

Záverečná karta projektu

Názov projektu Evidenčné číslo projektu **APVV-14-0875**

Neinvazívna lokalizácia ektopických arytmií srdcových komôr pomocou EKG mapovania a jej využitie pre účely kauzálnej liečby

Zodpovedný riešiteľ **doc., Ing. Milan Tyšler, CSc.**

Príjemca **Ústav merania SAV**

Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

Ústav merania, Slovenská akadémia vied, Bratislava
Národný ústav srdcových a cievnych chorôb, Bratislava

Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

Fakulta biomedicínskeho inžinýrství, ČVUT v Praze, Kladno, Česká republika
3. lekárska fakulta, Karlova univerzita v Praze, Univerzitní nemocnice Královské Vinohrady, Praha, Česká republika
Medzinárodné konzorcium pre EKG zobrazovanie (Consortium for ECG imaging), ktoré pracuje pri konferencii Computing in Cardiology (www.ecg-imaging.org).

Udelené patenty/podané patentové prihlášky, vynálezy alebo úžitkové vzory, ktoré sú výsledkami projektu

Žiadne

Najvýznamnejšie publikácie (knihy, články, prednášky, správy a pod.) zhrňujúce výsledky projektu – uveďte aj publikácie prijaté do tlače

1. SVEHLIKOVA, Jana - ZELINKA, Jan - BACHAROVA, Ljuba - TYSLER, Milan. Modeling and visualization of the activation wavefront propagation to improve understanding the QRS complex changes indicating left ventricular hypertrophy. In Journal of Electrocardiology, 2016, vol. 49, no. 5, p. 755-762. ISSN 0022-0736. (1.290-IF2015)
2. PUNSHCHYKOVA, O. - ŠVEHLÍKOVÁ, Jana - TYŠLER, Milan - GRÜNES, R. - SEDOVA, K. - OSMANČÍK, P. - ŽĎÁRSKÁ, J. - HEŘMAN, D. - KNEPPO, P. Influence of torso model complexity on the noninvasive localization of ectopic ventricular activity. In Measurement Science Review, 2016, vol. 16, no. 2, p. 96-102. ISSN 1335-8871. (0.969-IF2015)
3. SVEHLIKOVA, Jana – TYSLER, Milan. Noninvasive Localization of Premature Ventricular Activity using Different Equivalent Point Sources. Computing in Cardiology 2016; 43:313-316. ISSN 2325-8861-2
4. SVEHLIKOVA, Jana – TYSLER, Milan. Inverse Localization of Intraventricular Pacing Sites by Equivalent Dipole Source. Computing in Cardiology 2017; vol. 44. <http://www.cinc.org/archives/2017/pdf/058-404.pdf>.
5. TYŠLER, Milan – PUNSHCHYKOVA, Olena – ŠVEHLÍKOVÁ, Jana – OSMANČÍK, Pavel – ŽĎÁRSKÁ, Jana – KNEPPO, Peter: Neinvazívna identifikácia lokálnych porúch elektrogenézy pri komorových arytmiách / Noninvasive identification of local disorders of

- electrogenesis in ventricular arrhythmias. *Cardiology Lett.* Vol.26, No.1 p.39-46, 2017. print: ISSN 1338-3655, on line: ISSN 1338-3760.
6. COCHEROVÁ, Elena - ŠVEHLÍKOVÁ, Jana - ZELINKA, Ján - TYŠLER, Milan. Activation propagation in cardiac ventricles using homogeneous monodomain model and model based on cellular automaton. In *MEASUREMENT 2017 : Proceedings of the 11th International Conference on Measurement*. Editors: J. Maňka, M. Tyšler, V. Witkovský, I. Frollo. - Bratislava, Slovakia : Institute of Measurement Science, Slovak Academy of Sciences, 2017, p. 217-220. ISBN 978-80-972629-0-7.
7. KADANEC, Jan - ZELINKA, Ján - BUKOR, Gabriel - TYŠLER, Milan. ProCardio 8 - system for high resolution ECG mapping. In *MEASUREMENT 2017 : Proceedings of the 11th International Conference on Measurement*. Editors: J. Maňka, M. Tyšler, V. Witkovský, I. Frollo. - Bratislava, Slovakia : Institute of Measurement Science, Slovak Academy of Sciences, 2017, p. 263-266. ISBN 978-80-972629-0-7.
8. PUNSHCHYKOVA, O. - ŠVEHLÍKOVÁ, Jana - TYŠLER, Milan - KNEPPO, P. Accuracy of noninvasive PVC focus localization depending on its position in the ventricles: A simulation study. In *MEASUREMENT 2017 : Proceedings of the 11th International Conference on Measurement*. Editors: J. Maňka, M. Tyšler, V. Witkovský, I. Frollo. - Bratislava, Slovakia : Institute of Measurement Science, Slovak Academy of Sciences, 2017, p. 209-212. ISBN 978-80-972629-0-7.
9. ŠVEHLÍKOVÁ, Jana - PUNSHCHYKOVA, O. - KROMKOVÁ, K. - TYŠLER, Milan - HATALA, R. First experience with PVC localization from clinical data. In *MEASUREMENT 2017 : Proceedings of the 11th International Conference on Measurement*. Editors: J. Maňka, M. Tyšler, V. Witkovský, I. Frollo. - Bratislava, Slovakia : Institute of Measurement Science, Slovak Academy of Sciences, 2017, p. 213-216. ISBN 978-80-972629-0-7.
10. ŠVEHLÍKOVÁ, Jana – TEPLAN, Michal – TYŠLER, Milan. Geometrical constraint of sources in noninvasive localization of premature ventricular contractions. In *Journal of Electrocardiology*, 2018, vol. 51, no. 3, p. 370-377. ISSN 0022-0736.
11. SVEHLIKOVA, Jana – TYSLER, Milan. Inverse Localization of Intraventricular Pacing Sites by Equivalent Dipole Source. In: *Computing in Cardiology 2017*, Vol. 44, ISSN: 2325-887X (online), DOI: 10.22489/CinC.2017.058-404, <http://www.cinc.org/archives/2017/pdf/058-404.pdf>.
12. BEAR, Laura - DOGRUSOZ, Yesim Serinagaoglu - SVEHLIKOVA, Jana - COLL-FONT, Jaume - GOOD, Wilson - van DAM, Eelco - MacLEOD, Rob - ABELL, Emma - WALTON, Richard - CORONEL, Ruben - HAISSAGUERRE, Michel – DUBOIS, Remi: Effects of ECG Signal Processing on the Inverse Problem of Electrocardiography. *Computing in Cardiology 2018*, Vol. 45, ISSN: 2325-887X (online), DOI: 10.22489/CinC.2018.070. <http://www.cinc.org/archives/2018/pdf/CinC2018-070.pdf>.
13. DOGRUSOZ, Yesim Serinagaoglu - BEAR, Laura R. - SVEHLIKOVA, Jana - GOOD, Wilson - COLL-FONT, Jaume - van DAM, Eelco - DUBOIS, Remi - MacLEOD, Robert s.: Reduction of Effects of Noise on the Inverse Problem of Electrocardiography With Bayesian Estimation. *Computing in Cardiology 2018*, Vol. 45, ISSN: 2325-887X (online), DOI: 10.22489/CinC.2018.309. <http://www.cinc.org/archives/2018/pdf/CinC2018-309.pdf>.
14. SVEHLIKOVA, Jana - ZELINKA, Jan - DOGRUSOZ, Yesim Serinagaoglu - GOOD, Wilson - TYSLER, Milan – BEAR, Laura: Impact of Signal Preprocessing on the Inverse Localization of the Origin of Ventricular Pacing. *Computing in Cardiology 2018*, Vol. 45, ISSN: 2325-887X (online), DOI: 10.22489/CinC.2018.315. <http://www.cinc.org/archives/2018/pdf/CinC2018-315.pdf>.
15. CLUITMANS, Matthijs - BROOKS, Dana H. - MACLEOD, Rob - DOSSEL, Olaf - GUILLEM, Maria S. - van DAM, Peter M. - SVEHLIKOVA, Jana - HE, Bin - SAPP, John - WANG, Linwei - BEAR, Laura: Validation and Opportunities of Electrocardiographic Imaging: From Technical Achievements to Clinical Applications, *Frontiers in Physiology*, 2018, Vol. 9, no 1305, ISSN: 1664-042X. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01305>
16. TYSLER, M. - SVEHLIKOVA, J. - DEUTSCH, E. - OSMANCIK, P. - HATALA, R.: Noninvasive imaging of the origin of premature ventricular activity, (2019) *IFMBE Proceedings*, 68 (1), pp. 97-101. DOI: 10.1007/978-981-10-9035-6_18.
17. COCHEROVA, E. - SVEHLIKOVA, J. - TYSLER, M: Activation propagation in cardiac ventricles using the model with the conducting system, (2019) *IFMBE Proceedings*, 68 (1), pp. 799-802. DOI: 10.1007/978-981-10-9035-6_147.
18. DEUTSCH, E. - SVEHLIKOVA, J. - TYSLER, M. - OSMANCIK, P. - ZDARSKA, J. -

KNEPPO, P.: Effect of elimination of noisy ECG leads on the noninvasive localization of the focus of premature ventricular complexes, (2019) IFMBE Proceedings, 68 (1), pp. 75-79.

DOI: 10.1007/978-981-10-9035-6_14.

19. DEUTSCH, Elena – TYŠLER, Milan - KNEPPO, Peter: Impact of the Position of Ectopic Ventricular Activation Origin on Its Noninvasive Assessment: A Simulation Study. Acta Mechanica Slovaca, 2018, 22 (1): 16-23.

Uplatnenie výsledkov projektu

Hlavnými aplikačnými výstupmi projektu sú

(1) realizácia špeciálneho mnohokanálového EKG meracieho systému,

(2) návrh postupu vyšetrovania s využitím EKG mapovania a celohrudníkového CT zobrazovania a

(3) výskum, vývoj a softvérová implementácia prakticky aplikovateľnej diagnostickej metódy umožňujúcej neinvazívne nájdenie zdroja ektopických komorových komplexov ešte pred jeho abláciou v elektrofyziológickom laboratóriu. To umožňuje významne skrátiť procedúru jeho hľadania pri invazívnom zákroku pri ablácii, ktorá je navyše spojená s expozíciou RTG žiarenia.

Výstupy projektu boli aplikované a overované na skupine 10 hodnotených pacientov (z celkového počtu 18 nameraných) v nemocnici Kráľovské Vinohrady v Prahe, a boli ďalej vyvíjané a hodnotené na spoluriešiteľskom pracovisku v NÚSCH v Bratislave, kde sa uskutočnili merania na skupine 37 vybraných pacientov, z ktorých sa doteraz ablácia aplikovala u 14 pacientov, u ktorých bolo možné overiť správnosť výsledkov navrhnutej neinvazívnej metódy - teda zhodu neinvazívnej a invazívnej lokalizácie zdroja ektopických komorových komplexov. Vyšetrovanie pacientov navrhnutou metódou a jej hodnotenie bude pokračovať aj po skončení projektu. Cieľom je ďalšie zdokonalenie a zjednodušenie metódy a získania rozsiahlejšieho súboru dát pre jej klinické vyhodnotenie.

Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v slovenskom jazyku (max. 20 riadkov)

Cieľom projektu bolo navrhnúť metódu na neinvazívnu lokalizáciu zdrojov ektopických komorových komplexov aplikovateľnú v klinickom prostredí. Metóda používa ako vstupné údaje mnohozvodové EKG a individuálny model hrudníka pacienta. V rámci projektu:

- Bola navrhnutá metóda na riešenie inverznej úlohy s použitím modelu elektrického srdcového generátora v tvare jedného dipólu. V rámci medzinárodnej spolupráce bola metóda porovnaná s inými použitými prístupmi a na simulovaných aj reálnych dátach bolo potvrdené, že dáva výsledky v dobrej zhode s metódami založenými na iných modeloch.
- Na základe hodnotenia presnosti, spoľahlivosti a praktickej aplikovateľnosti metódy bolo konštatované, že je potrebné merať najmenej 64, optimálne však 96 až 128 EKG zvodov na celom hrudníku. Na odstránenie porúch v EKG signáloch boli navrhnuté a implementované metódy filtrácie, korekcie nulovej línie, spriemernenia ako aj výber okamihov pre výpočet inverznej úlohy. Bol zrealizovaný merací systém so 128 elektródami v pásoch po 8 elektród.
- Bol vyšetrený vplyv použitého modelu hrudníka na inverzné riešenie. Najstabilnejšie výsledky dávali homogénne modely, pričom nehomogénne modely je vhodné aplikovať pre kontrolu správnosti riešenia. Na vytvorenie modelu hrudníka z CT vyšetrenia bol komerčný tomografický softvér TomoCon rozšírený o poloautomatickú segmentáciu povrchu hrudníka, pľúc a srdca a o identifikáciu pozícií EKG elektród.

Na overenie navrhnutej metódy bolo vyšetrených 55 pacientov, z ktorých doteraz podstúpilo abláciu a bolo vyhodnotených 24 pacientov. Cieľe projektu boli splnené, metódu je však potrebné doladiť a overiť na väčšom súbore pacientov.

Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v anglickom jazyku (max. 20 riadkov)

The project was aimed at development of a non-invasive, clinically applicable method for localization of sources of ectopic ventricular complexes. Input data for the method are multichannel ECG data and individual model of the patient torso. Within the project:

- Method for solving the inverse problem using dipole model of the cardiac electric generator was proposed. Within international cooperation the method was compared with other used approaches. On simulated and real measured data it was confirmed that the method yields results in good correspondence with methods based on different generator models.

- Based on evaluation of the obtained accuracy, reliability and practical applicability it was observed that at least 64, but optimally 96 - 128 ECG leads on the whole torso should be measured. To remove disturbances in ECG, methods for filtration, baseline correction, averaging as well as selection of time instants for the inverse computations were proposed and implemented. Measuring system with 128 electrodes (in strips of 8) was developed.
- The influence of used torso model on the inverse solution was analyzed. The most stable results were obtained with homogeneous models, however, inhomogeneous models should be also applied to check the correctness of the solution. To create torso models from CT scans, commercial tomographic software TomoCon was supplemented with semi-automated torso, lungs and heart segmentation as well as detection of electrode positions.
- To verify the method, 55 patients were examined, until now 24 of them were ablated and evaluated. The aims of the project were fulfilled, however, the method should be further tuned up and verified on a larger group of patients.