

MEASUREMENT AND ANALYSIS OF CARDIOVASCULAR PARAMETERS

Petra Filipová

Bachelor Degree Programme (3), FEEC BUT

E-mail: xfilip29@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Jiří Kratochvíla

E-mail: xkrato30@stud.feec.vutbr.cz

Abstract: This contribution illustrates the basic diagnostic procedures for ECG analysis in clinical practice. It contains the verification of statistical hypotheses, automatic detection of the RR intervals and heart rate from the ECG. The validation of detection efficiency is investigated. Heart rate variability analyses are shown in time and frequency domain. For the purpose of evaluation methods the real data were measured.

Keywords: ECG, Statistical tests, QRS detection, Heart rate variability, Tachogram

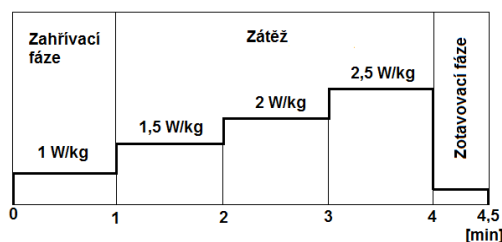
1. ÚVOD

Elektrokardiografie patří k základním diagnostickým metodám. Hodnoty tohoto měření se znázorňují elektrokardiografickou křivkou známou jako elektrokardiogram (EKG). Pro diagnostiku různých kardiovaskulárních onemocnění se provádí zátěžová měření EKG. Při dlouhodobém (holterovském) zaznamenávání EKG používaném například při diagnostice srdečních arytmií je nutné automaticky ze záznamu EKG pomocí vhodných detekčních algoritmů stanovit srdeční frekvenci měnící se v průběhu měření. Právě proměnlivost hodnot srdeční frekvence je předmětem dalších analýz v novodobé klinické praxi označované jako „Heart rate variability“ analýza (HRV).

V tomto příspěvku jsou naměřena elektrokardiografická data náhodně vybraných vzorků osob před a po zátěži. Statisticky je ověřen vliv zátěže na vybrané parametry z EKG záznamu a je demonstrován postup statistického ověřování hypotéz v této problematice. Dále jsou navrženy dva detektory tepové frekvence užitím rozdílných algoritmů detekce. Účinnost detektorů je porovnána na takto naměřených datech. Proměnlivost srdeční frekvence (HRV) je pak studována v časové i frekvenční oblasti pomocí tachogramů a HRV spekter.

2. AKVIZICE DAT

Měření EKG bylo provedeno na výzkumném systému Biopac pod dohledem lékaře. Měřeno bylo 11 náhodně vybraných osob ve věku 20 - 26 let. Záznam EKG (Bipolární svod II) byl měřen po dobu dvou minut při vzorkovací frekvenci 200 Hz před zátěží a opět po zátěži (šlapání na rotopedu). Pro zajištění reprodukovatelnosti měření byl vytvořen akviziční protokol, dle kterého byly všechny osoby měřeny, a který jasně definuje nastavení zátěže (Obrázek 1).



Obrázek 1: Nastavení zátěže při akvizici EKG.

3. VLIV ZÁTĚŽE NA EKG PARAMETRY

Z naměřených záznamů EKG byly pro statistické testování vybrány a definovány parametry dle Obrázku 2. Jde o RR interval [s], U_{p-p} QRS [mV], a trvání vlny P [s]. Pro účely statistického zpracování byly parametry RR interval a U_{p-p} rozměřeny automaticky pomocí Biopacu. U parametru trvání vlny P bylo rozměření provedeno ručně.



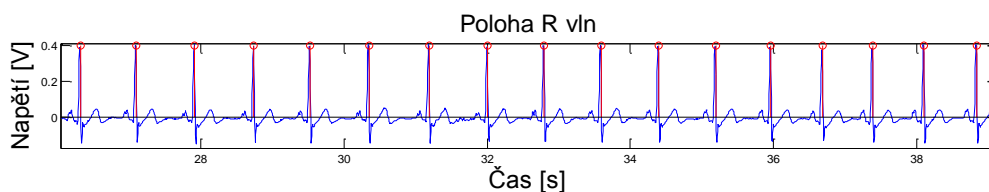
Obrázek 2: Výběr parametrů pro statistické zpracování.

Pro každou osobu byl stanoven medián hodnot konkrétního extrahovaného parametru z celé délky dvou minut měření před zátěží a po zátěži. Byl získán soubor všech měřených osob vždy s jednou hodnotou parametru před a po zátěži. Ověření vlivu zátěže pro jednotlivé EKG parametry pro takto stanovený soubor dat vyžaduje použití párových testů – pro stejné subjekty jsou k dispozici data před a po zátěži. Všechny parametry byly v programu Statistica podrobeny neparametrickému Wilcoxonovu párovému testu [1] vždy s potvrzením vlivu zátěže ($p < 0,05$). U parametru RR interval byl navíc použit parametrický Studentův párový t-test [1] – předpoklad normálního rozdělení parametru v populaci. Normalita dat RR intervalů byla u měřeného výběru z populace potvrzena pomocí Kolmogorovova-Smirnovova testu [1] na hladině významnosti 0,05. T-testem pak byl potvrzen vliv zátěže na tento parametr ($p < 0,05$) a byl tak potvrzen výsledek Wilcoxonova testu.

Pro zvýšení spolehlivosti získaných výsledků byla z databáze knihovny ústavu poskytnuta data dalších osob měřená dle stejného protokolu. Sloučením s naměřenými daty v tomto článku tak vznikl výběrový soubor 35 osob. Všechny statistické testy opět potvrdily vliv zátěže na každý parametr Obrázku 2.

4. DETEKCE QRS KOMPLEXŮ

Existuje velké množství algoritmů pro detekci QRS komplexů [2]. Pro účely této práce byly vybrány dva různé algoritmy a v Matlabu tak byly vytvořeny dva detektory QRS. Ty byly použity pro naměřené signály EKG před a po zátěži. První detektor detekuje QRS na základě vhodné filtrace a prahování signálu EKG. Nejprve je signál filtrován filtrem typu pásmová propust s mezními frekvencemi 8 a 25 Hz. V tomto pásmu jsou filtrovány parazitní jevy jako stejnosměrná složka signálu, artefakty vlivem pohybu a dýchání (nízké frekvence) a síťové rušení 50 Hz. Informace o QRS i po této filtraci v signálu zůstává. Poté je filtrovaný signál umocněn (zvýraznění komplexů QRS) a je vyhlazen filtrem typu dolní propust s mezní frekvencí 1 Hz. Dále je algoritmem detekováno překročení zvolené prahu a tím jsou jednotlivé QRS komplexy detekovány. **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** ilustruje detekci tohoto detektoru pro jednu z měřených osob.



Obrázek 3: Úsek signálu EKG s detekovanými QRS.

Druhý vytvořený detektor je založen na derivaci signálu EKG – jde o detekování prudké změny hodnot dvou sousedních vzorků EKG, která se očekává největší u QRS komplexu. Výhodou této metody je, že není ovlivněna pohybovými artefakty a poklesem signálu při měření. Minutovou tepovou frekvenci pak lze určit jako počet detekovaných QRS v době jedné minuty. Porovnání detekčních účinností obou detektorů bylo provedeno na měřených datech před i po zátěži pomocí senzitivity a pozitivní prediktivity. Senzitivita vyjadřuje podíl $TP/(TP+FN)$, kde TP je počet správně detekovaných výskytů QRS komplexu, FN je počet detekcí, které detektor měl označit a neoznačil. U pozitivní prediktivity pak jde o podíl $TP/(TP+FP)$, kde FP je počet detekcí, jež de-

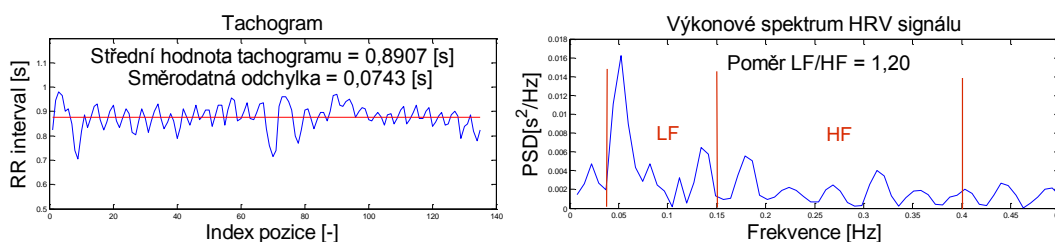
tektor označil, ale v záznamu nebyly. Tabulka 1 ukazuje výsledky na měřených datech, kdy detektor založený na derivaci signálu dosahuje lepší účinnosti než detektor založený na filtracích signálu.

Detekce filtrací		Detekce derivací	
Celkem komplexů [-]	3928	Celkem komplexů [-]	3928
Celkem FP [-]	37	Celkem FP [-]	1
Celkem FN [-]	75	Celkem FN [-]	0
Senzitivita [%]	98,07	Senzitivita [%]	100,00
Prediktivita [%]	99,04	Prediktivita [%]	99,97

Tabulka 1: Vyhodnocení úspěšnosti detekce QRS.

5. HODNOCENÍ VARIABILITY SRDEČNÍ FREKVENCE (HRV)

Hodnocení variability srdeční frekvence je dalším důležitým nástrojem při diagnostice onemocnění srdce. V praxi se užívají časové analýzy (tachogramy) a frekvenční analýzy (HRV spektra). Obrázek 4 ilustruje obě analýzy pro jednu měřenou osobu. Je třeba si uvědomit, že v klinické praxi jsou analyzovány dlouhodobé záznamy, měřená data v příspěvku jsou krátkodobá, pro účely ilustrace metod však dostačující. Tachogram je závislost trvání RR intervalů na indexu detekovaných QRS komplexů a ukazuje časovou variabilitu doby mezi stahy srdce v průběhu měření. HRV spektrum je pak odhad výkonového spektra (vzorkovací frekvence vždy 1 Hz, použito Hannovo okno) spočtené z tachogramu. Diskrétní spektrální čáry spektra jsou pro lepší srovnání s literaturou [3] zobrazeny spojitou linkou. Obrázek 4 dále ilustruje oblasti spektrálních komponent výkonového spektra (LF a HF) včetně jejich diagnosticky významného poměru LF/HF. Hraniční hodnoty oblastí frekvencí pro LF (0,04 – 0,15 Hz) a pro HF (0,15 – 0,4 Hz) jsou nastaveny podle [3].



Obrázek 4: Analýzy variability srdeční frekvence, vlevo tachogram, vpravo HRV spektrum

6. ZÁVĚR

Článek ukazuje základní diagnostické postupy při analýze EKG v klinické praxi. Na měřených datech ilustruje ověřování statistických hypotéz, detekci RR intervalů a tepové frekvence z EKG křivky pomocí dvou vytvořených detektorů a analýzu variability srdeční frekvence v časové a frekvenční oblasti. Účinnost detekce RR intervalů pro naměřená data je vyšší pro detekci na základě derivace signálu EKG, kdy byl detekován pouze jeden falešně pozitivní QRS komplex. Je zřejmé, že pro důkladnější ověření účinnosti detektorů a vyšší vypovídající hodnotu tachogramů a HRV spekter je třeba větší statistický výběr a dlouhodobé záznamy (z dostupných světových databází), což odpovídá cílům následující práce včetně implementace dalších detekčních algoritmů.

REFERENCE

- [1] BAŠTINEC, J. Statistika, operační výzkum, náhodné procesy. Brno, 2013, 244 s.
- [2] KÖHLER, B.-U. et al.: The Principles of Software QRS Detection. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*. 2002, roč. 21, č. 1, s. 42-57.
- [3] MALIK, M. et al.: Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *European Heart Journal*. 1996, roč. 17, č. 3, s. 354-381.