



(OSID 码)

· 前沿进展 ·

Lorenz 散点图在心血管疾病中的应用进展

魏娜, 吴晓羽

【摘要】 心脏是人体的重要器官, 存在特殊的电生理机制, 可呈现出多种形式的心电图。目前, 临床对于心脏电生理现象的监测方法呈多样化, 其中 Lorenz 散点图是近年研究热度较高的一种检查方法。Lorenz 散点图是以大量连续心电波为数据, 在二维坐标系中将连续的 RR 间期序列转化成的一张散点图形, 能够直观、准确地从整体角度观察全部心搏信息, 从而获取常规动态心电图分析方法无法观察的信息。本文就 Lorenz 散点图在心血管疾病中的应用进行综述, 并指出其在心房颤动、心房扑动、并行心律、期前收缩等心律失常鉴别中具有明显优势。

【关键词】 心血管疾病; Lorenz 散点图; RR 间期; 心房颤动; 综述

【中图分类号】 R 54 **【文献标识码】** A DOI: 10.3969/j.issn.1008-5971.2020.08.024

魏娜, 吴晓羽. Lorenz 散点图在心血管疾病中的应用进展[J]. 实用心脑血管病杂志, 2020, 28(8): 124-127. [www.syxnf.net]

WEI N, WU X Y. Research progress on the application of Lorenz scatter plots in cardiovascular disease [J]. Practical Journal of Cardiac Cerebral Pneumal and Vascular Disease, 2020, 28(8): 124-127.

Research Progress on the Application of Lorenz Scatter Plots in Cardiovascular Disease WEI Na, WU Xiaoyu

Department of Cardiology, the First Affiliated Hospital of Harbin Medical University, Harbin 150000, China

Corresponding author: WU Xiaoyu, E-mail: xiaoyu_wu2006@163.com

【Abstract】 Heart is one of the important organs of human body, which has special electrophysiological mechanism and can present various forms of electrocardiograms. At present, there are various monitoring methods for cardiac electrophysiological phenomena, among which Lorenz scatter plot is one of the most popular methods in recent years. Lorenz scatter plot is a scattergram which is based on a large number of continuous ECG data. In two-dimensional coordinate system, the continuous RR interval sequence is transformed into a scattergram. It can directly and accurately observe all the heart beat information from the overall point of view, so as to obtain the information that can not be observed by the conventional dynamic ECG analysis method. This paper reviewed the application of Lorenz scatter plot in cardiovascular disease, and pointed out that it had obvious advantages in distinguishing arrhythmia such as atrial flutter, atrial fibrillation, parallel heart rhythm and premature systole.

【Key words】 Cardiovascular diseases; Lorenz scatter plots; RR interval; Atrial fibrillation; Review

Lorenz 散点图 (又名 Poincaré 散点图) 是以动态心电图为载体, 利用计算机测定大量连续的 RR 间期后得出的图形, 可反映相邻 RR 间期间的动态变化, 因此不同节律在坐标系中会出现不同的图形^[1]。Lorenz 散点图的理论基础为混沌原理, 表现为同一性质的心律属于同一系统, 在 Lorenz 散点图中汇聚成同一“吸引子”, 而不同性质的心律属于不同系统, 存在不同的 RR 间期, 故在 Lorenz 散点图中汇聚成不同的“吸引子”^[2]。研究表明, 健康人群的心律为窦性心律, 受其“吸引子”作用在 Lorenz 散点图上表现为围绕 45° 直线分布的“棒球拍状”, 近端 (离坐标系原点近的一端) 狭小说明心率在加快, 散点几乎位于 45° 直线上提示前后两次心搏的周长相差较小; 而远端 (离坐标系原点远的一端) 宽大说明心率在变慢, 散点离散度较大提示前后两次心搏的周长相差较大, 而最宽处

本文创新点:

本文介绍了 Lorenz 散点图在心血管疾病临床诊断及研究中的进展, 为临床诊断心律失常、判断心率变异性提供了一种新颖的检查手段, 进而可提高临床工作效率及准确性。Lorenz 散点图在判断心律失常中的作用众所周知毋庸置疑, 目前关于 Lorenz 散点图的研究较多, 但其对心率变异性的结论有一定差异, 故对 Lorenz 散点图仍有进一步探索并求证其临床意义的空间。

边缘的点提示前后两次心搏的周长相差最大, 这是正常的生理现象^[3]。目前, Lorenz 散点图已广泛应用于心血管疾病的诊断, 主要用于判断心脏的节律运行规律, 并作为心率变异性 (heart rate variability, HRV) 分析方法判断机体自主神经功能。Lorenz 散点图已成为一门系统的学问, 因其具有分析大数据心电图的整体性、直观性、准确性等优点而被广泛推广。目前将 Lorenz 散点图应用于临床试验的研究层出不穷, 本文就 Lorenz 散点图在心血管疾病中的应用进展进行综述。

150000 黑龙江省哈尔滨市, 哈尔滨医科大学附属第一医院心血管内科

通信作者: 吴晓羽, E-mail: xiaoyu_wu2006@163.com

1 Lorenz 散点图在心血管疾病中的应用

1.1 HRV HRV 是目前临床常用的可反映自主神经系统活性的指标,可定量评估心脏交感神经(SNS)与迷走神经(PNS)的张力及其平衡性,但其因受神经、呼吸等因素影响而存在差异。目前关于HRV的线性分析研究较多,该方法是将自主神经对心率的调控过程作为一个线性系统进行分析,虽可反映总体HRV,但掩盖了心率每搏瞬时变化,而心率调控过程是一个非线性系统。Lorenz散点图是HRV的非线性分析方法,可反映心率每搏瞬间变化,可提高HRV分析效率^[4]。国外研究表明,Lorenz散点图的定量指标长度、宽度及面积与HRV线性分析中的时域指标〔包括24h全部正常RR间期的标准差(SDNN)、相邻RR间期差值均方的平方根(rMSSD)、相邻RR间期相差>50ms的个数占总心搏次数的百分比(PNN50)〕及频域指标〔高频段功率(HF)〕明显相关^[5]。胡蔓莉等^[6]进行的前瞻性研究表明,Lorenz散点图预测心脏病的阳性预测值、特异度及准确率均高于HRV线性分析中的时域指标。近年研究表明,Lorenz散点图长度与时域指标SDNN、rMSSD及PNN50相关,Lorenz散点图宽度与频域指标HF及低频段功率相关^[7];迟晔虹等^[8]研究显示,在冠状动脉粥样硬化性心脏病患者中,Lorenz散点图RR间期的长度与SDNN呈正相关,Lorenz散点图RR间期的宽度与rMSSD、PNN50呈正相关,且Lorenz散点图HRV异常检出率为90%,表明Lorenz散点图RR间期可反映HRV情况,可为临床提供更可靠的诊断依据。由此可见,Lorenz散点图与HRV线性指标间存在相关性,其可反映HRV,甚至较HRV线性指标的敏感度更高。

1.2 窦性心律 正常情况下,人体心率存在昼夜差异,主要表现为心率快慢变化,但由快转慢或由慢转快的过程不是突然发生的,而是平滑变化的^[9]。研究表明,窦性心律在Lorenz散点图中一般表现为“棒球拍状”,近端狭小,远端宽大,若窦房结功能出现横向或纵向分离,则称为窦性心律变时不良,其中窦房结功能横向分离在Lorenz散点图上表现为横轴垂直于45°线并变长,窦房结功能纵向分离则表现为横轴沿45°线分布并呈2个甚至3个“棒球拍形”,窦房结功能横向、纵向分离均为窦性心律连续性中断,表明瞬时HRV较大^[10-11]。向晋涛等^[12]认为,跳跃式减速现象是窦性心律变时不良的另一表现,与神经、呼吸对心率的调节作用相关。

1.3 心房颤动、心房扑动 心房颤动和心房扑动均为室上性心律失常,其中心房颤动是规律有序的心房电活动丧失,代之以快速无序的心房颤动波,其心电图表现为p波消失,代之以f波,心率为350~600次/min,心律绝对不规整;心房扑动是心房快速而有规律的电活动,心电图表现为p波消失,代之以f波,心率为250~350次/min,心律快而规整,至少在一个体表导联上无等电位线。心房颤动患者心率为350~600次/min,通过心电图判定其心房波与QRS波的关系有一定难度;而针对心房扑动患者,单纯心电图检查难以准确分辨其心律失常类型,尤其是心房波不明显^[3]。不同心律失常类型具有不同的“吸引子”,故不同心律失常类型患者的Lorenz散点图亦不同,如心房颤动在Lorenz散点图中

表现为扇形,其扇缘呈散发状,扇边边界整齐;而心房扑动在Lorenz散点图中则表现为网格状点分布,此为心房波传导比例不断变化所致;心房颤动并心房扑动在Lorenz散点图中表现为扇形的散点分布,同时存在网格状点分布^[13]。研究表明,阵发性心房颤动与持续性心房颤动均属于同一性质的心律失常^[14],其中阵发性心房颤动的Lorenz散点图表现为扇形与棒球拍形并存;而持续性心房颤动合并其他类型心律失常时,Lorenz散点图表现为扇形与特异性散点并存。心房颤动患者Lorenz散点图扇形的轮廓不受主观因素的影响^[15]。ESPERER等^[16]研究表明,在Lorenz散点图上,Fan形与心房颤动或多灶性心动过速有关,岛型图形仅与房性心动过速或心房扑动有关,其检测的灵敏度及特异度均达到了100%。可见心房颤动、心房扑动在Lorenz散点图上具有各自特异的图形,而通过Lorenz散点图对动态心电图分析可鉴别心律失常类型,极大地提高了心律失常鉴别正确率。

1.3.1 房室结功能不应期(AVNFRP) AVNFRP指室上性心动过速下传至室的最短RR间期。心房颤动患者心房率极快,但并不是所有心房激动均能下传至心室,通过Lorenz散点图可大致估算出AVNFRP。在Lorenz散点图上,AVNFRP将心房颤动下传至心室的心搏“限制”在扇形中,一系列的最短RR间期形成了扇形的边缘线,即为动态AVNFRP,扇形的底边(近X轴的边缘,即B线)斜率介于室上性期前收缩与室性期前收缩之间^[17]。

1.3.2 心房颤动伴差异性传导与心房颤动伴室性期前收缩 在快心室率的心房颤动中时常出现宽QRS波,单纯心电图检查难以分辨此宽QRS波为差异性传导还是室性期前收缩,但上述两种心律失常的临床处理方案不同,因此能准确分辨心律失常类型尤为重要。Lorenz散点图上存在B线斜率,B线斜率是Lorenz散点图中期前收缩前点形成的“吸引子”所描绘成图形的长轴,反映的是期前收缩联律间期与其前正常窦性RR间期间的关系,其有助于对宽QRS波的起源进行鉴别诊断^[18]。研究表明,室上性期前收缩Lorenz散点图的B线斜率约为0.5,而室性期前收缩Lorenz散点图的B线斜率更接近0^[2]。在Lorenz散点图中,若心房颤动伴差异性传导时,宽QRS波的“吸引子”分布在扇形中,B线斜率的绝对值接近扇形下边界线;当室性期前收缩激动起源于心室,则会出现两种情况:当室性期前收缩的联律间期较AVNFRP短时,其“吸引子”位于扇形下方,B线斜率小于扇形下边界线斜率;当室性期前收缩心搏的联律间期较AVNFRP长时,其“吸引子”与扇形重叠,B线斜率与扇形下边界线斜率不一致^[18];另有研究表明,不同起源部位的室性期前收缩Lorenz散点图的B线斜率存在明显差异^[19],表明B线斜率可鉴别室性期前收缩的起源部位。故通过Lorenz散点图可更直观、简便、准确地鉴别心房颤动中出现的其他心律失常类型。

1.4 并行心律 当心脏出现异位起搏点时,主导心律(通常是窦性心律)与异位心律同时存在并竞争控制心房或心室,构成了并行心律。在临床中,单纯心电图检查难以鉴别并行心律,而通过Lorenz散点图可准确、清晰地进行鉴别。向晋涛等^[20]研究表明,房性、室性并行心律的Lorenz散点图大

致呈斜倒的“Y”字形。心室激动是否引起 QRS 波的出现与心室肌的最短不应期有关,最短不应期在心电图上显示为最短 RR 间期,而所有最短 RR 间期构成的点集中在 Lorenz 散点图上则表现为一条几乎平行于 Y 轴的边界,心室肌的最短不应期随窦性心律的变化无较大改变。研究表明,窦性心律合并室性并行心律所有“散点”的边界,构成了特殊的“△”形组合图形^[21]。同理,房性并行心律与房室结的不应期相关,其形成的锐角三角形中,靠近 Y 轴的边界表示当时窦性心律状态下房室结的有效不应期^[22]。

1.5 房性期前收缩与室性期前收缩 在临床上,房性期前收缩心电图表现为提前出现 p'-QRS-T 波,其特点为代偿间歇不完全,其随后的 QRS 波形态多正常,当出现室内差异性传导阻滞时可出现异常,且房性期前收缩是否能下传至心室与房室结的有效不应期相关,而房室结的有效不应期受心动周期的影响,即心动周期长时房室传导的有效不应期长。景永明等^[23]对房性期前收缩的 Lorenz 散点图进行了数学模型显示,房性期前收缩的 Lorenz 散点图呈 4-8 分布,分别是房性期前收缩点集、房性期前收缩二联律点集、房性期前收缩前点集、房性期前收缩后点集、房性期前收缩未下传前、后点集、房性期前收缩未下传二联律点集及窦性心律点集,且期前收缩点与坐标轴不垂直,存在一定斜率;同理,室性期前收缩多表现为提前出线宽大畸形的 QRS 波,其前无 p 波,代偿间歇完全。此外,还包括形态介于正常与畸形的室性并行心律及无代偿间歇的插入性室性期前收缩。按照 Lorenz 散点图的作图原理,频发室性期前收缩时可记录如下点集:期前收缩前点集、期前收缩点集、期前收缩后点集,当出现二联律时还会出现二联律点集,因此通过数学模型显示,频发室性期前收缩为四分布或五分布^[24]。从中可发现频发室性期前收缩的特点为室性期前收缩点与二联律点对称分布于 45° 线上,室性期前收缩点几乎垂直于 X 轴,二联律点几乎垂直于 Y 轴,而一般情况下室性期前收缩前点集与二联律点集重叠而不易分辨^[25-26]。

1.6 其他心脏疾病 以 HRV 及心律失常作为研究切入点,在慢性心力衰竭患者中单导长程心电图散点图形态特点可直观反映其心脏节律性质,有助于指导心力衰竭患者的节律控制治疗^[27];在扩张性心肌病患者中^[28],Lorenz 散点图可作为扩张型心肌病风险分层的参考依据。

2 小结

Lorenz 散点图可将动态心电图大量信息转变为清晰、直接的图形,从而从整体上分析、处理患者的心脏电生理情况,对于心房颤动、心房扑动、并行心律、期前收缩等心律失常的鉴别具有明显优势。HU 等^[29]将二维 Lorenz 散点图引入时间轴,构成三维 Lorenz 散点图,从而促进了 Lorenz 散点图发展,为诊断及鉴别诊断复杂心律失常增加了新视野。

作者贡献:魏娜、吴晓羽进行文章的构思与设计;魏娜进行文献/资料收集、整理,撰写论文;吴晓羽进行文章的可行性分析,进行论文的修订、英文的修订,负责文章的质量控制及审校,并对文章整体负责、监督管理。

本文无利益冲突。

参考文献

- [1] 李方洁. 心电散点图的重要概念、名词术语及其内涵 [J]. 实用心电学杂志, 2015, 24(3): 153-157. DOI: 10.13308/j.issn.2095-9354.2015.03.001.
LI F J. The important concepts, terms and their connotations of Lorenz plot [J]. Journal of Practical Electrocardiology, 2015, 24(3): 153-157. DOI: 10.13308/j.issn.2095-9354.2015.03.001.
- [2] 李方洁. 混沌理论与心电学的结合 [J]. 中国心脏起搏与心电生理杂志, 2003, 17(6): 407-411. DOI: 10.13333/j.cnki.cjpe.2003.06.003.
- [3] 向晋涛. 心电散点图表达的的心脏电生理现象 [J]. 临床心电学杂志, 2012, 21(1): 6-10. DOI: 10.3969/j.issn.1005-0272.2012.01.004.
- [4] 秦庆庆, 庞家华, 张敏, 等. 1 000 例动态心电图的 Lorenz 散点图分析 [J]. 临床心电学杂志, 2010, 19(5): 357-360. DOI: 10.3969/j.issn.1005-0272.2010.05.016.
QIN Q Q, PANG J H, ZHANG M, et al. The analysis on diagnosis of 1000 patients between Lorenz scatter plot and ambulatory electrocardiogram [J]. Journal of Clinical Electrocardiology, 2010, 19(5): 357-360. DOI: 10.3969/j.issn.1005-0272.2010.05.016.
- [5] KEELEY E C, LANGE R A, HILLIS L, et al. Correlation between time-domain measures of heart rate variability and scatterplots in patients with healed myocardial infarcts and the influence of metoprolol [J]. Am J Cardiol, 1997, 79(4): 412-414. DOI: 10.1016/s0002-9149(96)00777-1.
- [6] 胡蔓莉, 刘楨. 洛伦兹散点图心率变异性分析在心脏病患者中的临床应用研究 [J]. 现代医学, 2018, 46(9): 992-996. DOI: 10.3969/j.issn.1671-7562.2018.09.005.
HU M L, LIU Z. Clinical application of heart rate variability analysis by Lorenz scatter plot in patients with heart disease [J]. Modern Medical Journal, 2018, 46(9): 992-996. DOI: 10.3969/j.issn.1671-7562.2018.09.005.
- [7] 陈久红, 马兰. Lorenz 散点图在 HRV 分析中的应用 [J]. 临床心电学杂志, 2019, 28(1): 35-38. DOI: 10.3969/j.issn.1005-0272.2019.01.009.
CHEN J H, MA L. Application of Lorenz plot in clinical heart rate variability analysis [J]. Journal of Clinical Electrocardiology, 2019, 28(1): 35-38. DOI: 10.3969/j.issn.1005-0272.2019.01.009.
- [8] 迟晔虹, 张明玥, 梁娟, 等. 心率变异性在散点图指标和时域指标中的对比分析 [J]. 临床心血管病杂志, 2019, 35(7): 628-630. DOI: 10.13201/j.issn.1001-1439.2019.07.011.
CHI Y H, ZHANG M Y, LIANG J, et al. Contrasting analysis between Lorenz plot and time domain index of heart rate variability [J]. Journal of Clinical Cardiology, 2019, 35(7): 628-630. DOI: 10.13201/j.issn.1001-1439.2019.07.011.
- [9] 王建勇, 陈元禄. Lorenz-RR 散点图在心律失常诊断中的独特优势 [J]. 中国心血管杂志, 2018, 23(4): 343-346. DOI: 10.3969/j.issn.1007-5410.2018.04.015.
WANG J Y, CHEN Y L. Unique advantage of Lorenz-RR scatter plot in the diagnosis of arrhythmia [J]. Chinese Journal of

- Cardiovascular Medicine, 2018, 23 (4): 343-346. DOI: 10.3969/j.issn.1007-5410.2018.04.015.
- [10] 向晋涛. 心电散点图的临床应用 [J]. 中国心脏起搏与心电生理杂志, 2019, 33 (3): 197-201. DOI: 10.13333/j.cnki.cjpe.2019.03.001.
- [11] 向晋涛, 李晓清, 陈元秀. 心电散点图揭示的窦房结功能的分离现象 [J]. 中国心脏起搏与心电生理杂志, 2013, 27 (2): 101-106. DOI: 10.7695/zgzzqb201302002.
- [12] 向晋涛, 李晓清, 刘鸣, 等. 心电散点图揭示的窦性心率跳跃式减速现象及散点图特征 [J]. 中国心脏起搏与心电生理杂志, 2015, 29 (1): 3. DOI: 10.13333/j.cnki.cjpe.2015.01.002.
- [13] 李芳, 戴淑婷, 韩敏, 等. 利用心电散点图快速识别心房颤动和心房扑动 [J]. 临床医药实践, 2019, 28 (8): 598-600. DOI: 10.16047/j.cnki.cn14-1300/r.2019.08.014.
- [14] 龙佑玲, 苏勇, 张丽萍, 等. 心房颤动的 Lorenz-RR 散点图分析 [J]. 中国心脏起搏与心电生理杂志, 2016, 30 (4): 359-362. DOI: 10.13333/j.cnki.cjpe.2016.04.011.
- LONG Y L, SU Y, ZHANG L P, et al. The analysis of RR-Lorenz plot in atrial fibrillation [J]. Chinese Journal of Cardiac Pacing and Electrophysiology, 2016, 30 (4): 359-362. DOI: 10.13333/j.cnki.cjpe.2016.04.011.
- [15] CLIMENT A M, DE LA SALUD GUILLEM M, HUSSER D, et al. Poincaré surface profiles of RR intervals: a novel noninvasive method for the evaluation of preferential AV nodal conduction during atrial fibrillation [J]. IEEE Trans Biomed Eng, 2009, 56 (2): 433-442. DOI: 10.1109/TBME.2008.2003273.
- [16] ESPERER H D, ESPERER C, COHEN R J. Cardiac arrhythmias imprint specific signatures on Lorenz plots [J]. Ann Noninvasive Electrocardiol, 2008, 13 (1): 44-60. DOI: 10.1111/j.1542-474x.2007.00200.x.
- [17] 李方洁, 杨新春, 白净, 等. 153 例 Lorenz 散点图与动态心电图诊断的对比研究 [J]. 临床心电学杂志, 2006, 15 (5): 330-333. DOI: 10.3969/j.issn.1005-0272.2006.05.008.
- LI F J, YANG X C, BAI J, et al. The contrast analysis on diagnosis of 1153 arrhythmic patients between Lorenz plot and ambulatory electrocardiogram [J]. Journal of Clinical Electrocardiology, 2006, 15 (5): 330-333. DOI: 10.3969/j.issn.1005-0272.2006.05.008.
- [18] CHISHAKI A S, LI F J, TAKESHITA A, et al. Different features of ventricular arrhythmias and the RR-interval dynamics in atrial fibrillation related to the patient's clinical characteristics: an analysis using RR-interval plotting [J]. J Electrocardiol, 2004, 37 (3): 207-217. DOI: 10.1016/j.jelectrocard.2004.04.007.
- [19] 陈芸, 吕湛, 宋永砚. Lorenz 散点图的临床应用进展 [J]. 心血管病学进展, 2017, 38 (4): 477-481. DOI: 10.16806/j.cnki.issn.1004-3934.2017.04.028.
- CHEN Y, LYU Z, SONG Y Y. Progress in clinical application of Lorenz plot [J]. Advances in Cardiovascular Diseases, 2017, 38 (4): 477-481. DOI: 10.16806/j.cnki.issn.1004-3934.2017.04.028.
- [20] 向晋涛, 景永明, 李方洁. 室性并行心律的数学特性与散点图形态特征 [J]. 中国心脏起搏与心电生理杂志, 2012, 26 (4): 292-294. DOI: 10.13333/j.cnki.cjpe.2012.04.008.
- [21] 向晋涛, 吴肇贵, 景永明, 等. 大数据室性并行心律的 Lorenz-RR 散点图特征及电生理意义 [J]. 中国心脏起搏与心电生理杂志, 2016, 30 (1): 5-10. DOI: 10.13333/j.cnki.cjpe.2016.01.002.
- [22] 汪学东, 向晋涛. 房性并行心律的几种 Lorenz-RR 散点图特征 [J]. 中国心脏起搏与心电生理杂志, 2013, 27 (4): 359. DOI: 10.7695/zgzzqb201304022.
- [23] 景永明, 向晋涛. 时间 RR 间期散点图与 Lorenz-RR 散点图的内在联系 [J]. 中国心脏起搏与心电生理杂志, 2016, 30 (1): 11-15. DOI: 10.13333/j.cnki.cjpe.2016.01.003.
- [24] 景永明, 章富君, 李世锋, 等. 频发室性早搏伴反复搏动的心电散点图特征及形成原理分析 [J]. 中国心脏起搏与心电生理杂志, 2019, 33 (1): 77-80. DOI: 10.13333/j.cnki.cjpe.2019.01.018.
- [25] 景永明. 连发室早的心电散点图特征 [J]. 临床心电学杂志, 2018, 27 (6): 441-448. DOI: 10.3969/j.issn.1005-0272.2018.06.012.
- [26] 李桂侠, 景永明, 向晋涛. 插入性室性早搏的 Lorenz-RR 散点图特征及形成原理分析 [J]. 中国心脏起搏与心电生理杂志, 2015, 29 (2): 162-164. DOI: 10.13333/j.cnki.cjpe.2015.02.017.
- [27] 张颖, 向晋涛, 张仲道, 等. 慢性心力衰竭患者的长程心电图大数据散点图特征观察及分析 [J]. 中国心脏起搏与心电生理杂志, 2018, 32 (1): 41-48. DOI: 10.13333/j.cnki.cjpe.2018.01.011.
- ZHANG Y, XIANG J T, ZHANG Z D, et al. Observation and analysis of 24 hours electrocardiogram using scatter plot data in patients with chronic heart failure [J]. Chinese Journal of Cardiac Pacing and Electrophysiology, 2018, 32 (1): 41-48. DOI: 10.13333/j.cnki.cjpe.2018.01.011.
- [28] VOSS A, FISCHER C, SCHROEDER R, et al. Lagged segmented Poincaré plot analysis for risk stratification in patients with dilated cardiomyopathy [J]. Med Biol Eng Comput, 2012, 50 (7): 727-736. DOI: 10.1007/s11517-012-0925-5.
- [29] HU M, JANG C, WANG S. Extraction and recognition of attractors in three-dimensional Lorenz plot [J]. Journal of Biomedical Engineering, 2018, 35 (1): 25-30. DOI: 10.7507/1001-5515.201607048.

(收稿日期: 2020-06-07; 修回日期: 2020-08-05)

(本文编辑: 李越娜)