

doi: 10.3978/j.issn.2095-6959.2021.09.009

View this article at: <https://dx.doi.org/10.3978/j.issn.2095-6959.2021.09.009>

心电散点图分析心率变异性的应用价值

方世媚¹, 金伟东², 吴超¹

(1. 江南大学附属医院功能科, 江苏 无锡 214000; 2. 江南大学附属医院心内科, 江苏 无锡 214000)

[摘要] **目的:** 探讨心电散点图在心率变异性(heart rate variability, HRV)分析中的作用。**方法:** 将符合条件的104例健康对照者(健康对照组)和185例慢性心力衰竭患者(慢性心力衰竭组)作为研究对象, 进行24 h动态心电图检查, 采集心电散点图和时域、频域数据, 进行统计学分析。**结果:** 健康对照组与慢性心力衰竭组均显示SD1、SD2与时域、频域各项指标均呈现高度正相关。在健康对照组中, 80.77%的心电散点图分布图形为棒球拍形, 而在慢性心力衰竭组中, 95.68%为非棒球拍形。在散点图中, SDNN<50 ms者在呈短棒形的病例中占76.67%, 在呈不规则形的病例中占70.83%。散点图图形作为独立判断HRV的定性指标, 各项数据显示良好。**结论:** 心电散点图图形能够简便、直观显现HRV, 联合时域、频域指标, 可以进一步提高诊断的特异性。

[关键词] 心电散点图; 心率变异性; 自主神经功能

Application value of the Lorenz plot in heart rate variability

FANG Shimei¹, JIN Weidong², WU Chao¹

(1. Department of Function, Affiliated Hospital of Jiangnan University, Wuxi Jiangsu 214000;
2. Department of Cardiology, Affiliated Hospital of Jiangnan University, Wuxi Jiangsu 214000, China)

Abstract **Objective:** To explore the value of the Lorenz plot in heart rate variability (HRV) analysis. **Methods:** A total of 104 healthy controls (a healthy control group) and 185 chronic heart failure patients (a chronic heart failure group) were selected as the subjects of the study. 24 h dynamic electrocardiogram (ECG) examination was performed, and RR Lorenz plot and time domain and frequency domain data were collected for statistical analysis. **Results:** Both the healthy control group and the chronic heart failure group showed high positive correlation between SD1 and SD2 and all indicators in time and frequency domains. In the healthy control group, 80.77% of the RR Lorenz plot was baseball bat shape, while in the chronic heart failure group, 95.68% was non-baseball bat shape. In SDNN<50ms groups, 76.67% of the cases with short bar shape and 70.83% of the cases with irregular shape were found. The scatterplot was used as an independent qualitative index to judge HRV, and all data showed good. **Conclusion:** RR Lorenz plot can show the HRV easily and visually. The combination of time domain and frequency domain indexes can further improve the specificity of diagnosis.

Keywords Lorenz plot; heart rate variability; autonomic nerve function

收稿日期 (Date of reception): 2021-03-09

通信作者 (Corresponding author): 方世媚, Email: 229576014@qq.com

心率变异性(heart rate variability, HRV)是通过窦性心律的节律变化来评价人体自主神经功能状态的临床指标。目前检测HRV的方法有时域、频域和非线性方法。较成熟的是HRV中的时域和频域分析方法,为线性分析法。非线性方法包括图形法和非线性参数计算,图形法指心电散点图。本文旨在观察心电散点图评估HRV的价值。

1 对象与方法

1.1 对象

将2018年1月至2019年4月到江南大学附属医院体检或就诊的随机样本分成健康对照组与慢性心力衰竭组。

健康对照组入选标准:均通过问诊现病史和既往病史,全身体格检查、相关实验室及影像学检查,未发现心血管疾病、内分泌代谢疾病、神经精神病变等。按上述条件最终纳入104例,年龄(66.6 ± 13.5)岁,其中男44例,年龄(65.4 ± 14.0)岁;女60例,年龄(67.5 ± 13.1)岁。

慢性心力衰竭组均为于江南大学附属医院就诊收入住院的438例患者,均已作出明确的临床诊断、病情相对稳定。入选标准:1)患者有冠心病、高血压、风心病等基础心血管病的病史;2)有休息或运动时出现心力衰竭典型症状及体征,有相关超声心动图异常、利钠肽水平升高等心脏结构或功能异常的客观证据。由于HRV针对的是窦性心律的节律变化,为了此次研究样本间的可比性,剔除异位心律总数每24 h > 100次、起搏心律、II度以上房室传导阻滞的病例,最终纳入185例,年龄(67.4 ± 13.7)岁,其中男99例,年龄(66.5 ± 14.5)岁,女86例,年龄(69.1 ± 11.7)岁。行动态心电图检查前3 d所有参检者均未使用改变心率的药物,且无急性心力衰竭发作。

1.2 仪器与设备

采用深圳博英C.2动态分析系统,入选对象均进行24 h动态心电图检查,通过人机对话的方式,删除干扰伪差,凭借计算机软件分析得出时域、频域数据、心电散点图。

1.3 观察数据

1)时域指标。①SDNN(standard deviation of NN intervals):24 h内全部正常心动周期的标准差;②RMSSD(root mean square of successive

differences):24 h内所有相邻正常RR间期之差的均方根值;③NN50(NN interval difference greater than 50 ms):相邻RR间期之差>50 ms的总心搏数;④SDANN(standard deviation of the average NN intervals):所有每个5 min时间段的RR间期平均值的标准差;⑤三角指数。

2)频域指标。①TP:总功率;②VLF:极低频功率;③LF:低频功率;④HF:高频功率。

3)心电散点图指标(图1、2)。本研究分析的是RR间期散点图。参照李方洁等^[1-3]的研究,①散点图分布图形:主要有棒球拍形、鱼雷状、梭形、扩张形、短棒形、不规则形等多种形态^[4-5];②SD1:短轴(W),图形在长度1/2处的图形宽度测量值;③SD2:长轴(L)是图形在45°线上的长度测量值;④SD1/SD2。

4)诊断价值分析及筛检实验联合指标。基于并联筛检实验可以提高敏感性,串联筛检实验可以提高特异性,为评估SDNN和心电散点图作为联合指标的价值,我们将SDNN和心电散点图作联合筛检实验分析。将SDNN ≥ 100 ms或散点图呈棒球拍形作为阴性指标(HRV正常),将SDNN < 100 ms或散点图图形呈非棒球拍形作为阳性指标(HRV异常),然后根据结果将样本分为4组:1组为SDNN(+)并且心电散点图(+);2组为SDNN(+)并且心电散点图(-);3组为SDNN(-)并且心电散点图(+);4组为SDNN(-)并且心电散点图(-)。串联筛检实验:两个指标均为阳性(即1组)才判断为阳性。并联筛检实验:任何一个指标为阳性(即2组或3组)就可以判断为阳性。

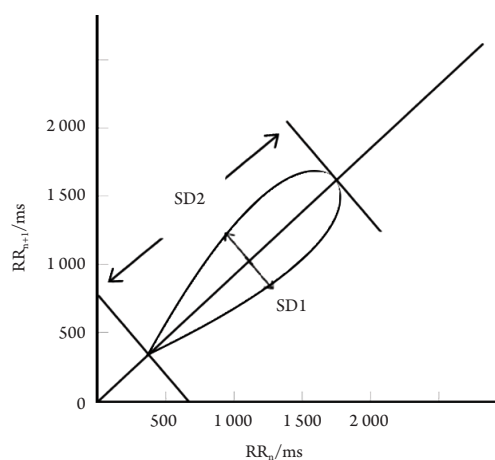


图1 心电散点图的测量方法

Figure 1 Measurement method of the Lorenz plot

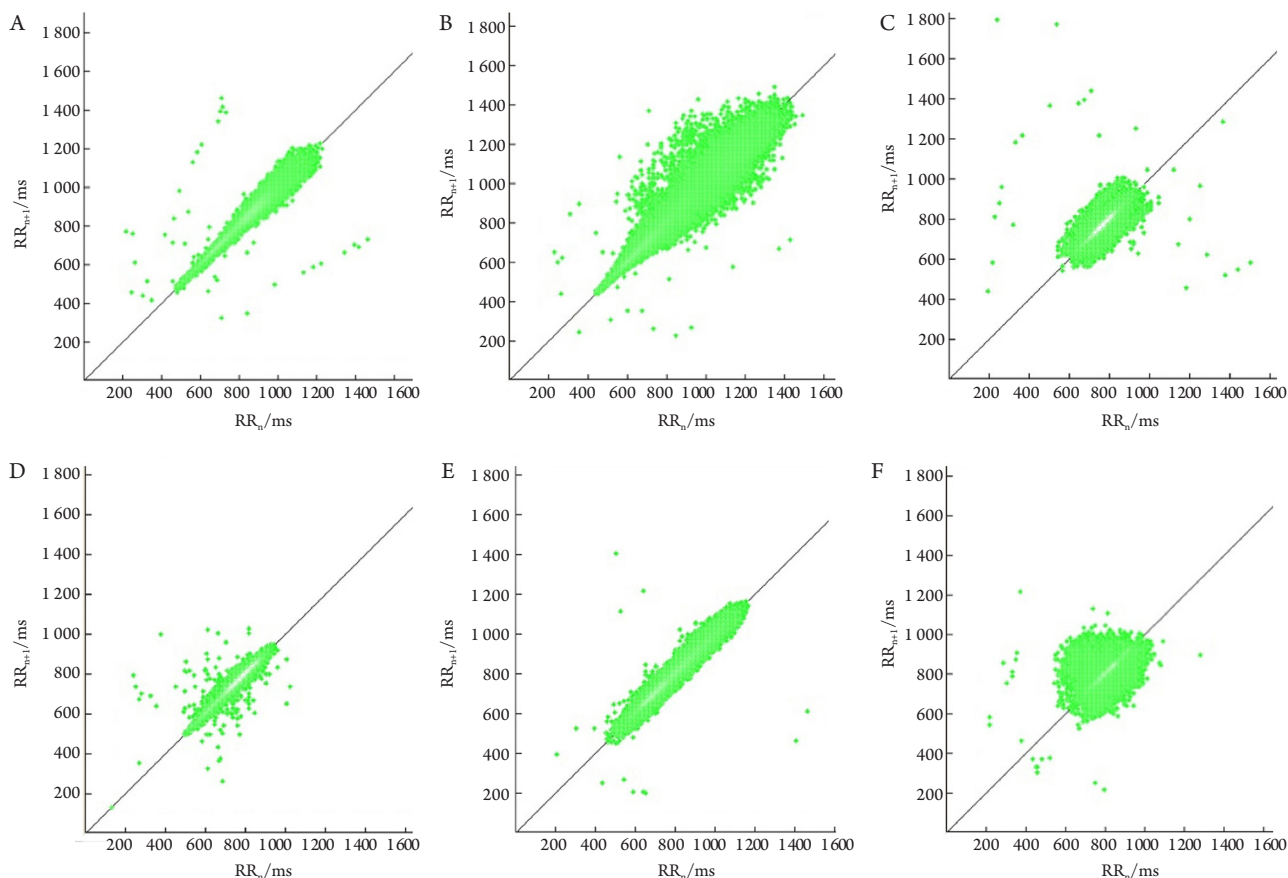


图2 不同形态的窦性心律散点图

Figure 2 Lorenz plot of sinus rhythm with different morphology

(A)典型棒球拍形；(B)扩张形；(C)短棒形；(D)梭形；(E)鱼雷形；(F)不规则类圆形。

(A) Typical pattern of baseball bat; (B) An expansion pattern; (C) A pattern as a short rod; (D) Fusiform; (E) Torpedo shape; (F) Irregularity quasi-circular pattern.

1.4 统计学处理

使用SPSS 21.0统计学软件进行数据分析，计量资料采用均数±标准差($\bar{x}\pm s$)进行统计描述，独立组间比较采用t检验，多组间比较采用单因素方差分析，两两比较采用LSD法分析；两变量间相关性分析采用Pearson相关分析；计数资料采用例(%)表示，组间比较采用 χ^2 分析。 $P<0.05$ 表示差异有统计学意义。

2 结果

2.1 时域、频域指标与心电散点图分析指标的相关性分析

健康对照组与慢性心力衰竭组均显示SD1、SD2与时域、频域各项指标均呈现高度正相关，慢性心力衰竭组SD1/SD2与SDNN、三角指数、TP、

VLF、LF呈现显著的负相关，与RMSSD呈正相关，与NN50呈较弱的正相关(表1、2)。

2.2 健康对照组和慢性心力衰竭组心电散点图图形的分析与比较

慢性心力衰竭组的心电散点图图形与对照组之间存在很大区别，差异有统计学意义(表3)。健康对照组心电散点图图形以棒球拍图形为主，占80.77%。慢性心力衰竭组散点图图形呈棒球拍形的仅占4.32%，非棒球拍形占95.68%。

2.3 慢性心力衰竭组SDNN不同值与心电散点图图形

心电散点图呈短棒形的病例中76.67%的病例SDNN <50 ms，不规则形中70.83%的病例SDNN <50 ms，差异有统计学意义(表4)。

表1 健康对照组24 h RV时域、频域指标与散点图指标的相关性分析

Table 1 Correlation analysis of 24 h RV time domain, frequency domain indexes and the Lorenz plot indexes of healthy control group

Pearson相关	SDNN	RMSSD	NN50	SDANN	三角指数	TP	VLF	LF	HF
SD1									
<i>r</i>	0.281	0.397	0.340	0.224	0.076	0.275	0.163	0.269	0.324
<i>P</i>	0.004	<0.001	<0.001	0.023	0.445	0.005	0.099	0.006	0.001
SD2									
<i>r</i>	0.864	0.682	0.674	0.780	0.486	0.795	0.714	0.739	0.590
<i>P</i>	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
SD1/SD2									
<i>r</i>	-0.068	0.096	0.049	-0.091	-0.109	-0.052	-0.117	-0.035	0.060
<i>P</i>	0.492	0.333	0.623	0.360	0.274	0.603	0.239	0.727	0.544

表2 慢性心力衰竭组24 h RV时域、频域指标与散点图指标的相关性分析

Table 2 Correlation analysis of 24 h RV time domain, frequency domain indexes and the Lorenz plot indexes in the chronic heart failure group

相关性分析	SDNN	RMSSD	NN50	SDANN	三角指数	TP	VLF	LF	HF
SD1									
<i>r</i>	0.188	0.438	0.324	0.065	0.111	0.274	0.150	0.276	0.381
<i>P</i>	0.010	<0.001	<0.001	0.378	0.132	<0.001	0.041	<0.001	<0.001
SD2									
<i>r</i>	0.694	0.174	0.165	0.221	0.642	0.642	0.720	0.541	0.340
<i>P</i>	<0.001	0.018	0.025	0.002	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
SD1/SD2									
<i>r</i>	-0.384	0.204	0.147	-0.119	-0.414	-0.261	-0.390	-0.184	0.024
<i>P</i>	<0.001	0.005	0.046	0.107	<0.001	<0.001	<0.001	0.012	0.743

表3 两组患者心电散点图形的比较

Table 3 Comparison of the Lorenz plot between the two groups

散点图状态	性别/[例(%)]		年龄/[例(%)]		
	男	女	≤60岁	61~80岁	≥81岁
对照组					
棒球拍	33 (75.0)	51 (85.0)	24 (75.0)	43 (82.7)	17 (85.0)
非棒球拍	11 (25.0)	9 (15.0)	8 (25.0)	9 (17.3)	3 (15.0)
慢性心力衰竭组					
棒球拍	5 (5.1)	3 (3.5)	4 (7.4)	2 (2.2)	2 (5.3)
非棒球拍	94 (94.9)	83 (96.5)	50 (92.6)	91 (97.8)	36 (94.7)
χ^2	76.387	100.753	41.808	101.084	37.822
<i>P</i>	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

表4 慢性心力衰竭组SDNN不同值与心电散点图

Table 4 SDNN values and the Lorenz plot in the chronic heart failure group

组别	n	棒球拍/ [例(%)]	鱼雷形/ [例(%)]	短棒形/ [例(%)]	梭形/ [例(%)]	不规则/ [例(%)]	扩张/ [例(%)]
SDNN>100组	57	7 (87.50)	7 (14.89)	4 (13.33)	18 (39.13)	5 (20.83)	16 (53.33)
SDNN 50~100组	69	1 (12.50)*	27 (57.45)*	3 (10.00)	27 (58.70)	2 (8.33)	9 (30.00)*
SDNN<50组	59	0 (0.00)*	13 (27.66)	23 (76.67)**	1 (2.17)**	17 (70.83)**	5 (16.67)**
χ^2		—	12.394	33.212	25.846	20.207	54.467
P		0.002	0.002	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

与SDNN>100组比较, * $P<0.05$; 与SDNN 50~100组比较, ** $P<0.05$ 。

Compared with the SDNN>100 group, * $P<0.05$; Compared with the SDNN 50~100 group, ** $P<0.05$.

2.4 SDNN 和散点图诊断价值比较、联合筛选试验结果

散点图图形分布定性指标作为独立判断HRV的指标, 各项数据显示良好, 与SDNN比较, 具有

敏感度高(接近并联实验), 特异度高, 假阴性率低, 并具有较高的阳性预测值和阴性预测值, 正确指数达到0.7644, 高于SDNN、串联和并联实验(表5~7)。

表5 SDNN和散点图诊断价值的比较

Table 5 Comparison of diagnostic value between SDNN and the Lorenz plot

指标	健康对照组			慢性心力衰竭组			χ^2	P
	SDNN分组	散点图分组	合计	SDNN分组	散点图分组	合计		
阳性	23	20	43	128	177	305	59.130 ^a	<0.001 ^a
阴性	81	84	165	57	8	65	179.286 ^b	<0.001 ^b
合计	104	104	208	185	185	370		
特异度/%				77.88	80.77		0.264	>0.05
灵敏度/%				69.19	95.68		44.811	<0.001

a为指标SDNN在对照组与慢性心力衰竭组之间的卡方检验结果; b为散点图在对照组与慢性心力衰竭组之间的卡方检验。

a is the chi-square test results of SDNN between the control group and the chronic heart failure group. b is the chi-square test of the Lorenz plot between the control group and the chronic heart failure group.

表6 SDNN和散点图联合筛查试验的结果

Table 6 Results of SDNN and the Lorenz plot combined screening test

组别	1组	2组	3组	4组	合计	串联试验/[例(%)]		并联实验/[例(%)]		χ^2	P
						+	-	+	-		
健康对照组	5	18	15	66	104	5 (4.8)	99 (95.2)	38 (36.5)	66 (63.5)	31.926	<0.001
慢性心力衰竭组	122	6	55	2	185	122 (65.9)	63 (34.1)	183 (98.9)	2 (1.1)	69.446	<0.001
合计	127	24	70	68	289	127	162	221	68		
χ^2							101.021		143.979		
P							<0.001		<0.001		

表7 SDNN和散点图筛检试验的评价

Table 7 Evaluation of screening tests between SDNN and the Lorenz plot

指标	筛检试验		联合筛检试验		检验结果				
	SDNN	散点图	串联试验	并联试验	χ^2 a	χ^2 b	χ^2 c	χ^2 d	χ^2 e
灵敏度	69.19	95.68	65.95	98.92	0.444	52.723	60.998	3.700	44.811
特异度	77.88	80.77	95.19	63.46	13.371	10.230	5.219	7.746	0.264
正确指数	0.4707	0.7644	0.6114	0.6238					
假阳性率	22.12	19.23	4.81	36.54	13.371	10.230	5.219	7.746	0.264
假阴性率	30.81	4.32	34.05	1.08	0.444	52.723	60.998	3.700	44.811
阳性预测值	84.77	89.85	96.06	82.81	9.716	4.189	0.252	4.322	2.037
阴性预测值	58.70	91.30	61.11	97.06	0.181	26.561	32.803	1.337	28.951

每两组间进行 χ^2 检验： χ^2 a表示SDNN与串联试验之间的检验结果； χ^2 b表示散点图与串联试验之间的检验结果； χ^2 c表示SDNN与并联试验之间的检验结果； χ^2 d表示散点图与并联试验之间的检验结果； χ^2 e表示SDNN与散点图之间的检验结果。

Chi-square test was performed between each group: χ^2 a indicates the test results between SDNN and series test; χ^2 b represents the test results between the Lorenz plot and the series test; χ^2 c indicates the test result between SDNN and parallel test; χ^2 d represents the test results between the Lorenz plot and the parallel test; χ^2 e represents the test result between SDNN and the Lorenz plot.

3 讨论

散点图能从非线性角度更好地反映HRV的变化过程^[6]。心电散点图的各个散点围绕45°线分布，形成以45°线为轴心的稳态吸引子图形，此图形在45°线上的长度，代表24 h心率总体水平的变化，是迷走神经和交感神经共同作用的结果^[7]。迷走神经活性升高可减慢心率，RR间期变大，散点偏离原点，即处于45°线远端，同时心率变慢时，窦性心率不齐会较明显，构成心电散点图散开的尾端；而交感神经活性升高时心率加快，RR间期变小，散点靠近原点，即45°线近端，同时窦性心律较整齐，构成散点图图形的头端，头端散点集中。散点图图形长度1/2处垂直45°线的图形宽度即图形散开的程度，代表瞬时心率快速变化的过程，受迷走神经张力作用^[8-9]。

本研究中对照组81%呈棒球拍形，特点是头小体长尾大，根据散点图的形成原理，头小体长尾大的棒球拍形符合正常窦性心律变化特点^[10]。少数散点图表现为扩张形(6%)、梭形(6%)或鱼雷形(7%)，这些呈现非棒球拍的病例样本，临床上暂时找不出器质性心脏病的明确证据，推测与影响HRV的其他因素有关，如长期吸烟饮酒、情绪变化、环境因素等。慢性心力衰竭组的心电散点图图形96%为非棒球拍形(呈现多种形

态)，棒球拍形仅占4%，表明HRV降低，这与HRV定量分析指标相符合。

慢性心力衰竭患者因基础疾病、心室肌重构、肾素-血管紧张素-醛固酮系统及交感神经系统的激活等原因引起一系列病理生理改变，或可通过心脏节律特征的变化表现出来。数据显示心力衰竭患者散点图呈短棒形的病例中76.67%的病例SDNN<50 ms，不规则形中70.83%的病例SDNN<50 ms，说明心电散点图呈现短棒形和不规则形时HRV明显下降。笔者查阅了相关文献资料，发现尚未有相关报道，这在临床通过散点图判断HRV方面是一个全新的线索。但是，由于本研究样本量较小，且散点图的图形变化多样，还需要更多的研究来证实。短棒形形似鱼雷形，头体尾等宽，但图形宽度较宽，在45°线上的长度更短，总体心率范围变小，表明与鱼雷形相比，自主神经失衡更为严重。不规则形，有时如水滴样，长度和宽度都很小，有时如类圆形，SD1/SD2接近于1，提示迷走神经和交感神经张力都降低，机体对内外环境的复杂状况适用能力降低，自主神经的调节不足或消失。出现这种图形特征的原因可能是整个心脏传导系统已经出现心电重构异常，致使自主神经的调节能力出现紊乱^[11-12]。

散点图图形分布定性指标作为独立判断HRV的指标，各项数据显示良好，与SDNN比较，具

有敏感度高(接近并联实验), 特异度高, 假阴性率低, 并具有较高的阳性预测值和阴性预测值, 正确指数达到0.7644, 高于SDNN、串联和并联实验。

心电散点图用来分析HRV时, 主要参照的是图形的定性指标, 虽然也有SD1、SD2等定量指标, 但在定量方面尚不成熟。如果散点图的边缘轮廓不清, 测量SD1、SD2时容易产生误差, 存在影响指标计算结果的隐患。

综上所述, 应用心电散点图指标判断HRV是值得推荐的。考虑到散点图指标的优点和局限性, 心电散点图和时域、频域联合使用更利于临床应用。3种指标高度相关才是一份高度可信的HRV分析结果。

参考文献

- 李方洁, 向晋涛. 心电散点图[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2014.
LI Fangjie, XIANG Jintao. Lorenz Plot of electrocardiogram[M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2014.
- 苏桂珠. 无创性心率减速力检测对急性心肌梗塞患者猝死的预测价值探讨[J]. 福建医药杂志, 2016, 38(6): 149-151.
SU Guizhu. Study on the predictive value of noninvasive heart rate deceleration in patients with acute myocardial infarction[J]. Fujian Medical Journal, 2016, 38(6): 149-151.
- 景永明, 向晋涛. 差值散点图形成的解析几何数学原理及应用[J]. 中国心脏起搏与心电生理杂志, 2013, 27(2): 95-100.
JING Yongming, XIANG Jintao. Geometrical mathematical principle and application of RR Lorenz plot[J]. Chinese Journal of Cardiac Pacing and Electrophysiology, 2013, 27(2): 95-100.
- Woo MA, Stevenson WG, Moser DK, et al. Patterns of beat-to-beat heart rate variability in advanced heart failure[J]. Am Heart J, 1992, 123(3): 704-710.
- 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.
XIANG Jintao. The electrophysiological phenomena of heart expressed by RR Lorenz plot[J]. Journal of Clinical Electrocardiology, 2012, 21(1): 6-10.
- 胡敏, 江成璠, 王素霞. 三维心电散点图吸引子的析取和识别[J]. 生物医学工程学杂志, 2018, 35(1): 25-30.
HU Min, JANG Chengfan, WANG Suxia. Extraction and recognition of attractors in three-dimensional Lorenz plot[J]. Journal of Biomedical Engineering, 2018, 35(1): 25-30.
- 杨桦. 心电散点图在心率变异性分析中的应用研究[J]. 中国社区医生, 2016, 32(23): 135-136.
YANG Hua. Application of RR Lorenz plot in analysis of heart rate variation[J]. Chinese Community Doctor, 2016, 32(23): 135-136.
- 杨兴艳, 袁国会, 李成艳, 等. Poincare散点图在分析慢性充血性心力衰竭心率变异中的应用[J]. 实用医学杂志, 2000, 16(6): 447-448.
YANG Xingyan, YUAN Congress, LI Chengyan, et al. Application of Poincare Lorenz plot in the analysis of heart rate variability in chronic congestive heart failure[J]. The Journal of Practical Medicine, 2000, 16(6): 447-448.
- 李陈璇, 丁晓梅, 朱红军. 心率变异性分析在心血管疾病中应用的研究进展[J]. 中西医结合心脑血管病杂志, 2020, 18(1): 82-84.
LI Chenxuan, DING Xiaomei, ZHU Hongjun. Advances in the application of heart rate variability analysis in cardiovascular diseases[J]. Chinese Journal of Integrative Medicine on Cardio/Cerebrovascular Disease, 2020, 18(1): 82-84.
- 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.
CHI Yehong, ZHANG Mingyue, LIANG Juan, 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.
- 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.
ZHANG Ying, XIANG Jintao, ZHANG Zhongdao, 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.
- Voggt A, Berger M, Obermeier M, et al. Heart rate variability and Omega-3 index in euthymic patients with bipolar disorders[J]. Eur Psychiatry, 2015, 30(2): 228-232.

本文引用: 方世媚, 金伟东, 吴超. 心电散点图分析心率变异性的应用价值[J]. 临床与病理杂志, 2021, 41(9): 2024-2030. doi: 10.3978/j.issn.2095-6959.2021.09.009

Cite this article as: FANG Shimei, JIN Weidong, WU Chao. Application value of the Lorenz plot in heart rate variability[J]. Journal of Clinical and Pathological Research, 2021, 41(9): 2024-2030. doi: 10.3978/j.issn.2095-6959.2021.09.009