

# 心电散点图的重要概念、名词术语及其内涵

李方洁

**[摘要]** 随着对心电散点图(Lorenz plot)图形发生机制认识的加深,相关概念与术语迅速增多,因此有必要对其含义进行阐述。本文选取了目前临床较常见的概念作一梳理,包括:RR间期差值散点图,时间RR间期散点图,心电吸引子,海量数据,“两端、两线、八区”,心律失常“诊断四要素”(子图数目、图形形态、图形位置、B线斜率),早搏前点,早搏主点,早搏后点,阻滞前点,阻滞后点,同质同源吸引子以及同质不同源吸引子等。

**[关键词]** 吸引子;海量数据;标识标线;诊断四要素

**[中图分类号]** R540.4 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 2095-9354(2015)03-0153-05

**DOI:**10.13308/j.issn.2095-9354.2015.03.001

**The important concepts, terms and their connotations of Lorenz plot** Li Fang-jie (Department of Cardiology, Wangjing Hospital Affiliated to China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100102, China)

**[Abstract]** With deepening understanding of the graphic mechanism of Lorenz plot, the related concepts and terminologies have been increasing rapidly and their connotations require to be expounded. This paper focuses on explaining several common clinical concepts at present, including RR interval difference Lorenz plot, t-RR scatterplot, electrocardio-attractor, big data, “two ends, two lines, and eight regions”, “four diagnostic essentials” for arrhythmia (number of subgraphs, graphic shapes, locations of graphs, and B linear slope), preceding point of premature beat, main point of premature beat, following point of premature beat, preceding block point, following block point, homogeneous attractors with the same origin, homogeneous attractors with different origins, etc.

**[Key words]** attractor; big data; marks and graticules; four diagnostic essentials

近年来,心电散点图作为动态心电图分析的新技术日益受到关注,随着人们对其图形机理的认识逐步加深,发现了越来越多的临床新信息,心电散点图的相关概念与术语迅速增多,容易造成混淆。鉴于此,有必要对心电散点图的重要概念、名词术语及其内涵进行阐述和梳理,以促进学术交流,并有助于对图形的深入理解和掌握运用。

## 1 命名沿革与背景

心电散点图是利用迭代方法描记的连续心电RR间期图,因图形由散点组成,又称散点图(scatter

plot或scatter map)。连续RR间期所代表的心脏节律是人体时间序列动态变化的重要表现形式,因此心电散点图已成为运用非线性混沌理论研究生命科学的代表性方法之一。

心电散点图在国外一直沿用Lorenz plot或Poincaré plot的名称。美国动力气象学家E. N. Lorenz与法国数学家J. H. Poincaré分别被称为“混沌学之父”与“混沌理论的奠基人”,以他们的姓氏命名心电散点图寓意着其表达和研究的对象是非线性动力系统。散点制作的方法具有迭代计算的独特性质:设二维坐标系中横坐标 $x = n$ (动力学系统中的任意点与点的间

隔),纵坐标  $y = n + 1$ ;在这种迭代计算下作出的散点图能反映非线性系统的特殊演变规律。目前已公认,连续心电信号属非线性动力系统,迭代计算所作出的散点图对心律和心律失常的区分度是传统动态心电图不可比拟的。

Lorenz plot 是连续心电活动的空间轨迹截面图,是用连续 RR 间期虚拟的视觉空间,称“相空间”。相空间可虚拟成二维、三维……乃至  $N$  维,即“高维”。维度越高,心电散点图所提供的信息就越多,对非线性系统本质的揭示就越接近真实。本文中的 Lorenz plot 是二维空间截面图。近年来出现了“RR 间期差值散点图”的概念,即通过对相邻 RR 间期的差值迭代计算作图。RR 间期差值散点图是心电动力学系统的另一个维度,已证实它能表征 Lorenz plot 以外的心电数据特征,如它对长时间心电图记录中的发作性心房颤动有较高的敏感性<sup>[1]</sup>、对联律性心律失常的区分也有 Lorenz plot 不可替代的功能。除此之外,近年来关于“时间 RR 间期散点图”<sup>[2]</sup>的临床观察证实,这一图形对于动态心电图数据中心律和心律失常的区分也有其独特作用。时间 RR 间期散点图是实时 RR 间期随时间变化的散点趋势图,通过计算机技术的处理,与 Lorenz plot 系统之间实现了互相回放对照功能,称为“逆向技术”。它被设计成能够自如“收缩和拉伸”:不但可以“收缩”,以便观察操作者宏观掌握 RR 间期总体变化模式及其时间规律;而且可以“拉伸”,以便关注其某个具体的心搏模式。时间 RR 间期散点图在挖掘心律失常的时间特征或关注某时段心律状况时具有独特优势。上述这些散点图名称不仅具有特定含义,也反映出它们各自不同的功能特点。今后随着对现有图形的深入解读、其信息被挖掘殆尽时,势必会拓展制作和认识更高维度的图形,图形的命名将变得不容忽视。

用 Lorenz plot 描记 RR 间期散点图的方法在 20 世纪 90 年代传入我国以后,随着对其理论内涵的逐步深入理解以及为了追求使用与交流的方便,Lorenz plot 方法描记的 RR 间期二维散点图先后被称为“Lorenz 图”“RR 间期 Lorenz 图”“RR-Loren 散点图”“RR 间期散点图”等,均指用迭代方法计算制作的二维 RR 间期散点图,现一般称之为“心电散点图”。

“心电散点图”关键词:RR 间期;迭代;非线性;二维。“RR 间期差值散点图”关键词:RR 间期差值;迭代;非线性;二维。“时间 RR 间期散点图”关键词:实时 RR 间期;时间顺序;RR 间期散点分层。

尽管三者都用散点表达 RR 间期的变化,但与时间 RR 间期散点图不同,心电散点图与 RR 间期差值散点图用迭代方法作图,属于非线性混沌方法,是依靠提取系统中的非线性信息来区分心律与心律失常。目前,逆向技术在心电散点图与时间 RR 间期散点图之间搭建了一座可以相互回放的桥梁,使大样本心电数据的分析变得更加直观和方便。

## 2 非线性方法与海量数据

非线性方法的特点是在相互关联的大样本或超大样本海量数据中发现隐含于其中的规律,从而提取出传统方法无法提取的有用信息。“海量数据”是指能够提取到有用信息所需的数据量。用连续心电信号描记的心电散点图是根据图形特征对图进行定性,只有足够数量的散点参与作图,才能稳定地表现图形特征。这个图形特征就是所要提取的非线性规律。由于数据条件不同,所需要的数据量的绝对值也不同。普通心电图所提供的 RR 间期数据量远远达不到“海量”,而 24 h 动态心电图的数据量能达到要求,符合散点图分析的适用范围<sup>[3]</sup>。

在动态心电图,当同一起源的心搏达到一定的量,描记的散点图图形清楚而稳定,图形特征不再因数据量的增加而改变时,就满足了海量数据的要求。对于同一起源的心搏,心率越快,散点越密集,图形就越清晰,海量数据所需的心搏数相对较少;而心率越慢,散点越稀疏,图形就越模糊,所需的心搏数据量就越大。

## 3 吸引子与心搏起源

“吸引子”这一数学概念,是用于表征系统特征的相空间结构,在实际应用中以其截面的几何图形表示。吸引子是刻画系统整体特性的概念,是系统演化过程的终极状态,具有终极、稳定和吸引的特性,因此吸引子具有不可分割性,不同系统的吸引子不能相互融合成一个吸引子。在吸引子中,越靠近吸引源的内部,吸引力越强;越远离吸引源的外缘,吸引力越弱,其吸引域的边缘光滑。周期系统运行节律的吸引子,其相空间维数为整数,称为“平庸吸引子”(periodic vibration);而非线性系统运行节律的吸引子具有分数维,称为“奇异吸引子”(strange attractor),是反映混沌系统运动特征的产物,表征混沌系统中无序稳态的运动形态<sup>[4]</sup>。

连续 RR 间期序列的心电散点图是“混沌吸引子”(奇异吸引子),表现出混沌的很多特征<sup>[5]</sup>。心电散点图有单一分布图形,也有多分布图形,即在一

份散点图中有多个子图分布,每个子图都是一个独立吸引子的几何图形(图1)。临床已证实,多分布图形的动力是心律起源的变化。如果记录全程心律起源不变,则只会形成一个分布在 $45^\circ$ 等速线上的吸引子图形<sup>[6]</sup>。这是“同源性心律”的图形表征。心律起源一旦发生变化,即产生新的吸引子,形成多分布图形。吸引子的数目与RR间期的变化幅度无关,而与心律起源的变化有关。显著性窦不齐时,RR间期变化可以很大,使散点离散度增大,吸引子几何图形的面积因此增大,表现为“吸引力”降低,但不能“分裂”出另外的吸引子图形。一些房性早搏的联律间期可能与窦律RR间期非常接近,在心电图上难以区分,但由于心律起源不同,必然形成不同的吸引子图形,这些图形可以相互远离或部分重叠,吸引子之间的距离取决于RR间期变化的程度与趋势。分布在 $45^\circ$ 等速线的吸引子具有“同源同质性”,即组成散点的心搏同源、组成吸引子的散点同质。

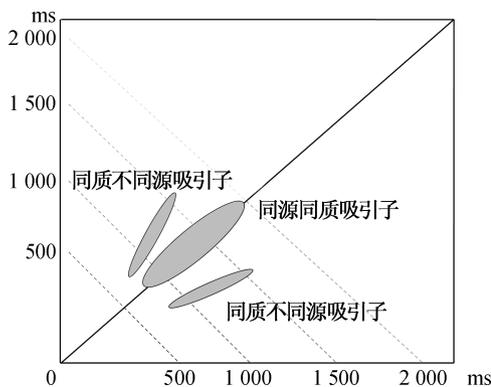


图1 不同起源心搏的吸引子

Fig. 1 Attractors of different cardiac origins

心电散点图是用连续RR间期序列作成的,每个散点都由前后相邻的两个RR间期形成。如两个RR间期为同一起源的心搏,为“同源心搏散点”,则这些散点隶属同一系统,聚集成同一个吸引子图形。连续的窦性心律图形是最常见的“同源同质”吸引子,窦性心率的变异性,即RR间期序列的变化趋势有共性,散点图上心率变异性正常的窦性RR间期序列图形呈“棒球拍形”。房速、室速或逸搏心律形成的图形也属“同源同质”吸引子,尽管目前对这些异位心搏RR间期序列的变化趋势研究尚少,但由其本身的规律已见端倪。与连续发生的异位心搏不同,单次发生的异位心搏散点属于“不同源心搏散点”,其形成的图形属“同质不同源”吸引子,即组成吸引子的各散点成分相同,但组成散点的心搏成分不同。

当心律起源发生变化时,必然会出现“不同源散点”,如窦性RR间期与异位心搏联律间期形成的散点、联律间期与代偿间期、代偿间期与窦性RR间期,都属于不同源散点,每种组合都能形成独特的吸引子,均属于“同质不同源”吸引子,它们之间不会相互融合。“同质不同源”吸引子不在 $45^\circ$ 等速线上,而是分布在加速区或减速区的不同位置(将在“5子图的命名及其涵义”中述及)。

心电散点图中的吸引子图形对区分心搏起源有重要意义。临床已证实不同心律失常形成的吸引子的数目、分布位置及形态均有所不同,以此作为判断心搏起源的重要指标。

#### 4 标识标线及其意义

在散点图形中设置必要的标识标线,有助于初学者理解图形意义,也有助于分析者快速判断图形所反映的心律失常的性质。“两端、两线、八区”(图2)可概括其内容。

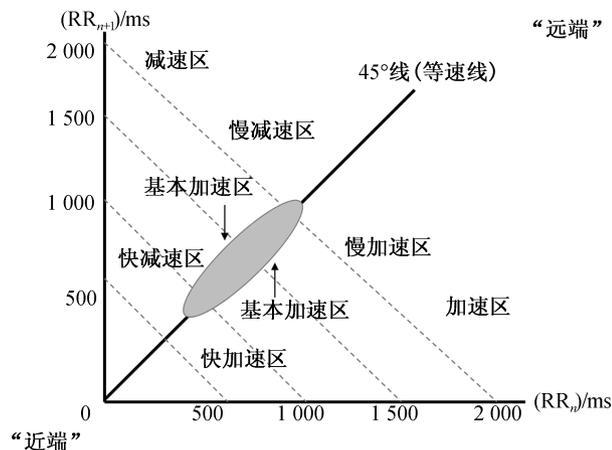


图2 心电散点图的标识标线

Fig. 2 Graphical analysis of Lorenz plot

“两端”:① 近端——靠近坐标原点的方向;② 远端——远离坐标原点的方向。越是靠近近端的散点,心率越快;越是靠近远端的散点,心率越慢。心动过速时图形趋向近端,心动过缓时图形趋向远端。

“两线”:①  $45^\circ$ 线(等速线)——与 $x$ 轴和 $y$ 轴各成 $45^\circ$ 夹角,分布在等速线上的散点为“等速散点”,组成该点的两RR间期等长,反映这一时刻无心率加速或减速发生。② 心率线——垂直于等速线的背景虚线,是快速对散点所反映的心率进行大致判断的线性标志。

“八区”:① 基本加速区——有限度地偏离等速线 $x$ 轴一侧的区域。② 基本减速区——有限度地

偏离等速线  $y$  轴一侧的区域。基本加速区与基本减速区的散点与等速线上的散点属于同一个吸引子,被吸引在有限的范围内。③ 加速区——位于等速线与  $x$  轴之间的三角区,该区的散点被称为“加速散点”(前 RR 间期 > 后 RR 间期),为加速吸引子图形。④ 快加速区——位于加速区的近端,为“早搏前点”(将在“5 子图的命名及其涵义”中述及)的吸引子图形。⑤ 慢加速区——位于加速区的远端,为“阻滞前点”(B 图)或“早搏后点”(D 图)的吸引子图形。⑥ 减速区——位于等速线与  $y$  轴之间的三角区,该区的散点为“减速散点”(前 RR 间期 < 后 RR 间期),为减速吸引子图形。⑦ 快减速区——位于减速区的近端,为“早搏主点”的吸引子图形(C 图)。⑧ 慢减速区——位于减速区的远端,为“阻滞前点”的吸引子图形(C 图)。

### 5 子图的命名及其涵义

在多分布的心电散点图(图 3)中,每个“子图”都是一个独立的吸引子。最初对子图的命名是根据其散点在一次异位早搏周期中出现的先后,按 A、B、C、D……的顺序命名的(图 3)。每一个子图都分布在特定的位置范围内,其中 A 图位于  $45^\circ$  线上,由“同源同质”的 RR 间期组成;B 图位于快加速区、C 图位于快减速区、D 图位于慢加速区,都是偏离  $45^\circ$  线、由“同质不同源”的散点组成的吸引子。通过解读早搏性心律失常的散点图,证实多数室上性早搏图形由 A、B、C 三个子图组成,称为“三分布”图形;而大多数室性早搏的图形是由 A、B、C、D 四个子图组成,称为“四分布”图形,因此二者分别被认为是室上性早搏和室性早搏的代表性图形<sup>[7]</sup>。

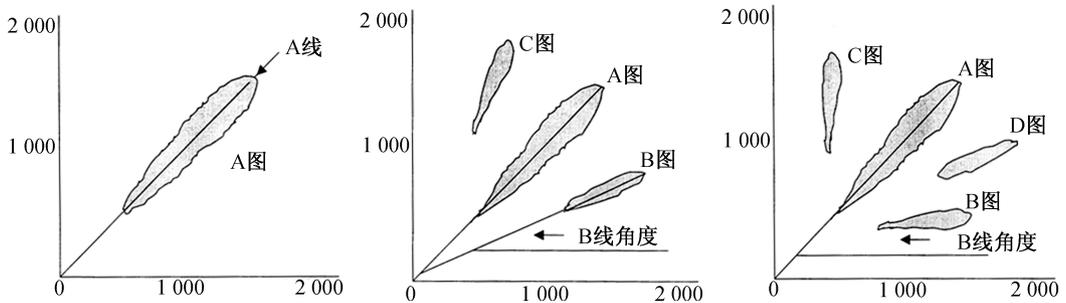


图 3 子图的命名与 B 线  
Fig. 3 Nomenclature of subgraphs and B line

如图 3 所示,A 图是早搏联律间期前的两相邻窦律 RR 间期(N—N—N);B 图是早搏前的窦律 RR 间期与早搏联律间期(N—N—V/S),即“早搏前点”,意为形成 B 图的两相邻 RR 间期是以异位 R 波之前的窦律 R 波为中心,分别位于其前和其后;C 图是早搏联律间期与代偿间期(N—V/S—N),即“早搏主点”,意为形成 C 图的两相邻 RR 间期是以异位 R 波为中心,分别位于其前和其后;同理,D 图被称为“早搏后点”(V—N—N)<sup>[8]</sup>。随着临床观察范围的扩大,人们发现三分布图形中 B 图的意义不尽相同,与早搏三分布图形相比,这些图形中的 B 图与 C 图不是分别分布在近端的快加速区与快减速区,而是都分布在图形远端的慢加速区与慢减速区,曾称为“特殊三分布”(图 4)。这种“特殊三分布”图形源于一次传导阻滞的 RR 间期变化周期。早搏图形的 B 图反映在大致匀齐的 RR 序列(A 图)中突然出现短缩的 RR 间期,代表“早搏前点”(N—N—V/S);而传导阻滞图形中的 B 图反映一次延长的 RR 间期回到大致匀齐的 RR 序列(A 图)中,代表“阻滞前点”(N—N—N)。与此对应,早搏图形中的 C 图代表

“早搏主点”(N—V/S—N),而阻滞图形中的 C 图相当于“阻滞前点”(N—N—N)。因此,知晓和正确理解现阶段图形的命名及其涵义有助于加深对多分布图形发生机制的理解,提高心律失常图形的分析能力。

### 6 诊断四要素、B 线斜率及意义

心律失常诊断的“诊断四要素”是通过长期临床观察总结出来的四项重要指标<sup>[9]</sup>,包括子图数目、图形形态、图形位置、线形图形的斜率。关于线形图形的斜率,目前研究最多的是 B 线(图 3)。

在图 3 的多分布心电散点图中,A 图的长轴称为 A 线、B 图的长轴称为 B 线、C 图的长轴称为 C 线……斜率是指图形长轴与  $x$  轴的夹角( $y/x$ )。A 图位于等速线上,A 线斜率 = 1;B 图(此处指早搏前点的 B 图,不包括特殊三分布图形的 B 图)位于等速线与  $x$  轴之间的加速区中,B 线的斜率为  $0 \sim 1$ 。临床观察表明:B 线斜率与心搏起源呈高度相关,室性早搏的 B 线斜率趋向于 0,室上性早搏的 B 线斜率远离 0,但  $< 1$ 。

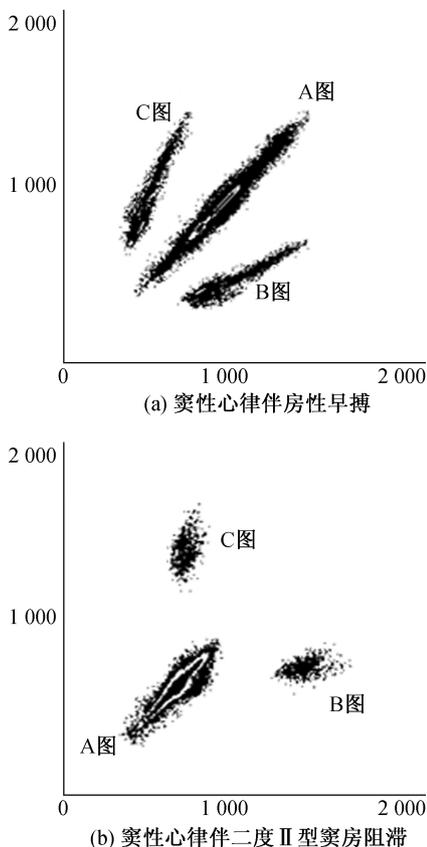


图4 三分布心电散点图的不同类型

Fig. 4 Different types of tri-layout Lorenz plot

经与动态心电图诊断结果对照,显示 98% (199/203) 的室上性早搏 B 线斜率在 0.132 ~ 0.803; 84% (164/195) 的室性早搏 B 线斜率  $< 0.132$ ; 100% (27/27) 的差异性传导 B 线斜率在 0.165 ~ 0.407。该研究是通过预探索设定了 B 线斜率标准,室上性早搏与室性早搏图形的 B 线斜率相比有显著不同。在诸多可能的原因中,动态心电图本身对宽 QRS 波诊断的特异性应考虑在内。因此,不能单独根据 B 线斜率诊断心搏起源,而需要结合“诊断四要素”综合分析,并借助逆向技术回放形成散点的实时心电图,以及根据作图原理进行逻辑分析最终做出判断。

近年来,有研究者利用几何画板模拟心律失常散点图<sup>[10]</sup>并对其数学特征进行观察,发现心电散点图中蕴含了更多新的信息,其中对 B 线的新一轮剖析与认识指出,B 线的近端和远端散点分别是单发室早的“早搏前点”和“二联律点”,而 B 线垂直于  $x$  轴是并行心律的特征。这些模拟结果可以得到传统动态心电图诊断以及根据散点图作图原理进行逻辑

分析结果的支持。

## 7 结语

心电散点图命名的演变表明,这是一个正处于不断发展中的新生领域,充满勃勃生机与活力,未来拥有广阔的发展空间。对名词术语的修正与发展演变,也折射出对这项新技术所带来的新信息的认识由浅入深、由外延到内涵不断深化的过程。

本文对以往未加系统阐述的一些新概念及其内涵进行了表述,如非线性方法与海量数据、吸引子、标识标线、B 线及其斜率的定义和意义、对 B 线的最新认识等。掌握这些概念将有助于临床医生正确阅读和理解心电散点图。

## 参考文献

- [1] 郭继鸿. 差值散点图与房颤的自动化诊断[J]. 临床心电学杂志, 2012, 21(1):16-17.
- [2] 向晋涛, 李方洁, 杨伶. 时间 RR 间期散点图及其逆向技术[J]. 中国心脏起搏与心电生理杂志, 2011, 25(5): 445-449.
- [3] 李方洁. 重视心电散点图的临床应用[J]. 临床心电学杂志, 2012, 21(1):3-6.
- [4] 敖力布, 林鸿溢. 分形学导论[M]. 呼和浩特:内蒙古人民出版社, 1996:178-466.
- [5] 郭继鸿, 张萍. 动态心电图学[M]. 北京:人民卫生出版社, 2003.
- [6] 向晋涛, 李方洁, 郭成军. 心律的整体观:认识和解读 RR 间期散点图[J]. 中国心脏起搏与心电生理杂志, 2011, 25(1):12-15.
- [7] 李方洁, 杨新春, 白净, 等. 1153 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.
- [8] 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.
- [9] 李方洁, 杨新春, 白净, 等. 心律失常 Lorenz 图智能化诊断模型研究[J]. 医学研究杂志, 2008, 37(3): 66-67.
- [10] 景永明, 相晓军, 荆凡君, 等. 《几何画版》模拟 RR-Lorenz图的方法及意义[J]. 中国心脏起搏与心电生理杂志, 2011, 25(6):556-559.

(收稿日期:2015-04-06)

(本文编辑:顾艳)