

临床研究

心电三维 RR 间期散点图的构建及其与临床疾病的关联

温川雪, 毕志升, 李洪锋

摘要

目的: 绘制和分析不同疾病的心电三维 RR 间期散点图, 寻找图形特征与疾病的关联。

方法: 使用 PhysioBank 网站提供的心电数据, 以正常窦性心律、心律失常、心房颤动、心脏性猝死、慢性心力衰竭为例, 使用 MATLAB 平台编程和 Kmeans 聚类算法, 绘制和分析三维 RR 间期散点图。

结果: 正常窦性心律、心律失常、心房颤动、心脏性猝死、慢性心力衰竭的三维 RR 间期散点图都收敛成若干个分类, 均具有终极、稳定和吸引的特性。但不同的病例在聚类个数、每类的聚集程度、分布范围等方面均有显著差异。

结论: 不同疾病的三维 RR 间期散点图均呈现多分布, 可以划分出多个类, 有着不同的分布特点。三维 RR 间期散点图可以清晰地看到二维散点图重叠的部分, 能更准确地区分不同的疾病, 有着丰富的参数待研究。

关键词 三维; RR 间期; 散点图; 聚类

Construction and Clinical Implications of ECG 3D RR-interval Scatter Plots

WEN Chuan-xue, BI Zhi-sheng, LI Hong-feng.

Department of Information Management, Guangzhou Medical University, Guangzhou (511436), Guangdong, China

Corresponding Author: BI Zhi-sheng, Email: bivictor@gmail.com

Abstract

Objectives: To plot and analyze ECG three-dimensional (3D) RR scatter plots in patients with various diseases in order to find the correlation between the graphic features and various diseases.

Methods: According to ECG data provided by Physio Bank website, 3D RR scatter plots were constructed and analyzed by means of Matlab platform programming and clustering algorithm in following clinical settings: normal sinus rhythm, arrhythmia, atrial fibrillation (AF), sudden cardiac death and chronic heart failure (CHF).

Results: 3D RR scatter plots of normal sinus rhythm, arrhythmia, AF, sudden cardiac death and CHF were converged into several categories, all had the features of ultimate, stability and attraction. Significant differences on the number of clusters, clustering degrees and distribution ranges were observed among subjects with normal sinus rhythm, arrhythmia, AF, sudden cardiac death and CHF.

Conclusions: 3D RR scatter plots had diversified distributions in different diseases, it can be divided into multiple categories with multi-distribution features. 3D RR scatter plots can clearly define the overlapping parts of 2D scatter diagram and are helpful to distinguish different diseases in a more accurate mode, future studies are warranted to explore the underlying clinical implications of the multiple parameters derived from the 3D RR scatter plots.

Key words Three-dimensional; RR-interval; RR-plots; Cluster

(Chinese Circulation Journal, 2018, 33: 469.)

心电 RR 间期散点图在心脏及心血管系统的病变诊断中起到无可比拟的作用, 特别是三维 RR 间期散点图, 能更直观、清晰地反应各种心血管疾病。但目前, 动态心电图系统并不提供此

应用, 对分析三维 RR 间期散点图的文献很少^[1]。作者在二维 RR 间期散点图的基础上, 进一步分析三维 RR 间期散点图, 试图找到与临床疾病之间的关联。

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目 (61603106); 广州市属高校科研项目 (1201630320); 广州市教育科学规划课题 (120155324)
作者单位: 511436 广东省广州市, 广州医科大学 信息技术教研室
通讯作者: 毕志升 Email: bivictor@gmail.com
中图分类号: R54 文献标识码: A 文章编号: 1000-3614(2018)05-0469-04 DOI: 10.3969/j.issn.1000-3614.2018.05.011

1 资料与方法

1.1 数据来源

美国国家卫生研究院(National Institutes of Health, NIH)的PhysionBank数据库包含全世界各国不同研究机构的40多个子库。它以心电图(ECG)信号为主,涉及健康人和患者的心肺活动等多参数生物信号。

本文使用了PhysioBank网站中的五个数据库,包括:心律失常抑制实验RR间期子研究数据库(The CAST RR Interval Sub-Study Database)、正常窦性心律RR间期数据库(Normal Sinus Rhythm RR Interval Database)、慢性心力衰竭RR间期数据库(Congestive Heart Failure RR Interval Database)、心房颤动(房颤)长时间记录RR间期数据库(The Long-Term AF Database)、心脏性猝死Holter数据库(Sudden Cardiac Death Holter Database)。每个数据库选取20~30例数据进行绘图分析,采样频率均为128 Hz,均含65 536个RR间期数据。

1.2 开发及运行平台

本文通过Matlab R2010a平台编写程序代码,分别画出其二维RR间期散点图和三维RR间期散点图。

1.3 程序实现方法

在二维散点图的基础上,增加第三个RR间期,代表z轴,形成三维坐标系,即以第n、n+1和n+2个RR间期分别作为三维坐标系中的x轴、y轴和z轴坐标。程序实现时候可以把全部数据分成三组,第一组为从1到n-2的数据,作为x轴坐标;第二组为从2到n-1的数据,作为y轴坐标;第三组为从3到n的数据,作为z轴坐标,通过Matlab提供的plot3函数,分别将三组点集作为三维坐标逐次画上。

利用Kmeans聚类算法,对三维RR间期散点图进行分类,并对不同的类别用不同的颜色描绘^[2]。由于三维RR间期散点图的点是沿不同角度的射线分布,形成分支,因此Kmeans聚类算法的距离参数选择余弦距离^[3]。

1.4 绘制和分析三维RR间期散点图方法

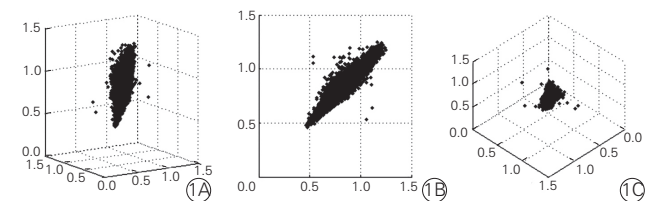
本节将描述5个数据库的三维RR间期散点图。实验首先给出正常窦性心率的三维RR间期散点图,从3个不同角度观察并分析散点图的特征。然后分别给出心律失常、心房颤动、心脏性猝死病例的三维RR间期散点图并与正常窦性心率的三维RR间

期散点图进行对比。对于慢性心力衰竭病例,根据其心律失常的复合情况分成3组讨论:单纯性心力衰竭、心力衰竭伴有心室早发性收缩、心力衰竭伴有房颤。实验表明,每种数据库的三维RR散点图具有各自的特征。

2 结果

2.1 正常窦性心律的三维RR间期散点图(图1)

图1是来自正常窦性心律RR间期数据库的一例健康人的正常窦性心律,男,35岁。其中,图1A仰角33°,方位角11°(即x轴平行于观察者,绕z轴逆时针旋转33°,观察者在XOY平面上方11°);图1B仰角0°,方位角90°(即投影到XOY平面);图1C仰角135°,方位45°,即从点(1.5, 1.5, 1.5)向点(0, 0, 0)沿体对角线方向观察。可见,正常窦性心律只有一个稳定的心率源,20例散点图均呈现单一分布,图形呈彗星或棒状。



注:1A:仰角33°,方位角11°;1B:仰角0°,方位角90°;1C:仰角135°,方位角45°

图1 正常窦性心律的三维RR间期散点图

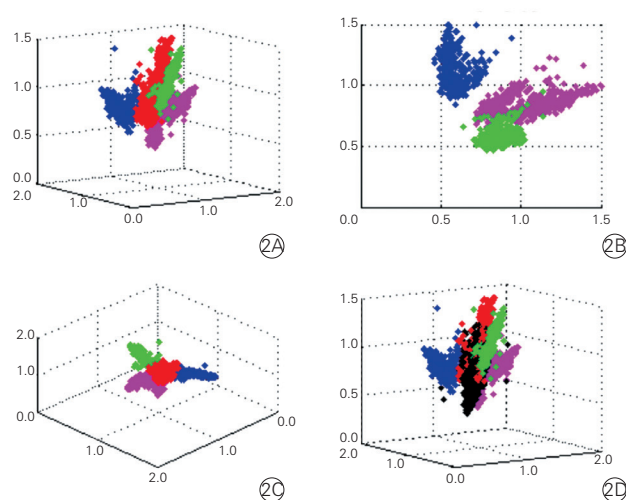
2.2 心律失常的三维RR间期散点图(图2)

图2是其中一例心律失常的三维RR间期散点图,来自心律失常抑制实验RR间期子研究数据库,患者女,60岁。其中,图2A、2B、2C的观察角度与图1相同,图2D在图2A的基础上同时画出正常窦性心律散点图,用黑色点表示。从该数据库随机选取20例患者数据进行绘图,均呈现多分布,即多个吸引子,与图2相似。表征心律失常有多个心率源,作者根据其吸引子的不同,使用Kmeans聚类算法,把所有点分成多个类,用不同颜色描绘。在20例患者中,8例的散点图收敛成3类,10例的散点图收敛成4类,2例收敛成5类。

2.3 心房颤动的三维RR间期散点图(图3)

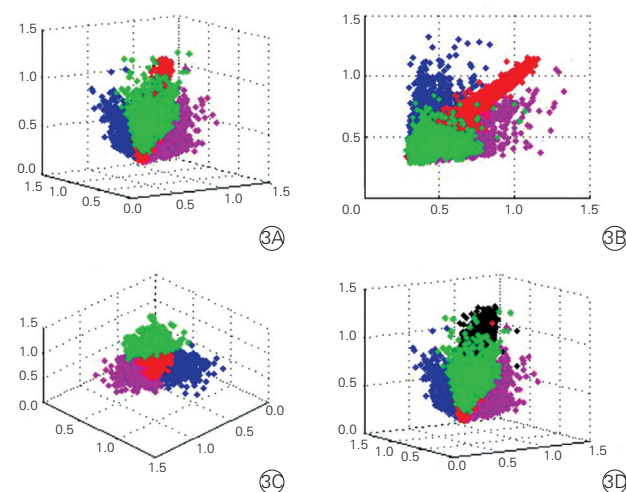
图3是来自长时间房颤数据库的病例,监测总时长24 h,其中房颤总时长为51 h 37 s。根据点集

角度的偏差, 被分为 4 类。图 3A、3B、3C 的观察角度与图 1 相同, 图 3D 在图 3A 的基础上同时画出正常窦性心律散点图, 用黑色点表示。从图 3D 可见, 红色类与正常窦性心律重叠较多。从该数据库选取 20 例患者数据进行绘图。各例数据的房颤持续时间从 1 h 到 24 h 不等, 可收敛成 4~6 类不等。各个类呈在靠近原点的方向上汇聚, 每个类聚集程度不高, 波动范围较大, 使图形看起来比较散乱、“臃肿”, 与图 3 相似。所有散点图中, 8 例的点集收敛成 4 类, 9 例收敛成 5 类, 3 例收敛成 6 类。



注: 2A: 仰角 33°, 方位角 11°; 2B: 仰角 0°, 方位角 90°; 2C: 仰角 135°, 方位角 45°; 2D: 仰角 33°, 方位角 11°

图 2 心律失常的三维 RR 间期散点图



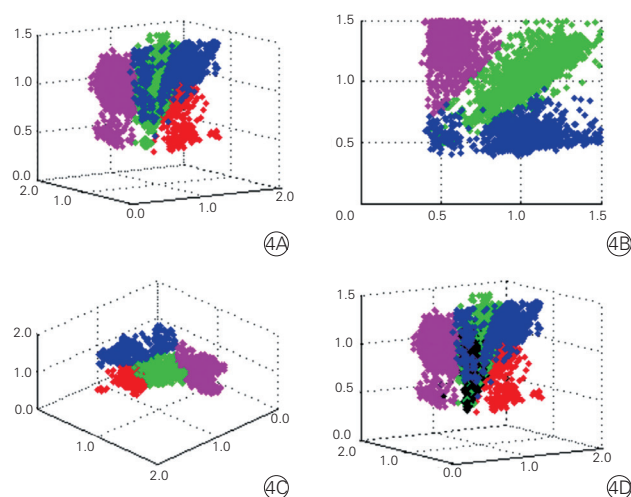
注: 3A: 仰角 33°, 方位角 11°; 3B: 仰角 0°, 方位角 90°; 3C: 仰角 135°, 方位角 45°; 3D: 仰角 33°, 方位角 11°

图 3 心房颤动的三维 RR 间期散点图

2.4 心脏性猝死的三维 RR 间期散点图(图 4)

图 4 数据来自心脏性猝死 holter 数据库, 患者

信息不详, 点集被分为 4 类, 其他类绕着绿色类对称分布。图 4A、4B、4C 的观察角度与图 1 相同, 图 4D 在图 4A 的基础上同时画出正常窦性心律散点图, 用黑色点表示。与正常窦性心律重叠的部分主要是位于顶部和尾柄部。从该数据库随机选取 20 例患者数据进行绘图, 发现收敛成 4~7 类不等, 与图 4 散点图相似。相对于其他病例, 每个类的密集度不高, 较松散, 收敛程度较差, 可见心率不稳定。



注: 4A: 仰角 33°, 方位角 11°; 4B: 仰角 0°, 方位角 90°; 4C: 仰角 135°, 方位角 45°; 4D: 仰角 33°, 方位角 11°

图 4 心脏性猝死的三维 RR 间期散点图

2.5 慢性心力衰竭三维 RR 间期散点图(图 5)

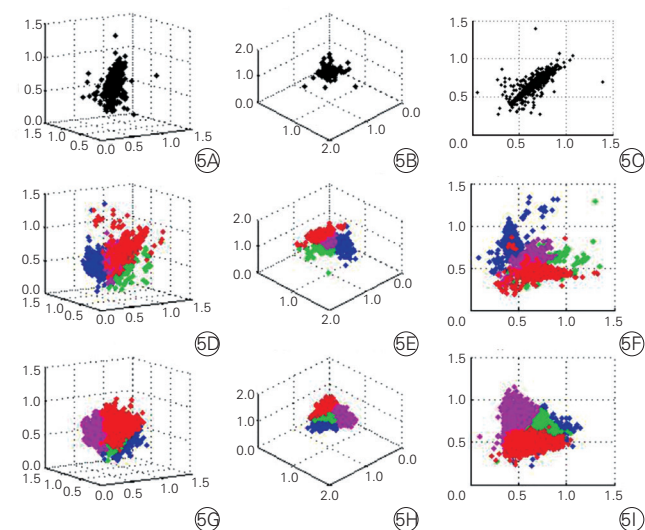
从慢性心力衰竭数据库选取 30 例患者数据, 考虑到心脏疾病的复杂性^[4, 5], 现把心力衰竭的数据分成 A、B、C 三组, 每组含 10 个病例, 观察时长均为 24 h。A 组: 心力衰竭 II ~ III 级, 监测时间范围内没有伴随明显的心律失常。B 组: 心力衰竭 III ~ IV 级, 监测时间范围内, 心室早发性收缩占总时长约 20%~25%, 其余时长心律正常。C 组: 心力衰竭 III ~ IV 级, 监测范围内出现不同程度的房颤。

图 5A、5B 和 5C 为 A 组一例心力衰竭 II ~ III 级患者的三维 RR 间期散点图, 患者 41 岁, 男性。A 组的 10 个病例呈现的三维 RR 散点图, 与图 5A、5B 和 5C 高度相似, 表现为与正常心律分布相似, 均存在少量远离“棒状”的散点, 散点分布根据个体有差异, 没有统一规律。投影到二维平面, 中心呈“细棒型”。

图 5D、5E 和 5F 来自 B 组一例心力衰竭 III ~ IV 级的患者, 61 岁, 男性, 24 h 监测结果中, 其心室性早发收缩心律占总时长的 20.5%。B 组的

10 个心力衰竭病例均伴随心室早发性收缩, 其三维 RR 间期散点图均呈现多分布。在 Kmeans 聚类算法下, 7 例的散点图收敛成 5 类, 其余 3 例收敛成 4 类。散点明显集中在“棒状”下方, 分布范围较正常心率窄, 与图 5D、5E 和 5F 相似。

图 5G、5H 和 5I 来自 C 组一例心力衰竭 III ~ IV 级的患者, 男性, 24 h 监测结果中, 其房颤总时长为 15 h 54 min。C 组的 10 个心力衰竭伴有房颤的病例中, 房颤有阵发性和持续性, 时长从 2 min 到 16 h 不等。其图形与单纯的房颤图形相似。表现为各类波动范围较大, 收敛程度较差, 可聚类成 4~5 类。房颤时长与收敛程度直接相关, 房颤时长越长, 各类的聚集性越差。



注: 5A: 仰角 33°, 方位角 11°; 5B: 仰角 135°, 方位角 45°; 5C: 仰角 0°, 方位角 90°; 5D: 仰角 33°, 方位角 11°; 5E: 仰角 135°, 方位角 45°; 5F: 仰角 0°, 方位角 90°; 5G: 仰角 33°, 方位角 11°; 5H: 仰角 135°, 方位角 45°; 5I: 仰角 0°, 方位角 90°

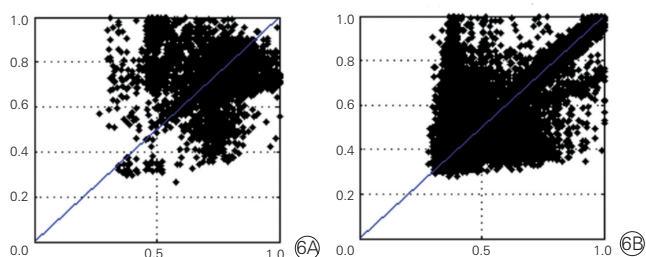
图 5 慢性心力衰竭三维 RR 间期散点图

3 讨论

本实验中每个样本的数据有 65 536 个 RR 间期, 数据量足够让散点图呈现终极、稳定和吸引的特性^[6]。当样本心率有多个不同心率起源活动时, 其吸引子不同, 散点会聚集成 3~7 类不等, 与正常心律重叠位置有各自特征。其中心房颤动和心脏性猝死每类较松散。心力衰竭的散点图受其复合心律影响较大。

现有的商业系统能直接导出二维散点图, 但当出现复杂心律异常时, 多个心率源的散点互相重叠、

干扰, 造成信息丢失, 不利于挖掘各种病例的散点特征^[7]。如图 6A、6B 散点都集中分布在对角线上部, 差异不明显, 不能体现出散点图与某种疾病的关联性。对于一些心率源较复杂的重症病例, 二维散点图没有明显规律, 失去了临床辅助诊断意义。



注: 6A: 心力衰竭伴心室早发性收缩; 6B: 心房颤动

图 6 二维 RR 间期散点图

本文通过 Matlab 平台绘制三维立体 RR 间期散点图, 可以选择不同观察角度, 多角度对比各病例的特点, 清晰地查看二维散点图重叠的部分。本文分别画出正常窦性心律、慢性心力衰竭、心房颤动、心律失常、心脏性猝死病例的三维 RR 间期散点图, 并通过 Kmeans 算法将点分成几个类别。对这 4 个病例的散点图进行描述, 与正常窦性心律进行对比和总结, 结果显示这几个不同病例的图形分布有明显的差异, 都聚集成多个子类。

三维 RR 间期散点图具有丰富的参数待挖掘, 比如各个聚类的吸引子的位置, 吸引子与疾病的严重程度关系, 各吸引子之间的位置关系等或将隐藏着更多的信息。

参考文献

- [1] 胡敏, 江成瑞, 王素霞, 等. 心电三维 RR 间期散点图的构建及识别 [J]. 中国心脏起搏与心电生理杂志, 2016, 30(5): 455-457. DOI: 10.13333/j.cnki.cjpe.2016.05.022.
- [2] Todd CS, Toth TM, Busa-Fekete R. Graph Clus, a MATLAB program for cluster analysis using graph theory [J]. Computers & Geosciences, 2009, 35(6): 1205-1213. DOI: 10.1016/j.cageo.2008.05.007.
- [3] 宋丽红. K-均值聚类的 Matlab 仿真设计 [J]. 实验技术与管理, 2010, 27(10): 101-103. DOI: 10.16791/j.cnki.sjg.2010.10.030.
- [4] 张剑, 李浩, 林立. 顽固性心力衰竭一例 [J]. 中国循环杂志, 2017, 32(2): 189.
- [5] 赵璐露, 蒲里津, 赵玲, 等. 频率适应性房室延迟单左心室起搏治疗慢性心力衰竭 [J]. 中国循环杂志, 2017, 32(2): 156-160. DOI: 10.3969/j.issn.1000-3614.2017.02.011.
- [6] 李方洁, 向晋涛. 心电散点图 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2014. 131-153.
- [7] 徐金义, 邱妍妍, 陈琼, 等. RR-Lorenz 心电散点图回顾分析窦性心律伴长 RR 间期的研究 [J]. 中国循环杂志, 2014, 29(7): 529-531. DOI: 10.3969/j.issn.1000-3614.2014.07.013.

(收稿日期: 2017-08-18)

(编辑: 王宝茹)