

DETRENDED FLUCTUATION ANALYSIS FOR HEART RATE VARIABILITY ANALYSIS

Tomáš Šikner

Master Degree Programme (2), FEEC BUT

E-mail: xsikne00@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Oto Janoušek

E-mail: janouseko@feec.vutbr.cz

Abstract: Detrended fluctuation analysis (DFA) is nonlinear method for heart rate variability (HRV) analysis. It has been published relatively recently. The comparison of DFA and time-domain methods efficiency for detection of an ischemia induced HRV changes is presented in this article.

Keywords: Detrended fluctuation analysis, heart rate variability

1. ÚVOD

Variabilita srdečního rytmu (HRV) vyjadřuje změny srdeční frekvence. Pro analýzu HRV bylo navrženo mnoho různých metod. Detrendovaná analýza fluktuace (DFA) je nelineární metoda pro analýzu HRV. Nelineární metody byly vyvinuty, aby bylo možné zachytit nelineární mechanismy ovlivňující srdeční frekvenci. V tomto článku je metoda DFA srovnávána s časovou metodou na základě jejich úspěšnosti detekce ischemie v HRV signálu měřeného z izolovaného srdce králíka. Testování a srovnání obou metod je provedeno pomocí aplikace FBSE.

2. DFA

DFA je modifikací střední kvadratické analýzy náhodné procházky. HRV signál má nestacionární charakter, který negativně ovlivňuje analýzu. DFA umožňuje tuto nestacionaritu potlačit. DFA algoritmus lze rozdělit do několika částí. Nejprve se od HRV signálu odečte jeho průměrná hodnota. Dále je signál rozdělen na stejně velké segmenty délky n . Pro každý segment se vypočte metodou nejmenších čtverců s lineární funkcí jeho trend, který se pak odečte od příslušného segmentu. Pro takto detrendovaný signál se vypočte střední kvadratická fluktuace podle rovnice (1). [1]

$$F(n) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (y(j))^2}, \quad (1)$$

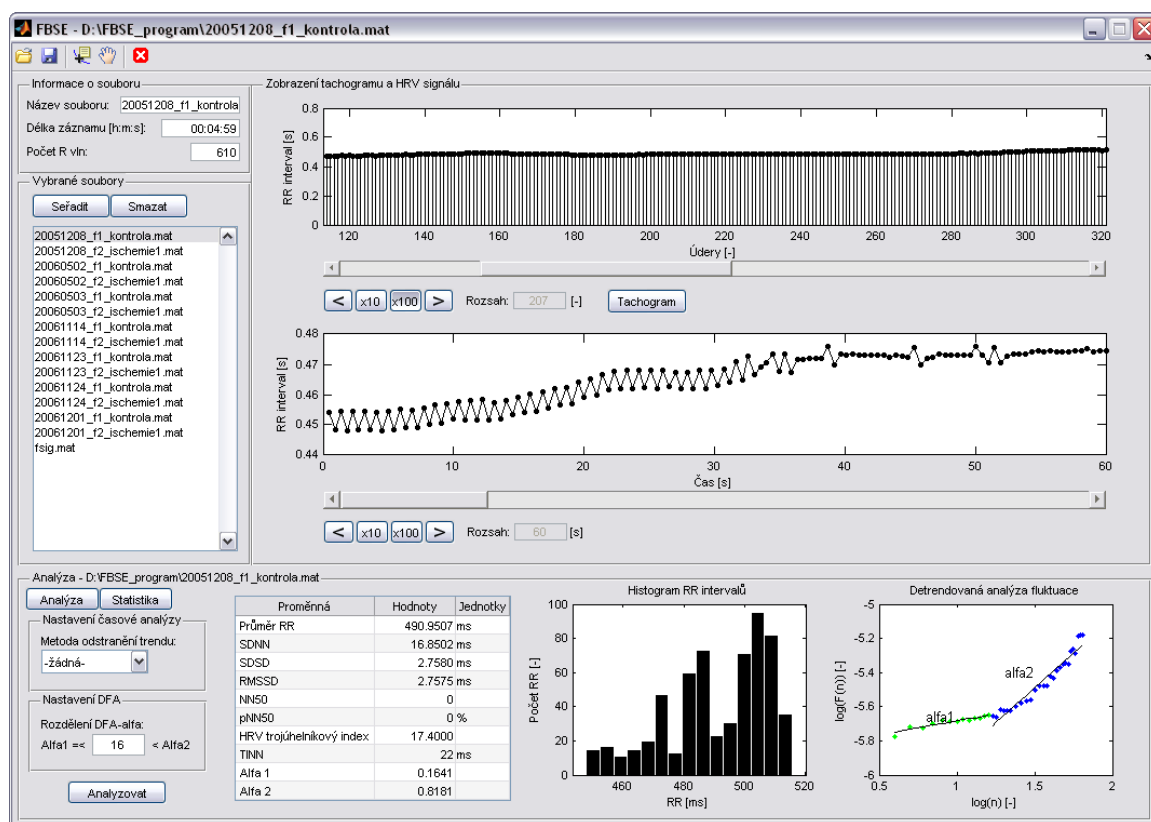
kde $y(j)$ je detrendovaný signál, N je délka detrendovaného signálu, n udává velikost segmentů, $F(n)$ je střední kvadratická fluktuace pro danou velikost segmentů. Tento výpočet se opakuje pro různé velikosti segmentů. Aplikace FBSE provádí výpočet $F(n)$ pro segmenty o velikosti od 4 do 64 vzorků signálu. Závislost $F(n)$ na n se vynese do logaritmičského grafu a proloží se regresní přímkou. Sklon této přímky je popsán exponentem škálování α . [1]

Exponent škálování α je obvykle počítán pro krátkodobé a dlouhodobé fluktuace zvlášť. Aplikace FBSE rozděluje α na α_1 (krátkodobé fluktuace) a α_2 (dlouhodobé fluktuace) pomocí hodnoty hraniční meze. Hraniční mez je v rozmezí $\langle 10, 20 \rangle$ (volí se uživatelem) a udává velikost segmentu, který tvoří rozhraní mezi α_1 a α_2 . Pokud je hraniční mez rovna 11, α_1 je počítána pro velikosti segmentů 11 a méně, α_2 je počítána pro velikosti 12 až 64.

3. APLIKACE FBSE

Aplikace FBSE obsahuje k hodnocení HRV dvě metody: detrendovaná analýza fluktuace a časová metoda. Aplikace pracuje se vstupními daty tvořenými detekovanými pozicemi R vln, tedy s časovými řadami R vln. Aplikace umožňuje kromě analýzy jednotlivých vstupních dat, také statistické testování mezi 2 skupinami tvořených z libovolných vstupních dat. Výsledky analýzy je možné uložit ve formátu XLS nebo jako obrázek EMF. Aplikace pracuje se soubory ve formátu MAT a TXT. Aplikace byla vyvinuta v programovém prostředí MATLAB ve verzi R2011b (7.13.0.564).

Grafické uživatelské rozhraní (GUI) aplikace obsahuje několik sekcí a toolbar menu, sloužící hlavně k otevření souborů a uložení výsledků analýzy. Při otevření souboru jsou vypsány základní údaje (délka záznamu, počet R vln) o datech souboru v sekci Informace o souboru a tyto data jsou vykresleny ve formě tachogramu a HRV signálu. HRV signál má na rozdíl od tachogramu neekvidistantní vzorkování dané tím, že RR intervaly jsou přiřazeny k časovým pozicím R vln. V sekci Vybrané soubory jsou ukázány všechny doposud otevřené soubory, které lze označením snadno vykreslit. Na obr. 1 je příklad načtení několika souborů a vykreslení jednoho zvoleného souboru.



Obrázek 1: Načtený soubor a výsledky analýzy.

Nastavení a zobrazení výsledků HRV analýzy se nachází v sekci Analýza. Pro časovou metodu lze nastavit, zda před vlastní analýzou proběhne odstranění trendu signálu. Odstranění trendu je provedeno metodou nejmenších čtverců s lineární, kvadratickou nebo kubickou funkcí podle výběru. Výstupem časové metody je histogram RR intervalů a parametry: průměr RR intervalů, SDNN, SDSD, RMSSD, NN50, pNN50, HRV trojúhelníkový index a TINN, popsány v [2]. Průměr RR intervalů a histogram RR intervalů jsou vždy vypočteny z nedetrendovaného signálu. U DFA je možné nastavit hodnotu hraniční meze, která určuje rozhraní mezi α_1 a α_2 . Výstupem DFA jsou tedy parametry α_1 a α_2 a logaritmický graf závislosti střední kvadratické fluktuace na velikosti segmentu s vykreslenými regresními přímkami pro α_1 a α_2 . Příklad výsledků analýzy je ukázán na obrázku 1.

Statistické testování je v sekci Statistika (obr. 2). Do sekce Statistika se uživatel dostane stiskem tlačítka Statistika. Do původního stavu se uživatel vrátí stiskem tlačítka Analýza. Testují se soubory obsažené ve skupinách A a B, které jsou načteny ze sekce Vybrané soubory pomocí tlačítek A->, B->. Pro statistické testování jsou použity všechny parametry a nastavení ze sekce Analýza. Testování je provedeno pomocí Wilcoxonova testu. Hladinu významnosti lze nastavit na 0.05, 0.01 nebo 0.001. Výsledky testování jsou ve tvaru průměr ± směrodatná odchylka a hodnota p.

Skupina A	Skupina B	Parametr	Skupina A (průměr±std)	Skupina B (průměr±std)	p
20061208_f1_kontrola.mat	20061208_f2_ischemie1.mat	Průměr RR [ms]	365.7933±60.7829	703.8257±236.4497	0.0006
20060502_f1_kontrola.mat	20060502_f2_ischemie1.mat	SDNN [ms]	9.0796±6.0919	48.787±36.2054	0.0379
20060503_f1_kontrola.mat	20060503_f2_ischemie1.mat	SDSD [ms]	8.4021±9.5947	17.1289±14.9303	-
20061114_f1_kontrola.mat	20061114_f2_ischemie1.mat	RMSSD [ms]	8.3977±9.5895	17.1144±14.9134	-
20061201_f1_kontrola.mat	20061123_f2_ischemie1.mat	NN50	110.2857±226.1745	16.2857±13.5242	-
20061123_f1_kontrola.mat	20061124_f2_ischemie1.mat	pNN50 [%]	11.4719±22.9395	4.2204±4.2881	-
20061124_f1_kontrola.mat	20061201_f2_ischemie1.mat	HRV troj. index	12.3731±7.2423	21.3384±13.2843	-
		TINN [ms]	12.2857±8.9947	76.5714±62.6973	0.0163
		Alfa 1	0.22959±0.20473	0.77178±0.40957	0.007
		Alfa 2	0.45628±0.52245	0.49427±0.51425	-

Obrázek 2: Výsledky statistické analýzy.

4. VÝSLEDKY

DFA a časová metoda byly otestovány, zda mohou detekovat změny HRV způsobené globální ischemií. Testovaná data byla změřena z izolovaného králičího srdce během 7 period: 1 kontrolní, 3 ischemie, 3 reperfuze. Podrobnější popis testovaných dat je v [3]. Porovnávaly se 3 periody ischemie vůči kontrolní. DFA parametr α_1 byl u všech 3 ischemií významně vyšší ($p < 0.01$). Pro DFA parametr α_2 nebyla shledána statisticky významná odlišnost u žádné periody ischemie. Neúspěšnost parametru α_2 , který vyjadřuje dlouhodobé fluktuace, je nejspíše způsobena tím, že v 5 minutovém záznamu se dlouhodobé fluktuace výrazně neprojeví. Parametry časové metody, které se statisticky lišily u všech 3 ischemií byly: průměr RR ($p < 0.01$), SDNN ($p < 0.05$) a TINN ($p < 0.05$). Mezi kontrolní periodou a 3. ischemií byl u parametru HRV trojúhelníkový index zaznamenán statisticky významný rozdíl ($p < 0.05$). Pro zbylé parametry nebyla nalezena statisticky významná odlišnost.

5. ZÁVĚR

Z analyzovaných dat vyplývá, že parametry α_1 , průměr RR, SDNN a TINN mohou posloužit k detekci ischemie. U parametrů α_1 a průměr RR byla zjištěna $p < 0.01$ mezi kontrolní periodou a všemi 3 periodami ischemie. DFA a časová metoda tedy obsahují parametry, které mají úspěšnost pro detekci ischemie prakticky rovnocennou.

PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek vznikl za podpory grantu GAP102/12/2034.

REFERENCE

- [1] Peng, C-K, Hausdorff, J. M., Goldberger, A. L.: *Fractal mechanisms in neural control: Human heartbeat and gait dynamics in health and disease*. In: Walleczek J, ed. *Nonlinear Dynamics, Self-Organization, and Biomedicine*. Cambridge: Cambridge University Press, 1999.
- [2] Tarvainen, M., Niskanen, J-P.: *Kubios HRV: USER'S GUIDE, version 2.1*. University of Eastern Finland, Finland: Biosignal Analysis and Medical Imaging Group, Department of Applied Physics. 2012.
- [3] Janoušek, O., Kolářová, J., Nováková, M., Provazník, I., Fialová, K.: *Frequency domain HRV analysis of ischemia manifestation at isolated rabbit hearts*.