

Měření srdečního výdeje

X31LET Lékařská technika

Jan Havlík | Katedra teorie obvodů | 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

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

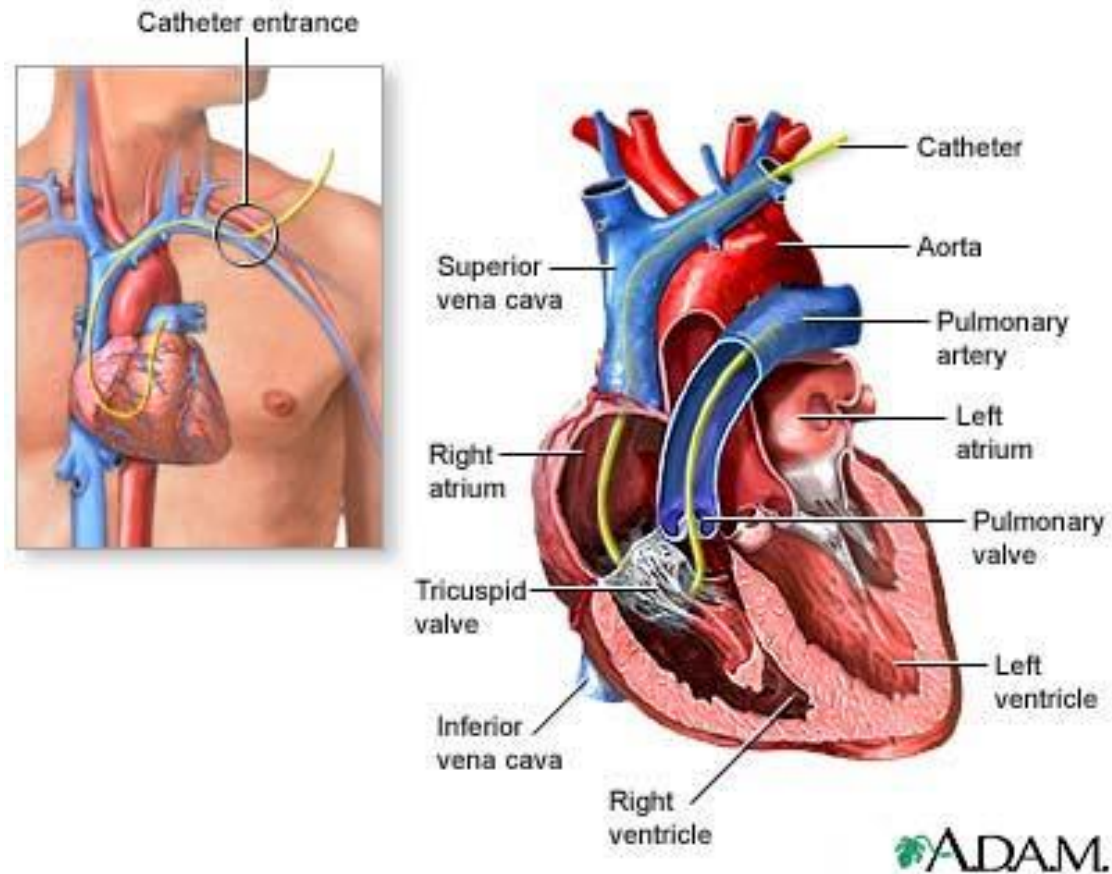
- kde
 - CO [$l \cdot \text{min}^{-1}$] je minutový srdeční výdej
 - V_{O_2} [$l \cdot \text{min}^{-1}$] je objem přijatého kyslíku ($0,25 l \cdot \text{min}^{-1}$)
 - CaO_2 [-] je koncentrace O_2 v arteriální krvi (20 obj. %)
 - CvO_2 [-] je koncentrace O_2 ve smíšené žilní krvi (15 obj. %)

Termodiluční metoda

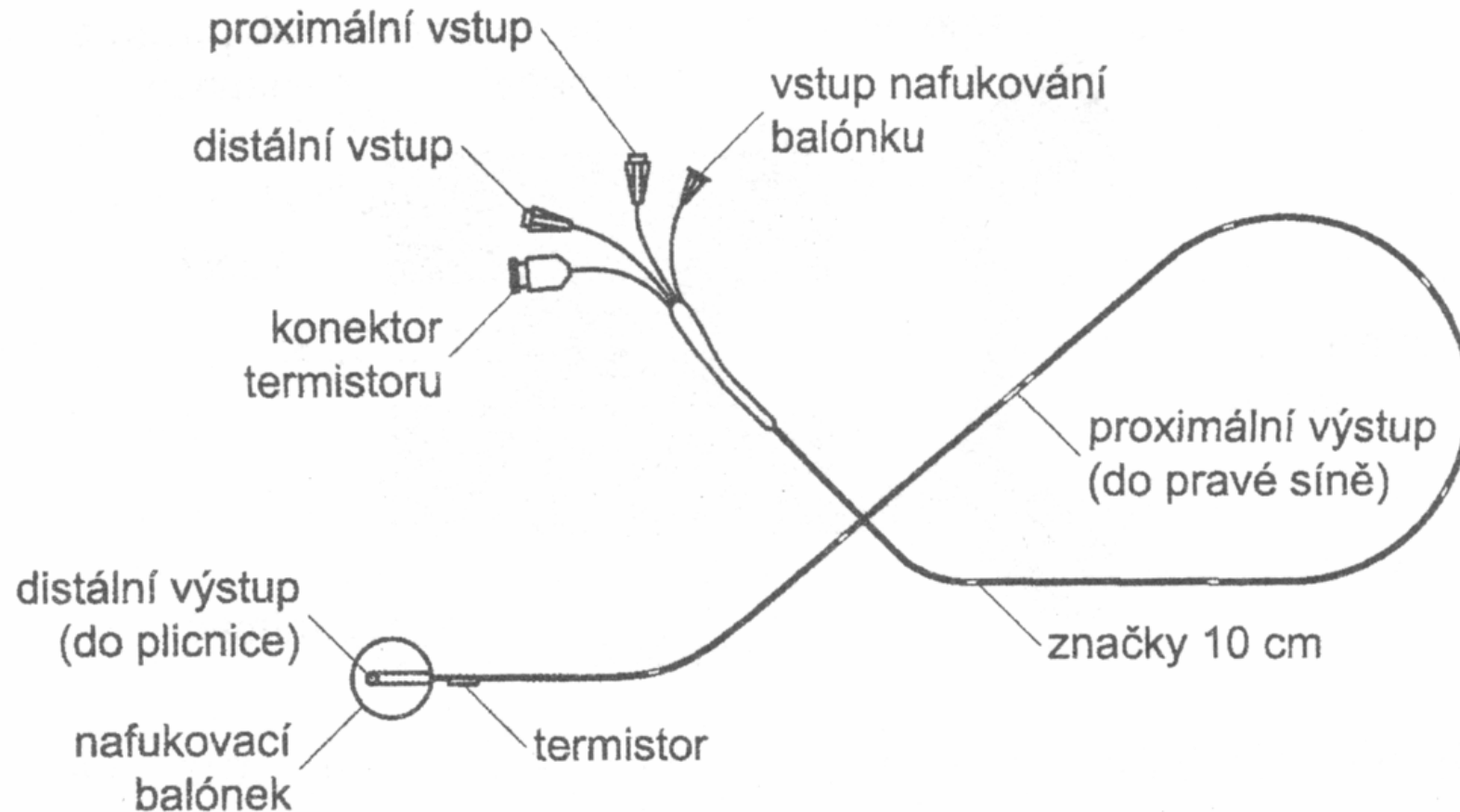
- jako indikátor používá teplo, obvykle 5 % roztok glukózy ve vodě ochlazený na asi 4 °C
- indikátor smícháme v pravé síni a komoře s krví, v plicnici pak měříme teplotu směsi

Termodiluční metoda

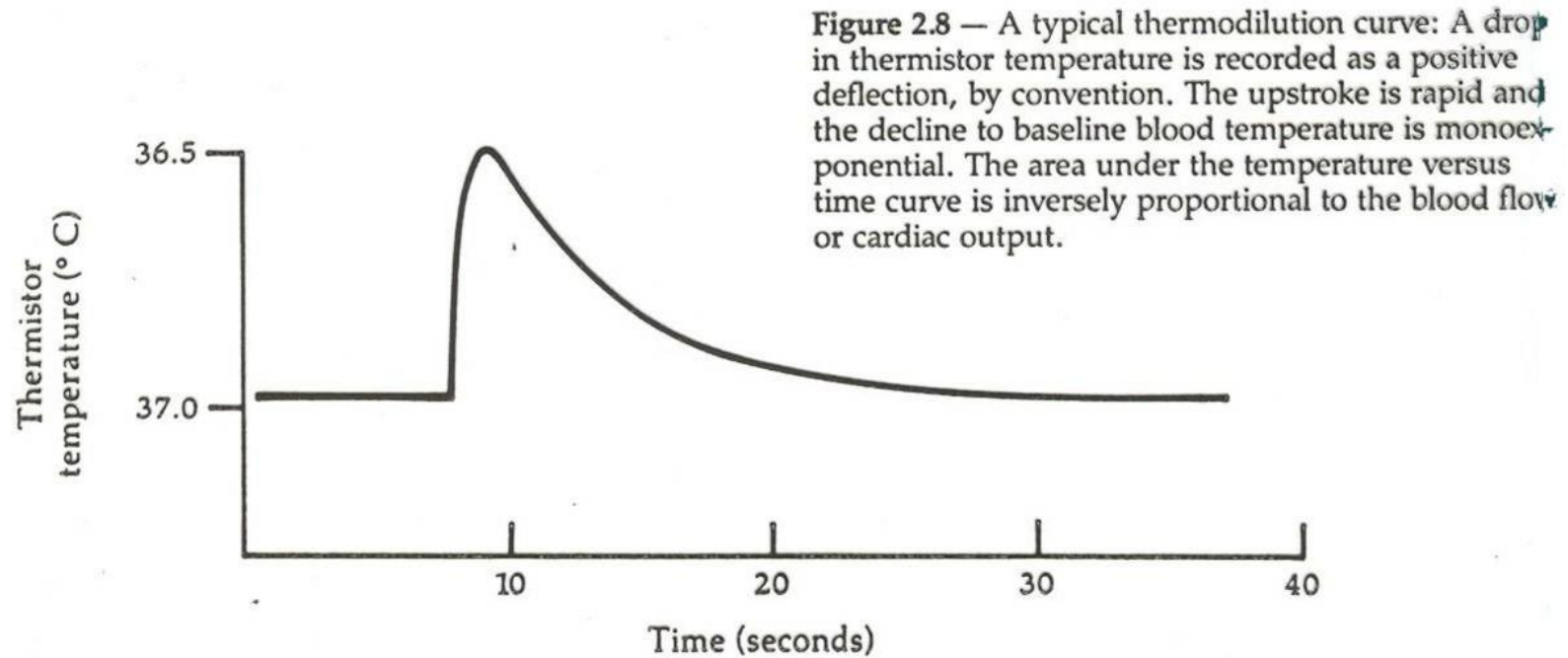
- měření provádíme Swanovým – Ganzovým katétre



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 [$\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$] je minutový srdeční výdej
- V_i [l] je objem vstříknutého indikátoru
- ϑ [$^{\circ}\text{C}$] je teplota v místě měření
- ϑ_b, ϑ_i [$^{\circ}\text{C}$] je teplota krve a indikátoru
- t_m [s] je celkový čas měření
- ρ_b, ρ_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 indokyanidová 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



Lichtenthal, Peter R.: Quick Guide to Cardiopulmonary Care.
Edwards Lifesciences LLC., 2004.

Metoda barvivové diluce

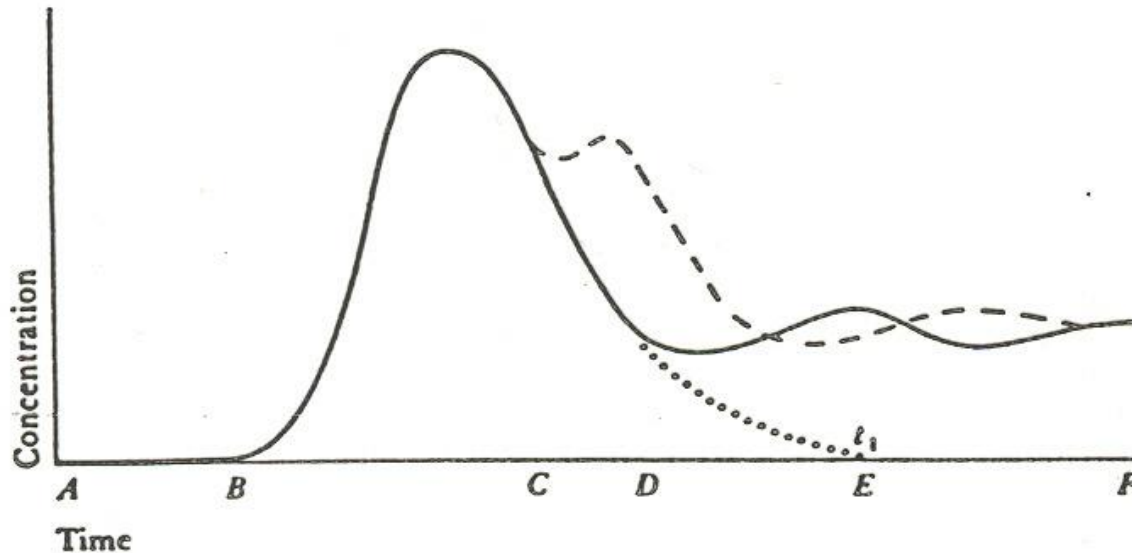


Figure 8.2 Rapid-injection indicator-dilution curve. After the bolus is injected at time A , there is a transportation delay before the concentration begins rising at time B . After the peak is passed, the curve enters an exponential decay region between C and D , which would continue decaying along 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 [$\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$] 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.