

Základy molekulární biofyziky, fyzika krevního oběhu



Fyzikální veličiny v klinické praxi



Tlak v těle

- *Krev jako tekutina*
- *Akční potenciály práce srdce*
- *Osmotický tlak*
- *Termodynamika*
- *Proudění krve*
- *Plyny k tekutinách*



Tlaky v lidském těle

- *Tlak v oku, přední a zadní segment oční*
- *Tlak a plíce, intrapleurální prostor*
- *Tlak v GIT, plynatost*
- *Tlak krevní, hypertenze a hypotenze*
- *Nitrolební tlak*
- *Tlak v kloubu, v tekutině a tlak dotykem*

Měření tlaku metody se liší



Tlaky v lidském těle (PASCALŮV ZÁKON)

Tlak vyvolaný vnější silou působící na povrch kapaliny je ve všech místech a ve všech směrech kapalného tělesa stejný.

- tlak p charakterizuje stav kapaliny v klidu
- tlak měříme manometry
- velikost tohoto tlaku nezávisí na objemu ani hustotě kapaliny
- využití Pascalova zákona - hydraulická a pneumatická zařízení

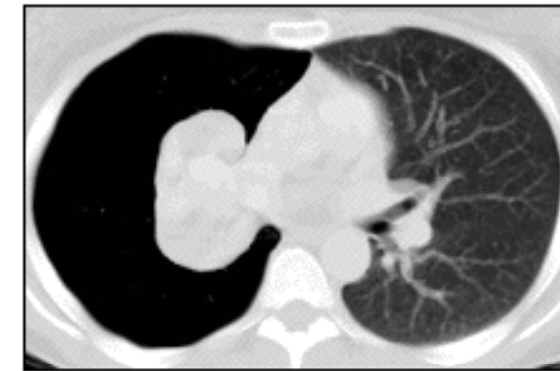
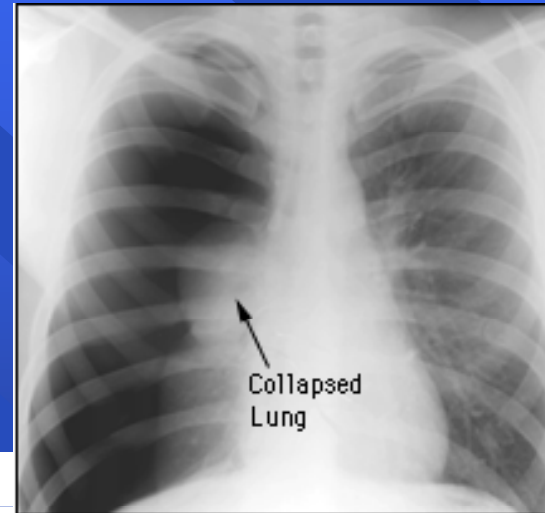
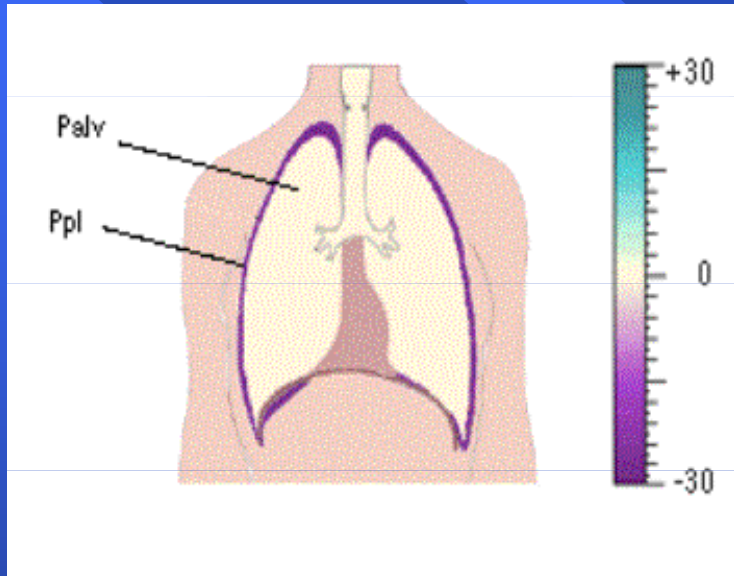
$$p = \frac{F}{S} \quad [p] = \text{Pa} \quad (\text{pascal})$$



Tlak a plíce, intrapleurální prostor

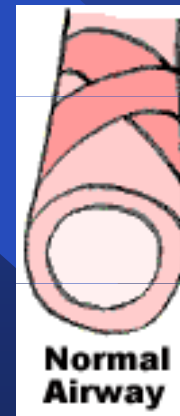
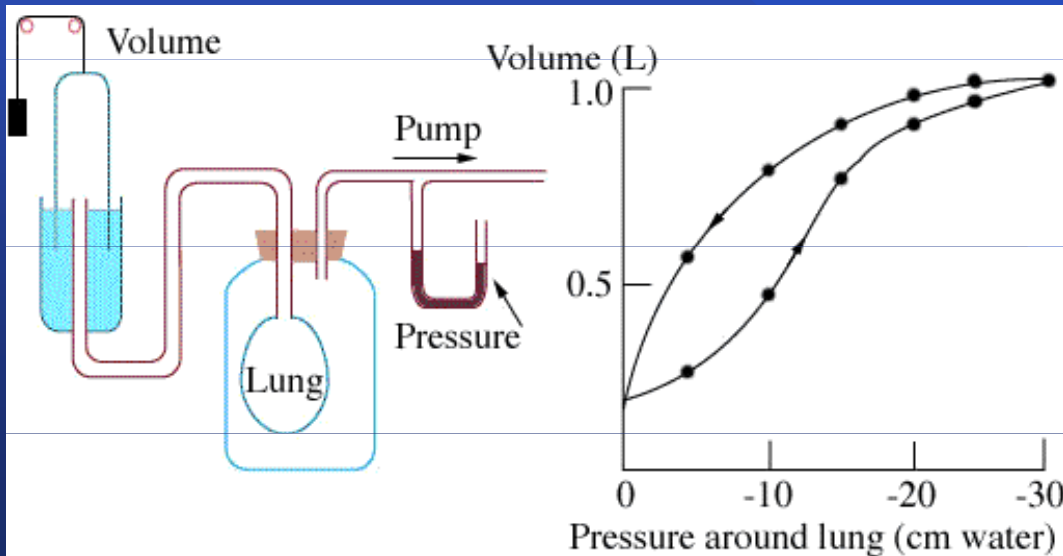
25000 krát za den dech, 10000 litrů vzduchu.

Intrapleurální tlak je 5 až 10 mg Hg



Right lung pneumothorax - Radiograph

Right lung pneumothorax - CT



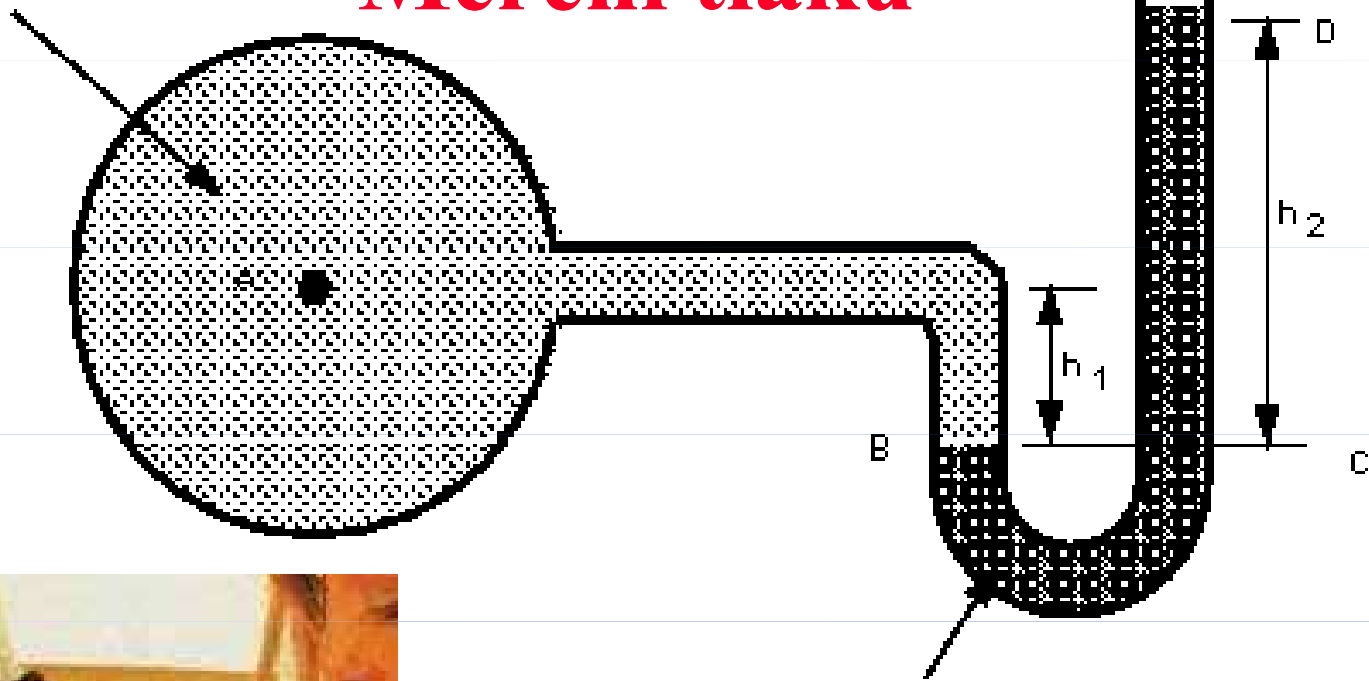
Astma-odpor vzduchu

Fibrosa plic elasticita klesá



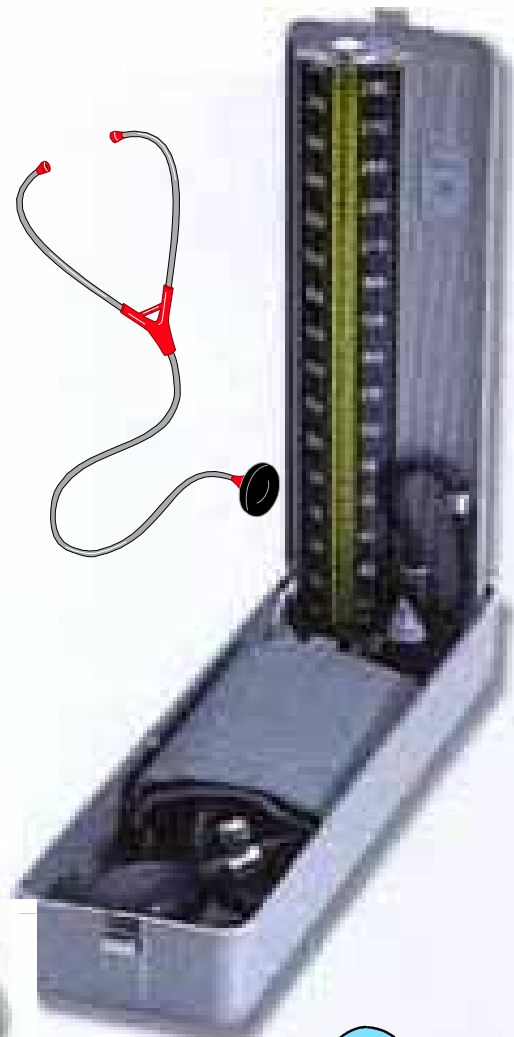
Fluid density ρ

Měření tlaku



Manometric fluid density ρ_{man}

JO-3001 Single head



Fyzikální veličiny v klinické praxi

- *Tlak v těle*



- *Krev jako tekutina*

- *Akční potenciály práce srdce*

- *Osmotický tlak*

- *Termodynamika*

- *Proudění krve*

- *Plyny k tekutinách*



Krev jako tekutina 1

Srdeční výdej = tep x ejekční objem

-5,8 litr/min = 72 tepů/min x 80 ml/tep

Tlak síla na plochu

U cév je nutné počítat: T

Povrchové napětí síla na jednotku délky

Práce a energie

Výkon je 1,2 W

**Hustota krve $\rho = 1\ 040$
kg/m³**

Viskozita závisí na HTK

80 % krve v systémovém oběhu

-15 % arterie -10 % kapiláry -75 % žíly

20% plicní (malý) oběh

-46 % arterie - 8 % kapiláry -46 % žíly

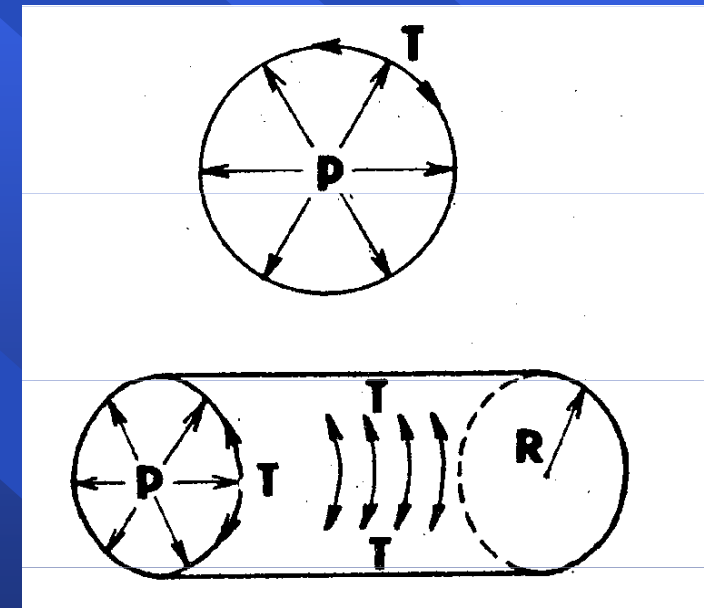


Tlak a napětí

- *Laplaceův zákon.* Vztah mezi napětím T (N.m⁻¹) ve stěně pružné membrány uzavírající objem kapaliny s rozdílem tlaků P (Pa) uvnitř a vně membrány je dán rovnicí
- *Objemový tok.* Objem ΔQ kapaliny, která protéká přímou trubicí o poloměru R , délce L při tlakovém spádu ΔP za čas Δt je dán Poiseuillovým – Hagenovým vztahem

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = \Delta P \cdot \frac{\pi}{8} \cdot \frac{1}{\eta} \cdot \frac{R^4}{L}$$

$$P = T \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$



Krev jako tekutina 3

Plasma + erythrocyty + leukocyty + destičky

$5 \times 10^6 / \text{mm}^3$

$7 \times 10^3 / \text{mm}^3$

$2 \times 10^5 / \text{mm}^3$

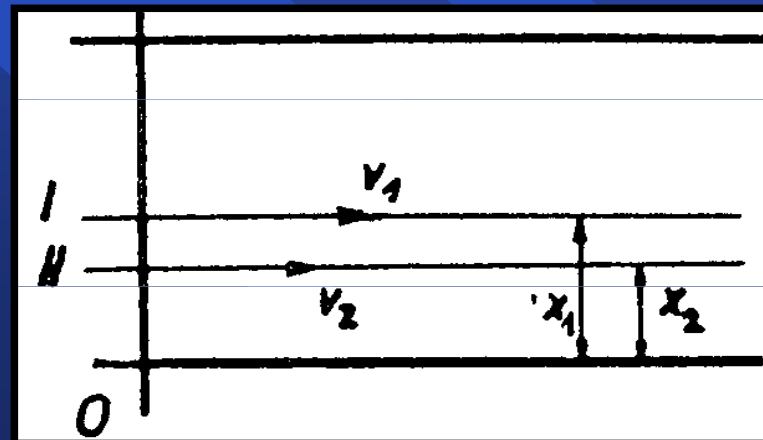
Plasma: H_2O + minerály + bílkoviny, Hematokrit = $\frac{\text{objem}_{\text{ery}}}{\text{objem}_{\text{celkový}}}$

Viskozita rheologický parametr *síla tření mezi dvěma vrstvami o jednotkové ploše, jeli rozdíl rychlostí 1m/s*

Rychlost sedimentace – úměrná rozdílu hustot, gravitaci, druhé mocnině poloměru, a nepřímo viskozitě

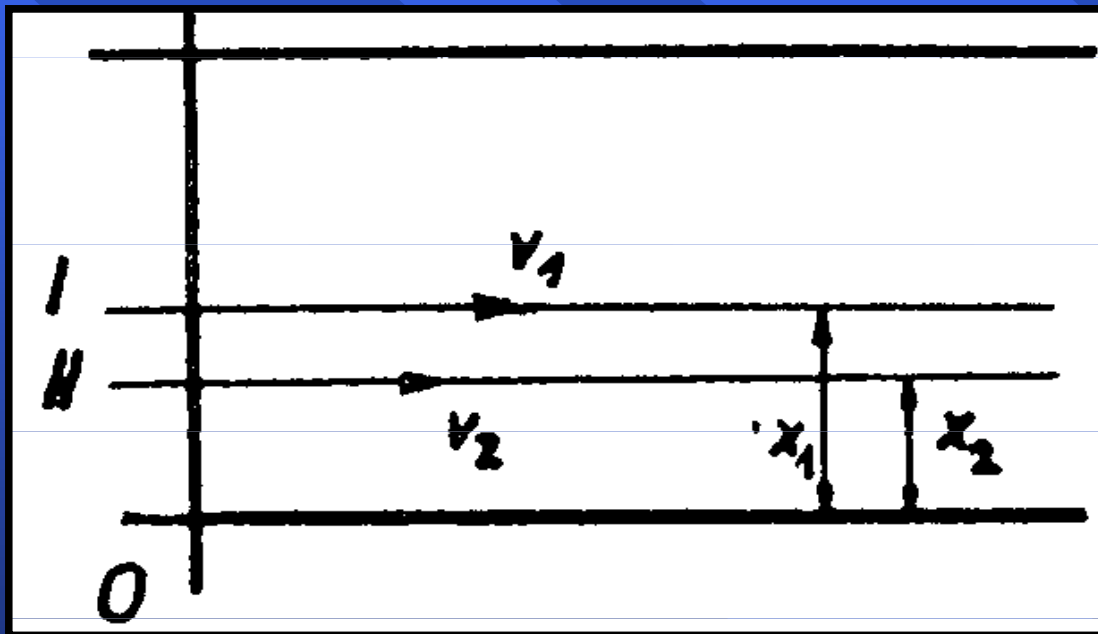
$$v = \frac{2}{9} \cdot \frac{(\rho - \rho_0)gr^2}{\eta}$$

$$\eta = \sigma \cdot \frac{\Delta x}{\Delta v}$$



Traspotní jevy - Viskozita

Viskozita rheologický parametr *síla tření mezi dvěma vrstvami o jednotkové ploše, jeli rozdíl rychlostí 1m/s*



$$\sigma = F/A \text{ (Pa),}$$

$$\sigma = \eta \cdot \frac{\Delta v}{\Delta x}$$

η je koeficient tření nebo viskozita, a výraz $\Delta v/\Delta x$ je v limitě pro $\Delta v \rightarrow 0$ a $\Delta x \rightarrow 0$ roven vektoru gradientu rychlosti ($\text{grad } v$) ve směru x .

$$\eta = \sigma \cdot \frac{\Delta x}{\Delta v}$$



Traspotní jevy - Viskozita

Viskozita rheologický parametr *síla tření mezi dvěma vrstvami o jednotkové ploše, jeli rozdíl rychlostí 1m/s*

Kromě této tzv. dynamické viskozity η , se též užívá kinematická viskozita ν , definovaná jako dynamická viskozita dělená hustotou ρ

Pokud se hovoří pouze o viskozitě, rozumí se viskozita dynamická.

Jednotkou dynamické viskozity je pascalsekunda, Pa.s. Hlavní jednotkou kinematické viskozity je $m^2.s^{-1}$

$$\sigma = F/A \text{ (Pa),}$$

$$\sigma = \eta \cdot \frac{\Delta v}{\Delta x}$$

$$\eta = \sigma \cdot \frac{\Delta x}{\Delta v}$$



Viskozita krve

Viskozita kapalin – byla probírána u krve:

- 1. zvyšuje se při více ERY**
- 2. Je větší ve středu trubice, kde jsou partikule, u stěn je plasma**
- 3. S teplotou viskozita klesá**
- 4. Viskozita je vyšší při více bílkovinách**
- 5. Hodnota je asi 5 až 6 vyšší než voda**



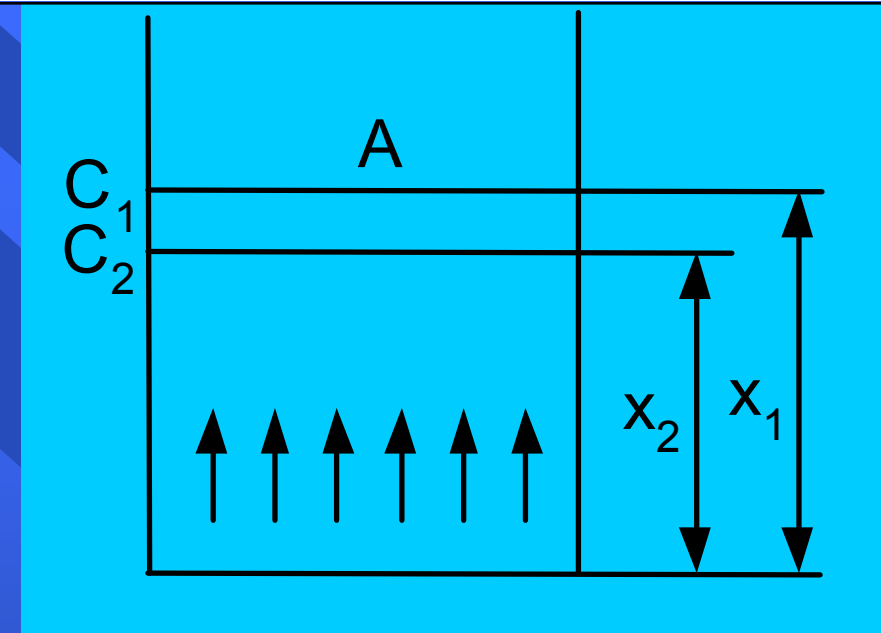
Difuze

$$\frac{n}{A\tau} = -D \cdot \frac{\Delta c}{\Delta x}$$

1. Fickův zákon

*hustotu difuzního toku (n/A),
vyjádřenou v molech na m^2 za sekundu*

Konstanta D se nazývá difuzní koeficient ($m^2 \cdot s^{-1}$)



Difuze je jedním z nejdůležitějších fyzikálních procesů, umožňuje pohyb látek uvnitř buněk

V živých organismech je ovlivněna mnoha faktory, které znemožňují přesný výpočet její rychlosti, přesto však můžeme z hodnot difúzních koeficientů usuzovat na rychlost četných životních procesů



Vedení tepla

$$\frac{Q}{A\tau} = -\lambda \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

- předávají kinetickou energii následkem vzájemných srážek
- λ je koeficient tepelné vodivosti, tepelná vodivost
- Q je teplo (J)
- λ – rozměr $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

Transportní jevy

— Difuze

— Viskozita

— Vedení tepla



Fyzikální veličiny v klinické praxi

- *Tlak v těle*

- *Krev jako tekutina*



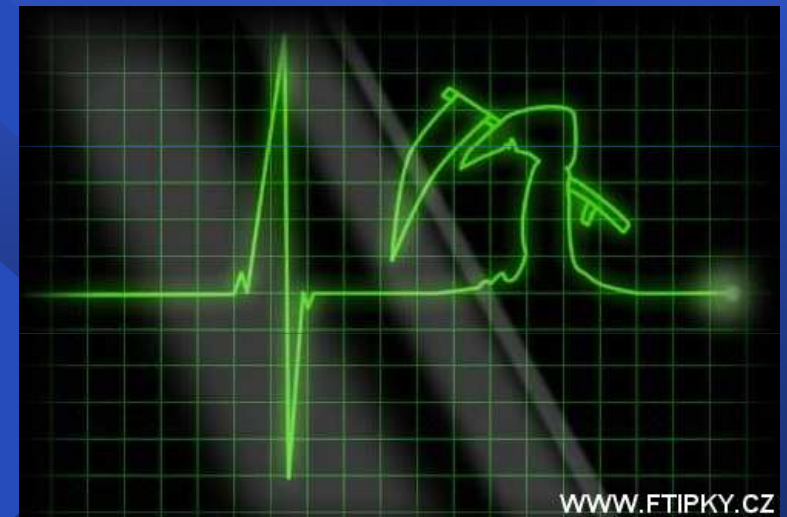
Akční potenciály práce srdce

- *Osmotický tlak*

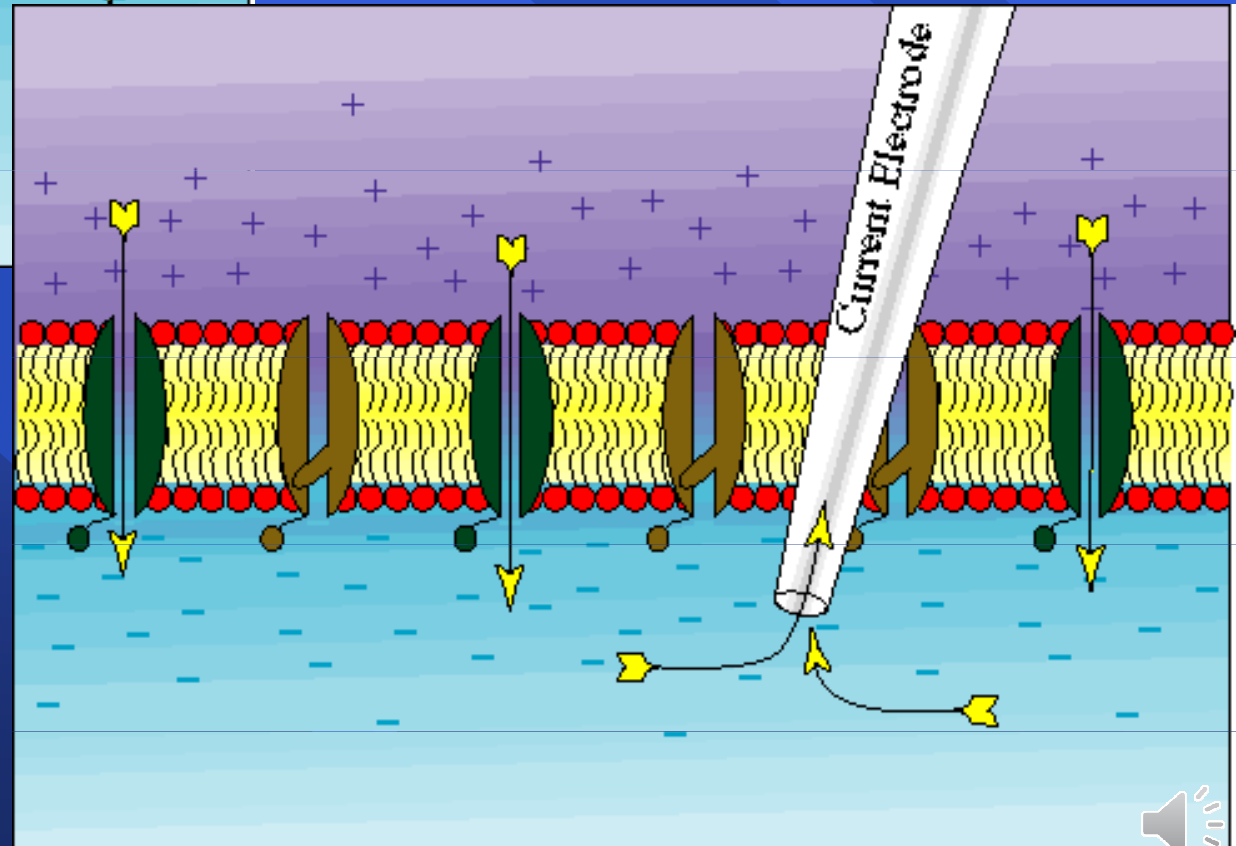
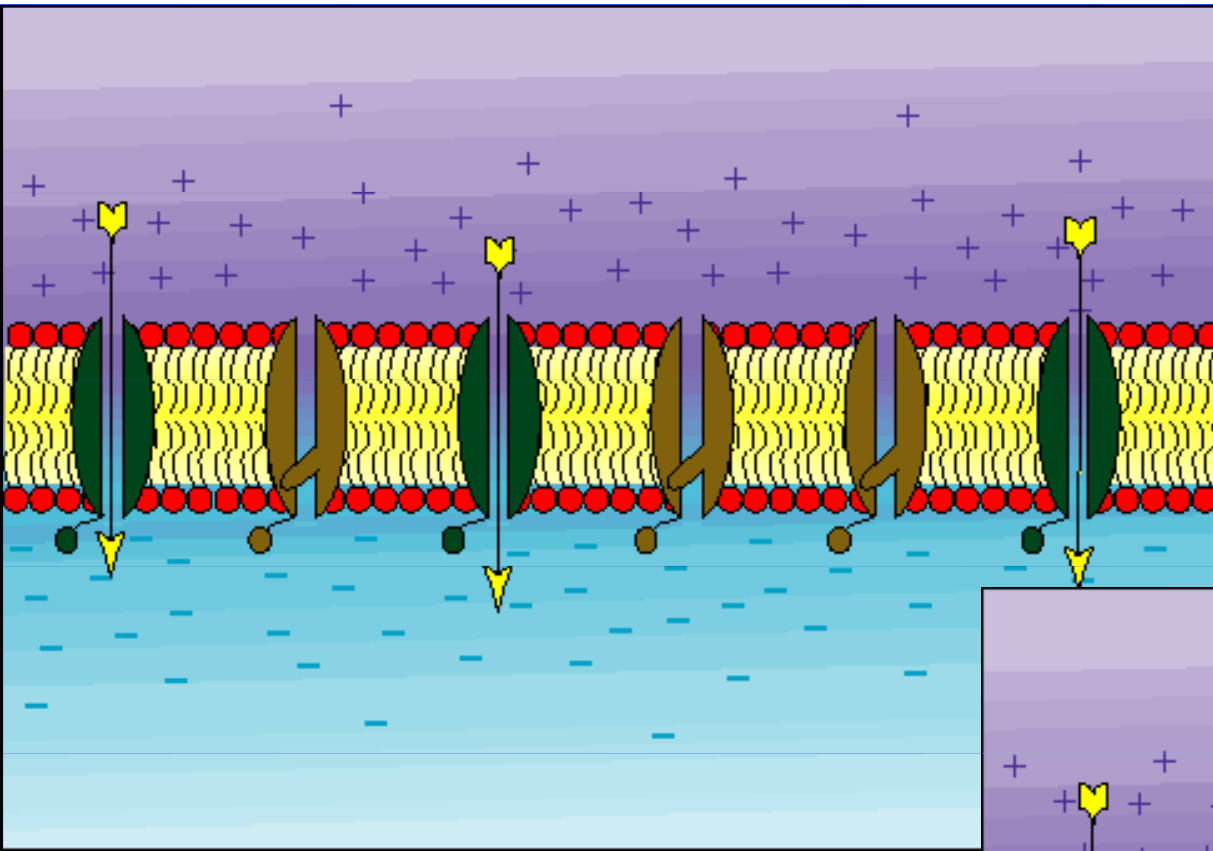
- *Termodynamika*

- *Proudění krve*

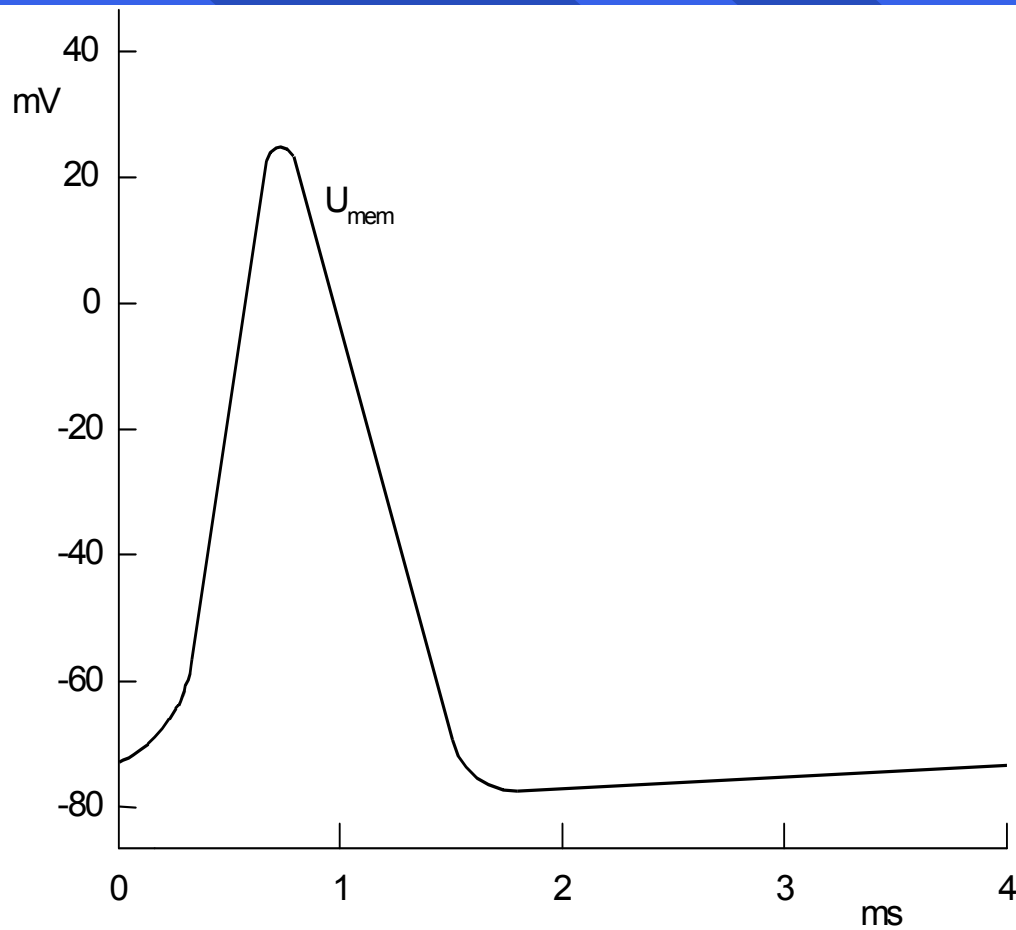
- *Plyny k tekutinách*



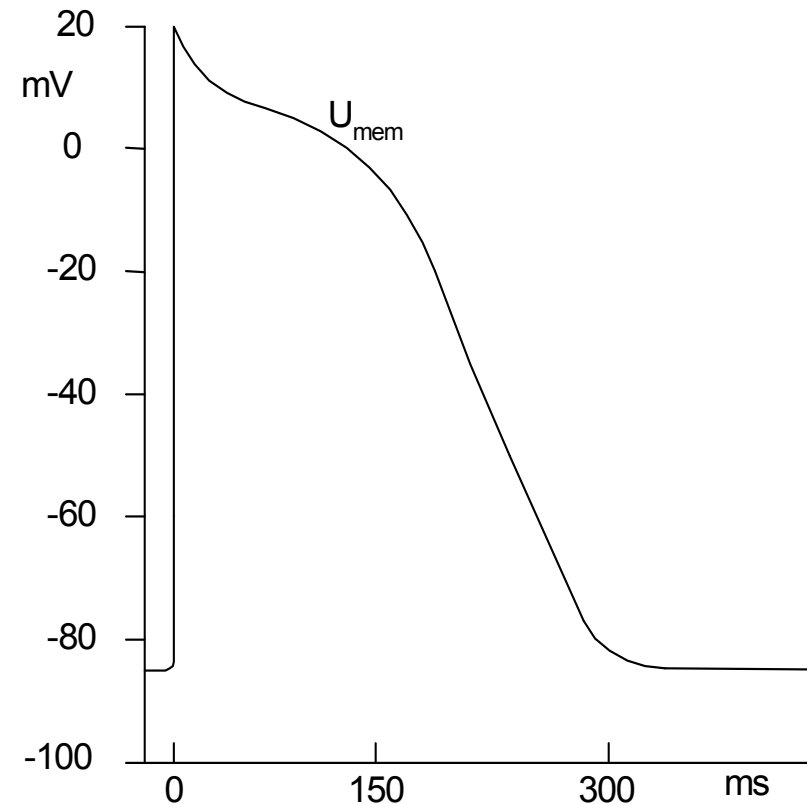
Záporné napětí-70 mV



Rozdíl mezi myocytem a ostatní dráždivou svalovou a nervovou tkání



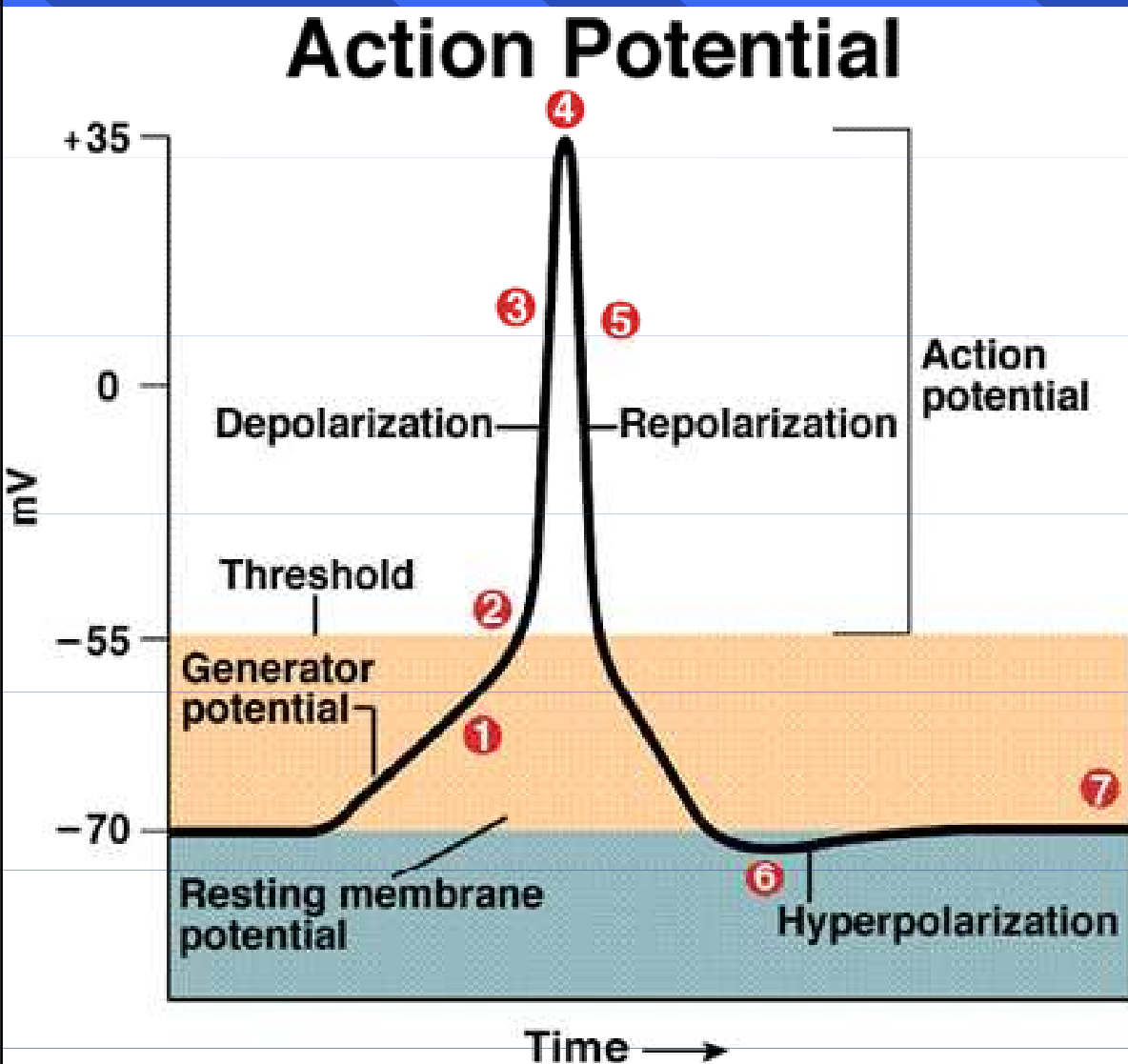
Průběh akčního potenciálu na membráně nerovného vlákna



Průběh akčního potenciálu na membráně buňky srdečního svalu

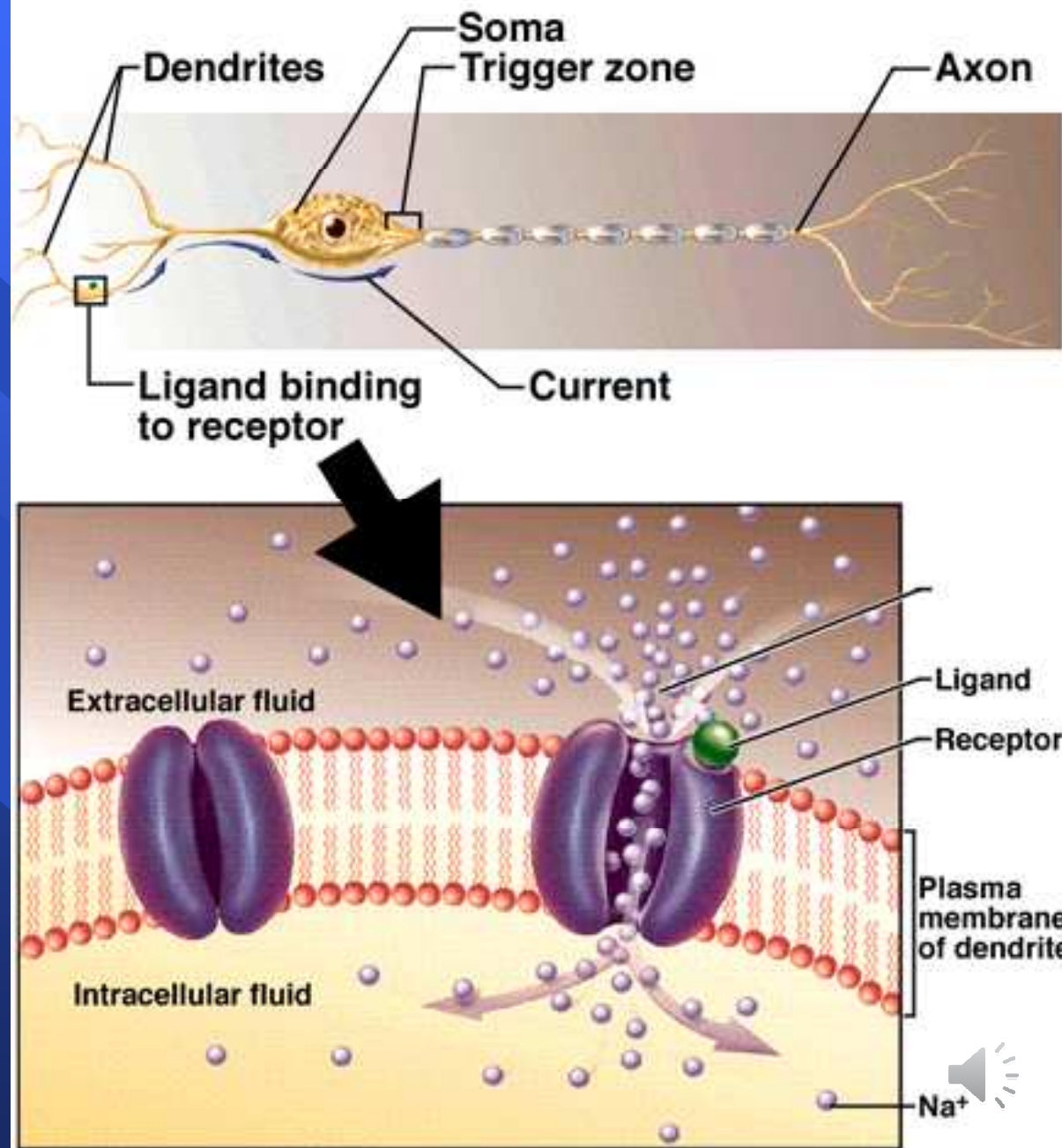
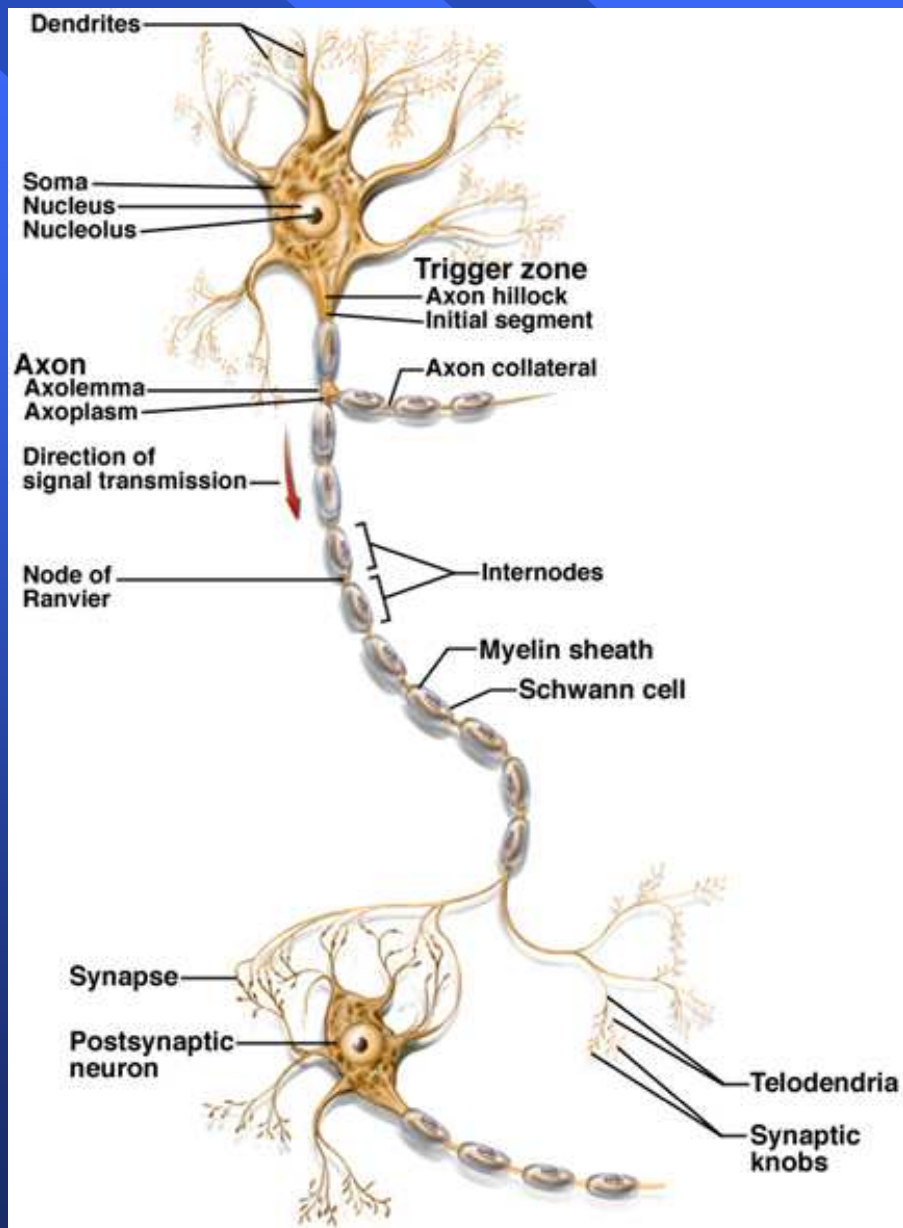


Dva pojmy mezi fyzikou a fyziologií



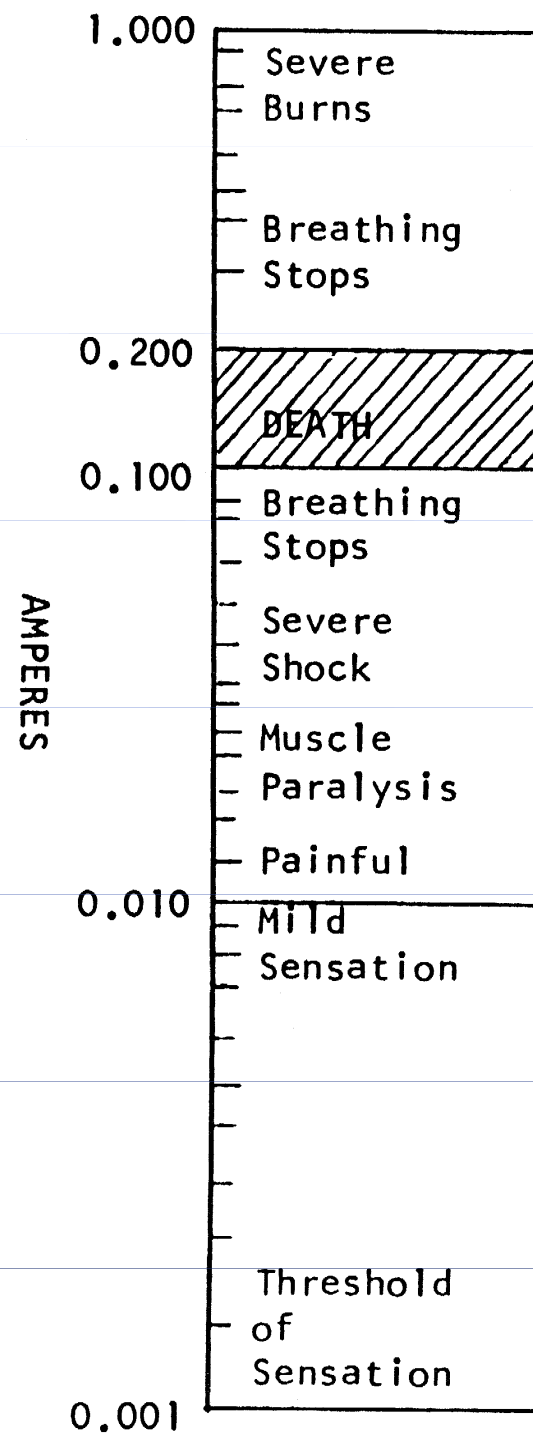
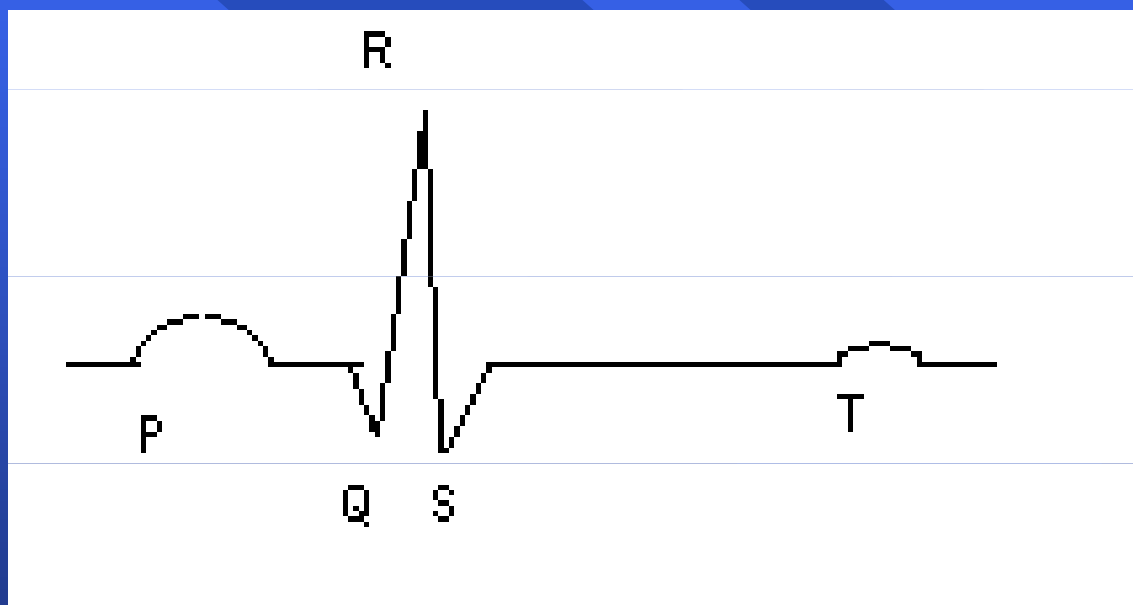
- Dráždivost tkání (např. svalů) vyjádřit pomocí reobáze a chronaxie. proudovými impulsy, existuje určitá hodnota proudu, pod kterou nelze podráždění vyvolat. Ta se nazývá reobáze. Chronaxie je doba nutná k vzniku akčního potenciálu impulzem o dvojnásobku hodnoty reobáze.







Elektrický proud a popis EKG



Přehled tematických okruhů



EKG

Dočasná kardiostimulace

Elektrická kardioverze

Defibrilace

Trvalá stimulace

Diatermie



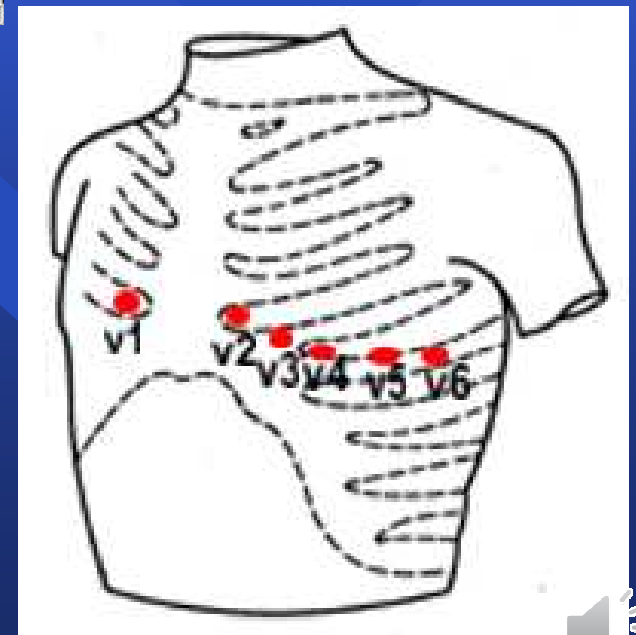
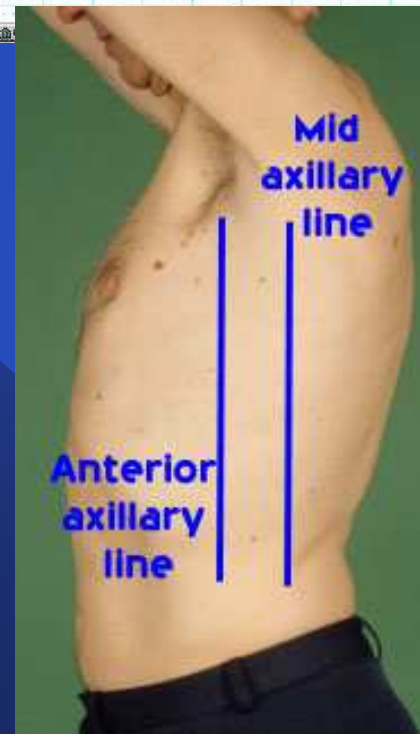
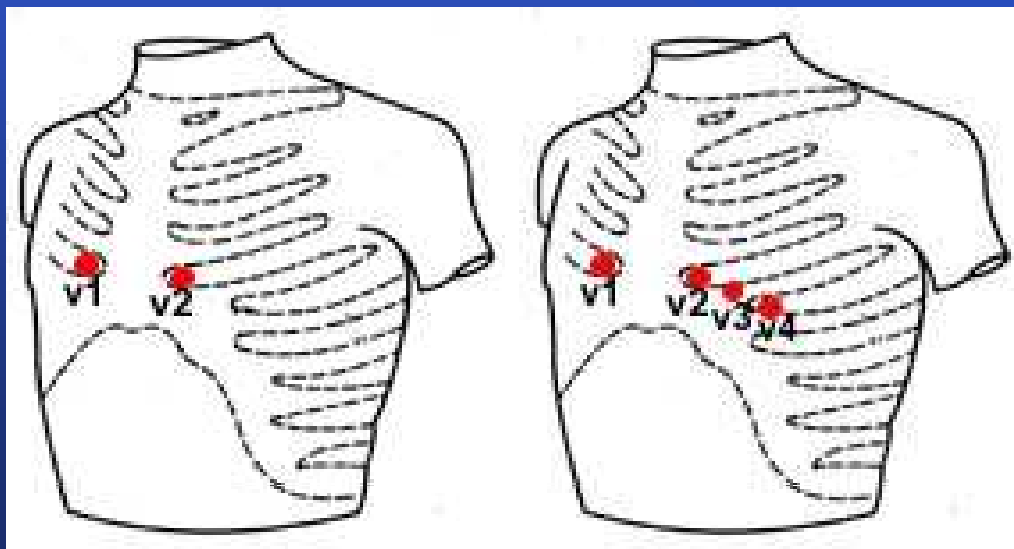
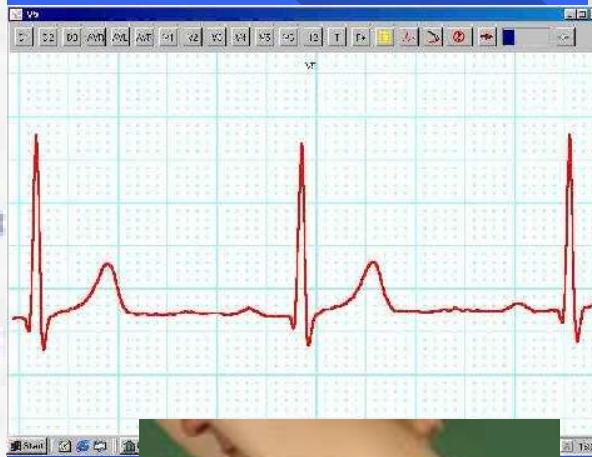
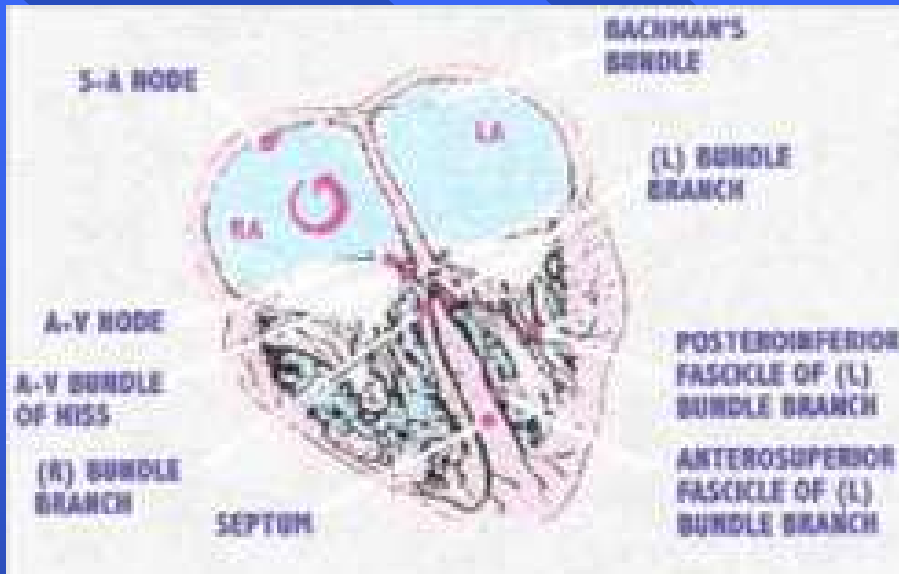
EKG

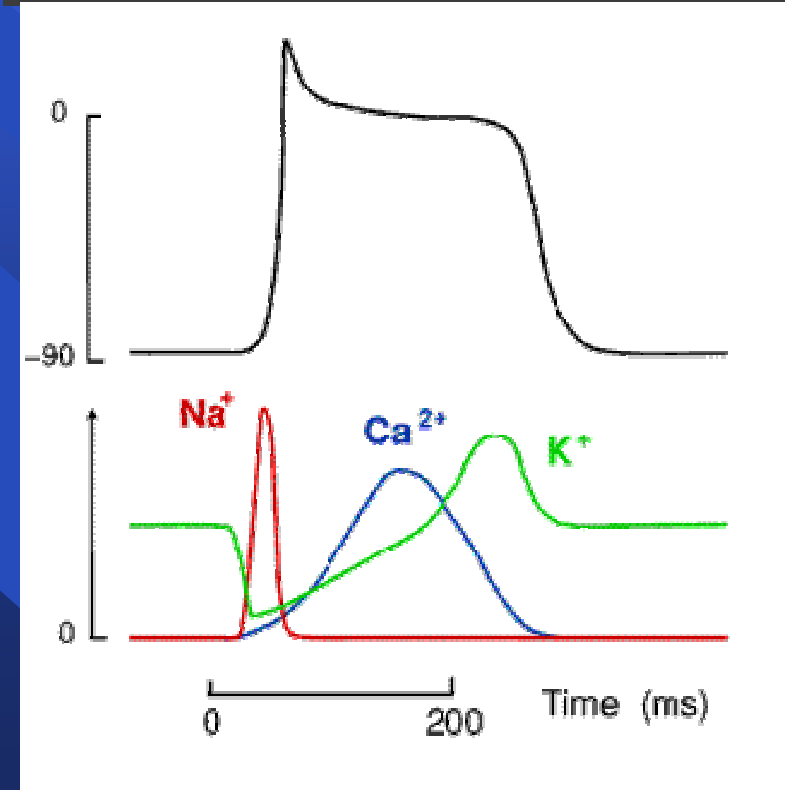
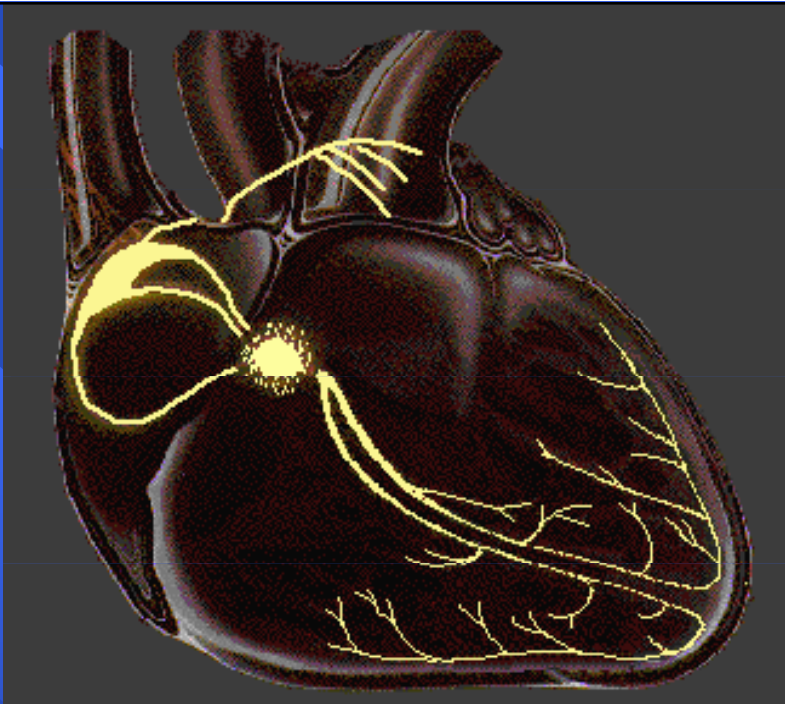
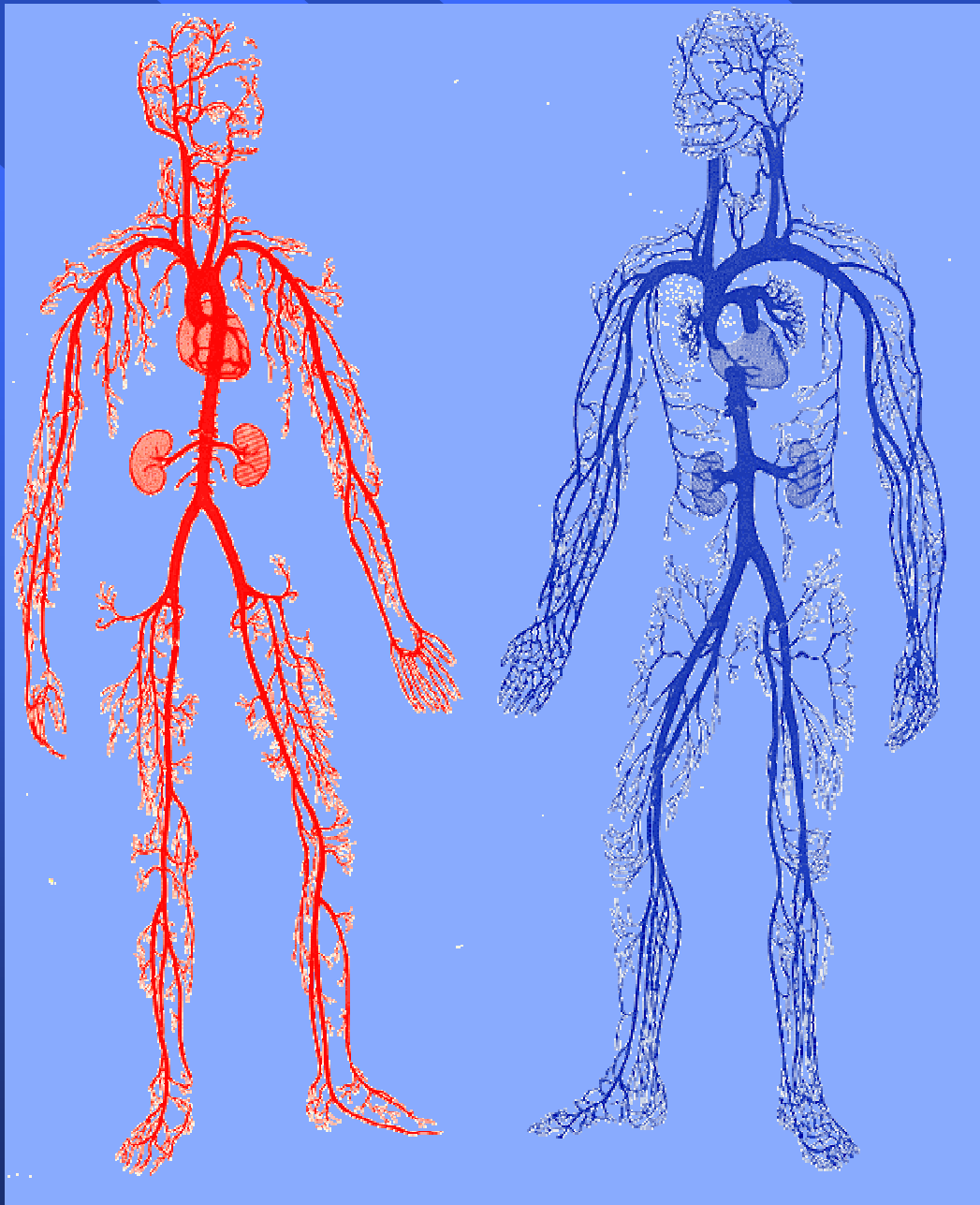


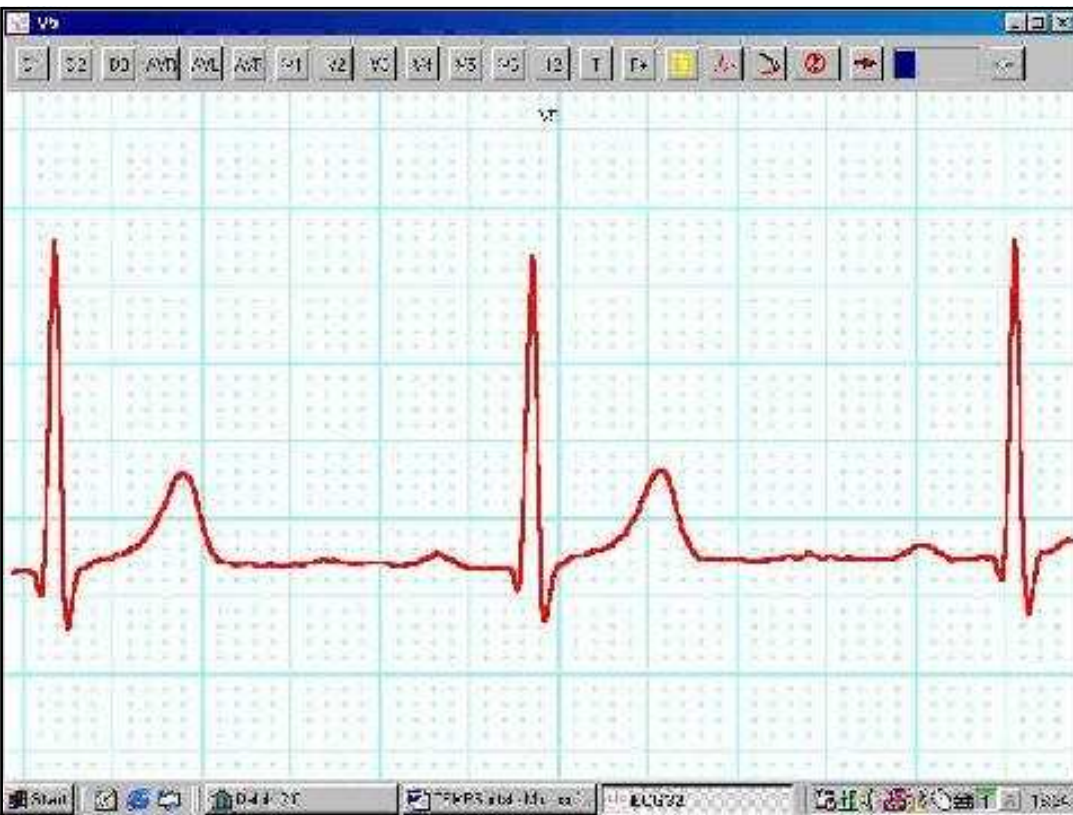
- **Klasické 12 svodové**
- **Kontinuální monitorování**
- **Centrála pro monitorování arytmií**
- **Monitorování ST úseků**



EKG – teorie a praxe







Normální EKG

D1... 1..2.3 AVERAGE ST GRAPH Referentiepunten

op

0.17 min Vorige Raster Filter

Fr	68	ASP	31	QRS	32	T	31
PG	156	QRS	90	QT	393	QTC	418

PC LIST PERS

- Linker anterior hemblok
- Linker atrium hypertrofie
- Linker posterior hemblok
- Linker ventrikel hypertrofie
- Normaal EKG**
- Onvolledig linker bundeltakblok

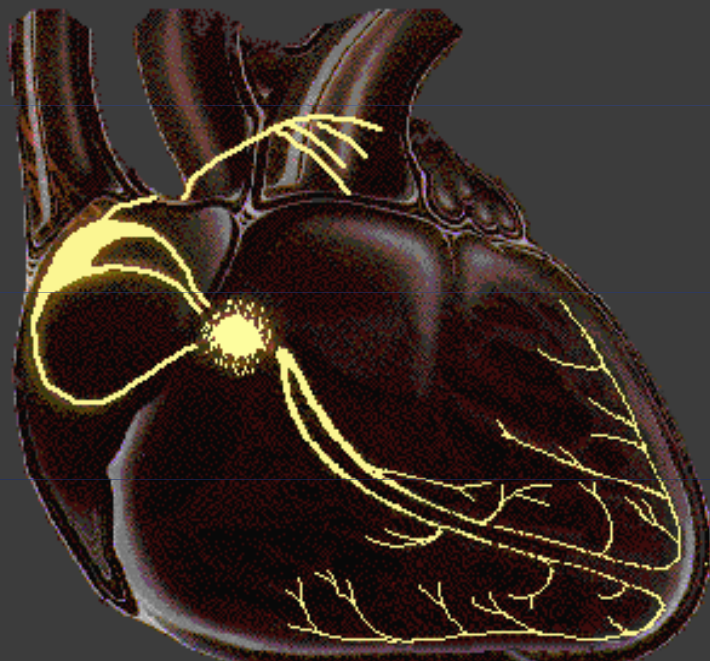
Persoonlijk besluit

Normaal ECG.

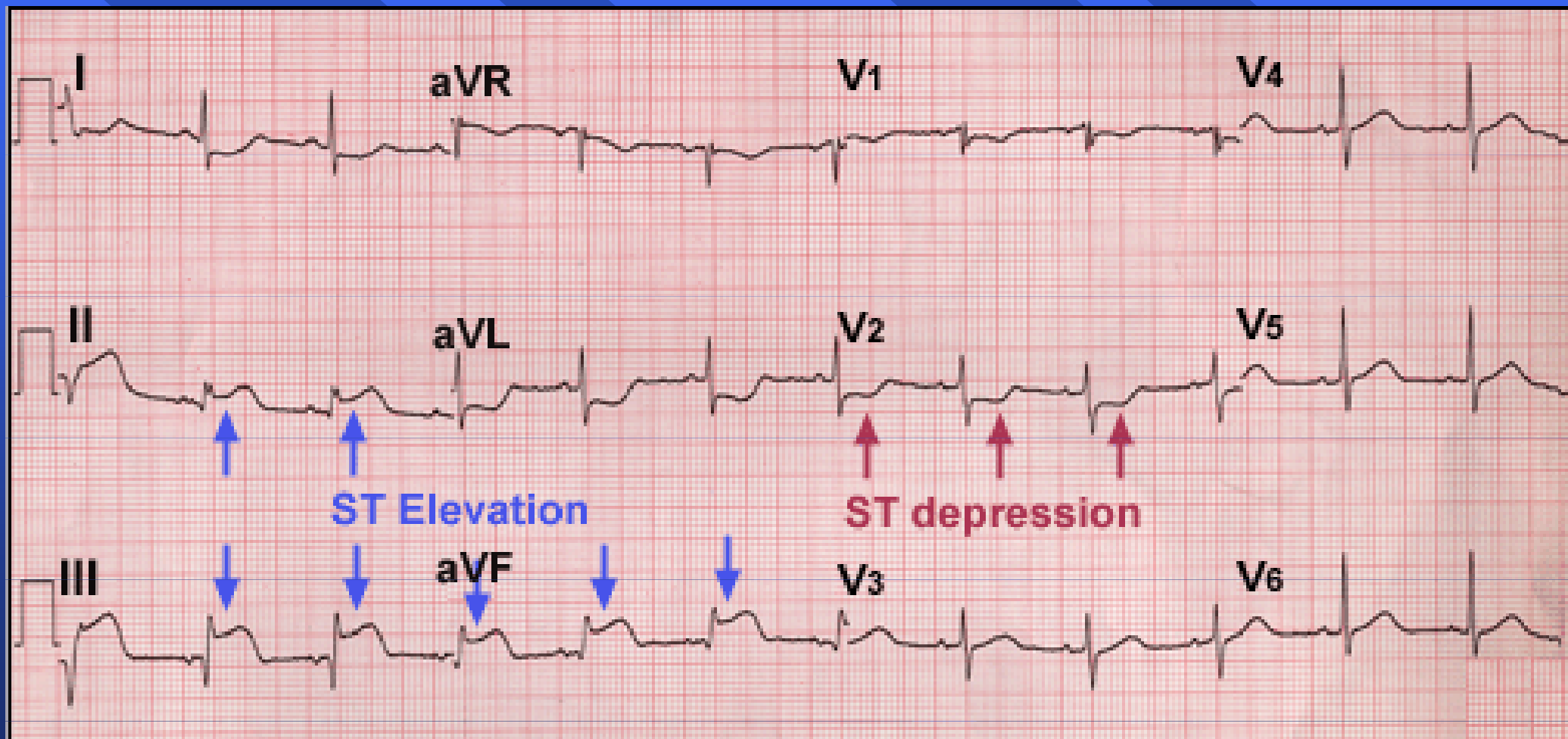
Dokter **GANSEMAN JOSE**

? Help Ok Cancel Comp

Rythme D2



Změny úseku ST



Převodní systém srdeční

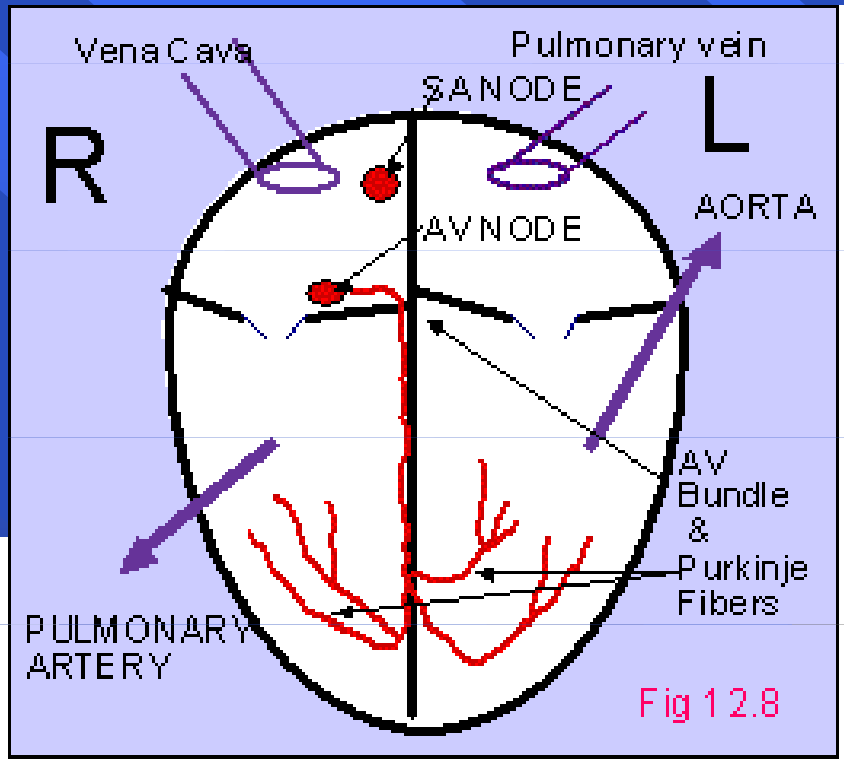
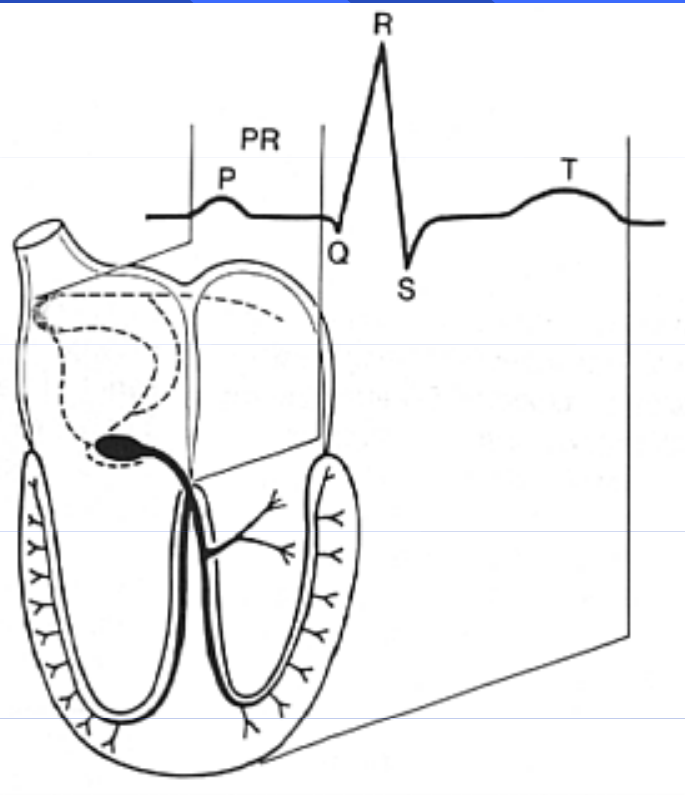
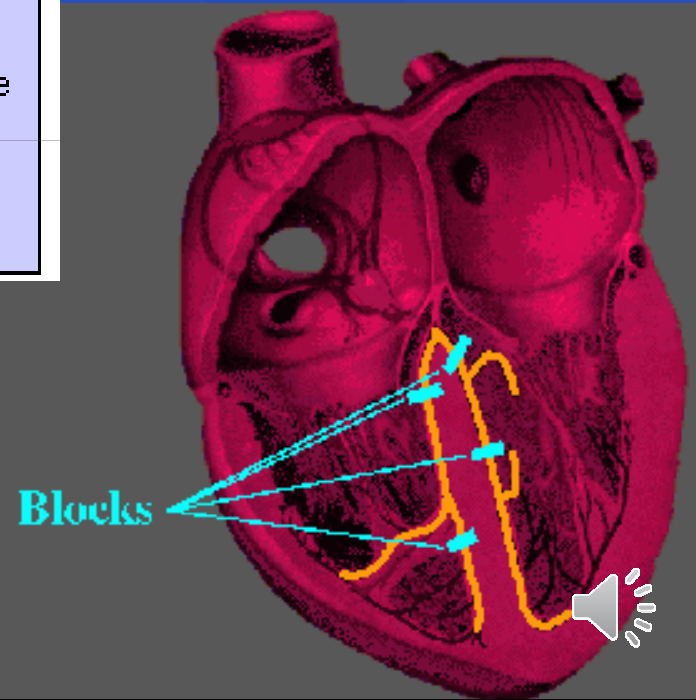
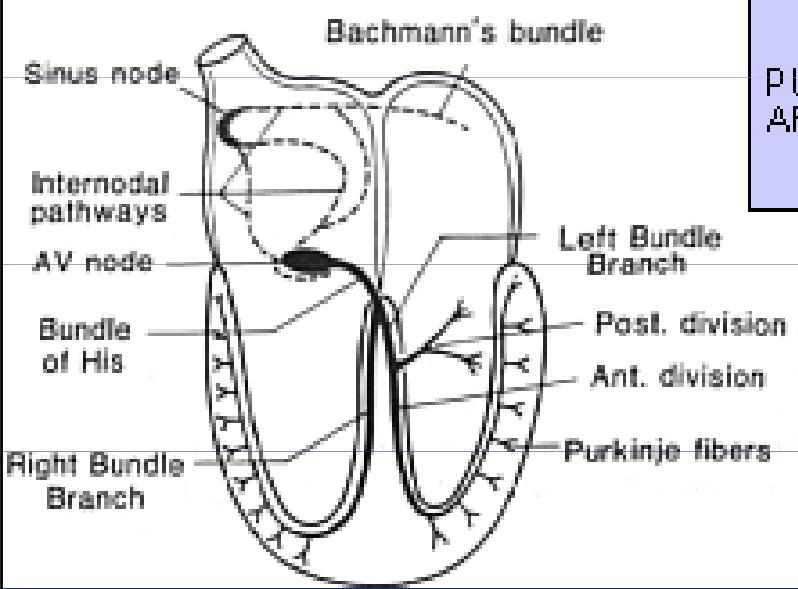
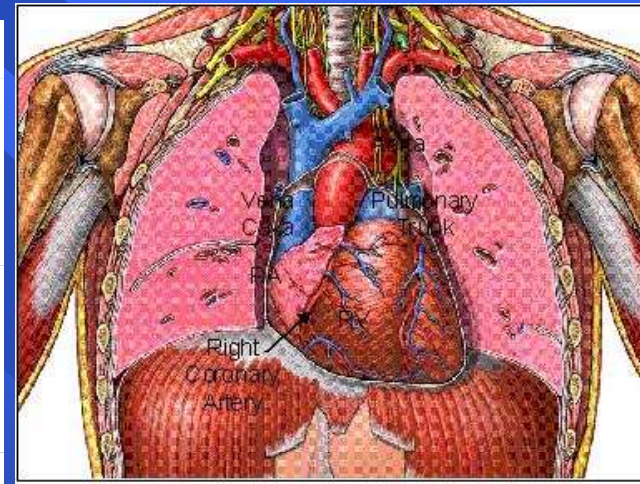
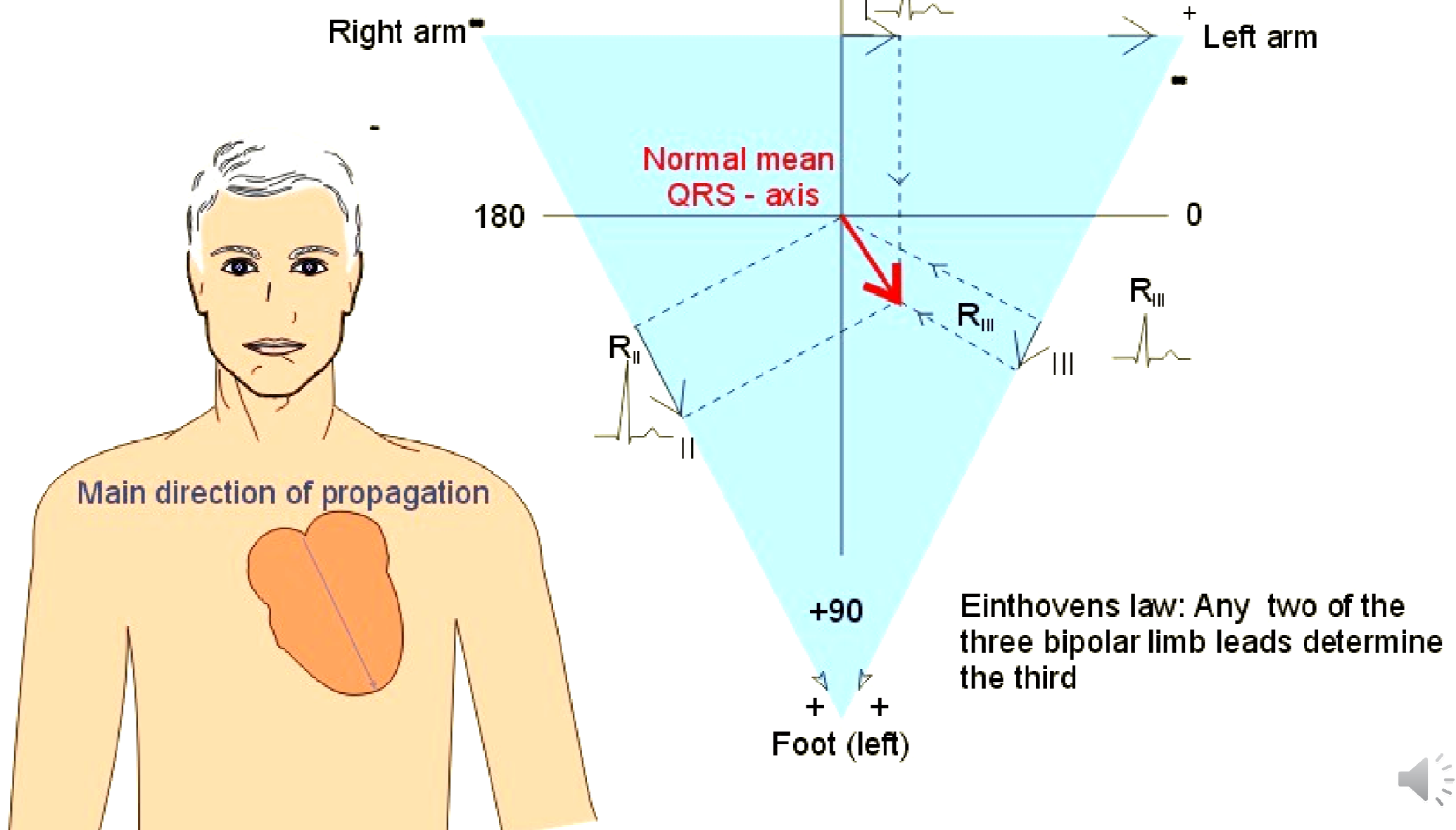


Fig 12.8



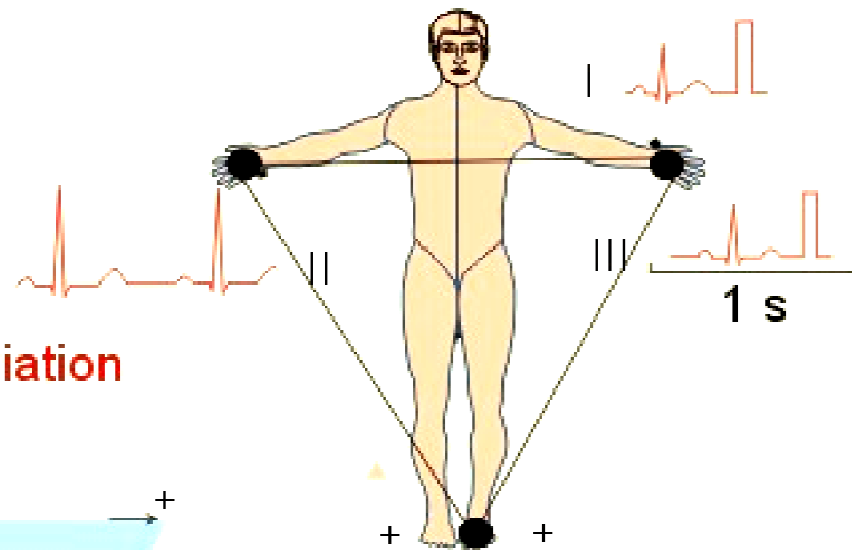
Electrochemical Generator In A Volume Conductor

Einthovens triangle with 3 standard leads in the frontal plane

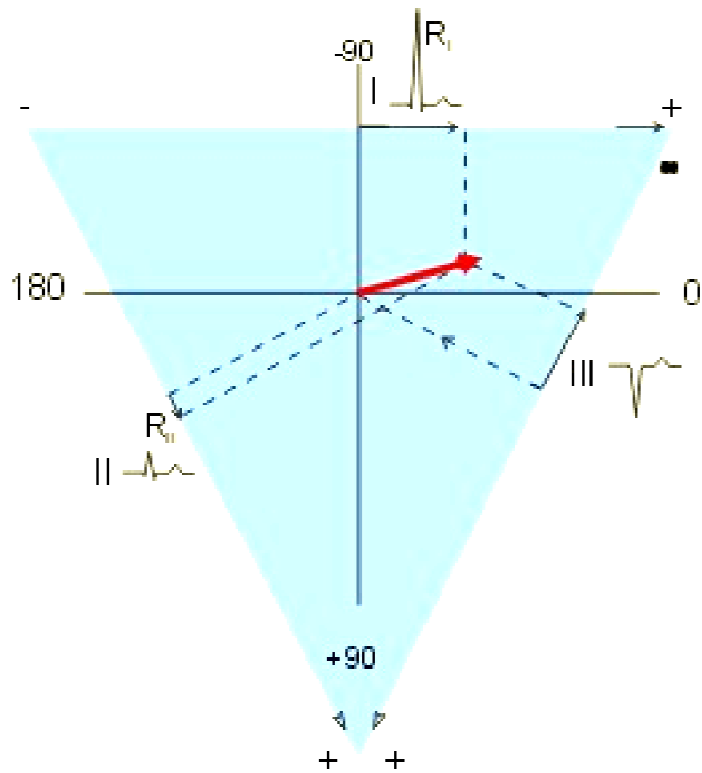


Standard Limb & Precordial Leads

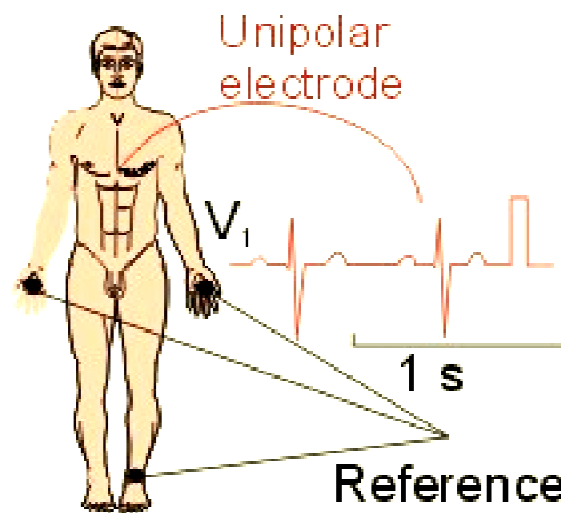
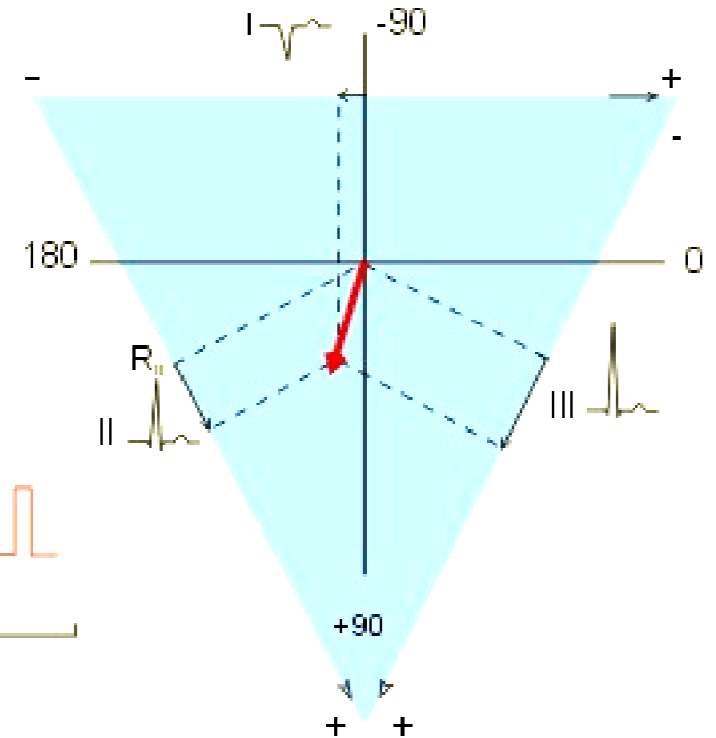
Einthovens triangle (frontal plane)



Left-sided axis deviation



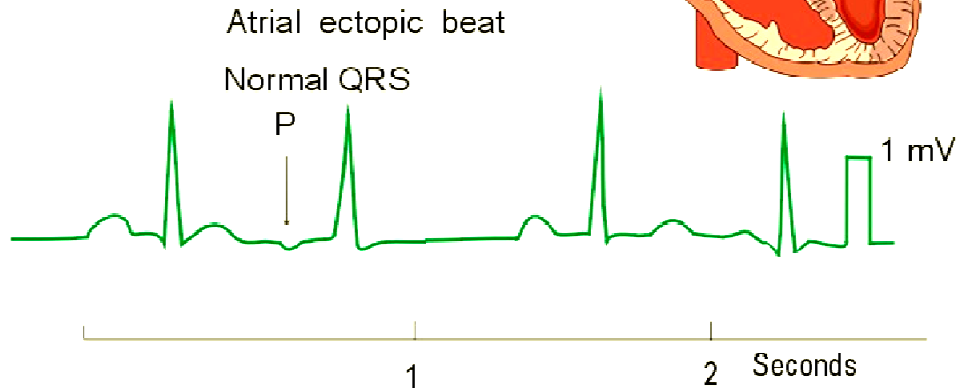
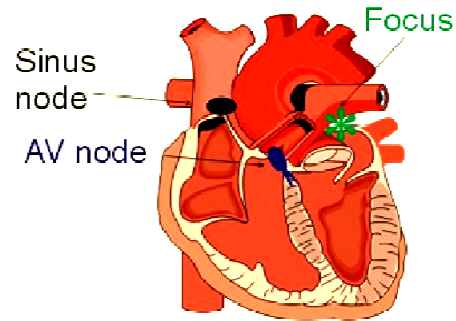
Right-sided axis deviation



Precordial leads: $V_1 - V_6$
Reference electrode
(Horizontal plane)

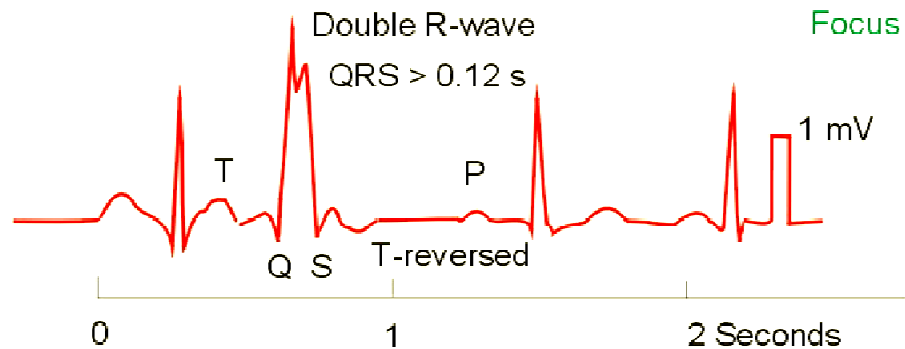
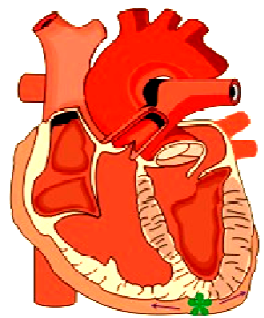
Atrial Ectopic Beat

Overdrive: Increased pump activity --- hyperpolarisation
 -- suppression



Ventricular Ectopic Beat

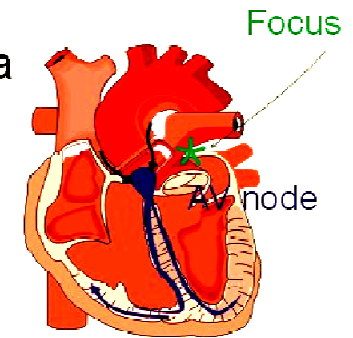
(Extrasystole)



Atrial & Ventricular Tachycardia

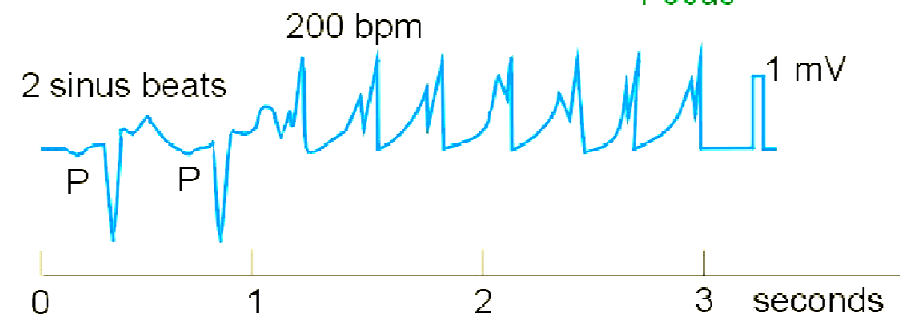
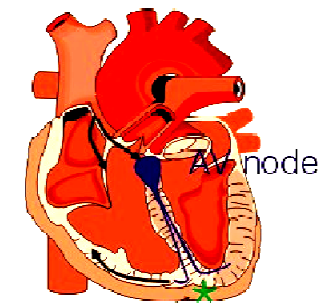
Atrial tachycardia

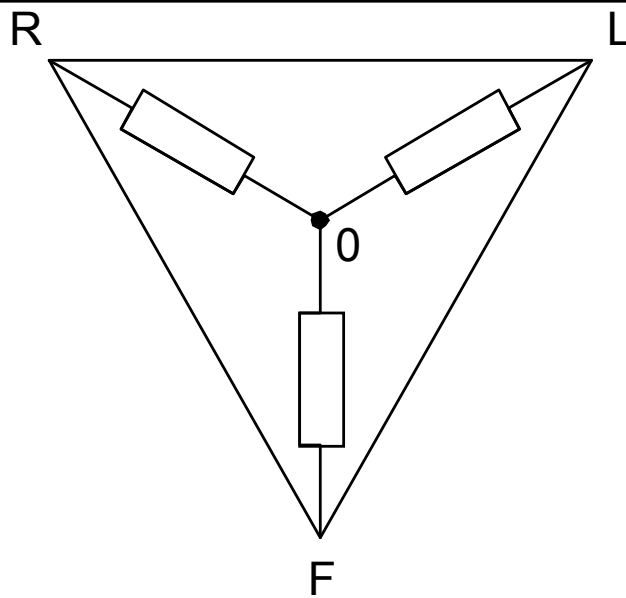
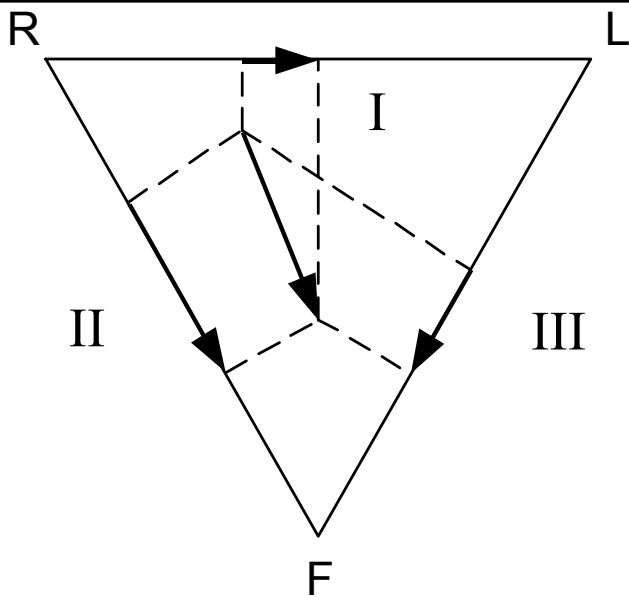
(>200)



Ventricular tachycardia

(>120; disturbed QRS)



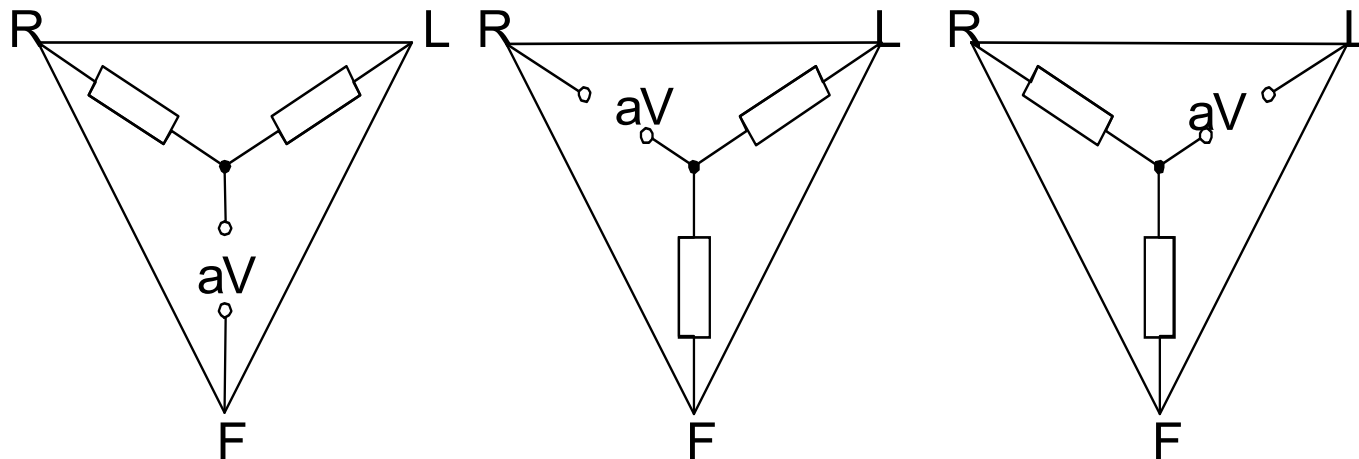


Einthovenův trojúhelník (vlevo) a Wilsonova svorka (vpravo)

- V1-V6
- aVF, aVR, aVL

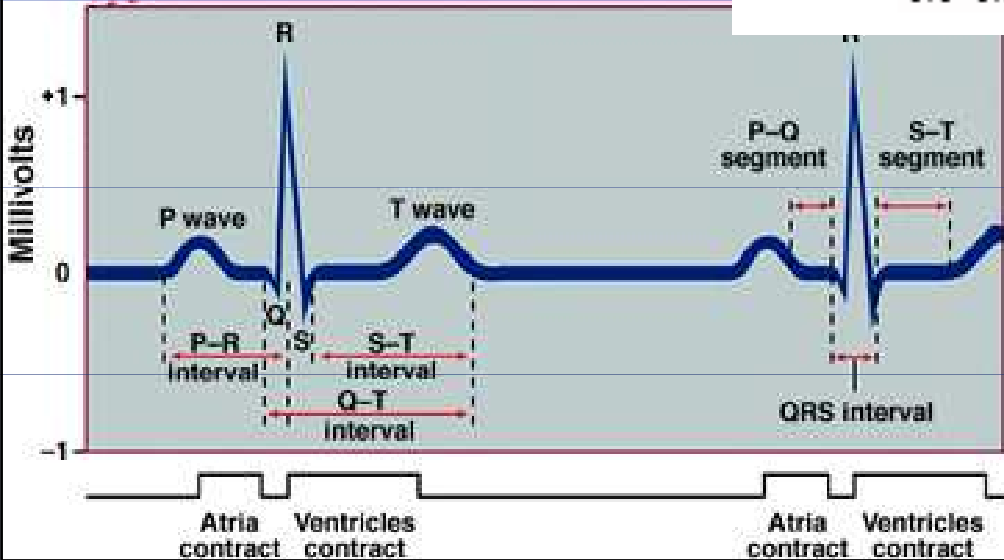
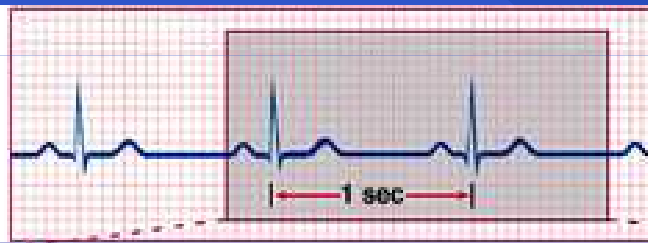
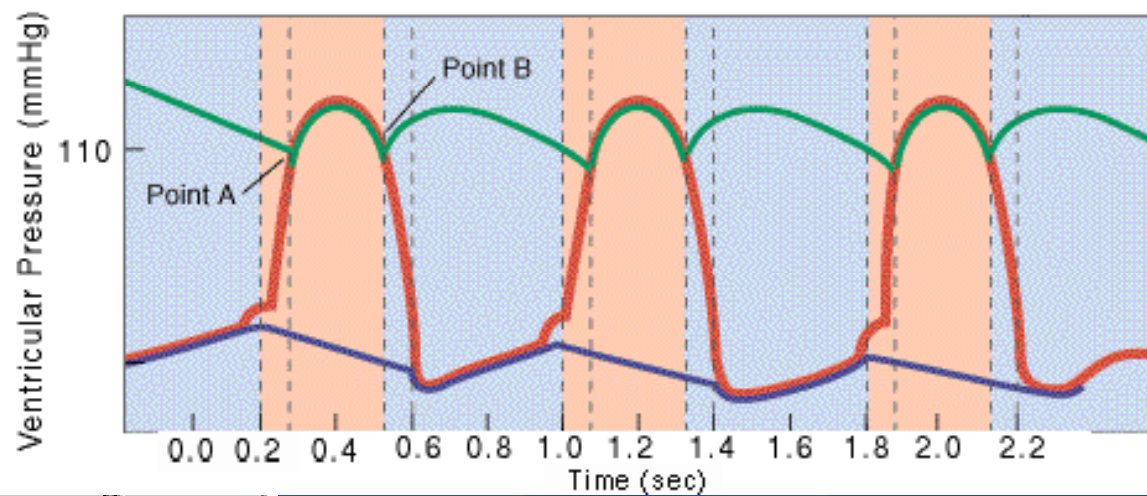
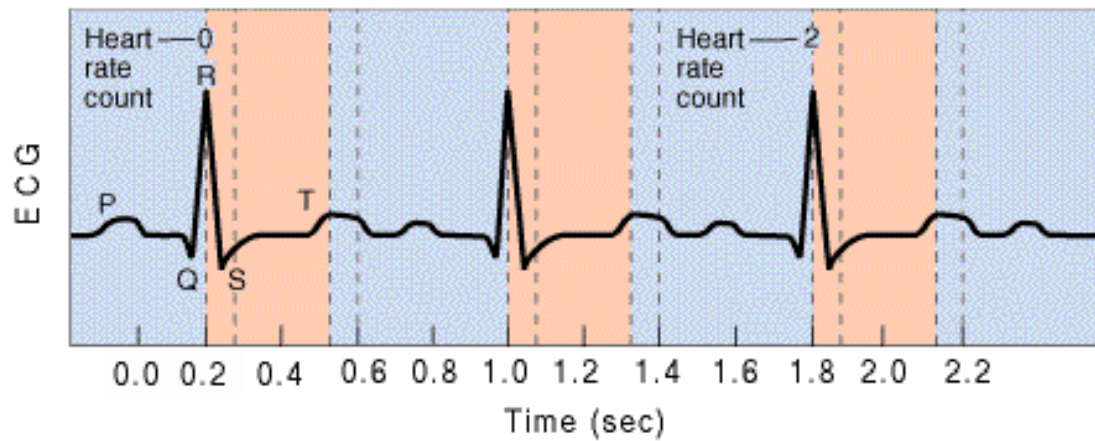
tří bipolárních
svodů: svod I - RL,
svod II - RF a svod
III - FL

Celkem 12 svodů



Zesílené Goldbergerovy svody

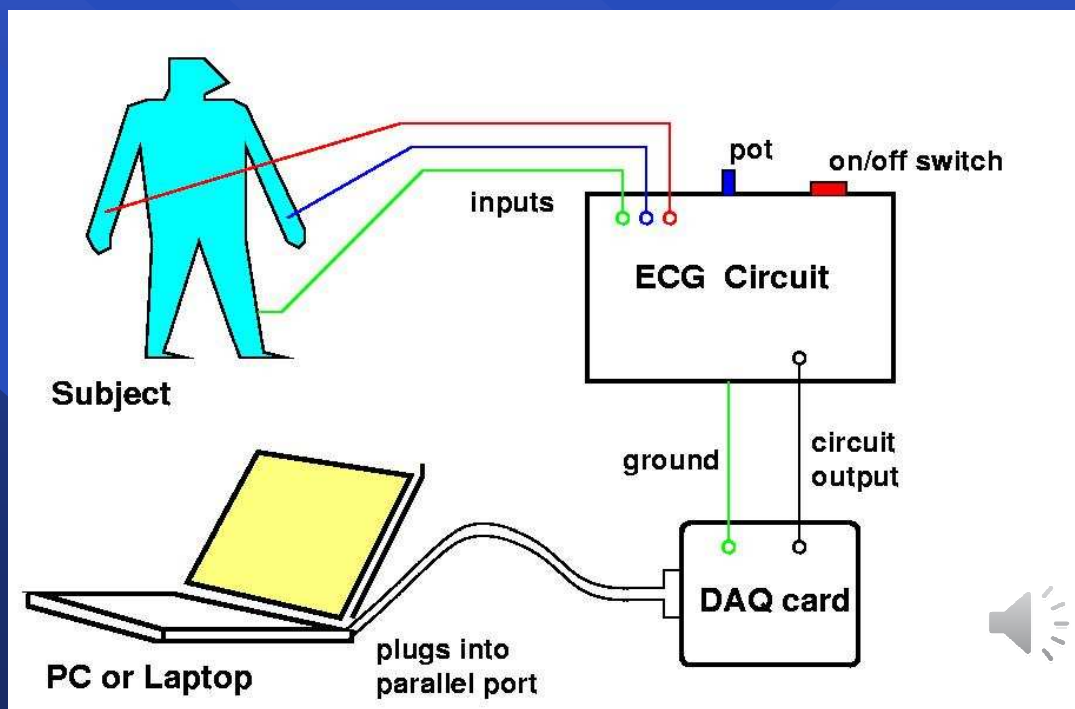
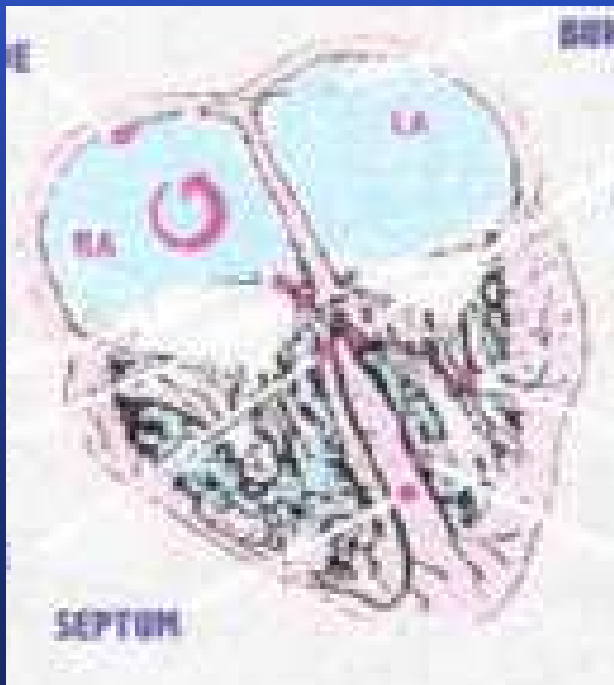




Holterovské monitorování



- Záznam 24 hodin,
- Počítač zpracuje
- ES –komorové a síňové

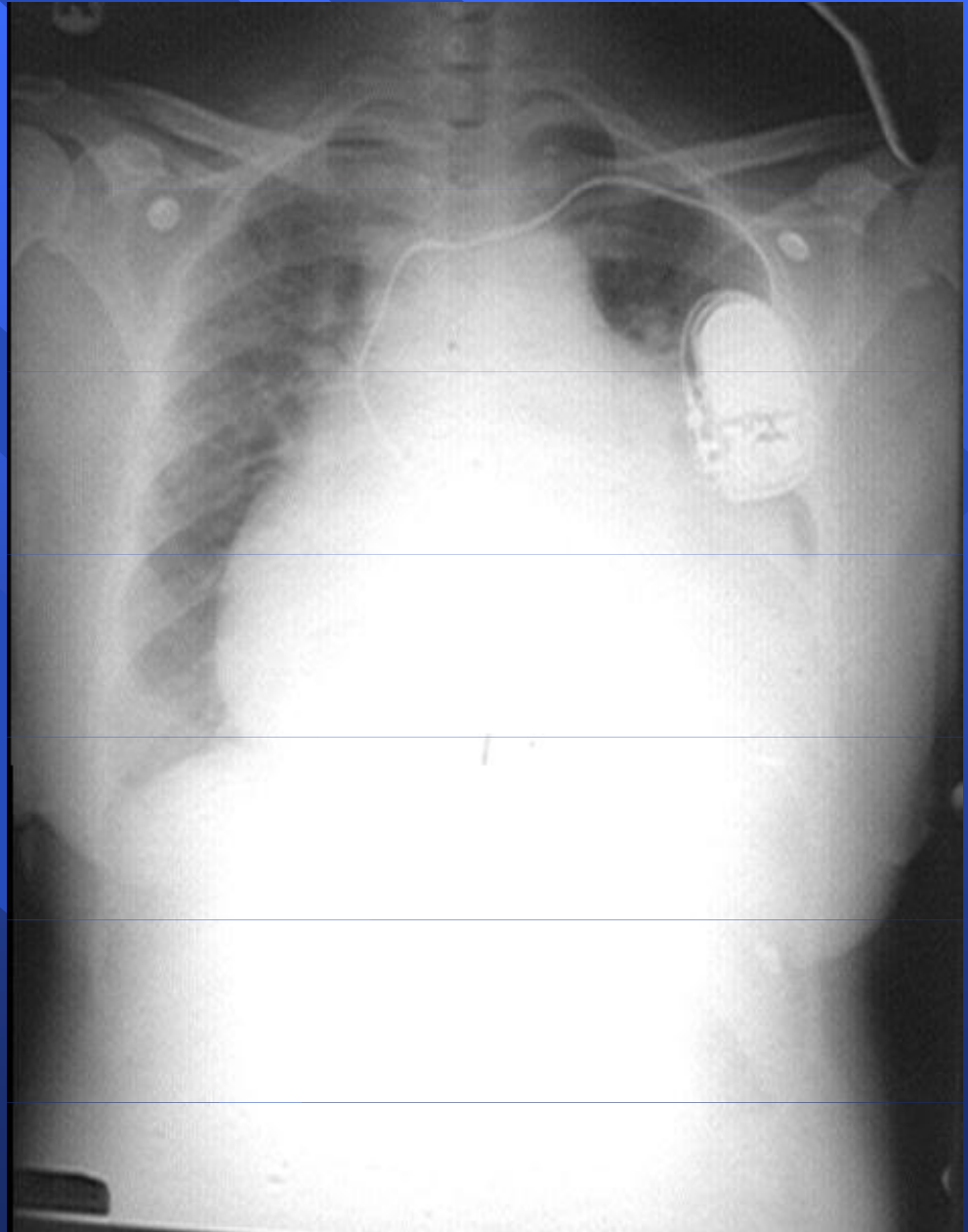
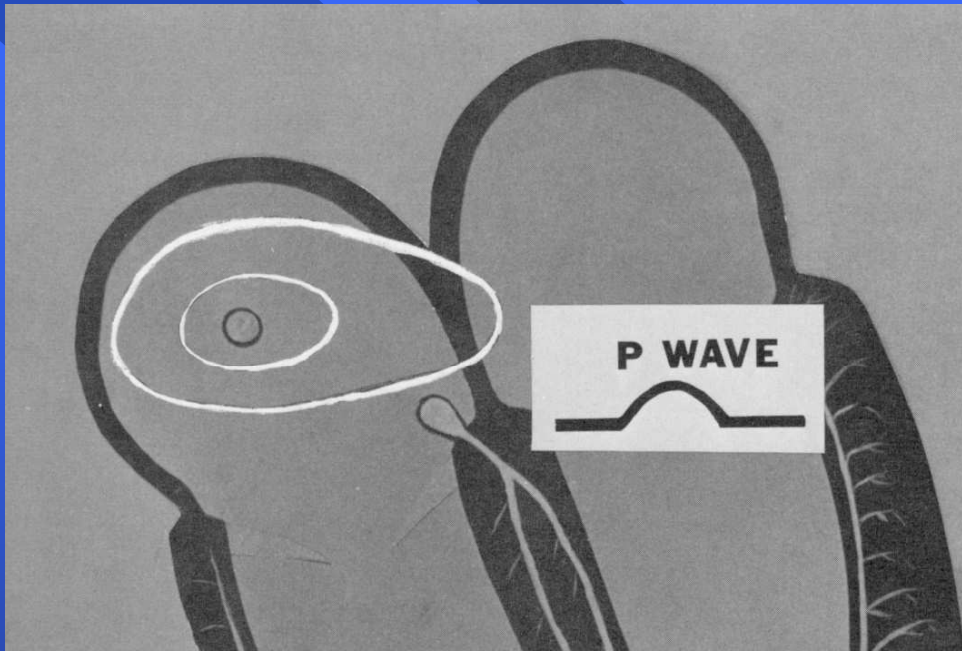


Kardiostimulace

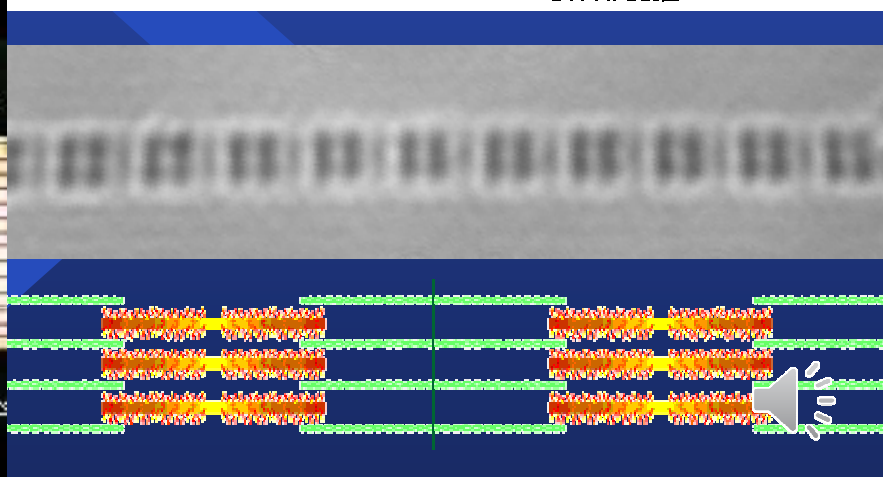
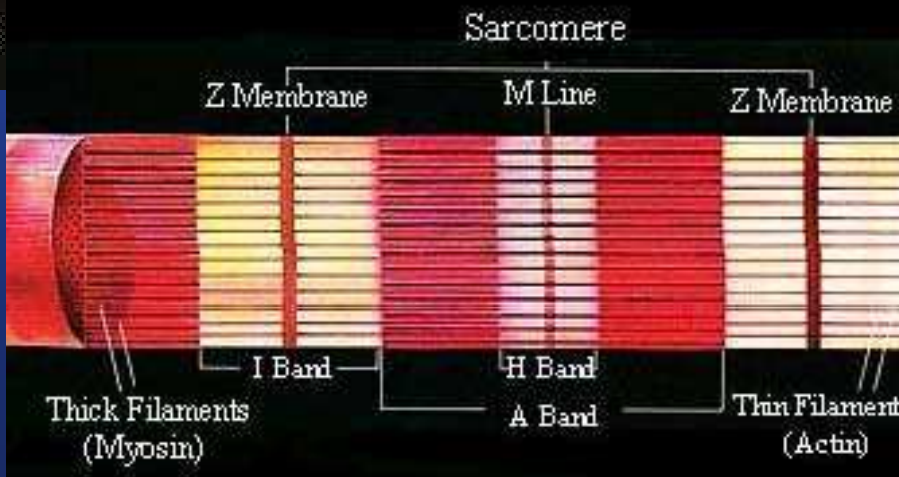
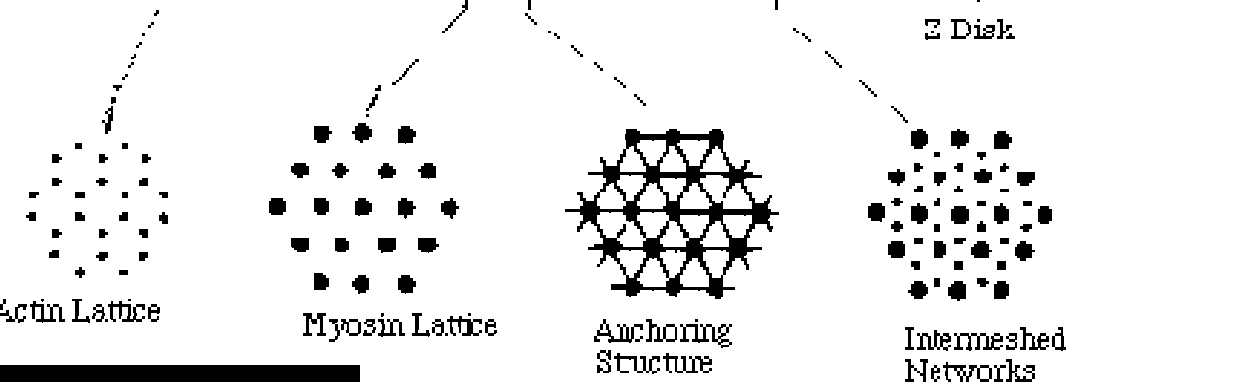
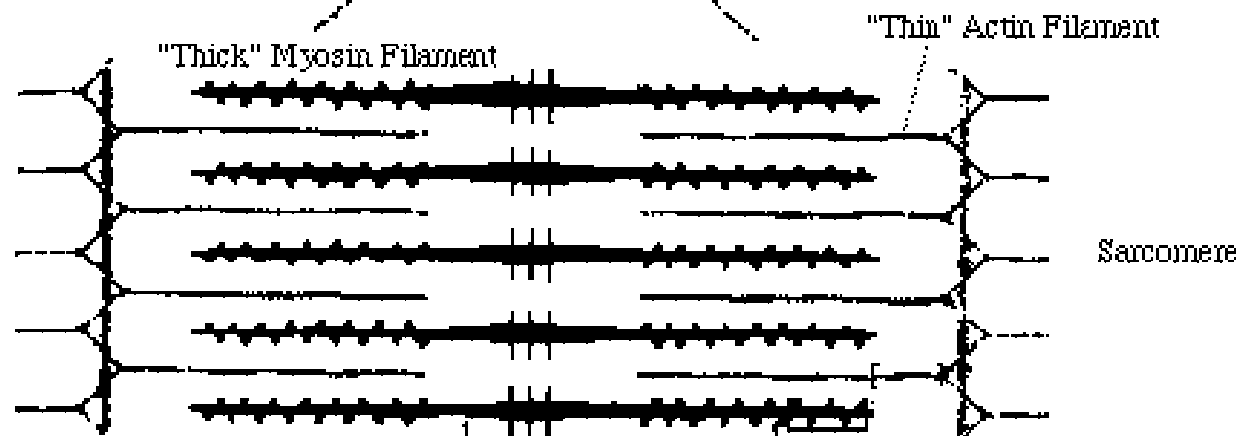
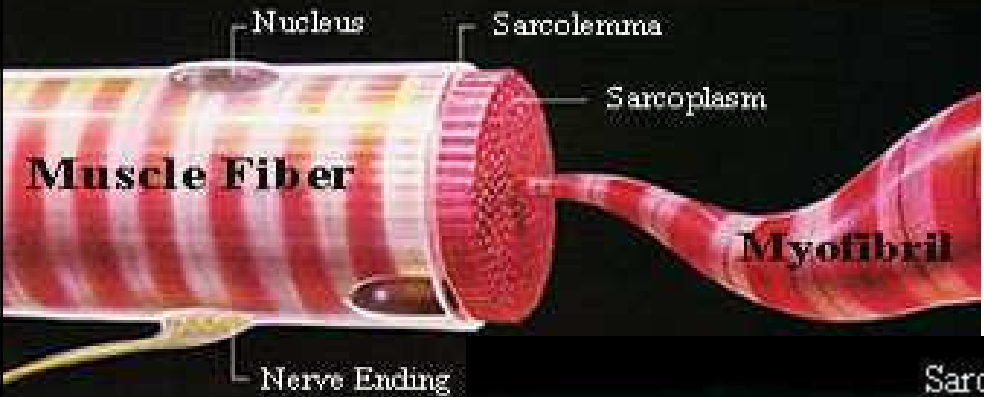


- **dočasná intravasální kardiostimulace**
- **dočasná trastorakální kardiostimulace**
- **dočasná jícnová kardiostimulace**





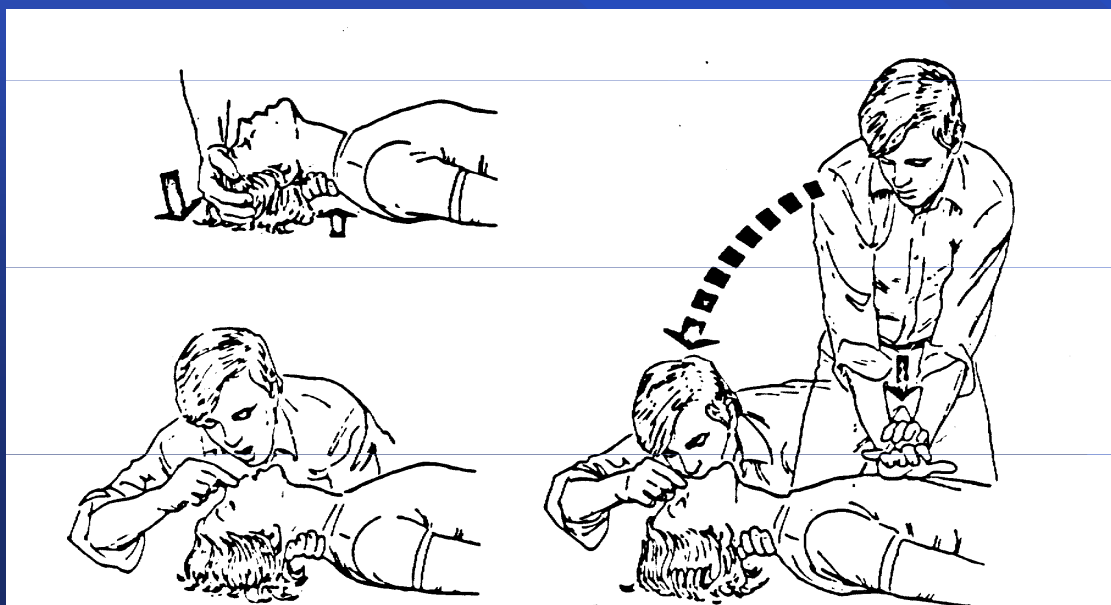
Sval



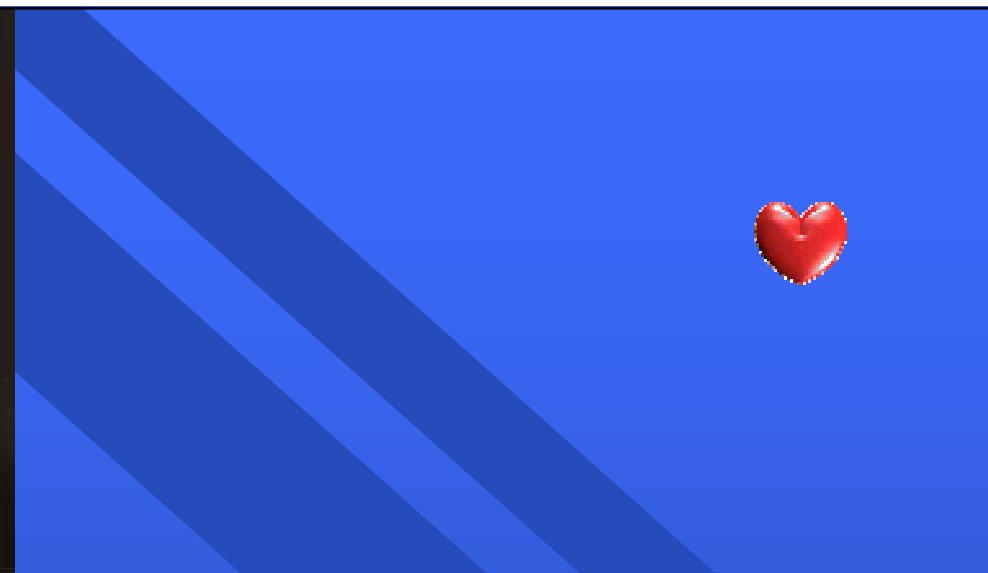
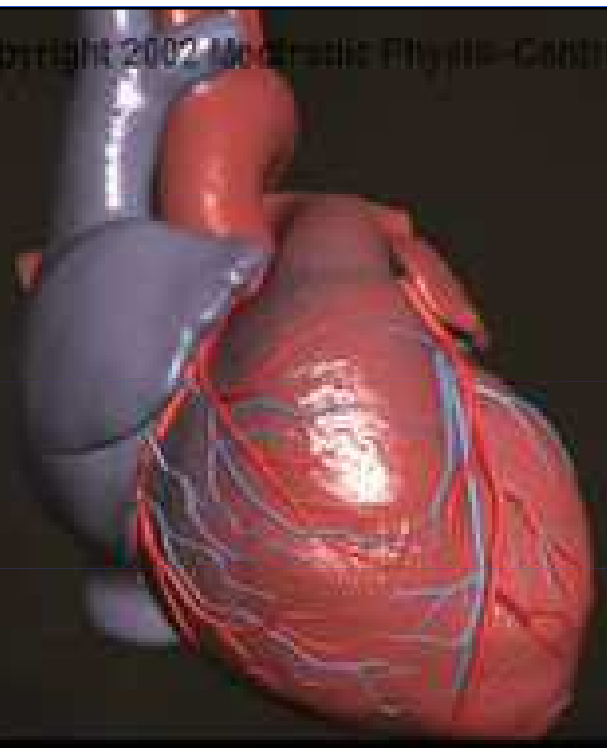
Kardioverze - JIP



- Puls má energii 50 Ws až 300 Ws
- Synchronizace R vlnou na EKG
- Nedotýkat se postele ani pacienta



Copyright 2002 Medtronic Physio-Control



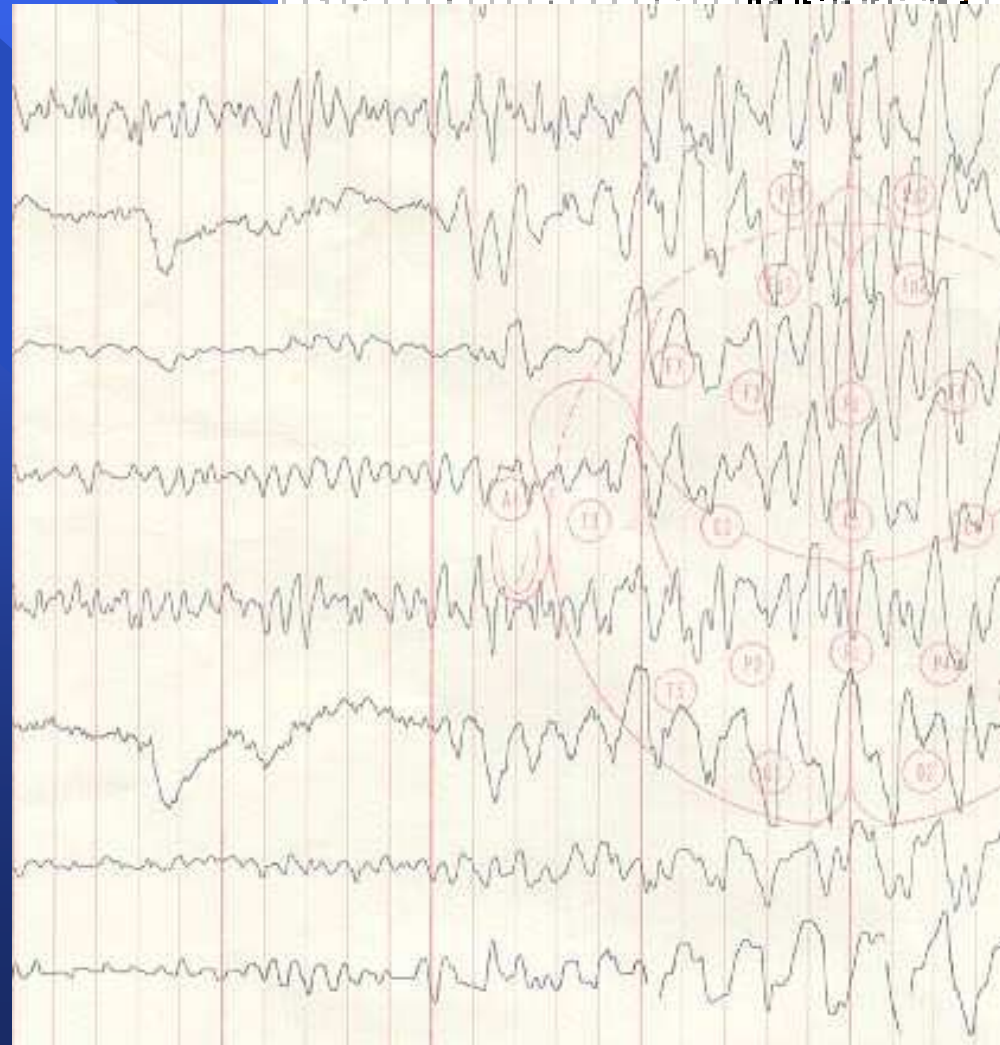
Defibrilace, kardooverze



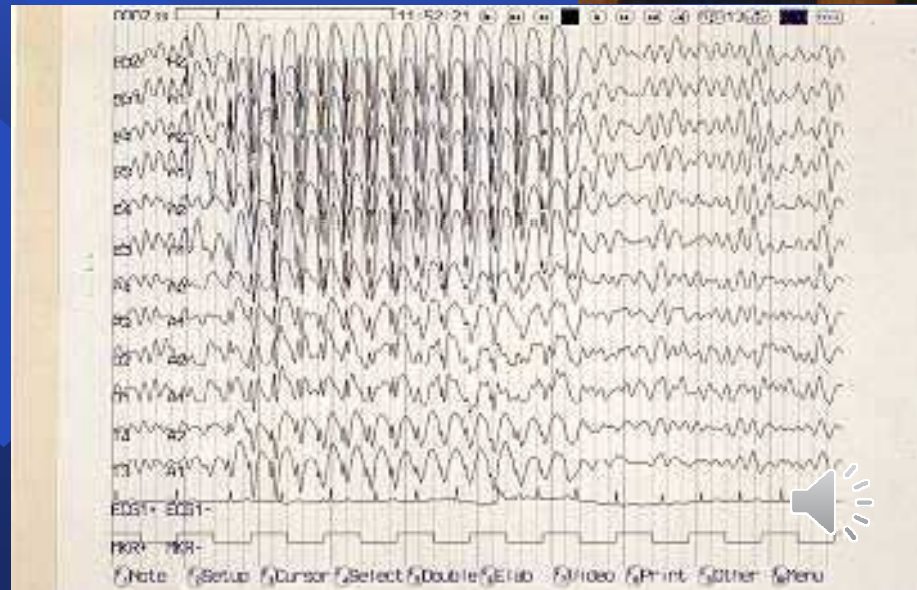
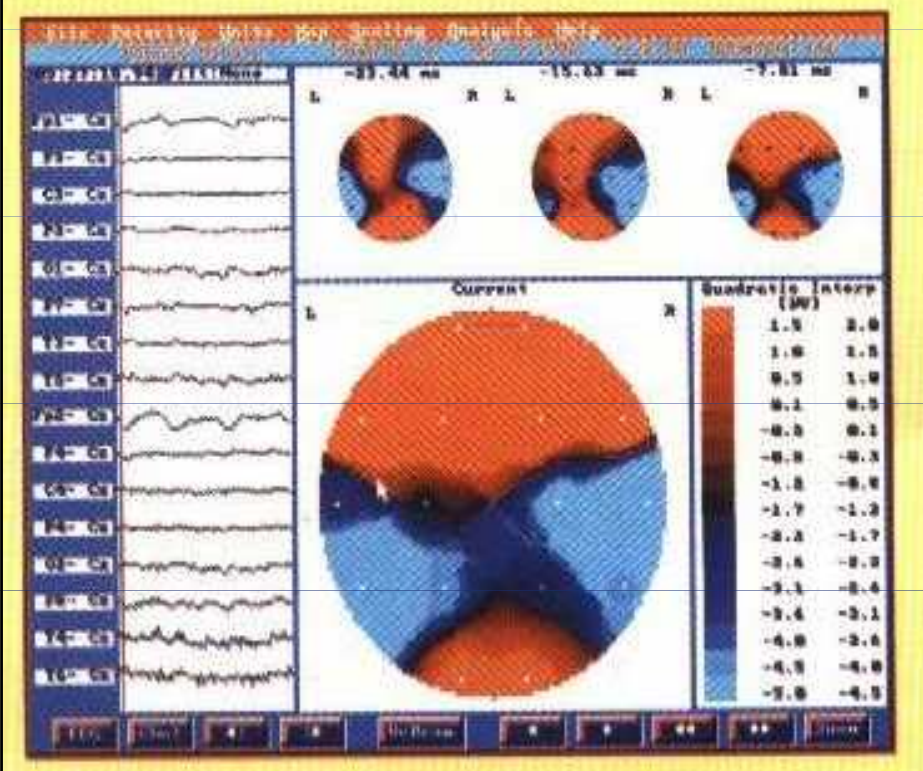
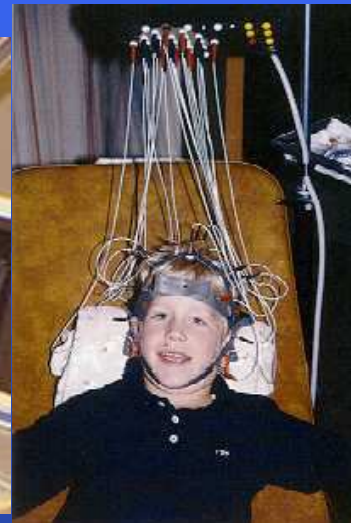
EEG - epilepsie



EEG's use head sensors to measure brain activity.



Sběr signálů EEG



Fyzikální veličiny v klinické praxi

- *Tlak v těle*
- *Krev jako tekutina*
- *Akční potenciály práce srdce*

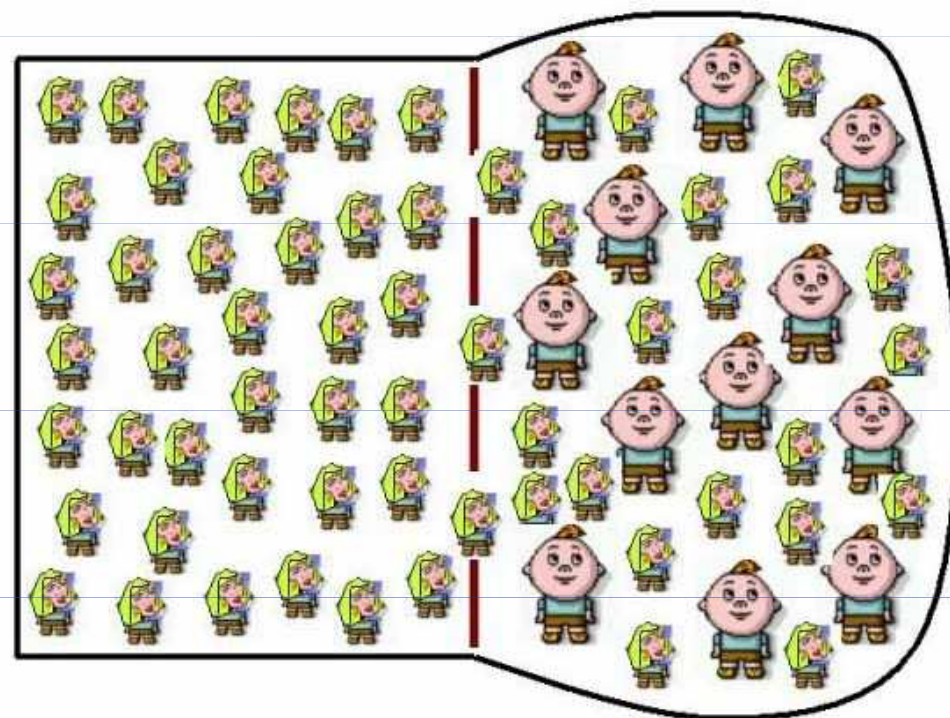
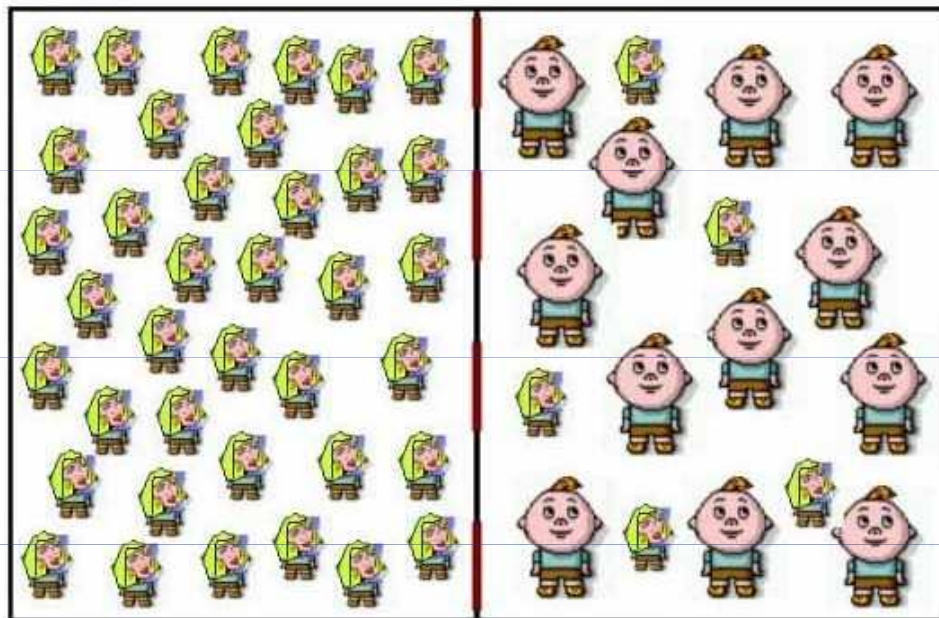


Osmotický tlak

- *Termodynamika*
- *Proudění krve*
- *Plyny k tekutinách*

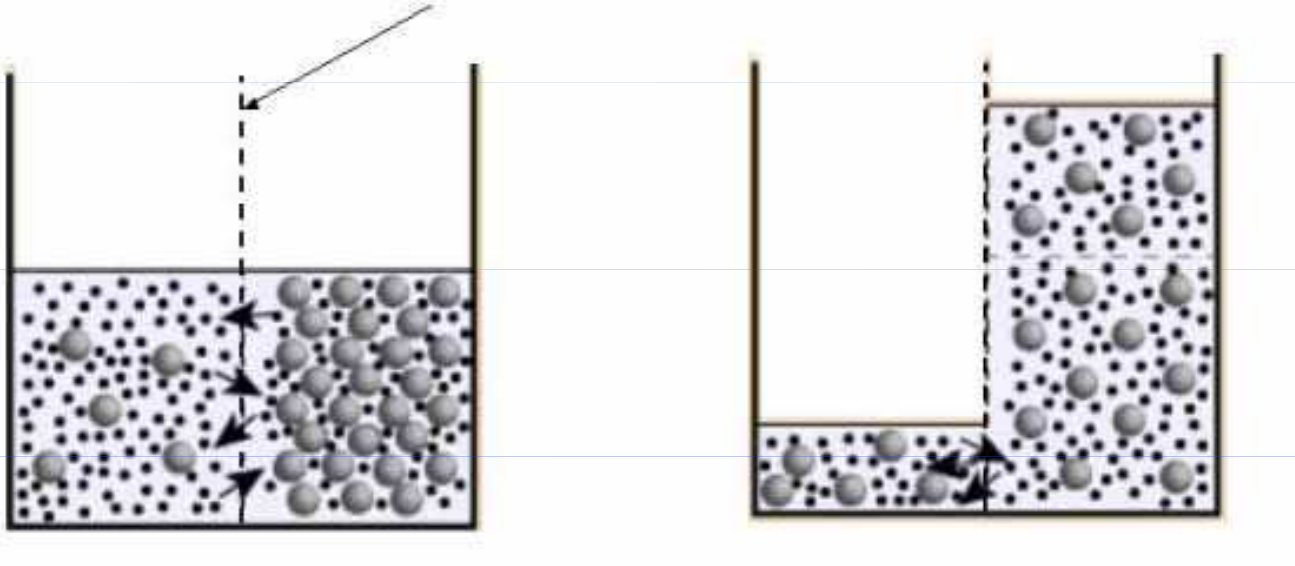


Osmotický tlak – matematický popis



Osmotický tlak

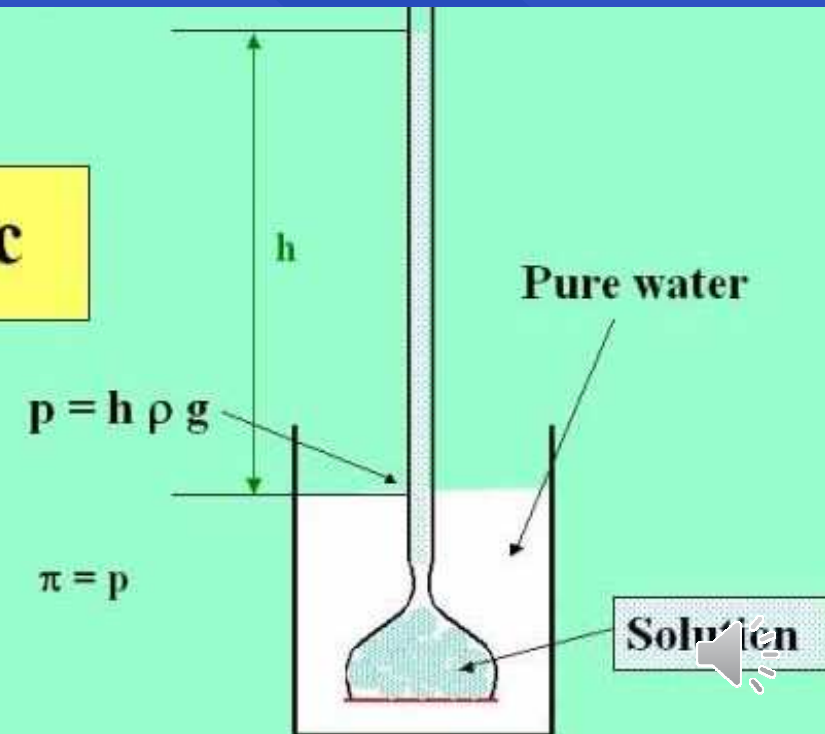
Semipermeabilní polopropustná stěna či membrána



rozpouštědlo

látka rozpuštěná v roztoku

$$\pi = RTc$$



$$\pi = - \frac{RT}{V_{pm}} \ln \frac{x_{o2}}{x_{o1}}$$

One compartment is pure solvent ($x_{o1}=1$)
 The solution is incompressible ($V_{pm}=\text{konstans}$)
 Solvent concentration is low

$$= c \quad (\text{concentration of the solute})$$

Vant'Hoff's law:

$$\pi = RTc$$

$$\pi = RTc$$

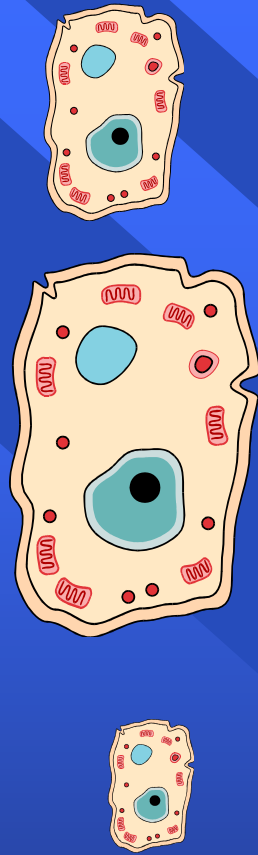
Molality: The number of moles of solute in 1 kg of solvent

Osmolarita = molaritě násobené počtem disociovaných iontů

0,3 M glycerin 0,3 Osmol

0,3 M NaCl 0,6 Osmol





Human and animal cells



Isotonic solution

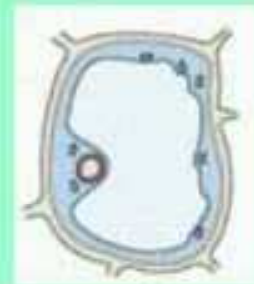


Hypotonic solution



Hypertonic solution

Plant cells



$$\pi = \sigma RTc$$

„reflection”
coefficient

$$0 \leq \sigma \leq 1$$

Isotonický není isoosmotický

- koloidní osmotický tlak
- Membrány jsou propustné pro rozpouštědlo



Termodynamika

$$dU = dQ + dW$$

matematickým vyjádřením *I. termodynamické věty* a vyjadřuje zákon zachování energie. Systém může konat práci ($-W$) jen tehdy, poklesne-li jeho vnitřní energie nebo je – li mu dodáno teplo. V této souvislosti považujeme práci nebo teplo za „+“ jsou-li do systému dodány, za „-“, jsou-li systémem vydány. Stroj, který by vykonával mechanickou práci aniž by spotřeboval odpovídající množství jiné formy energie, by byl v rozporu s *I. větou termodynamickou* a nazývá se *perpetum mobile I. druhu*.



Energie J

Práce je makrofyzikální uspořádaná forma energie ze systému co koná na systém co ji bere

Teplo je mikrofyzikální neuspořádaná forma energie mezi systémy, práce se může převést na jakoukoliv formu energie, ale teplo ne tam je část může být na makropráci.

Q= přírůstek U + práce

Entalpie – za stejného tlaku – $A = p \cdot \Delta V$

H= U+PV izobarické děje

reversibilní a irever. Děje

tzv. degradace energie – její přeměna část na práci

Specifické teplo – kalorimetrická rovnice – energie ke zvýšení teploty o 1 stupeň 1 Kg látky nebo molu

Skupenské teplo spotřeba energie na přeměnu 1 kg či molu při teplotě tání či tuhnutí.

$$dS = \frac{dQ}{T}$$



Energie J

Entalpie – $H = U + PV$ izobarické děje

Volná energie F – práce využitelná při izotermickém ději

Volná entalpie G

Chemický potenciál

$$F = U - TS$$

$$G = H - TS$$

$$\mu_i = \left(\frac{\partial G}{\partial n_i} \right)_{T, p, n_j \neq n_i}$$

Specifické teplo – kalorimetrická rovnice – energie ke zvýšení teploty o 1 stupeň 1 Kg látky nebo molu

Skupenské teplo spotřeba energie na přeměnu 1 kg či molu při teplotě tání či tuhnutí.

Tělo:

1.zářením 2.prouděním 3.vedením 4.vypařováním



Termodynamika

Teploměry: jednotka SI základní jednotka kelvin 1 K
K měření délková objemová roztažnost – délková
objemová, el. odporu, svítivost.

Termoregulace, - silová zařízení

Sterilizace autoklávy, kalorimetrie.

Léčebné užití tepla – solux infračervené el.mg


Ultrafialové, diatermie, hypertermie

Termodynamické pojmy

– energie, - celková vnitřní + práce, entalpie, entropie,
chemický potenciál, volná energie entalpie, *učebnice
střední školy.*

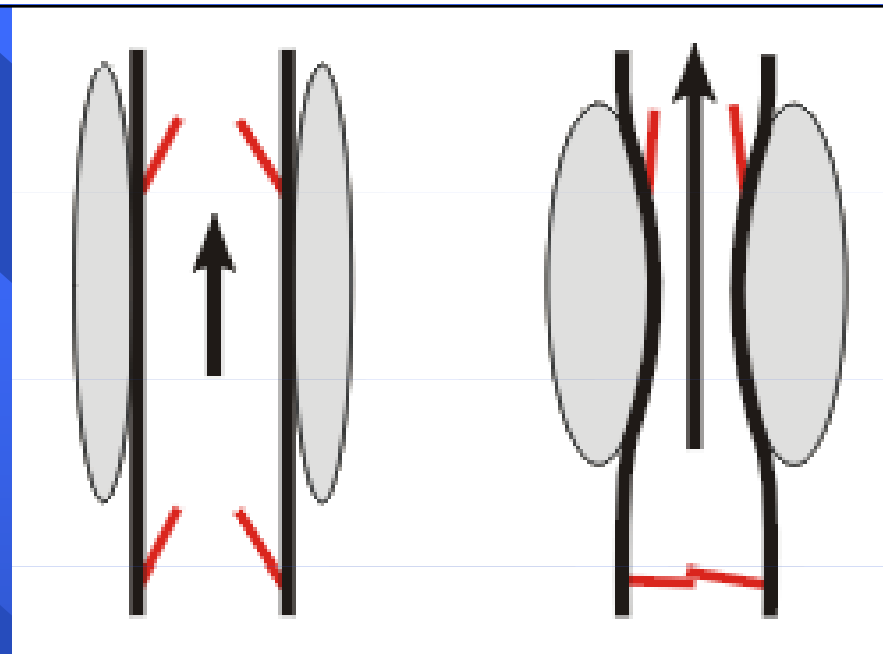


Fyzikální veličiny v klinické praxi

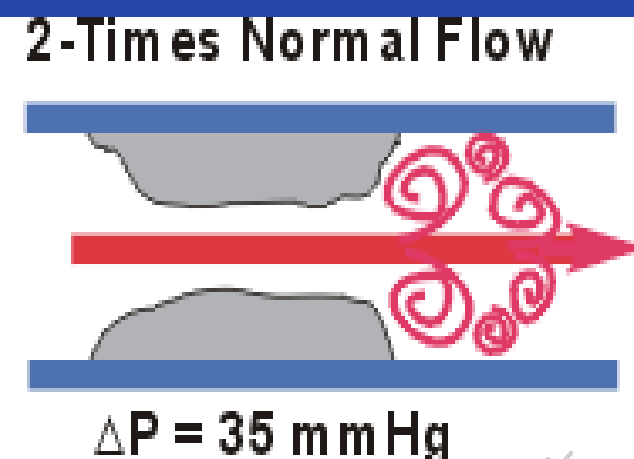
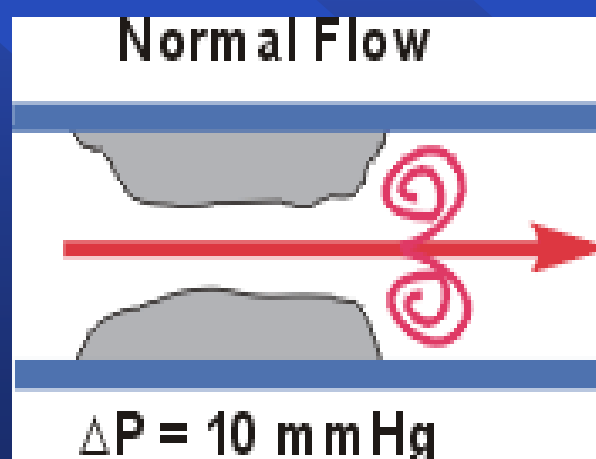
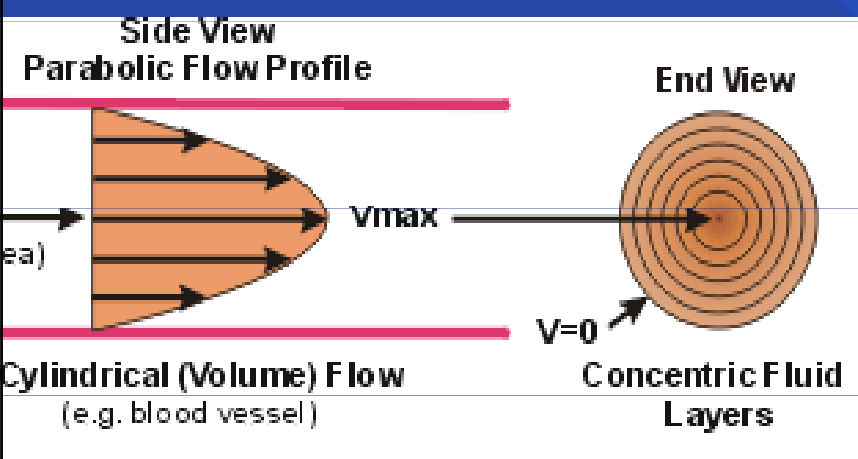
- *Tlak v těle*
- *Krev jako tekutina*
- *Akční potenciály práce srdce*
- *Osmotický tlak*
- *Termodynamika*
-  **Proudění krve**
- *Plyny k tekutinách*



Periferní srdce žilní systém, chlopně a tepová vlna, tepna těsně u žíly



Proudění tekutin – laminární turbulentní



Typy proudění

ideální kapalina viskozita 0, reálná,

Reynoldovo číslo

$R = \text{rychlost} \times \text{poloměr} \times \text{hustota} / \text{viskozita}$

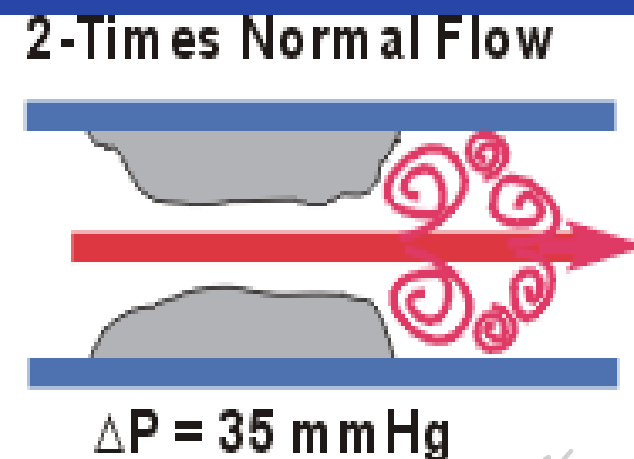
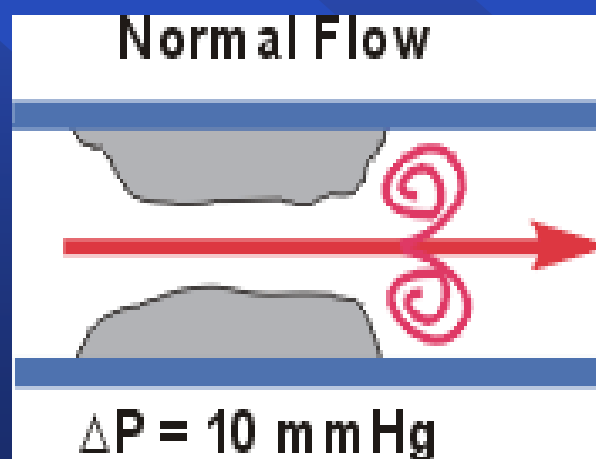
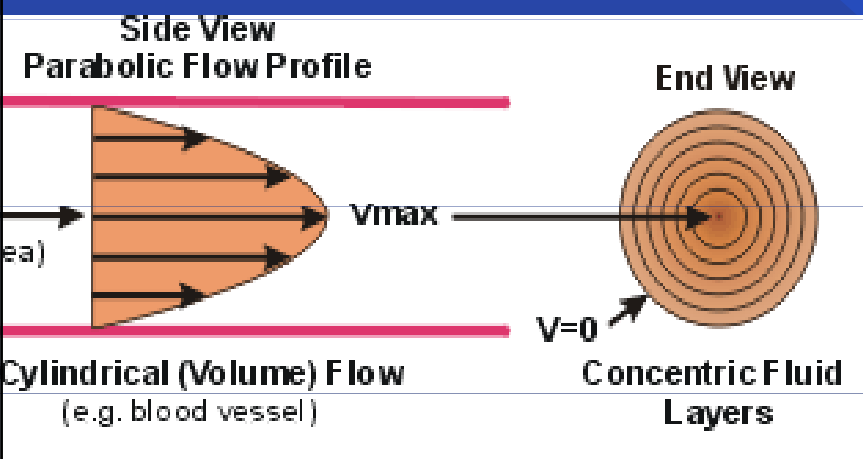
Rychlost m/s

Poloměr m

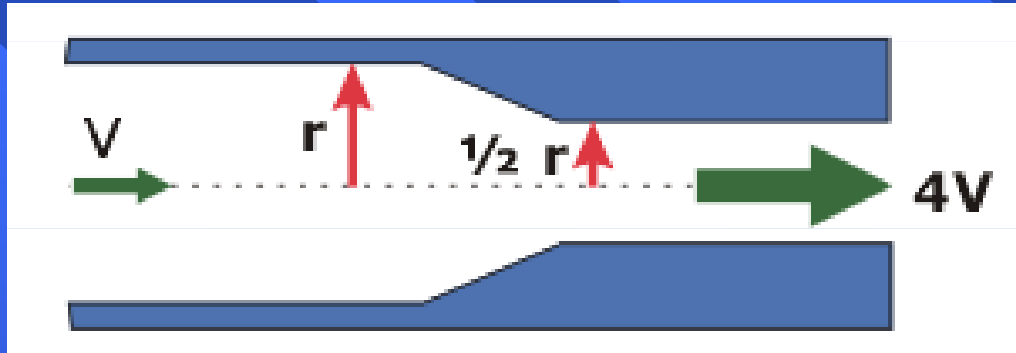
Hustota kg/m^3

Viskozita Ns/m^2

Do 100 stacionární do 1000 je laminární a nad 1000 turbulence



Proudění – rovnice: kontinuity a Bernoulliho



rovnice kontinuity: průřezem S_1 i S_2 proteče za stejný časový interval tekutina o stejné hmotnosti

pro nestlačitelné kapaliny pak platí:

$$S_1 v_1 = S_2 v_2 = konst.$$

při proudění platí zákon zachování mechanické energie

z rovnice kontinuity vyplývá, že tekutina má v S_2 větší rychlost než v $S_1 \Rightarrow$ tekutina má v S_2 větší kinetickou energii než v $S_1 \Rightarrow$ při zvýšení kinetické energie se musí snížit tlaková potenciální energie $E_p = W = p \times \Delta V$

$$\frac{1}{2} \rho_1 v_1^2 + p_1 = \frac{1}{2} \rho_2 v_2^2 + p_2 = konst.$$



PROUDĚNÍ IDEÁLNÍCH TEKUTIN

- hydrodynamický paradoxon - z Bernoulliho rovnice plyne, že v místě s vyšší rychlosti má kapalina nižší tlak
- při velkém zúžení trubice může tlak klesnout pod hodnotu atmosférického tlaku a do trubice je nasáván vzduch.
- využití u rozprašovačů, vodních vývěv, karburátoru,... využití hydrodynamického paradoxonu a Bernoulliho rovnice: rozprašovač, vodní vývěva, karburátor.....

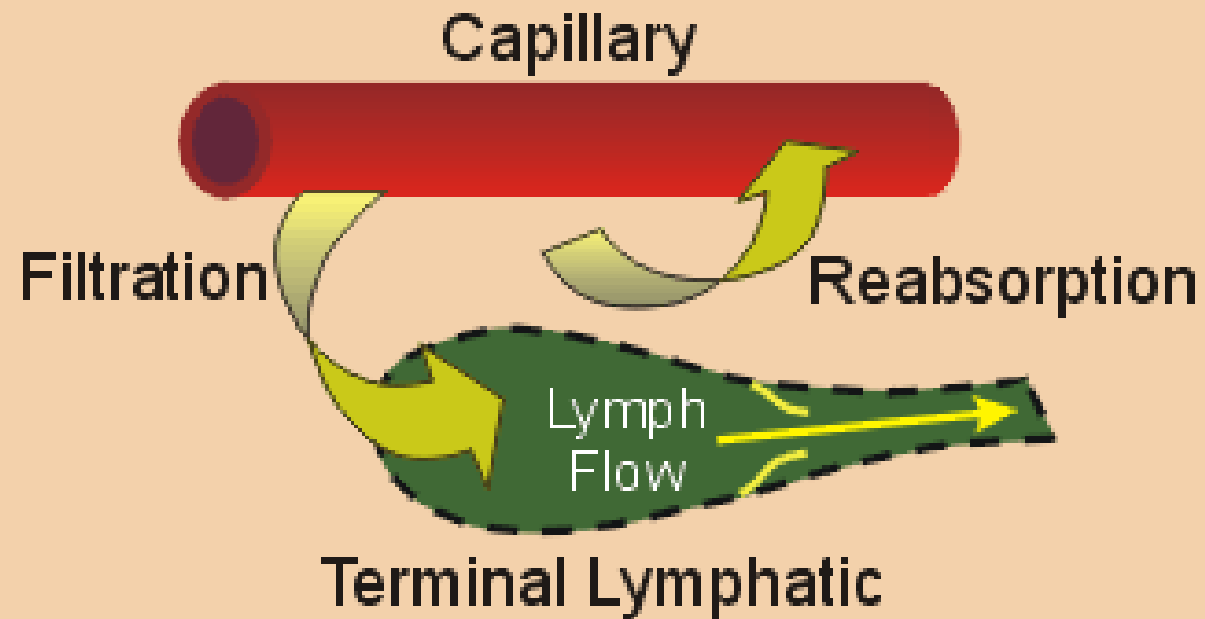
PROUDĚNÍ SKUTEČNÉ (REÁLNÉ) KAPALINY

síly, které brzdí pohyb kapaliny - původ ve vzájemném silovém působení částic kapaliny - síly vnitřního tření, způsobují přeměnu části kinetické energie kapaliny na její vnitřní energii

kapalina proudí v trubici různými rychlostmi laminární proudění - při ustáleném proudění a malých rychlostech turbulentní proudění - větší část mechanické energie proudící kapaliny se přeměňuje na vnitřní energii kapaliny



Pohyb tekutiny v kapiláře, zjednodušeně pro dvě veličiny



P_T π_T

P_C = capillary hydrostatic pressure

P_T = tissue hydrostatic pressure

π_C = capillary plasma oncotic pressure

π_T = tissue fluid oncotic pressure

P_C

π_C

$$NDF = (P_C - P_T) - \sigma (\pi_C - \pi_T)$$

When $NDF > 0 \rightarrow$ Filtration

When $NDF < 0 \rightarrow$ Reabsorption



Technické parametry cirkulace

Céva typ	prů- měr	Celk. řez V cm ²	Podíl objemu(%)	Tlak (Hgmm/kPa)	tok (m/s)
Aorta	25 mm	2.5	15	120/80	0.33
Artery	4 mm	20		90/60	
Arteriole	30 μm	40		85/30	
Capillary	8 μm	2500	5	30>10/4	0.0003
Venule	20 μm	250	59	10-14	
Vein	5 mm	80		5- 8	0.006
Vena cava	30 mm	8		0/0	0.22



Vztlak a odpor vody

Přehled našich pojmů a dosud řečeného

Tlak $p = \rho gh$

Rovnice kontinuity, Bernoulliho rovnice

Archimedův zákon vztlak = $G \times \frac{\text{hustota}_{\text{kapaliny}}}{\text{hustota}_{\text{tělesa}}}$

Odpor vody

Síla odporu = $c \cdot S \cdot \rho \cdot v^2 / 2g$ c - je činitel tvaru

Viskozita kapalin – byla probírána

Proudění laminární a turbulentní

Reynoldsovo číslo



Fyzikální veličiny v klinické praxi

- *Tlak v těle*
- *Krev jako tekutina*
- *Akční potenciály práce srdce*
- *Osmotický tlak*
- *Termodynamika*
- *Proudění krve*



Plyny k tekutinách



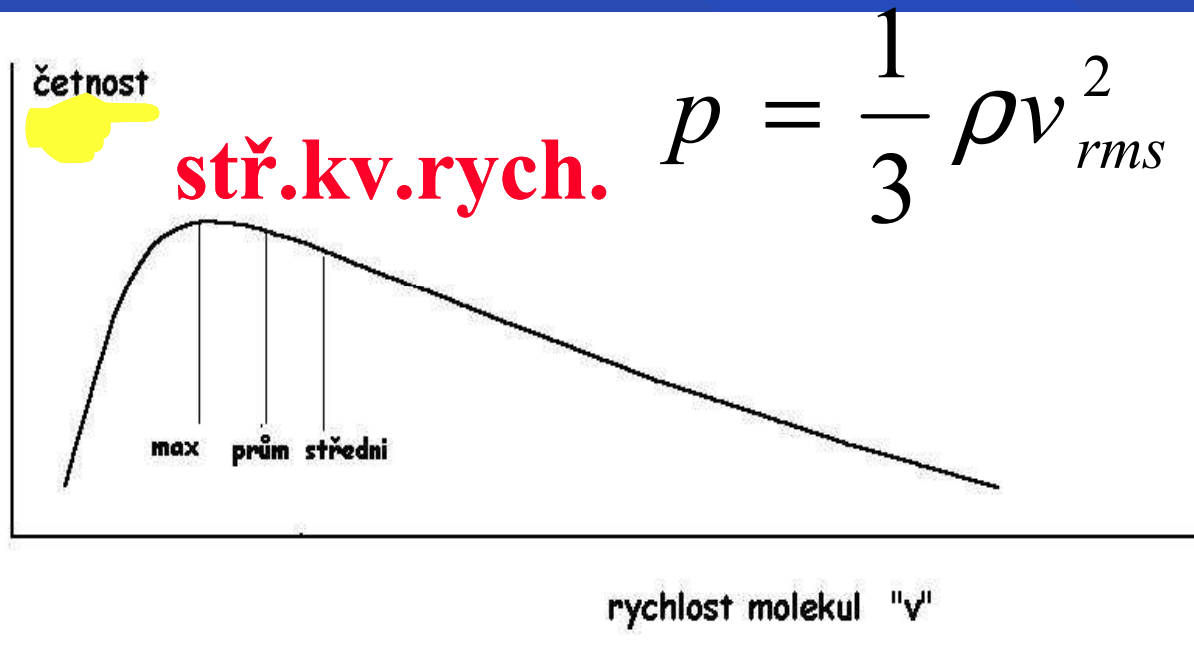
MOLEKULÁRNÍ BIOFYZIKA

■ *Skupenské stavy hmoty*

■ $pV = nRT$

■ *Maxwellovo-Boltzmannovo rozdělení*

$$\left(p + \frac{a}{V^2} \right) (V - b) = nRT$$



Nejpravděpodobnější

$$v_{mp} = \sqrt{\frac{2kT}{m}}$$

Průměrná

$$v_{av} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi \cdot m}}$$

Střední kvadratická

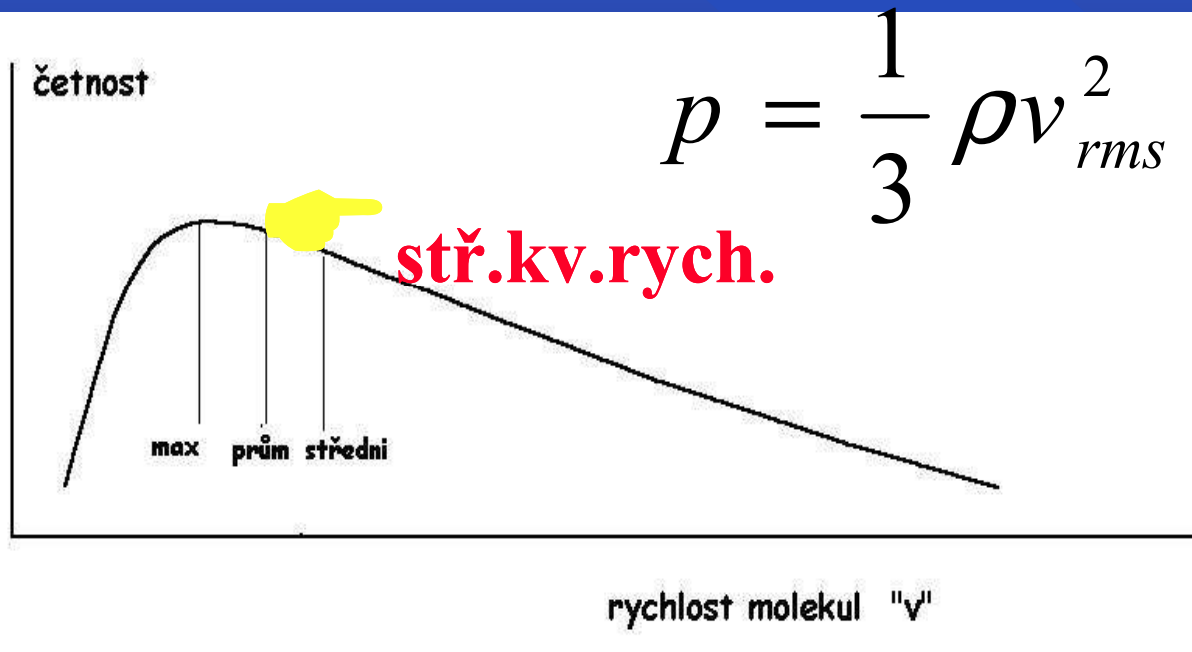
$$v_{ef} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$$



MOLEKULÁRNÍ BIOFYZIKA

$$v_{ef} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$$

■ *Maxwellovo-Boltzmannovo rozdělení*



$$E_{k, stř} = \frac{3}{2} \cdot \frac{R}{N_A} \cdot T = \frac{3}{2} kT$$

$k = R/N_A = (8.31 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}) / (6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}) = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J.K}^{-1}$ je Boltzmannova konstanta a T je absolutní teplota.



MOLEKULÁRNÍ BIOFYZIKA

■ *Skupenské stavy hmoty*

■ $pV = nRT$

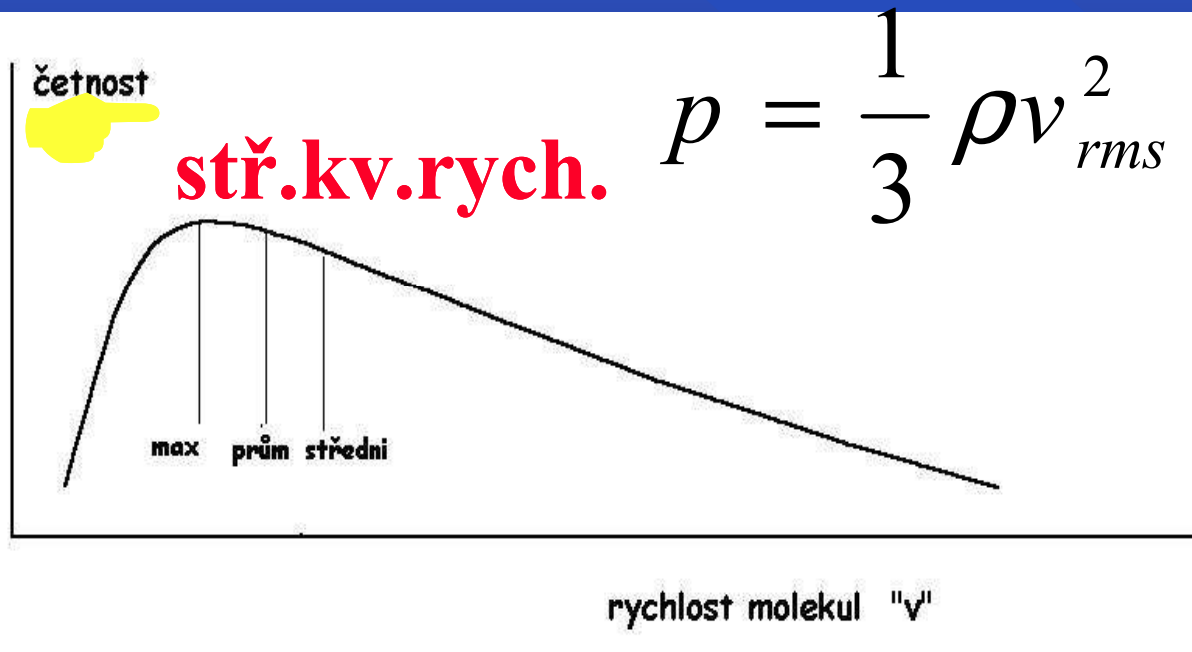
■ *Maxwellovo-Boltzmannovo rozdělení*

$$\left(p + \frac{a}{V^2} \right) (V - b) = nRT$$

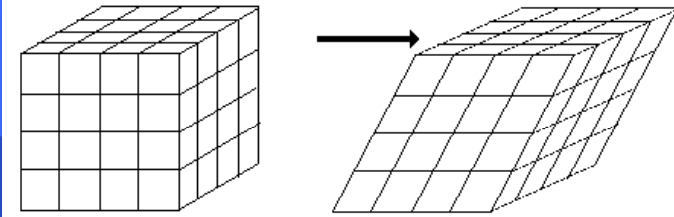
Nejpravděpodobnější $v_{ef} = \sqrt{\frac{2kT}{m}}$

Průměrná $v_{av} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi \cdot m}}$

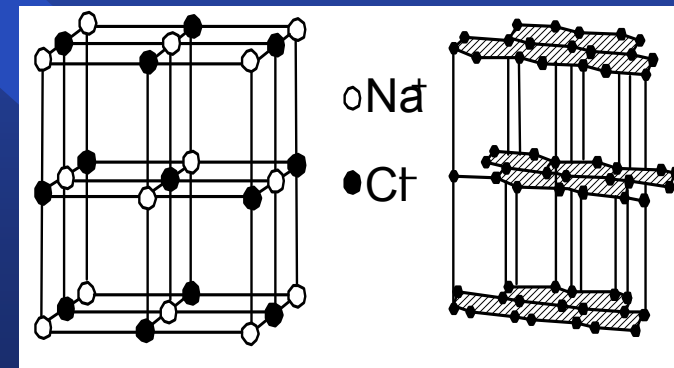
Střední kvadratická $v_{ef} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$



Kapalinya tuhé látky



- U kapalin - izotropní, nelze zanedbat vzájemnou soudržnost molekul,
- Tuhé látky přesné prostorové uspořádání,
- Pozor přechlazené kapaliny
- "elektronový plyn"
- Plasma - fyzikální



Klasifikace disperzních systémů

- a) disperze analytické (do 1 nm). Jejich název plyne z toho, že částice nemůžeme fyzikální cestou zjišťovat, můžeme je identifikovat pouze chemicky, analyticky;
- b) disperze koloidní (1–1000 nm);
- c) disperze hrubé (1 μm a větší)



Sedimentace- fyzika nikoliv FW

- Klesání částic ve směru působením gravitačního pole se nazývá sedimentace. Proti tomuto ději však působí tepelný pohyb molekul.
- *sedimentační rovnováha*
- *Stokesovým zákonem*
- $F_g - F_{vztlak} = V(\rho - \rho_0)g$
- $F_g - F_{vztlak} = F_{odpor}$,

$$F_{odpor} = 6\pi\eta r v$$

$$v = \frac{2}{9} \cdot \frac{(\rho - \rho_0)gr^2}{\eta}$$

viskozita prostředí η



Plyny rozpuštěné v kapalině

- Plyn se do kapaliny absorbuje
- V rovnovážném stavu přechází v časové jednotce stejné množství molekul daného plynu z plynné fáze do kapalně a naopak

Henryho zákon říká, že váhové množství plynu rozpuštěné za dané teploty v kapalině je přímo úměrné tlaku plynu nad kapalinou

Rozpustnost plynů v kapalině s rostoucí teplotou klesá

Henryho zákon má význam ve fyziologii dýchání.

$$\frac{m}{V_{kap}} = kP$$

$$c_{kap} = \alpha^* P$$

**c_{kap} koncentrace
plynu v kapalně
fázi vyjádřena v
počtu molů na
litr**



Rozpouštění plynů v kapalinách

**Zvýšený atmosférický tlak – hyperbarie – potápěči, embolie –
Kesonová nemoc**

Hypobarie – *blázní na druhé straně* – horolezci (*horská nemoc*)

**Vnější dýchání-objemové změny hrudníku, plíce se pasivně vlastní
pružností přizpůsobují hrudníku**

Podtlak a pneumotorax

Výměna plynů difuze – Fickův zákon

*Rychlost difuze je dána difuzní konstantou, plochou a gradientem
koncentrace*



Konec této části lékařské fyziky

