

Masarykova univerzita  
Lékařská fakulta  
Biofyzikální ústav

# Měření a registrace mechanických veličin

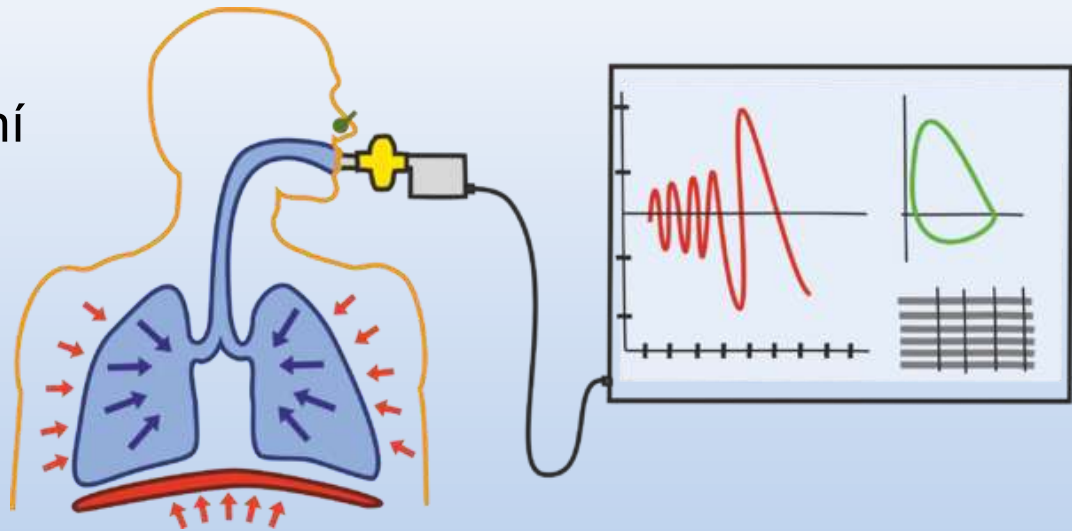
Vladan Bernard rev. 2019

# Fyzikální veličina

- Kvalitativní a kvantitativní popis vlastností hmoty
- Extenzivní (aditivní) / intenzivní
- Skalární / vektorová (tenzor)
- Název, značka, velikost, jednotka, směr

# Mechanické veličiny

- délka, plocha, objem
- rychlost, zrychlení
- síla, tlak, napětí
- práce, energie



tyto „**vlastnosti**“ snímáme v podobě signálu - biosignálu

měření a registrace mechanických  
veličin

# Biosignál

“Jako **biosignály** můžeme označit veškeré signály, jejichž existenci můžeme zaznamenat v živých organismech“

Signál - nese nějakou informaci o systému, ale sám je vždy nesen nějakým **nosičem**, má **fyzikální charakter**.

Můžeme je registrovat v důsledku **spontánní aktivity** biologického systému - **nativní signály** anebo jako důsledek nějakých úmyslných **podnětů** - **evokované signály**.

Z hlediska současné medicíny – nejčastěji znázorňujeme biosignály v podobě závislosti napětí na čase a poloze

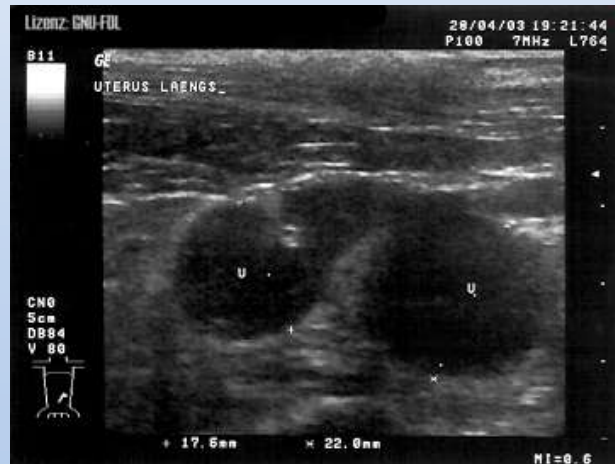
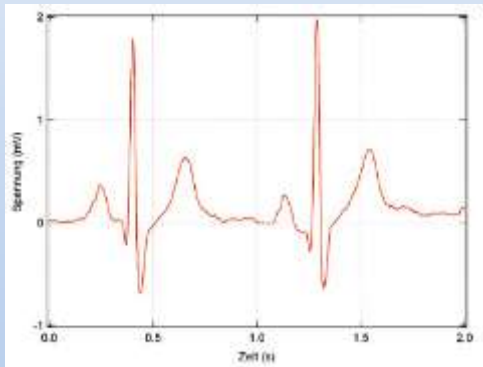
# Biosignál

EKG je  $U(t)$  biosignál, který poskytuje informaci o fyziologii nebo patologii srdce.

U ultrazvukového B obrazu je biosignál  $U(x,y,t)$  napětí, které vzniká v elementárním elektroakustickém měniči v důsledku zachycení odrazu ultrazvuku od tkáňové struktury

Digitální rentgenový snímek je biosignál  $U(x, y)$ , u kterého hodnota napětí odpovídá každému pixelu o souřadnicích  $(x,y)$ .

3-D MRI obraz je biosignál  $U(x,y,z)$ , u kterého hodnota napětí odpovídá každému voxelu o souřadnicích  $(x, y, z)$  v těle pacienta.



měření a registrace mechanických veličin

# Biosignál

Dělení – dle proměnných, dle povahy, místa vzniku ...

**Aktivní** – (nativní i evokované) zdrojem biosignálu („formy energie“) je sám biologický objekt

**Pasivní** – (modulované,) zdrojem biosignálu není biologický objekt, je pouze modulátorem, interaguje s biosignálem („energií“) a mění jej

	bezčasové	časové
jednorozměrné	střední tlak krve	teplotka, oxymetrie
vektor	teplota+tlak+BMI	EKG, EEG
dvojměrný	RTG	sono
trojměrný	CT, MRI	4D sono

**čas** je čtvrtým rozměrem (ostatně takto je chápán v celé fyzice)

měření a registrace mechanických  
veličin

# Biosignál

Proces zpracování biosignálů – „elektrické povahy“

Snímání → zesílení a úprava → zobrazení a záznam

EKG, EMG, EEG, membránový potenciál, ...

- Snímací elektrody
- Zesilovač, propusti, filtry, vzorkovací zařízení, A/D převodník (viz další snímek)
- Záznamové zařízení – monitor, paměťová media – flash paměť, optická media

Odpadá nutnost převést vlastní fyzikální rozměr biosignálu do podoby „napětí“. Co ale v případě takových fyzikálních veličin jako je rychlost, tlak, síla???

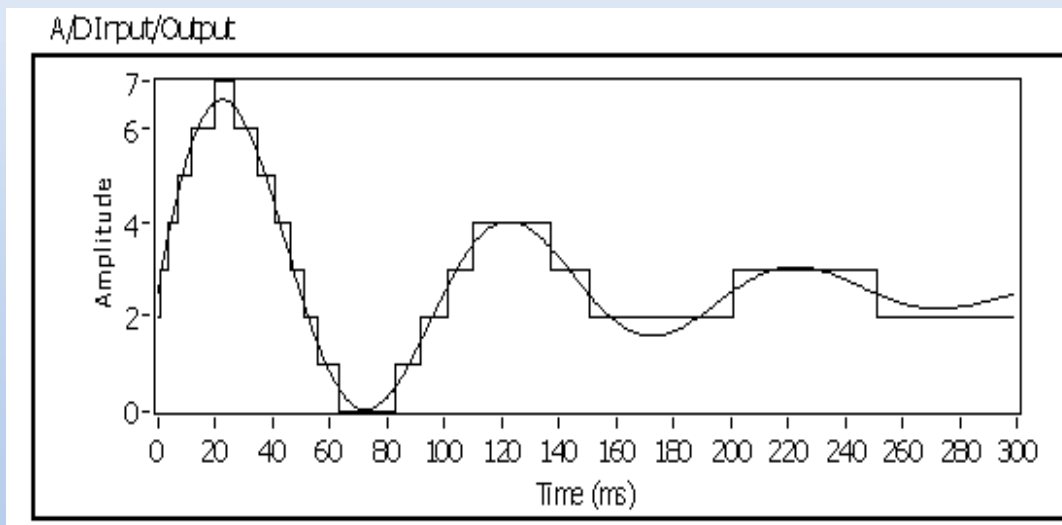
# Proces zpracování biosignálů – „mechanické povahy“

Snímání → zesílení a úprava → zobrazení a záznam

mechanoelektrický převodník + A/D převodník

A/D př. = Analogový signál (spojitý) → digitální signál (diskrétní)

mechanoelektrický př. = mechan. signál → signál elektr. povahy



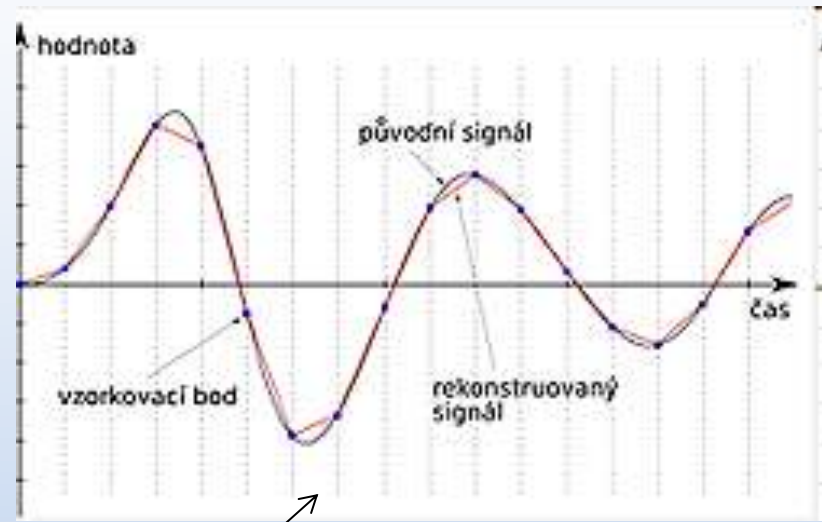
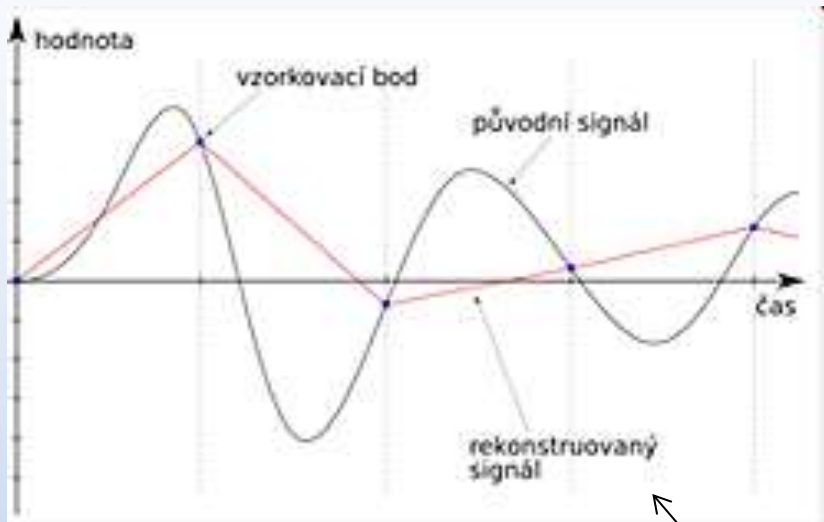
Vzorkovací frekvence  $f$   
Nyquistova frekvence  $f_N$   
max.  $2 f_N = f$

<http://cnx.org>

měření a registrace mechanických  
veličin



# Vzorkování signálu



vzorkovací frekvence

**vzorkování signálu v čase** – jde o odběr vstupního signálu v definovaných okamžicích, daných vzorkovacími impulsy

**kvantování vzorků v úrovni** – odebraný vzorek je zaokrouhlen na hodnotu odpovídající nejbližší kvantovací úrovni

**kódování** - kvantované hodnoty jsou vyjádřeny čísly v určitém kódu

měření a registrace mechanických  
veličin

# „Pro a Proti“ A/D převodníků

- analogové signály lze přenášet po převodu na číslicový signál s menším zkreslením a s menšími nároky na přenosové cesty
- naopak - je-li třeba pomocí číslicového řídicího systému (počítač) řídit zařízení ovládaná analogově, je třeba vypočtené řídicí hodnoty převést z číslicové na analogové hodnoty

**chyba zesílení** – je dána odchylkou sklonu skutečné převodní charakteristiky A/D od ideální

**chyba nulový** – je dána posunem převodní charakteristiky ve směru osy Y

**chyba linearity** převodu

# Typy A/D převodníků

- ***unipolární*** – vstupní rozsah 0 až  $U_{max}$
- ***bipolární*** – vstupní rozsah  $-U_{max}$  až  $U_{max}$
  
- ***komparační*** (neintegrační) – převádí na číslo okamžitou hodnotu vstupního napětí v určitém časovém okamžiku převodu
- ***integrační*** – převádí na číslo průměrnou hodnotu napětí za určitý časový interval

# Vsuvka - Bioimpedance

Impedance je komplexní veličina popisující zdánlivý odpor prvku a fázový posun napětí proti proudu při průchodu harmonického střídavého proudu dané frekvence daným prvkem.

$$Z = \frac{U}{I} = R + jX = |Z| \cos \varphi + j|Z| \sin \varphi$$

Impedance odporu:  $Z = R$ , Impedance cívky:  $Z = j\omega L$

Impedance kondenzátoru:

, kde  $\omega = 2\pi f$

$$Z = \frac{1}{j\omega C}$$

Rezistence  $R$  (ohmický odpor)... reálná část impedance ...definuje schopnost prvku proud změnit... odpor prostředí

Reaktance – imaginární část impedance

# Vsuvka - Bioimpedance

- Impedance lidské tkáně je určena jejími složkami
  - různá hodnota odporu
  - vlastnosti kapacit (buněčné membrány, buňky)

Tyto složky ovlivňují hodnoty procházejícího proudu při střídavém napětí (zejména obsah intra a extracelulární vody). pro nízké frekvence pouze významný vliv extracelulární vody (vedení proudu se vnitřní prostředí buněk neúčastní)

díky tomu je možné pomocí bioimpedance (dvojice elektrod umístěných na kůži, připojených ke zdroji střídavého napětí a analýzou procházejícího proudu v čase)- tzv impedanční spektrum:závislost impedance na frekvenci- stanovit například množství tukové tkáně v organismu, množství tekutin, (tkáňovou ischemii, ..., kvalitu masa...)

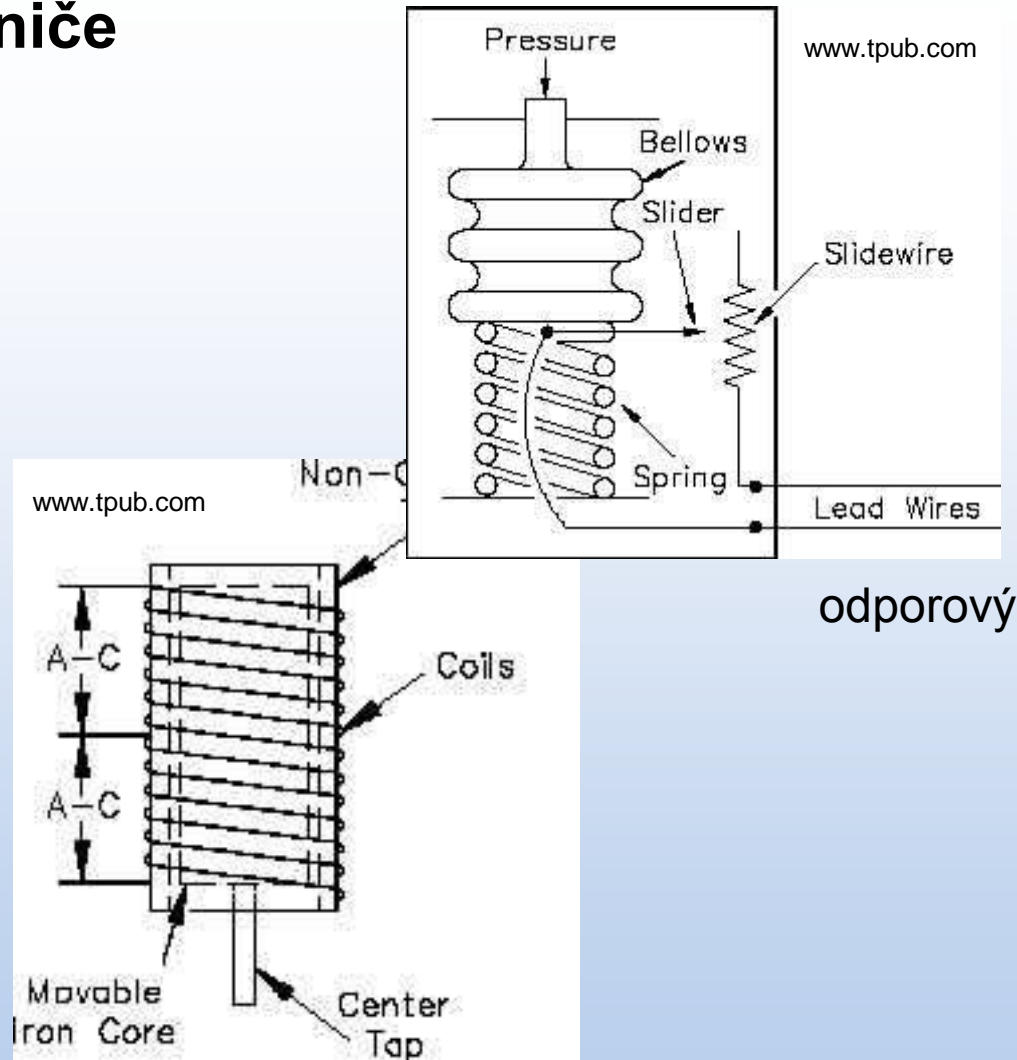
# Mechanoelektrické měniče

vhodné pro měření tlaku

- odporové
- indukční
- kapacitní
- piezoelektrické



piezoelektrický



odporový

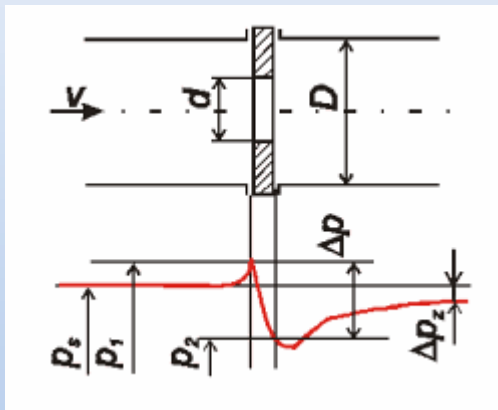
indukční

měření a registrace mechanických veličin

# Měření proudění tekutin

- „Průtok“ - nejednoznačnost pojmu - rychlost proudění, objemový či hmotnostní průtok
- **Objemový průtok** -  $Q_v$  -  $m^3 \cdot s^{-1}$ ,  $Q_v = v \cdot S$ ,  $v$  - rychlost toku,  $S$  - obsah průřezu
- **Hmotnostní průtok** -  $Q_m$  -  $kg^3 \cdot s^{-1}$ ,  $Q_m = Q_v \cdot \rho$

Stanovení rozdílu tlaku na překážce je jedním ze základů měření proudění tekutin



www.tzb-info.cz

$v$  - rychlost proudění  
 $d$  - průměr otvoru škrticího orgánu (na obrázku je uvedena normalizovaná clona)  
 $D$  - průměr potrubí  
 $p_s$  - vstupní statický tlak  
 $p_1$  - snímaný tlak před škrticím orgánem  
 $p_2$  - snímaný tlak za škrticím orgánem  
 $\Delta p$  - diferenční tlak ( $p_1 - p_2$ )  
 $\Delta p_z$  - trvalá tlaková ztráta

$\Delta p \rightarrow$  Bernoulliho rovnice  $\frac{1}{2} \rho v^2 + p + \rho u(x) = \text{konst.} \rightarrow v$

$$v = k \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{\Delta p}{\rho}}$$

Rozdíl tlaků před a za překážkou je přímo úměrný druhé mocnině rychlosti proudění (závislost na parametrech trubice -  $k$ ). **Platí pro tekutiny newtonovského typu.**

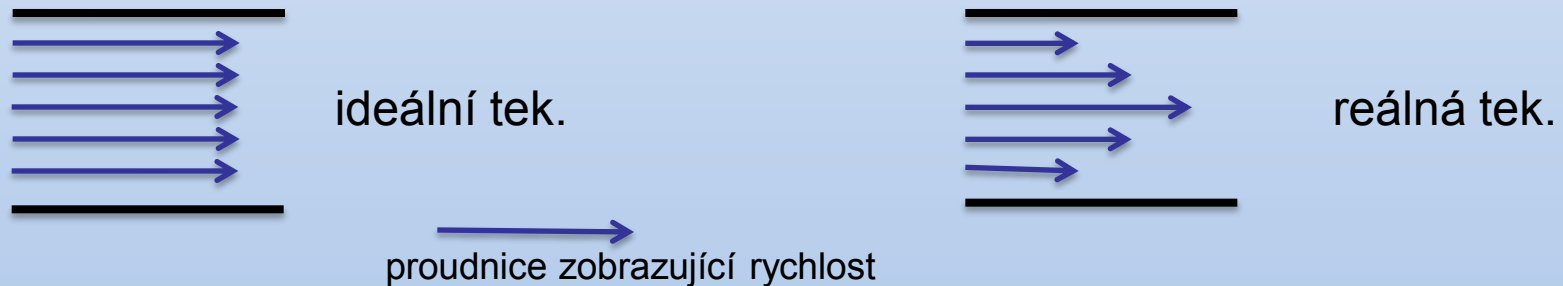
měření a registrace mechanických  
veličin

# Měření proudění tekutin – neneutronovské tekutiny

- Tekutina ideální – tzv. newtonovská
- Pozor – krev není typicky tekutinou newtonovského typu! Jde o reálnou tekutinu. Bernoulliho rovnice jest pouze aproximací. Pohybují-li se dvě sousední vrstvy reálné tekutiny různou rychlostí, vzniká mezi nimi smykové napětí. Pro popis průtočného objemu lépe zvolit **Hagen-Poiseuillův zákon**

$$Q = \frac{\pi r^4 \Delta p}{8 \eta \Delta L}$$

$\eta$ -viskozita,  $\Delta L$  délka trubice

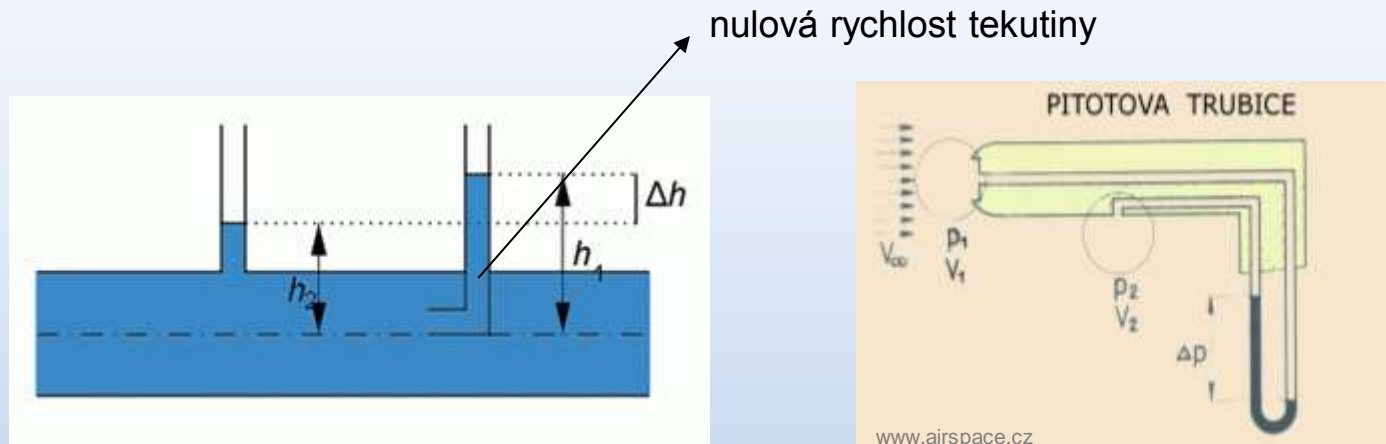


měření a registrace mechanických veličin



# Měření proudění tekutin – další metody pro určení rychlosti

Pitotova trubice - zejména pro stanovení rychlosti plynů a velmi čistých tekutin, princip na rozdíl tlaku a aplikaci Bernoulliho rovnice



Elektromagnetické (indukční) průtokoměry - založeny na principu Faradayova zákona elektromagnetické indukce. Pohybem vodiče - pohybem tekutiny - v homogenním magnetickém poli se indukuje elektrické napětí.

$$U_i = B \cdot l \cdot v = B \cdot D \cdot \frac{4 \cdot Q_v}{\pi \cdot D^2}$$

$U_i$  - indukované napětí,  $l$  - délka trubice,  $B$  - magnetická indukce,  $D$  - průměr trubice,

měření a registrace mechanických  
veličin

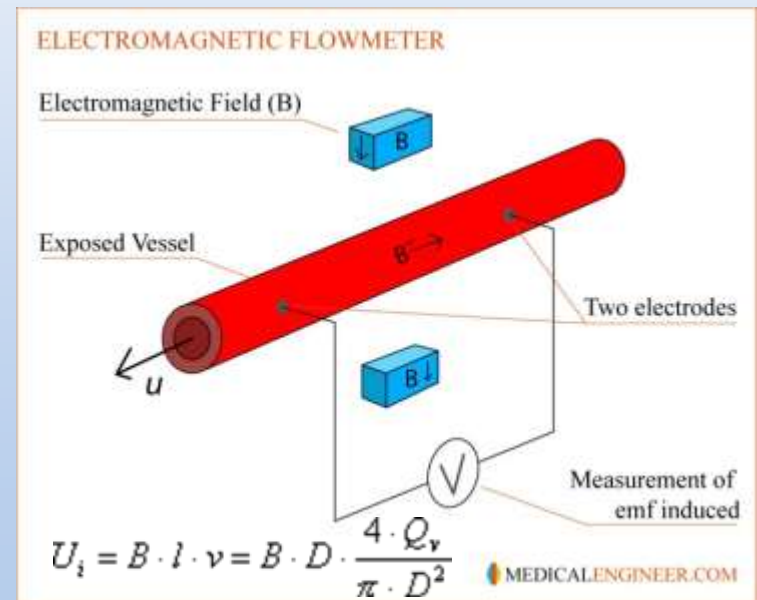
# Měření proudění tělesných tekutin

- Proudění tělesných tekutin (zejména krve) je v současné době měřeno zejména dopplerovskými ultrazvukovými přístroji – neinvazivní,  $v \sim \Delta f$ ,

$$v = \frac{f_d \cdot c}{2f_v \cdot \cos \alpha}$$

- Metoda termodiluční (invazivní) a elektromagnetická (např. u dialyzačních přístrojů, neinvazivní)

Set termodilučního katetru a příslušenství



[www.medicalengineer.co.uk](http://www.medicalengineer.co.uk)

měření a registrace mechanických  
veličin

# Dýchací soustava - spirometr

Přístroj pro diagnostiku dýchací soustavy - spirometr

**Určený zejména pro stanovení:**

- množství ventilovaného vzduchu
- rychlost průtoku vzduchu

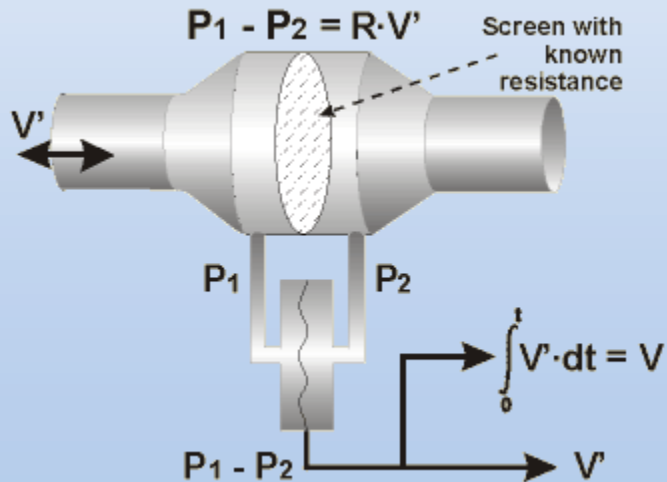
**Funkce měření průtoku plynu (V/t) založena na :**

- poklesu tlaku v trubici, tlakový rozdíl
- přenosu tepla z vyhřívaného drátu či jiné součásti spirometru, termoanemometr
- měření otáček malé turbínky

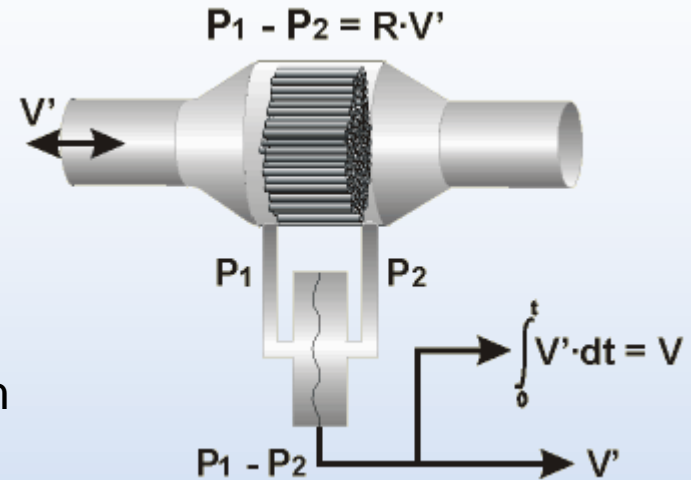
# Spirometr - pneumotachometr

Měření objemového průtoku plynu na základě poklesu tlaku trubice před a za překážkou

- lamelární/kapilární překážka – typ Fleisch



- překážka v podobě síta – typ Lilly

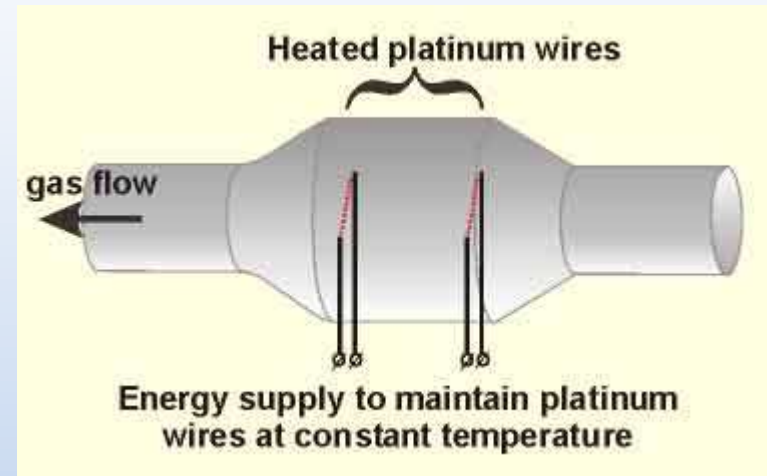


# Spirometr - anemometr

Spirometr obsahuje dvojici platinových drátků vyhříváných na konstantní teplotu

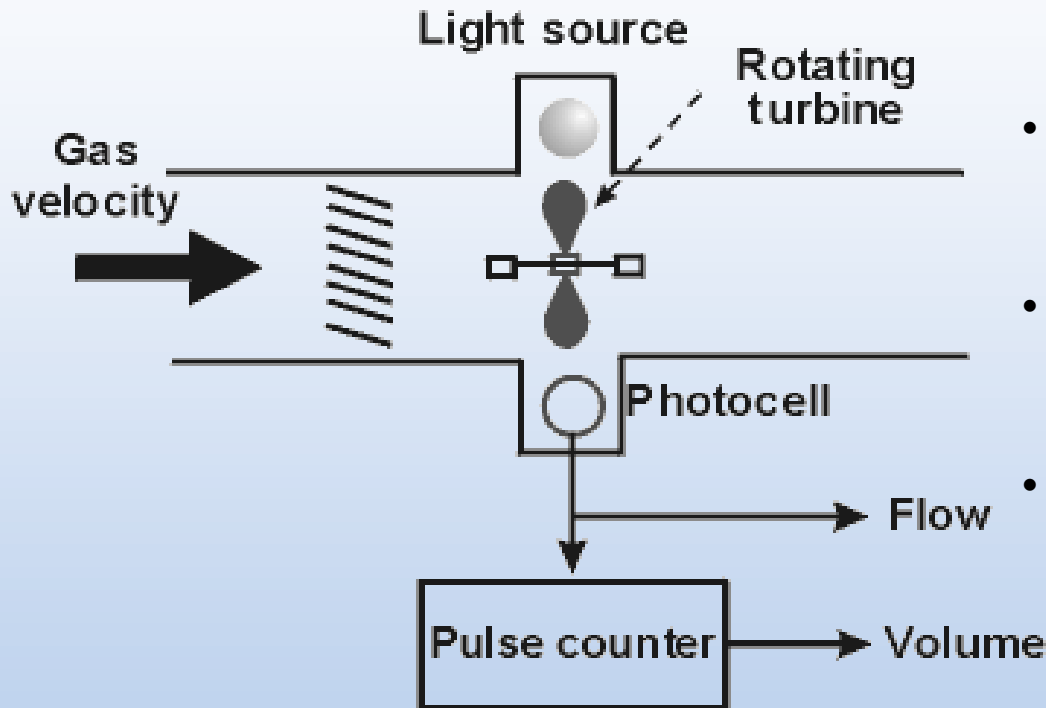
Ochlazování drátků úměrné objemu protékajícího vzduchu

Měření množství elektrické energie



Nevýhody: složení a teplota plynu může ovlivnit jednotlivé měření

# Spirometr – otáčkoměrový



- Měření průtoku plynu založeno na otáčení lopatek turbíny
- Detekce počtu otáček v čase například fotobuňkou
- Nezávislý na teplotě plynu

Nevýhody: setrvačnost turbíny



Manuál Spirometr  
Vernier SPR BTA

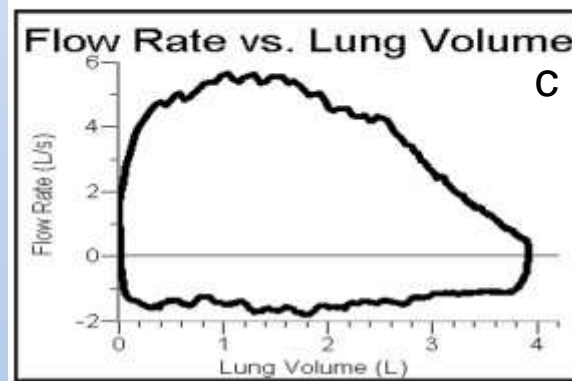
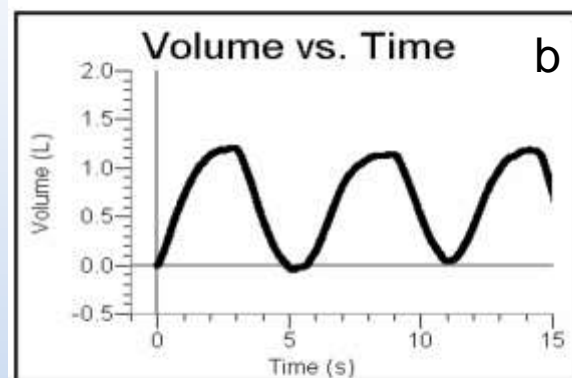
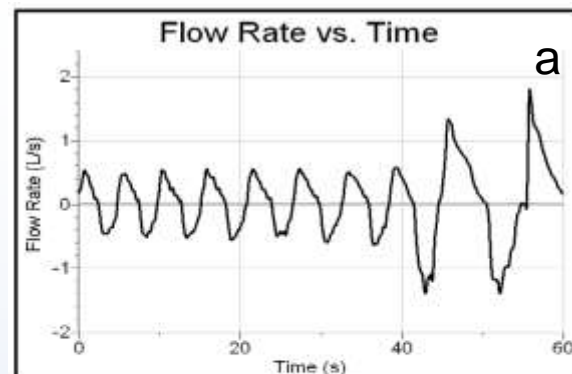
přenosný Spirometr  
SPR BTA  
Obsahuje snímač a  
převodník  
diferenciálního tlaku  
(pneumotachometr  
typu Lilly)

## Základní funkce

a – průtoková rychlost v čase,  
normální dech, hluboký dech (inspirace, expirace)

b – dechový objem v čase

c – vitální kapacita (FVD)



Manuál Spirometr Vernier SPR BTA

měření a registrace mechanických  
veličin

## Přenosný PFT Spirometrem - současnost

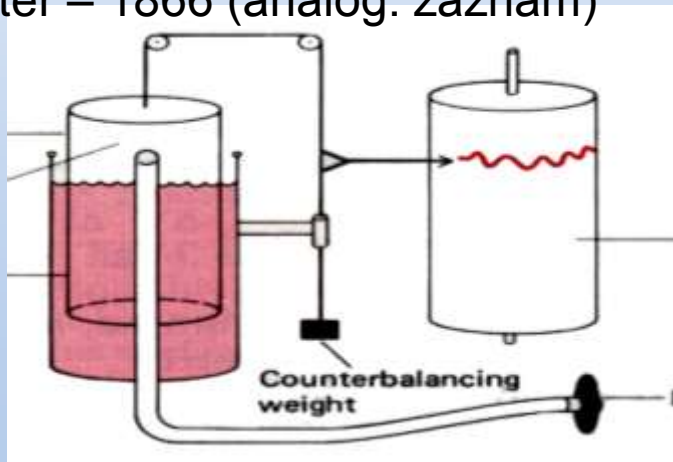


Manuál KoKo Spirometry



Spirometr bratří Droszczówich -1961

## W. Salter – 1866 (analog. záznam)



## Multifunkční spirometr - současnost



www.spirotel.cz

měření a registrace mechanických  
veličin



# Měření tlaku

- krve
- nitrooční
- likvoru
- nitroplicní
- nitrohruční
- hydrostatický / hydrodynamický
- onkotický

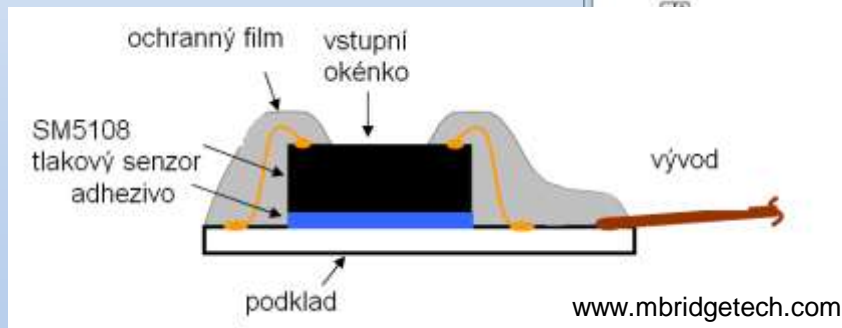
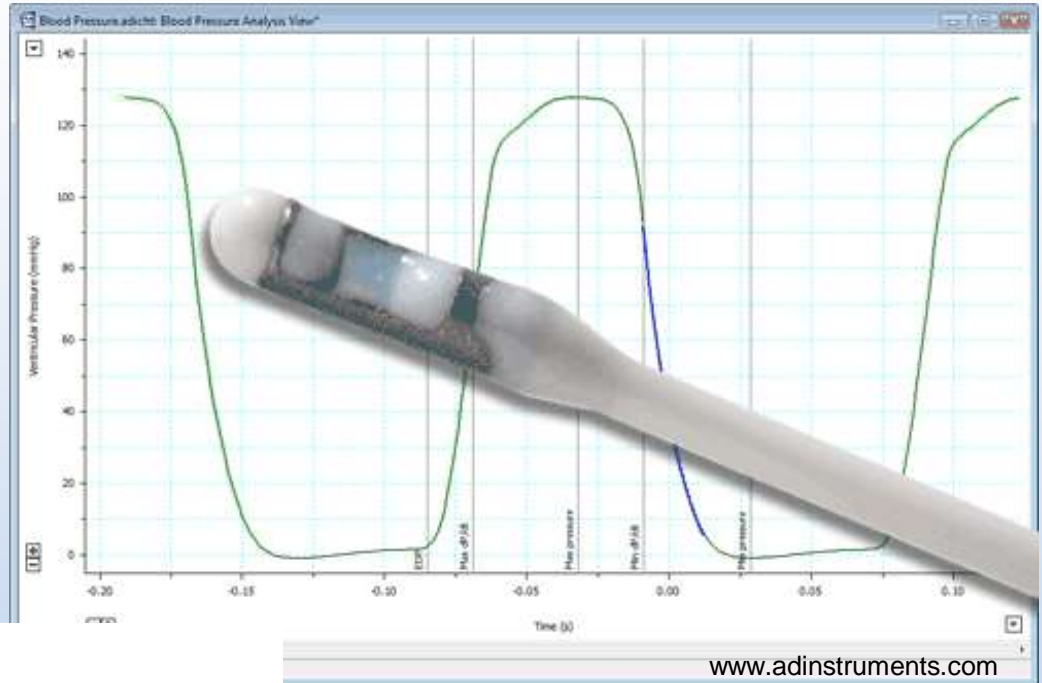
# Tlak krve

Důležitý parametr pro diagnostiku kardiovaskulárního systému.  
Měření prováděno v tepnách, žilách a srdci.

- Metoda přímá (invazivní, „krvavá“)
- Metoda nepřímá (neinvazivní)

# Metoda přímá

- invazivní metoda
- měření pomocí katetru
- měření TK v žilách a srdci
- první metoda měření TK, 1733 reverend S. Hales – krvavá metoda



Konec katetru a detail  
piezoelektrického měniče

měření a registrace mechanických  
veličin

# Metoda nepřímá

Vhodná pro měření TK na artériích

- **Měření auskultační**

Metoda Riva-Rocciho, manometr, fonendoskopický poslech Korotkovových fenoménů

- **Měření oscilační (oscilotonometrie)**

Měření oscilace tlaku v manžetě, záznam rytmické pulsace tepny – určení středního arteriálního tlaku

- **Palpační metoda**

Pouze pro měření systolického tlaku, obdoba auskultační

- **Dopplerovské měření**

Založeno na změně frekvence ultrazvukové (elektromagnetické) vlny při odrazu

- **Peňázova metoda**

Založena na měření absorpce elmag záření- úměrné pulsaci prstu („tloušťce tkáně“), měření tlaku v manžetě

# Auskultační metoda

Využití laminárního a turbulentního proudění krve v manžetou stlačené *a.brachialis*. Popis průtoku krve Reynoldsovým číslem.

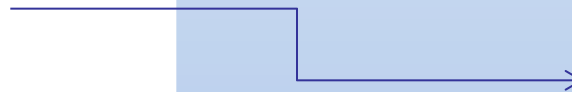
$$Re = \frac{r \cdot v_s \cdot \rho}{\eta}$$

r poloměr cévy,  $\eta$  koeficient dynamické viskozity,  
 $\rho$  hustota kapaliny,  $v_s$  střední rychlost toku  
Re >1000 - turbulentní proudění

- **Rtuťový tonometr** - funkce na základě hydrostatického tlaku sloupce rtuti v kapiláře, jednoduchá obsluha, toxicita rtuti, nutnost svislé polohy
- **Aneroidový tonometr** - obsahují aneroid, lehké, fungují ve všech pozicích, nutnost pravidelné údržby
- **Elektronický tonometr (automatický)** - obsahují polo či plně automatizovaný systém, kompresor, mikrofon. Jednoduchá manipulace, detekce TK také pomocí oscilometrie. Přesnost, kalibrace.
- **Hybridní** - kombinace rtuťových a elektronických tonometrů. Displej.

# Auskultační metoda arteriální tlak vs. tlak manžety

Přechod turbulentního  
proudění krve v laminární



# Auskultační metoda – rtuťový tonometr

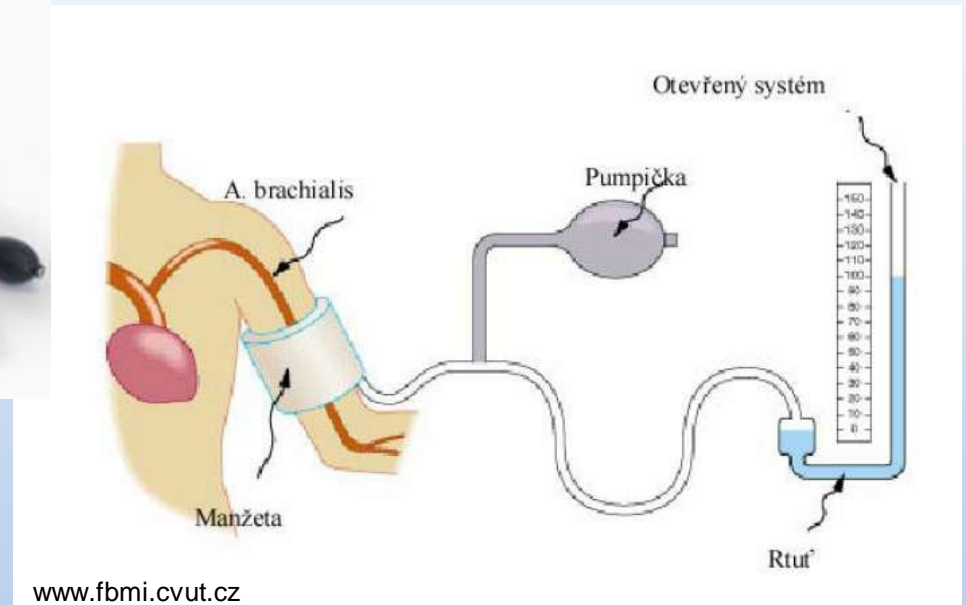
www.lf1.cuni.cz

Tonometr - 1896



www.stefajir.cz

Tonometr - současnost



www.fbmi.cvut.cz

Schéma auskultační metody měření TK pomocí rtuťového tonometru

měření a registrace mechanických veličin

# Auskultační metoda - aneroid

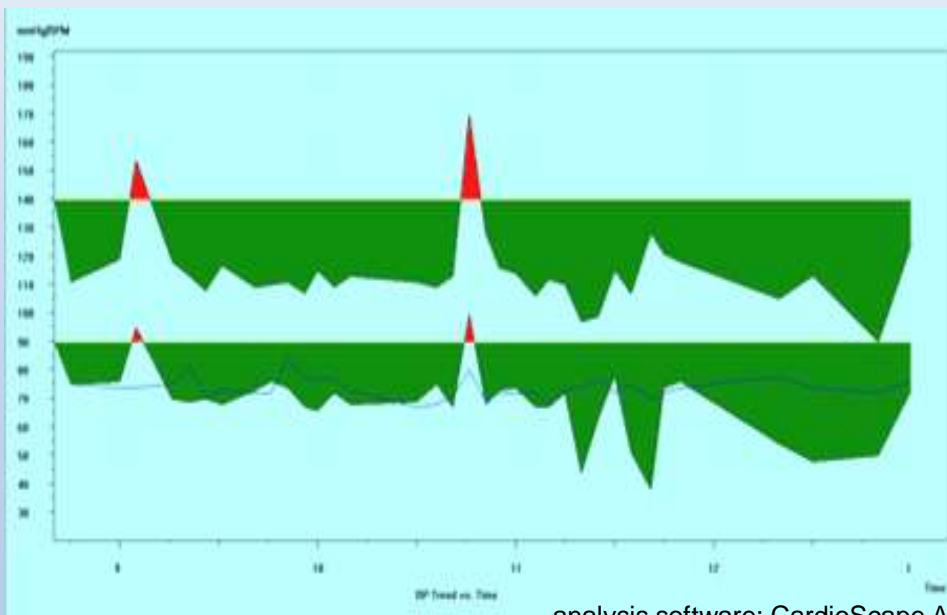


měření a registrace mechanických  
veličin



# Holterovo monitorování TK

- kontinuální diagnostika (většinou 24-hodinová)
- automatizace
- archivace dat
- kombinace se souběžným měřením EKG



analysis software: CardioScape ABP Report Editor

měření a registrace mechanických  
veličin

# oscilotonometrie



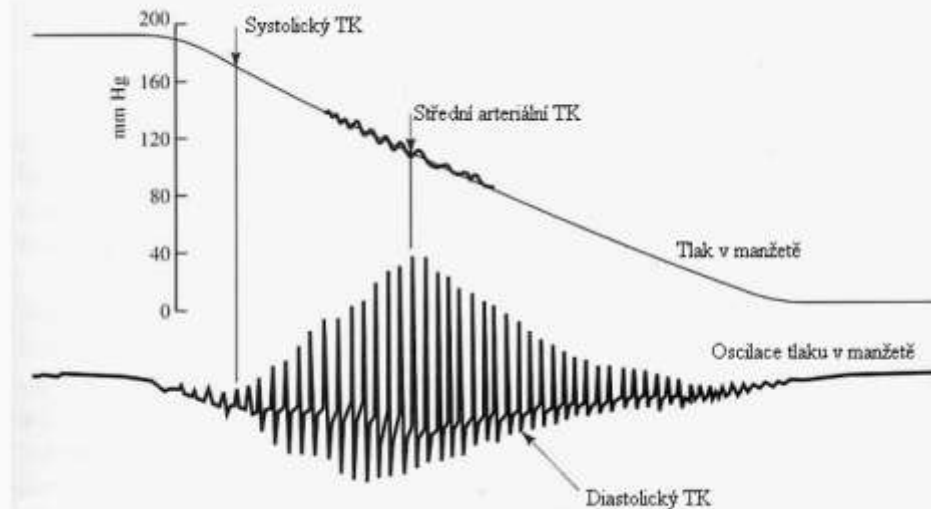
Digitální  
oscilotonometr

[www.mpisck.uk](http://www.mpisck.uk)



[www.ospfe.it](http://www.ospfe.it)

Pachonův oscilatonometr  
1. pol. 20. stol

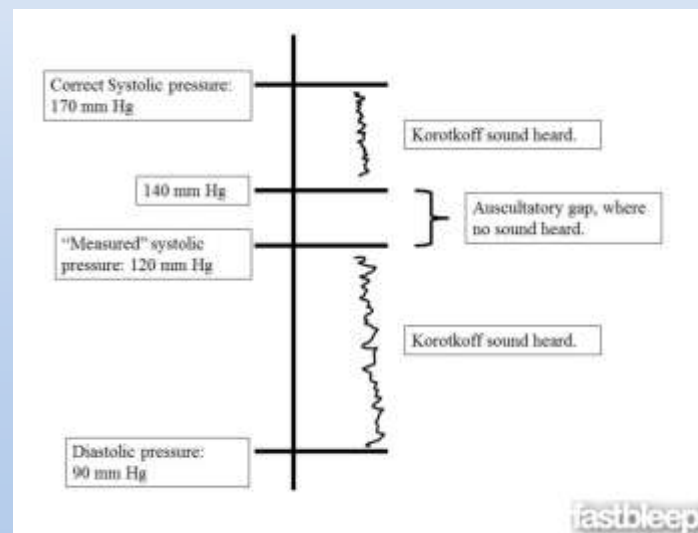
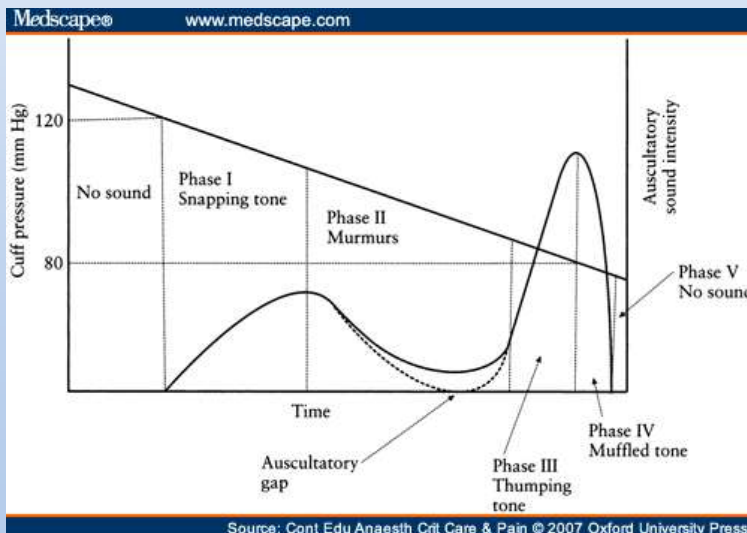
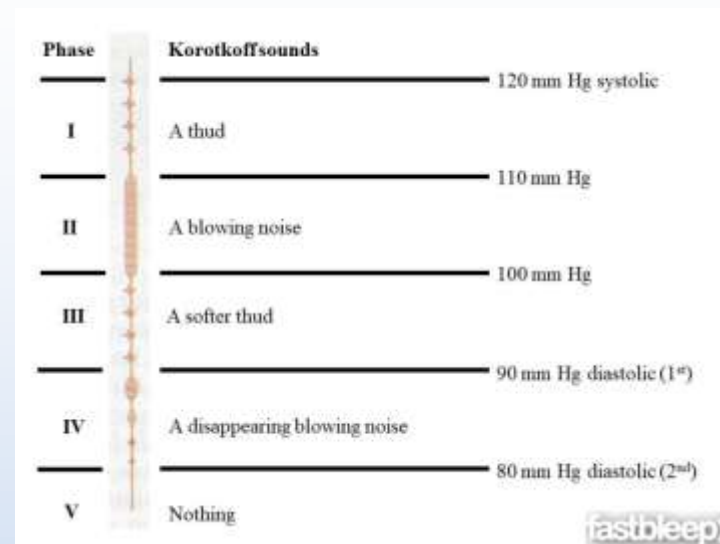
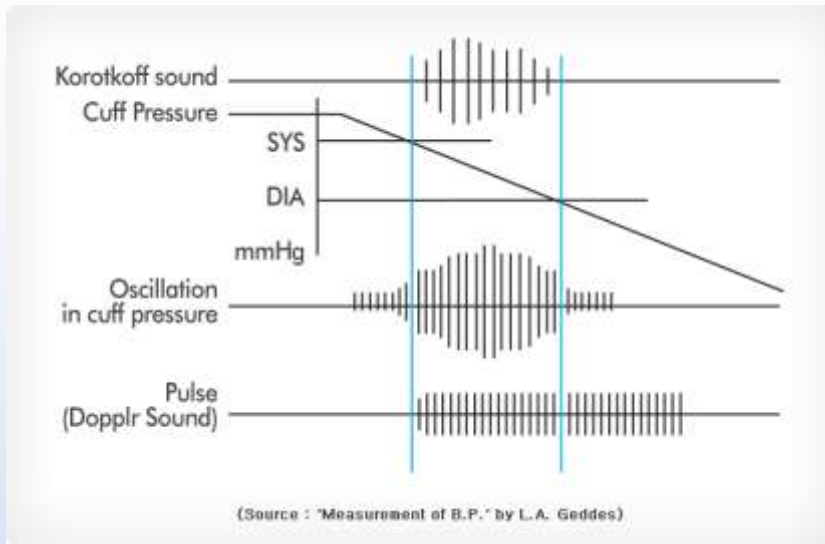


[www.fbmi.cvut.cz](http://www.fbmi.cvut.cz)

Oscilometrický záznam TK

měření a registrace mechanických  
veličin

# Oscilometrie vs. Auskultační metoda



Vliv „poslechové mezery“ - může vést k podcenění systolického krevního tlaku

měření a registrace mechanických veličin

# Oscilotonometrie – automatický tonometr

Falešné hodnoty TK

Široká manžeta – hodnoty falešně nižší

Úzká manžeta – hodnoty falešně vyšší



[www.mediset.cz](http://www.mediset.cz)

Manžeta	Šířka gumového vaku (cm)	Délka gumového vaku (cm)	Obvod paže (cm)
novorozenecká	3	6	< 6
kojenecká	5	15	6–15
dětská	8	21	16–21
malá dospělá	10	24	22–26
dospělá	13	30	27–34
velká dospělá	16	38	35–44
stehenní dospělá	20	42	45–52

NĚMCOVA, H. Měření krevního tlaku, *Interní medicína pro praxi*, 8/2006. Vol 9, s. 396.

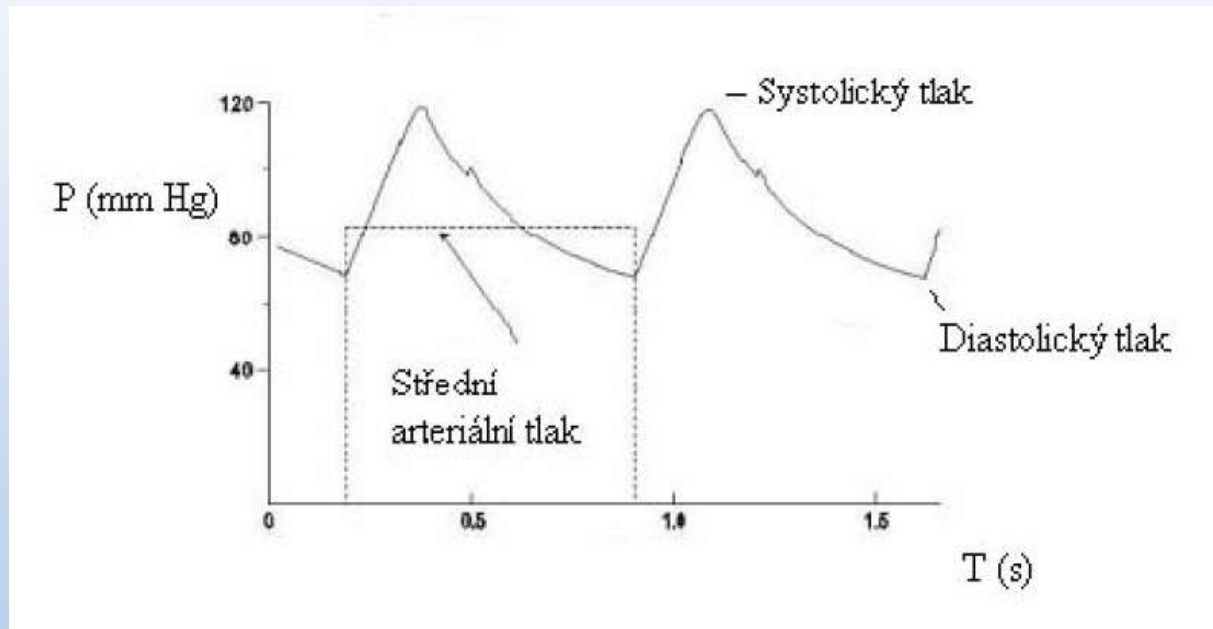
měření a registrace mechanických  
veličin

# Monitorované hodnoty krevního toku

- **Systolický tlak (SP)** – při srdeční systole (tepový objem, rychlost proudění, roztažnost tepen, viskozita)
- **Distolický tlak (DP)** – při diastole srdce (roztažnost tepen, odpor cév, viskozita, délka srdečního cyklu)
- **Střední arteriální tlak (MAP)** – průměrný perfusní tlak během celého cyklu, násobek srdečního výdeje a periferního odporu cév
- **Srdeční výdej (CO)** – ovlivňuje frekvence, roztažnost cév, roztažení srdeční svaloviny, ...
- **Periferní odpor cévního řečiště (SVR)** – ovlivněn délkou řečiště, viskozitě krve a poloměru odporových cév (arterie-svalová vlákna)  $SVR=8\eta \cdot l/\pi \cdot r^4$
- $MAP = CO \times SVR$  ,  $MAP = 1/3 SP + 2/3 DP$
- **Hydrostatický tlak (HP)** –  $HP = h\rho g$ , v krevním oběhu úměrný sloupci krve mezi srdcem a periferní tepnou

# Monitorované hodnoty krevního toku

- Tlak na stěnu cévy – pomocí Laplaceova zákona,  $p=2\tau/r$ , kde  $r$  je poloměr cévy a  $\tau$  je napětí stěny cévy.

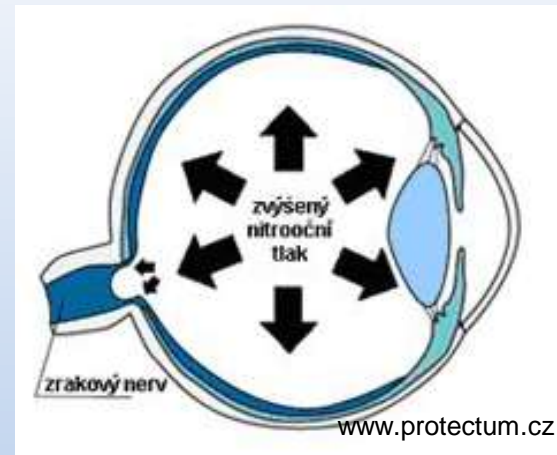


# Nitrooční tlak

Běžná tonometrická metoda používaná v oftalmologii.  
Důležitý pro včasnou diagnostiku očních chorob, např. glaukomu.

Metoda měření – Tonometrie

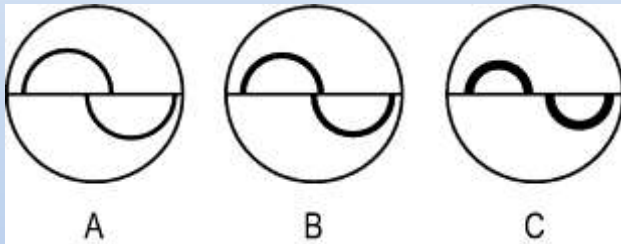
- Palpační metoda (subjektivní)
- Aplanační tonometrie
- Impresní tonometrie
- „Puls air“ tonometrie



Útisk zřakového nervu

# Aplanační tonometrie

- Základem Imbert – Fickův zákon  
 $P \cdot A = F$ , P - nitrooční tlak v mmHg,  
A - oploštěná plocha, F - působící síla
- Nutná anestezie bulbu
- Aplikace fluoresceinu
- Štěrbínová lampa
- Goldmanův, Perkinsův a. t. – konst. A
- Maklakovův, Tonomat a. t. – konst. F



Goldmanův aplanační tonometr



www.opthalmicequipment.com



Perkinsův tonometr [www.nteyes.com](http://www.nteyes.com)



www.icoph.org

měření a registrace mechanických veličin



# Aplanační tonometry

Tonomat 1964

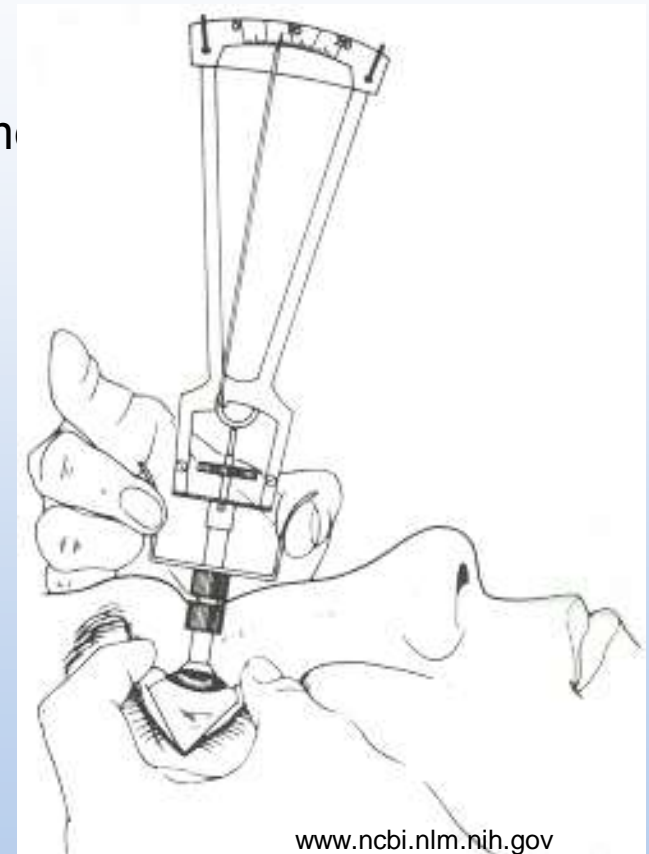
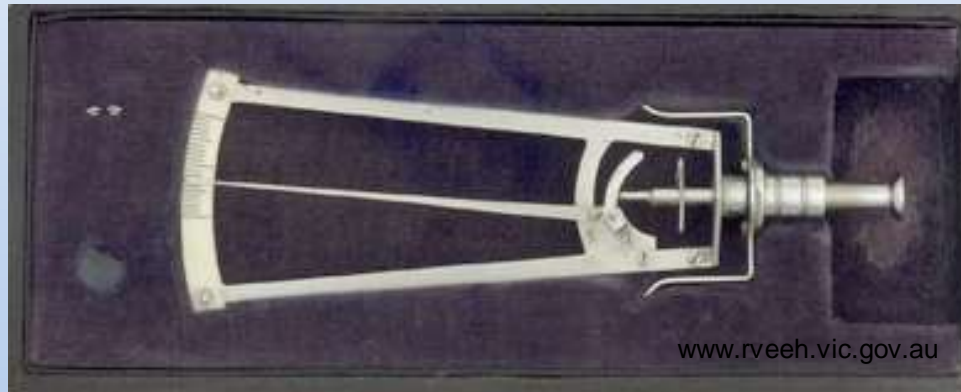


Maklakovův t. 1885

měření a registrace mechanických  
veličin

# Impresní tonometrie

- Měření nitroočního tlaku pomocí hloubky vnoření tyčinky do rohovky
- přesně stanovené parametry tonometru (průměr a váha tyčinky)
- Podoba hloubkoměrům
- Nutná anestezie bulbu
- Vyšetření v leže



Schiötzův Tonometr

měření a registrace mechanických  
veličin

# Impresní tonometry



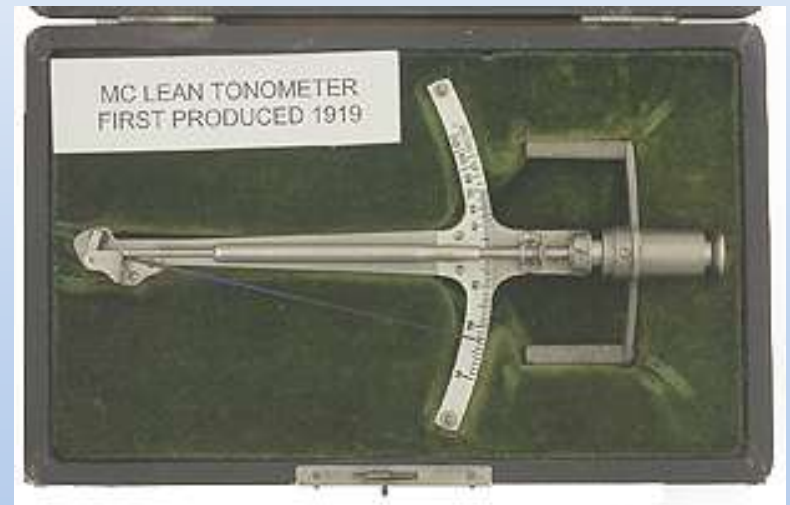
Von Grafův t. 1863



Snellův t. 1872



Gradlův t. 1912

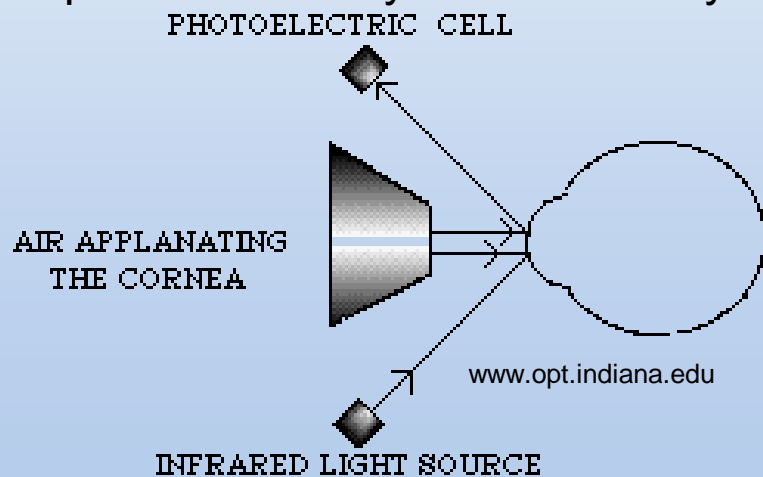


McLeansův t. 1919

měření a registrace mechanických  
veličin

# „ puls air“ tonometrie

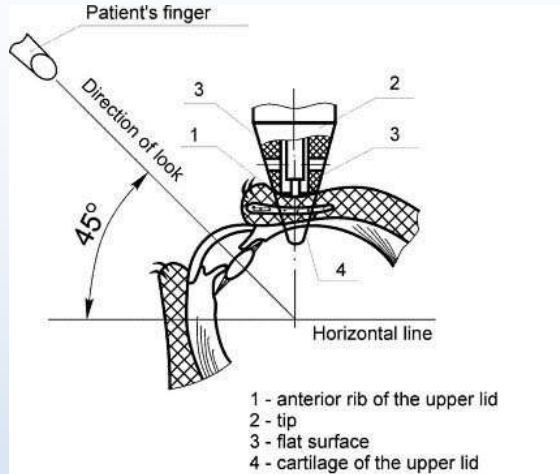
- Bezkontaktní tonometrie
- Oploštění rohovky pomocí nárazu vzduchu
- Bez nutnosti anestezie bulbu
- 3 komponenty
  - pneumatický systém
  - aplanační monitorovací systém
  - opticko-elektrický zaměřovací systém



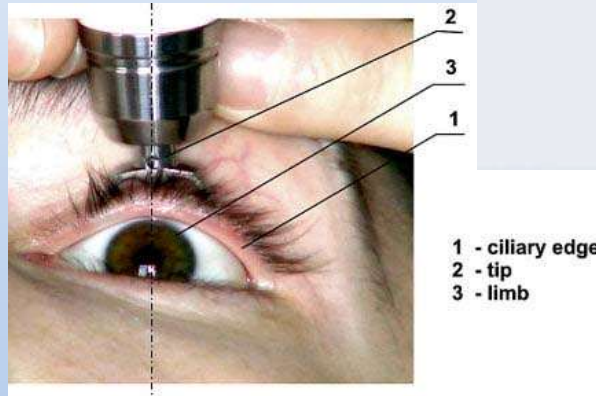
Bezkontaktní tonometr

měření a registrace mechanických  
veličin

# Kapesní tonometry



Přenosný digitální tonometr k měření nitroočního tlaku Diaton



IOPEN tonometr

měření a registrace mechanických veličin

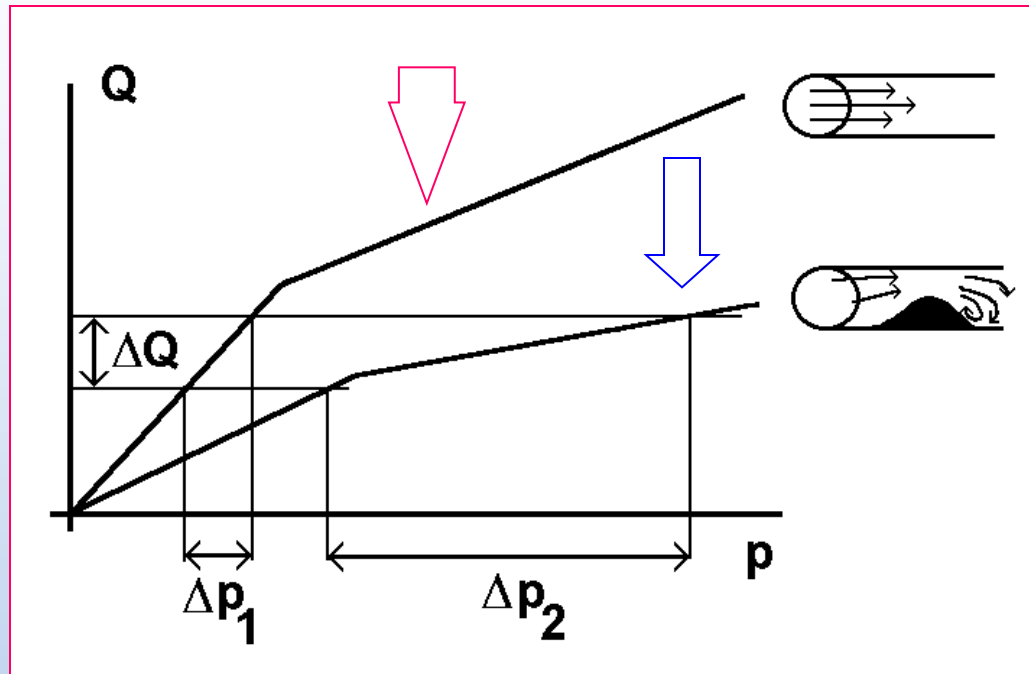
# Měření mechanické práce a výkonu

- Vhodné pro kardiologii, fyziologii, sportovní lékařství
- $W = F \cdot s \cdot \cos \alpha$  (pozor na existenci statické práce)
- Měření pomocí ERGOMETRŮ (spiroveloergometrů), KALORIMETRIE
- Současné monitorování EKG, TK, dechové objemy



měření a registrace mechanických  
veličin

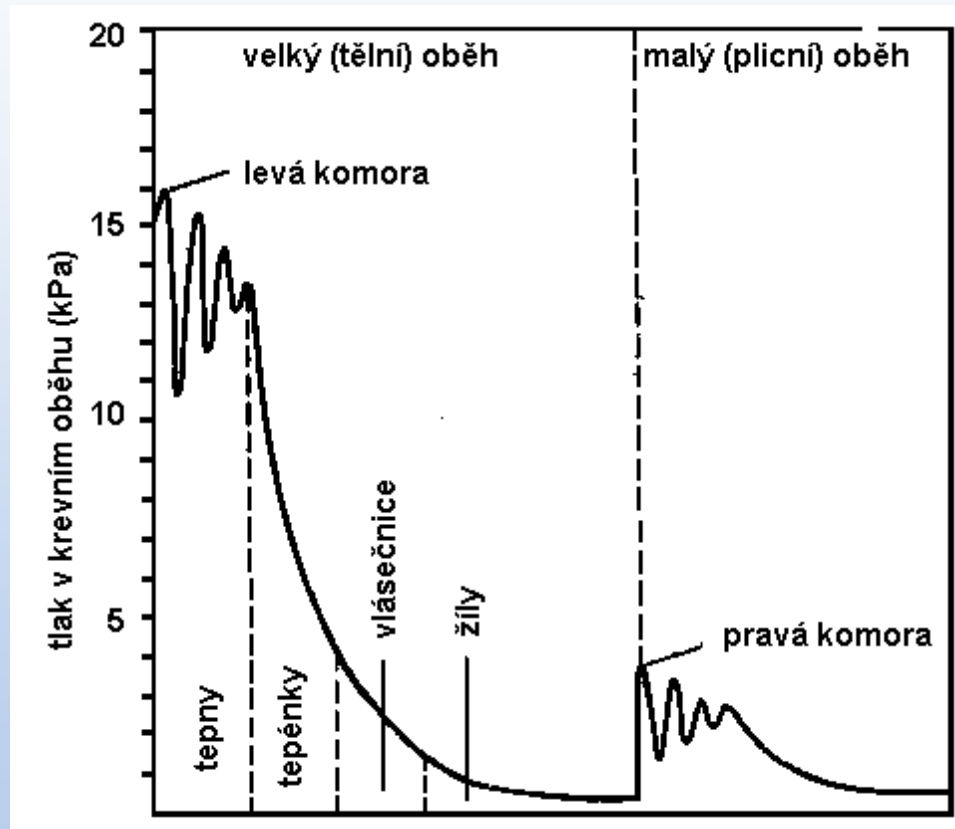
# Mechanický výkon srdce - průtok krve v cévě s překážkou



•Obr. Dle Camerona a kol., 1999

- Horní křivka popisuje průtok krve v cévě bez obstrukce, dolní křivka v cévě aterosklerotickým zúžením (stenózou).
- Ke stejnému zvýšení průtoku  $\Delta Q$  je třeba většího zvýšení tlaku  $\Delta p$ .

# Mechanický výkon srdce - tlak v jednotlivých částech krevního oběhu



měření a registrace mechanických veličin



# Mechanický výkon srdce - periferní odpor cév

- Analogie elektrického odporu (  $R = U/I$  )
- napětí  $U$  odpovídá tlak  $p$
- proudu  $I$  odpovídá průtočný objem  $Q$
- $R = \Delta p/Q$
- Vycházíme z Hagen-Poiseuilleova vzorce pro průtočný objem:

$$Q = \frac{\pi r^4 \Delta p}{8 \eta \Delta l} \Rightarrow \frac{\Delta p}{Q} = \frac{8 \eta \Delta l}{\pi r^4}$$

- Podíl jednotlivých úseků krevního oběhu na celkovém periferním odporu:

artérie ..... 66 %

(z toho arterioly 40 %)

kapiláry ..... 27 %

vény ..... 7 %

- Při **vasodilaci**  $R$  klesá - zátěž srdce se snižuje
- Při **vasokonstrikci**  $R$  roste - zátěž srdce se zvyšuje

# Mechanický výkon srdce

- Mechanický výkon srdce  
(pro tepovou frekvenci  $70 \text{ min}^{-1}$ ) ..... 1,3 W
- Celkový výkon srdce  
(za klidových podmínek) ..... 13 W
- Celkový výkon lidského organismu  
(v klidu) ..... 115 W

- Pro srdeční sval platí:  
mechanická práce:  $W = \int p \cdot dV$   
práce se koná při vypuzení objemu krve  $dV$  proti vnějšímu tlaku  $p$ . Z malé části se mění též v kinetickou energii krve.

# Práce srdce při jedné systole (odhad)

- $p = \text{konst.} \Rightarrow W = p \cdot \Delta V$

- *Levá komora*

*Pravá komora*

$$p_{\text{stř.}} = 13.3 \text{ kPa}$$

$$p_{\text{stř.}} = 2.7 \text{ kPa}$$

$$\Delta V = 70 \text{ ml}$$

$$\Delta V = 70 \text{ ml}$$

$$W = 0.93 \text{ J}$$

$$W = 0,19 \text{ J}$$

- *Z toho  $W_k$  :*

$$= 0.009 \text{ J}$$

$$= 0,0018 \text{ J}$$

(dle vzorce  $1/2 \cdot \rho v^2 \Delta V$ ,  $\rho = 1.06 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ,

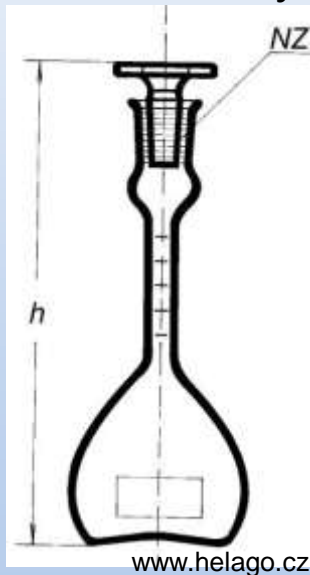
$v_{\text{stř.}} = 0.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , resp.  $0.22 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ )

# Měření mechanických vlastností kapalin (tekutin)

- Hustota
- Viskozita

# Měření hustoty

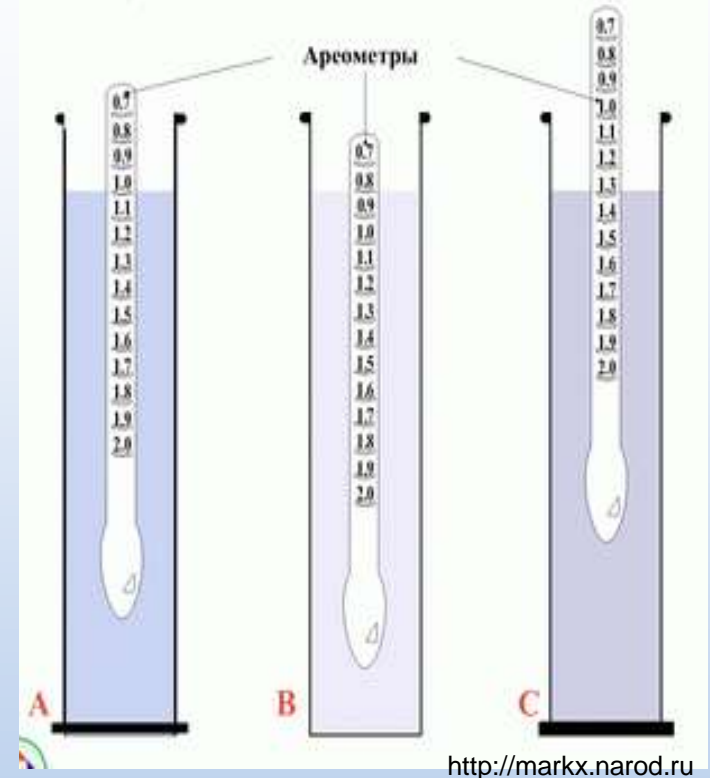
- Měření hustoty prováděno zejména pomocí pykrometrů a hustoměrů (areometrů)
- Funkce hustoměrů na základě Archimédova zákona
- Hustoměry často kombinované s teploměry



pykrometr

## Areometr

- A) střední hustota kapaliny, B)  
nižší hustota kapaliny, C)  
vyšší hustota kapaliny

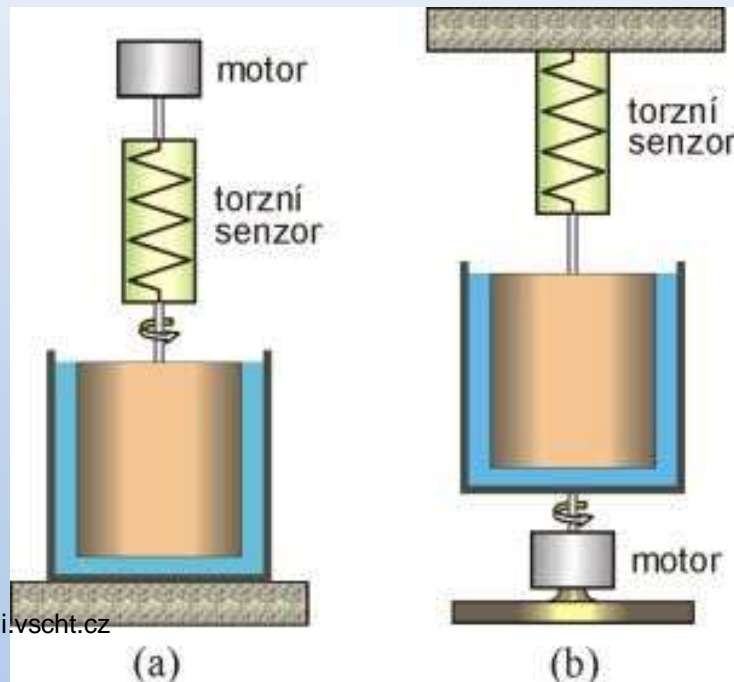


měření a registrace mechanických  
veličin

# Měření viskozity

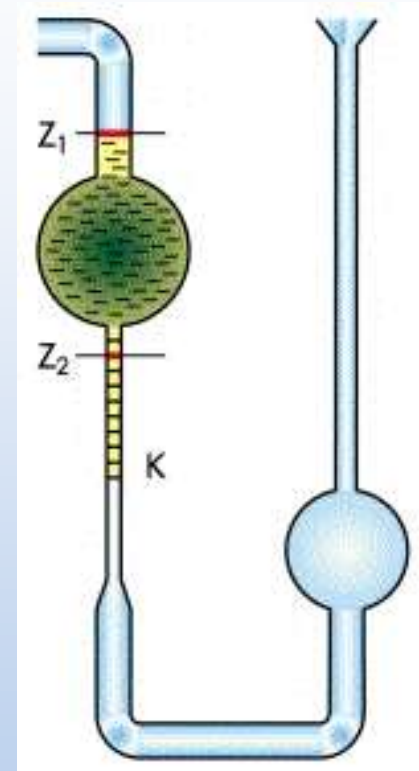
- Viskozita charakterizuje vnitřní tření v kapalinách
- Měření viskozity zejména pomocí výtokových viskozimetrů, tělískových viskozimetrů, rotačních viskozimetrů, bublinkových viskozimetrů a ultrazvukových viskozimetrů

Rotační viskozimetry



<http://vydavatelstvi.vscht.cz>

měření a registrace mechanických veličin



<http://leccos.com>

Ostwaldův viskozimetr

# Měření zvuku a mechanických vibrací

Snímání zvuků vzniklých v lidském těle – **auskultace** (mikrofon, fonendoskop)

Měření šumů a ozev zejména kardiovaskulárního systému

- **Fonokardiografie** (srdeční ozvy monitorovány současně s EKG)
- **Apexkardiografie** (snímání úderů srdečního hrotu)

Zjišťování kvality ozev tělesných orgánů po poklepu (ozvučnost) - **perkuse**

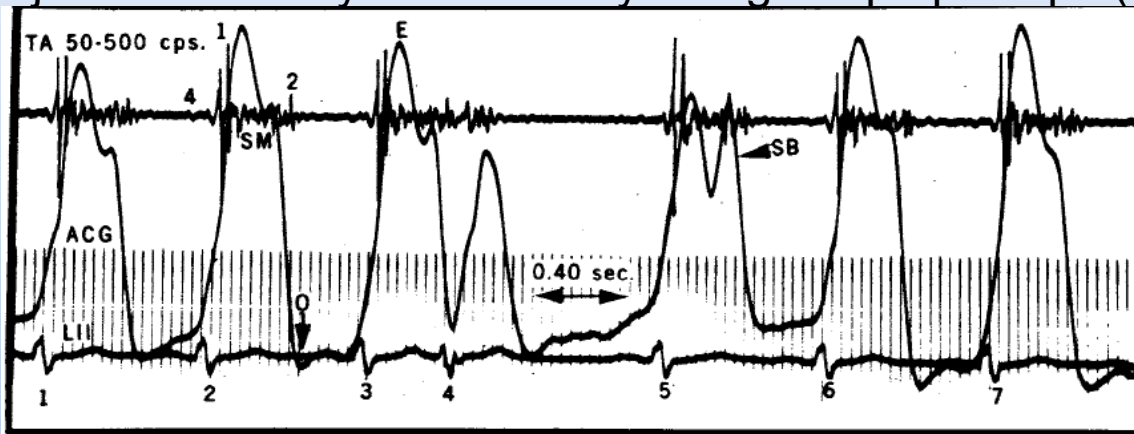


FIGURE 1. Simultaneous recordings of tricuspid area phonocardiogram (TA), apexcardiogram, and lead 2 of electrocardiogram (L 2) in 67-year-old man with minimal coronary artery disease and mitral insufficiency. QRS complexes on electrocardiogram are numbered consecutively. (4, 1, 2 = fourth, first and second heart sounds, respectively; SM = systolic murmur; SB = systolic bulge). See discussion.

## The Postextrasystolic Apexcardiogram

*Chest* 1973;64:747-748

Kenneth B. Desser, Alberto Benchimol  
and James A. Schumacher

měření a registrace mechanických  
veličin

Děkuji Vám za pozornost