



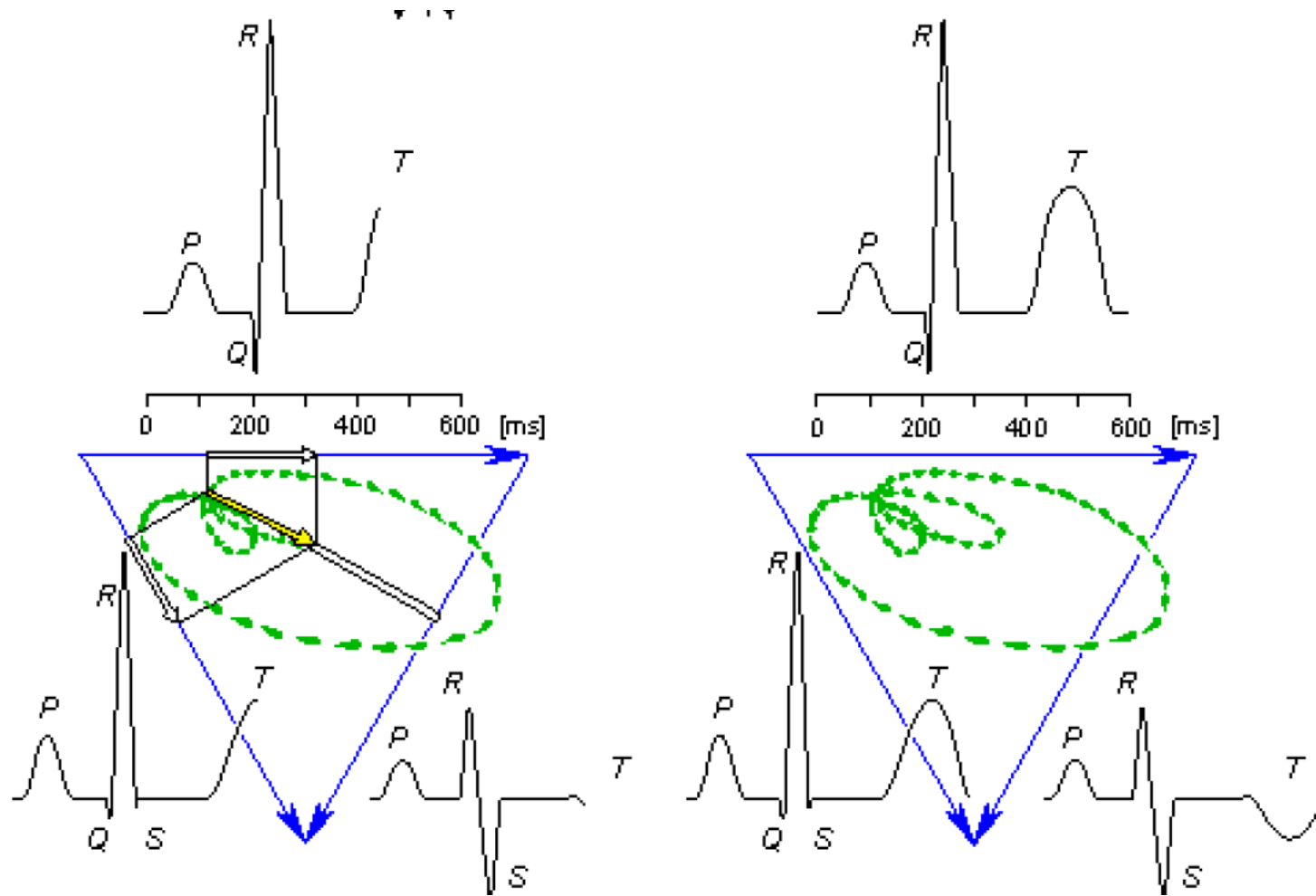
EVROPSKÁ UNIE  
Evropské strukturální a investiční fondy  
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



# Teorie ekg a vkg svodů

Peter Kneppo

# Biosignál: elektrická aktivita srdce



# Modelování v biomedicině

**analogické modely** – vlastnosti originálu a modelu jsou popsány stejnou matematickou funkcí

- **izomorfní** – podobnost je vzájemně jednoznačná v obou směrech
- povaha prvku může být rozdílná např. negativ a pozitiv
- **homomorfní** – každému prvku v modelu odpovídá prvek originálu, ale opačný vztah neplatí, protože originál má i další prvky
- model je aproximace originálu např. fotografie buňky
  
- poznávací modely – model by měl fungovat stejně jako originál, protože známe strukturu modelu, lze na něm hledat analogické vztahy jako v originálu, a tak lépe poznat podstatu fungování originálu
- ověřovací modely – známe podstatu určitého jevu a konstrukcí vhodného modelu ověřujeme správnost našeho poznání (je-li poznání správné, bude model fungovat stejně jako originál)

# Modelování v biomedicině

**1) matematické modely** – modelování biologických vlastností molekul na počítačích

**2) fyzikální modely** – anatomické modely, výukové fantomy

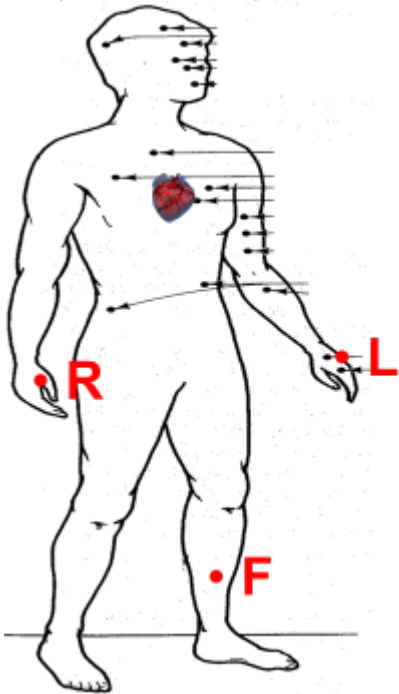
**3) biologické modely** – laboratorní zvířata  
– výzkum dědičných vad, metabolicky hormonálních poruch  
- buněčné kultury, sledování dynamiky buněčných dějů, testování toxicity a mutagenních účinků  
- mikroorganismy – použití v mol. biologii a genovém inženýrství

***Ke splnění definice*** je potřeba, aby model byl v příslušné části (oblasti, funkčnosti) shodný s realitou.

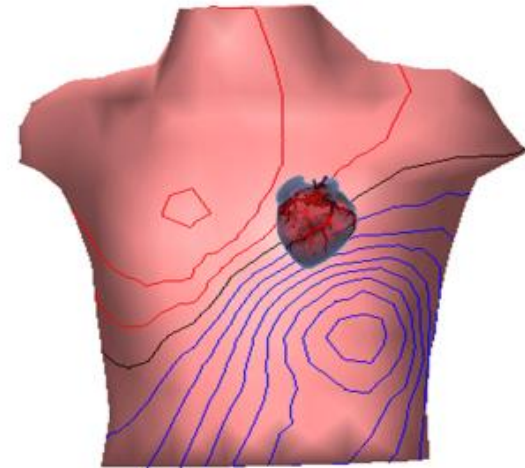
Protože jen tak lze výsledky modelování úspěšně interpretovat do realit praxe.

# Model – selektivní zjednodušení

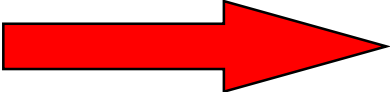
1) Organismus  hrudník

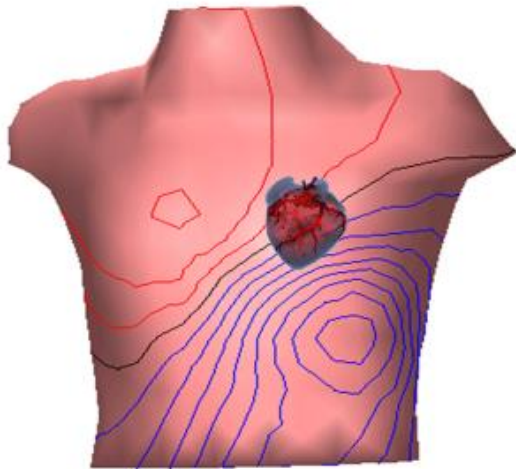


- Končetinové elektrody jsou umístěny na obou horních končetinách (R, L) a levé noze (F).
- Pravá noha (N) je uzemněna, tj. připojena na přibližně nulový potenciál kostry přístrojů.

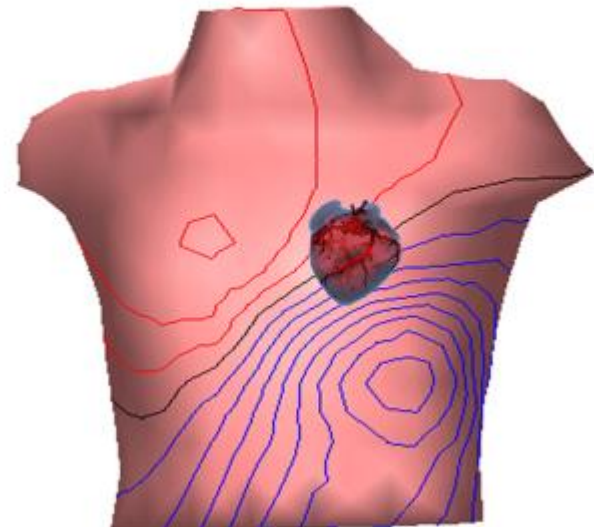


# Model – selektivní zjednodušení

2) Hrudník 3D  hrudník rovina 2D



2. Selektivní zjednodušení – model

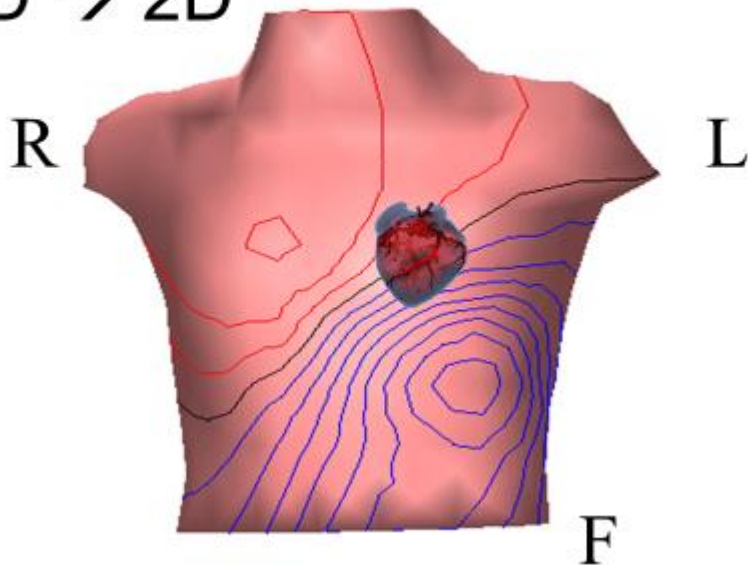


# Model – selektivní zjednodušení

3) Tvar hrudníku  mnohoúhelník

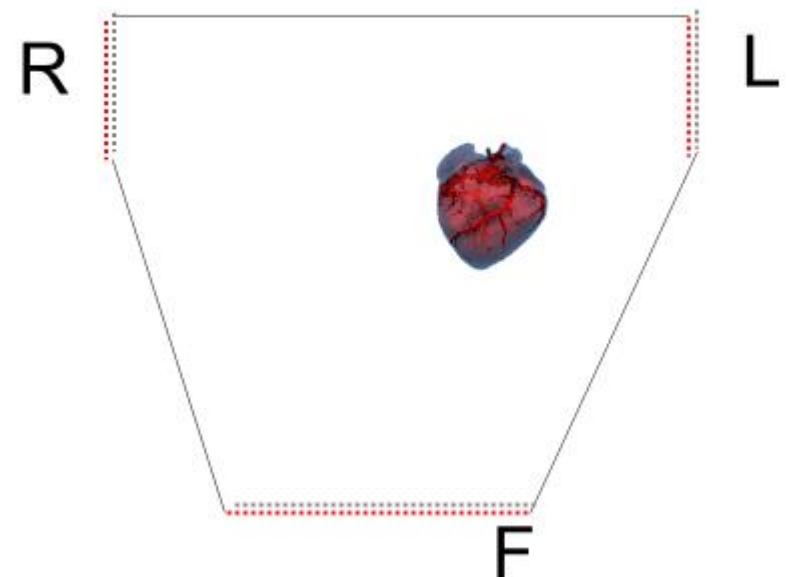
2. Selektivní zjednodušení – model

3D → 2D



15

3. Selektivní zjednodušení – model



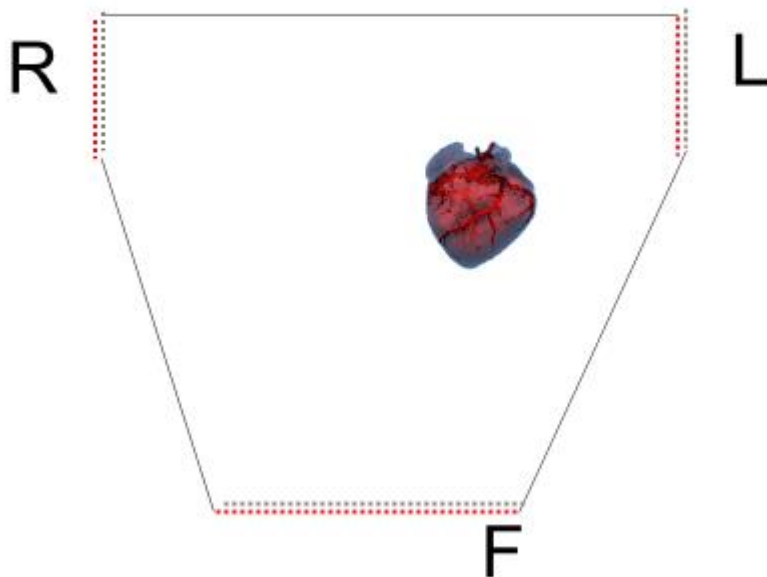
15



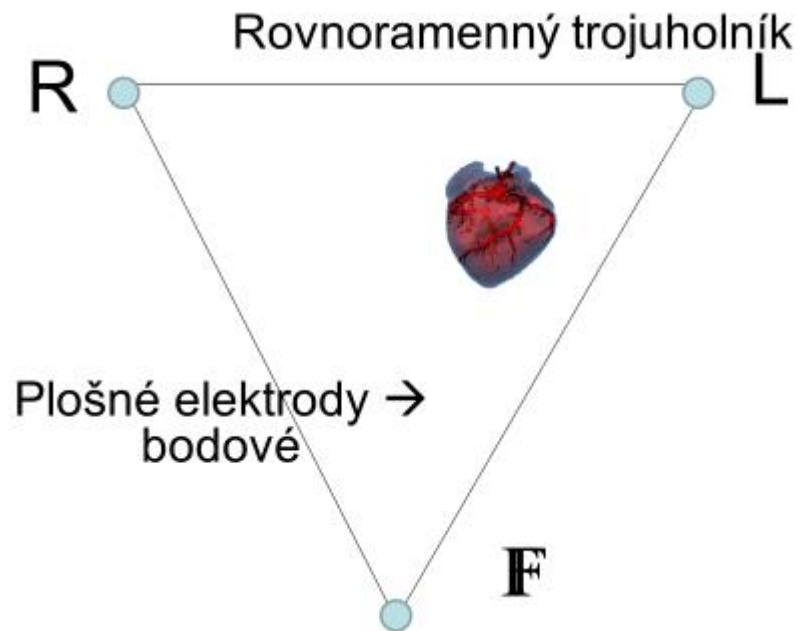
# Model – selektivní zjednodušení

4) Mnohoúhelník  trojúhelník

3. Selektivní zjednodušení – model



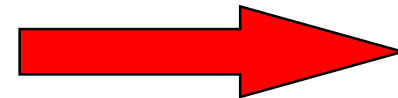
15



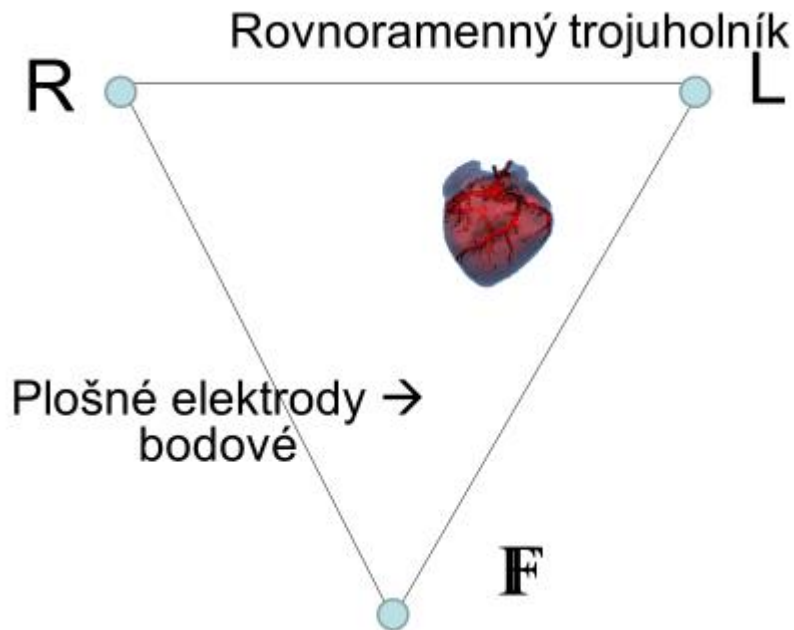
16

# Model – selektivní zjednodušení

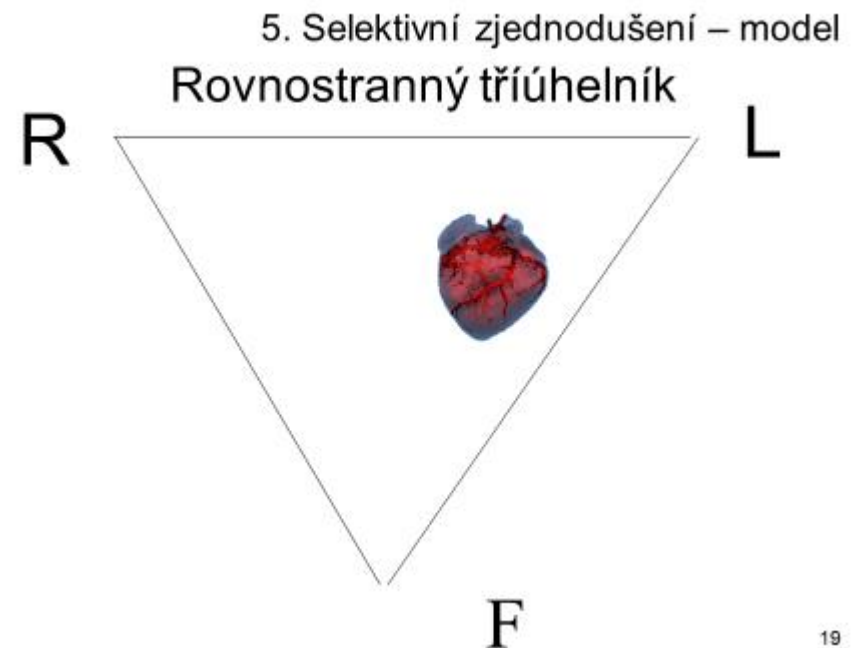
## 5) Trojúhelník rovnoramenný



rovnostanný



18



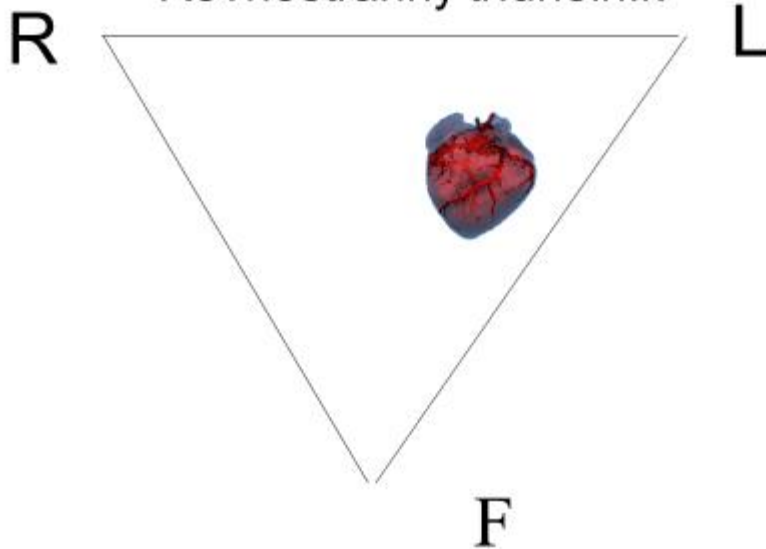
19

# Model – selektivní zjednodušení

6) Objemový zdroj  ekvivalentní dipól

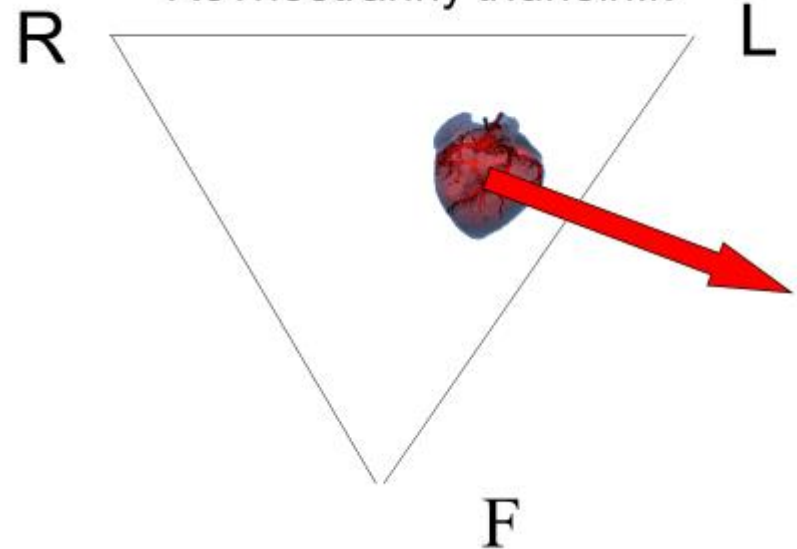
5. Selektivní zjednodušení – model

Rovnostranný trojúhelník



19

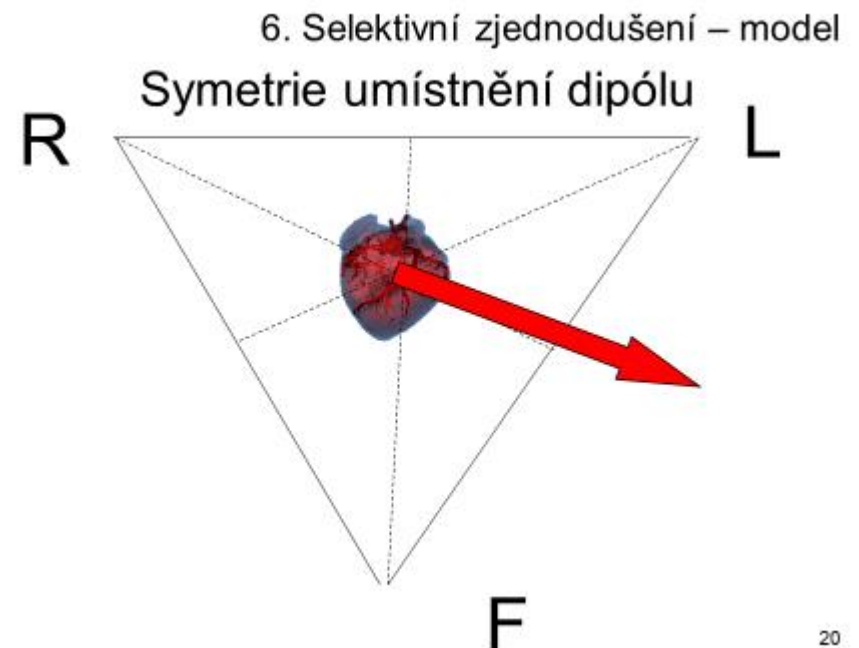
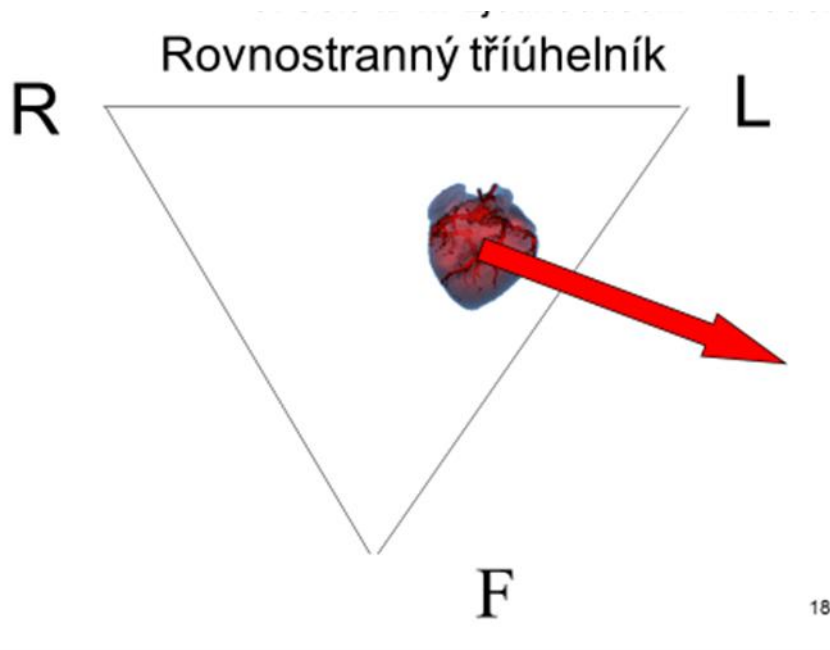
Rovnostranný trojúhelník



18

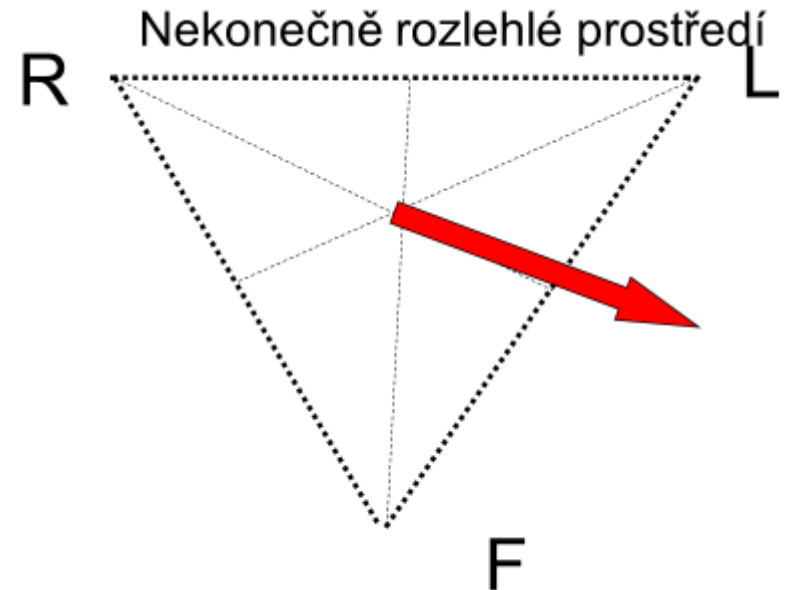
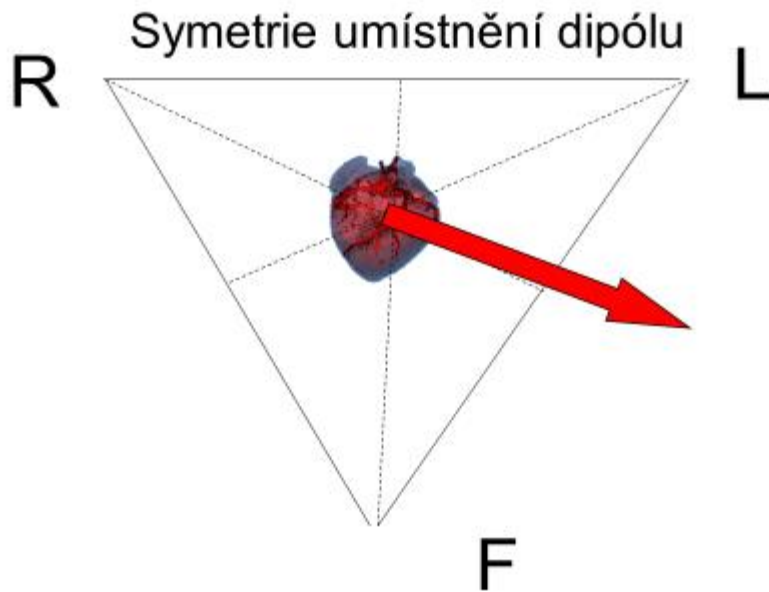
# Model – selektivní zjednodušení

7) Rovnostranný  srdce v střede



# Model – selektivní zjednodušení

8) Ohraničené  neohraničené



# Elektrokardiografické svodové systémy

B

$$V_I = \Phi_L - \Phi_R$$

$$U_I = \Phi_L - \Phi_R = \frac{\rho_f}{4\pi\sigma r^2} [\cos \alpha]$$

$$U_I = \frac{1}{4\pi\sigma r^2} \rho_f \cos \alpha = \bar{c}_I \cdot \rho_f$$

$$\frac{1}{4\pi\sigma r^2} = \bar{c}_I$$

$$U_I = \Phi_L - \Phi_R = \bar{c}_I \cdot \rho_f;$$

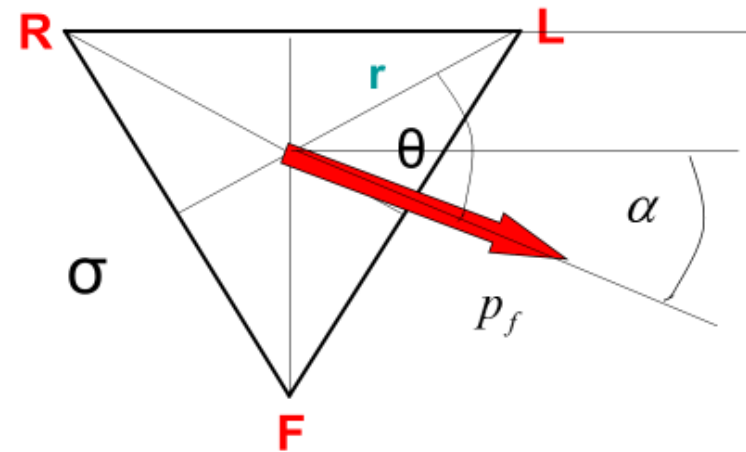
$$U_{II} = \Phi_F - \Phi_R = \bar{c}_{II} \cdot \rho_f;$$

$$U_{III} = \Phi_F - \Phi_L = \bar{c}_{III} \cdot \rho_f;$$



Le:

V<sub>II</sub>



20

# Elektrokardiografické svodové systémy

$$U_I = \Phi_L - \Phi_R = \frac{\rho_f}{4\pi\sigma r^2} [\cos \alpha]$$

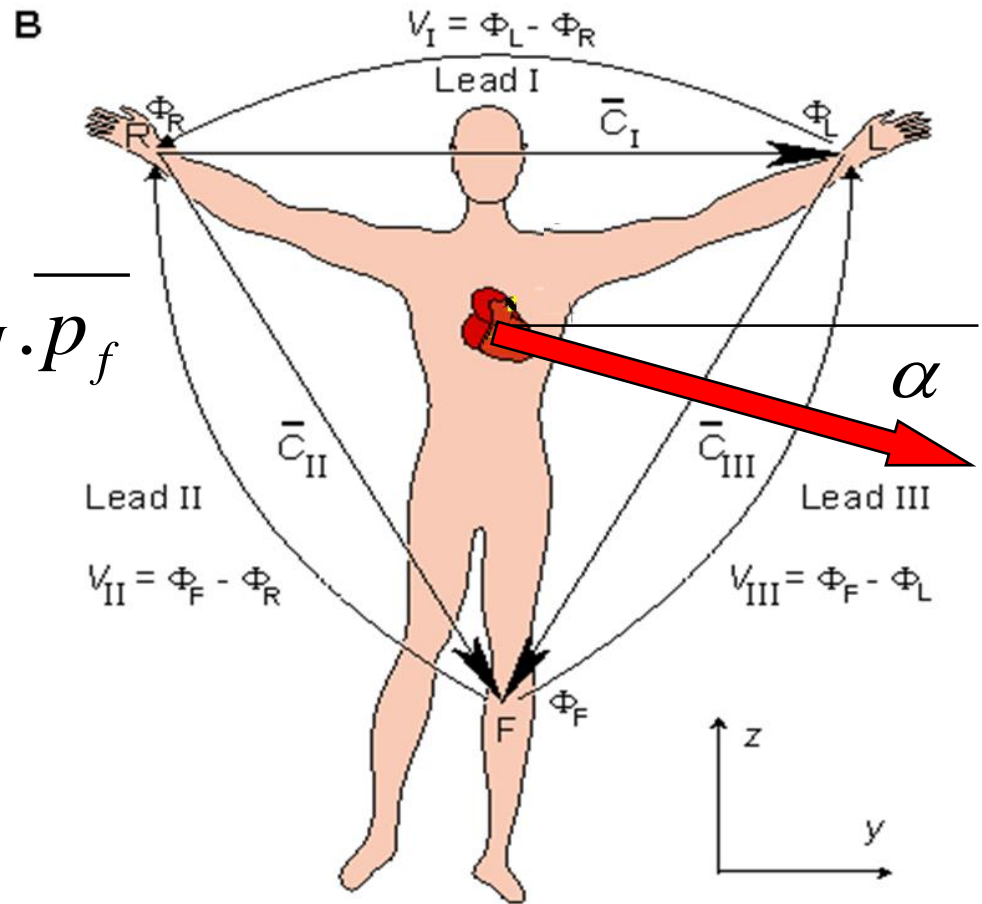
$$U_I = \frac{1}{4\pi\sigma r^2} \rho_f \cos \alpha = \bar{c}_I \cdot \rho_f$$

$$\frac{1}{4\pi\sigma r^2} = c_I$$

$$U_I = \Phi_L - \Phi_R = \bar{c}_I \cdot \rho_f;$$

$$U_{II} = \Phi_F - \Phi_R = \bar{c}_{II} \cdot \rho_f;$$

$$U_{III} = \Phi_F - \Phi_L = \bar{c}_{III} \cdot \rho_f;$$

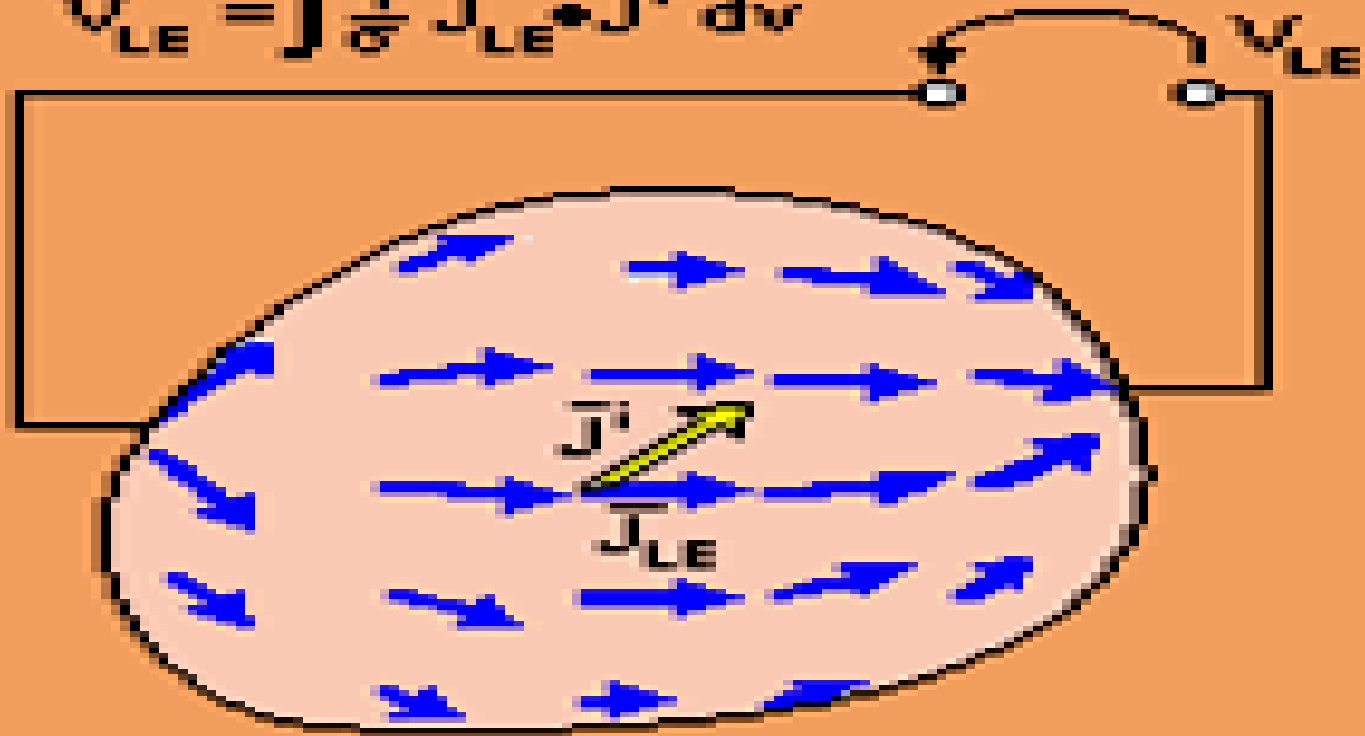


# Elektrické pole bioelektrických zdrojů

D)

Electric field from  
bioelectric source  $\vec{J}^i$

$$V_{LE} = \int \frac{1}{\sigma} \vec{J}_{LE} \cdot \vec{J}^i dv$$

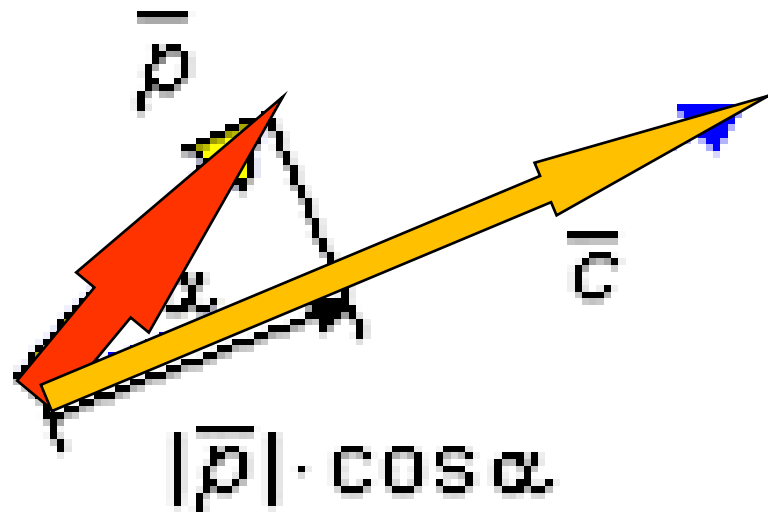


MEASUREMENT OF  
FIELDS



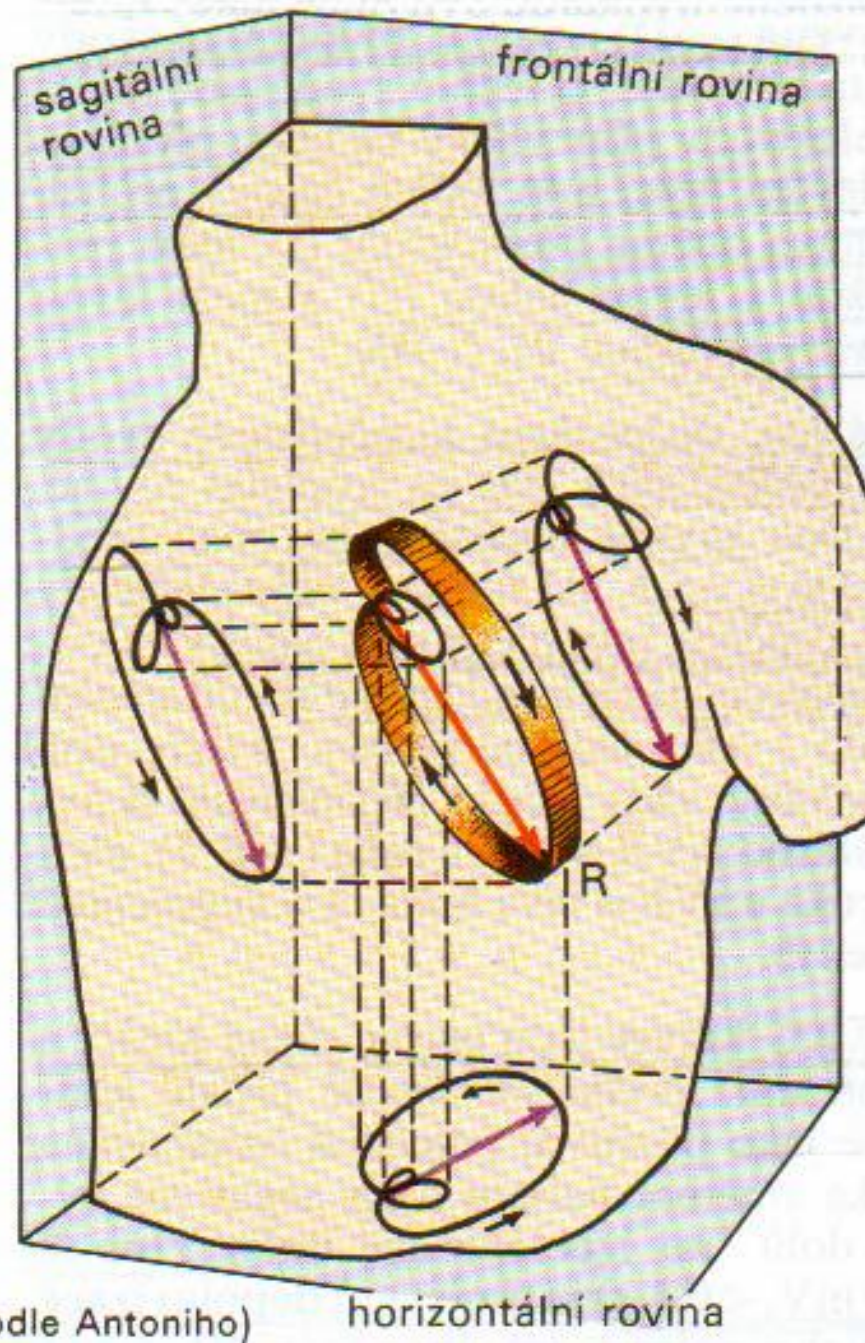
# Elektrokardiografické svodové systémy

$$\Phi_p = \bar{c} \bullet \bar{\rho}$$

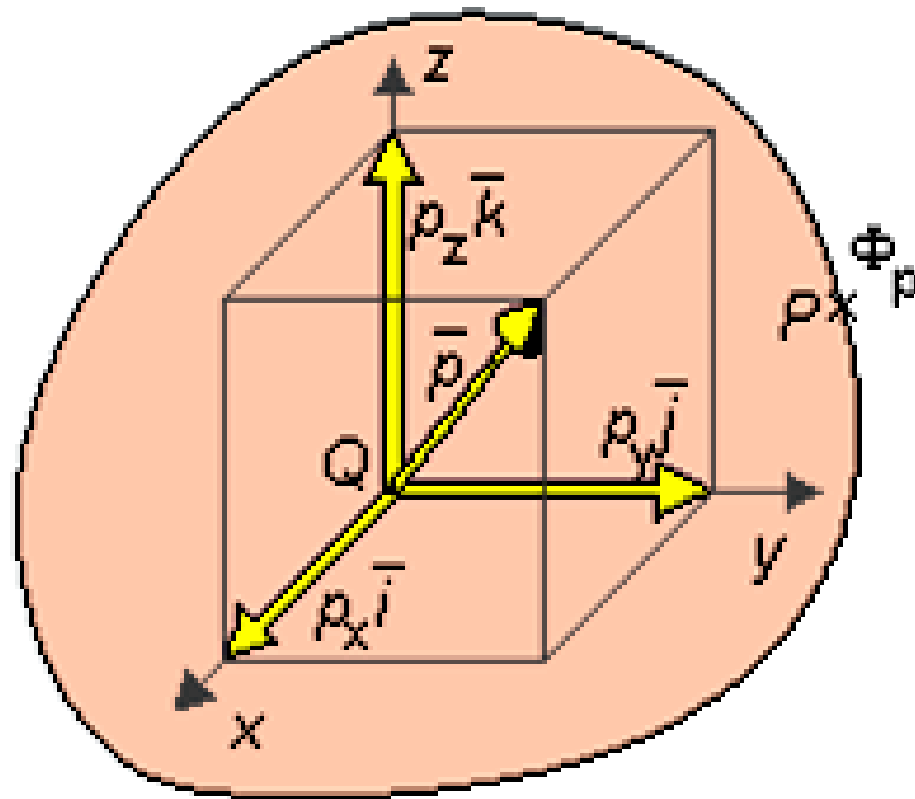


$$\Phi_p = \bar{c} \bullet \bar{\rho} = |\bar{c}| \cdot |\bar{\rho}| \cdot \cos \alpha$$

# Měření bioelektrické aktivity srdce - vektorkardiografie



## B SUPERPOSITION



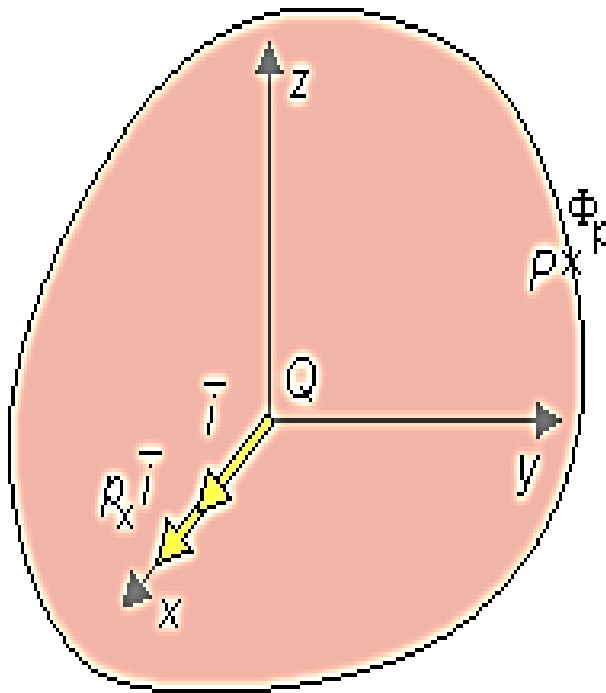
$$\bar{\rho} = \rho_x \bar{i} + \rho_y \bar{j} + \rho_z \bar{k}$$

$$\Phi_p = c_x \rho_x + c_y \rho_y + c_z \rho_z$$

$$\bar{c} = c_x \bar{i} + c_y \bar{j} + c_z \bar{k}$$

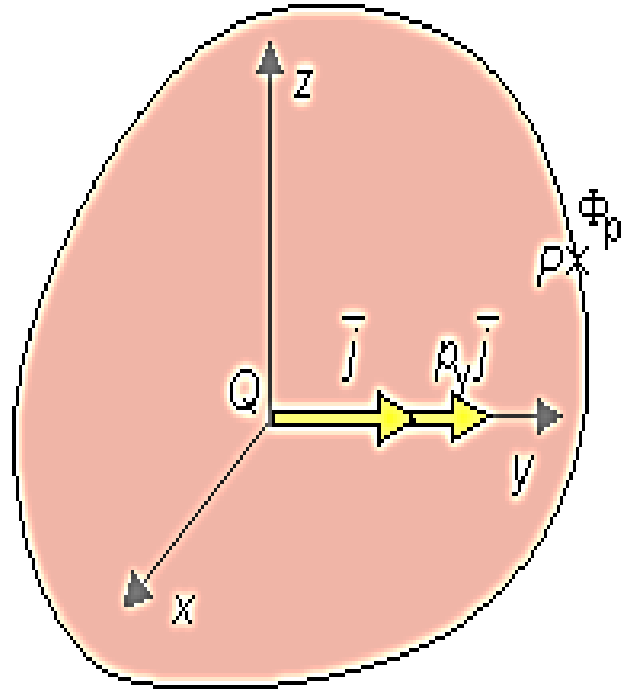
Because of superposition,  $\Phi_p$  is proportional to the sum of the potentials of each dipole component. The proportionality coefficient is three-dimensional. It is the lead vector  $\bar{c}$ .

**A** LINEARITY



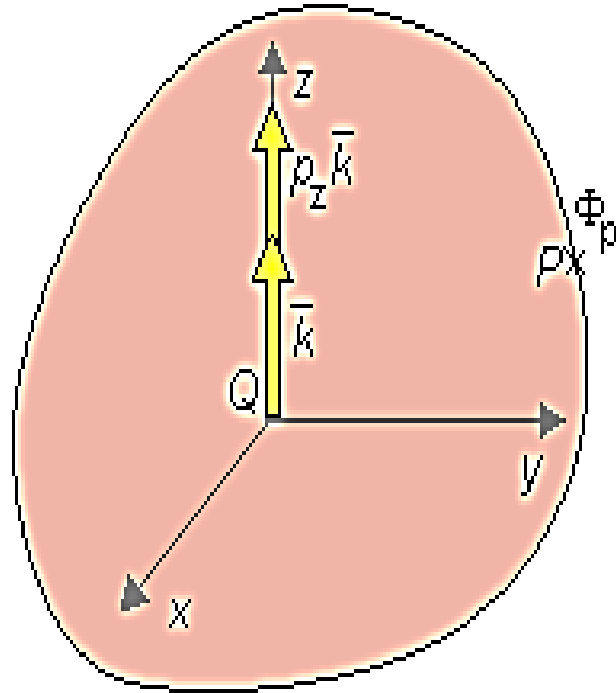
$$\bar{i} \rightarrow \Phi_p = c_x$$

$$\rho_x \bar{i} \rightarrow \Phi_p = c_x \rho_x$$



$$\bar{j} \rightarrow \Phi_p = c_y$$

$$\rho_y \bar{j} \rightarrow \Phi_p = c_y \rho_y$$

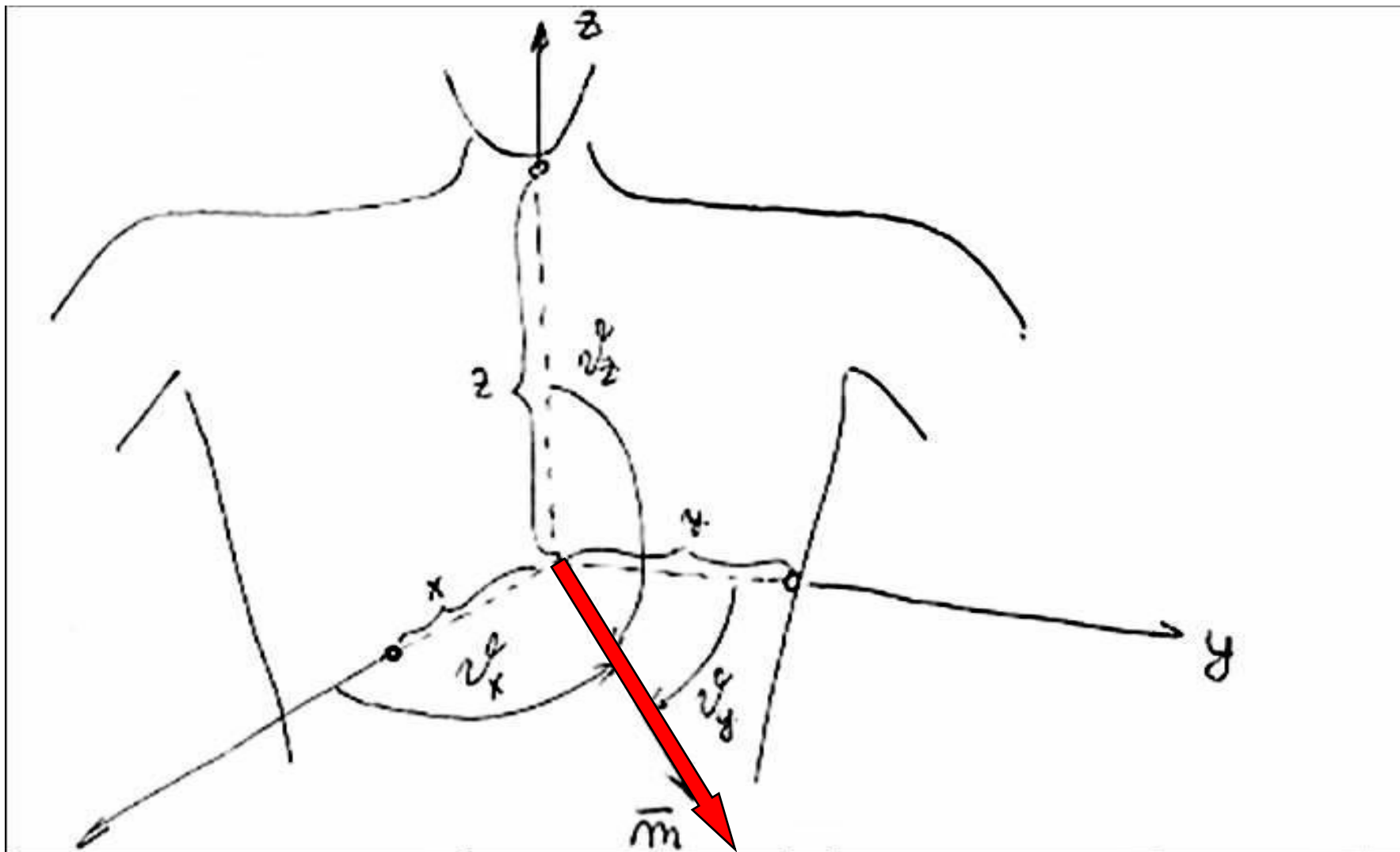


$$\bar{k} \rightarrow \Phi_p = c_z$$

$$\rho_z \bar{k} \rightarrow \Phi_p = c_z \rho_z$$

Because of linearity, in each case  $\Phi_p$  is linearly proportional to the dipole magnitude.

Ortogonalní svodové systémy vytvářejí obraz elektrokardiografického pole pomocí signálů definovaných v třídímní pravoúhlé soustavě. Napětí měřená na osách ortogonálního souřadnicového systému proti nulové svorce můžeme vyjádřit vztahy



# Koncepce vektorkardiografie

$$U_x = \frac{p}{4\pi\sigma x^2} \cos \nu_x = \overline{p \cdot c_x};$$

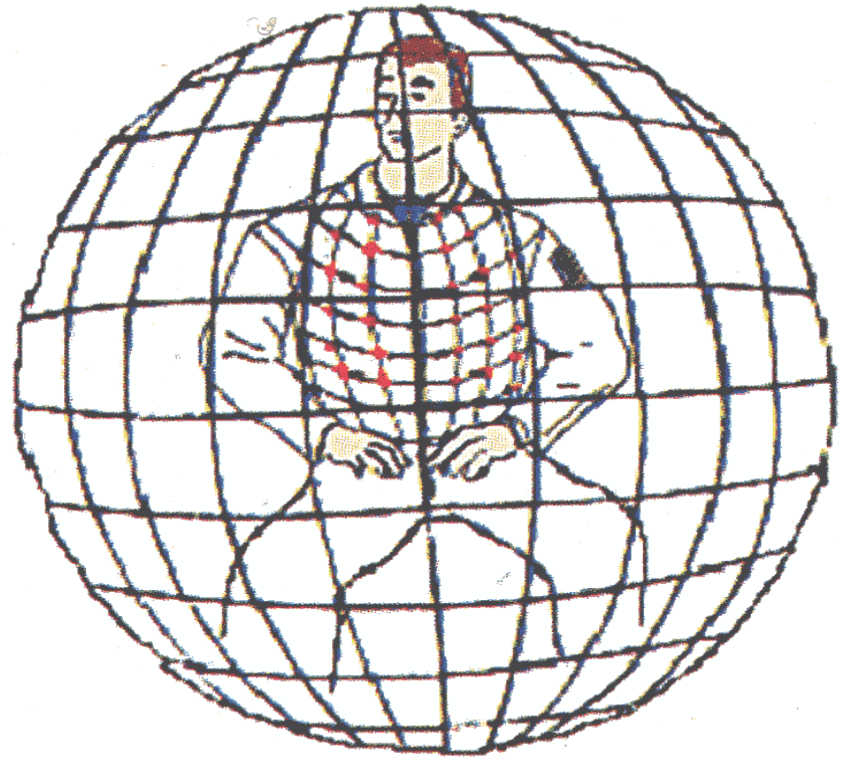
$$U_y = \frac{p}{4\pi\sigma y^2} \cos \nu_y = \overline{p \cdot c_y};$$

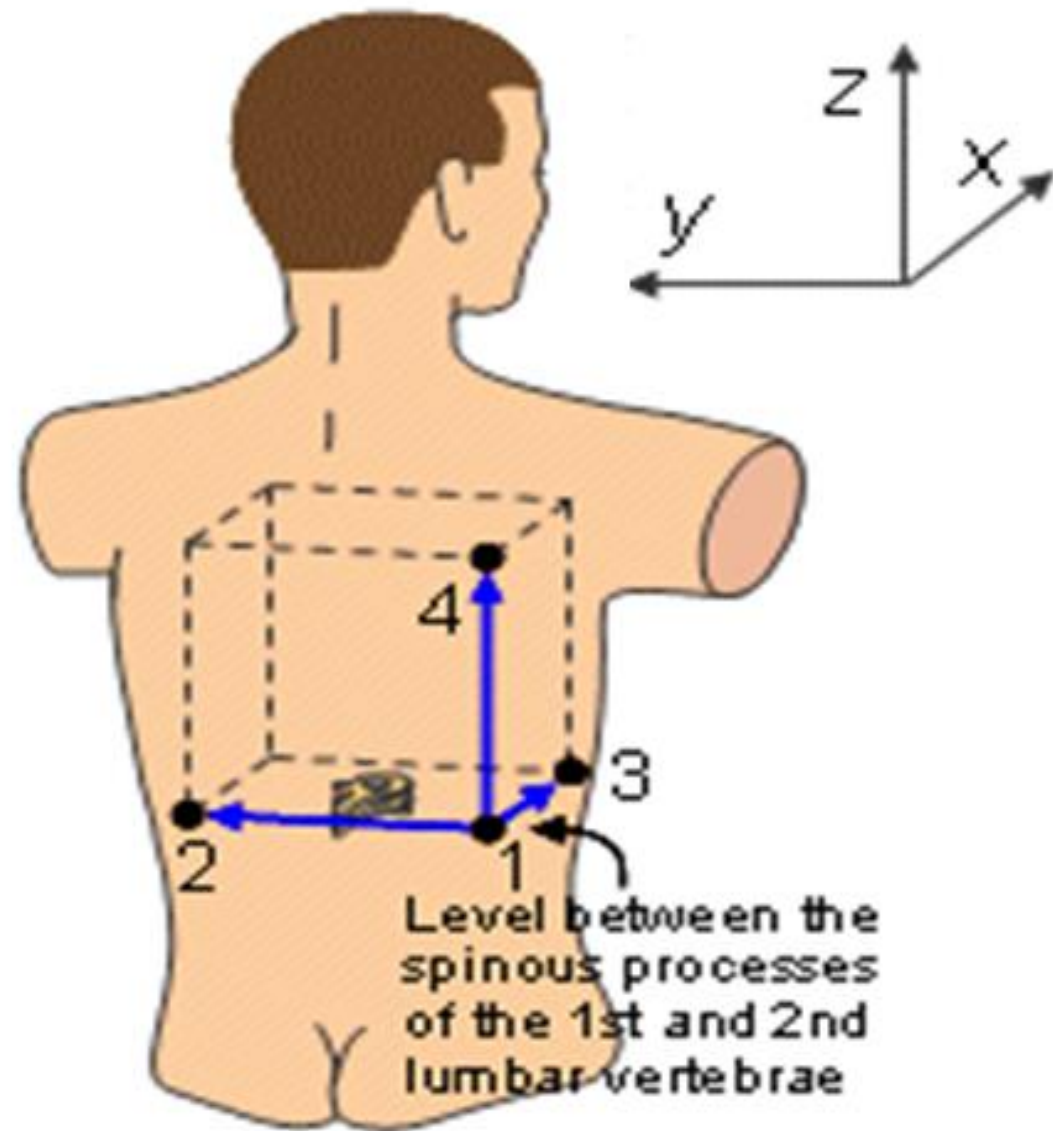
$$U_z = \frac{p}{4\pi\sigma z^2} \cos \nu_z = \overline{p \cdot c_z};$$

kde jednotlivé kosiny mají význam směrových kosinů vektoru momentu  $\mathbf{p}$  a jednotlivé svodové vektory  $\mathbf{c}_i$ ,  $i = x, y, z$ , se liší jen velikostmi souřadnic  $x$ ,  $y$  a  $z$ . Kdyby byly tyto souřadnice stejné, změřená napětí by byla úměrná jen průmětům momentu náhradního dipólu do směru souřadnicových os. Tvar hrudníku však takovou volbu pozic elektrod vylučuje

Bylo by ale možné naměřená napětí korigovat přepočtem na stejnou vzdálenost dle vztahů:

$$(U_i)_{r_0} = \frac{i^2}{r_0^2} U_i,$$



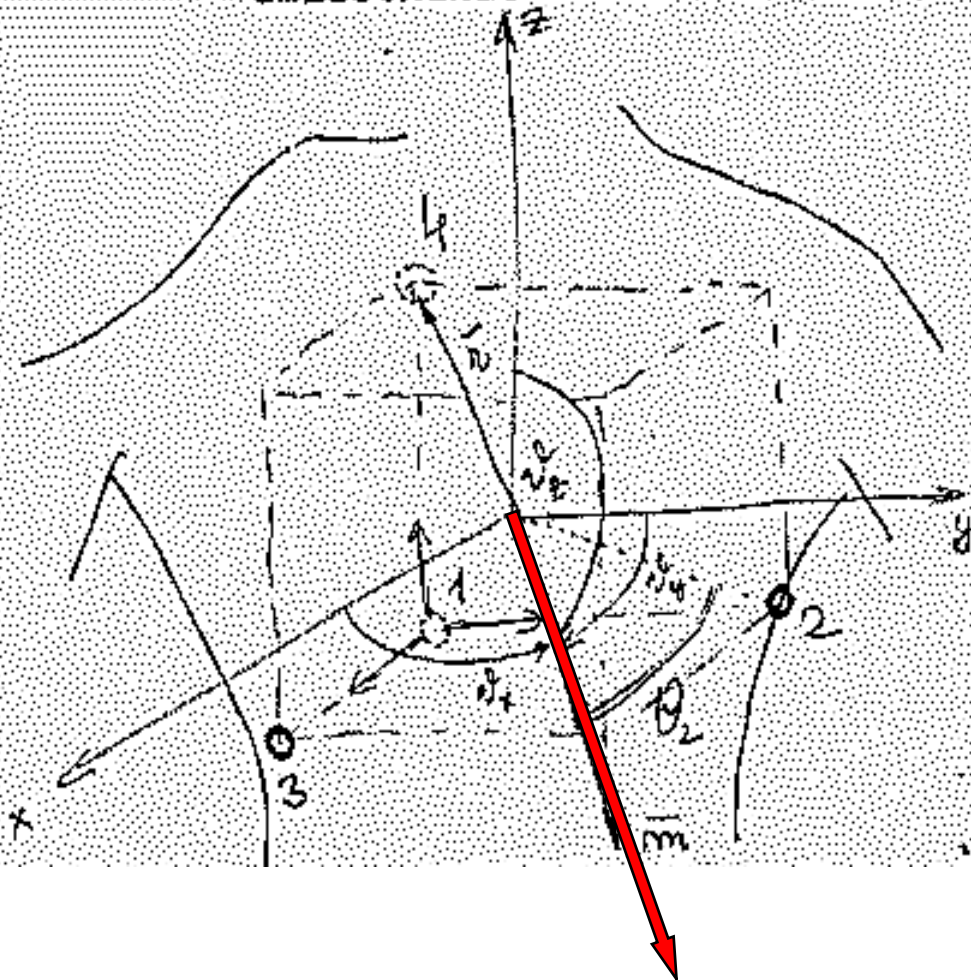


Grishman (1951)



# Grishman

Príklad - GRISHMANOV kubický systém, kde je predpokladané umiestnenie srdca v strede pomyslenej kocky.



$\vec{n}$  - definovaný smernými  
cosinami  $\cos \psi_x, \cos \psi_y,$   
 $\cos \psi_z$

Keď je stred sústavy v strede  
kocky, potom smerové cosiny spojnic  
srdca elektród umiestnených v  
rohoch kocky sú

$$+ \frac{1}{\sqrt{3}}$$

# Grishman

Uhol medzi dvomi smerami definovanými smerovými kosínami:

$$\cos \varphi = l_1 l_2 + m_1 m_2 + n_1 n_2$$

$$\cos \theta_1 = \frac{1}{\sqrt{3}} (-\cos \theta_x - \cos \theta_y - \cos \theta_z)$$

$$\cos \theta_2 = \frac{1}{\sqrt{3}} (-\cos \theta_x + \cos \theta_y - \cos \theta_z)$$

$$\cos \theta_3 = \frac{1}{\sqrt{3}} (\cos \theta_x - \cos \theta_y - \cos \theta_z)$$

$$\cos \theta_4 = \frac{1}{\sqrt{3}} (-\cos \theta_x - \cos \theta_y + \cos \theta_z)$$

# Grishman

Potom napätia registrované v jednotlivých <sup>bipolárnych</sup> ~~ipolárnych~~ zvo-  
doch sú:

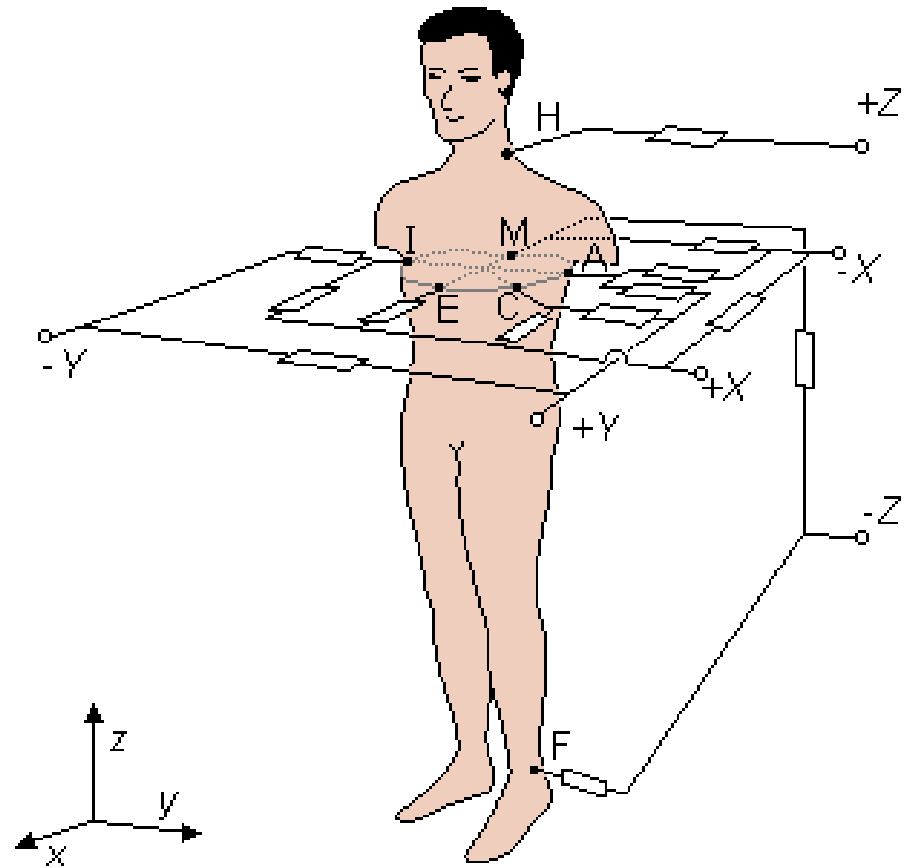
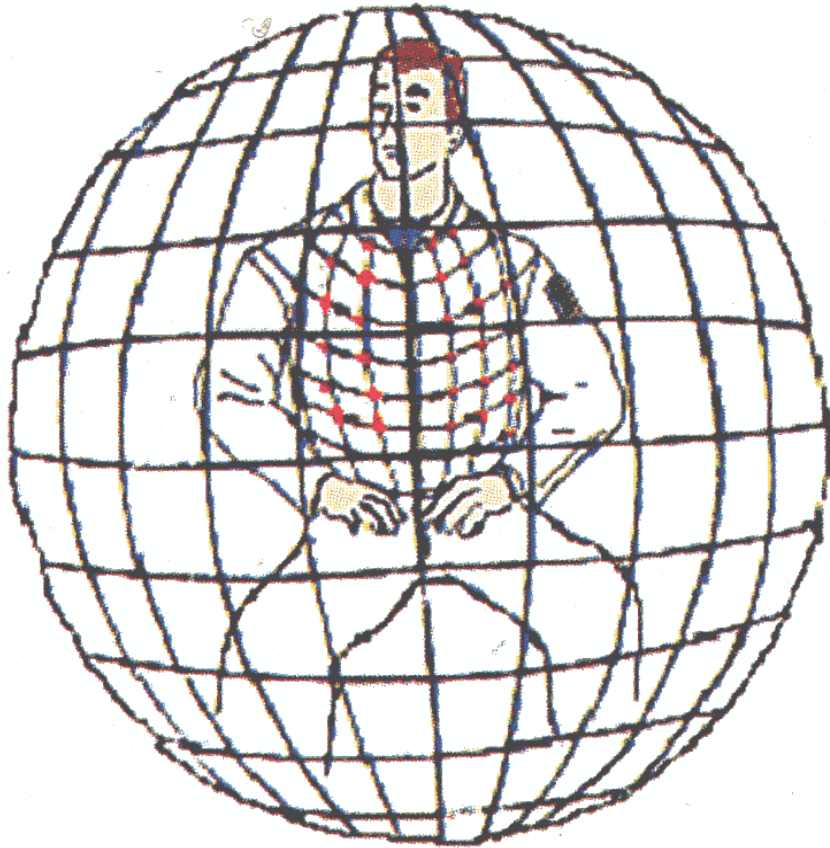
$$\varphi_i = \frac{m_e}{4\pi\epsilon_0 r^2} \cos\theta_i \cdot Q_i$$

$$u_x = \varphi_3 - \varphi_1 = \frac{m_e}{4\pi\epsilon_0 r^2} \frac{2}{\sqrt{3}} \cos\theta_x$$

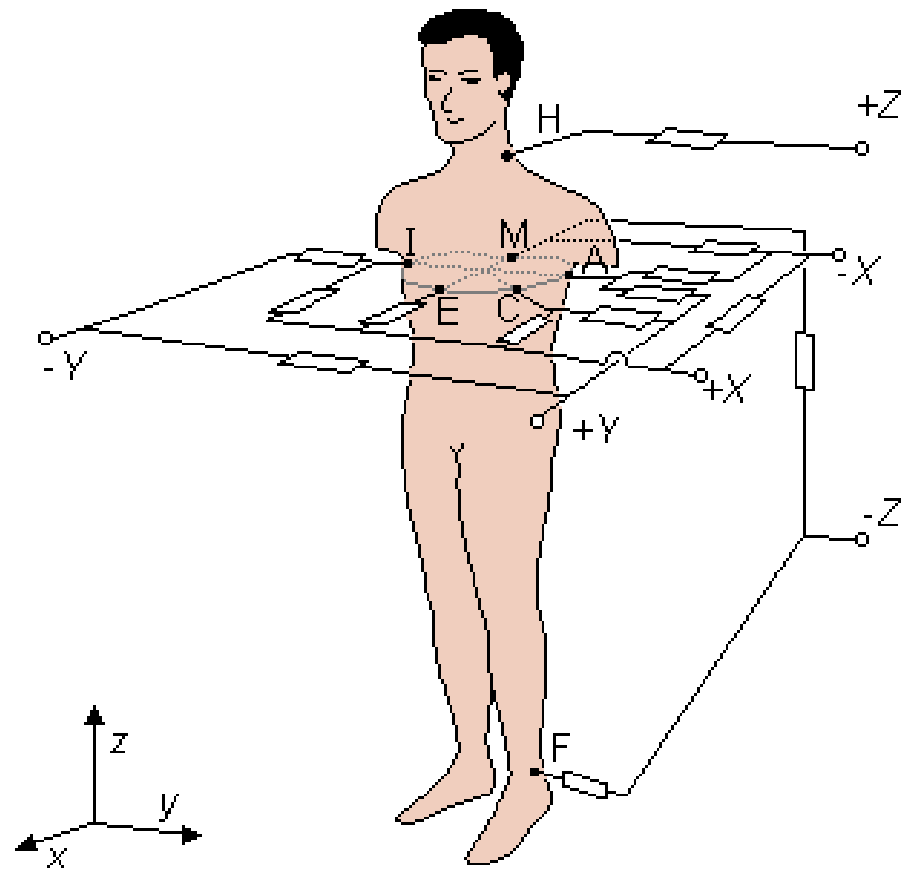
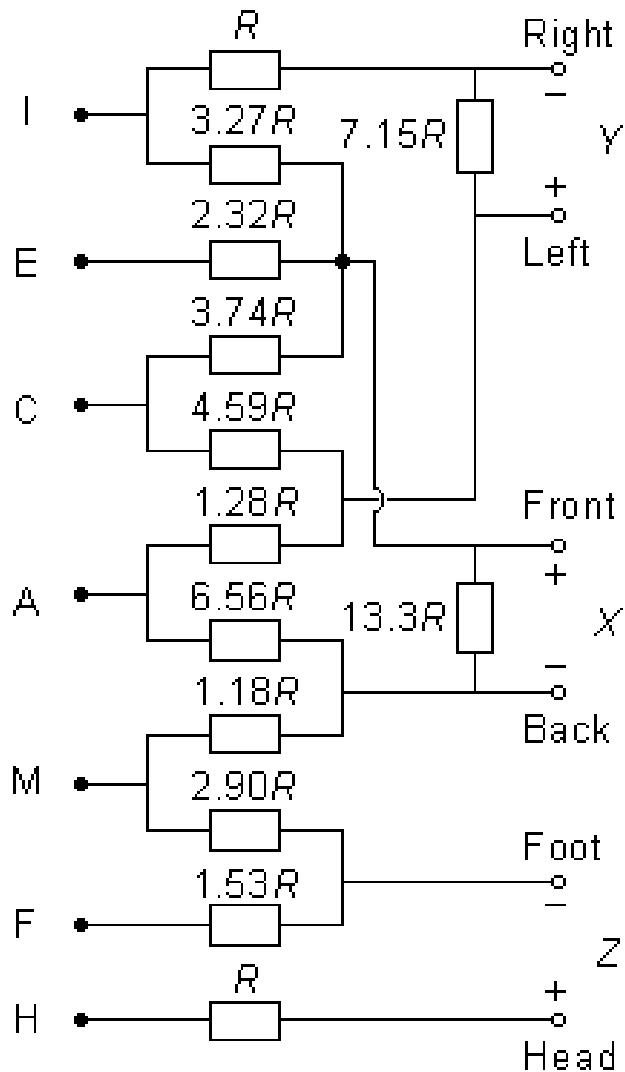
$$u_y = \varphi_2 - \varphi_1 = \frac{m_e}{4\pi\epsilon_0 r^2} \frac{2}{\sqrt{3}} \cos\theta_y$$

$$u_z = \varphi_4 - \varphi_1 = \frac{m_e}{4\pi\epsilon_0 r^2} \frac{2}{\sqrt{3}} \cos\theta_z$$

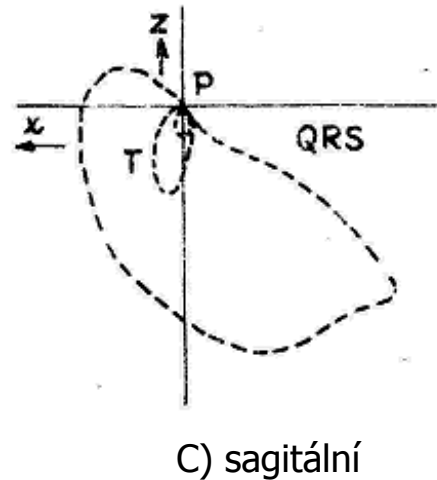
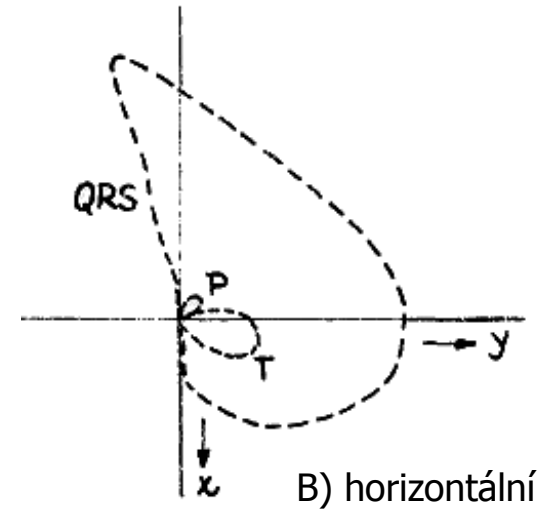
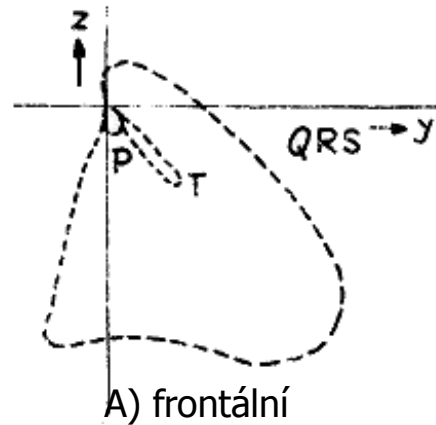
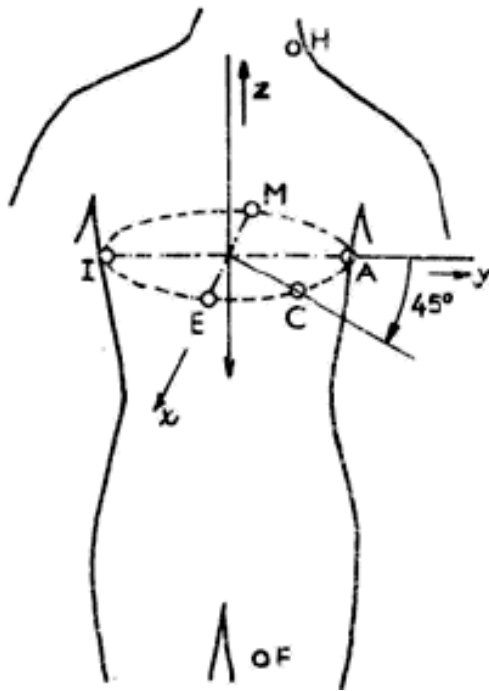
# Frankův vektorkardiografický svodový systém



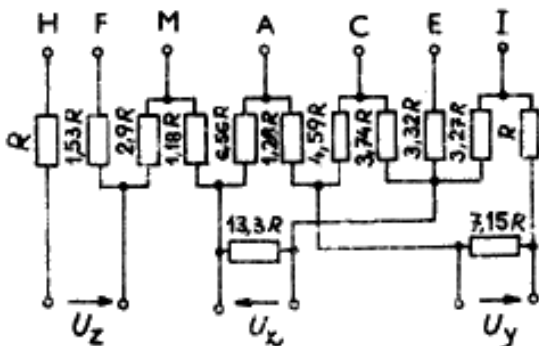
# Frankův vektorkardiograficky svodový systém



# Frankův vektorkardiograficky svodový systém



Orthogonální svodové rovinné smyčky dle Franka.



# Literatura

- Obrázky převzaté:

Malmivuo, Jaakko, and Robert Plonsey, Bioelectromagnetism: Principles and Applications of Bioelectric and Biomagnetic Fields (New York, 1995; online edn, Oxford Academic, 22 Mar. 2012), <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195058239.001.0001>, accessed 2 Oct. 2023.