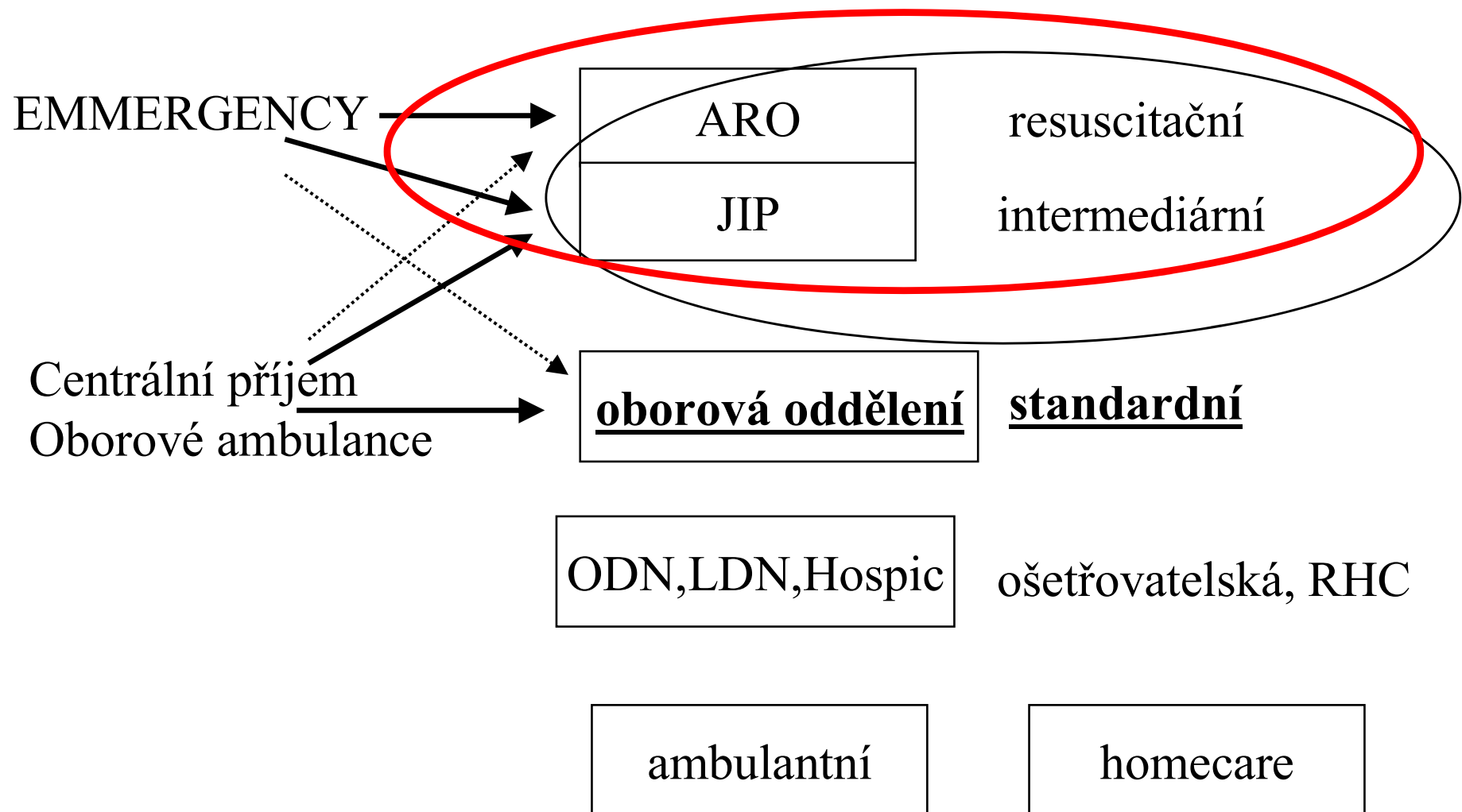


IM – definice, postavení oboru.  
Monitorace hemodynamiky a  
metabolizmu kriticky nemocných

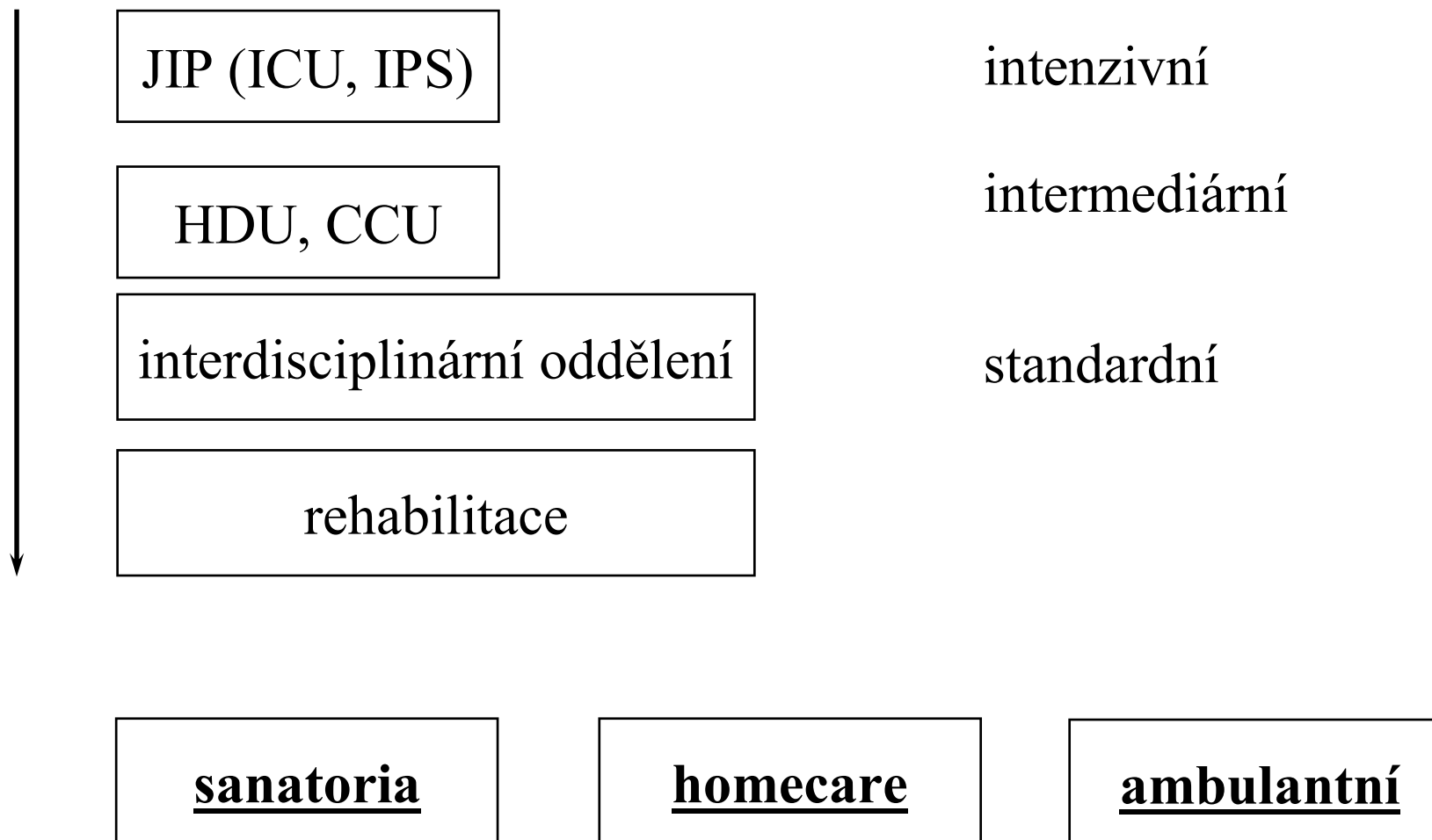
Vladimír Šrámek

ARK, FN u svaté Anny v Brně

# Organizace péče - současný stav v ČR

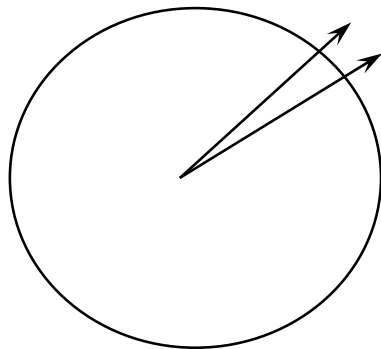


# Organizace péče o nemocné - EU



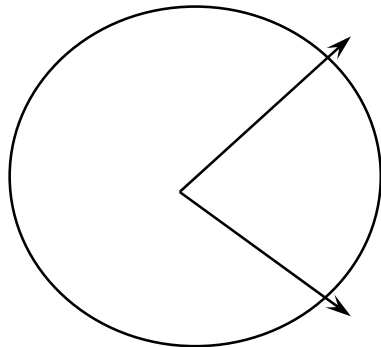
# profil nemocničních lůžek

realita před r.2000



intenzivní lůžka: 1-2% UK  
3-4% Evropa  
9-11% US

21. století

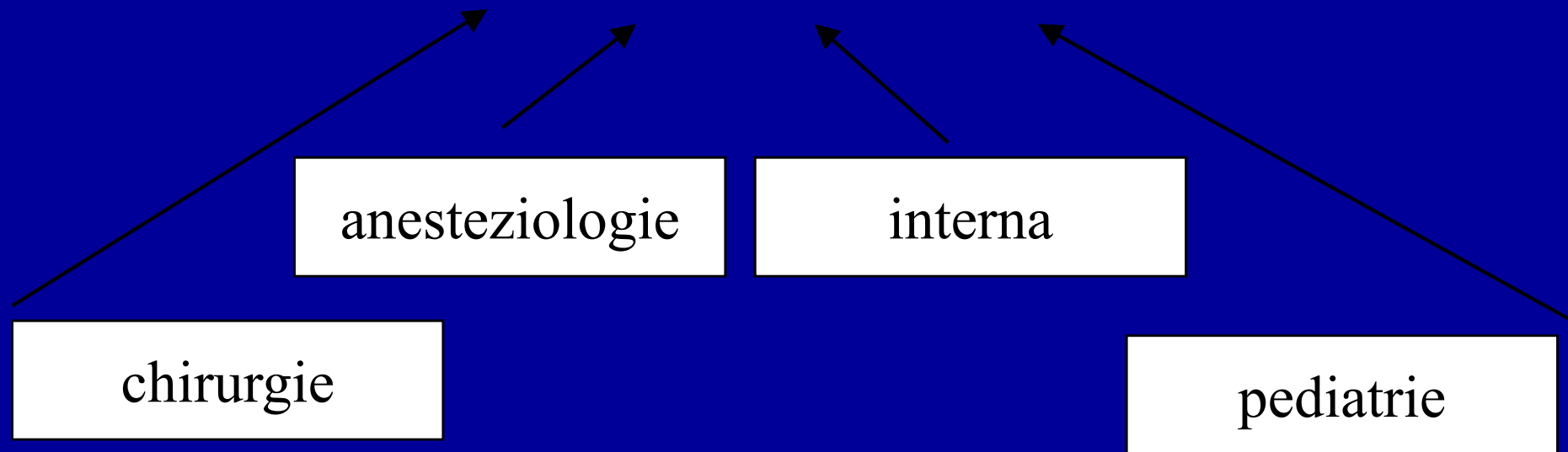


**FN USA > 100/900**

# intenzivní medicína

## nástavbový obor (certifikovaný kurz)

Intenzivní medicína - postgraduální forma



plicní, kardiologie, neurologie, infekce

# intenzivní medicína postgraduální výchova

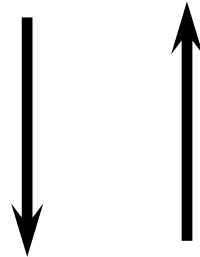


# Definice intenzivní péče

## **intenzivní:**

**(vybavení personální, přístrojové – kritéria ESICM vs pojišťovna)**

- ⊗ nemocné se selháním vitálních funkcí (mozek, srdce, plíce)
- ⊗ TISS nad 20
- ⊗ umělá plicní ventilace, invazivní monitorace, náhrada fce ledvin



## **intermediární:(vybavení personální, přístrojové)**

- ⊗ nemocné, kde hrozí selhání vitálních funkcí
- ⊗ TISS pod 20
- ⊗ oxygenoterapie, dechová RHC, neinvazivní monitorace

# rozpočet

## cena poskytnuté intenzivní péče:

- ⇒ skórování (TISS)
- ⇒ **> 20.000 Kč/den** (Finsko: 1800 USD/d)
- ⇒ profil: mzdy, léky+SZM, fixní náklady  
(ČR: mzdy 30% **-50%** Evropa 60-70%)
- ⇒ dlouhodobá intenzivní péče (nad 3-7dnů)  
50% rozpočtu



# **Možnosti monitorace celkové a regionální hemodynamiky. Monitorace metabolismu**

Vladimír Šrámek

ARK, FN u svaté Anny v Brně

# hemodynamika

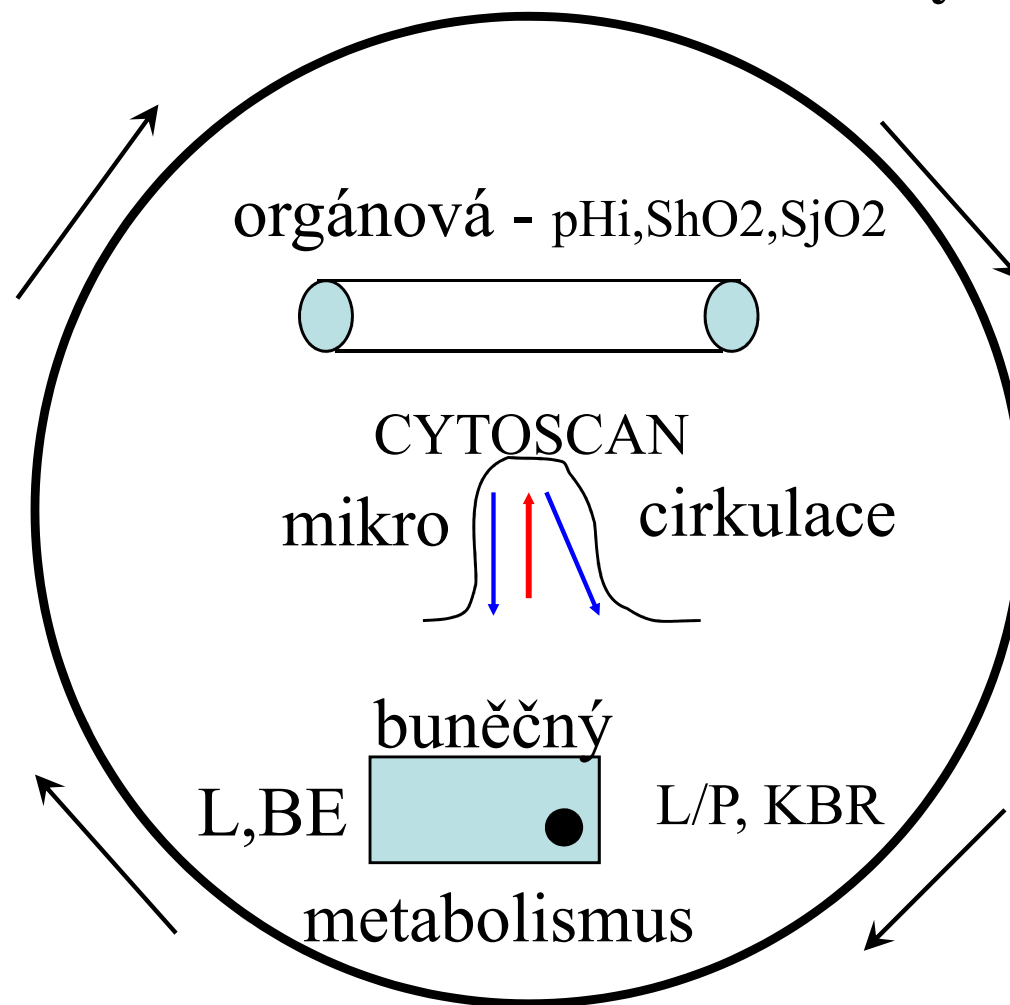
## hemos + dynamos

- fyziologie o proudění krve a silách, které proudění způsobují
- proudění krve má zabezpečit adekvátní přísun O<sub>2</sub> (živin) periferním tkáním a odstranění CO<sub>2</sub> (zplodin) buněčného **metabolizmu**

# úrovně monitorace

celotělová

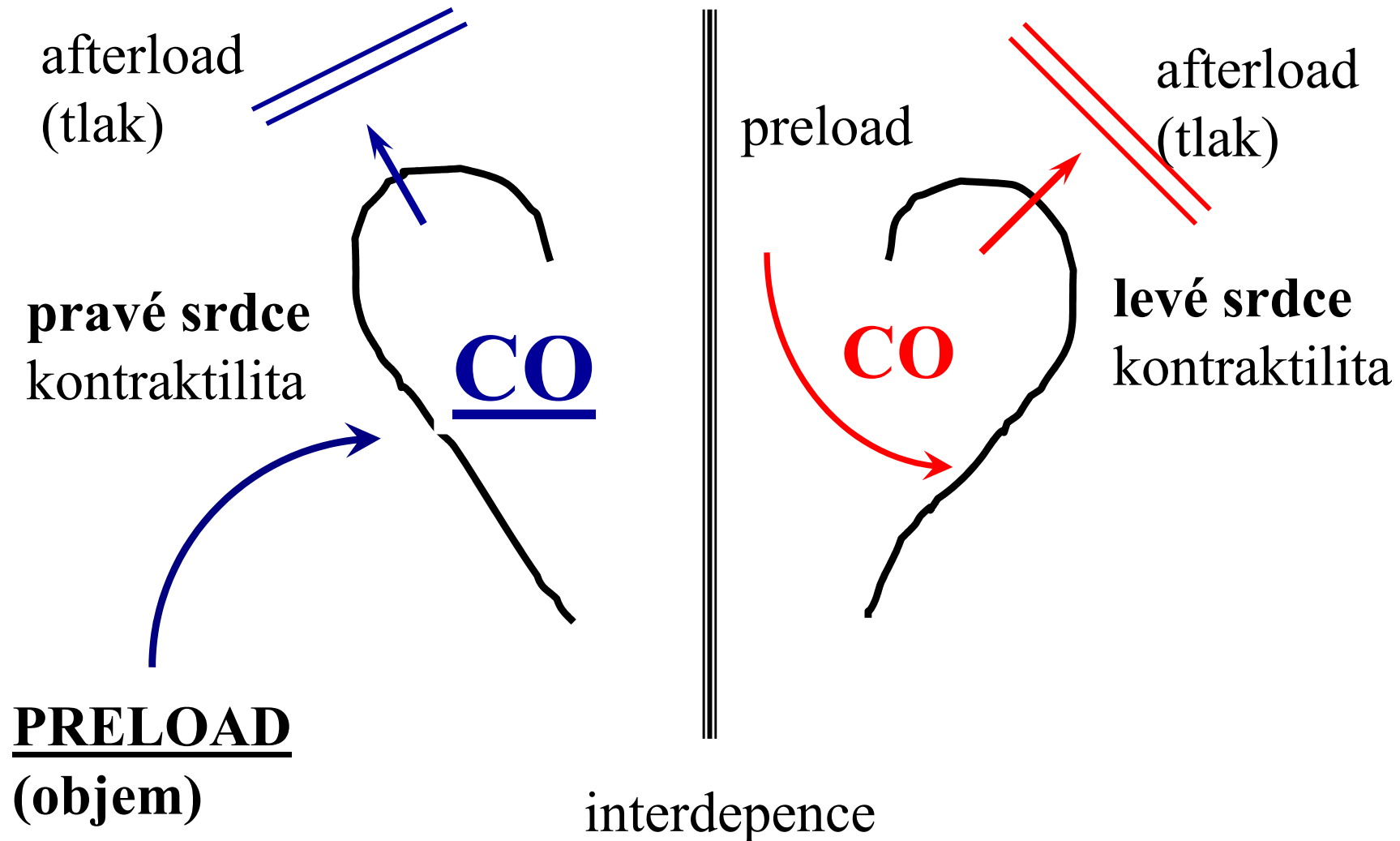
hemodynamika



# vhodný hemodynamický parametr definice

- snadno získatelný (prevence x léčba hemodynamického kolapsu)
- neinvazivní x přesný
- jeho znalost objasňuje stav hemodynamiky
- jeho manipulace je možná a zlepšuje **M/M** nemocných

# Celková hemodynamika základní veličiny

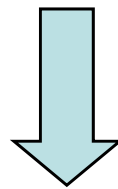


# měření hemodynamiky - parametry

## preload, afterload a srdeční kontraktilita

**(CVP)**  
**0-20**  
**mmHg**

**(MAP)**  
**55-100**  
**mmHg**



**(ECHO)**  
**EF**      **tepový objem (SI)**  
**>35 %**   **> 30-50 ml/m<sup>2</sup>**

## **FLOW (srdeční výdej/index)**

$$\text{CI (=CO/BSA)} = \text{SI} \times \text{HR}$$
$$< 1.5 = 2.5 - 4.0 > \text{ l/min/m}^2$$

Data: spolehlivá, kontinuální, neinvazivně získaná

# cardiac output/ DO2 (oxygen delivery)

$$\text{DO2I} = \text{CI} * \text{hemoglobin} * \text{SaO2} * k$$

>> >

## Supranormální DO2 - retrospektivní analýza rizikových chirurgických nemocných

<b>Operace</b>	<b>DO2I 600</b>	<b>CI 4.5</b>
<b>Polytrauma</b>	<b>800</b>	<b>5.0</b>
<b>Sept.šok</b>	<b>1000</b>	<b>5.5</b>
<b>AIM</b>	<b>400</b>	<b>2.5</b>

Shoemaker WC, et al. Temporal hemodynamic and oxygen transport patterns in medical patients. Septic shock. Chest. 1993 Nov;104(5):1529-36. [Links](#)

Hayes MA, et al. Response of critically ill patients to treatment aimed at achieving supranormal oxygen delivery and consumption. Relationship to outcome. Chest. 1993 Mar;103(3):886-95. [Links](#)

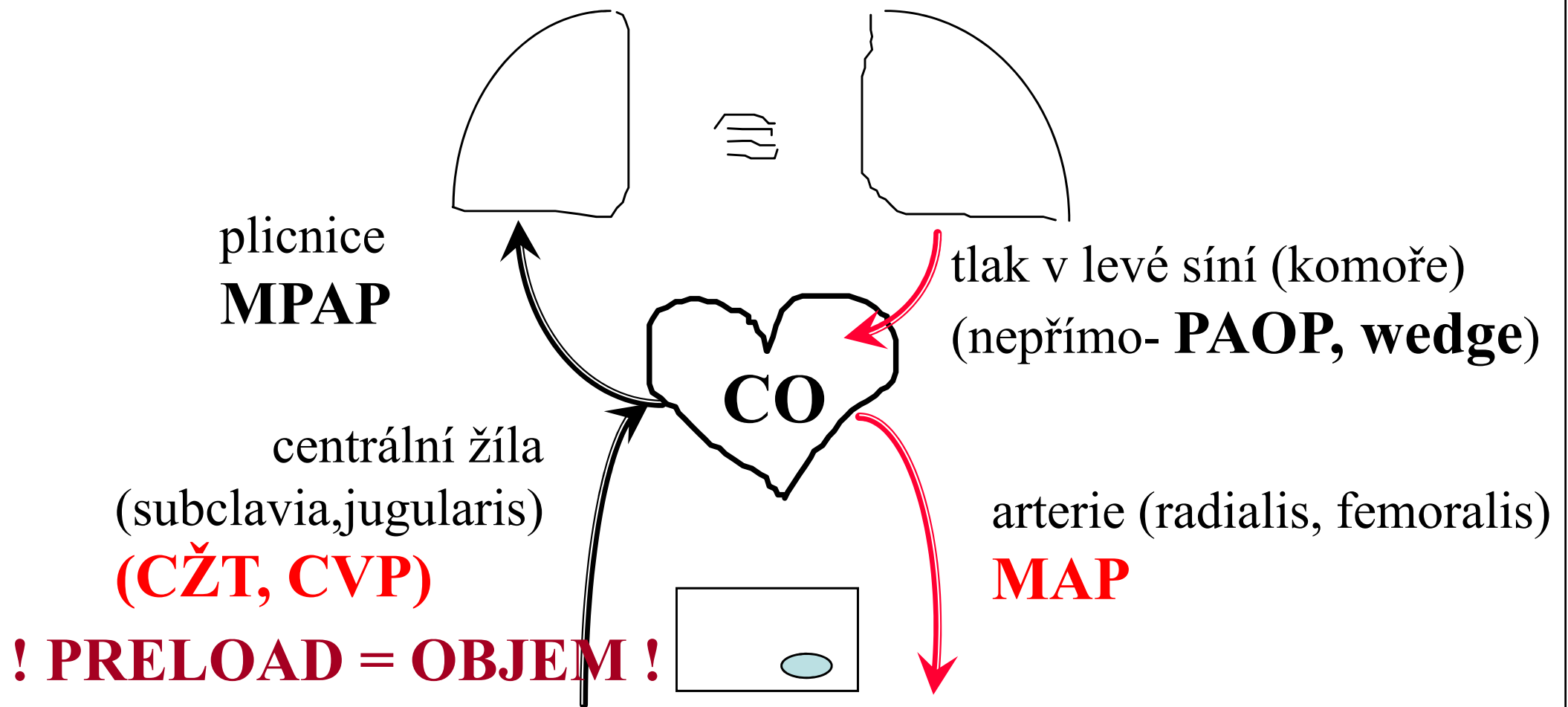
# klinický odhad - nepřesný

klasické neinvazivní (klinický odhad, **ABP**, event. CVP)

- **Mimoz O** (CCM, 1994)  
klinika, laboratoř, rtg, NIBP, CVP...) - > 50% chyb
- **Jonas M** (Southampton, UK - Brusel 2003)  
odhad CO - 60% chyb



# měření tlaků a objemů ve 4 oddílech krevního oběhu + srdeční výdej

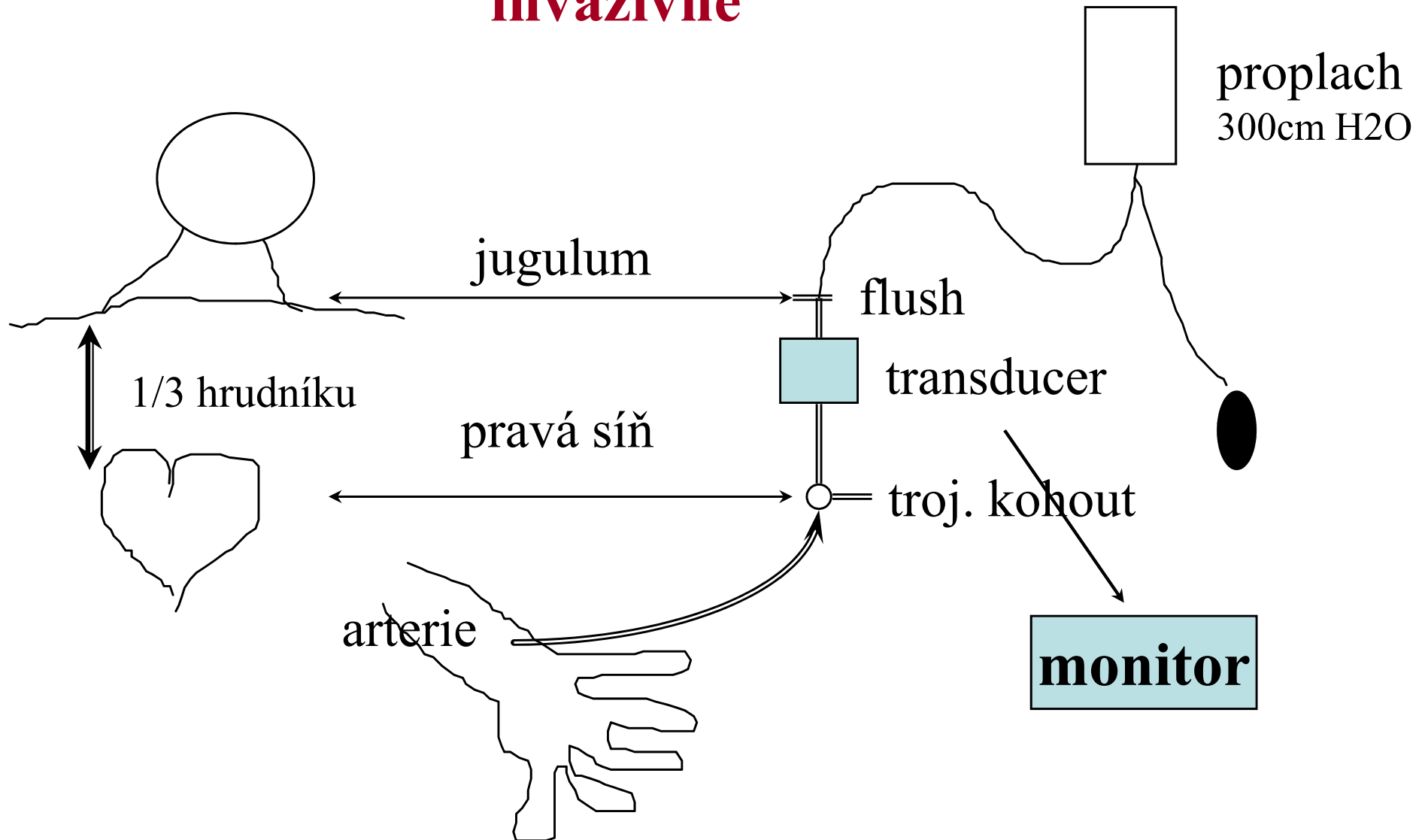


# arteriální linka

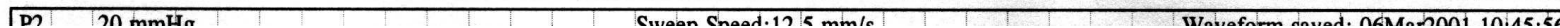
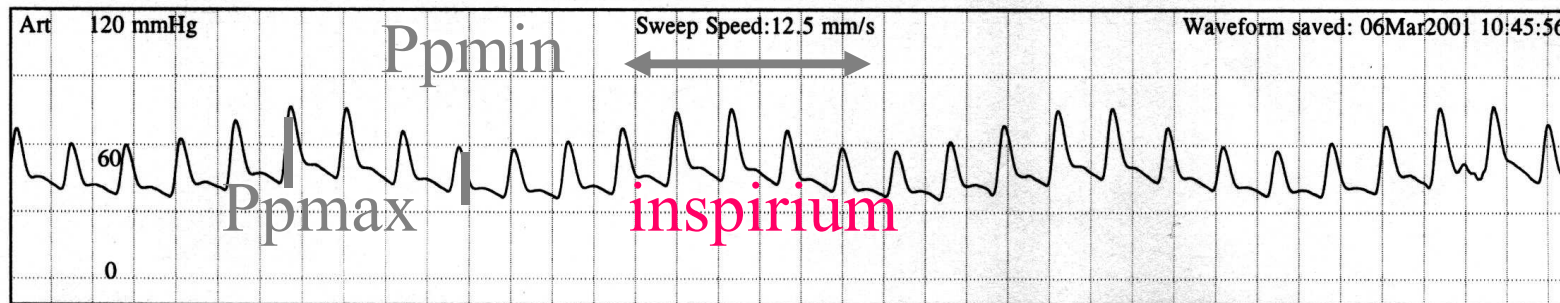
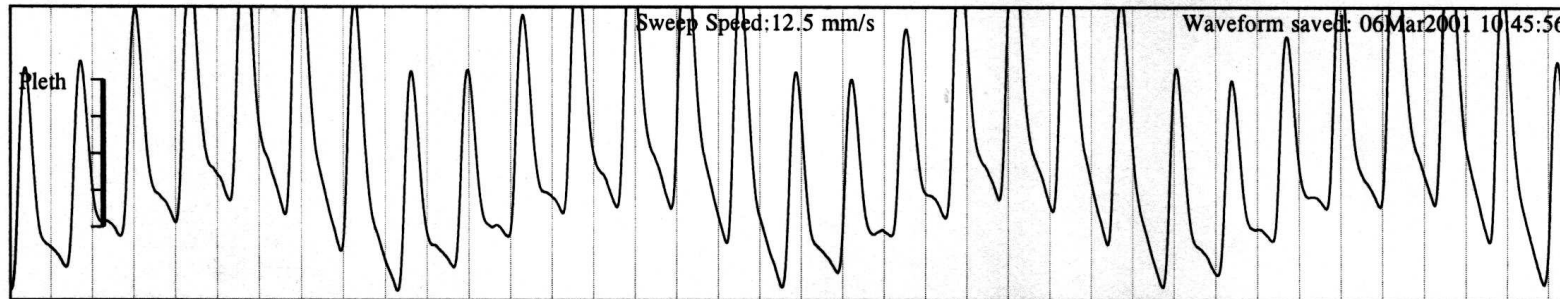
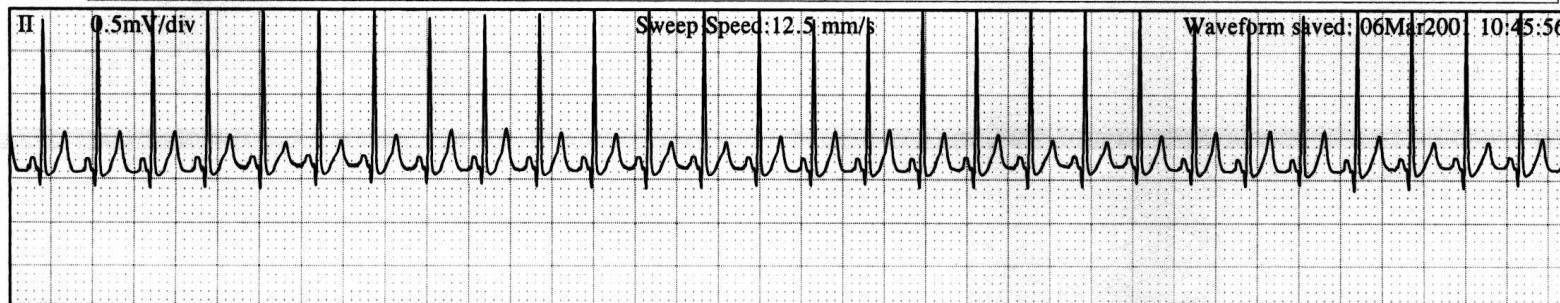
- **krevní vzorky**
- **kontinuální MAP** [ $DAP + 1/3 * (SAP - DAP)$ ]  
afterload levého srdce, perfuzní tlak perif. orgánů  
femorální > radiální - Dorman T, CCM 1998  
ideální perfuzní tlak ????? (**sepsis > 65 mmHg; SAP > 90 mmHg**);
- **kvantifikace preloadu u nemocných na řízené ventilaci**  
variace systolického tlaku (delta up/down) - Perel A  
**variace „pulse pressure“ (delta PP) - > 13%**  
Michard F, AJRCCM, 2000 - Teboul JL
- **kontinuální CO** - PiCCO plus  
(po kalibraci transpulmonální termodilucí)

# měření tlaků - principy

**invazivně**



<b>Snapshot printout</b>		<b>P1</b>
Date: 6 Mar 2001 Time: 10:46 Hospital: FN USA BRNO Department: Central_1 Location: Luzko 4		
Patient ID: 381104/434 Last name: Barta First name: Otto 1938		Notes:



# centrální žilní tlak (CŽT, CVP)

**Kdy: vždy, když zavedeme CŽK**

**(v. subclavia, v. jugularis int., v. femoralis)**

**Jak: kontinuálně, v poloze jaké se nemocný nachází**

**Správná hodnota: víceluminální katetry - 1 lumen**

## **Klinický význam monitorace?**

**1) Jeho výše neodráží preload pravého srdce**

**2) Doporučení SSC: hodnoty 8-12 mmHg (spontánní ventilace)  
a 12-16 mmHg u mechanické ventilace**

**Význam CŽT: (Magder S, ICM 1998)**

- preload celého kardiovaskulárního systému (výjimky)

- **fluid challenge dle CVP**

**(trvalý vzestup 2-3mm Hg – dál nedávat tekutiny)**

(ale preload je volum a ne tlak) - korelace????

- analýza křivky (cave: Balík M - ICM 2002)



# Snapshot printout

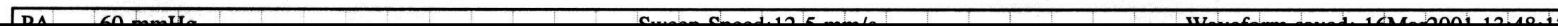
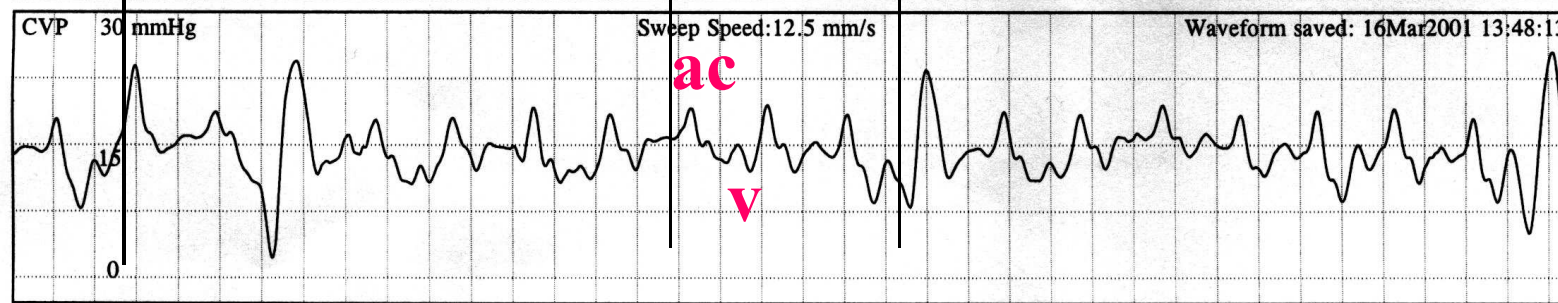
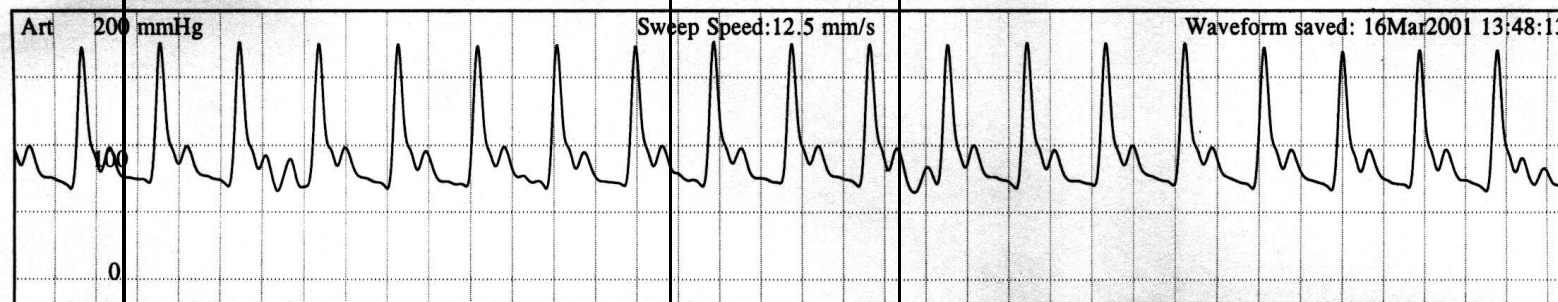
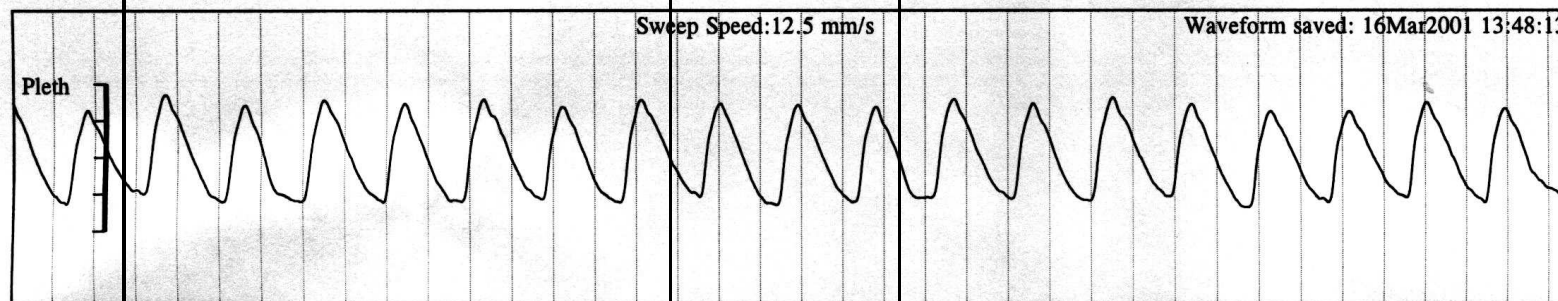
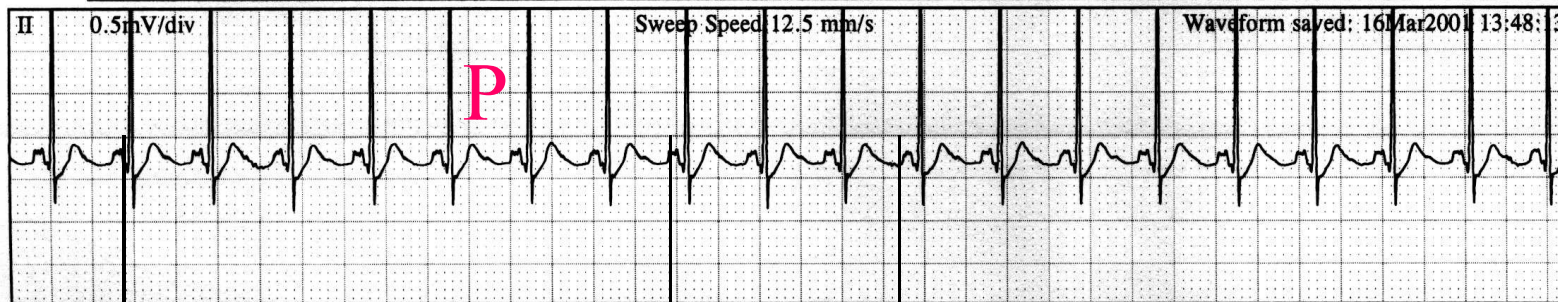
Identification:

# P1

Date: 16 Mar 2001  
Time: 13:48  
Hospital: FN USA BRNO  
Department: Central\_1  
Location: Luzko 1

Notes:

Patient ID:  
Last name: PhDr Konecny  
First name: Petr 1944

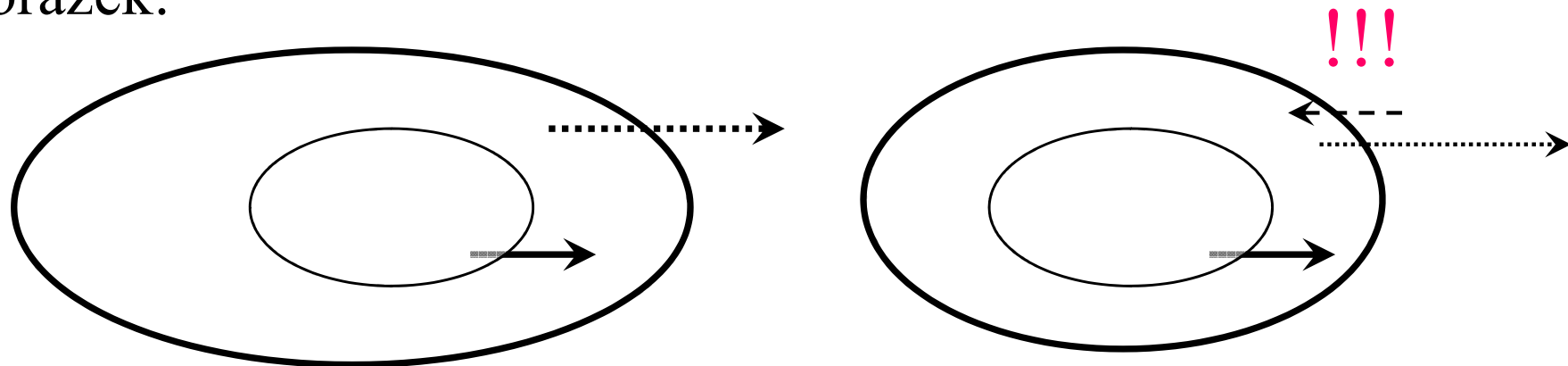


# Preload

U většiny kriticky nemocných je preload pravého srdce determinantou, která určuje výkonnost celotělové hemodynamiky  
- 70% krve je v tzv. „kapacitním řečišti“ (MCFP- RAP)

kdyby neexistovala vasoreaktivita - preload by šel odhadnout dle CVP

Obrázek:



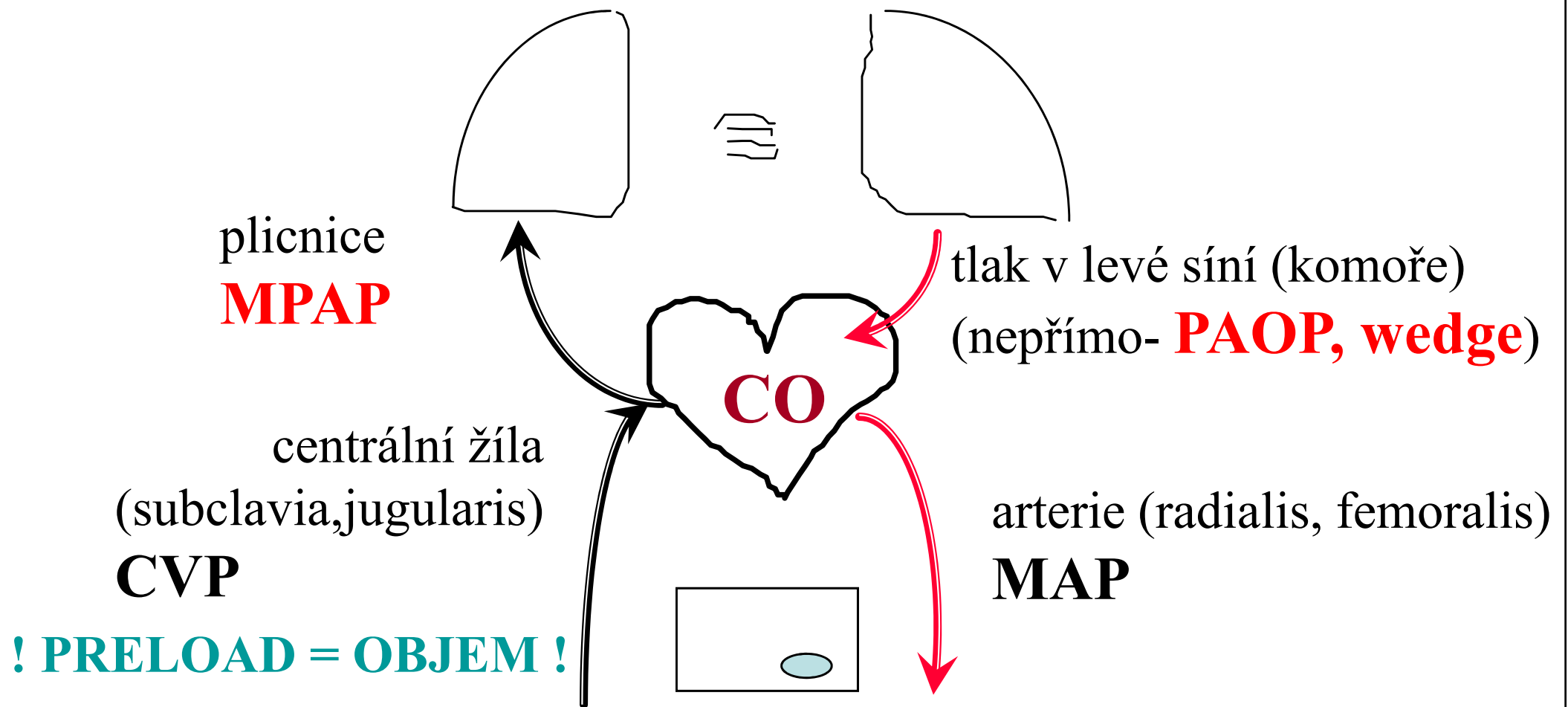
# parametry používané ke stanovení preloadu

Statické x dynamické parametry

Parametr (statický)	Metoda	Parametr (dynamický)	Metoda
CŽT (CVP)	Kanylace CŽ	Inspirační dCVP	Kanylace CŽ
PAOP	PA (SG) katetr	✎ SP (delta down)	Kanylace arterie, analýza art. křivky
RVEDV	Speciální PA katetr	✎ PPV	Kanylace arterie, analýza art. křivky
LVEDA	Biplanární ECHO	✎ SVV	Kanylace arterie, analýza art. křivky
ITBV (GEDV)	Transpulmonální termodiluce	✎ Vpeak	Doppler ECHO Ascendentní aorty



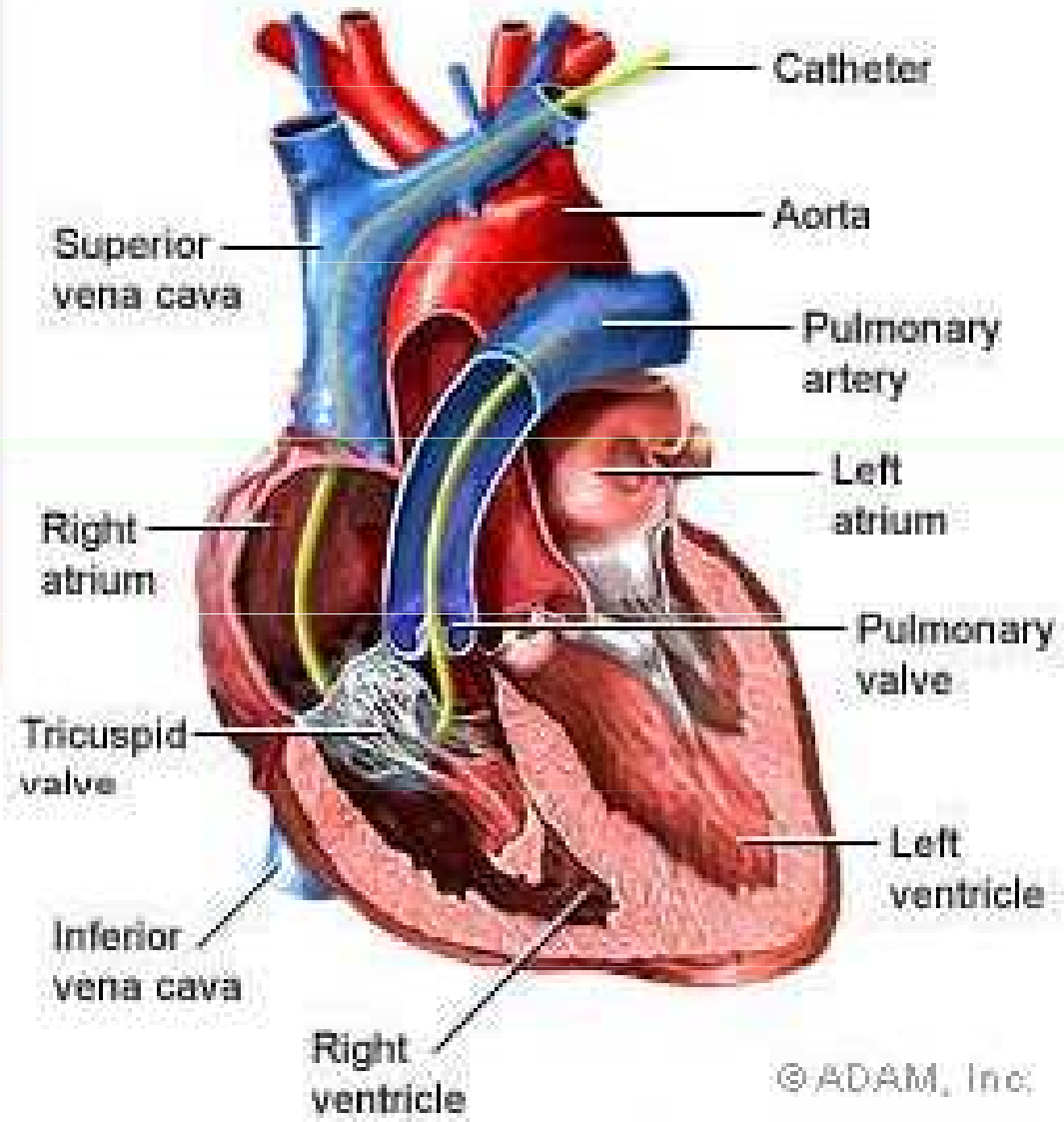
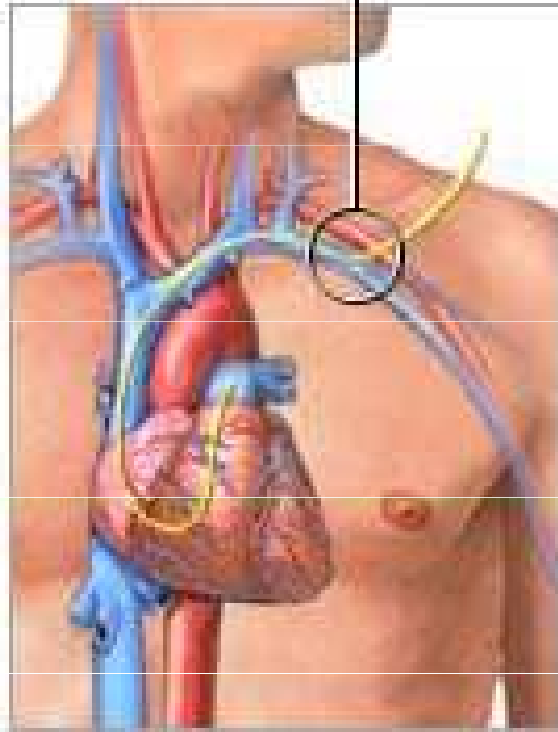
# měření tlaků a objemů ve 4 oddílech krevního oběhu + srdeční výdej



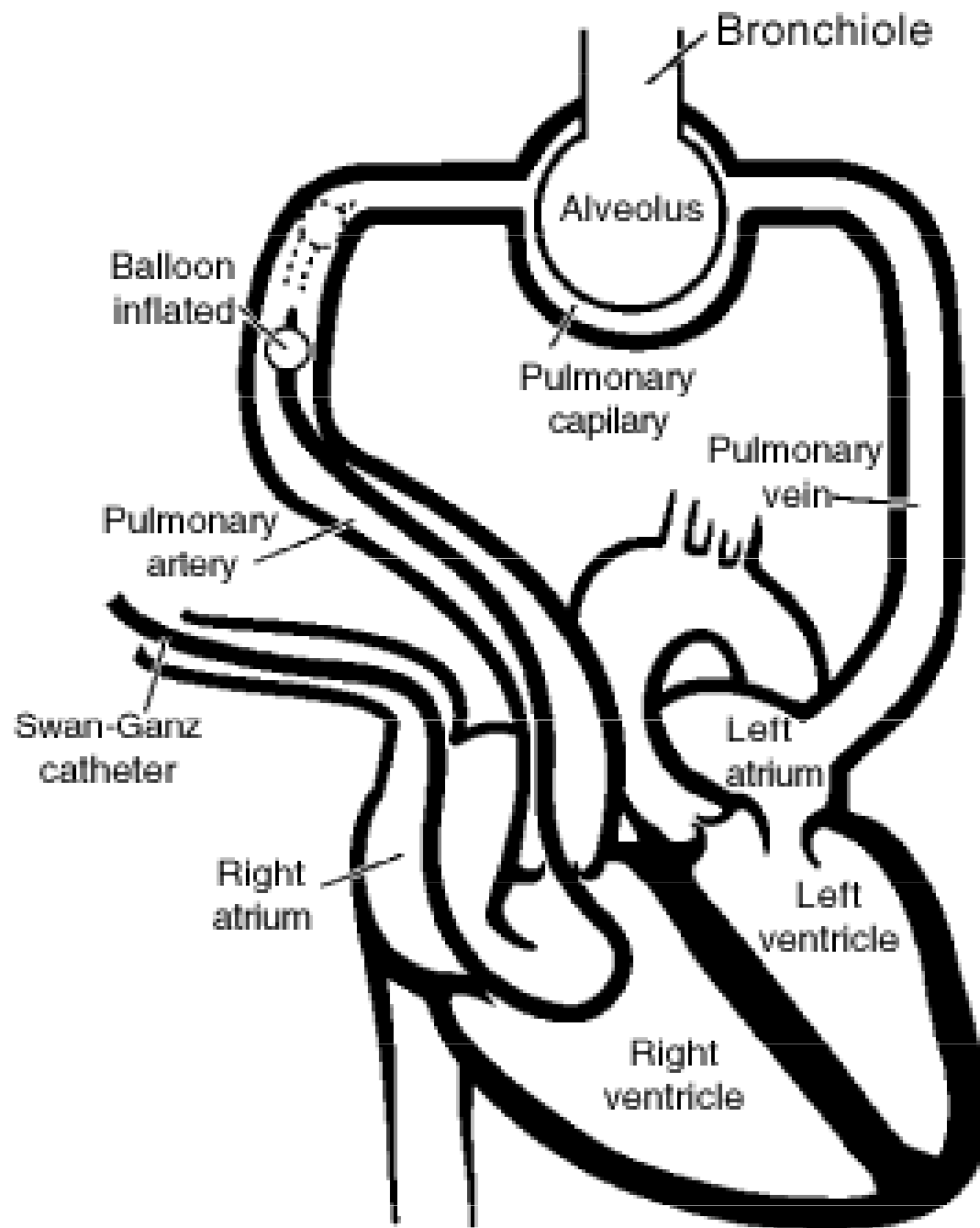
# Swan-Ganzův katetr (plicnicový katetr)



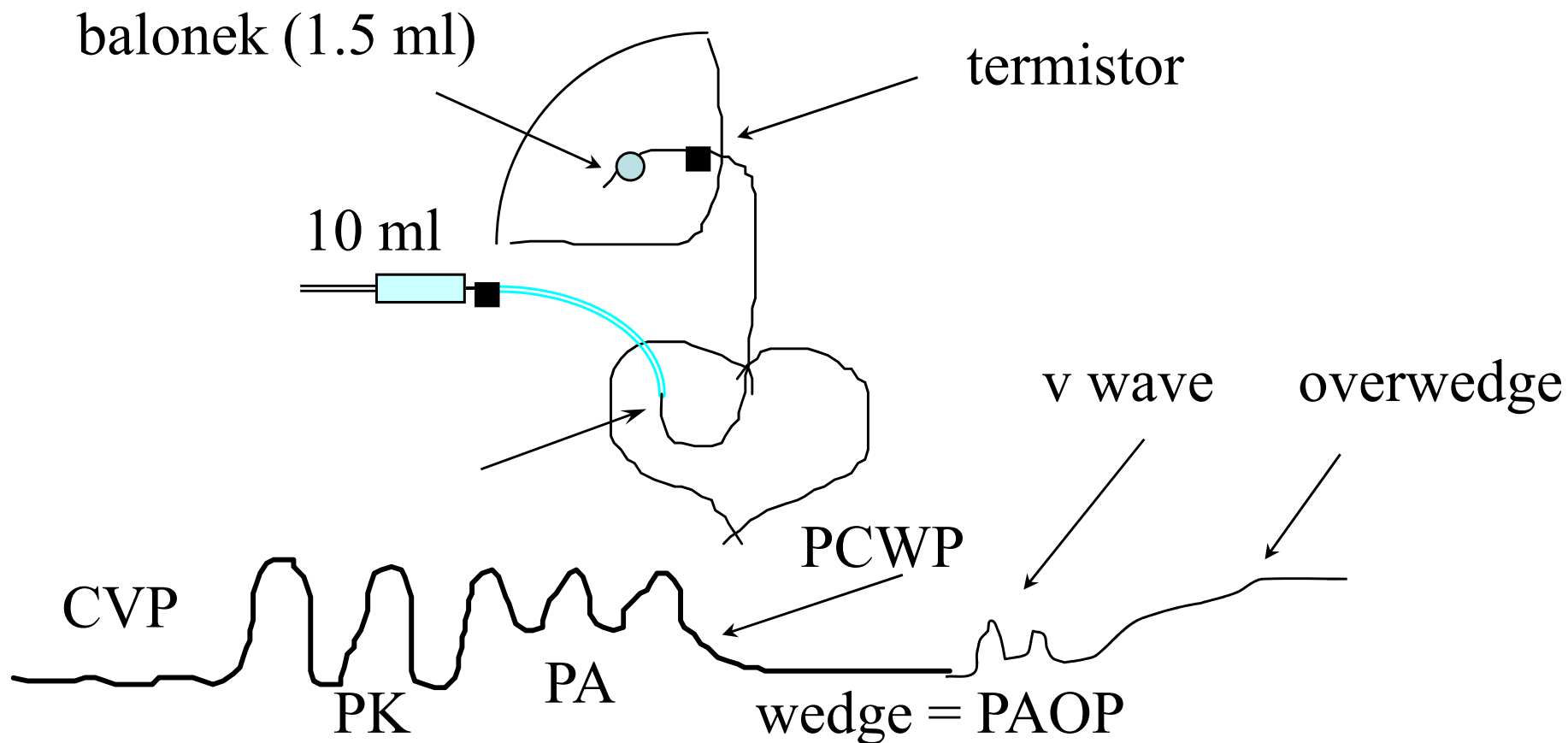
Catheter entrance



© ADAM, Inc.

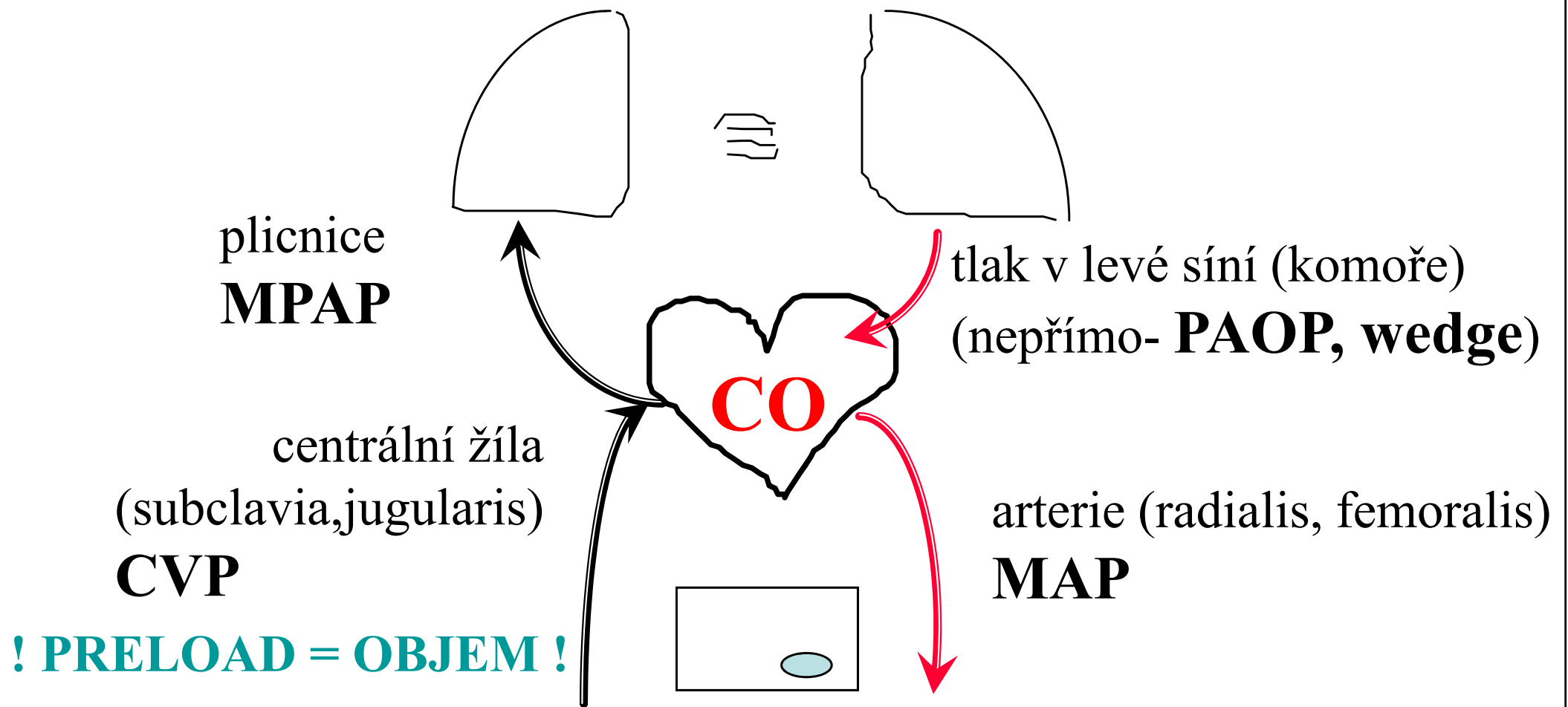


# Swan-Ganzův katetr měření tlaků i srdečního výdeje



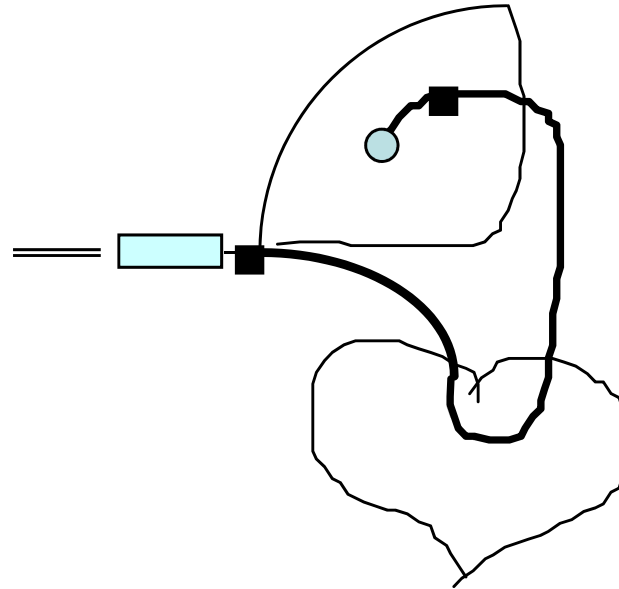
**měření srdečního výdeje - termodiluce**  
**SvO<sub>2</sub>, RVEDV, RVEF**

# měření tlaků a objemů ve 4 oddílech krevního oběhu + srdeční výdej



# PA katetr

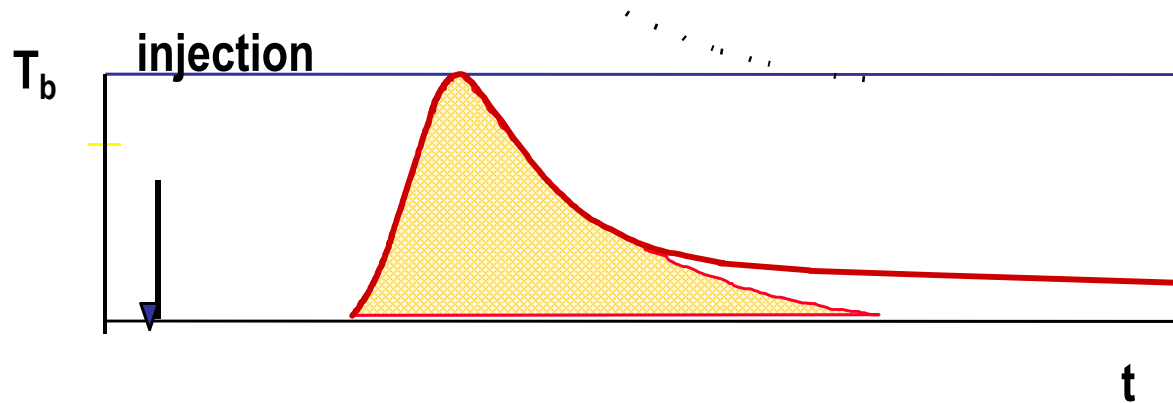
bolusy 10 ml  
pokojová teplota  
3-5 měření  
nezávisle na  
dechovém cyklu



■ termistor

**Termodiluční metoda měření srdečního výdeje**

# Stewart-Hamilton metoda



$$\text{CO}_{\text{TDa}} = \frac{(T_b - T_i) \cdot V_i \cdot K}{\int \Delta T_b \cdot dt}$$

$T_b$  = teplota krve

$T_i$  = teplota injektátu

$V_i$  = objem injektátu

$\int \Delta T_b \cdot dt$  = plocha pod termodiluční křivkou

$K$  = korekční konstanta



**srdeční výdej (cardiac output; CO)  
srdeční index (CI = CO/BSA)**

**CO = SV (tepový objem) x HR (srdeční frekvence)**

**Hodnoty CI: < 1.5 < 2.5 – 4.0 > l/min/m<sup>2</sup>**

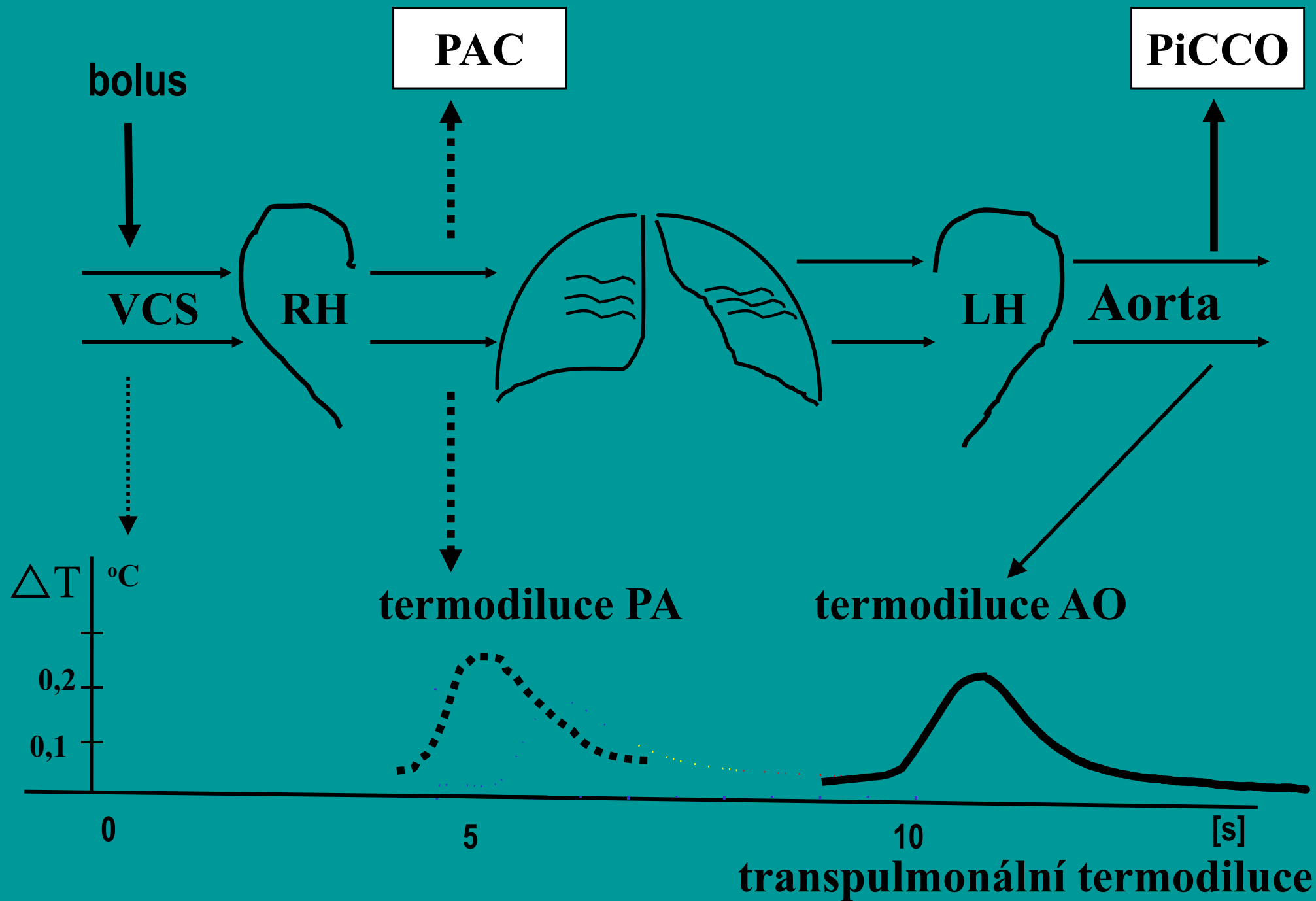
# srdeční výdej (cardiac output; CO)

- **Fickův princip**
- - termodiluce (PAC, PiCCO)
- - lithiová diluce (LidCO)
- **Analýza křivky arteriální křivky tlaku**
- - s kalibrací (PiCCO, LidCO)
- - bez kalibrace (Vigileo, PRAM)
- **Doppler**
- - výtokový trakt levé komory (ECHO)
- - descendentní aorta (transesofageální doppler)
- **Zpětné vdechování CO<sub>2</sub>** (NiCO)
- **Bioimpedance** (BoMed, BioZ, Physioflow)
- **Nepřímá kalorimetrie** (Deltatrac)

INVAZIVNÍ



NE-INVAZIVNÍ



# lithiová diluce LidCO

- **CO** výpočet z diluční křivky **Li** + puls contour analysis pro kont. měření (Fourierova analýza)
- výhody: méně invazivní – **periferní arterie**, kalibrační metoda
- nevýhody – obsluha, výměna elektrody, cena

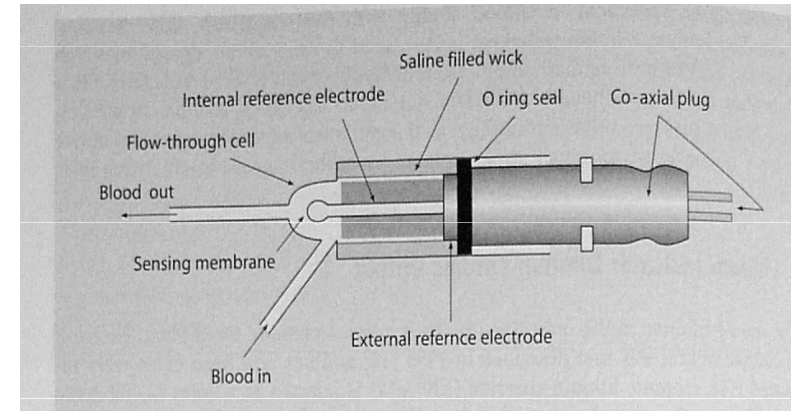
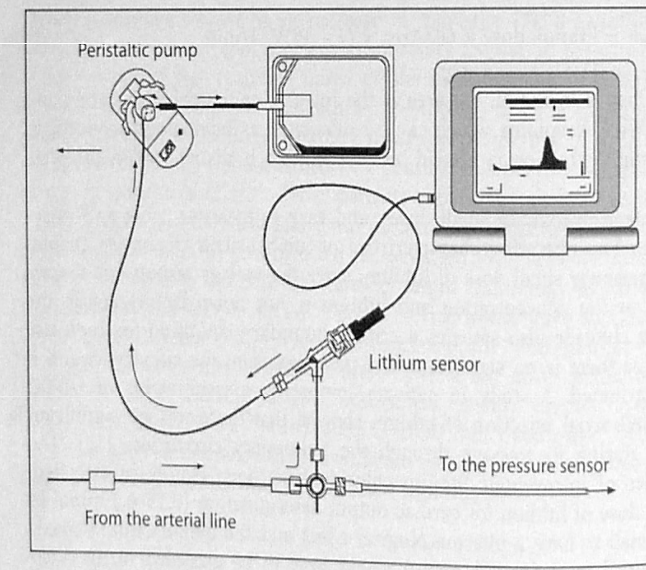


Fig. 1. The lithium selective electrode in the flow-through cell



# měření CO

INVAZIVNÍ

➤ **Diluce**

- - termodiluce (PAC, PiCCO)
- - lithiová diluce (LidCO)

➤ **Analýza křivky arteriální křivky tlaku**

- - s kalibrací (PiCCO, LidCO)
- - bez kalibrace (Vigileo, PRAM)

➤ **Doppler**

- - výtokový trakt levé komory (ECHO)
- - descendentní aorta (transesofageální doppler)

➤ **Zpětné vdechování CO<sub>2</sub>** (NiCO)

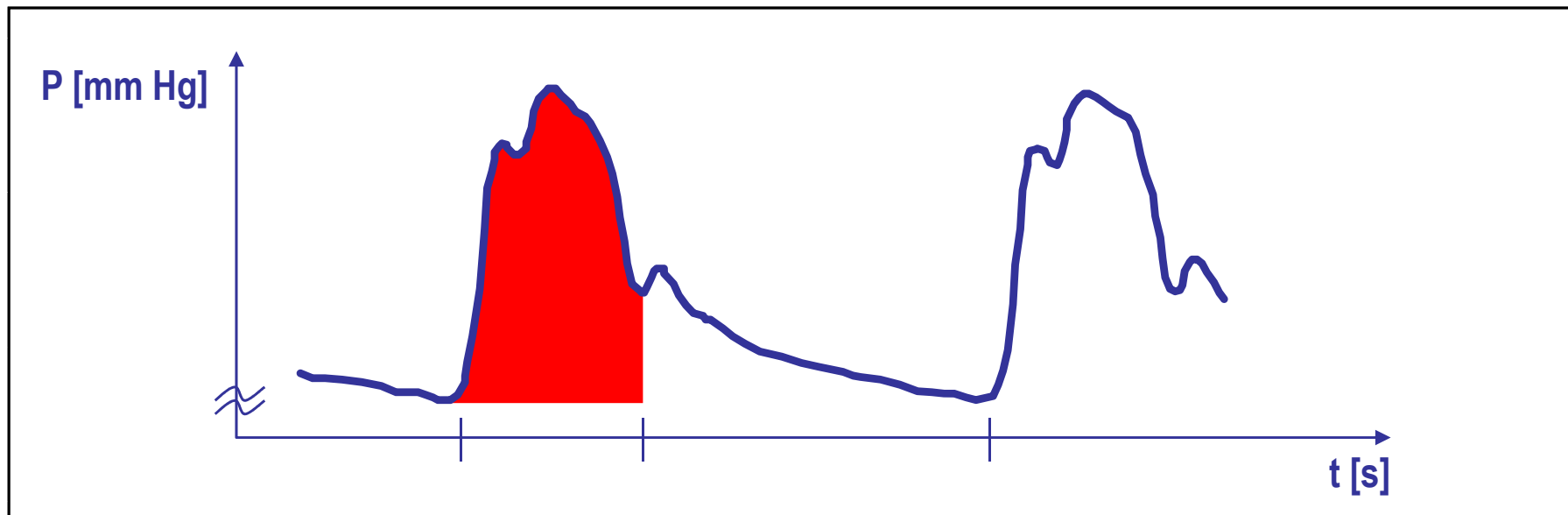
➤ **Bioimpedance** (BoMed, BioZ, Physioflow)

➤ **Nepřímá kalorimetrie** (Deltatrac)

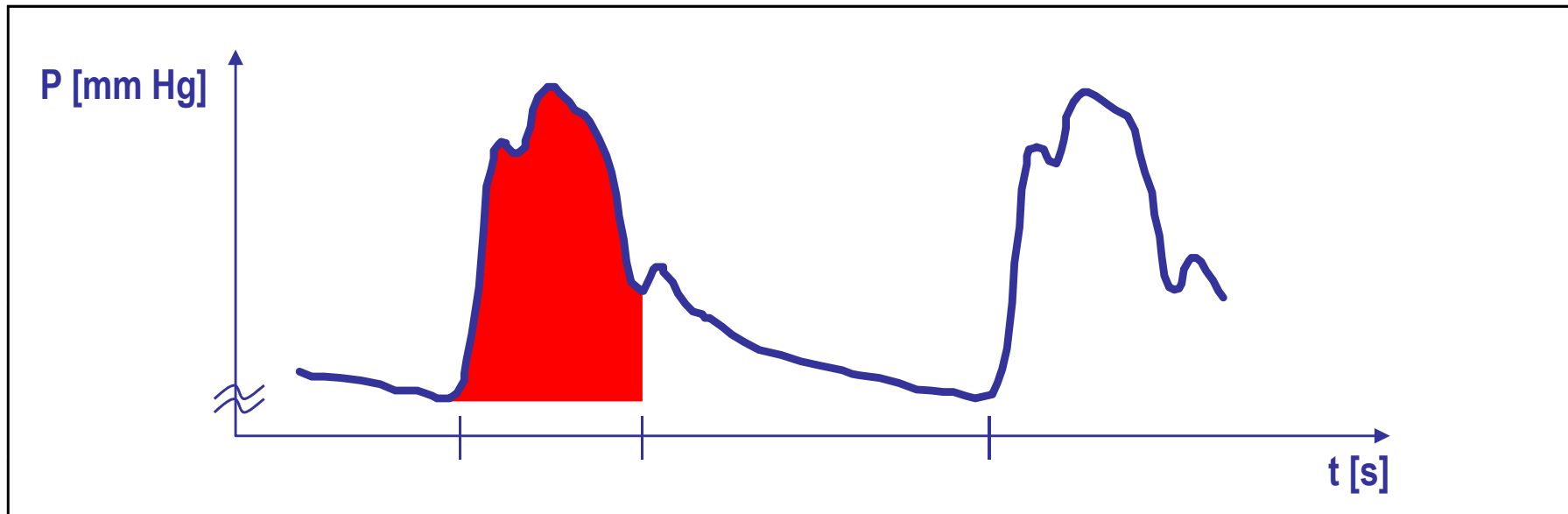
NE-INVAZIVNÍ



**pulsová křivka je závislá na tepovém objemu**



# Arterial Pulse Contour Analysis



$$\text{PCCO} = \text{cal} \cdot \text{HR} \cdot \int_{\text{Systole}} \left( \frac{P(t)}{\text{SVR}} + C(p) \cdot \frac{dP}{dt} \right) dt$$

⏟  
Patient-specific  
calibration factor  
(determined by  
thermodilution)

⏟  
Heart  
rate

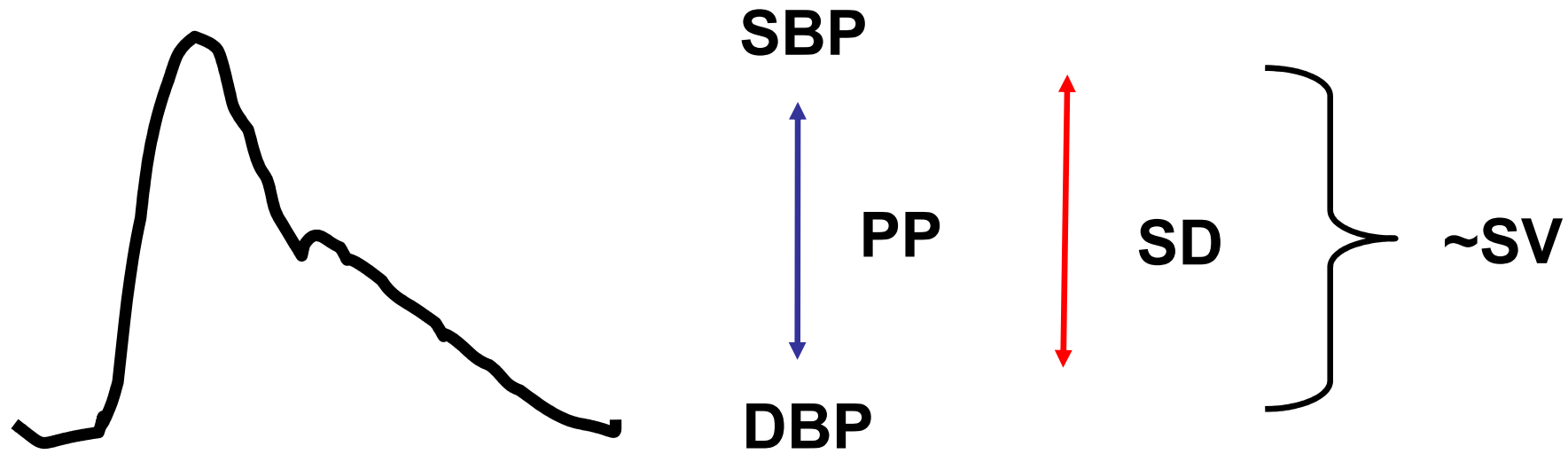
⏟  
Area under  
pressure  
curve

⏟  
Aortic  
compliance

⏟  
Shape of  
pressure  
curve

**PCCO je průměrem posledních 12 měření**

# Vigileo monitor, Flotrac



- $CO = f(\text{compliance}, \text{resistance}) \times d_p \times HR$
- $d_p$  = stand. odchylka několika pulsových tlaků
- compliance a resistance odvozena od tvaru arteriální křivky
  - windkesselova konstanta  $C_w$  ( věk, pohlaví, výška , váha)
- není nutná kalibrace
- Měření po 20 s



# přenos tlaku hadičkami

Optimal AP curve



Under-damped AP curve



Over-damped AP curve



# měření CO

INVAZIVNÍ

- ▶ **Diluce**
- ▶ - termodiluce (PAC, PiCCO)
- ▶ - lithiová diluce (LidCO)
- ▶ **Analýza křivky arteriální křivky tlaku**
- ▶ - s kalibrací (PiCCO, LidCO)
- ▶ - bez kalibrace (Vigileo, PRAM)
- ▶ **Doppler**
- ▶ - výtokový trakt levé komory nebo aortální chlopeč (ECHO)
- ▶ - descendentní aorta (transesofageální doppler)
- ▶ **Zpětné vdechování CO<sub>2</sub>** (NiCO)
- ▶ **Bioimpedance** (BoMed, BioZ, Physioflow)
- ▶ **Nepřímá kalorimetrie** (Deltatrac)

NE-INVAZIVNÍ

# ECHO srdce

## doppler+ 2D zobrazení

- **CO ve výtokovém traktu nebo AO chlopni**
  - $\pi * (D/2)^2 * VTI$  nebo  $AVA * VTI$
  - laminární proudění, sklon doppler signálu, plochý profil rychlostí, měření cross sectional area
  - *nutno průměrovat pro variace s respirací*
  - *vyžaduje zkušenosti,*
  - *není kontinuální*
  - *transthorakální nelze u všech*

# Ezofageální Doppler

## Předpoklady

hrudní aorta = 70% CO

cirkulární průřez aorty

minimální radiální komponenta

plochý profil rychlostí

## průměr aorty

měřený (Hemosonic™)

odhadovaný (CardioQ™)

## parametry preloadu:

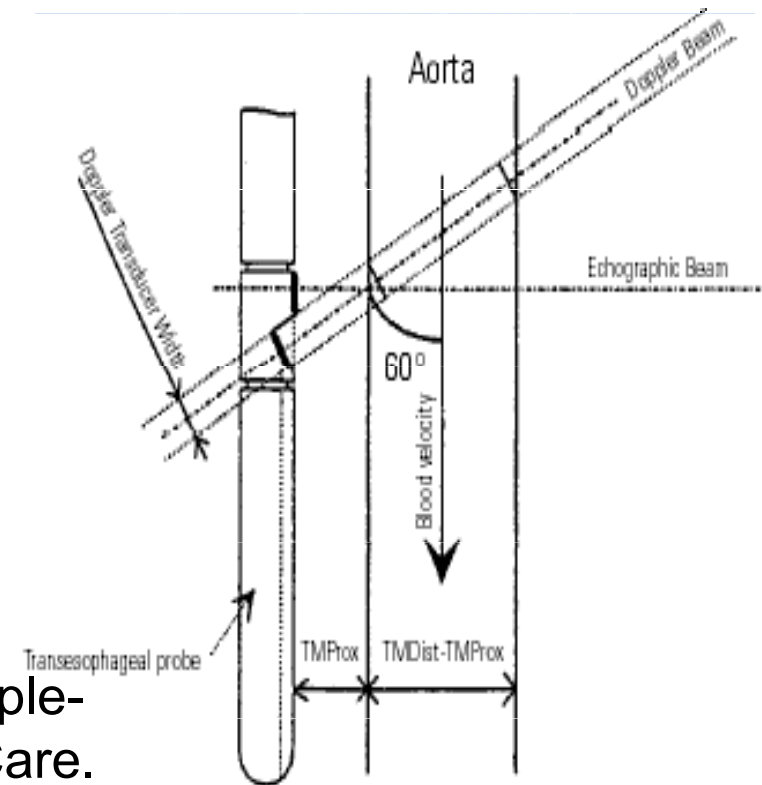
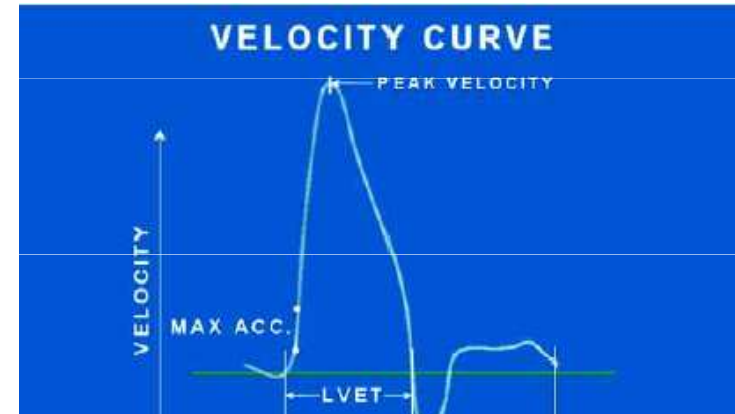
flow time, left ventricular ejection time

## Nevýhody

zavedení do jícnu- dyskomfort

změny pozice, hlavní použití – operační sál

Chytra I, et al. Esophageal Doppler-guided fluid management decreases blood lactate levels in multiple-trauma patients: a randomized controlled trial. Crit Care. 2007;11(1):R24.



# měření CO

INVAZIVNÍ

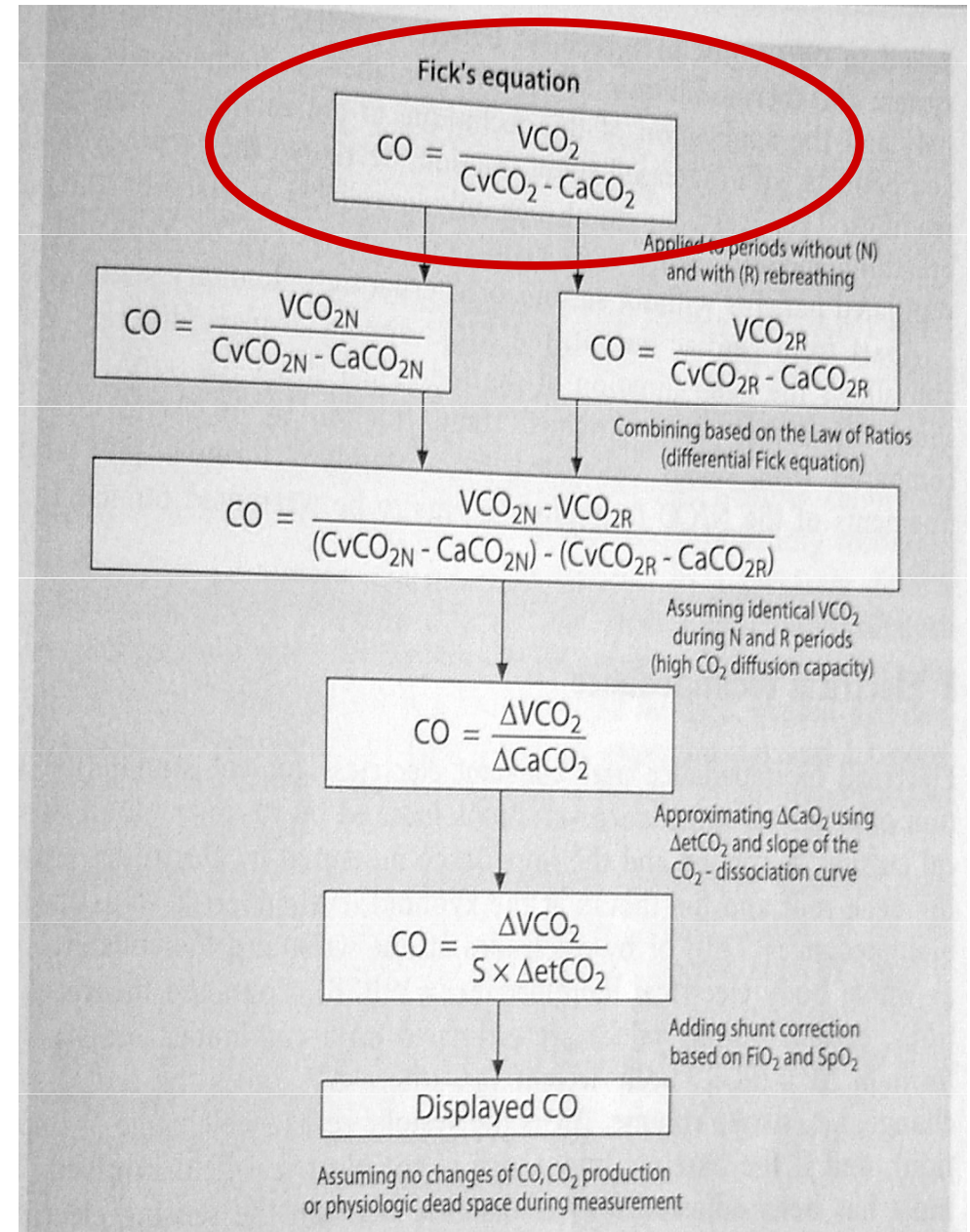
- **Diluce**
- - termodiluce (PAC, PiCCO)
- - lithiová diluce (LidCO)
- **Analýza křivky arteriální křivky tlaku**
- - s kalibrací (PiCCO, LidCO)
- - bez kalibrace (Vigileo, PRAM)
- **Doppler**
- - výtokový trakt levé komory (ECHO)
- - descendentní aorta (transesofageální doppler)
- **Zpětné vdechování CO<sub>2</sub>** (NiCO)
- **Bioimpedance** (BoMed, BioZ, Physioflow)
- **Nepřímá kalorimetrie** (Deltatrac)

NE-INVAZIVNÍ



# zpětné vdechování NICO

- měření  $VCO_2$  před a při zpětném vdechování-matematický upraveno
- 3 minuty měření
  - nevýhody: potenciálně ovlivněno ventilace/perfuze
  - předpoklad semilineární disociační křivky
  - nutná intubace



# biompedance hrudníku (BioZ, PhysioFlow)

- odpor hrudníku je závislý na
  - obsahu tekutin
  - na změně během objemu během dýchání
  - **na změně objemu během srdečního cyklu**
- neinvazivní : jen elektrody
- dobré korelace s referenční metodou
- nepřesně měří: hypervolemie, plicní edém, tachyarytmie, valvulární patologie
- problémy s kontaktem elektrod, metoda citlivá na pozici elektrod

# indirektní kalorimetrie

## měření VO<sub>2</sub>

### Fickův princip:

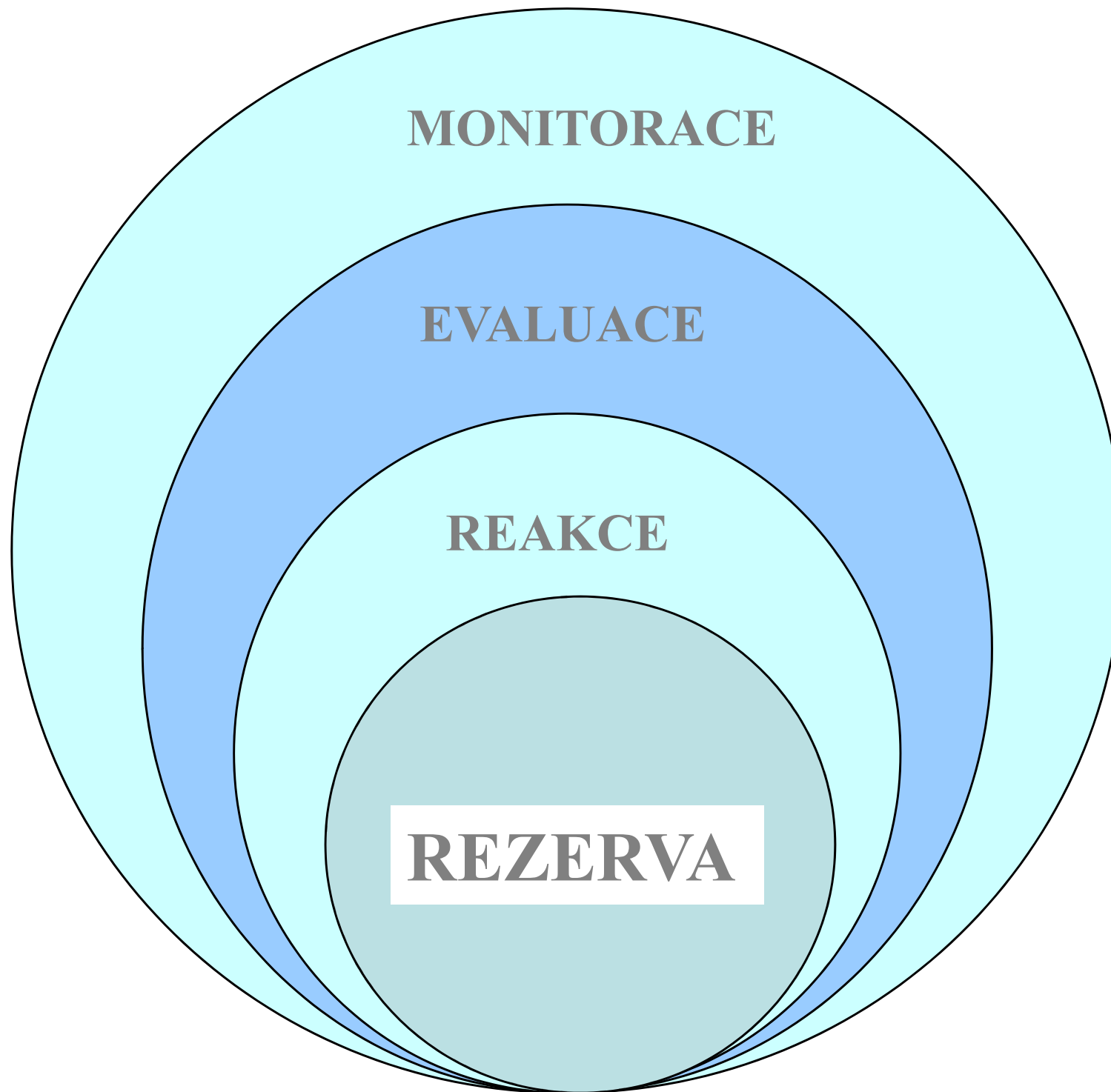
$$CO \times (CaO_2 - CvO_2) = VO_2$$

### Měření VO<sub>2</sub>:

Produkce --- Oběh (srdeční výdej) --- Ventilace (FiO<sub>2</sub> < 0.6)

**Monitory:** (Datex ☒ Datex/Ohmeda ☒ GE)  
Deltatrac (5%), bedside modul (10%)





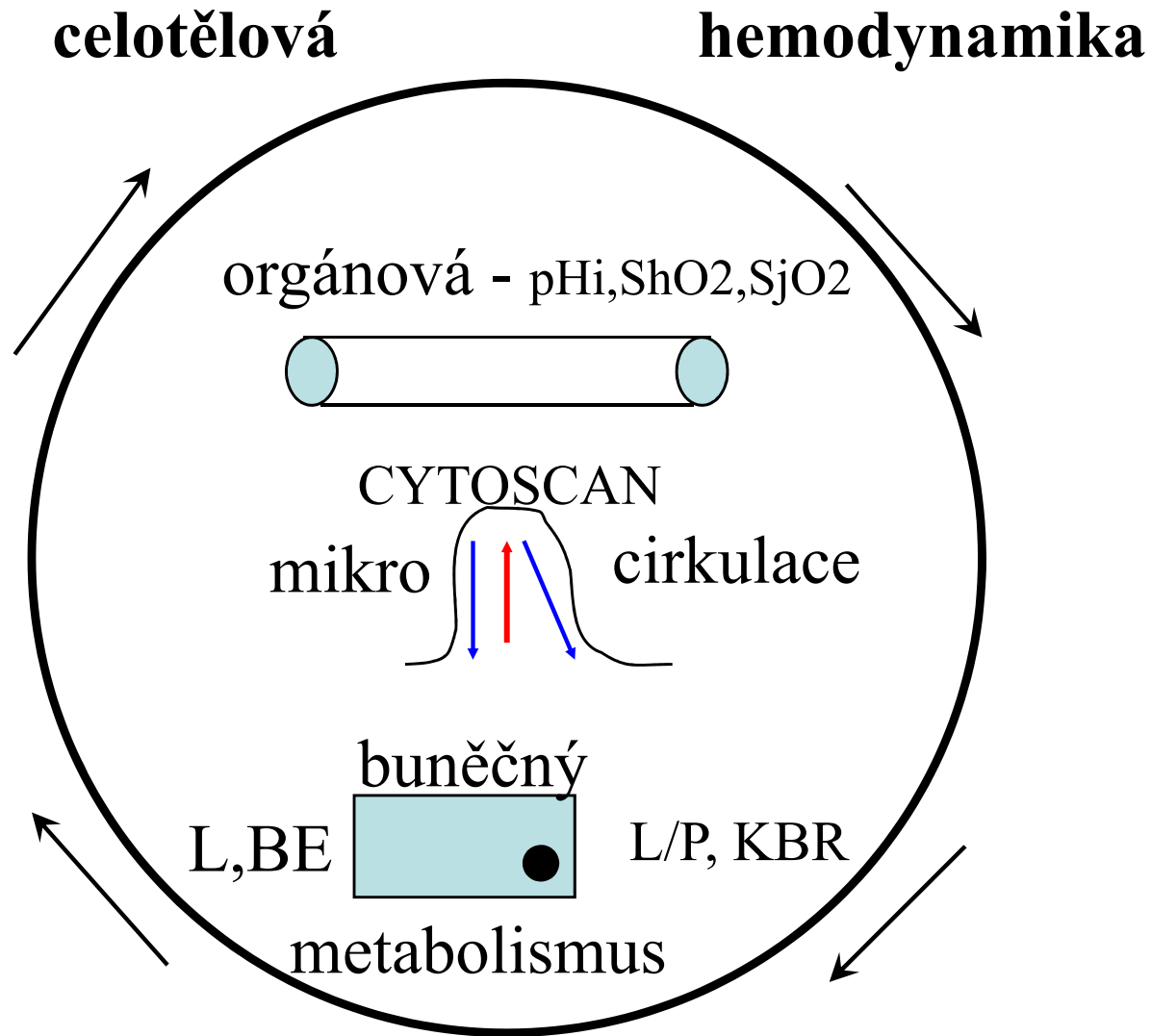
**MONITORACE**

**EVALUACE**

**REAKCE**

**REZERVA**

# Úrovně monitorace



# V současné době jsou v klinice alespoň potenciálně použitelné následující metody měření lokální perfuze/metabolizmu:

***přímé měření saturace hemoglobinu v lokálním cévním řečišti*** – např. ve vena hepatica

***lokální tonometrie*** – měření pCO<sub>2</sub> v oblasti zájmu (gastrická a sublinguální tonometrie)

***venózní okluzní plethysmografie*** – měření lokálního průtoku a kapilární permeability - např. svaly dolní končetiny

***laser doppler flowmetrie (+ remisní spektrofotometrie)*** – měření prokrvení (a saturace hemoglobinu) v malém vzorku tkáně (např. žaludeční sliznice)

***měření tkáňového pO<sub>2</sub> a CO<sub>2</sub> (Clarkovy elektrody nebo tzv. optody)*** – např. ve stěně břišní, intraperitoneálně atd.

***přímé zobrazení mikrocirkulace studeným světlem***, tzv. ortogonální polarizační spektroskopie (OPS či nová varianta tzv. „dark side imaging, DSI) – např. v ileostomatu nebo sublinguálně

***mikrodialýza*** – měření lokálních metabolitů (laktát, pyruvát...) – např. intraperitoneálně

***near infrared spectroscopy (NIRS)*** – neinvazivní měření saturace hemoglobinu v malém vzorku tkáně a dále redoxního stavu cytochromu aa<sub>3</sub> v mitochondriích – např. mozková tkáň, svaly

# OPS (DSF)

## Ortogonalní polarizační spektrometrie (CYTOSCAN)

- zobrazení mikrocirkulace (RBC)
- použito na slizniční povrchy (**pod jazykem**, spojivka)  
**ileostoma**

reference:

Ince P, DeBacker D

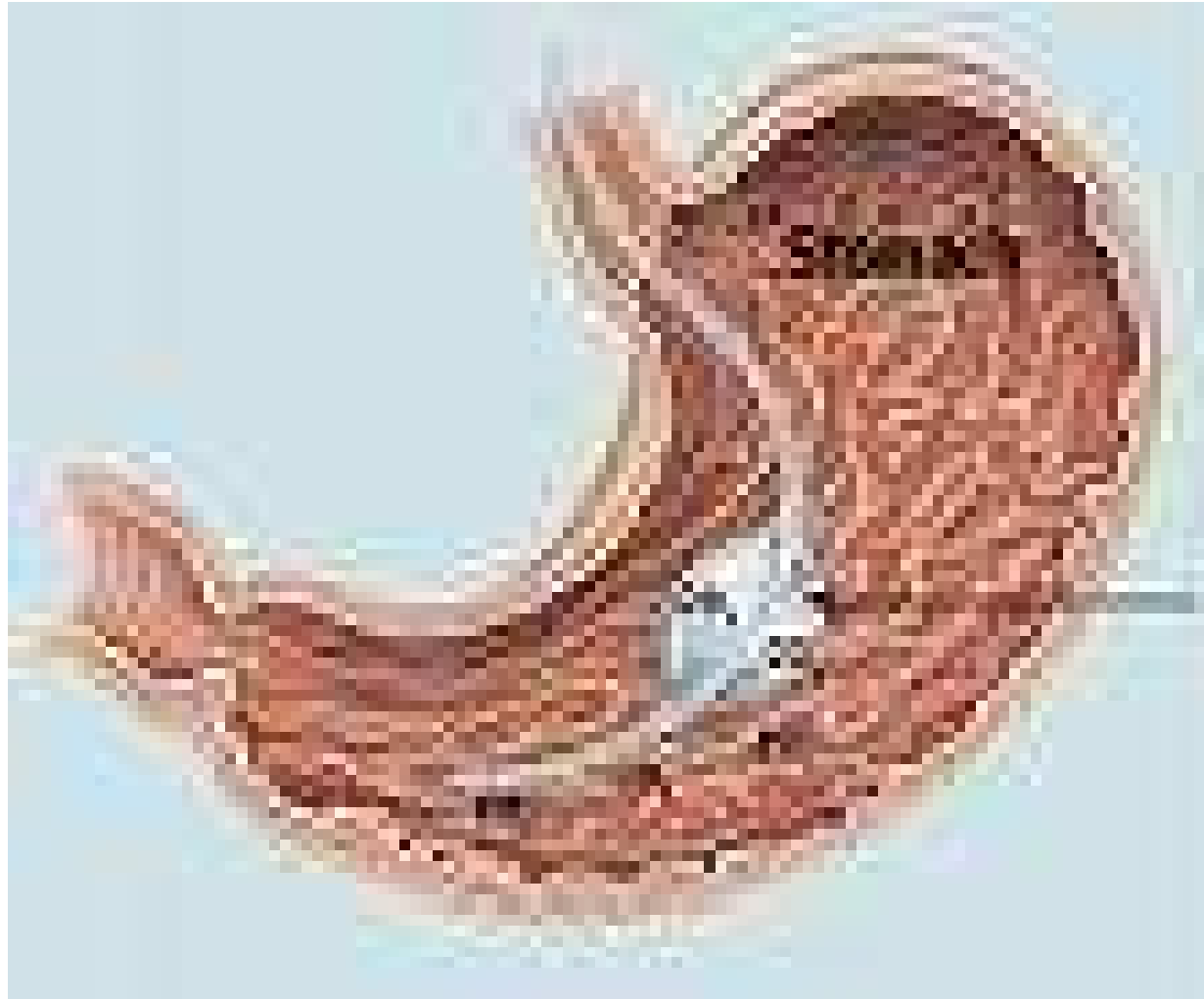
MicroScan™



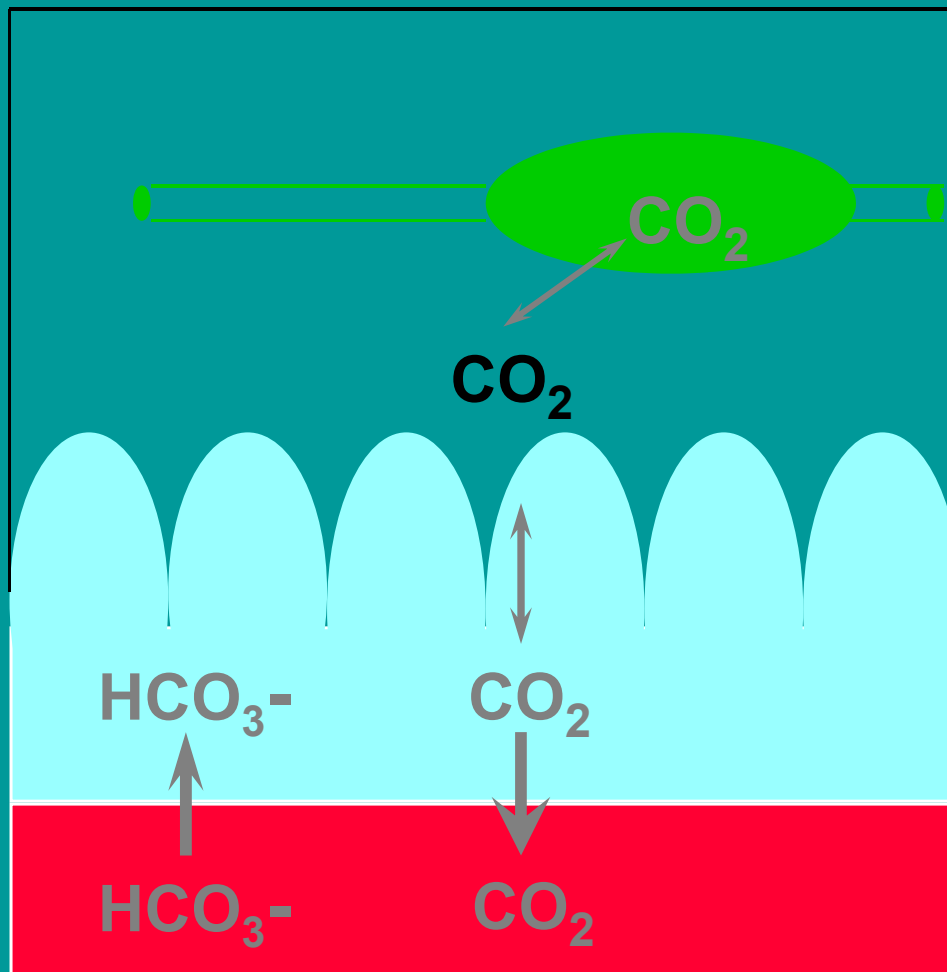
MicroVisionMedical  
a view to cure



# gastrická tonometrie



# gastrická tonometrie



**tonometric tube**

**gastric lumen**

**gastric mucosa**

**capillary**



# metabolické parametry

## celotělová < lokální úroveň

Poeze M, Solberg BC, Greve JW, Ramsay G. Monitoring global volume-related hemodynamic or regional variables after initial resuscitation: What is a better predictor of outcome in critically ill septic patients? Crit Care Med. 2005 Nov;33(11):2494-500.

- SvO<sub>2</sub> (SaO<sub>2</sub>)
- Laktát
- pCO<sub>2</sub>
- BE

# S(c)vO<sub>2</sub>

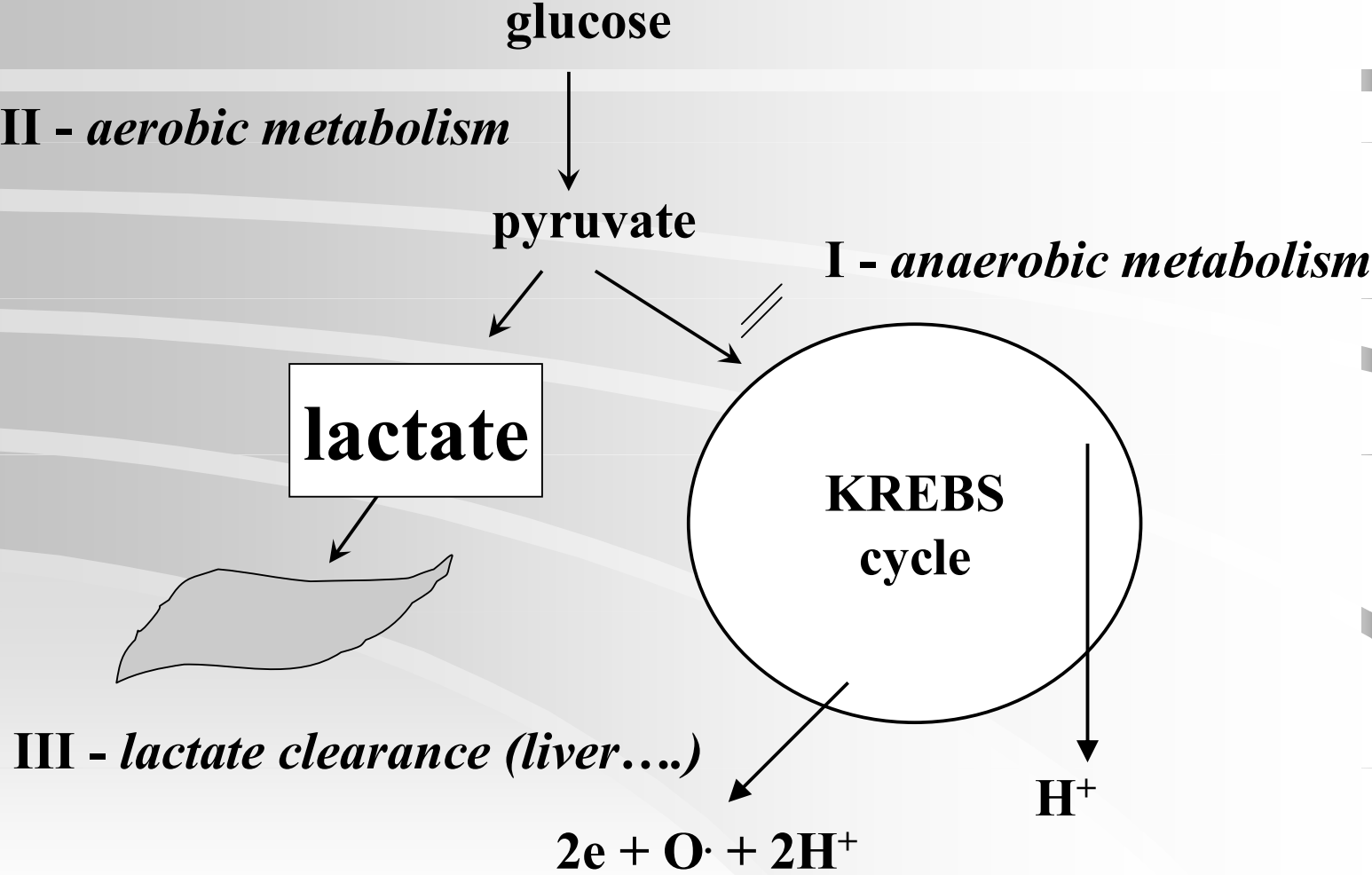
## SvO<sub>2</sub>:

- $< 50\%$  -----  $> 70-75\%$
- Rady MY, et al. Continuous central venous oximetry and shock index in the emergency department: use in the evaluation of clinical shock. Am J Emerg Med. 1992 Nov;10(6):538-41.

## ShO<sub>2</sub>:

- $ShO_2/SvO_2 < 0.9$
- De Backer D, Vincent JL (1999) Why, when, and how to insert a hepatic vein catheter in critically ill patients. Crit Care Med 27:1680-1

# BLOOD LACTATE LEVEL



# **laktát**

## **Hyperlaktatémie má u kriticky nemocných více příčin:**

- Levrant J, et al. Mild hyperlactatemia in stable septic shock patients is due to impaired lactate clearance rather than overproduction. Am J Respir Crit Care 1998; 157: 1021-6.

## **Vysoký laktát je spojen s vyšší mortalitou:**

- Trzeciak S, et al. Serum lactate as a predictor of mortality in patients with infection. Intensive Care Med. 2007 Jun;33(6):970-7. Epub 2007 Mar 13. [Links](#)

## **Rychlý pokles zvýšeného laktátu je spojen s příznivou prognózou:**

- Nguyen HB, et al. Early lactate clearance is associated with improved outcome in severe sepsis and septic shock. Crit Care Med. 2004 Aug;32(8):1637-42.

# pCO<sub>2</sub>

## Delta pCO<sub>2</sub> (p<sub>v</sub>CO<sub>2</sub> – p<sub>a</sub>CO<sub>2</sub>)

- dpCO<sub>2</sub> > 0.8 kPa – patologie
- 3rd European Consensus Conference in Intensive Care Medicine, Paris 1995

## Lokální pCO<sub>2</sub> (p<sub>x</sub>CO<sub>2</sub> – p<sub>a</sub>CO<sub>2</sub>)

- etCO<sub>2</sub>, gastrická tonometrie, sublinguální kapnometrie
- Gattas D, Ayer R, Suntharalingam G, Chapman M. Carbon dioxide monitoring and evidence-based practice - now you see it, now you don't. Crit Care. 2004 Aug;8(4):219-21. Epub 2004 Jul 8. [Links](#)
- Creteur J. Gastric and sublingual capnometry. Curr Opin Crit Care. 2006 Jun;12(3):272-7. [Links](#)

**evaluace  
hemodynamiky**

SvO<sub>2</sub>

CI (SVi x HR)

preload

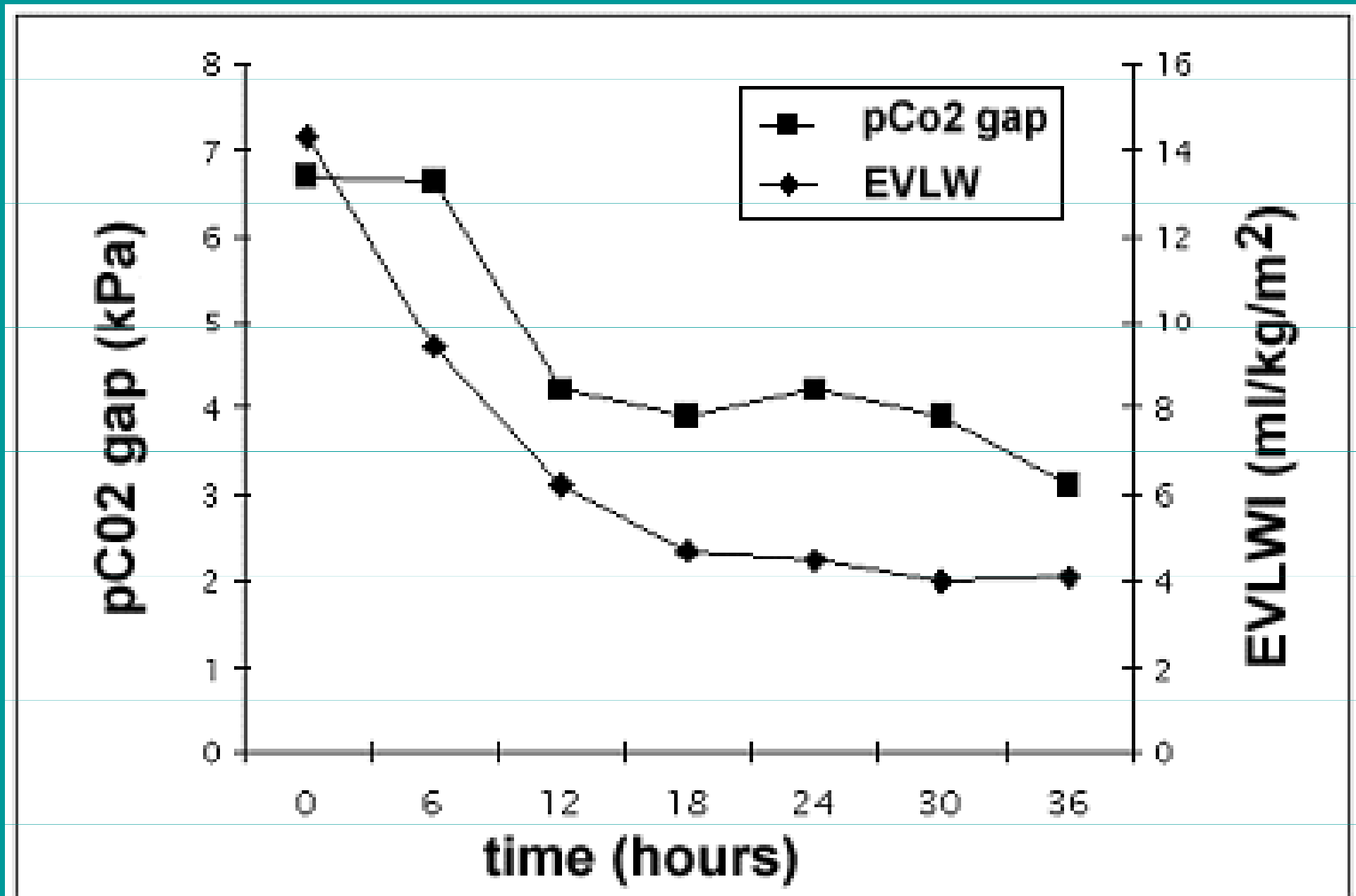
laktát

MAP

BE

periferní prokrvení

# Suchý x Mokrý režim



# definice nestability hemodynamiky protokol FN USA

## Výstavbový princip monitorace a resuscitace hemodynamiky na JIP:

- (všichni nemocní mají A + CŽK).

**Definice nestability = splnění jednoho z velkých kritérií neb o dvou malých kritérií:**

### Velká kritéria:

- 1) ScvO<sub>2</sub> < 60%
- 2) BE < - 5 mmol/l (pokud není ve stejné výši přítomna chronicky)
- 3) laktát > 4 mmol/l
- 4) známky hypoperfuze kůže na více místech těla
- 5) MAP < 60 mmHg

### Malá kritéria:

- 1) ScvO<sub>2</sub> < 70%
- 2) BE < - 2.5 mmol/l (pokud není ve stejné výši přítomna chronicky)
- 3) laktát > 2 mmol/l
- 4) diference T<sub>c</sub>-T<sub>p</sub> > 5 st C (?) (při přítomnosti pulsů na ATP nebo ADP)



# monitorace

## protokol FN USA

**TTE – hodnocení: stažlivost LKS (dobrá x špatná), další patologie**

**Pokud dobrá stažlivost LKS:**

- bolus tekutin (2 litry krystaloidu nebo 1 litr koloidu během 60 minut).
- a) dojde k normalizaci hodnot (nebo jasný pozitivní trend alespoň o 50%) – nerozšiřuji monitoraci a opakuji bolus tekutiny v poloviční dávce na 60 minut – došlo k normalizaci či dalšímu trendu zlepšení - ? **ANO – nerozšiřuji monitoraci**
- b) nedojde – **NE - zavedu některou z metodik, které měří CO**

**Orientačně:**

- myslím na hypovolémii – TE Doppler (sedovaný nemocný) nebo LiDCO
- myslím na levostranné selhávání – PAC
- myslím na plicní příčinu – PiCCO (nebo PAC s kont SvO<sub>2</sub>)

# monitorace

## protokol FN USA

### **Pokud špatná stažlivost LKS (nebo nemohu určit z TTE):**

- bolus tekutin (1 litru krystaloidu nebo 0.5 litru koloidu během 60 minut) a ev. dobutamin do dávky 5 mcg/kg/min dle zvažení.
- a) dojde k normalizaci hodnot (nebo jasný + trend alespoň o 50%?) – nerozšiřuji monitoraci a opakuji bolus tekutiny v poloviční dávce – došlo k normalizaci či dalšímu trendu zlepšení - ? **ANO – nerozšiřuji monitoraci**
- b) nedojde – **NE - zavedu některou z metodik, které měří CO**

### **Orientačně:**

- myslím na levostranné selhávání – PAC
- myslím na plicní příčinu – PiCCO (nebo PAC s kont SvO2)

# závěr

Stabilizace celkové hemodynamiky (a výměny plynů) je nutným - ne však jediným - předpokladem ke stabilizaci

- **mikrocirkulace**
- **funkce orgánů/tkání/buněk**
- **prevenci/léčbě MODS**