

基础医学

5分钟短时心率变异性自回归模型频域分析的临床应用价值☆

党艳军, 杨林, 官金安, 舒位光

Clinical value of frequency domain analysis for 5-minute short-term heart rate variability based on an autoregressive model

Abstract

AIM: To test the clinical value of 5-minute heart rate variability (HRV) frequency analysis based on autoregressive (AR) model, and observe the diabetic 5-minute HRV frequency domain indices.**METHODS:** The experimental subjects were 9 diabetics and 7 normal subjects who were over 50 years old, including 7 severe diabetics whose history of disease exceeded 6 years and 2 slight diabetics whose history disease was less than 3 years. All the subjects were in seated resting states and their ECG signals were recorded for 30 minutes, with sample rate 1 000 Hz. Five-minute RR intervals between 10 and 15 minutes as HRV signals were analyzed in frequency domain based on AR model. Indices of frequency domain such as total power (TP), low frequency (LF) band power, high frequency (HF) band power and LF/HF power ratio, etc were calculated for each subject.**RESULTS:** Results of calculating 5-minute HRV AR model showed that there were significant differences in TP, LF band power and HF band power between severe diabetes and normal group ($t=2.495\ 2, 2.702\ 7, 1.729\ 9, P<0.05$). The differences were not significant between slight diabetes and normal group. LF/HF power ratio was insignificant among severe diabetes, slight diabetes and normal group.**CONCLUSION:** Five-minute HRV AR model analysis is valid to reflect the autonomic neuropathy in the diabetic patients, and it seems to become the method of detecting autonomic neuropathy.

College of Electronics and Information Engineering, South-Central University for Nationalities, Wuhan 430074, Hubei Province, China

Dang Yan-jun ☆, Doctor, Lecturer, College of Electronics and Information Engineering, South-Central University for Nationalities, Wuhan 430074, Hubei Province, China
yl_dang@163.comReceived: 2007-04-03
Accepted: 2007-05-16Dang YJ, Yang L, Guan JA, Shu WG. Clinical value of frequency domain analysis for 5-minute short-term heart rate variability based on an autoregressive model. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu yu Linchuang Kangfu 2007;11(26):5173-5175(China)
[www.zgckf.com/zgckf/ejournal/upfiles/07-26/26k-5173(ps).pdf]

摘要

目的:基于自回归模型 5 min 心率变异性频域分析的临床价值,检验糖尿病患者 5 min 短时心率变异性自回归模型分析频域指标的变化。**方法:**实验对象为 50 岁以上糖尿病患者 9 例和正常人 7 例,糖尿病史 > 6 年 7 例,糖尿病史 < 3 年 2 例。被试者采用坐姿,静息状态,测试 30 min 的 ECG 信号,采样率为 1 000 Hz。对每个样本取第 10~15 分钟的时长 5 min 的 RR 间期作为心率变异性信号,进行基于自回归模型的频域分析。依据功率谱估计计算 16 例受试者的总能量,低频段能量,高频段能量,低频段高频段能量比值等指标参数。**结果:**通过对 5 min 心率变异性自回归模型计算结果得出,糖尿病史 > 6 年患者总能量、低频段能量、高频段能量低于正常人,差异有显著性意义($t=2.495\ 2, 2.702\ 7, 1.729\ 9, P<0.05$)。糖尿病史 < 3 年患者总能量、低频段能量、高频段能量与正常人差异不明显。两类糖尿病患者与正常人低频段高频段能量比值无明显差异。**结论:**5 min 短时心率变异性自回归模型分析能够有效反映糖尿病患者自主神经的病变,可能成为检测自主神经病变的方法。**关键词:**AR 模型;短时心率变异性;频域分析;糖尿病;医学工程学

党艳军, 杨林, 官金安, 舒位光. 5 分钟短时心率变异性自回归模型频域分析的临床应用价值[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2007, 11(26): 5173-5175 [www.zgckf.com/zgckf/ejournal/upfiles/07-26/26k-5173(ps).pdf]

0 引言

心率变异性(heart rate variability, HRV)分析是反映自主神经系统交感-副交感神经张力及其平衡的重要指标。HRV 分析有时域分析、频域分析和非线性分析。HRV 频域分析可按频段给出能量分布,具有一定的临床意义。HRV 频域分析有基于快速傅里叶变换的经典谱估计和以随机过程的参数模型[例如自回归模型(AR 模型)]为基础的现代谱估计。经典谱估计算法简单,运算速度快,但是它存在着分辨率低和旁瓣泄露的固有缺点,适用于长记录的数据处理^[1]。目前临床 HRV 频域分析大多

是采用经典谱估计,并且是长时程(10~24 h)数据^[2,3]。然而 HRV 分析要求患者处于静息状态,患者长时间如超过 10 h 以上保持静息状态不容易做到,而短时间如 5~30 min 保持静息状态很容易。短时(5~30 min)HRV 分析是很有意义的。在短时 HRV 频域分析方面文献[4,5]对快速傅里叶变换与 AR 模型二算法进行了 HRV 频域指标的计算和比较,得出结论:两种算法的短时 HRV 频域计算结果有显著差异,二者计算出来的频域指标结果不能互相替代。文献[5]认为在糖尿病患者短时 HRV 分析中快速傅里叶变换优于 AR 模型。在短数据处理中有优势的 AR 模型在短时 HRV 分析方面有没有临床价值,本文对此进行了探讨。

中南民族大学电子信息工程学院,湖北省武汉市 430074

党艳军☆,男,1966 年生,湖北省武汉市人,汉族,2005 年华中科技大学毕业,博士,讲师,主要从事生物医学信号处理的研究。
yl_dang@163.com中国分类号:R318
文献标识码:B
文章编号:1673-8225
(2007)26-05173-03收稿日期:2007-04-03
修回日期:2007-05-16
(07-50-4-2040/Y·Y)

由于糖尿病可引起自主神经病变,对于长期的、严重的糖尿病常伴随有交感神经和迷走神经的失调,因而 HRV 分析可能对长期的、严重的糖尿病进行定量评估和确诊^[2,3]。本文通过对糖尿病患者和正常人 5 min 短时 HRV AR 模型的计算,观察分析其频域分析指标的变化,探讨 AR 模型在 5 min 短时 HRV 频域分析中的临床价值以及对糖尿病患者的应用。

1 对象和方法

设计:对比观察。

单位:中南民族大学电子信息工程学院。

对象:采用以前采集的已数字化了的 ECG 信号及 HRV 信号^[6](即正常窦性 RR 间期也称 NN 间期)。被试者采用坐姿,静息状态,测试时间为 30 min,采样率为 1 000 Hz。为便于比较,取 50 岁以上的样本,计有 9 例糖尿病患者和 7 例正常人,糖尿病患者均经医院确诊,其中 7 例为患糖尿病 6 年以上的重度患者,2 例为患糖尿病 3 年以下的轻度患者。将 16 例样本按 5 min 分段分为 6 段,对第 3 段即取第 10~15 分钟的时长 5 min 的 HRV 信号做 AR 模型分析。

设计、实施、评估者:设计为第一作者,实施为全部作者,评估为第一作者,评估者经过正规培训。

方法:以随机过程的参数模型为基础的现代谱估计有 AR 模型、移动平均模型(MA 模型)、自回归移动平均模型(ARMA 模型)。任何一个 ARMA 或 MA 模型都可用一个无限阶的 AR 过程表示。本文采用 AR 模型对糖尿病患者进行短时 5 min HRV 频域分析。

AR 模型计算功率谱密度的原理见文献^[1]。AR 模型需要确定阶数 p ,HRV 信号 AR 模型阶数 p 的选取可根据经验确定。Anita Boardman 用 Akaike 最终预测误差、Akaike 信息准则、Parzen 传输传递函数准则和 Rissanen 最小描述长度方法等 4 种方法论证了对短时 HRV 信号用 4 Hz 重采样后,阶数 p 取值应该不少于 16^[7]。采用 AR 模型分析 HRV 信号可不用重采样^[8]。本文未进行重采样,根据以往经验,对 30 min 的 HRV 信号采用阶数 16 较合适^[9],对 5 min 阶数最佳范围 9~11。本文选取阶数为 10,后面的图谱及计算结果均选用阶数 10。AR 模型谱估计采用 Burg 法处理^[1]。

采用自制作的 HRV 分析系统^[10],HRV AR 模型分析程序是作者编写的 HRV 分析系统的一个部分。本分析系统的运行环境是 Matlab 环境,程序采用 Matlab 6.1 编写。本程序可以给出 HRV 的总能量、极低频段(0~0.04 Hz)能量、低频段(0.04~0.15 Hz)能量、高频段(0.15~0.40 Hz)能量,高频段、低频段峰值对应的频率,高频段、低频段峰值的大小等指标参数。

主要观察指标:制作正常人和严重糖尿病患者 5 min HRV 信号 AR 模型功率谱估计图,分析 HRV AR 模型分析频域指标变化。

统计学分析:由第一作者采用 SPSS 10.0 进行数据处理,数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示,行 t 检验。

2 结果

2.1 正常人和严重糖尿病患者 5 min HRV 信号 AR 模型功率谱估计图 计算每例样本的 5 min HRV 信号 AR 模型谱估计,制作 1 例严重糖尿病患者和 1 例正常人的 5 min HRV 信号 AR 模型功率谱估计图(图 1)。图 1a 是正常人的 HRV 功率谱图,图 1b 是严重糖尿病患者的 HRV 功率谱图。图 1 中纵坐标是功率谱密度(s_{xx}),单位应为 ms^2/Hz ,因为功率谱密度大小相差很大,本文采用分贝(dB)表示,即 $10\lg(s_{xx})$ 为纵坐标。

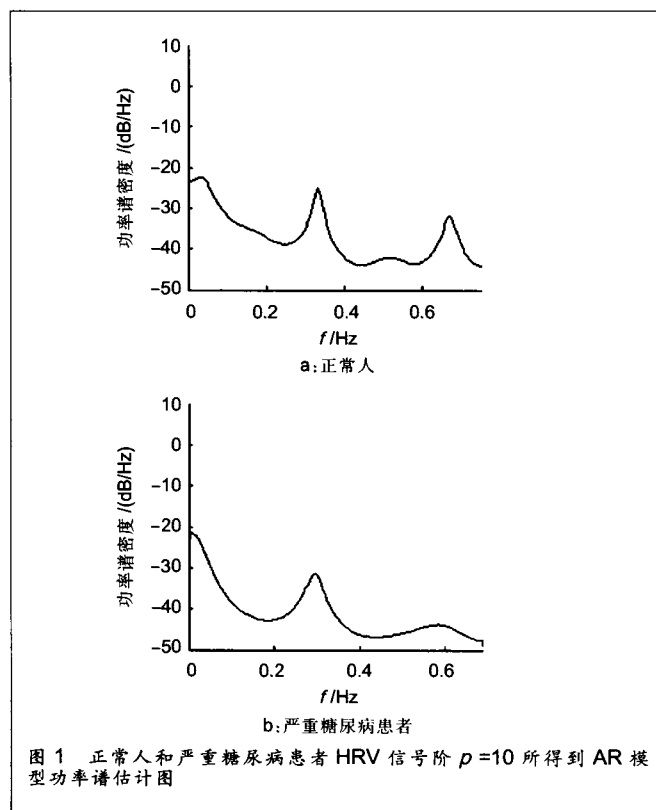


图 1 正常人和严重糖尿病患者 HRV 信号阶 $p=10$ 所得 AR 模型功率谱估计图

图 1 可见其功率谱密度线光滑。作者曾计算并作出—30 min HRV 信号的基于快速傅里叶变换的功率谱密度线和基于 AR 模型的功率谱密度线图,基于快速傅里叶变换的功率谱密度线不光滑,呈锯齿状,谱峰不清晰^[9,10]。

从图 1 可以直观地看出,严重糖尿病患者的 HRV 能量即谱线下的面积比正常人的要小很多。

2.2 糖尿病患者及正常人 HRV AR 模型分析频域指

标结果 依据功率谱估计计算 16 例的总能量,低频段能量,高频段能量,低频段高频段能量比值,低频段、高频段峰值的大小,低频段、高频段峰值对应的频率等,见表 1。

表 1 糖尿病患者及正常人 HRV AR 模型分析频域指标结果 (除数 $p=10$)

受试者	总能量 (ms ²)	低频段能量 (ms ²)	高频段能量 (ms ²)	低频段高频段能量比值	低频段峰值对应的频率 (Hz)	高频段峰值对应的频率 (Hz)	低频段峰值 (ms ² /Hz)	高频段峰值 (ms ² /Hz)
严重糖尿病患者 1	282.1	43.1	39.1	1.10	0.040 0	0.298 6	0.000 02	0.000 73
严重糖尿病患者 2	309.9	115.5	53.0	2.18	0.040 0	0.287 4	0.000 03	0.001 56
严重糖尿病患者 3	420.0	64.0	7.7	8.33	0.040 0	0.266 3	0.000 02	0.000 03
严重糖尿病患者 4	1 418.6	140.0	80.8	1.73	0.040 0	0.269 3	0.000 08	0.000 45
严重糖尿病患者 5	95.9	11.7	10.5	1.11	0.040 0	0.300 5	0.000 01	0.000 23
严重糖尿病患者 6	457.7	56.8	202.4	0.28	0.145 2	0.373 0	0.000 45	0.001 42
严重糖尿病患者 7	1 031.9	256.0	199.3	1.28	0.040 0	0.352 3	0.000 36	0.005 06
轻度糖尿病患者 1	395.5	70.8	103.0	0.69	0.040 0	0.376 5	0.000 73	0.002 34
轻度糖尿病患者 2	1 305.3	575.1	117.7	4.89	0.055 2	0.188 3	0.011 75	0.000 76
正常人 1	1 225.2	306.6	30.8	9.95	0.040 0	0.402 7	0.000 06	0.000 06
正常人 2	759.7	230.7	127.7	1.81	0.040 0	0.322 8	0.000 14	0.001 04
正常人 3	494.7	161.8	107.3	1.51	0.040 0	0.338 7	0.000 07	0.002 74
正常人 4	1 830.3	281.6	564.1	0.50	0.040 0	0.320 3	0.001 69	0.005 08
正常人 5	1 912.1	928.1	147.2	6.30	0.040 0	0.402 5	0.000 11	0.000 11
正常人 6	906.2	243.6	169.1	1.44	0.147 5	0.311 3	0.001 62	0.001 21
正常人 7	1 031.9	256.0	199.3	1.28	0.040 0	0.352 3	0.000 36	0.005 06

严重糖尿病、轻度糖尿病患者与正常人总能量、高频段能量、低频段能量、低频段 / 高频段能量比值的统计结果见表 2。

表 2 糖尿病患者和正常人的 HRV 高频段、低频段能量比较 (x \pm s)

受试者	n	总能量 (ms ²)	低频段能量 (ms ²)
严重糖尿病患者	7	519.0 \pm 431.8 ^a	73.2 \pm 43.5 ^a
轻度糖尿病患者	2	850.4 \pm 643.3	323.0 \pm 256.6
正常人	7	1 165.7 \pm 532.7	344.0 \pm 261.5

受试者	n	高频段能量 (ms ²)	低频段高频段能量比值
严重糖尿病患者	7	71.1 \pm 67.7 ^a	2.22 \pm 2.76
轻度糖尿病患者	2	110.3 \pm 10.4	2.79 \pm 2.97
正常人	7	192.2 \pm 172.4	3.26 \pm 3.51

与正常人比较, ^at=2.495 2, 2.702 7, 1.729 9, $P < 0.05$

表 2 结果表明,严重糖尿病患者总能量、高频段能量、低频段能量均低于正常人,差异有显著性意义 ($P < 0.05$)。

3 讨论

表 2 中可见严重糖尿病患者与正常人 HRV 在总能量和低频段能量的差异显著 (分别是 $P < 0.05$, $P < 0.02$), 这和他用快速傅里叶变换算法所作 24 h HRV 分析住院糖尿病患者的结果基本相同^[2]。高频段能量也有一定的差异 ($P < 0.15$), 而轻度糖尿病患者与正常人差异不明显。HRV 能量的减小说明自主神经系统对心率的调节功能下降, 严重糖尿病患者 HRV 能量减小反映出长期高血糖对自主神经系统有一定的损伤。

正常人的高频段能量峰值大于严重糖尿病患者。3 组受试者低频段高频段能量比值没有明显差异。

低频段峰值位于低频段 (0.04~0.15 Hz) 的最左端,说明功率谱曲线在低频段单调下降,即在低频段上没有峰。严重糖尿病患者低频段有 5 例没有峰,正常人有 3 例没有峰。这被有些人认为是在短时 HRV 频域分析中快速傅里叶变换算法优于 AR 模型谱估计算法的主要原因之一^[5]。

结论:通过对糖尿病患者和正常人的 HRV 信号进行 AR 模型谱分析,严重糖尿病患者 HRV 低频段、高频段能量明显减少,轻度糖尿病患者能量减小不明显。结果表明长期高血糖对自主神经系统具有损伤作用。低频段高频段能量比值各组没有明显差异。因此 5 min 短时 HRV AR 模型分析可能成为检测自主神经病变的方法。

4 参考文献

- 1 姚天任,孙洪.现代数字信号处理[M].武汉:华中科技大学出版社,1999
- 2 宋玉娥,陆再英,张木勋.心率变异性测定在糖尿病自主神经病变诊断中的价值[J].华中科技大学学报:医学版,2002,31(2):153-155
- 3 Burger AJ, D'Elia JA, Weinrauch LA, et al. Marked abnormalities in heart rate variability are associated with progressive deterioration of renal function in type I diabetic patients with overt nephropathy.Int J Cardiol 2002;86(2-3):281-287
- 4 Pichon A, Roulaud M, Antoine-Jonville S, et al. Spectral analysis of heart rate variability: interchangeability between autoregressive analysis and fast Fourier transform.J Electrocardiol 2006;39(1):31-37
- 5 Chemla D, Young J, Badilini F, et al. Comparison of fast Fourier transform and autoregressive spectral analysis for the study of heart rate variability in diabetic patients.Int J Cardiol 2005;104(3):307-313
- 6 孙红,林家瑞,林岚.一种心率变异性分析系统[J].数理医药学杂志,2000,13(6):542-543
- 7 Boardman A, Schlindwein FS, Rocha AP, et al. A study on the optimum order of autoregressive models for heart rate variability.Physiol Meas 2002;23(2):325-336
- 8 Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology.Circulation 1996;93(5):1043-1065
- 9 党艳军,林家瑞,杨林,等.心率变异性现代谱估计对不同年龄段正常人的分析[J].中南民族大学学报:自然科学版,2005,24(2):46-49
- 10 党艳军,罗少贤,林家瑞,等.心率变异性分析系统的研制及其应用[J].中南民族大学学报:自然科学版,2002,21(4):33-36