

Principy měření průtoku tekutin trubicí

Bronislav Balek

e-mail: bbalek@seznam.cz

[1] Střední škola dopravy, obchodu a služeb Moravský Krumlov

I Úvod

Ve fyzice a biofyzice se měří objemový průtok Q_v [m^3/s , l/min] plynů a kapalin trubicemi různými způsoby. V některých případech se měří rychlost proudění tekutin v [m/s]. Při znalosti průřezu trubice S [m^2] se určuje objemový průtok jako součin rychlosti proudění v a průřezu trubice S :

$$Q_v [m^3/s, l/min] = v [m/s] \times S [m^2]$$

Protože autor tohoto příspěvku se zabývá biofyzikálními experimenty, budou principy rychloměrů a průtokoměrů popsány u lékařských přístrojů. Ve workshopu bude ukázáno několik principů měření průtoku plynů a kapalin v trubicích. Jedná se o:

Měření průtoku plynů

- Měření průtoku plynu na principu rozdílu tlaku Δp na aerodynamickém odporu snímače
- Anemometrické měření průtoku plynu rotující vrtulkou – turbínou (spirometr)
- Anemometrické měření rychlosti proudění termoanemometr UNI-T, UT363
- Měření spirometrické křivky termistorovým snímačem
- Indikace průtoku tekutiny kuličkovým nebo lopatkovým optickým čidlem

Měření průtoku kapalin

- Měření toku krve v tepnách ultrazvukovým Dopplerovským rychloměrem (cévní Doppler)
- Měření hemodynamických pulsových vln velkých tepen fotoelektrickým reflexním snímačem
- Měření průtoku infuze fotoelektrickým reflexním nebo transmisním snímačem.
- Měření minutového srdečního výdeje digitálním tonometrem a empirickým vzorcem

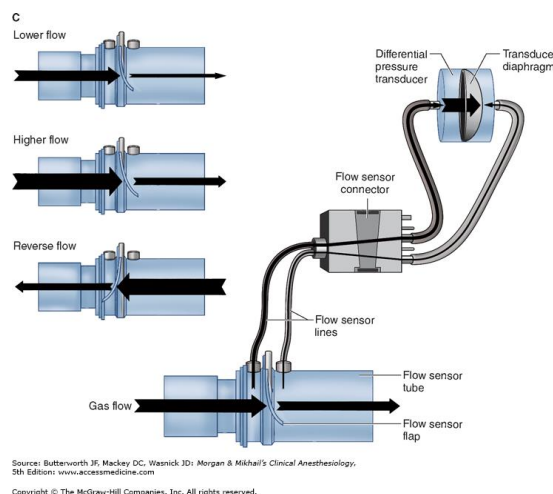
Přítomní si budou moci prakticky vyzkoušet některá měření.

2 Měření průtoku plynu na principu rozdílu tlaku Δp na škrtícím orgánu (aerodynamickém / pneumatickém odporu) snímače

Viz obrázky 1 až 3. Škrtícím orgánem bývá clona, dýza, Venturiho trubice. Clona může být ve tvaru vlnky jako kruhové výseče viz. obr. 1. Detailní vysvětlení funkce snímače dle obr. 1 je na obr. 2. Další způsob škrtícího orgánu je na obr. 3. Oba tyto snímače se používají pro měření minutové ventilace Q_v [l/min] u dýchacích přístrojů na jednotkách intenzivní péče nebo operačních sálech. Tlakový rozdíl Δp se měří diferenciálním tlakoměrem. Potom průtok je úměrný Δp dle vzorce: $Q_v = k \times \Delta p$ [l/min ; kPa]



Obr. 1. Snímač průtoku s vlnkovou clonou (Honeywell)

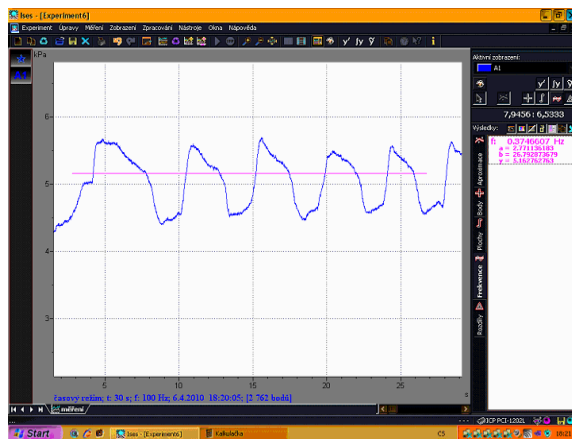


Source: Butterworth JF, Mackey DC, Wainick JD: Morgan & Mikhail's Clinical Anesthesiology, 9th Edition: www.accessmedicine.com
Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved.

Obr. 2. Princip snímače dle obr. 1.



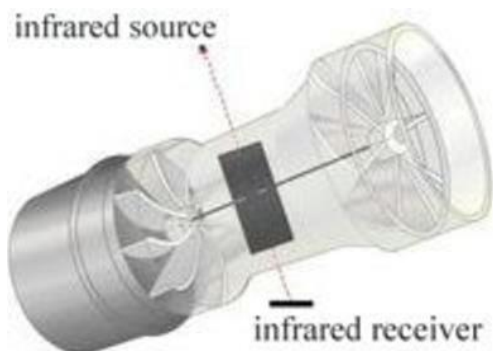
Obr. 3. Další způsob škrtícího orgánu (autor)



Obr. 4. Spirometrická křivka měřená snímačem

3 Anemometrické měření průtoku plynu rotující vrtulkou – spirometr

Viz obrázky 5 až 7. Otáčky vrtulky se snímají fotoelektrickým průchozím nebo odrazovým snímačem. Z naměřené křivky se pak určuje např. usilovný výdech při spirometrických vyšetřeních a další spirometrické parametry. Na obr. 3 je náustek s měřící vrtulkou. Spirometr je zobrazen na obr. 4.



Obr. 5. Náustek s měřící vrtulkou a optickým snímačem



Obr. 6. Ruční spirometr



Obr. 7. Náustek s vrtulkou a reflexním optosnímačem

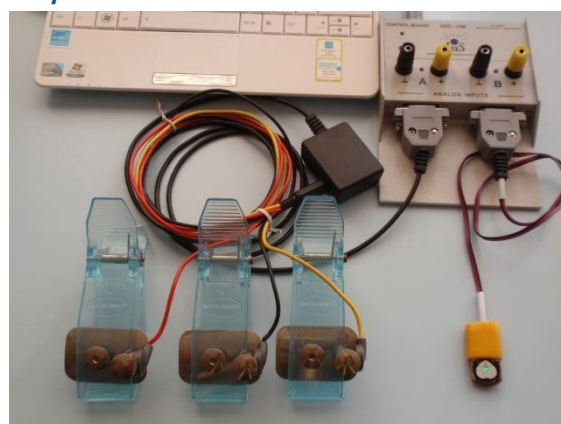


Obr. 8. Termoanemometr

5 Indikace průtoku tekutiny kuličkovým optickým indikátorem



Obr. 12. Kuličkový indikátor průtoku tekutiny



Obr. 13. Reflexní fotosnímač (žluté pouzdro, zelená LED)

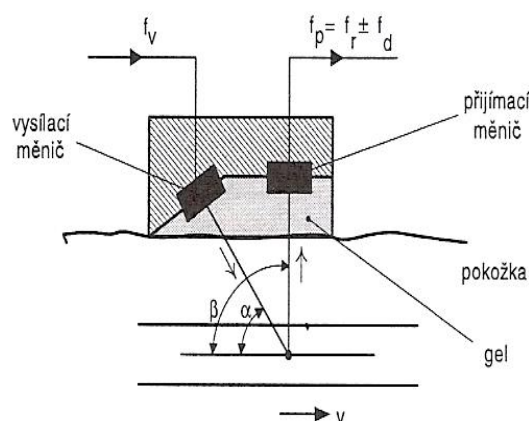
Viz obrázky 12. a 13. Tímto zařízením můžeme indikovat průtok jak plynů, tak kapalin. Jednotlivé rotace červené kuličky se snímají reflexním fotoelektrickým snímačem (zelená LED dioda)

6 Měření pulsové vlny ultrazvukovým rychloměrem toku krve (cévní Doppler)

Cévní Doppler obr. 13 umožňuje diagnostikovat stav cév nemocných. Princip cévního Doppleru znázorňuje obr. 14. Vysílací ultrazvuková sonda vysílá ultrazvukový signál o kmitočtu f_v [MHz].



Obr. 14. Cévní Doppler (Huntleigh)



Obr. 15. Princip cévního Doppleru

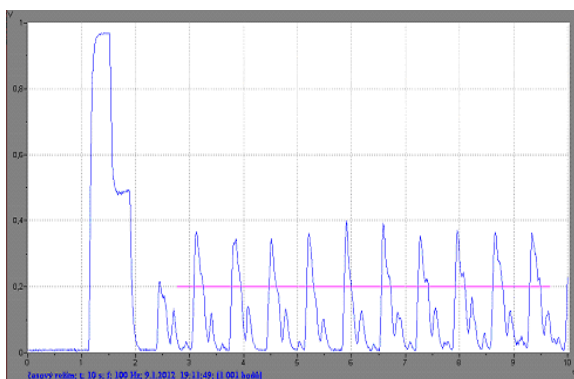
Signál f_v se odrazí od proudících erytrocytů v cévě ale s jiným kmitočtem f_p [MHz]. Rozdíl obou kmitočtů vytvoří tzv. Dopplerův frekvenční zdvih, který je dán vztahem:

$$f_d = f_v \pm f_p = 2 f_v (v/c) \cos \alpha$$

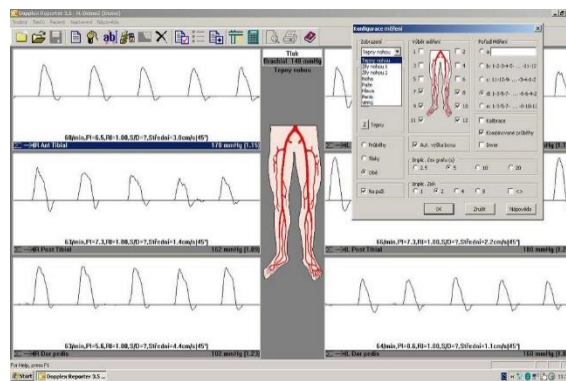
kde v je rychlost erytrocytů v cévě, c – průměrná rychlost ultrazvuku ve tkáni, α je úhel, který svírá vysílací ultrazvukový měnič s osou cévy. Tento frekvenční zdvih f_d je úměrný rychlosti toku krve v [m/s] v cévě.

Příklad toku krve radiální tepnou je na obr. 15. Kmitočty ultrazvukových sond bývají 2 MHz pro hlubkové cévy a 8 MHz pro povrchové cévy. K zobrazení toku krve radiální tepnou byl užit cévní Doppler Huntleigh MD1 a měřicí systém ISES.

Cévní Doppler je spojen s počítačem pro vyhodnocení naměřených křivek, uložení do paměti a vtištění protokolu (obr. 17)



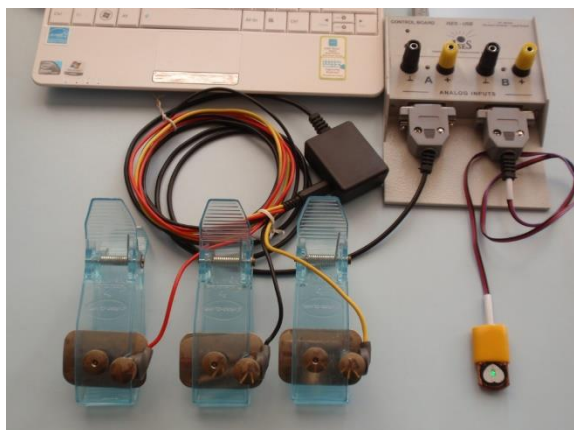
Obr. 16. Tok krve radiální tepnou



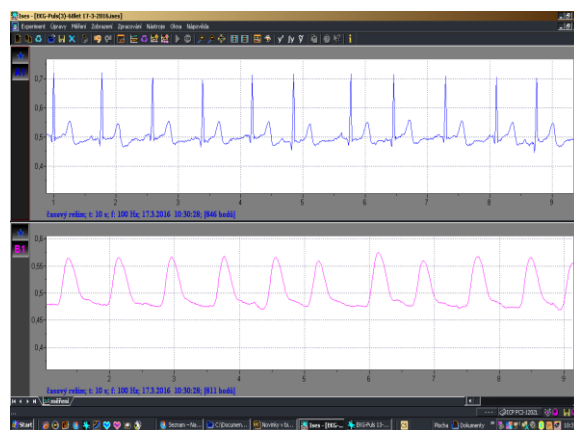
Obr. 17. Počítačový protokol dolních končetin (Huntleigh)

7 Měření hemodynamických pulzových vln velkých tepen fotoelektrickým reflexním snímačem

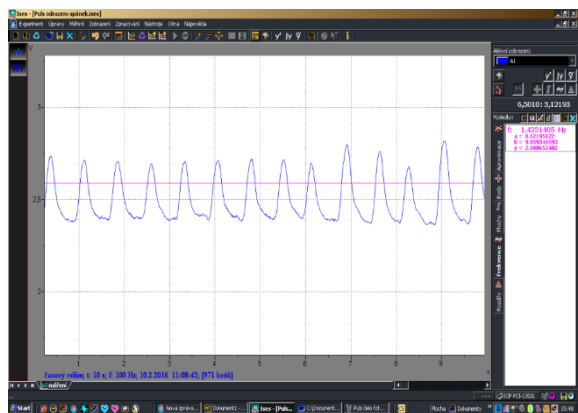
Viz obrázky 18 až 21. Pulsové vlny se také snímají reflexním fotopletysmografickým snímačem emitujícím zelené světlo. Na obr.18. je černá krabička nový EKG modul ISES. Vpravo dole na obr. 18 je fotoplethysmografický reflexní snímač (žluté pouzdro, zelená LED dioda). Na obr.19. je nahoře 1. stopa EKG (modře), dole 2. stopa KTG karotidogram snímáný z krční tepny – krkavice (fialově). KTG je důležitý signál pro polygrafii hemodynamiky krevního řečiště. Na následujících obrázcích (19–20) jsou ukázky různých pulsových vln velkých tepen.



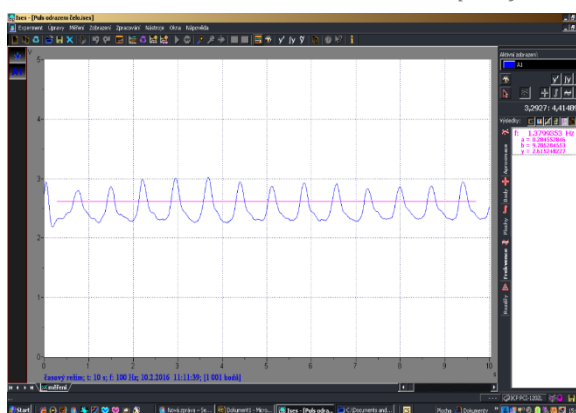
Obr.18. Fotosnímač (žluté pouzdro, zelená LED)



Obr.19. 1. stopa EKG modře, 2. stopa pulsová vlna z arterie radialis-vřetenní tepna, fialově



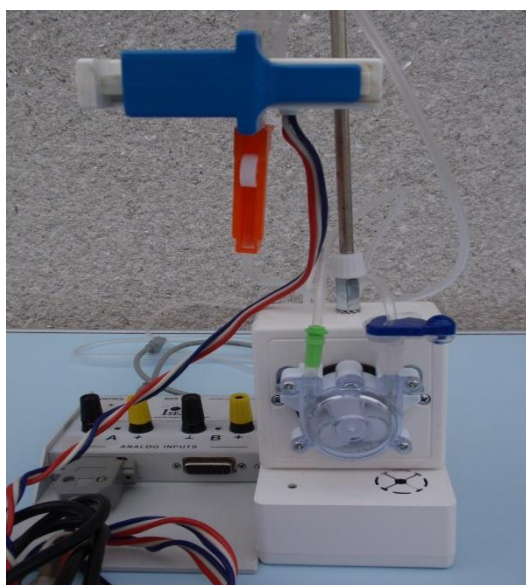
Obr.20. Pulsová vlna ze spánku



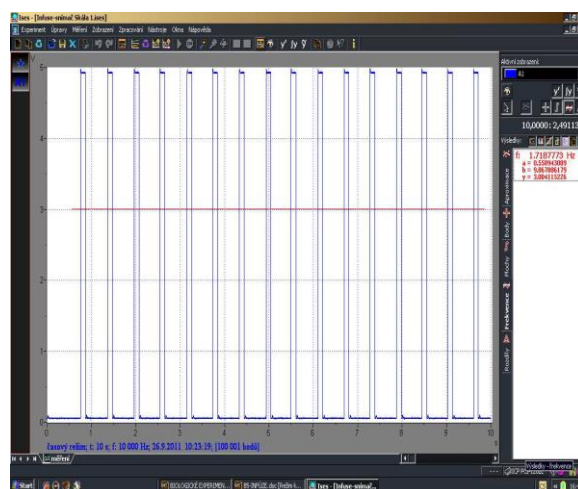
Obr. 21. Pulsová vlna z čela – Palencefalogram

Pulsová vlna z ukazováku je u běžných patientských monitorů snímána průchozím (transmisním) fotopletysmografickým snímačem umístěným v příslušném klipsu a měří nasycení krve kyslíkem SpO_2 [%].

8 Měření průtoku (kapkování) infuze fotoelektrickým snímačem



Obr. 22. Model infuzní pumpy (světlemodrý)



Obr. 23. Graf kapkování infuze. Snímač Skála

Modře snímač kapek Skála. Vlevo ISES-USB. Červeně tlačka pro zastavení infuze.

Viz obrázky 22 a 23. Infuze v medicíně je léčba nemocných infusními roztoky vpravovanými do žil nebo tepen. Infusí se může např. zvyšovat krevní tlak nemocnému, dodávat nemocnému potřebné medikamenty vstříknuté do infusního roztoku ve vaku, po určitý časový interval nebo dodávat intravenózní (nitrožilní) výživu. Kapkování infusí lze snímat optickou závorou, zobrazit na obrazovce a akusticky indikovat pomocí reproduktoru.

Protože 20 kapek odpovídá 1ml roztoku lze podle počtu kapek určit jaký objem infuze nemocný dostane za určitý časový interval. Na obrázku 22. je model infusní pumpy. Na obr. 23. je graf kapkování infuze.

9 Měření minutového srdečního výdeje digitálním tonometrem a empirickým vzorcem



Obr. 24. Digitální tonometr s naměřenými údaji

Minutový srdeční výdej (Cardiac Output): $V_m = 66,67 \times f \times (P_s + 2 \times P_d) / (P_s + P_d) = f \times V_s$

Objem jedné systoly (Stroke Volume): $V_s = (60-80) \text{ ml}$, při zátěži (100-150) ml

Kde: f [tepů/min] je srdeční frekvence (tep), P_s [mmHg = torr] je systolický tlak, P_d [mmHg = torr] je diastolický tlak

Objem krve u dospělého člověka bývá cca 5 litrů. Z toho vyplývá, že minutový srdeční výdej V_m [l/min] bude cca 5 litrů/min. Vzorec pro V_m je jen empirický a tedy informativní.

Příklad výpočtu minutového srdečního výdeje (obr. 23):

Při údajích $f = 70 \text{ tepů/min}$, $P_s = 118 \text{ mmHg}$, $P_d = 78 \text{ mmHg}$ vyjde $V_m = 5,6 \text{ litrů/min}$.

10 Závěr

Všechna výše uvedená zapojení a měření provedl autor tohoto příspěvku. Detailní vysvětlení jednotlivých principů je uvedeno v literatuře [1]. V medicínské technice se vyskytuje velké množství měření neelektrických veličin. Tento příspěvek v malé míře přispívá k objasnění principů měření některých neelektrických biosignálů.

V medicínské praxi právě, kromě několika elektrických biosignálů, převažují tyto neelektrické biosignály.

11 Literatura

- [1] BALEK, B.: *Biologické experimenty se systémem ISES: Návod pro laboratorní cvičení*, Ivančice 2012
- [2] ROZMAN, J. a kol.: *Elektronické přístroje v lékařství*. Academia Praha 2006