

· 特约专稿 ·



特约专家:景永明, 郑州大学第二附属医院心电图科, 本科学历, 主任医师。中国心电学会心电散点图工作委员会特聘专家, 2010 年荣获“中国杰出心电学工作者”奖, 《实用心电学杂志》常务编委, 《中国心脏起搏与心电生理杂志》特约审稿人。从事心电图、动态心电图工作 30 年, 首次把《几何画板》软件引入心电散点图的研究, 作出了常见心律失常的心电散点图模型, 破解了常见心律失常的心电散点图原理, 为快速分析动态心电图奠定了基础, 发表学术论文 40 多篇, 主编心电散点图专著 3 部。多次参加全国性学术会议并报告了自己的学术观点, 得到了专家同行的认可。

散点图解析策略之排列组合法

景永明¹ 李世锋¹ 申继红¹ 赵瑞²

【摘要】 心电散点图的迭代坐标中隐藏着 RR 间期的排列组合规律, RR 间期的排列组合规律表明常用心电散点图的分层、分形规律符合乘法原理。排列组合规律不仅是散点图命名的依据, 也是分析散点图原理的理性思维方式。本文利用排列组合法深度剖析了心房扑动、心房颤动合并起搏心律等特殊病例的散点图形态特征及其形成机制, 分析过程不仅体现了时间散点图的一维线性特性、Lorenz 散点图的二维平面特性、差值散点图的三维立体特性, 而且展现了排列组合的理性思维方式超越“眼见为实”感性思维方式的真实, 同时为向量平移法的解析策略做了注解。

【关键词】 动态心电图; 心电散点图; 时间散点图; Lorenz 散点图; 差值散点图; 心房扑动; 心房颤动合并起搏心律; 排列组合法

[中图分类号] R 541.7 R 540.4+1 [文献标识码] A [文章编号] 1005-0272(2026)02-0081-07

[引用格式] 景永明, 李世锋, 申继红, 等. 散点图解析策略之排列组合法[J]. 临床心电学杂志, 2026, 35(2): 81-87.

心电散点图是以点的位置表达心动周期(即 RR 间期)的规律性^[1]。常用的心电散点图包括时间散点图、Lorenz 散点图、差值散点图。常用散点图的坐标中隐藏着彼此之间的内在联系及其解析策略。下面介绍排列组合法的原理及其临床应用。

1 排列组合法的原理

时间散点图($t_n, t_{n-1}-t_n$)表达 RR 间期随时间(t_n 表示第 n 个心搏发生的时刻)变化的规律性, 时间散点图的分层规律就是 RR 间期($RR_n=t_{n-1}-t_n$)的分类

规律。

Lorenz 散点图(RR_{n-1}, RR_n)表达的是相邻 RR 间期的排列组合规律, 也就是时间散点图层高之间的排列组合规律。如果时间散点图的时间轴按 RR 间期的规律反复折叠, 就得到了 Lorenz 散点图, 反之 Lorenz 散点图沿时间轴展开就是时间散点图^[2], 时间散点图折叠为 Lorenz 散点图, 突出了节律信息, 丢失了时间信息; Lorenz 散点图展开为时间散点图, 容易判断心律失常发生的时刻及持续的时间, 但仅靠时

基金项目: 兰州市科技计划项目资助(编号: 2025-5-246)

作者单位: 450014 河南 郑州, 郑州大学第二附属医院心电图科(景永明, 李世锋, 申继红); 730050 甘肃 兰州, 中国人民解放军联勤保障部队第九四〇医院心电图科(赵瑞)

作者简介: 景永明, 主任医师, 主要从事心电图、动态心电图研究。

通信作者: 景永明, E-mail: jing-yongming@163.com

间散点图的分层规律诊断心律失常的性质却难度较大,可见时间散点图与 Lorenz 散点图之间有优势互补的关系。

差值散点图($RR_{n-1}-RR_{n-2}, RR_n-RR_{n-1}$)反映的是相邻 RR 间期的差别规律,也就是时间散点图的层间距之间的排列组合规律^[3]。所以排列组合法是分析 Lorenz 散点图与差值散点图天然的解析策略。

差值散点图的迭代作图公式可以分解为两个相邻 Lorenz 散点的坐标差,即: $(RR_{n-1}-RR_{n-2}, RR_n-RR_{n-1})=(RR_{n-1}, RR_n)-(RR_{n-2}, RR_{n-1})$,此式表明,相邻 Lorenz 散点的坐标差就是差值散点的坐标, Lorenz 散点图中各特征点集的先后次序决定着差值散点图分布规律,差值散点图进一步刻画了 Lorenz 散点图内部的向量关系。从成图原理相对简单的 Lorenz 散点图入手,可以利用向量平移法解析相对复杂的差值散点图。

如果动态心电图中有两类 RR 间期,则时间散点图会分裂为两层,按照乘法原理,二维 Lorenz 散点图的分形规律(复杂程度)是 $2 \times 2 = 2^2$; 三维 Lorenz 散点图(RR_{n-2}, RR_{n-1}, RR_n)的分形规律是 $2 \times 2 \times 2 = 2^3$ 。由于二维差值散点图与三维 Lorenz 散点图之间有一一对应的关系,二者的复杂程度等同,所以差值散点图的分形规律也是 $2 \times 2 \times 2 = 2^3$,从这个意义上讲二维差值散点图有三维(立体)特征,实际上三维 Lorenz 散点图的 xyz 面酷似二维差值散点图,二者形态类似,诊断效果等同^[4],如果把二维 Lorenz 散点图理解为三维 Lorenz 散点图的 z 轴投影(即 xoy 面)、二维差值散点图理解为三维 Lorenz 散点图等速线投影^[5](即 xyz 面),二维 Lorenz 散点图与二维差值散点图相互参照,就像立体事物多角度观察一样是生活常识,优势互补关系不言而喻(图 1)。

常用散点图之间的优势互补关系决定了散点图

分析的原则是三图合参。下面结合具体病例介绍排列组合法在散点图分析中的应用。

2 排列组合法在心房扑动分析中的应用

窦性心律合并频发室性早搏时,窦性心搏(N)与室性早搏(V)的排列组合可以命名常用散点图的名称,比如时间散点图分层为: NN、NV、VN 层等; Lorenz 散点图分形为: NNN、NNV、NVN、VNN 点集等;差值散点图分形为: NNNN、NNNV、NVNN、VNNN 点集等^[6]。如果主导心律是心房扑动,再以心搏 N 的排列组合命名房扑的散点图的名称则毫无意义。由于心房扑动中的所有心搏都为 N,只是间距不等,不同的 NN 周期之间有大致的倍数关系,如果把房扑波(即 F 波)1:1 下传形成的 NN 周期记为数字 1,2 倍的 NN 周期记为 2,3 倍的 NN 周期记为 3,依次类推,这样就可以用数字的排列组合命名房扑的散点图名称。比如病例一中的时间散点图(图 2A)分裂为高度不等的水平线,简单测量可以发现这些水平线的层间距之间有大致的倍数关系,其中底层高度大概是最小层间距的两倍,最宽的层间距大致是最小层间距的 3 倍,RR 间期之间有大致的倍数关系是心房扑动的心电图特征,所以例一的时间散点图是心房扑动的经典图谱。以排列组合的思想命名此时间散点图的分层名称,最低层就是 2 层,其上的宽间距是 3、4、5 层的位置,本例基本缺如,再上的 6、7、8 层,各层时断时续,本例层间距 200 ms,代表心房率 300 次/分。

例 1 的 Lorenz 散点图的特征非常醒目,呈网格状空间点阵(图 2B),差值散点图也呈特殊的空间点阵(图 2C),这些不同位置的特征点集如何称呼、有何含义?

由于 Lorenz 散点图与差值散点图的分形规律均满足乘法原理,如果房扑的时间散点图分四层(比如

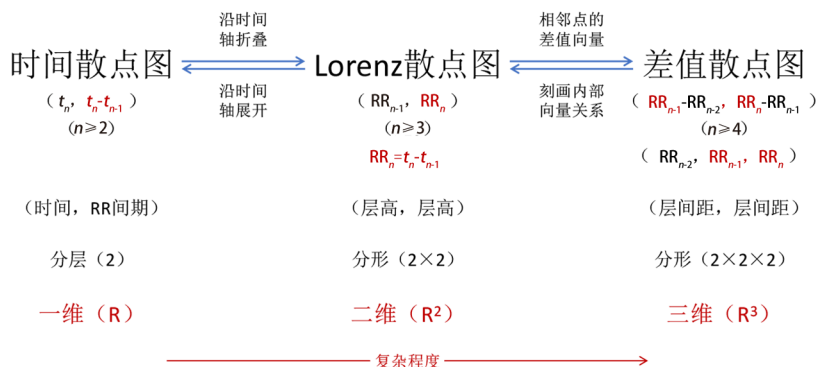


图 1 常用心电散点图的内在联系及其排列组合规律

(4, -4), 26→62 向量平移后为点 262(4, -4), 484 点与 262 点代表不同的含义, 在差值散点图中却是重叠的, 所以说“眼见为实”并不可靠, 只有依靠排列组合的理性思维才能真正读懂差值散点图的真实含义。

结合逆行技术(图 4), 例 1 动态心电图诊断: 基础心律为心房扑动伴不规则房室传导(房室传导比例为 2:1~8:1)平均心率 106 bpm, 最慢心率 43 bpm 个, 最快心率 159 bpm, 分析的心搏数 144 398 次; 偶发室性早搏(11 个)。

心房扑动的诊断虽然简单, 但这种特殊形态的散点图, 是了解散点图形成机制的一个窗口。在剖析房扑散点图形成机制的过程中, 使用数字的排列组合名称, 直接暴露了常用散点图的作图原理及其内在联系, 同时揭示了向量平移法的数学本质, 以排列组合的理性思维方式理解散点图的分层、分形规律, 能够修正感性思维方式的偏差, 更有助于深刻理解三种散点图的优势互补关系, 从而自觉实践三图合参的分析方法。

3 排列组合法在心房颤动合并起搏心律分析中的应用

心房颤动的 RR 间期变异性极大且上、下边界不固定, 而起搏心律的 PP 周期变异性为零且上、下边界固定, 当两种心律并存时, 动态心电图片段诊断误区较多, 但其心电图散点图特征明显, 诊断并不复杂。下面利用排列组合法剖析心房颤动合并起搏心律的散点图特征及其形成机制。

病例 2 李××, 男, 91 岁, 圣尤达双腔起搏器植入术后。

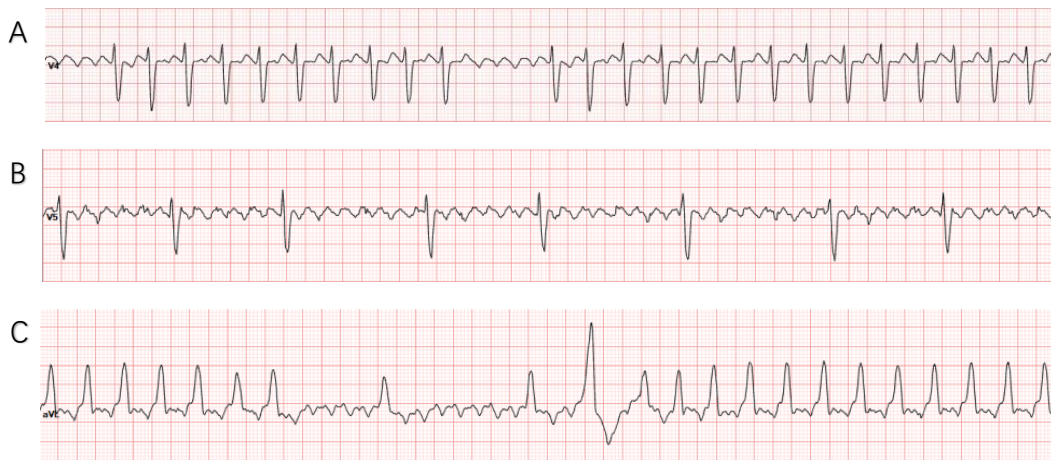
例 2 的动态心电图片段显示 P 波消失, 代之以低

波幅 f 波, VP-VP 间期或匀齐(图 5A、B、D)、或不齐(图 5C、E), 部分时段可见 AP-VP 工作方式(图 5D、E)。60 次/分的起搏频率为 DDD 模式下的低限频率(图 5E), 72 次/分的起搏频率为 DDI 模式下的自动模式转换基本频率(AMSB, 图 5A); 不齐的起搏频率规律性不易判断, 是 R 功能运作, 还是对 f 波的跟踪起搏? 动态心电图片段并不容易判断。

查看其心电散点图(图 6), 发现 VP-VP 间期不齐时段时间散点图为宽条带, Lorenz 散点图呈四方块, 差值散点图呈平行六边形结构, 此特征表现了 PP 间期的混沌特征, 是起搏器跟踪自身房颤波(f 波)形成的(即 AS-VP 工作方式, 属 DDD 工作模式), 而不是起搏频率应答功能运作(频率应答的 PP 层为光滑曲线、Lorenz 散点图呈分布于等速线的短棒, 差值散点图聚集于坐标原点); VP-VP 间期匀齐时段 PP 层高度大致在 0.86 s, 相当于起搏频率 72 次/分, 起搏心律约高于低限频率 20%, 符合圣尤达双腔起搏器的 DDI 工作方式; 清楚显示了人工起搏心律的点线几何特征以及自身心房颤动节律的混沌特征。

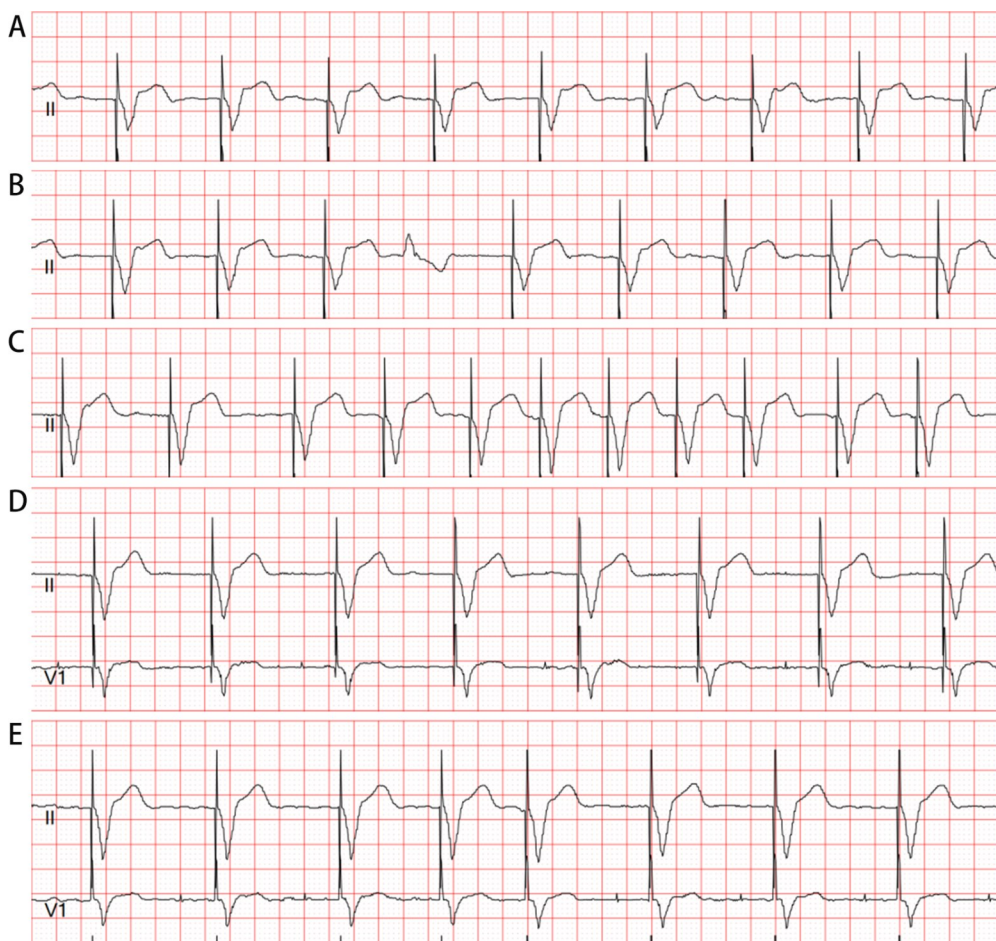
时间散点图(图 6A)的反复折叠形成 Lorenz 散点图(图 6B), DDD 模式下的宽条带反复折叠后形成边界清晰的四方块, DDI 起搏线折叠后形成等速线上的密集起搏点(0.86, 0.86), 重叠在四方块结构的右上角内侧。DDD 工作模式形成的四方块结构可由排列组合法解析: 设上限频率周期恒量 a, 下限频率周期为恒量 b, 变量 $x(y) \in [a, b]$, 则 a、b、x(y) 的二维(R^2)排列组合坐标为 $3 \times 3 = 9$ 个特征点, 分别形成四方块的 4 个顶点、4 条边和一个面(图 7)。

DDD 模式下的差值散点图(图 6C): 呈平行六边



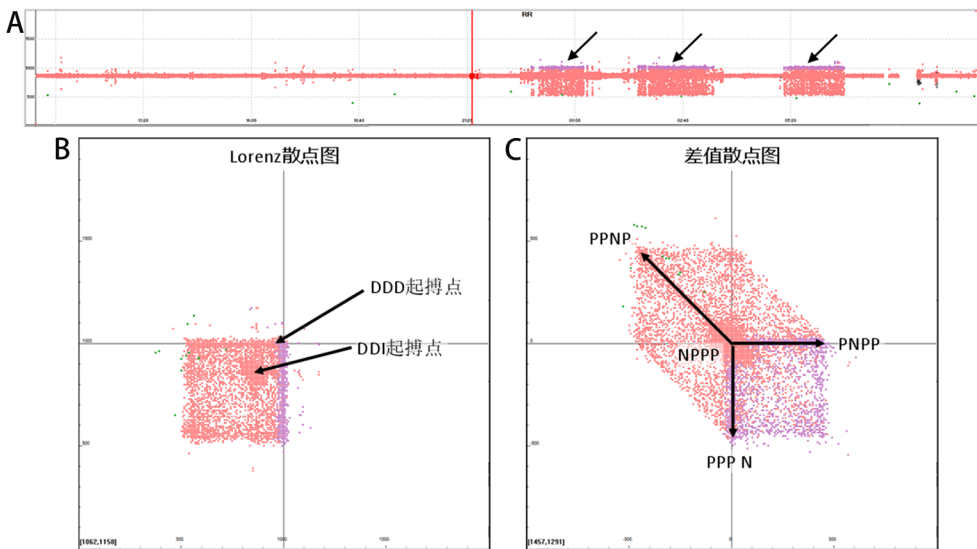
A. 心房扑动 2:1、6:1 下传; B. 心房扑动 6:1~8:1 下传; C. 心房扑动 2:1~8:1 下传, 室性早搏。

图 4 例 1 动态心电图片段



A. DDI起搏心律(72次/分);B. 室性早搏;C. 心房颤动伴心室起搏,VAT工作方式;D. DDD起搏心律(60次/分);E. DDD起搏心律。

图5 病例2动态心电图片段

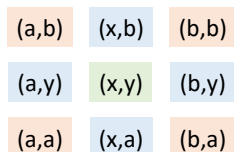


A. 时间散点图;B. Lorenz散点图;C. 差值散点图。

图6 病例2心电散点图

形结构,此平行六边形结构可由排列组合法解析:
设上限频率周期恒量a,下限频率周期为恒量b,变

量 $x(y,z) \in [a,b]$,则a、b、 $x(y,z)$ 的三维(R^3)排列组合
坐标为 $3 \times 3 \times 3 = 27$ 个特征点,分别形成立方体结构的



两个恒量组合形成4个定点(即四方块的顶点),恒变组合形成两条竖边,变恒组合形两条横边,两个不同的变量形成的四方块平面。

图7 RR间期的二维(R²)排列组合坐标

12个顶点、8个棱、6个面和1个立方体(图8)。三维Lorenz散点图中的正方体结构在xyz面是正六边形结构,而二维差值散点图是平行六边形结构,两者有一一对应的关系,可以通过坐标轴的旋转与缩放相互转化(图9)。

起搏夺获相关的散点:PPPN(y轴负侧)、PPNP(Ⅱ象限角分线)、PNPP、NPPP(x轴正侧)等点集有两个相等恒量的三维坐标值,相当于沿三维坐标轴的正侧分布(图6C),故称三维起搏线。二维差值散点图中的x轴负侧相当于等效的三维x轴正侧、Ⅳ象限角分线相当于等效的三维y轴、y轴相当于等效的三维z轴(图9)。

本例起搏器完全依赖,基础病变是持续性心房颤动伴三度房室阻滞,完全性房室分离,圣尤达双腔起搏器植入后,理想的工作方式应该是非跟踪模式,然而个别时段却出现了心房颤动RR间期绝对不齐的特征,提示起搏器启动了跟踪模式,可能是部分房颤波低小,未被有效感知,误以为快速型房性心律失常终止,从而启动DDD工作模式。房颤伴心室起搏的跟踪模式心电图片断,极易误诊为有频率应答功能的起搏模式,然而有频率应答功能的起搏心律其时间散点图是高低起伏的光滑曲线,而不是宽条带,其Lorenz散点图是沿等速分布的短棒状,而不是本

例的大四方块结构。两种工作方式的心电散点图各具特征,非常容易区分。

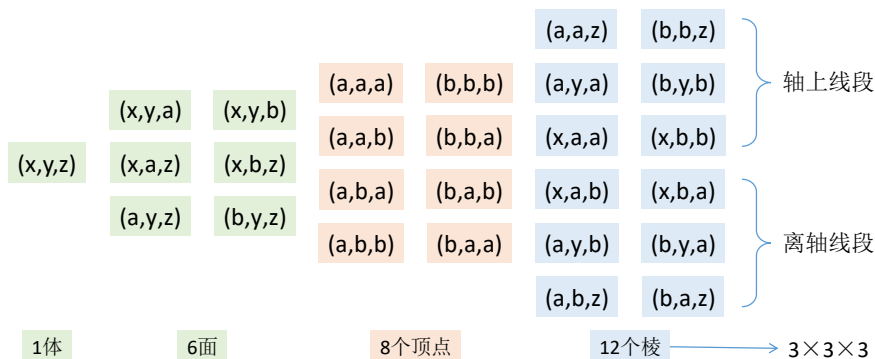
本病例很特殊,直观展示了时间散点图与Lorenz散点图的内在联系,而且通过三维Lorenz散点图的立方体模型,间接证明了二维Lorenz散点图与二维差值散点图的优势互补关系。

4 小结

近20年来,心电散点图技术的理论研究与应用实践^[7-8]都取得了长足的发展。散点图技术在提高工作效率的同时,正悄悄地改变着我们的思维方式,心律整体观的树立,让我们有新的视野重新认识疾病和认识新的疾病^[9-10]。

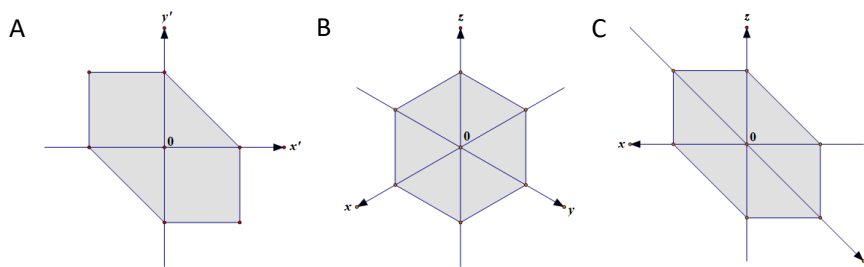
散点图的作图原理决定了常用散点图之间的优势互补关系,基于散点图之间的优势互补关系,我们确立了三图合参的分析原则。排列组合法与向量平移法则是实践三图合参原则的解析策略。

时间散点图的分层规律就是RR间期的分类规律,如果时间散点图分R层,则Lorenz散点图的分形规律就是R²,差值散点图的分形规律就是R³,这是排列组合法中的乘法原理,是一种理性思维,预示着时间散点图有一维线性特性、Lorenz散点图有二维平面特性,差值散点图有三维立体特性。把排列组合的思想贯穿在Lorenz散点图与差值散点图的分析中,便于理解游离点集与重叠点集的数量对比与分布规律,彻底摆脱“眼见为实”感性思维方式。比如例二中差值散点图的平行六边形结构的边界成分是a、b、x的有序排列组合:3×2×1=6,其中斜边界为(a, x, b)、(b, x, a),其心搏排列组合名称为PNNP(NNNP)、NPNN(PPNN),逆行技术得到的四种名称均可以出现在平行六边形结构内部,如果停留在感性认识阶段,就不能理解斜边界的形成机制,结合其



三个恒量组合形成8个定点(即立方体的顶点),一恒两变组合形成12条棱,两变一恒组合形成6个面,三个不同的变量形成的立方体的内部空间。

图8 RR间期的三维(R³)排列组合坐标



A. 二维差值坐标系;B. 三维左手坐标系 xyz 面;C. 三维左手坐标系 xyz 面的变形(x 轴旋转至水平位,y 轴旋转至右下 45°并延伸 $\sqrt{2}$ 倍)。

图9 二维差值坐标系与三维左手坐标系的内在联系

排列组合坐标(a, x, b)、(b, x, a), 就知道逆行得到的 PN、NN 周期只有达到最小值 a 时, 才可能分布到斜边界上, 否则都在其内部。

由于二维差值散点图与三维 Lorenz 散点图 xzy 面有一一对应的关系, 如果能以三维的眼光看待二维差值散点图, 就会省去许多麻烦, 比如用三维坐标 P(x, y, z) 代替二维差值坐标 P'(y-x, z-y) 分析 RR 间期的排列组合规律更直观。由于三维坐标 P(x, y, z) 与 Q(x-y, 0, z-y) 在 xzy 面重叠 (PQ ⊥ xyz), 所以三维坐标系的 xzy 面只反映三维坐标值的差别规律, 与二维差值散点图有异曲同工之妙。对比 P'(y-x, z-y) 与 Q(x-y, 0, z-y) 的坐标, 可以窥探到二维差值散点图 (x'oy') 与三维 Lorenz 散点图 xyz 面之间的坐标变换规律: 二维差值散点图的 x' 轴反向为 x 轴, y' 轴为 z 轴, z, x 轴的反向角分线为 y 轴 (图 9)。

心律失常事件在 Lorenz 散点图中的先后次序总是形成闭合向量环, 此向量环决定着差值散点图的位置及走向^[11]。在 Lorenz 散点图中标注心律失常事件的先后次序, 类似于沿着 Lorenz 散点集“结绳织网”(图 3 中的房扑 Lorenz 散点图模型), 把 Lorenz 散点图中的差值向量平移到差值散点图中就像“散网捕鱼”, 箭头所指尽是“落网之鱼”(即相关的差值散点图)。

利用成图原理相对简单的 Lorenz 散点图, 破解复杂程度倍增的差值散点图, 符合由简单到复杂, 由低级到高级的认知规律。以心律失常事件为线索分析和整理散点图特征, 非常有条理, 也容易记忆。

总之, 常用心电散点图复杂程度倍增, 如果能以

排列组合的思想理性分析, 辅之以向量平移法梳理总结, 不仅能融会贯通多数心律失常的散点图特征, 而且能窥探到散点图背后隐藏的电生理意义。

参考文献

- [1] 景永明, 李世峰. 心电散点图原理及应用[M], 天津: 天津科学技术出版社, 2016: 1-226.
- [2] 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.
- [3] 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(02): 95-100.
- [4] 景永明. 三维 Lorenz 散点图的解析策略[J]. 实用心电学杂志, 2020, 29(4): 229-237.
- [5] 景永明, 胡敏, 向晋涛. 心电三维 RR 间期散点图的概念、原理及其优势[J]. 中国心脏起搏与心电生理杂志, 2016, 30(5): 458-463.
- [6] 景永明, 李世峰. 心电散点图解析策略及图谱精选[M], 西安: 世界图书出版西安有限公司, 2021: 1-334.
- [7] 范红. 心电散点图在动态心电图诊断心律失常的价值探讨[J]. 中国典型病例大全, 2025, 19(4): 197-200.
- [8] 杨建娟. 心电散点图对心律失常快速诊断的价值分析[J]. 心血管病防治知识, 2025, 15(18): 23-25.
- [9] 马志芳, 景永明. 利用心电散点图快速识别房性期前收缩伴随的房室结双径路传导现象[J]. 中西医结合心脑血管病杂志, 2025, 23(10): 1589-1592.
- [10] 马芷琴, 王长琴. 心电瀑布图联合心电散点图在快速判断房室关系中的诊断价值[J]. 中国心脏起搏与心电生理杂志, 2022, 36(5): 462-465.
- [11] 景永明, 申继红, 赵瑞, 等. 心电散点图解析策略之向量平移法[J]. 实用心电学杂志, 2024, 33(4): 394-399.

(收稿日期: 2026-01-29)