

# Elektrokardiografie/Fyzika

Fyzikální veličina, kterou při EKG vyšetření snímáme, je **elektrické napětí**  $U$  (někdy též  $V$ ). Elektrické napětí je definováno jako rozdíl elektrických potenciálů  $\phi$  mezi dvěma body, tedy:

$$U = \Delta\phi$$

Jednotkou elektrického napětí je volt (v EKG milivolt).

**Elektroda** je kovový vodič v kontaktu s kůží, jehož potenciál snímáme. V EKG je dělíme na aktivní (explorativní) a referenční (indiferentní).

**Svod** tvoří kombinace (dvojice) elektrod, ze kterých snímáme napětí. Alespoň jedna z nich musí být elektrodou aktivní. Jsou-li obě elektrody svodu aktivní, hovoříme o **bipolárním svodu**. Je-li jedna elektroda aktivní a druhá referenční, pak mluvíme o **unipolárním svodu**. Svod si můžeme představit jako citlivý voltmetr, nebo osciloskop. Zdůrazňujeme, že mluvit o napětí jednoho bodu nemá smysl (je nulové pro každý bod), proto i unipolární svody měří napětí mezi vícero elektrodami.

Standardní EKG obsahuje 10 elektrod. Čtyři jsou končetinové, jedna z nich je zemnicí a neslouží k snímání. Šest elektrod je hrudních. Kombinací těchto elektrod je sestaveno 12 svodů, z toho šest končetinových a šest hrudních. Pro umístění elektrod viz Elektrokardiografie#12svodové EKG.

## Končetinové svody

Končetinové svody využívají končetinových elektrod. Potenciály na těchto elektrodách označme  $R, L, F$  pro pravou horní, levou horní a pravou dolní končetinu. **Bipolární končetinové svody** se standardně značí římskými číslicemi a jejich napětí lze pomocí potenciálů vyjádřit následovně:

$$\begin{aligned} I &= L - R \\ II &= F - R \\ III &= F - L \end{aligned}$$

Z uvedených definicí okamžitě vidno, že jednotlivá napětí na končetinových svodech nejsou nezávislá, nýbrž platí tzv.

*Einthovenův zákon* podle kterého:

$$II = I + III$$

Spojením všech tří končetinových elektrod přes stejné rezistory (5 k  $\Omega$ ) vzniká tzv. **Wilsonova svorka**. Potenciál na Wilsonově svorce  $W$  je aritmetickým průměrem potenciálů tří končetinových elektrod a je považován za konstantní.

$$W = \frac{R + L + F}{3}$$

V současnosti se unipolární končetinové svody měří nikoliv vůči Wilsonově svorce, ale vůči zbylým dvěma elektrodám (po rozpojení měřené končetiny z Wilsonovy svorky). Dostáváme tedy další tři svody, které nazýváme **Goldbergovy** (pseudounipolární, zesílené, *augmented*):

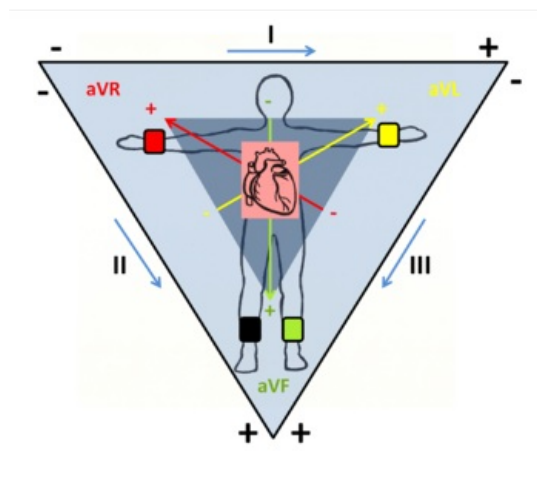
$$\begin{aligned} aVR &= R - \frac{L + F}{2} \\ aVL &= L - \frac{R + F}{2} \\ aVF &= F - \frac{R + L}{2} \end{aligned}$$

Tato napětí rovněž nejsou nezávislá. Platí:

$$aVR + aVL + aVF = 0$$

Tyto úvahy lze posunout ještě dál. Ze všech šesti končetinových svodů jsou ve skutečnosti pouze **dva unikátní**. Stačí tedy znát napětí na dvou libovolných svodech a všechny zbylé končetinové svody (napětí) lze jednoznačně dopočítat.

## Hrudní svody



**Einthovenův trojúhelník** - geometricky lze vidět platnost *Einthovenova zákona*, t.j. vektorový součet svodů I a III je roven vektoru svodu II

Na hrudník umísťujeme v klasickém 12-svodovém EKG šest hrudních elektrod (potenciály značme  $C_1$  až  $C_6$ ). Hrudní svody jsou **unipolární**, referenční elektrodou je Wilsonova svorka. Pro napětí každého hrudního svodu (značíme  $V_1$  až  $V_6$ ) tedy platí:

$$V_1 = C_1 - W$$

$$\vdots$$

$$V_6 = C_6 - W$$

Dohromady tedy dostáváme dvanáct svodů. Končetinové svody (I, II, III, aVR, aVL, aVF) sledují změny potenciálu ve **frontální rovině**, hrudní svody ( $V_1$  až  $V_6$ ) v **transversální rovině**.

## Vznik signálu

Z těchto 12 svodů EKG dostáváme 12 záznamů napětí v čase. Výchylka (napětí) na EKG křivce závisí v každém čase na velikosti a směru elektrického dipólového momentu  $\vec{p}$  srdce. Ten vzniká součtem mnoha elementárních dipólů na mikroskopické úrovni. Při dané velikosti  $|\vec{p}|$  je el. napětí na svodu největší, když míří tento vektor podél spojnice elektrod daného svodu. Naopak el. napětí je nulové, když je el. dipólový moment kolmý na daný svod. Matematicky přesněji je napětí dané skalárním součinem:

$$U = \vec{p} \cdot \vec{c} = |\vec{p}| |\vec{c}| \cos \theta$$

Kde  $\vec{c}$  je vektor daného svodu a  $\theta$  je úhel mezi vektory  $\vec{p}$  a  $\vec{c}$ . Připomeňme, že  $\cos 0^\circ = 1$  ale  $\cos 90^\circ = 0$  což odpovídá textu výše. Elektrický dipólový moment srdce  $\vec{p}$  se mění rychle s časem. Výsledkem je, že u unipolárních svodů se šíření **depolarizace směrem k elektrodě** zaznamenává (podle dohody) jako **pozitivní výchylka**, naopak šíření depolarizace **od elektrody** jako **negativní výchylka**. Při **repolarizaci** to platí **obráceně**. U bipolárních svodů je znaménko výchylky dané polaritou svodu, v předešlé rovnici tedy vektorem  $\vec{c}$  (viz. Einthovenův trojúhelník nebo definice přes napětí). Prohozením elektrod v jednom svodu se změni znaménko naměřeného napětí (stejně jako u voltmetru), EKG křivka tohoto svodu se tedy převrátí "vzhůru nohama".

