

# Měření a registrace mechanických veličin

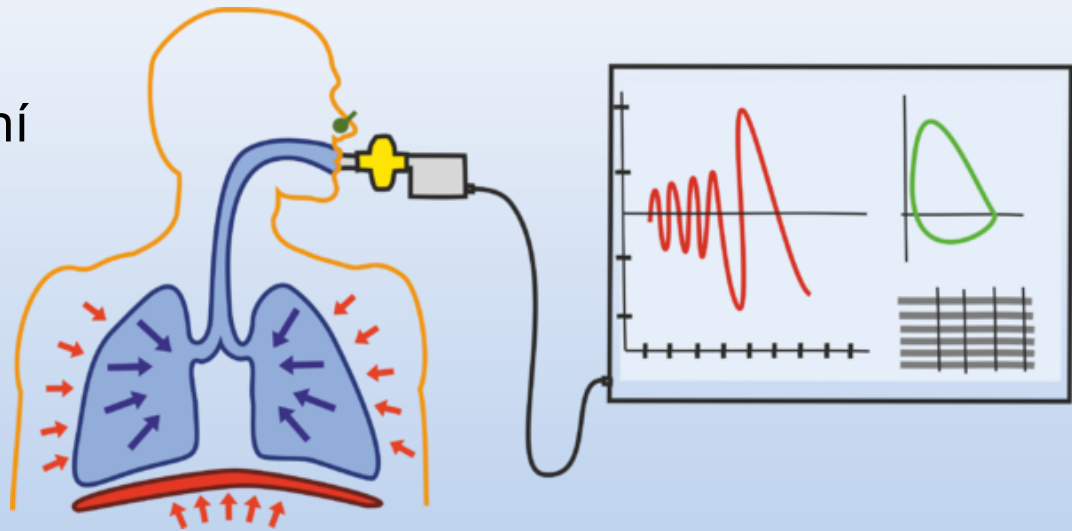
Vladan Bernard rev. 2019

# 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

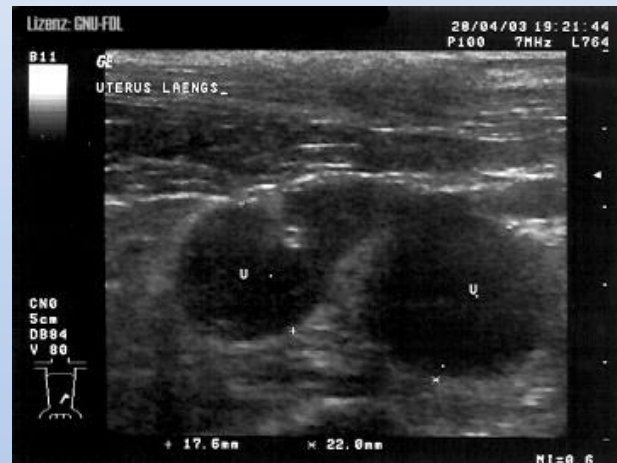
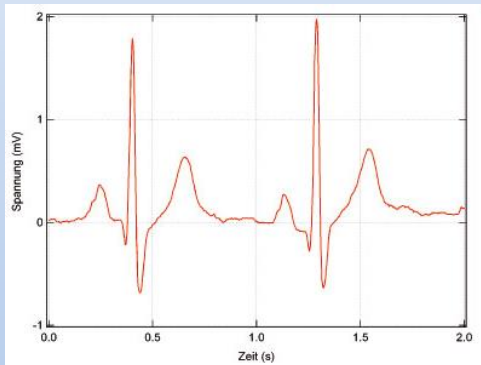
# Biosignál

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???

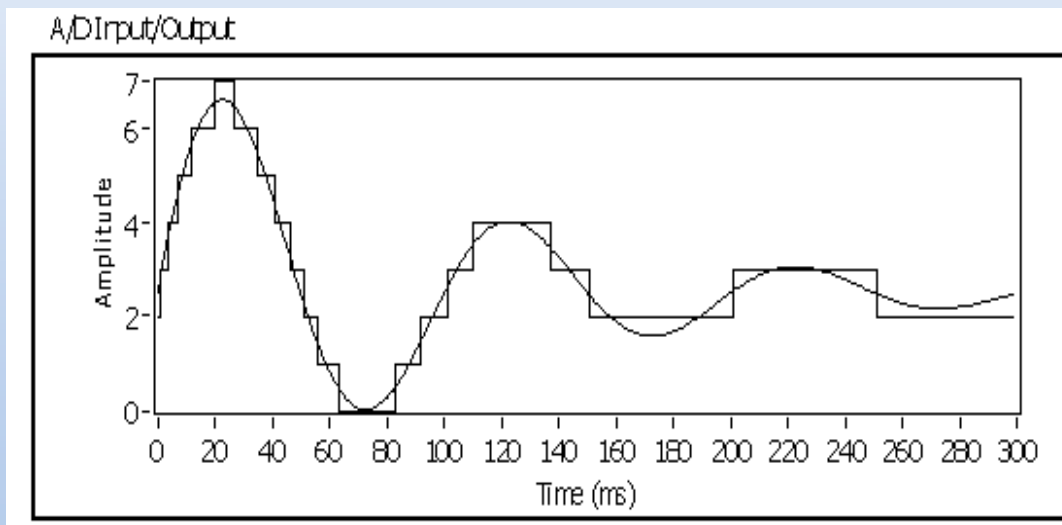
# Proces zpracování biosignálů – „mechanické povahy“

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



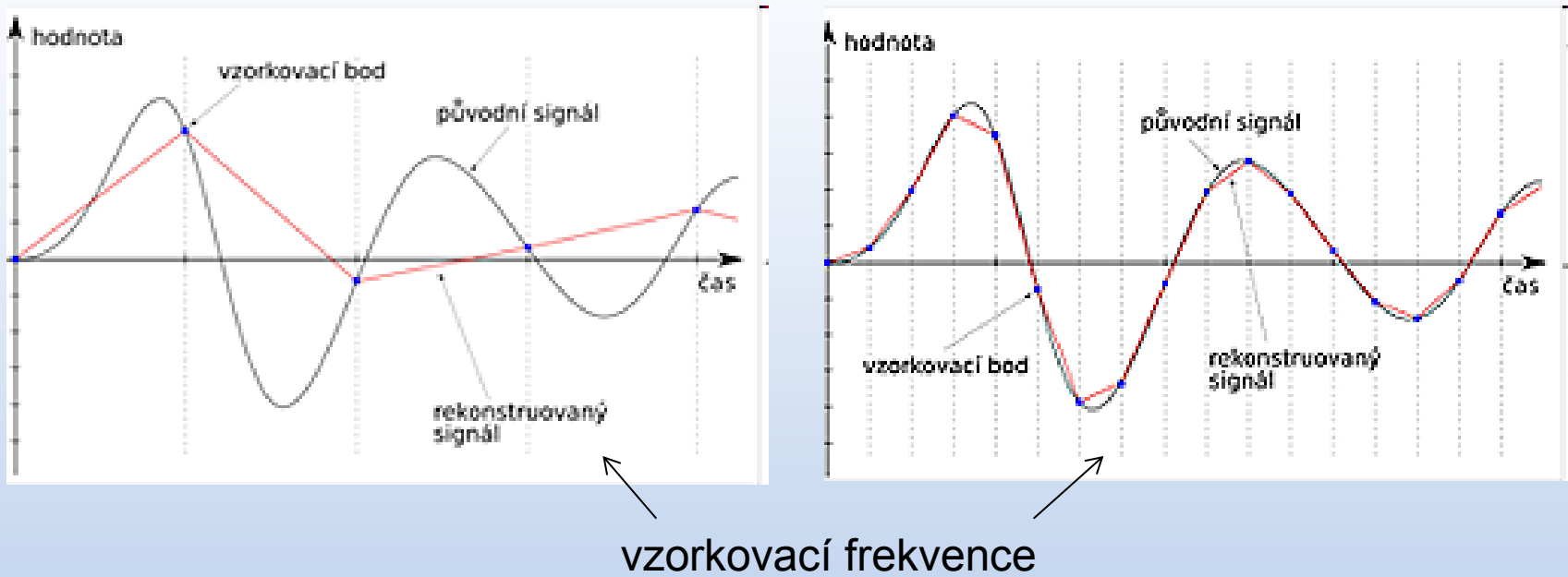
Vzorkovací frekvence  $f$   
Nyquistova frekvence  $f_N$   
max.  $2 f_N = f$

<http://cnx.org>

měření a registrace mechanických  
veličin



# Vzorkování signálu



**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

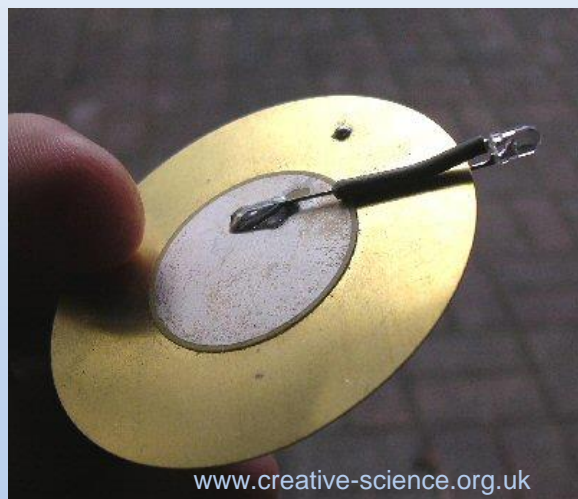
# Typy A/D převodníků

- **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

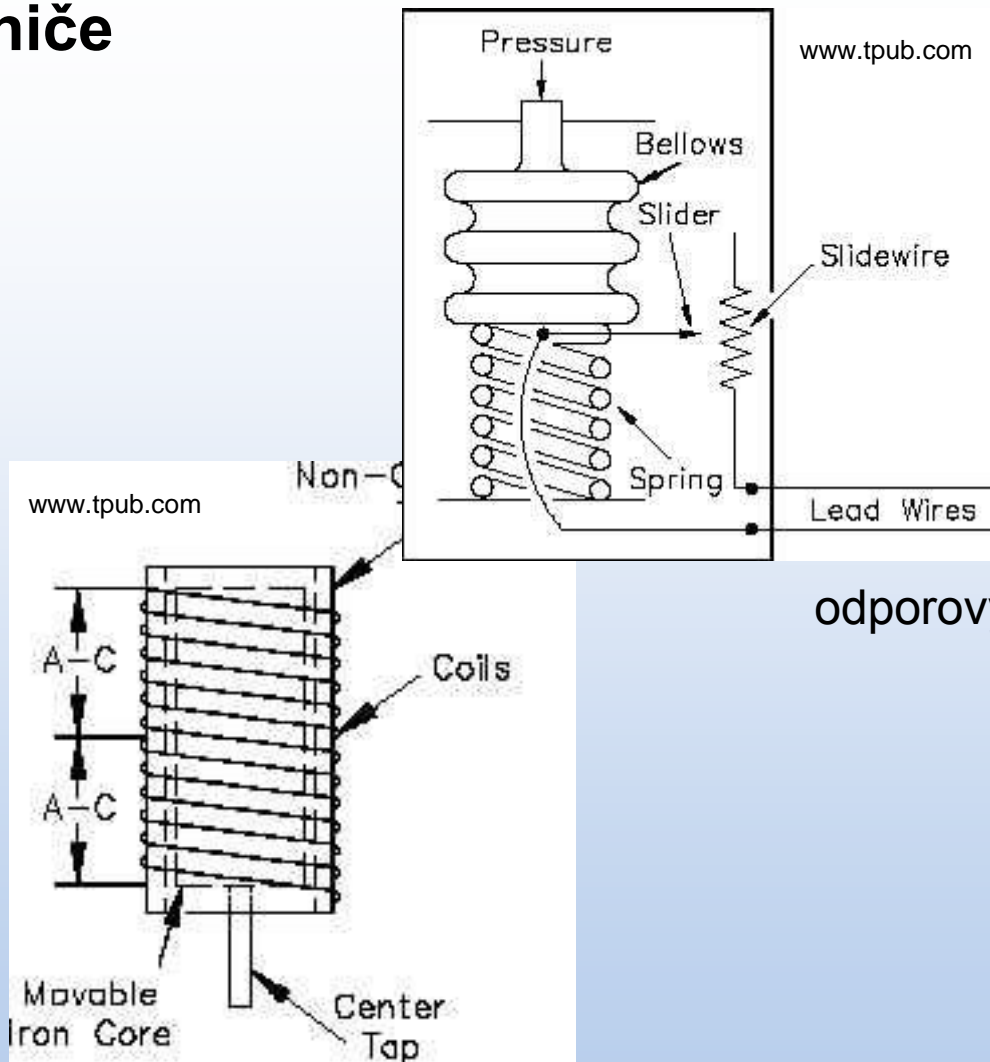
# Mechanoelektrické měniče

vhodné pro měření tlaku

- odporové
- indukční
- kapacitní
- piezoelektrické



piezoelektrický



indukční

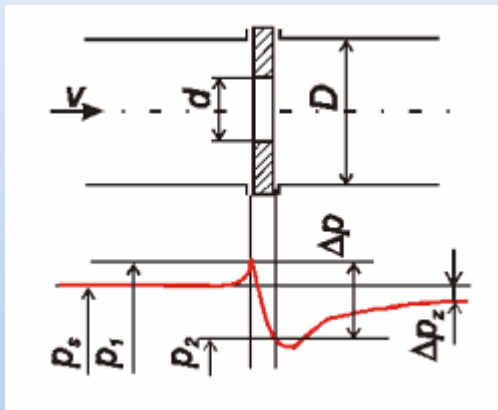
odporový

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**

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

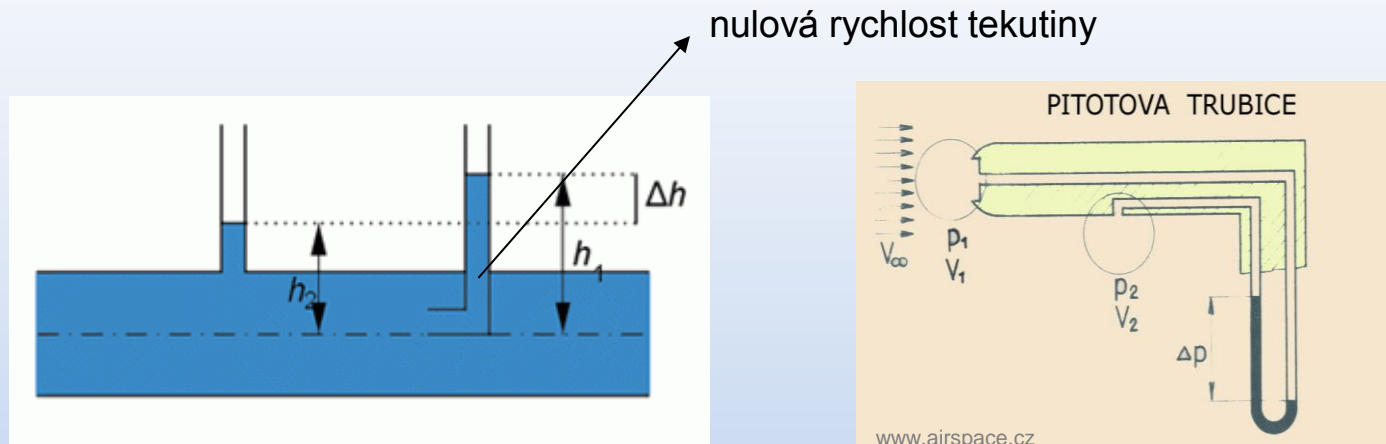
$\eta$ -viskozita,  $\Delta L$  délka trubice



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.

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

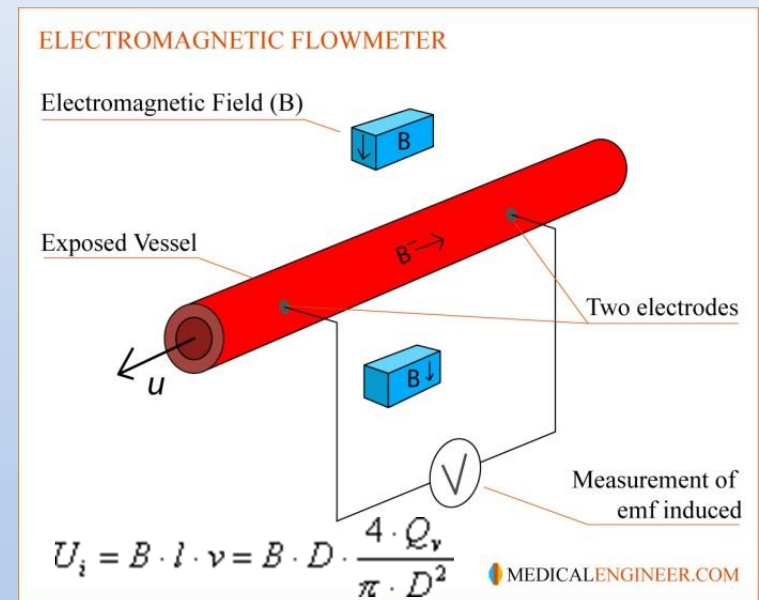
$U_i$  - indukované napětí,  $l$  - délka trubice,  $B$  - magnetická indukce,  $D$  - průměr trubice,

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

měření a registrace mechanických veličin



# Dýchací soustava - spirometr

Přístroj pro diagnostiku dýchací soustavy - spirometr

**Určený zejména pro stanovení:**

- množství ventilovaného vzduchu
- rychlost průtoku vzduchu

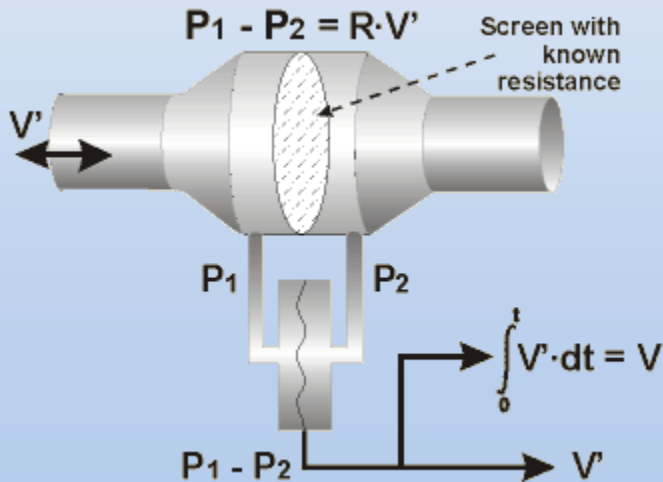
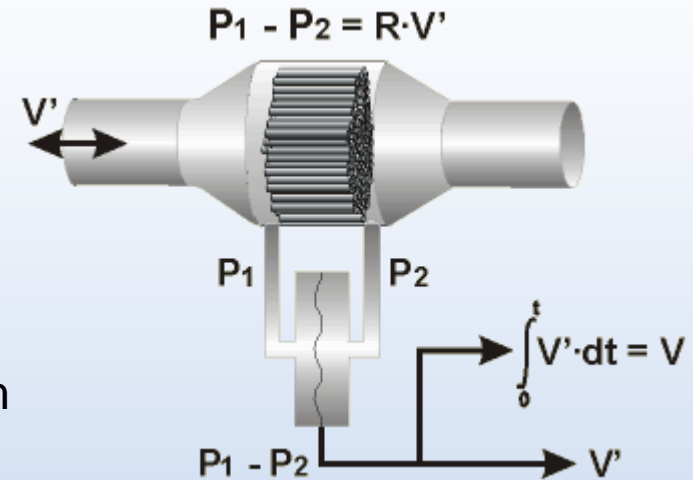
**Funkce měření průtoku plynu (V/t) založena na :**

- 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

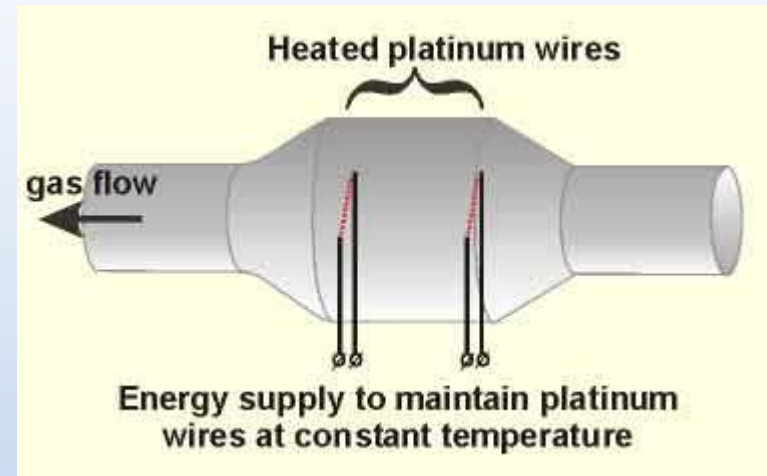
měření a registrace mechanických veličin

# Spirometr - anemometr

Spirometr obsahuje dvojici platinových drátků vyhřívaných na konstantní teplotu

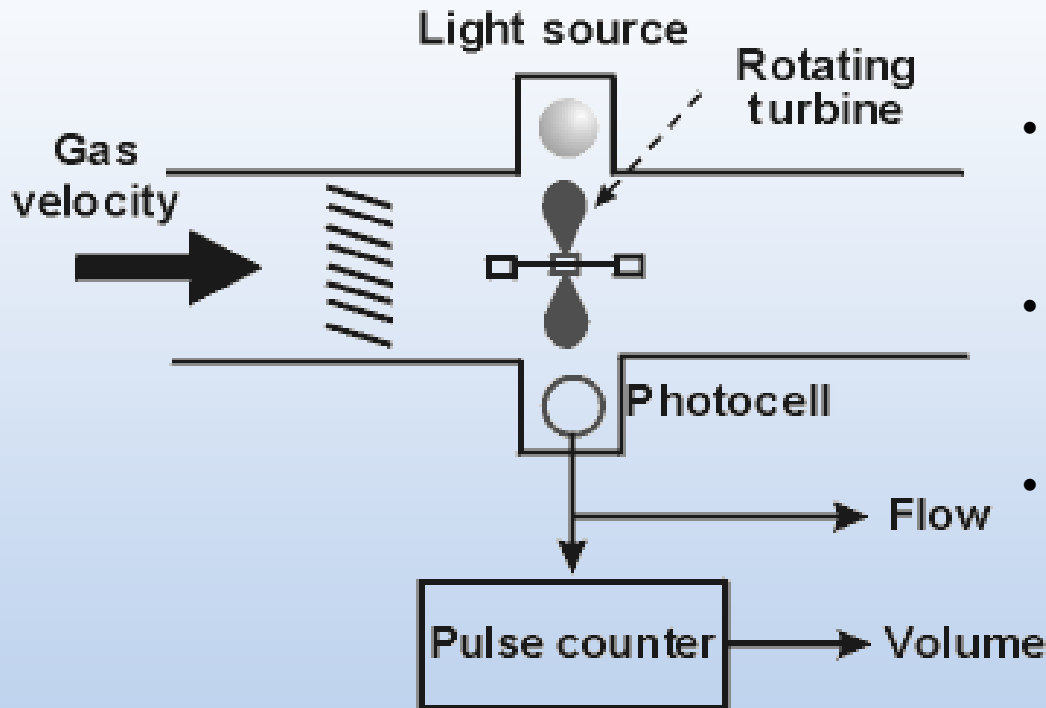
Ochlazování drátků úměrné objemu protékajícího vzduchu

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

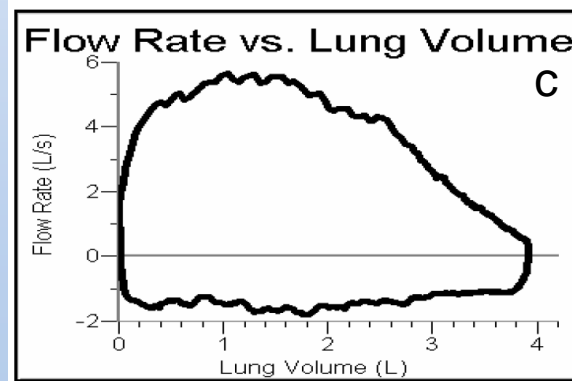
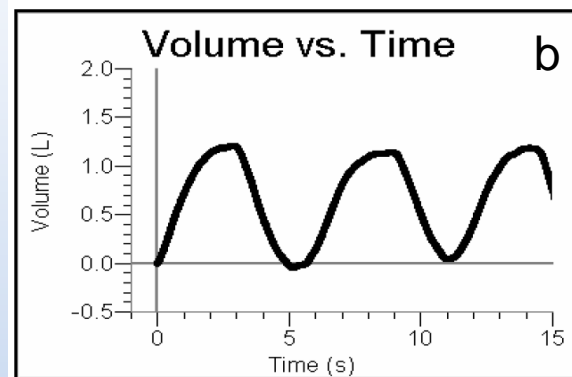
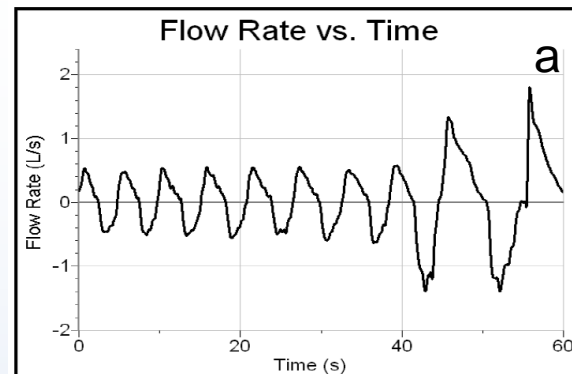


Manuál Spirometr  
Vernier SPR BTA

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

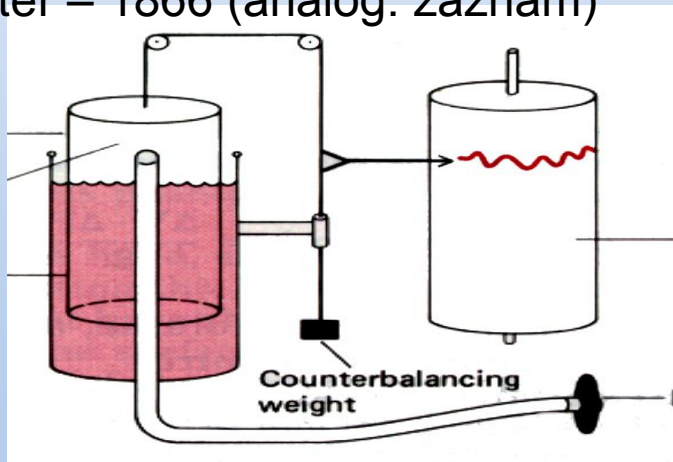


Manuál KoKo Spirometry



Spirometr bratří Droszczówich -1961

## W. Salter – 1866 (analog. záznam)



## Multifunkční spirometr - současnost



měření a registrace mechanických veličin

# Měření tlaku

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

# Tlak krve

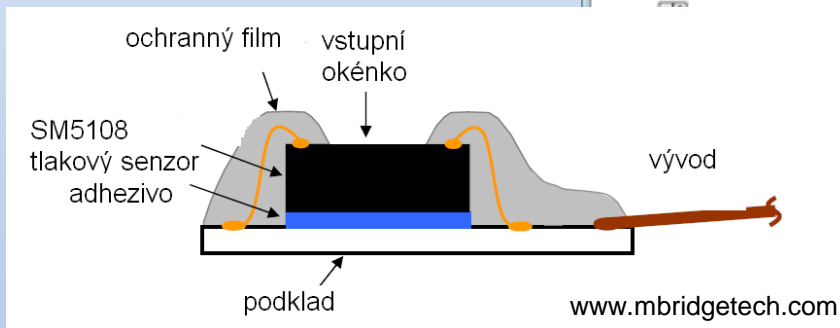
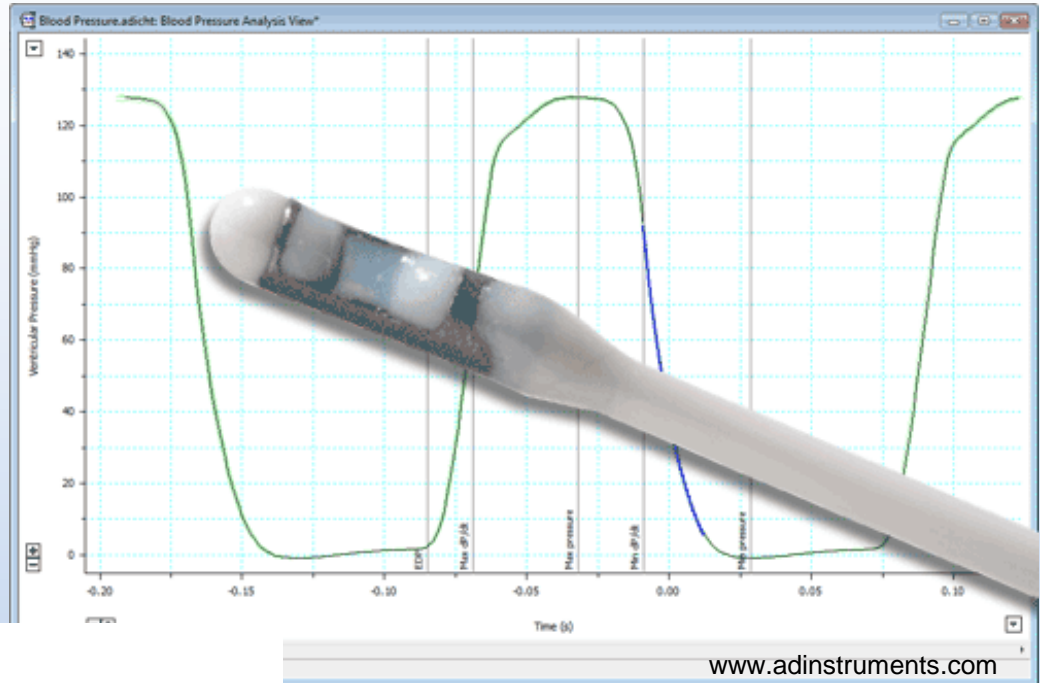
Důležitý parametr pro diagnostiku kardiovaskulárního systému.  
Měření prováděno v tepnách, žilách a srdci.

- 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

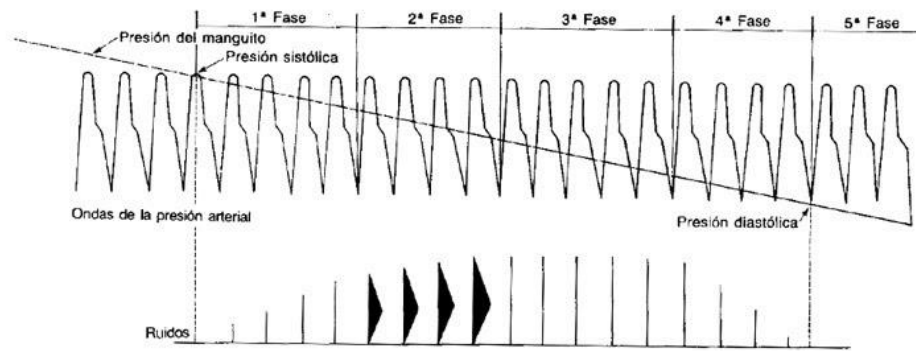
Využití laminárního a turbulentního proudění krve v manžetou stlačené *a.brachialis*. Popis průtoku krve Reynoldsovým číslem.

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

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

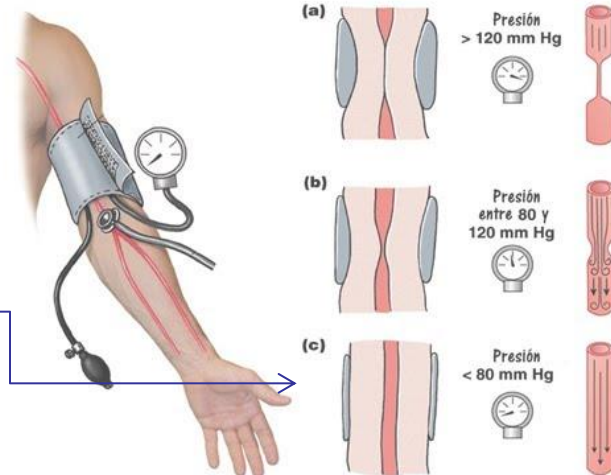
- **Rtuťový tonometr** - funkce na základě hydrostatického tlaku sloupce rtuti v kapiláře, jednoduchá obsluha, toxicita rtuti, nutnost svislé polohy
- **Aneroidový tonometr** - obsahují aneroid, lehké, fungují ve všech pozicích, nutnost pravidelné údržby
- **Elektronický tonometr (automatický)** - obsahují 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



## Medición manual de la presión arterial

Přechod turbulentního  
proudění krve v laminární



# Auskultační metoda – rtuťový tonometr



Tonometr - 1896



Tonometr - současnost

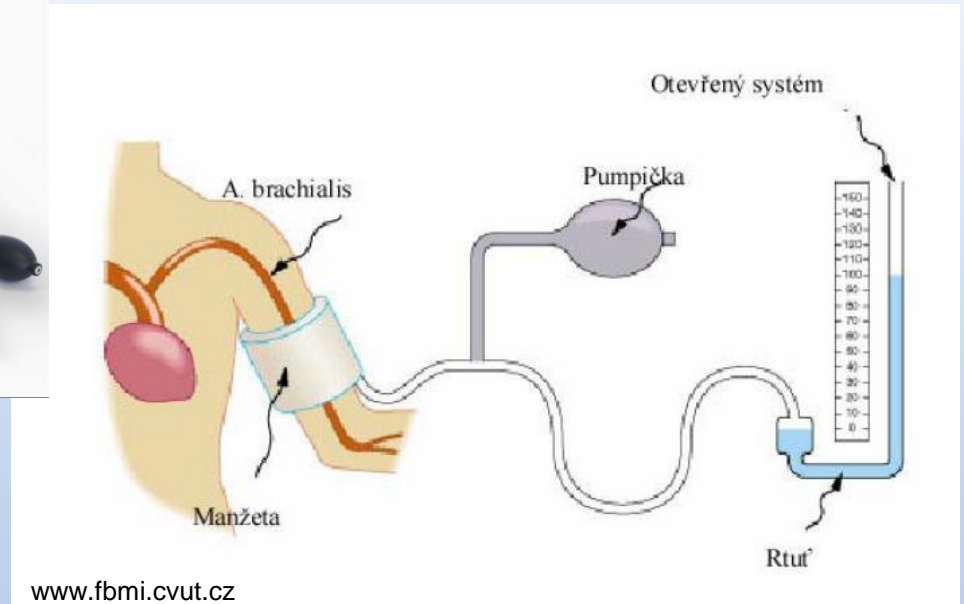


Schéma auskultační metody měření TK pomocí rtuťového tonometru

měření a registrace mechanických veličin

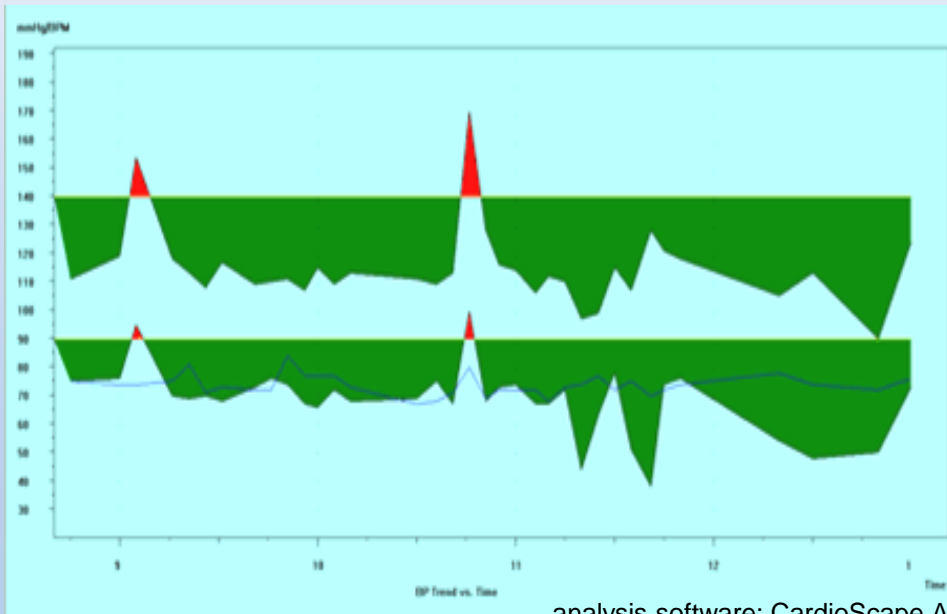
# Auskultační metoda - aneroid



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



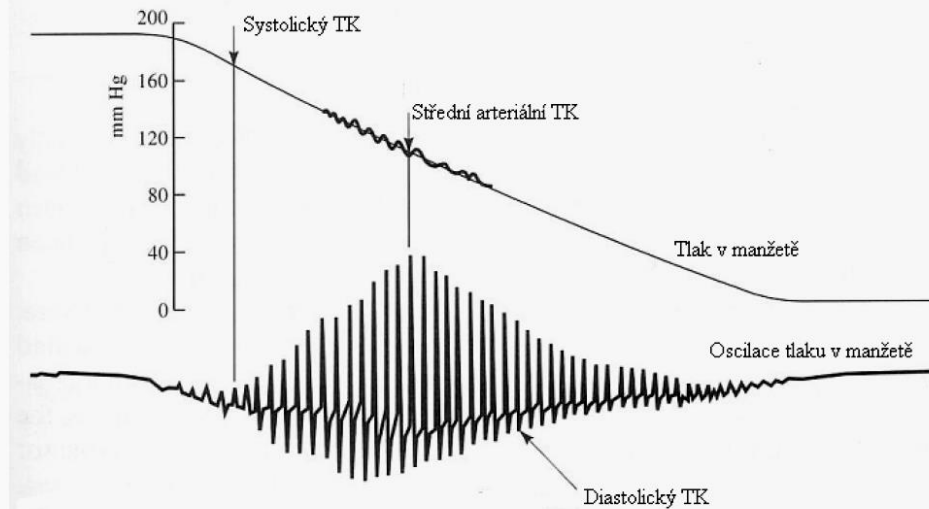
Digitální  
oscilotonometr

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



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

Pachonův oscilotonometr  
1. pol. 20. stol



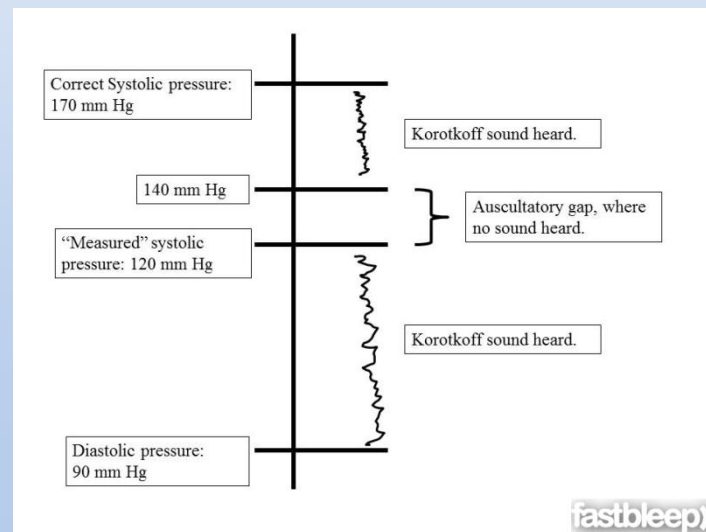
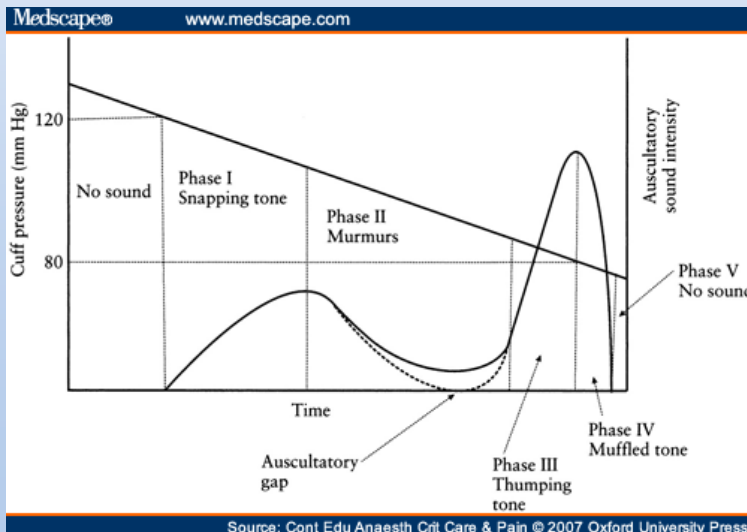
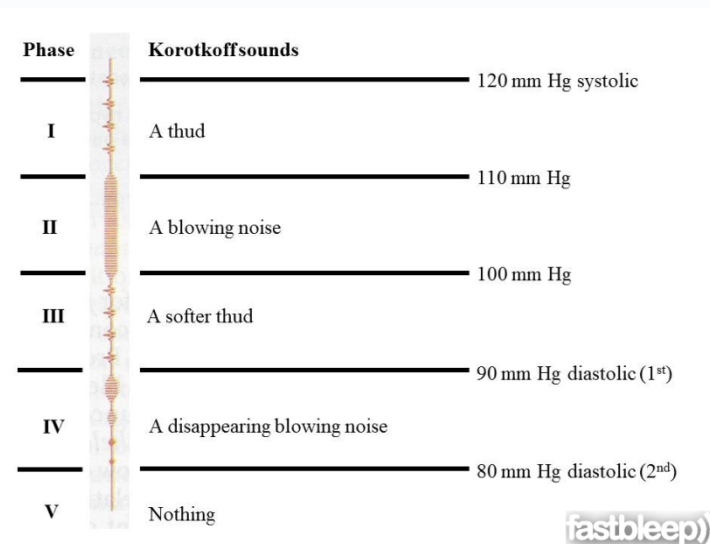
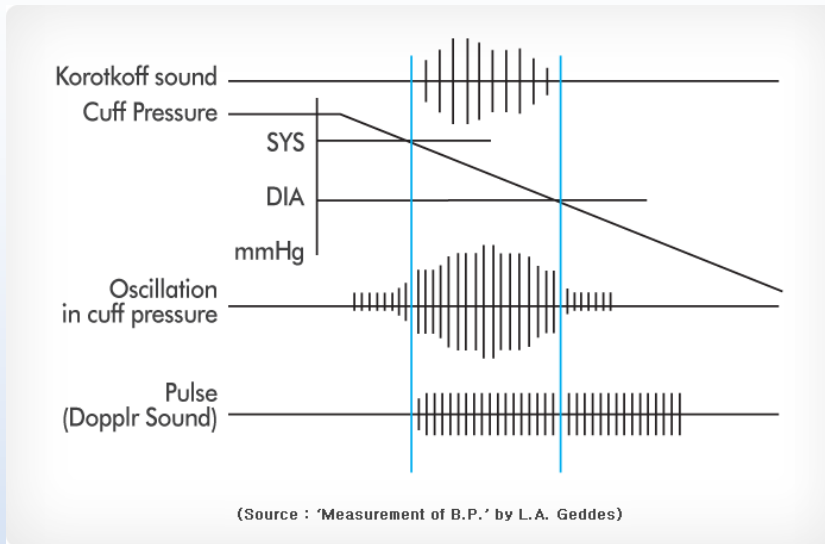
[www.fbmi.cvut.cz](http://www.fbmi.cvut.cz)

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

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.

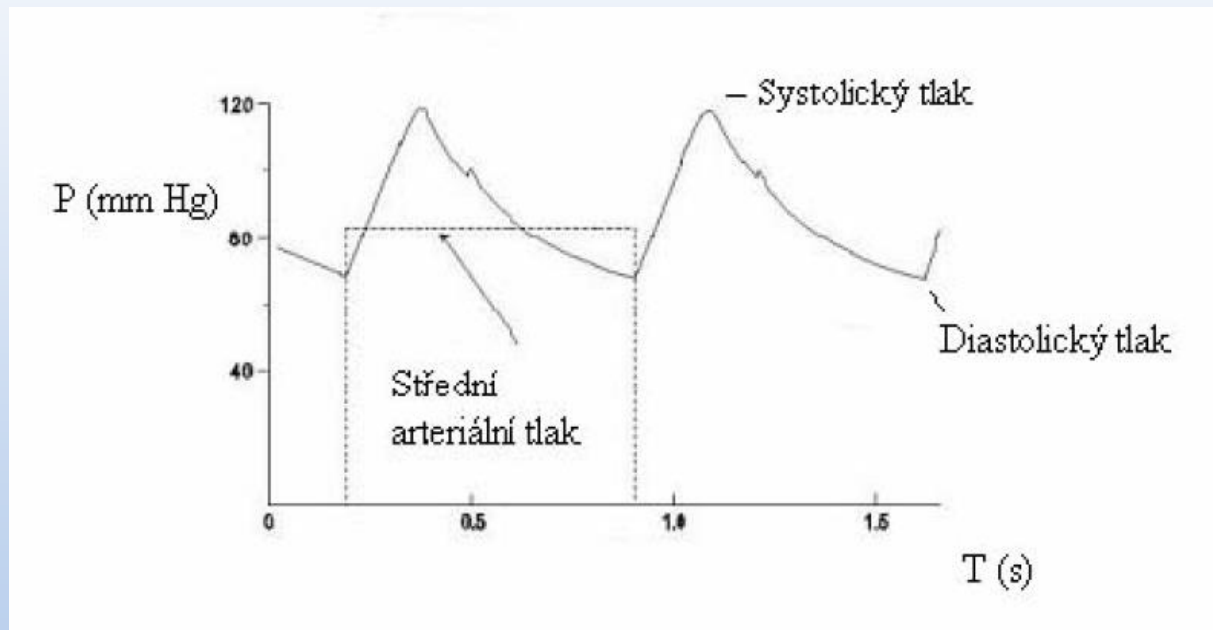
měření a registrace mechanických  
veličin

# 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.

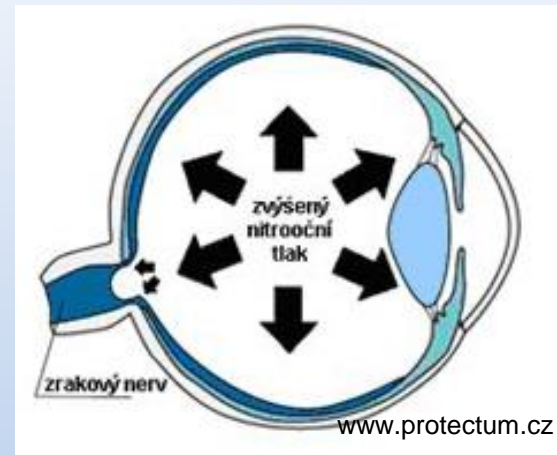


# Nitrooční tlak

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

Metoda měření – Tonometrie

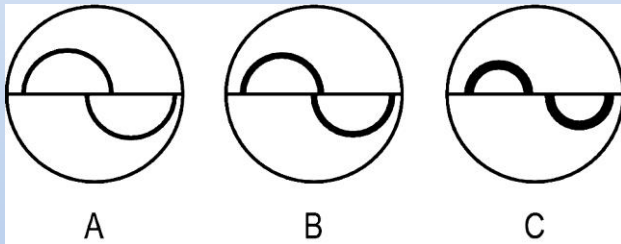
- Palpační metoda (subjektivní)
- Aplanační tonometrie
- Impresní tonometrie
- „Puls air“ tonometrie



Útisk zrkového 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



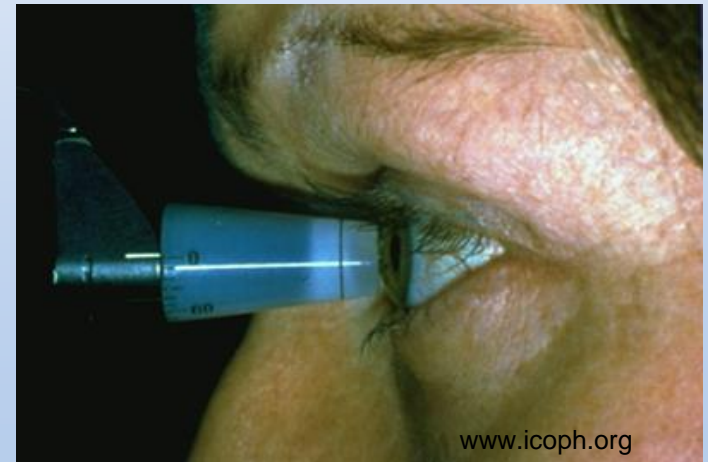
Goldmanův aplanační tonometr



www.opthalmicequipment.com



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



www.icoph.org

měření a registrace mechanických veličin

# Aplanační tonometry

Tonomat 1964

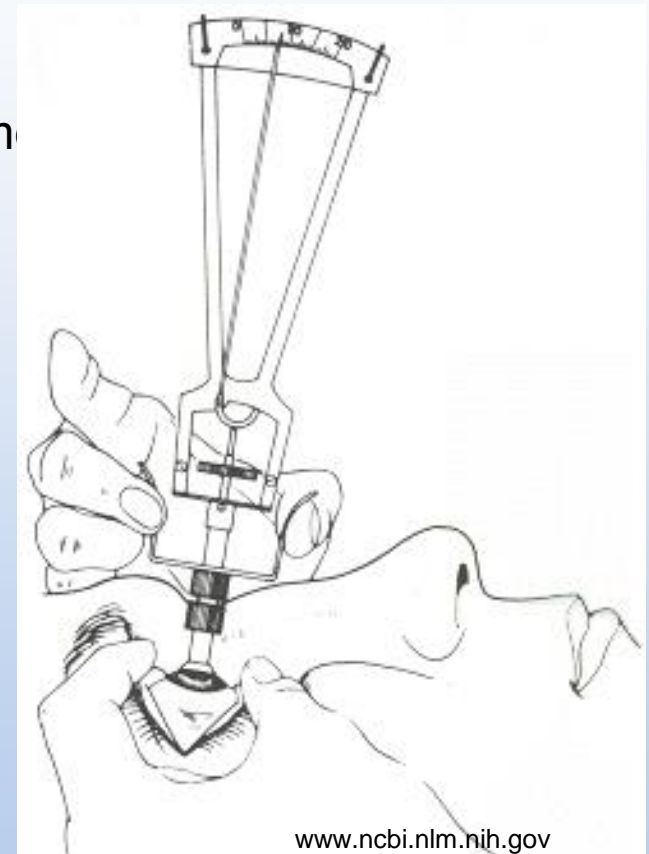


Maklakovův t. 1885

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

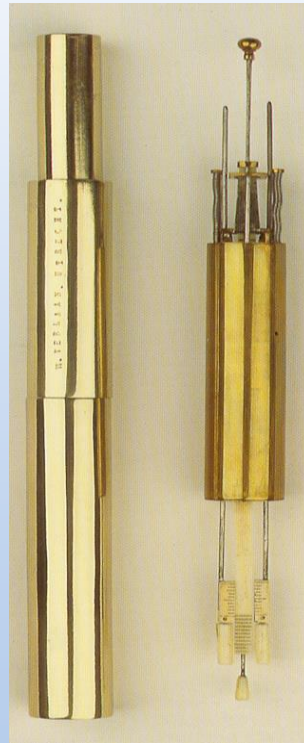


# Impresní tonometry

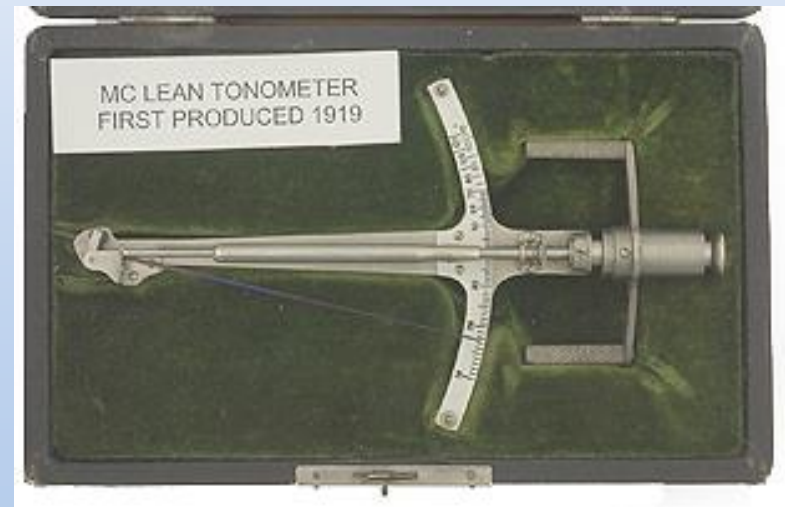


Von Grafův t. 1863

Snellův t. 1872



Gradlův t. 1912

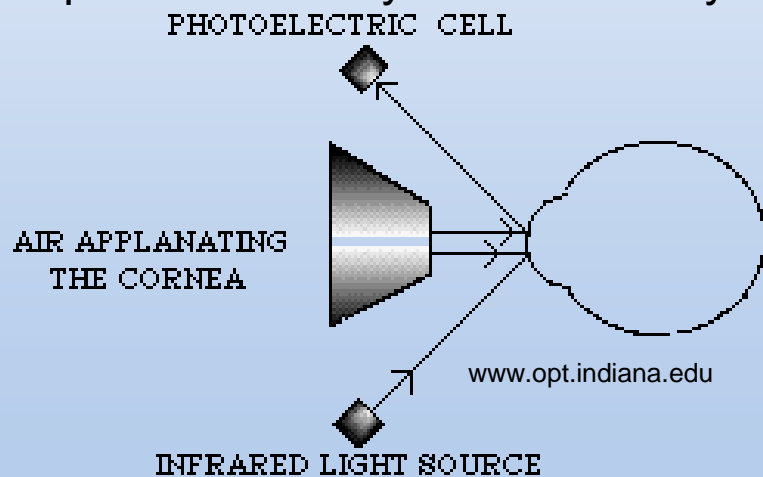


McLeansův t. 1919

měření a registrace mechanických  
veličin

# „puls air“ tonometrie

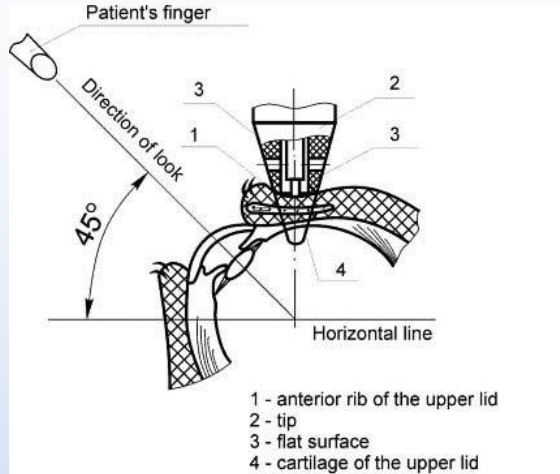
- Bezkontaktní tonometrie
- Oploštění rohovky pomocí nárazu vzduchu
- Bez nutnosti anestezie bulbu
- 3 komponenty
  - pneumatický systém
  - aplanační monitorovací systém
  - opticko-elektrický zaměřovací systém



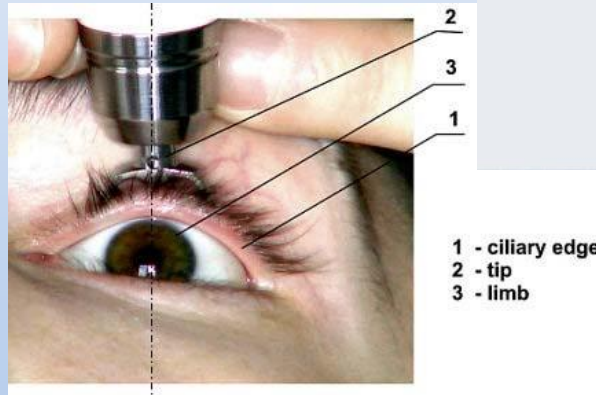
Bezkontaktní tonometr

měření a registrace mechanických veličin

# Kapesní tonometry



Přenosný digitální tonometr k měření nitroočního tlaku Diaton



IOPEN tonometr

# Měření mechanické práce a výkonu

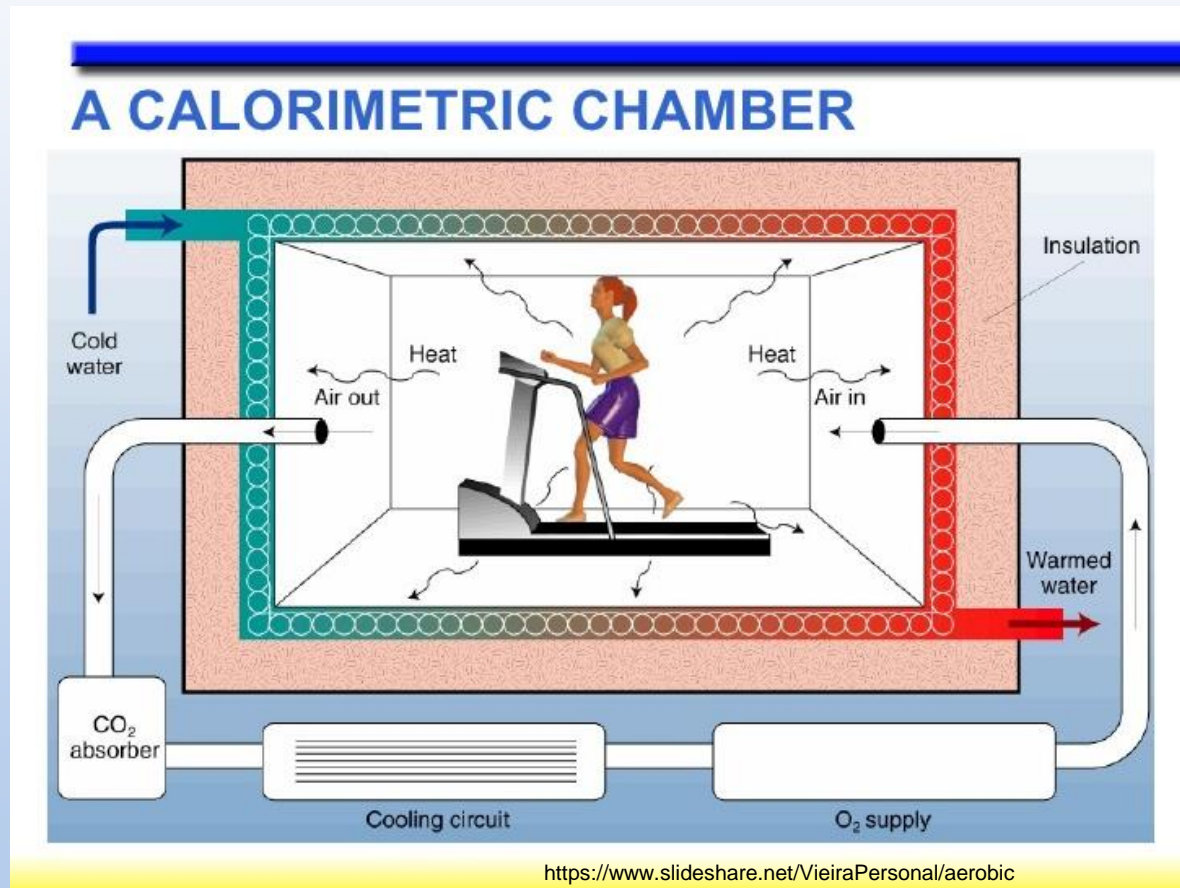
- Vhodné pro kardiologii, fyziologii, sportovní lékařství
- $W = F \cdot s \cdot \cos \alpha$  (pozor na existenci statické práce)
- Měření pomocí ERGOMETRŮ (spiroveloergometrů), KALORIMETRIE
- Současné monitorování EKG, TK, dechové objemy



měření a registrace mechanických  
veličin

# Měření mechanické práce a výkonu

- výměna energie skrze teplo  $Q$ ,  $Q=cm\Delta t$ ,  $c$ - měrná tepelná kapacita,  $m$  hmotnost,  $t$  teplota



měření a registrace mechanických  
veličin

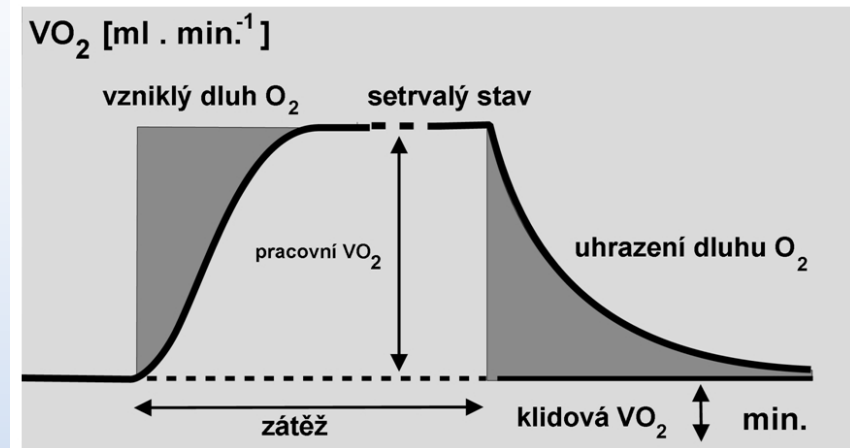
# Měření energetického výdeje

Nejpřesnější metodou pro stanovení energetického výdeje je metoda nepřímé kalorimetrie. U lehké a středně těžké práce provádíme měření tak, že měříme velikost ventilace po dobu 10 až 20 minut v rovnovážném stavu. Tento postup se nazývá parciální metoda (obr.1). Současně se provádí analýza vydechovaného vzduchu na koncentraci O<sub>2</sub> a CO<sub>2</sub>. Po korekci minutové ventilace na standardní podmínky, se vypočítá minutová spotřeba kyslíku, která se vynásobí energetickým ekvivalentem (EE), odpovídajícím naměřenému RQ. U moderních přístrojů provádí celý výpočet zabudovaný mikroprocesor.

respirační kvocient (RQ),  $RQ = CO_2/O_2$

Výsledný RQ vyjadřuje poměr, v jakém jsou spalovány cukry a tuky. Je-li známo množství energie, které se uvolní při spotřebě 1 l kyslíku při spalování čistě cukrů nebo tuků, můžeme z výsledného RQ vypočítat množství energie, které se uvolnilo při konkrétní hodnotě RQ. Množství energie, které se uvolní při spotřebě 1 l kyslíku, se označuje jako energetický ekvivalent (EE). EE se odečítá z tabulek nebo jej lze vypočítat z rovnice:

$$EE = (0,23 RQ + 0,77) \cdot 5,88 \text{ (W.h.l}^{-1} \text{ O}_2\text{)}$$



<http://www.khshk.cz>

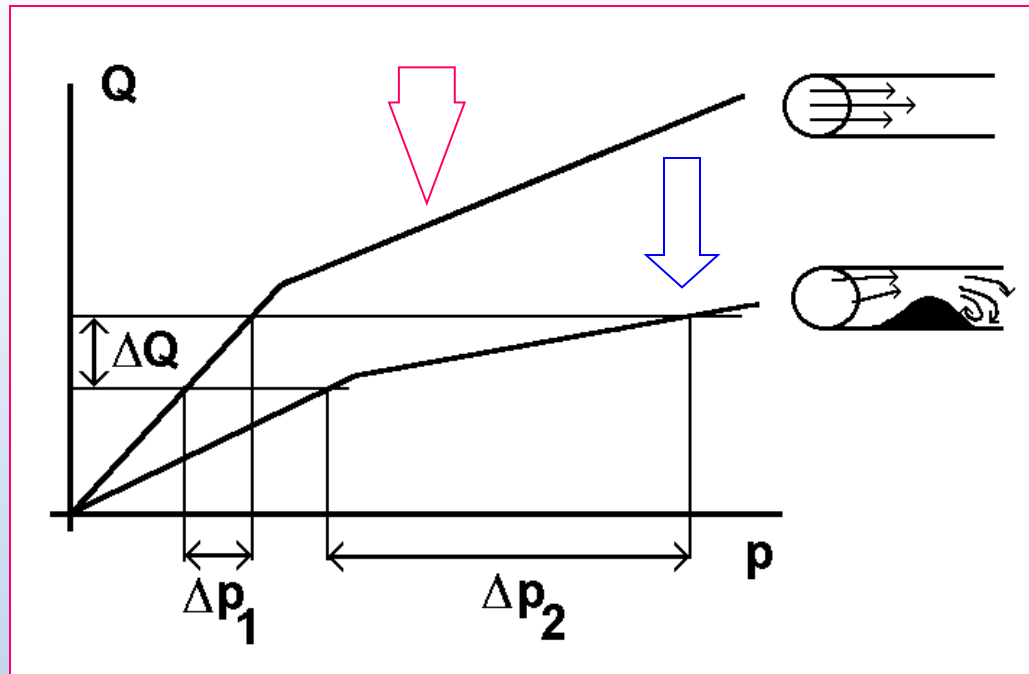
- Při spalování čistě cukrů je  $RQ = 1$   
 $C_6H_{12}O_6 + 6 O_2 = 6 CO_2 + 6 H_2O$   
 $RQ = 6/6 = 1$
- Při spalování čistě tuků je  $RQ = 0,7$   
 $C_{16}H_{32}O_2 + 23 O_2 = 16 CO_2 + 16 H_2O$   
 $RQ = 16/23 = 0,7$

měření a registrace mechanických  
veličin

# Odhad energetického výdeje podle druhu činnosti

Třída	Hodnoty pro výpočet průměrného energetického výdeje (brutto)		Příklady
	W/m <sup>2</sup>	W	
<b>Klidová hodnota</b>	65	115	Klid (odpočinek)
<b>1 Nízký energetický výdej</b>	100	180	Sezení v klidu: lehká manuální práce (psaní, psaní na stroji, kreslení, šití, účetnictví); práce rukou a paží (drobné pracovní nástroje, kontrola, sestavování nebo třídění lehkých předmětů); práce paží a nohou (řízení vozidla za běžných podmínek, obsluha nožního spínače nebo pedálu). Stání: vrtání (drobné součástky); frézování (drobné součástky); navíjení cívek; řezání závitů malých armatur; obrábění s malým úsilím; občasná chůze (rychlost do 3,5 km/h).
<b>2 Střední energetický výdej</b>	165	295	Stálá práce rukou a paží (zatloukání hřebíků, plnění); práce paží a nohou (řízení – provoz nákladních aut, traktorů a stavebních strojů); práce paží a trupu (práce s pneumatickým kladivem, montáž traktorů, omítání, přerušovaná manipulace se středně těžkým materiálem, pleť, práce s motykou, sběr ovoce nebo zeleniny; tlačení nebo tahání lehkých vozíků; chůze rychlostí 3,5 km/h až 5,5 km/h; kování).
<b>3 Vysoký energetický výdej</b>	230	415	Intenzivní práce paží a trupu; nošení těžkého materiálu; práce s lopatou; práce s perlíkem; řezání, hoblování nebo sekání tvrdého dřeva; ruční sečení trávy; kopání; chůze rychlostí 5,5 km/h až 7 km/h Tlačení nebo tahání ručních vozíků s těžkým nákladem; otloukání odlitků; pokládání betonových tvárnic.
<b>4 Velmi vysoký energetický výdej</b>	290	520	Velmi intenzivní činnost v rychlém až maximálním tempu; práce se sekyrou; intenzivní práce s lopatou nebo kopání; chůze do schodů, na rampu nebo stoupání po žebříku; rychlá chůze malými kroky, běh, chůze rychlostí vyšší než 7 km/h.

# Mechanický výkon srdce - průtok krve v cévě s překážkou

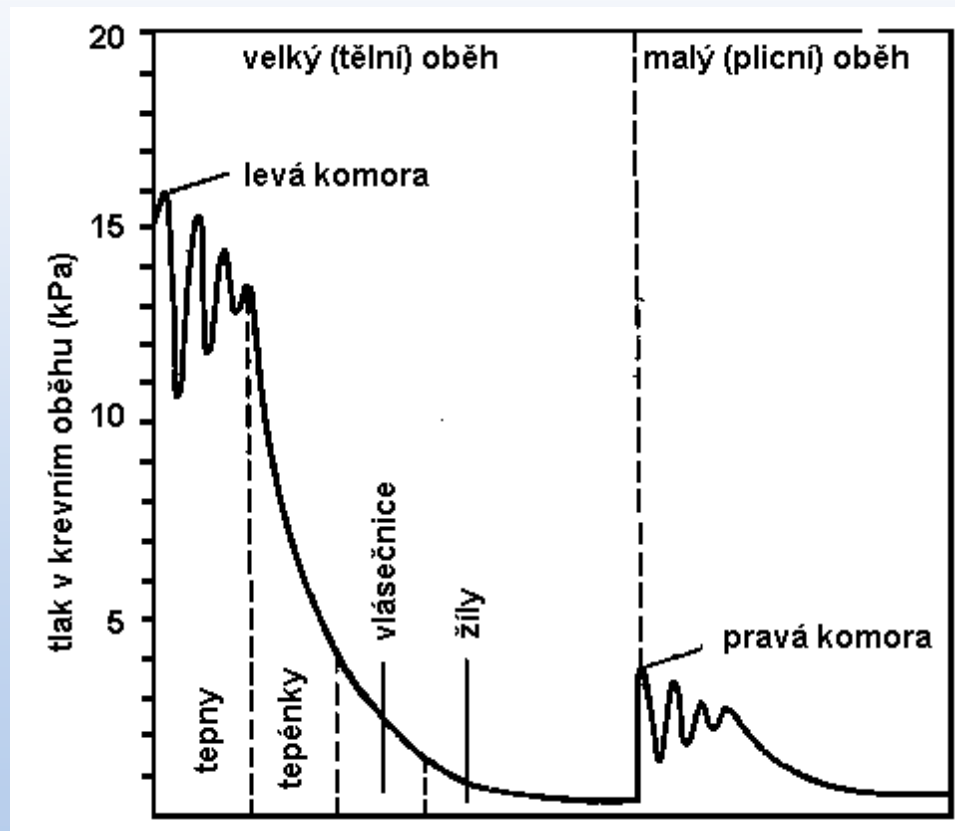


•Obr. Dle Camerona a kol., 1999

- 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 **vasodilataci**  $R$  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  
vnějšmu 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  $1/2 \cdot \rho v^2 \Delta V$ ,  $\rho = 1.06 \times 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$ ,

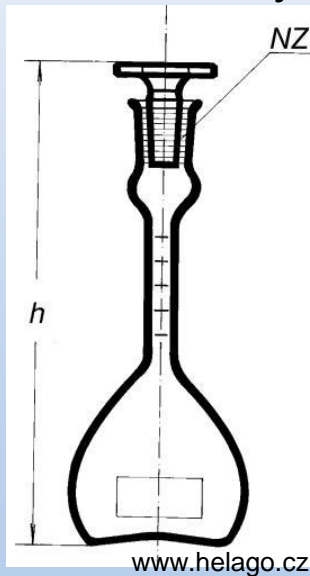
$v_{\text{stř.}} = 0.3 \text{ m.s}^{-1}$ , resp.  $0.22 \text{ m.s}^{-1}$ )

# Měření mechanických vlastností kapalin (tekutin)

- Hustota
- Viskozita

# Měření hustoty

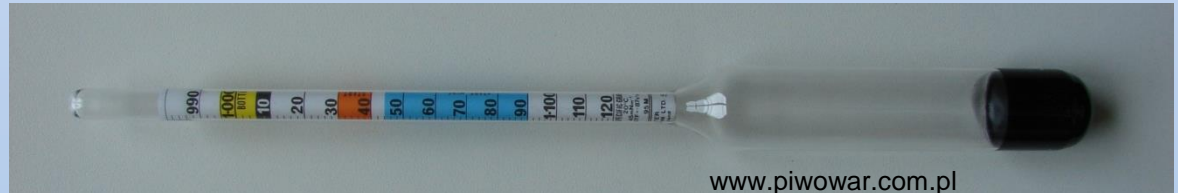
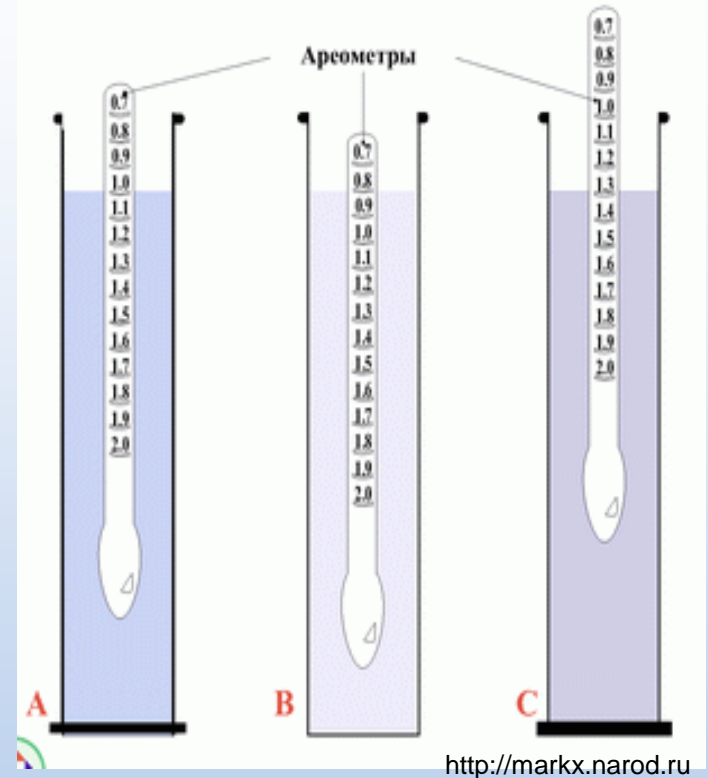
- Měření hustoty prováděno zejména pomocí pykrometrů a hustoměrů (areometrů)
- Funkce hustoměrů na základě Archimédova zákona
- Hustoměry často kombinované s teploměry



pykrometr

## Areometr

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

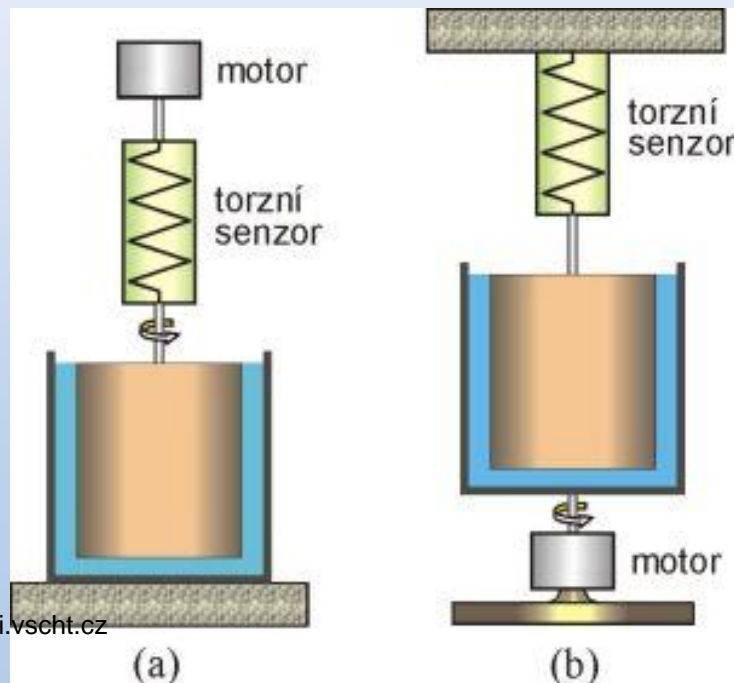


měření a registrace mechanických  
veličin

# Měření viskozity

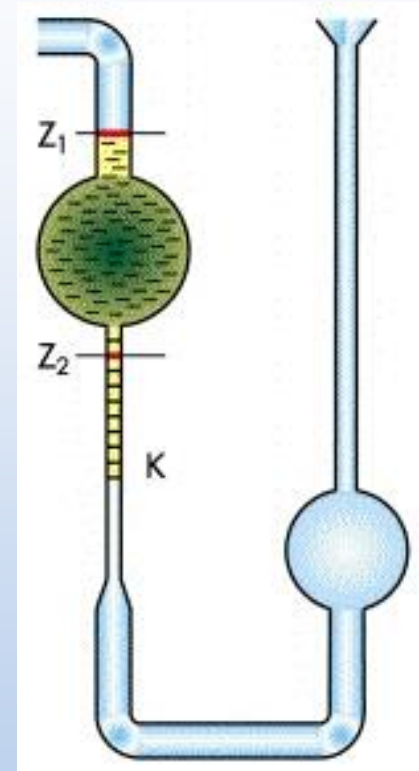
- Viskozita charakterizuje vnitřní tření v kapalinách
- Měření viskozity zejména pomocí výtokových viskozimetrů, tělískových viskozimetrů, rotačních viskozimetrů, bublinkových viskozimetrů a ultrazvukových viskozimetrů

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**

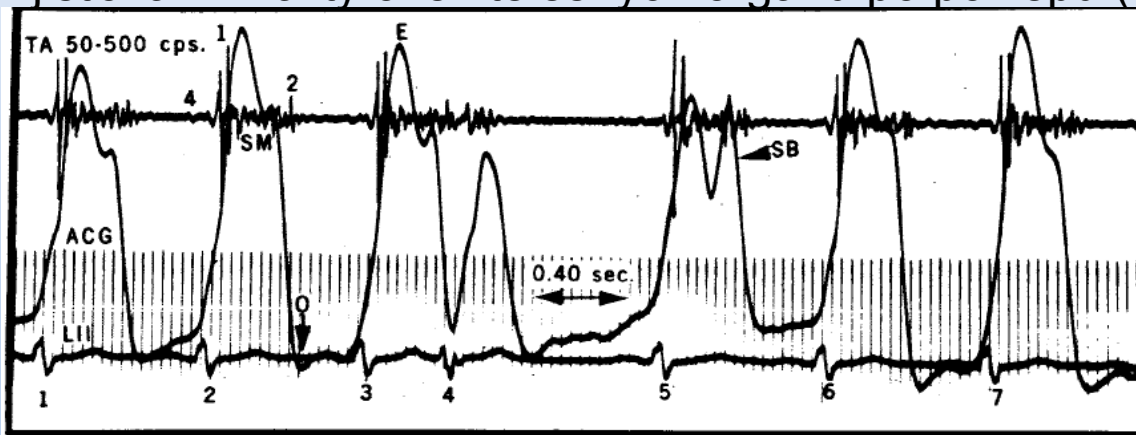


FIGURE 1. Simultaneous recordings of tricuspid area phonocardiogram (TA), apexcardiogram, and lead 2 of electrocardiogram (L 2) in 67-year-old man with minimal coronary artery disease and mitral insufficiency. QRS complexes on electrocardiogram are numbered consecutively. (4, 1, 2 = fourth, first and 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