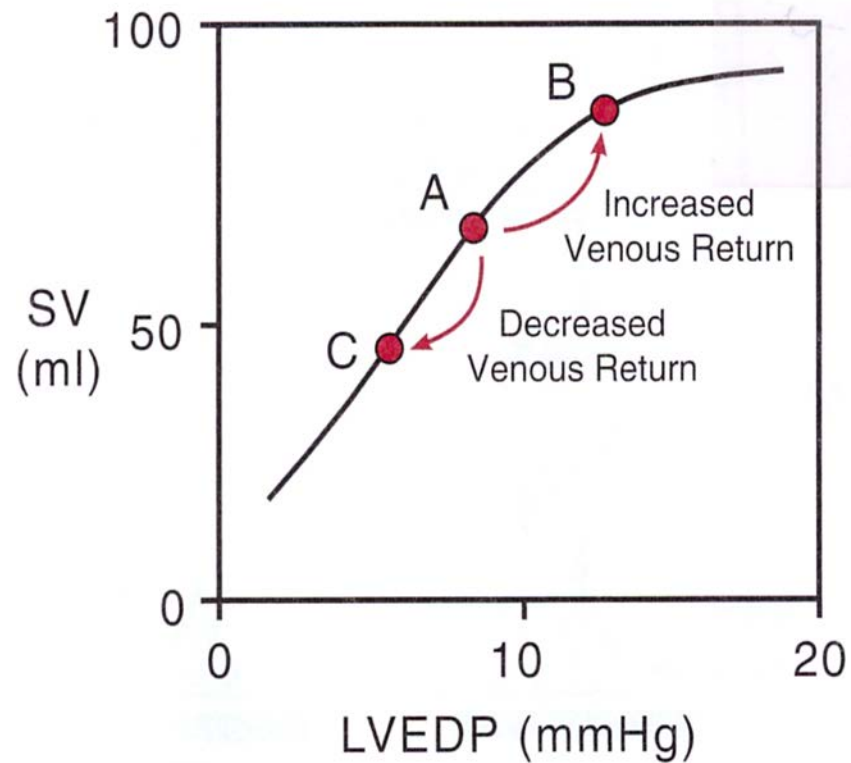


Isotonická kontrakce



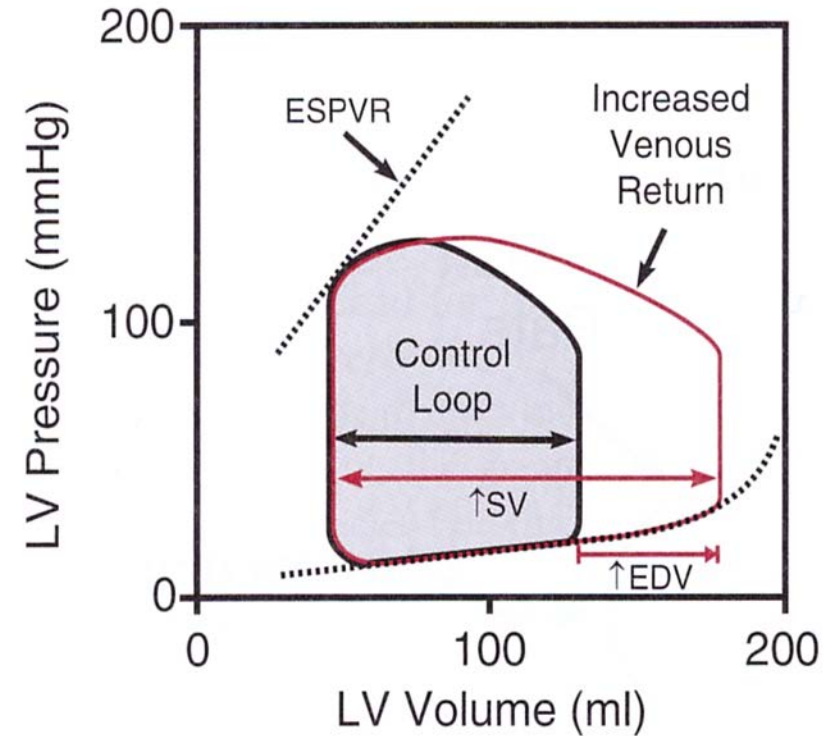
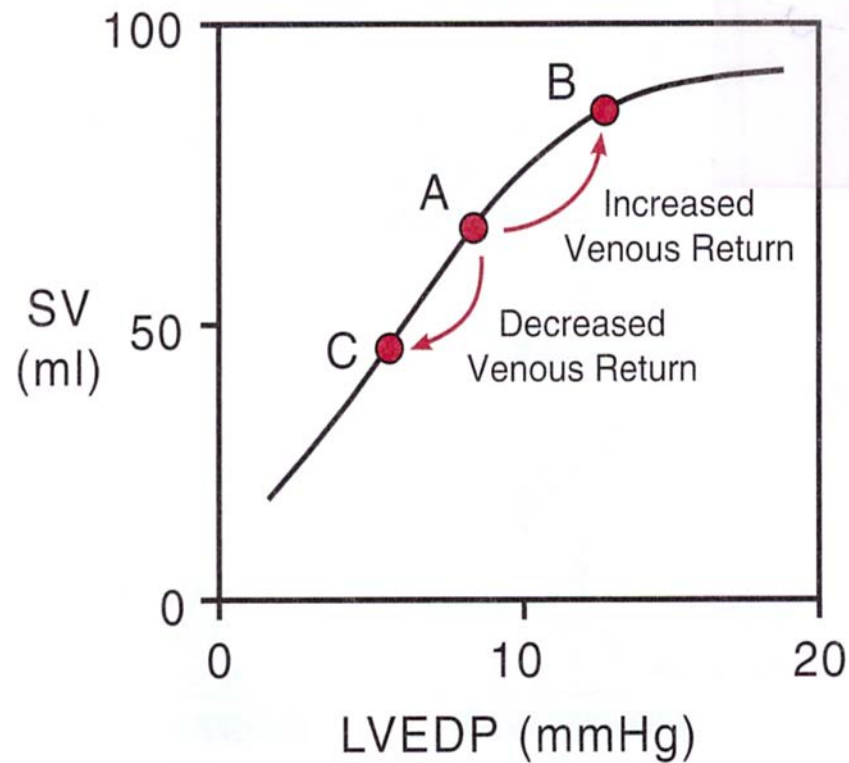
Frank-Starlingův mechanismus

(Heterometrická regulace srdeční kontrakce)



Frank-Starlingův mechanismus

(Heterometrická regulace srdeční kontrakce)



Frank-Starlingův mechanismus

Zvýšená náplň komory – zesílená a zrychlená kontrakce, proč?

- Delší sarkoméra:

- o Více interakcí aktin-myozin – uvolnění více energie

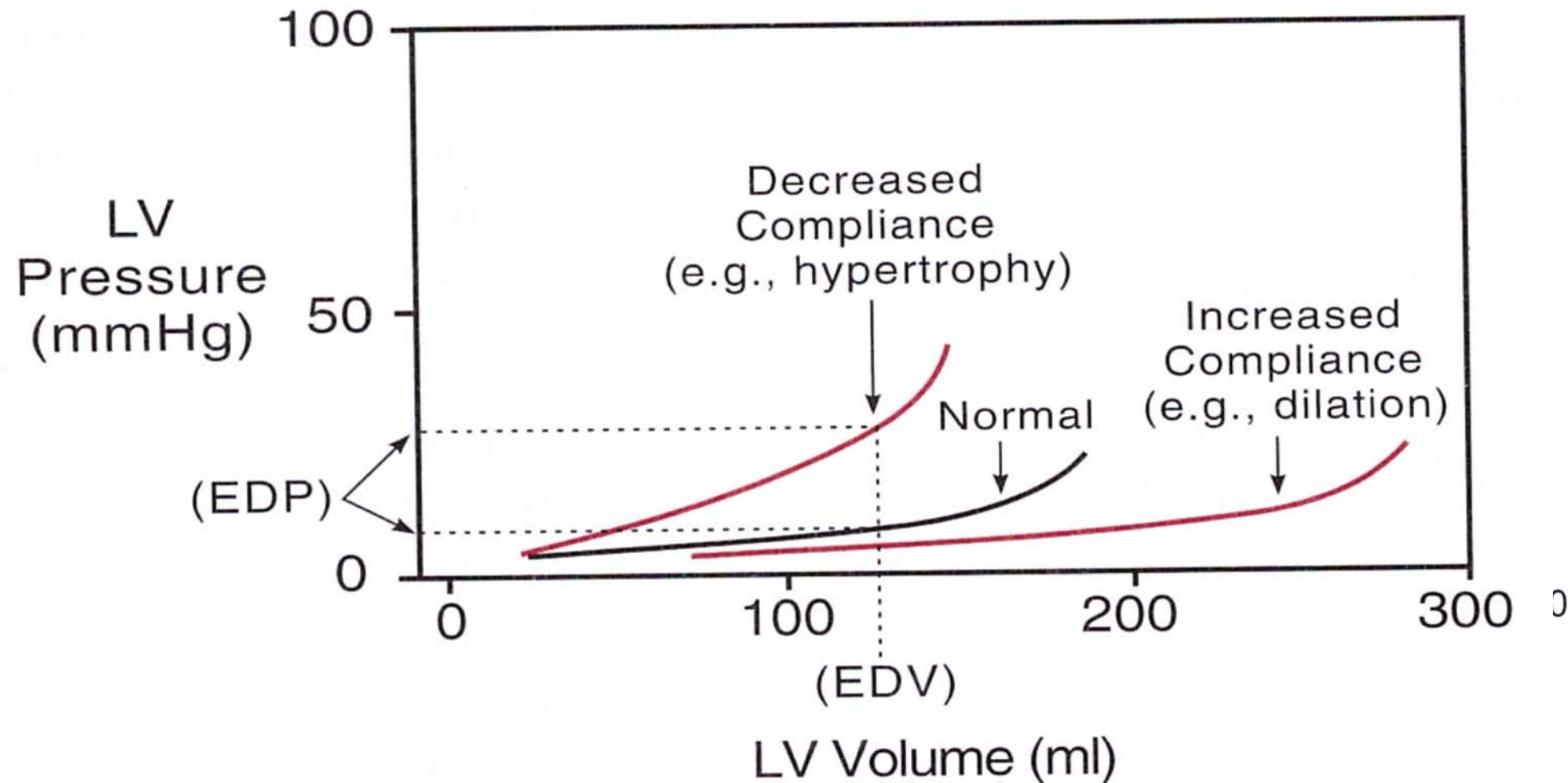
- o Větší citlivost k troponinu C k Ca^{2+}

- o Větší množství Ca^{2+} intracelulárně

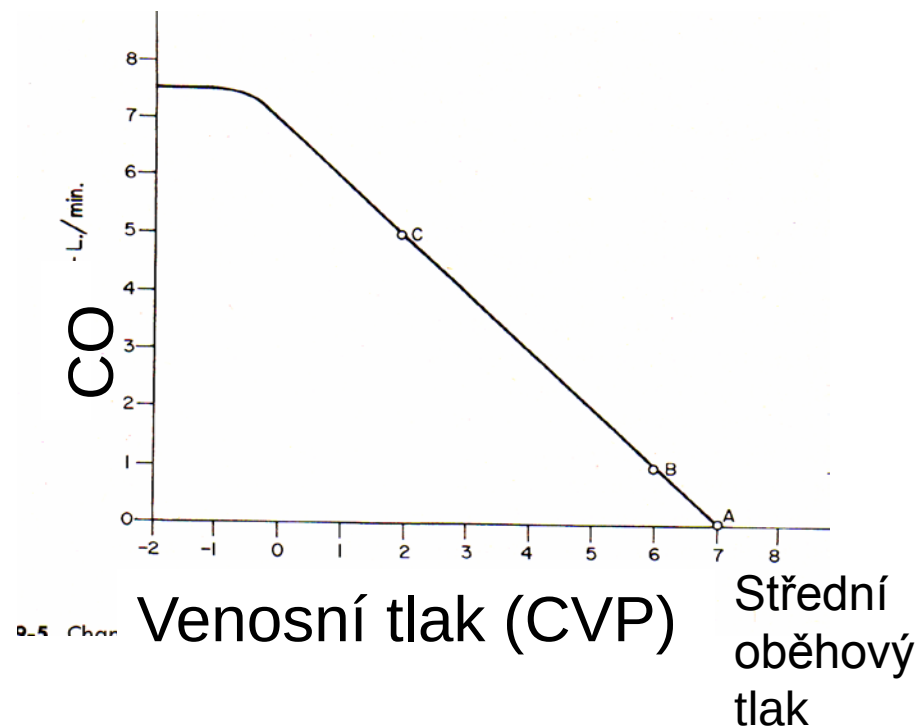
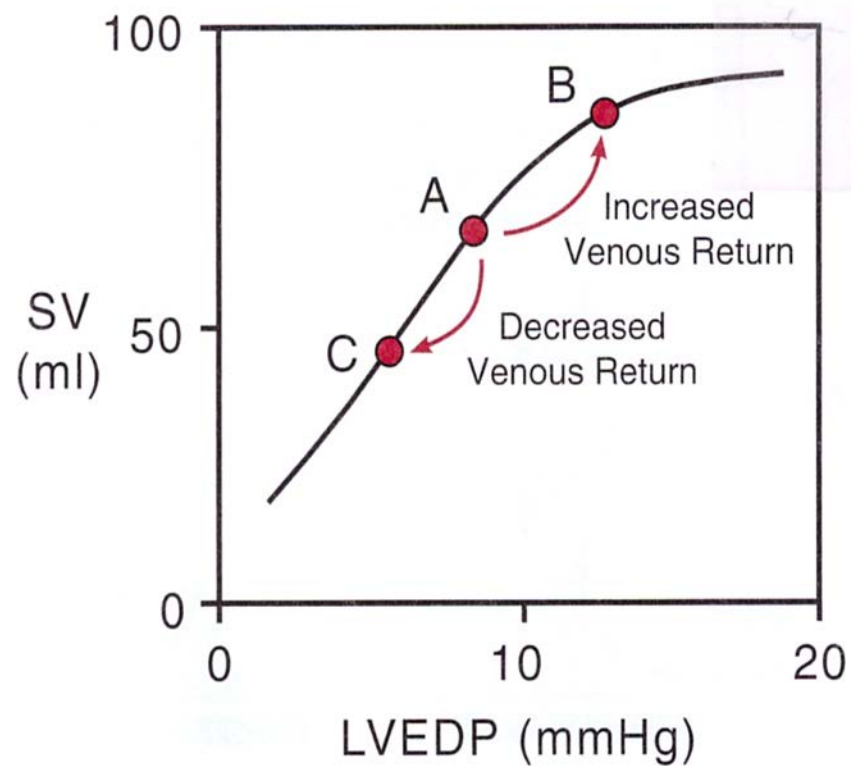
- o Zmenšení průměru sv.vlákná – aktin a myozin blíže u sebe

Frank-Starlingův mechanismus – poddajnost komory

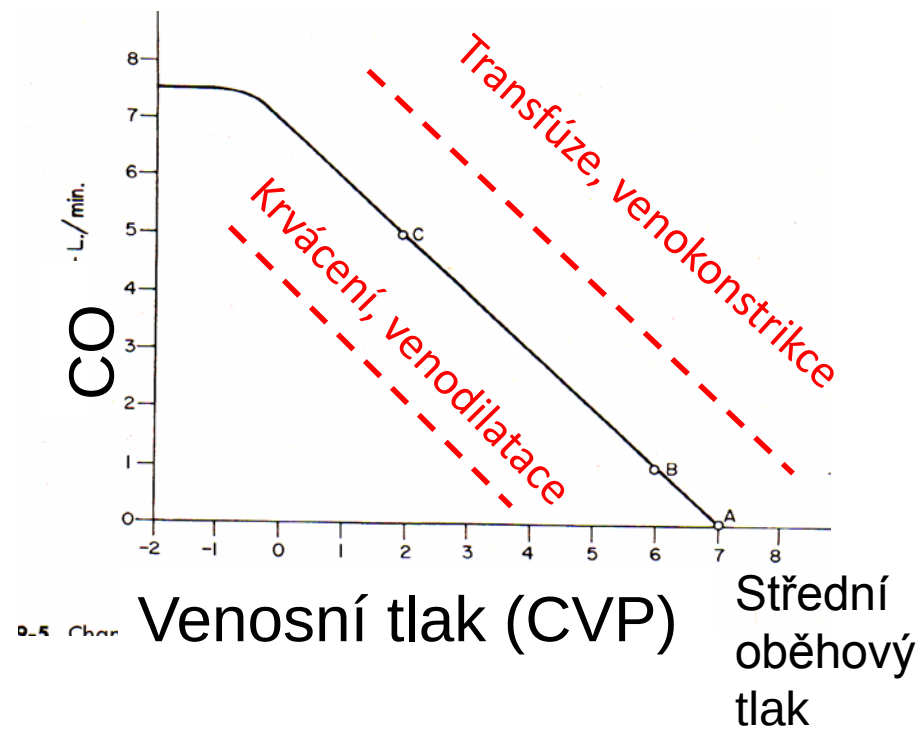
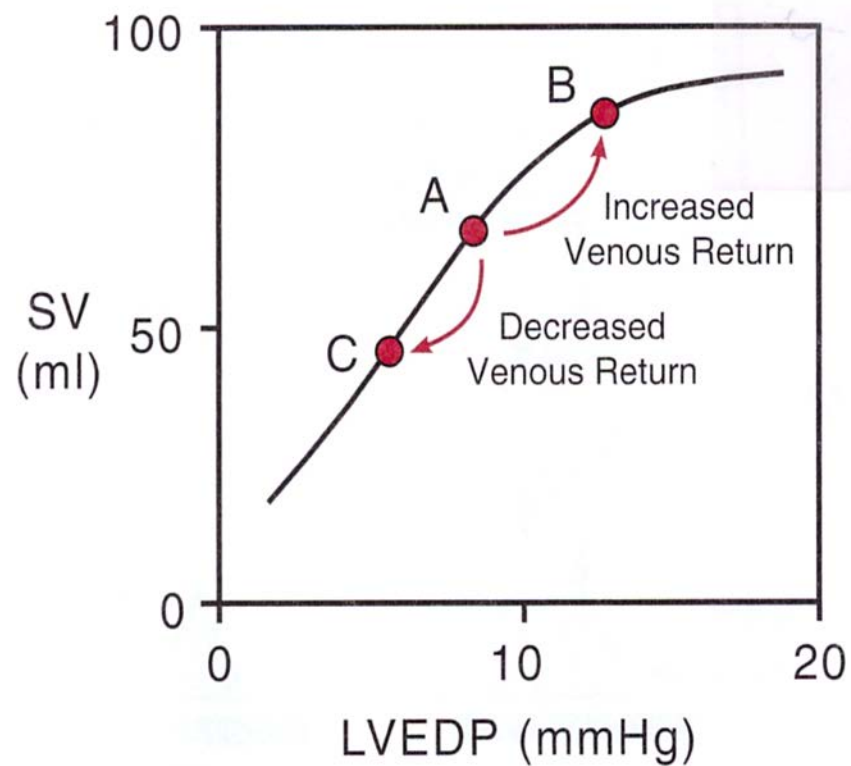
(Heterometrická regulace srdeční kontrakce)



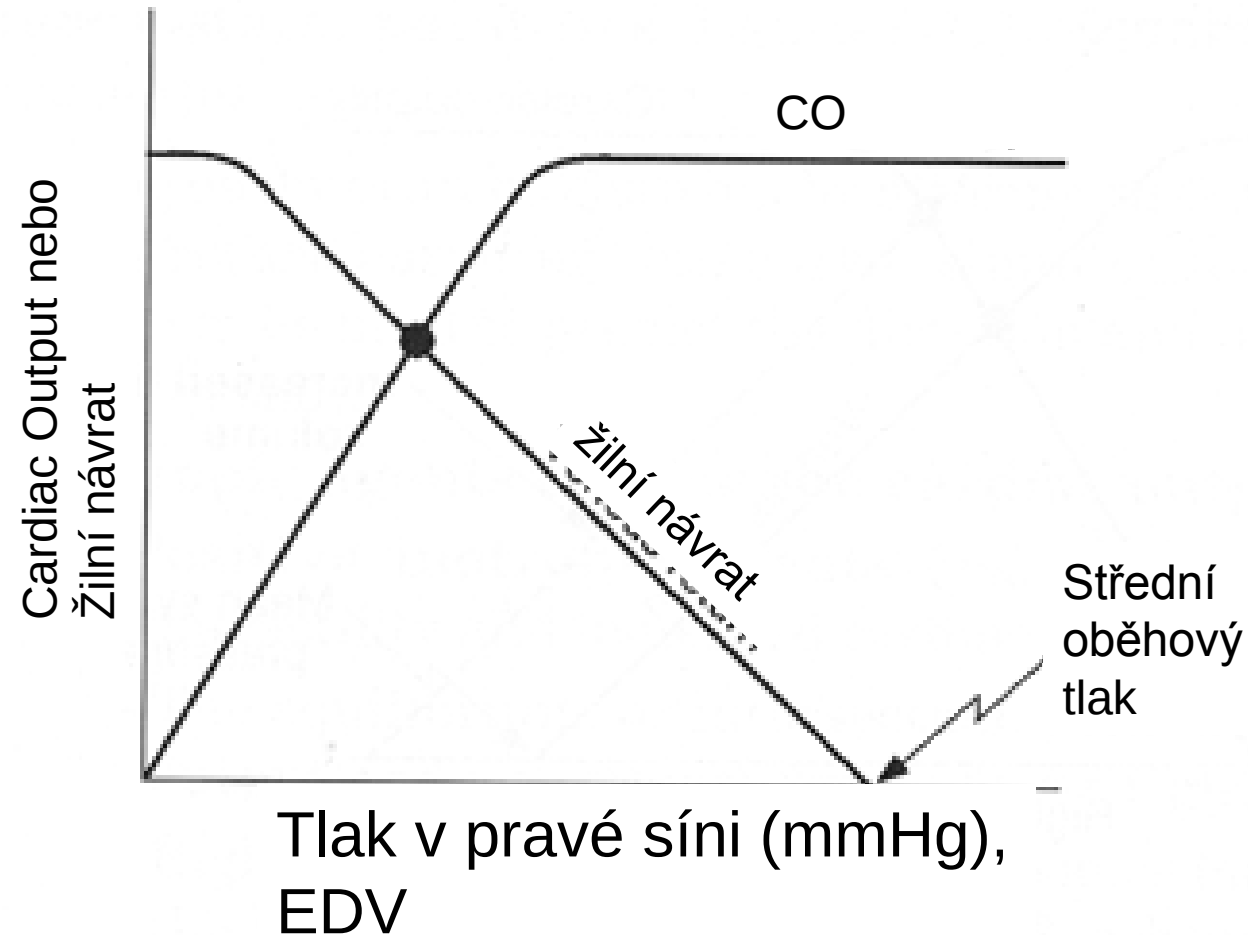
CO a žílní návrat

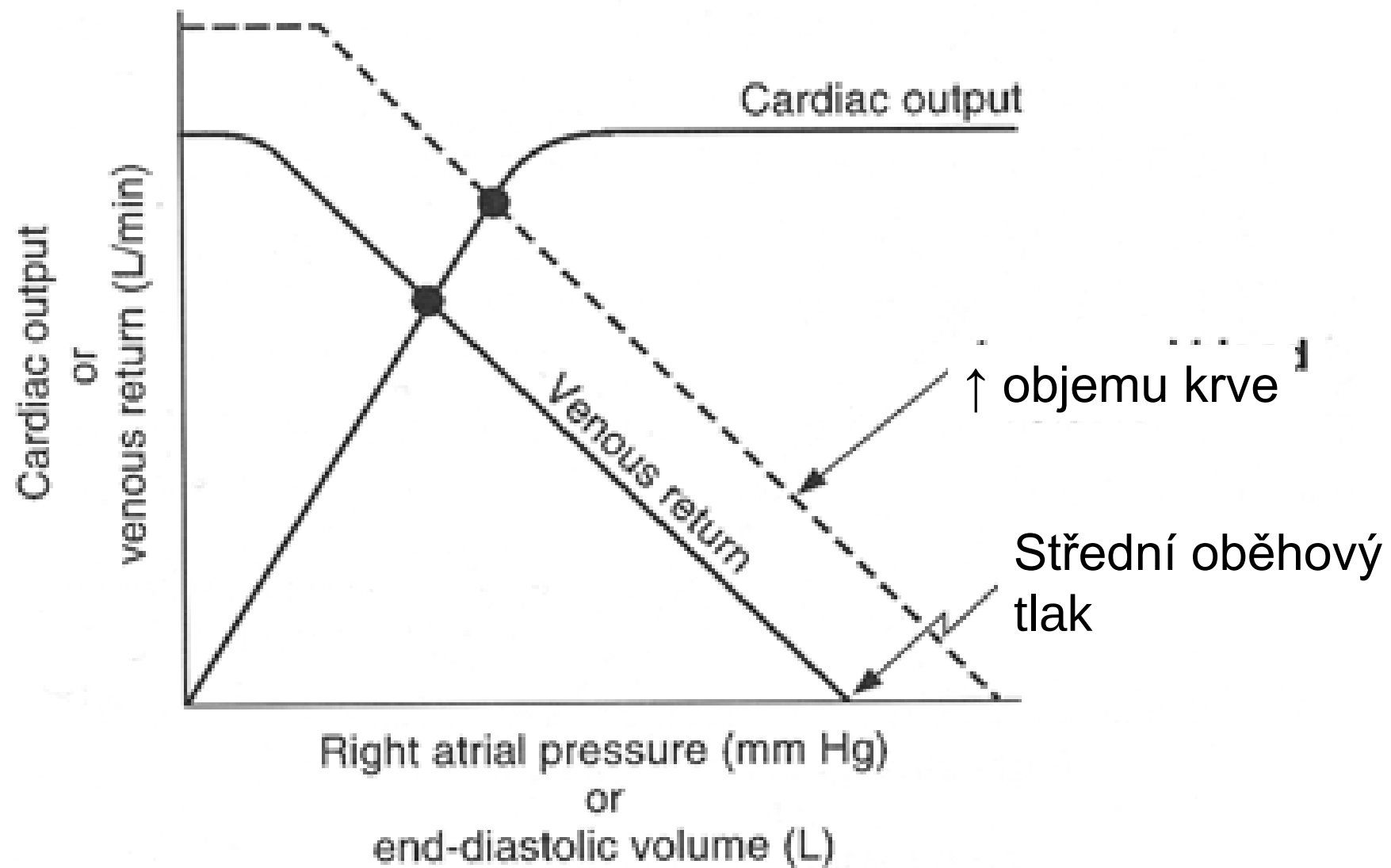


CO a žílní návrat



Vztah mezi CO a žílním návratem





Faktory ovlivňující preload

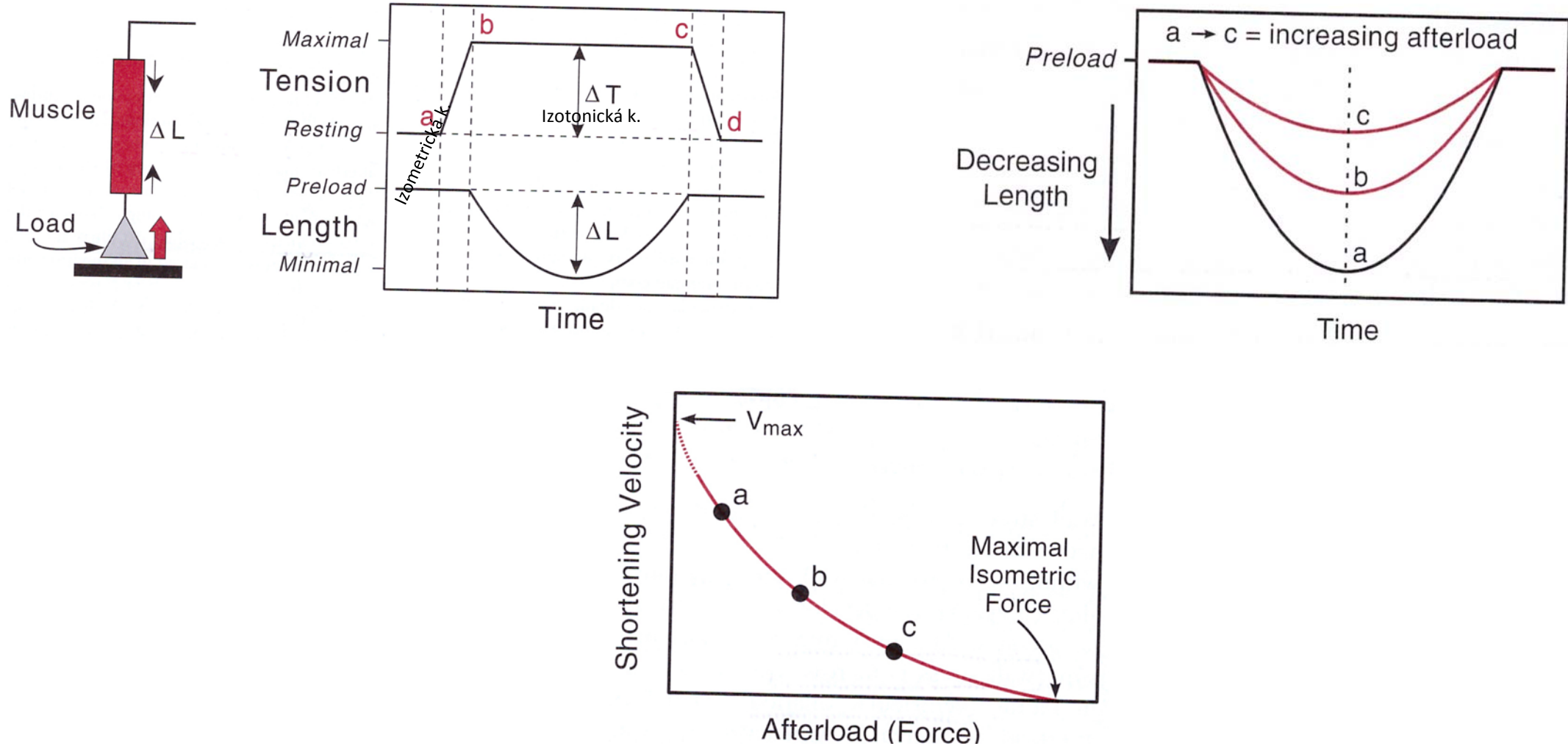
- Žilní tlak, žilní návrat, CVP
- Poddajnost komorové svaloviny
- Frekvence srdce – doba plnění, doba diastoly
- Kontrakce síní – při tachykardii nabývá na významu z 20 na 50%, fibrilace síní
- Odpor při vstupu – Tri stenóza, Mi stenóza
- Odpor při výstupu – PAP, Pu stenóza, hypertenze, Ao stenóza
-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

Afterload (dotížení)

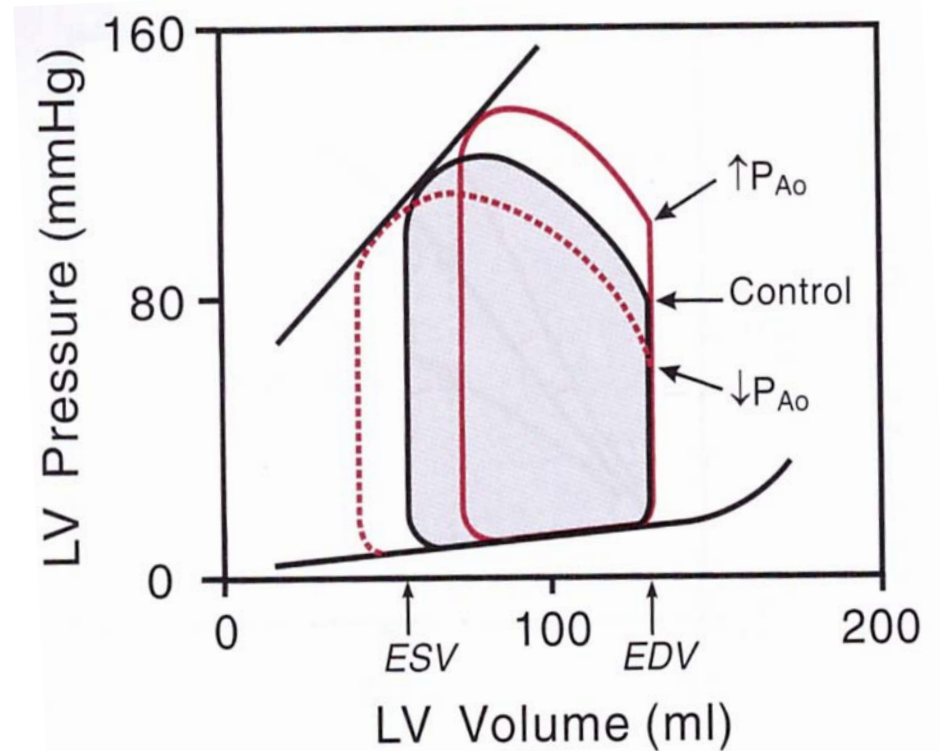
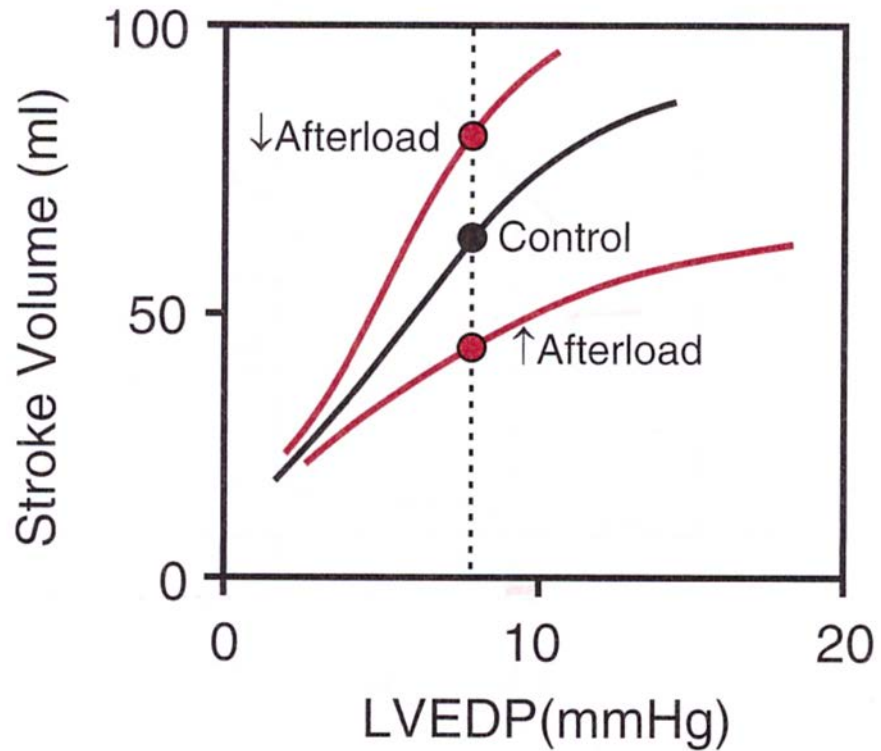
- Odpor proti kterému musí srdce pumpovat krev
- Jeho hodnotu charakterizuje SVR (malé areterie, arterioly)
- Jeho hodnotu je možné charakterizovat napětím stěny komory, Laplace zákon:
$$\sigma \propto \frac{P \cdot r}{h}$$

σ - 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

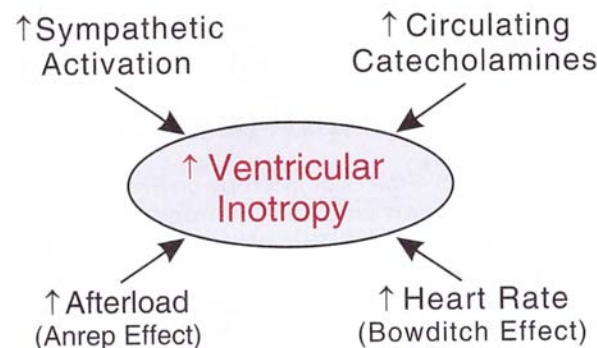


↓ CO
↑ ESV

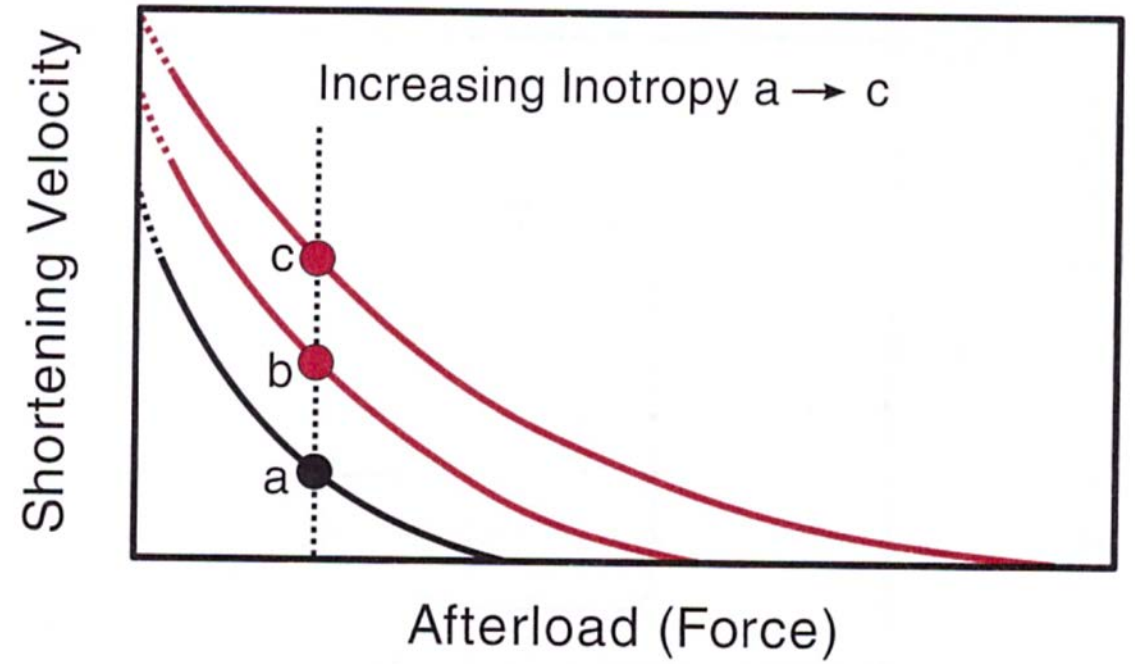
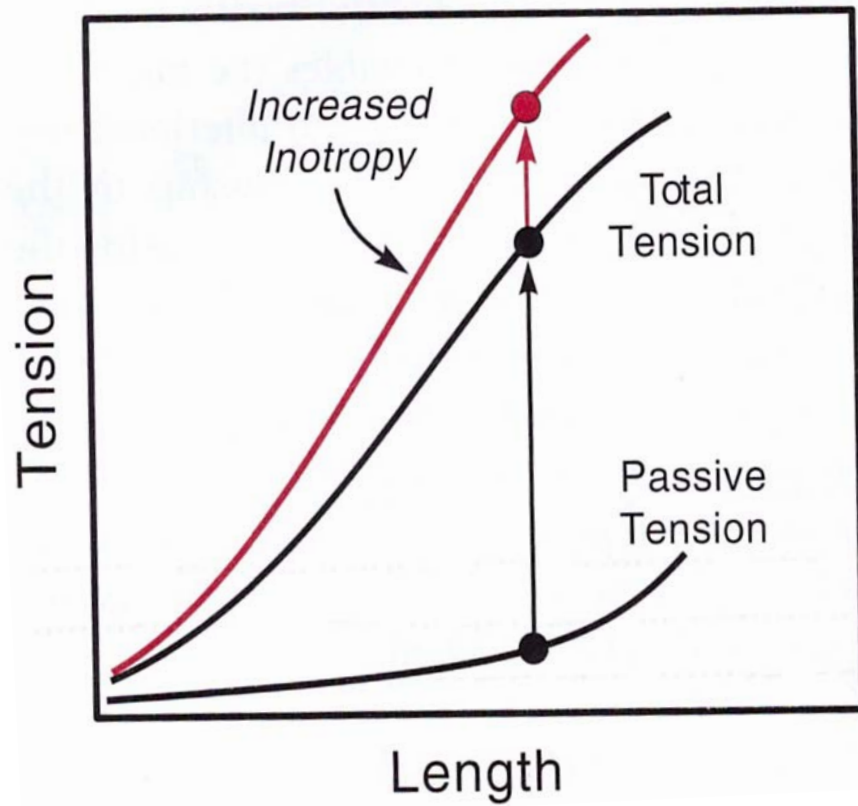
Pokles SV na podkladě zvýšeného afterloadu je možné “kompenzovat” zvýšením preloadu !!!

Kontraktilita - inotropie

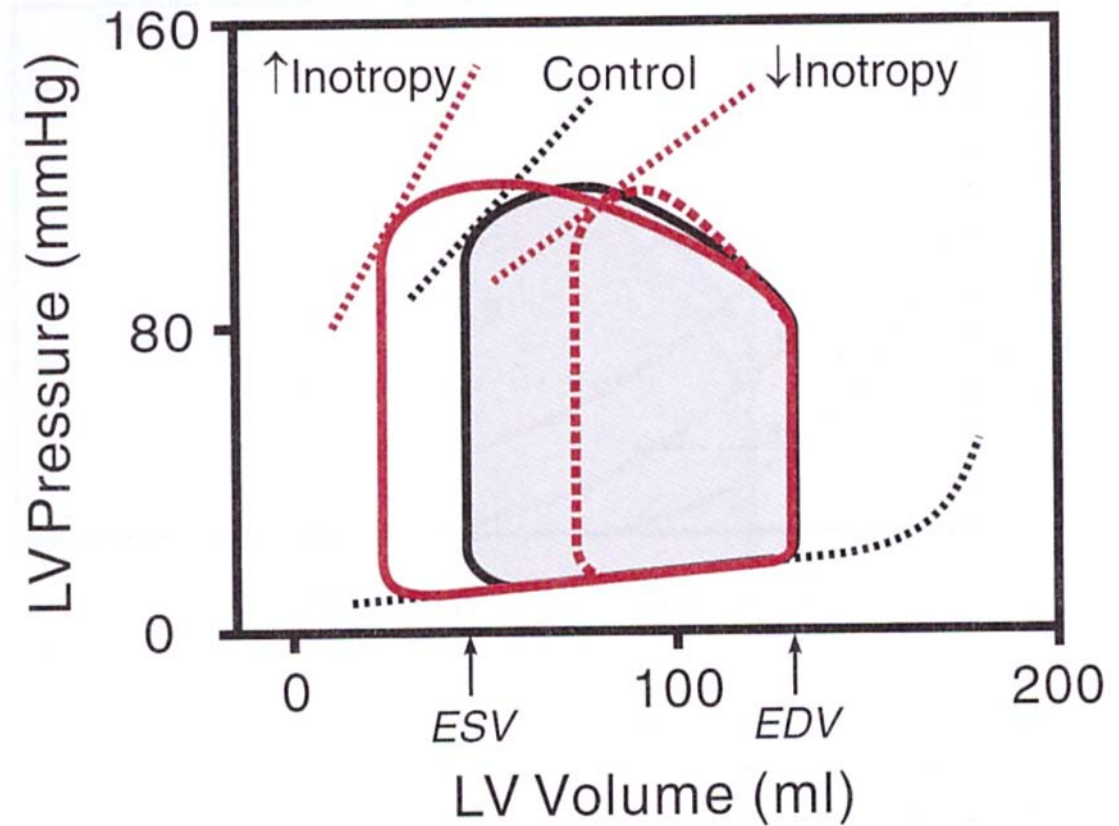
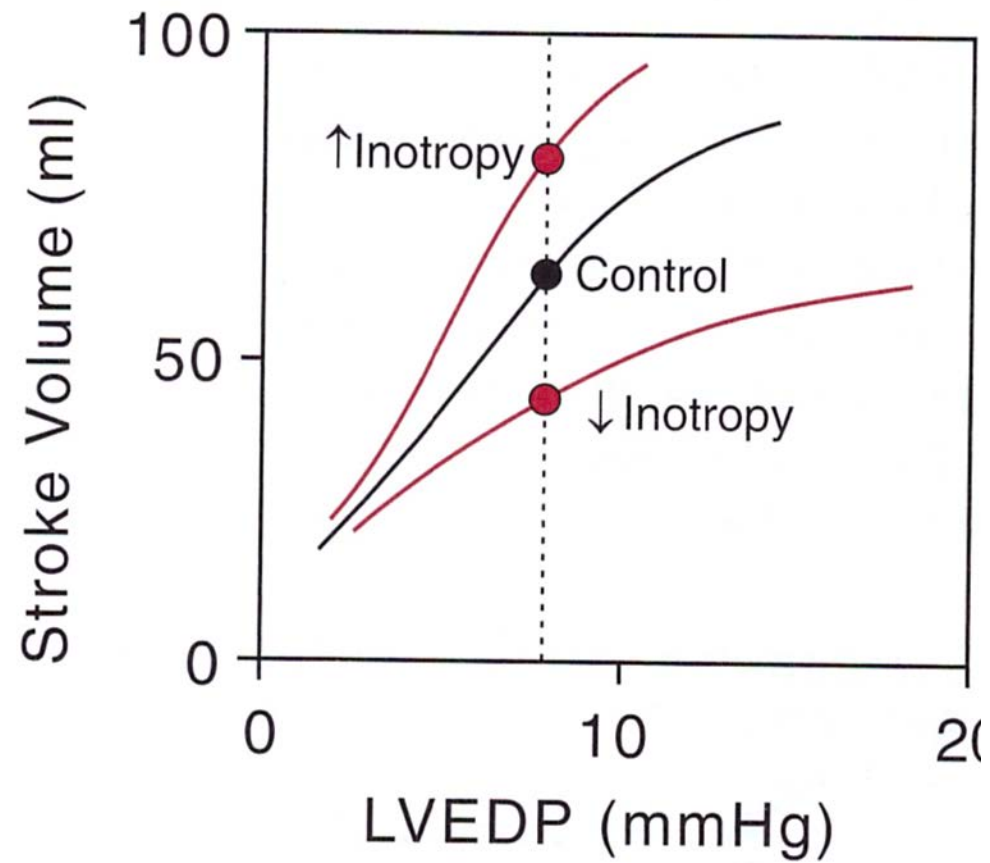
- Kontraktilita (inotropie) = síla kontrakce
- Mění délku sarkoméry jiným mechanismem než změnou interakce aktin-myozin:
 - o Zvýšený vstup Ca^{2+} do buňek z extracel. prostoru
 - o Zvýšené uvolnění Ca^{2+} z ER
 - o Zvýšená citlivost troponinu C na Ca^{2+}
- Nesouvisí s délkou sarkoméry = HOMEOMETRICKÁ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



Inotropie

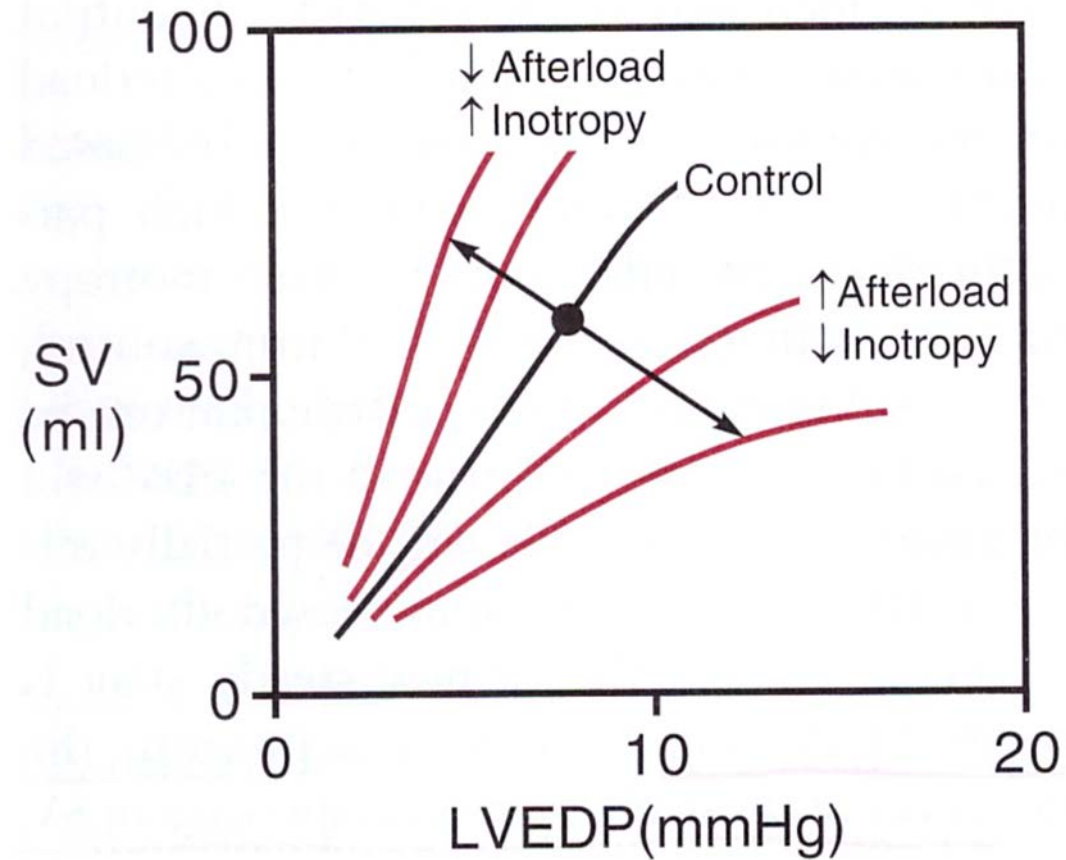


Inotropie



↑ CO
↓ ESV

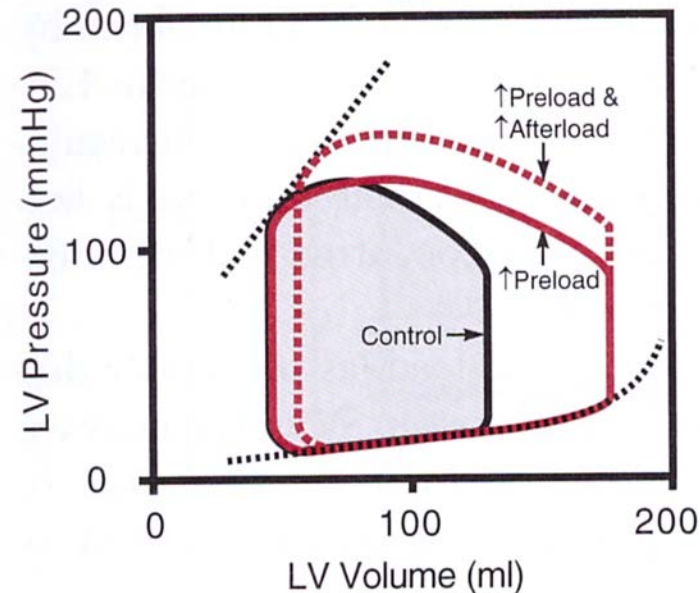
Inotropy vs. afterload



Interakce: preload, afterload, inotropie

Zvýšený preload:

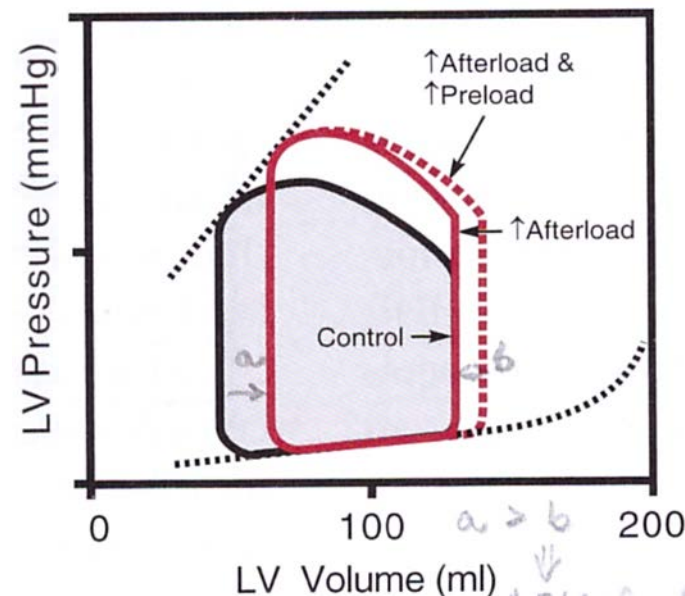
- Zvýšený SV, zvýšený CO
- SVR není ovlivněn
- Původní cévní tonus způsobí relativní zvýšení afterloadu:



Interakce: preload, afterload, inotropie

Zvýšený afterload:

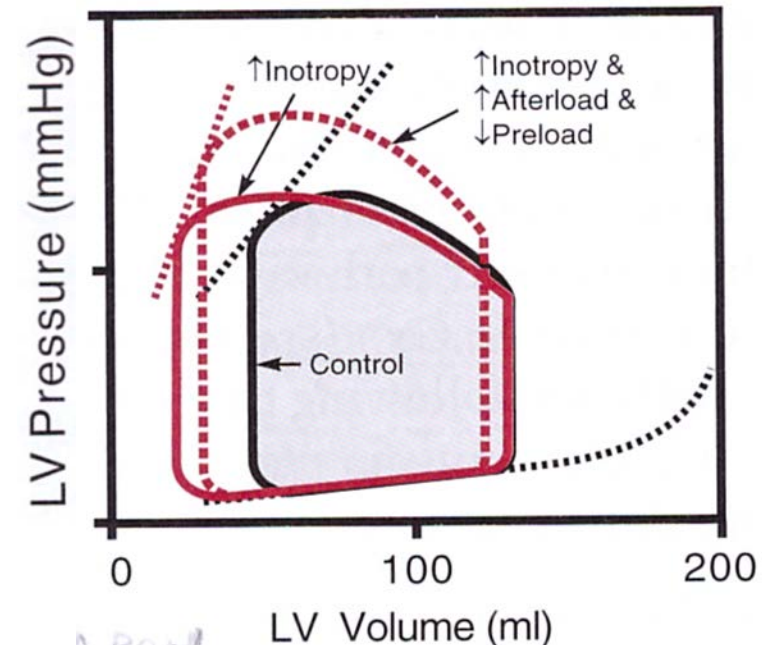
- snížený SV, snížený CO
- Snížený CO nedokáže odčerpat celý žilní návrat
- Zvýšený žilní návrat vede ke zvýšení preloadu:



Interakce: preload, afterload, inotropie

Zvýšená inotropie:

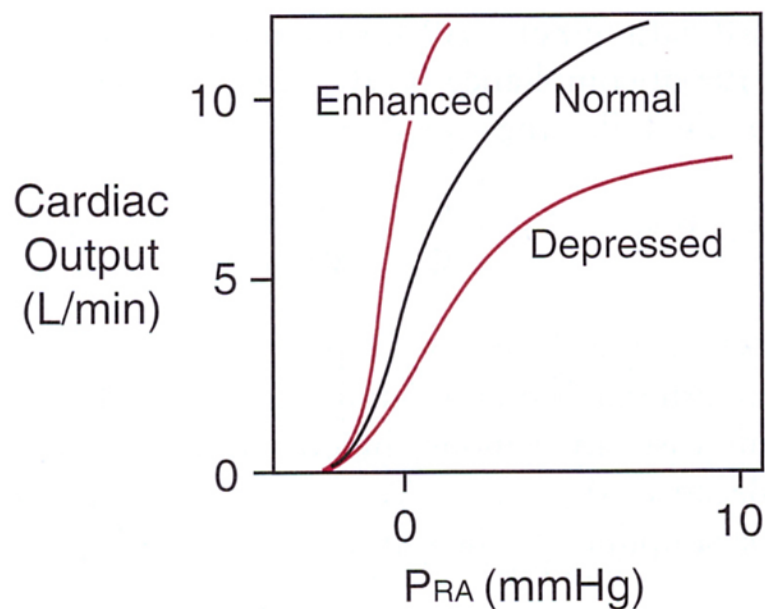
- Zvýšený CO + snížený ESV
- SVR se nemění
- Relativní zvýšení afterloadu
- Zvýšený afterload sníží poddajnost
- Nížší poddajnost sníží preload



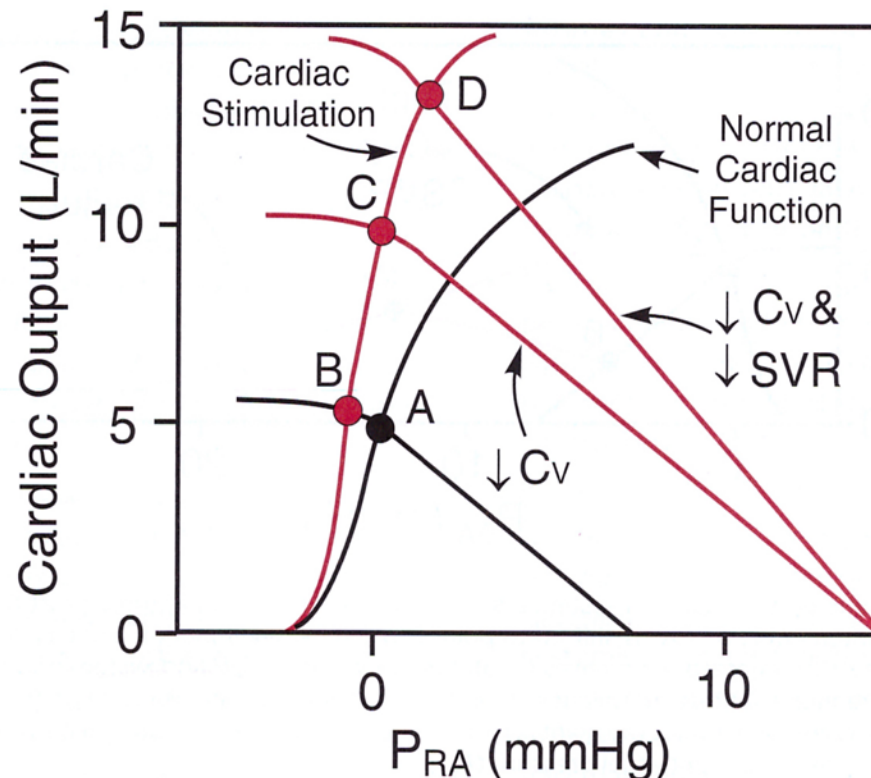
Zvýšená aktivita sympatiku

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

Srdeční funkční křivka



Kombinace srdeční a cévní funkční křivky

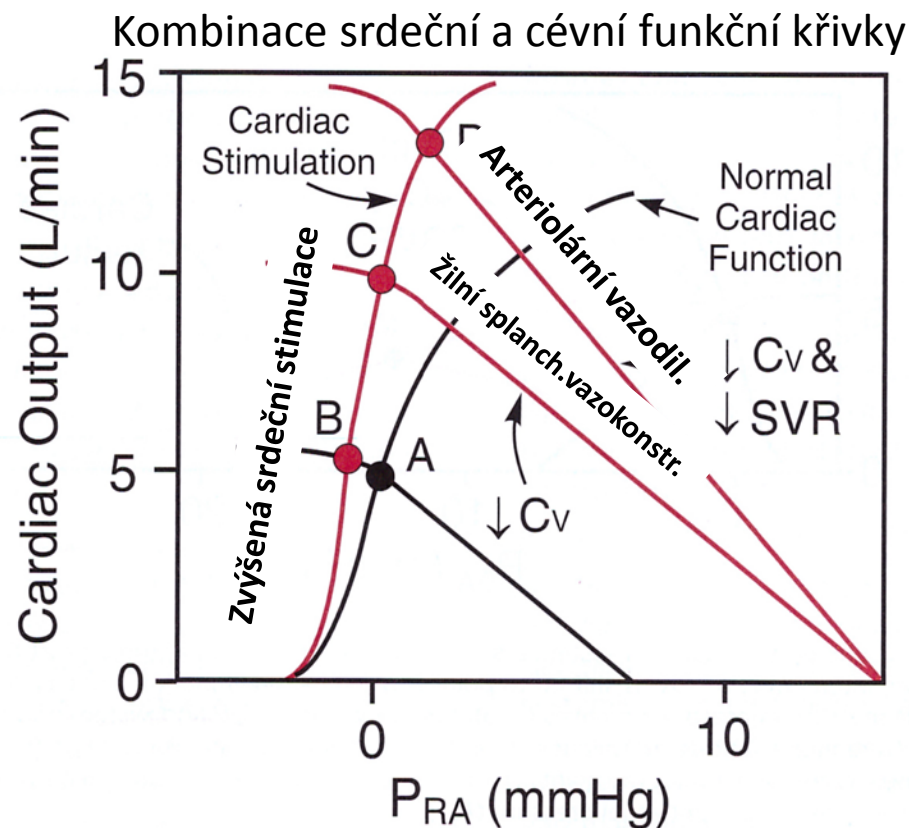
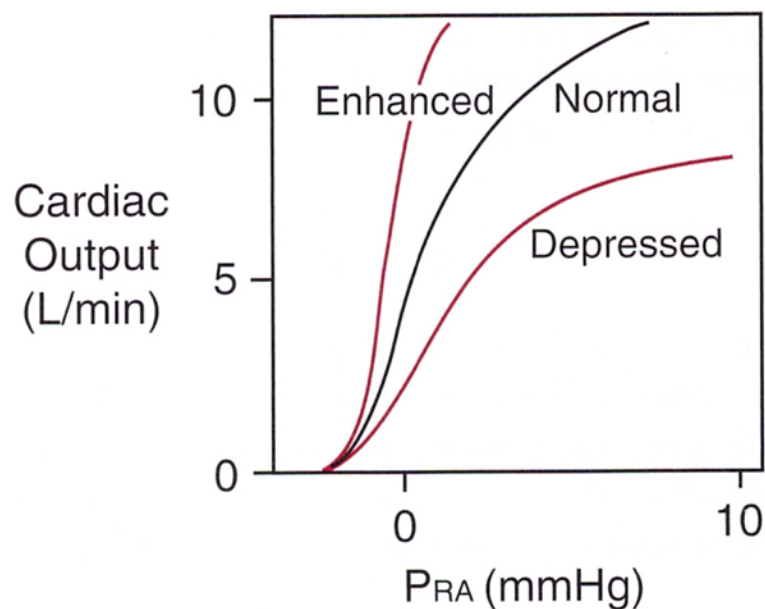


A – rovnováha mezi CO a žilním návratem

Zvýšená aktivita sympatiku

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

Srdeční funkční křivka



A – rovnováha mezi CO a žilním návratem

Srdeční selhání

