

Odezva kardiostimulačního zařízení na detekci nízkofrekvenční elektromagnetické interference

Ing. Jan Morava <jan.morava@tul.cz>, prof. Ing. Aleš Richter, CSc.

Ve článku se zaměřujeme na problematiku elektromagnetické interference detekované na elektrodách implantabilního kardiostimulačního zařízení. Cílem příspěvku je analýza odezvy detekčních algoritmů kardiostimulátoru na přítomnost externích zdrojů interferenčních nízkofrekvenčních elektromagnetických polí, které mohou narušit správnou funkci přístroje. Poukazujeme na možná rizika jejich interakce a diskutujeme mechanismy, které mohou ovlivnit citlivost systému na přítomnost EMI. Prezентujeme experimenty vystavení kardiostimulačního zařízení takovému rušení a analyzujeme jeho chování a správnou funkčnost.

Klíčová slova: elektromagnetické rušení, kardiostimulace, implantabilní zařízení, elektrofyziologie

Úvod

Kardiostimulační implantabilní zařízení se využívají u pacientů s poruchou převodního systému srdečního a zahrnují přístroje pro léčbu bradyarytmie (kardiostimulátory), tachyarytmie (kardiovertry-defibrilátory) a přístroje pro resynchronizační léčbu (CRT). Funkce těchto zařízení je založená na stejném principu. Přístroj detekuje a interpretuje elektrický signál z konce intrakardiálních elektrod a dle potřeby aplikuje do stejného místa stimulační impuls k depolarizaci buněk myokardu. Detekce elektrických signálů, které nejsou fyziologickou aktivitou srdce, může způsobit nesprávnou funkci přístroje, což může přímo ohrozit pacienta. Může dojít například k inhibici kardiostimulace a následné asystolii. V případě defibrilátoru může vlivem chybné interpretace následovat neadekvátní defibrilační výboj. EMI může také evokovat změny programace přístroje.

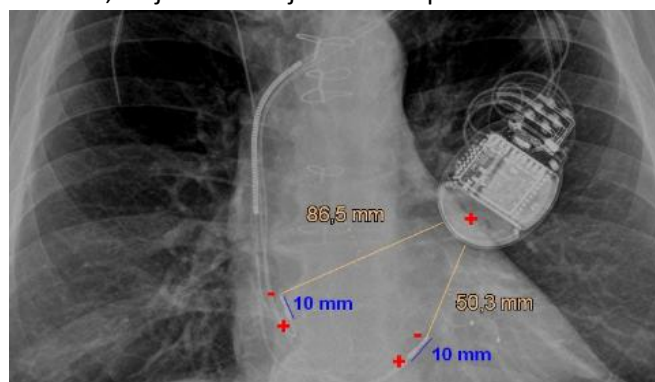
Milióny pacientů, kteří mají implantovaný kardiostimulační systém, jsou denně vystavováni vlivu různých potenciálně nebezpečných elektromagnetických polí. V textu se zaměřujeme na běžné systémy s unipolárními nebo bipolárními elektrodami s aktivní nebo pasivní fixací.

Metodika

Snímání a detekce jsou vlastnosti kardiostimulačních přístrojů, které umožňují identifikovat vlastní elektrický signál v srdeční dutině. Přístroj klasifikuje a značí snímané signály. V pravé síni se amplituda snímaných P vln (depolarizace síni) pohybuje v rozmezí 0,5 - 5mV. V pravé komoře jsou R

vlny (depolarizace komor) 2-30mV. Amplituda může být různá při sinusovém rytmu a při arytmií. Podle amplitudy vlastního signálu se nastavuje senzitivita na daném kanále. Proto bývá síňový kanál senzitivnější.

Intrakardiální elektrody jsou izolované vodiče, které přenáší intrakardiální signál ze srdce do přístroje a zpátky posílají elektrický impuls. Na distálním konci elektrody v místě fixace se nachází snímací/stimulační póly, obvykle dva vzdálené okolo 10mm. Snímání a stimulaci mezi těmito póly označujeme jako bipolární (near-field). Dříve se aplikovali elektrody unipolární (far-field) s jedním pólem na distálním konci a snímací/stimulačním vektorem mezi tímto pólem (-) a přístrojem (+). Vzdálenost mezi distálním pólem a přístrojem závisí na poloze přístroje a pacientově anatomii a pohybuje se od 10 do 20cm. Z těchto informací je patrné, že unipolární konfigurace systému, kterou lze programovat i u bipolárních elektrod, je citlivější na přítomnost EMI.

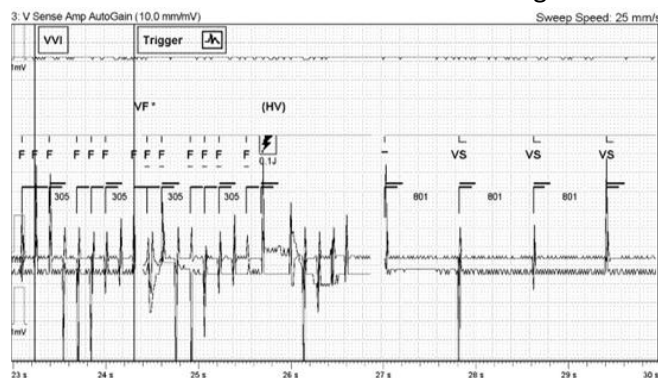


Obrázek 1: UNI/BI konfigurace na X-ray snímku 2D PCM.

Pro kardiostimulátor je nebezpečnější nízkofrekvenční rušení podobající se frekvenčně

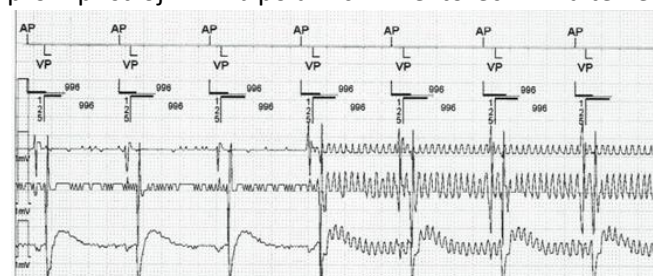
možné fyziologické srdeční akci. Spodní hranici lze definovat základní stimulační frekvencí (Lower Rate Limit) přístroje, která bývá okolo 60/min (1Hz). Zde je riziko inhibice stimulace. U vyšších frekvencí (nad 180/min, 3Hz) hrozí u defibrilátorů neadekvátní terapie (jsou zde detekční zóny pro tachyarytmie).

Při testování odezvy přístroje na interferenční signály jsme v prvním ukázce zvolili jednodutinový defibrilátor v bipolární konfiguraci. Pomocí externího stimulátoru ERA 20 jsme na konec elektrody ve fyziologickém roztoku působili stimulačními impulzy potřebných parametrů o frekvenci 390/min (6,5Hz). Jak je patrné na intrakardiálním záznamu, přístroj detekoval interferenci jako fibrilaci komor (VF) a po doručené terapii (výboj 0,1J) pokračoval v dočasné 30s stimulaci v režimu Post-Shock Pacing Mode.



Obrázek 2: Detekce externí stimulace 6,5Hz jako VF.

Ve druhé ukázce jsme simulovali rušivé EM pole pomocí říditelné cívky a biventrikulárního defibrilátoru. Distální konec elektrody byl ve fyziologickém roztoku umístěn ve vzdálenosti < 1cm od zdroje. Elektroda byla vystavena harmonickému nízkofrekvenčnímu poli o frekvencích 5 - 20Hz. Aplikační čas byl 5s. Síla pole měřená teslametrem klesala s rostoucí frekvencí od 42mT k 1mT. EMI bylo pro přístroj v bipolárních vektorech viditelné.



Obrázek 3: Interference 15Hz indukovaná říditelnou cívkou.

Výsledky

Signály indukované zdrojem nízkofrekvenčních EM polí byly pro použité přístroje jasně viditelné a v praxi by je přístroj interpretoval jako vlastní srdeční

komorovou akci. Jelikož jsme k simulaci využili implantabilní defibrilátory, při začátku působení EMI by byla inhibována komorová stimulace, spustila by se detekce v zóně VF (zóna pro maligní fibrilaci komor) a přístroj by začal dávat neadekvátní terapii defibrilačním výbojem, jak je patrné v první ukázce na obrázku 1. Přístroj nehledá tvar snímaného signálu (komplexu), podle kterého by bylo možné rušení a arytmií odlišit, ale monitoruje především amplitudu a frekvenci kmitů, případně intervaly a setrvalost. Experimentálně se nám povedlo vyvolat nesprávnou funkci přístroje vlivem chybné interpretace elektrických intrakardiálních signálů.

Diskuze

Závažnost této problematiky roste s rapidně narůstajícím počtem kardiologických pacientů, kteří jsou denně vystavováni potenciálnímu nebezpečí. Moderní kardiostimulační systémy se snaží využívat softwarové, hardwarové prostředky k minimalizaci rizik spojených s EMI, ale i ty mají své limity. Proto je potřeba danému tématu věnovat více pozornosti s čímž souvisí i následné zlepšení edukace pacientů.

Poděkování

Tato práce byla podpořena z projektu Studentské grantové soutěže (SGS) na Technické univerzitě v Liberci v roce 2019.

Příspěvek vznikl ve spolupráci Technické univerzity v Liberci, Ústavu mechatroniky a technické informatiky, a Krajské nemocnice Liberec, Kardiovaskulárního centra.

Reference

- [1] KOPPAS, David. *Kardiostimulační technika*. Praha: Mladá fronta a.s., 2011. ISBN 978-80-204-2492-1.
- [2] ELLENBOGEN, KENNETH A., BRUCE L., WILKOFF and G. NEAL KAY.: *Clinical cardiac pacing, defibrillation, and resynchronization therapy*. Philadelphia, PA: Elsevier, 2017. ISBN 978-0-323-37804-8.
- [3] MORAVA, J., RICHTER, A. a KUČERA, P. *Electromagnetic compatibility of cardiostimulation technology in relation to human body - the introductory study*. *IFBME Proceedings* 0. vyd. Springer Singapore, 2019 S. 755-760. ISBN: 9789811090349, ISSN: 1680-1737.