



# Měření srdečního výdeje

---

BAM31LET Lékařská technika

Jan Havlík | Katedra teorie obvodů | [xhavlikj@fel.cvut.cz](mailto:xhavlikj@fel.cvut.cz)

# Srdeční výdej

---

- srdeční výdej je *objemový průtok krve*, kterým srdce zásobuje krevní oběh jinak také *minutový výdej*, *CO – cardiac output*, *MV – minute volume*)
- u dospělého člověka asi  $5,5 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$
- srdeční výdej koreluje s koncentrací kyslíku v buňkách, která je zajímavým, ale těžko měřitelným údajem

# Diluční metody

---

- podstatou je diluce = rozředění indikátoru přidaného do krevního oběhu
- indikátor musí tělo dobře snášet, případně odbourávat, nesmí být toxický
- indikátorem může být barvivo, teplo, radioisotop, kyslík

# Princip diluce

---

- koncentrace indikátoru v roztoku

$$C = \frac{m_0}{V} \quad \Delta C = \frac{dm/dt}{dV/dt}$$

- pokud dochází ke změně objemu zkoumané látky, pak pro udržení zvolené koncentrace je potřeba trvale přidávat indikátor
- pokud nezajistíme přidávání indikátoru, jeho koncentrace bude spojitě klesat

# Fickova metoda

---

- jako indikátor využívá kyslík, který tělo získává z vdechovaného vzduchu
- srdeční výdej je možné vypočítat z rozdílu nasycení kyslíkem smíšené žilní krve a arteriální krve při znalosti množství kyslíku přijatého organismem (Adolf Fick, 1870)
- je přirozeně netoxická (jako indikátor používá kyslík)
- vyžaduje katetrizaci srdce (pro určení množství kyslíku ve smíšené žilní krvi)
- měří průměrný srdeční výdej

# Fickova metoda

---

$$CO = \frac{V_{O_2}}{CaO_2 - CvO_2}$$

- kde
  - $CO$  [ $l \cdot \text{min}^{-1}$ ] je minutový srdeční výdej
  - $V_{O_2}$  [ $l \cdot \text{min}^{-1}$ ] je objem přijatého kyslíku (0,25  $l \cdot \text{min}^{-1}$ )
  - $CaO_2$  [-] je koncentrace  $O_2$  v arteriální krvi (20 obj. %)
  - $CvO_2$  [-] je koncentrace  $O_2$  ve smíšené žilní krvi (15 obj. %)

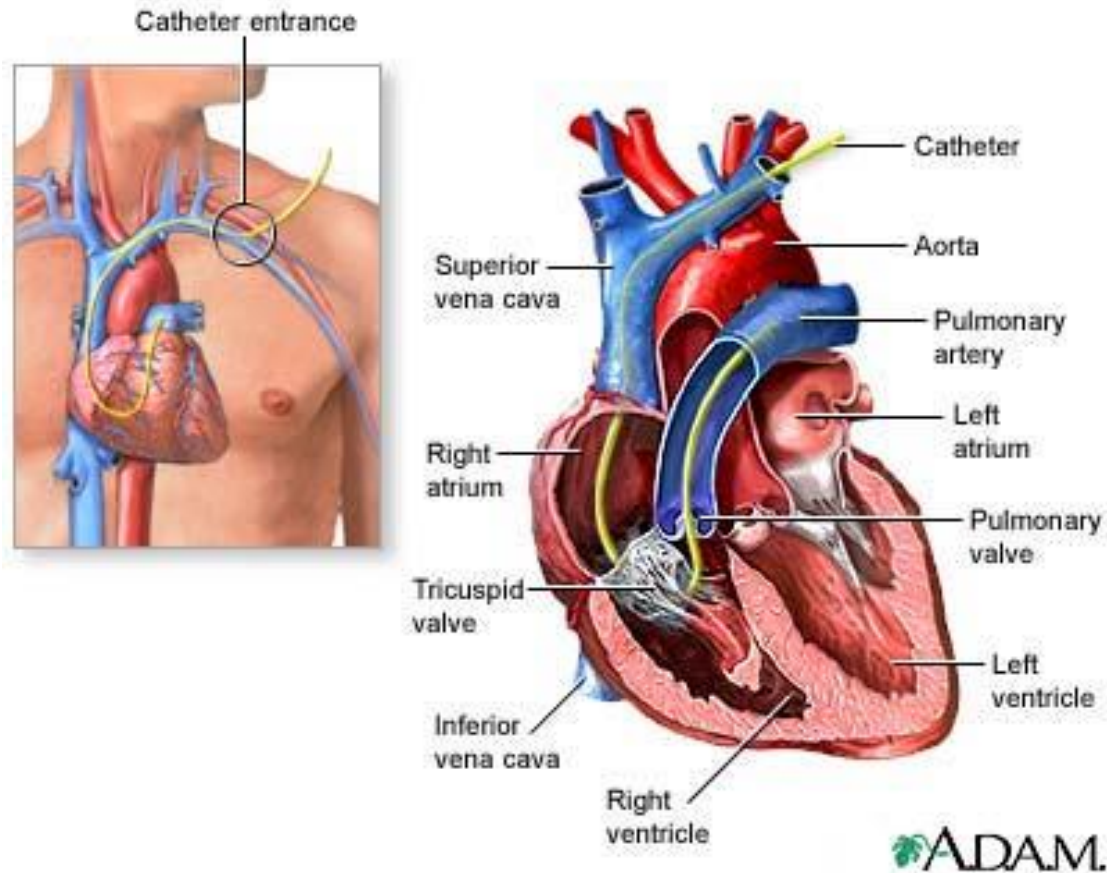
# Termodiluční metoda

---

- jako indikátor používá teplo, obvykle 5 % roztok glukózy ve vodě ochlazený na asi 4 °C
- indikátor smícháme v pravé síni a komoře s krví, v plicnici pak měříme teplotu směsi

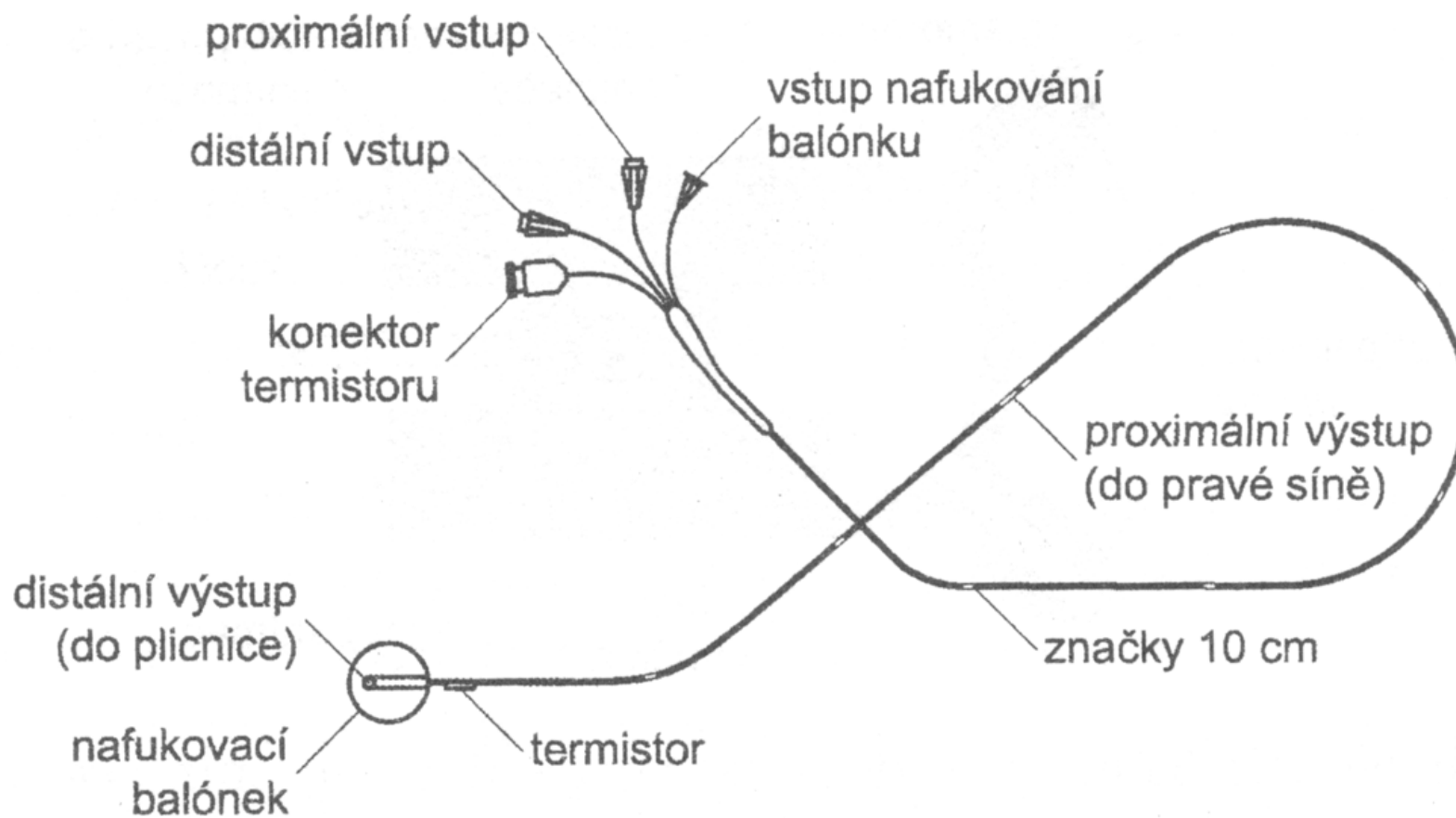
# Termodiluční metoda

- měření provádíme Swanovým – Ganzovým katétre

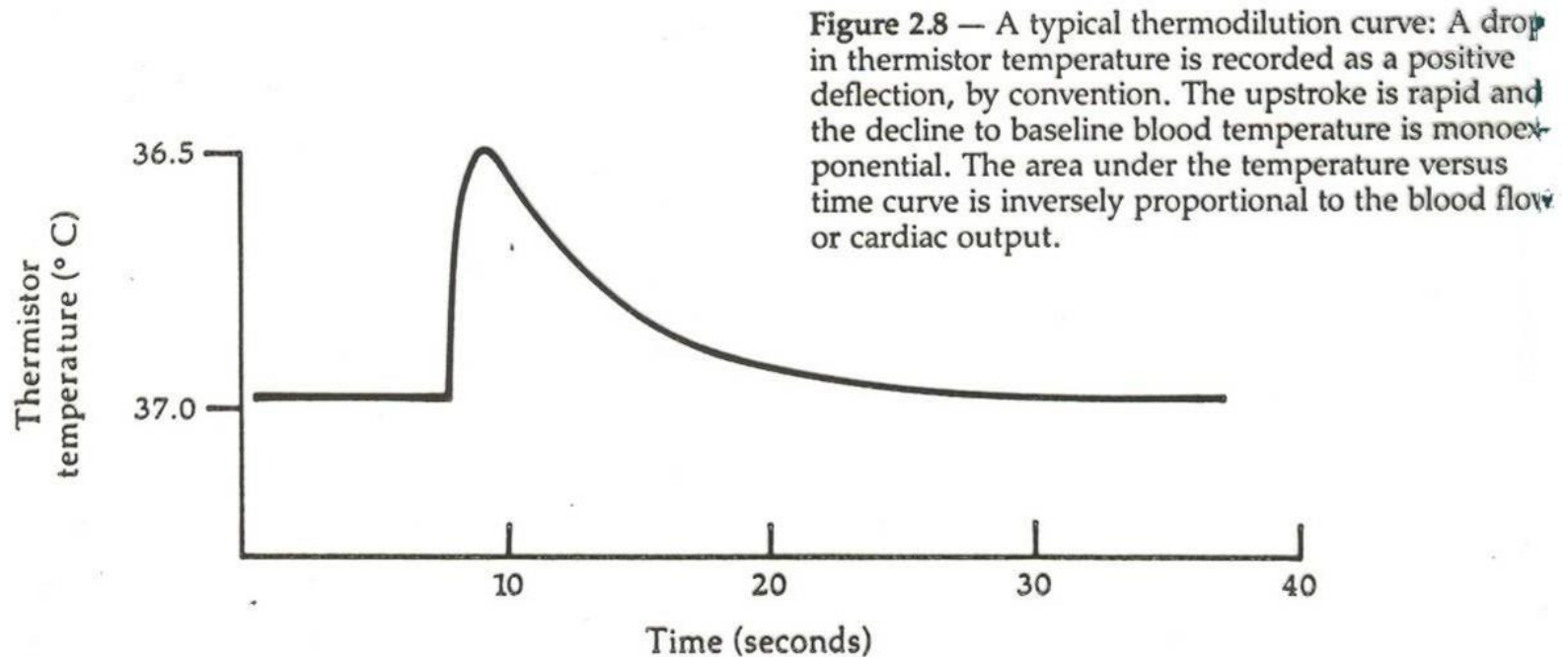




# Termodiluční metoda



# Termodiluční metoda



# Termodiluční metoda

$$CO = 60 \cdot k \cdot \frac{\rho_i c_i}{\rho_b c_b} \cdot \frac{V_i (\vartheta_b - \vartheta_i)}{\int_0^{t_m} (\vartheta_b - \vartheta(t)) dt}$$

- kde

- $CO$  [ $l \cdot \text{min}^{-1}$ ] je minutový srdeční výdej
- $V_i$  [ $l$ ] je objem vstříknutého indikátoru
- $\vartheta$  [ $^{\circ}\text{C}$ ] je teplota v místě měření
- $\vartheta_b, \vartheta_i$  [ $^{\circ}\text{C}$ ] je teplota krve a indikátoru
- $t_m$  [ $s$ ] je celkový čas měření
- $\rho_b, \rho_i$  [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ] je hustota krve a indikátoru
- $c_b, c_i$  [ $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ] je měrná tepelná kapacita krve a indikátoru
- $k$  [-] je korekční faktor katétru

# Termodiluční metoda

---

- měrná tepelná kapacita krve je závislá na hematokritu
- při hematokritu  $PCV = 40\%$  a  $5\%$  roztoku glukózy lze dosadit

$$\frac{\rho_i C_i}{\rho_b C_b} = 1,08$$

- korekční faktor bývá v rozsahu  $k = 0,5 - 0,9$  podle druhu materiálu, tloušťky stěn a vnitřního průměru katétru

# Termodiluční metoda

---

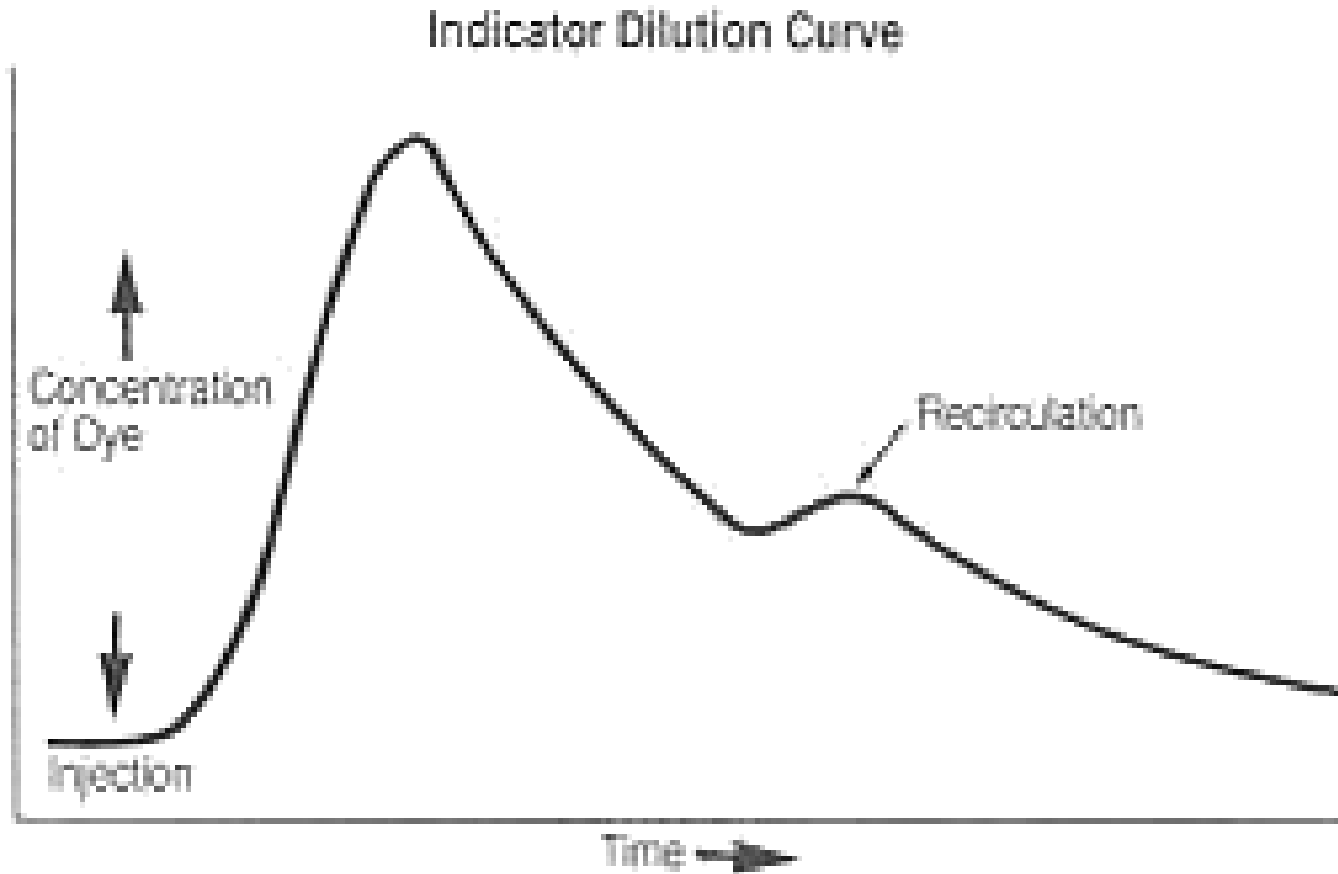
- používáme obvykle  $V_i = 10$  ml indikátoru
- měření provádíme 3 až 6 krát a naměřené hodnoty průměrujeme
- použití Swanova – Ganzova katétru umožňuje měření dalších parametrů (invazivní měření krevního tlaku, nasycení smíšené žilní krve kyslíkem atd.)
- poskytuje dostatečně přesné hodnoty

# Metoda barvivové diluce

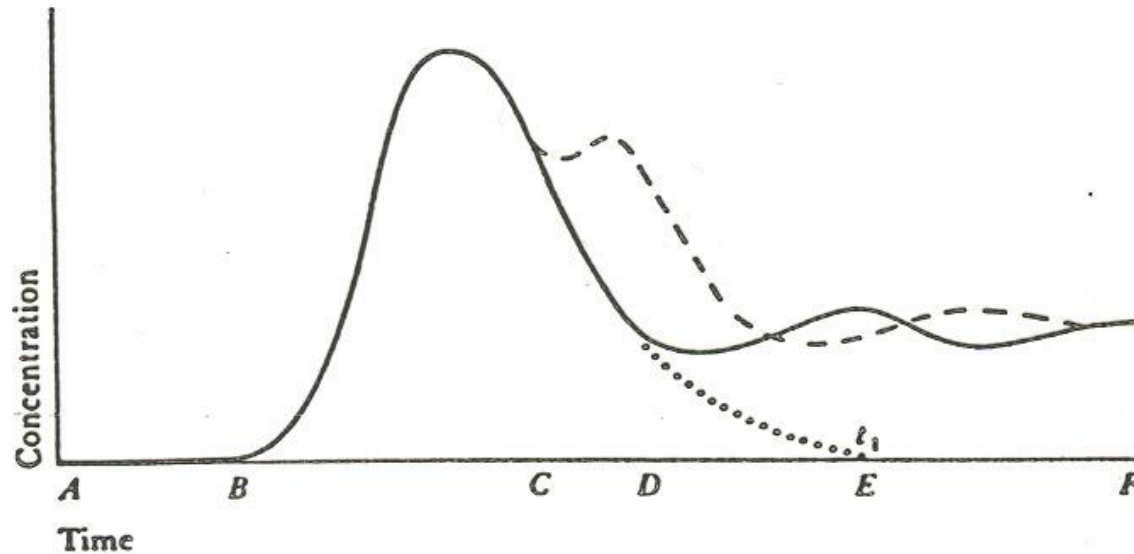
---

- poprvé popsána Stewartem (1890), později upravena Hamiltonem
- jako indikátor se používá barvivo, nejčastěji indocyaninová zeleň (kardiozeleň) rozředěná roztokem NaCl; látka je pro organismus neškodná, po čase je odbourána ledvinami
- pulmonálním katétrem je do plicnice vstříknuto několik gramů barviva, z brachiální nebo femorální tepny odebíráme krev do kyvety absorpčního fotometru

# Metoda barvivové diluce



# Metoda barvivové diluce



**Figure 8.2** Rapid-injection indicator-dilution curve. After the bolus is injected at time *A*, there is a transportation delay before the concentration begins rising at time *B*. After the peak is passed, the curve enters an exponential decay region between *C* and *D*, which would continue decaying along the dotted curve to  $t_1$  if there were no recirculation. However, recirculation causes a second peak at *E* before the indicator becomes thoroughly mixed in the blood at *F*. The dashed curve indicates the rapid recirculation that occurs when there is a hole between the left and right sides of the heart.



# Metoda barvivové diluce

---

$$CO = 60 \cdot \frac{V_i}{\int_0^{t_m} c_i(t) dt}$$

- kde
  - $CO$  [ $l \cdot \text{min}^{-1}$ ] je minutový srdeční výdej
  - $c_i$  [-] je koncentrace barviva v krvi
  - $V_i$  [l] je celkový objem vstříknutého barviva
  - $t_m$  [s] je celkový čas měření

# Metoda barvivové diluce

---

- metoda umožňuje snadno rozpoznat mezikomorový zkrat
- je velmi přesná, používá se jako referenční
- nelze opakovat v krátkých časových intervalech, dochází k hromadění barviva
- vyžaduje poměrně složitou kalibraci absorpčního spektrometru

# Literatura

---

1. Penhaker, M. a kol.: Lékařské diagnostické přístroje –  
– učební texty. VŠB TU Ostrava, Ostrava, 2004.
2. Webster, John G.: Medical Instrumentation –  
Application and Design. John Wiley & Sons., 1998.