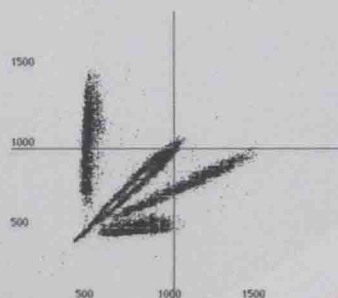
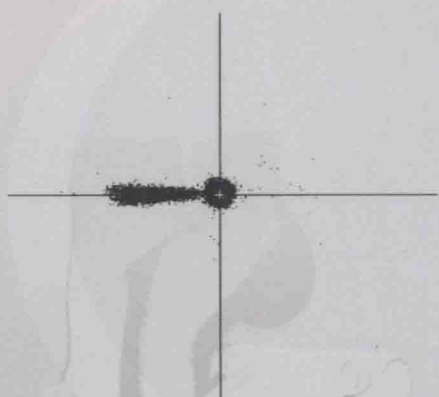


心电散点图

RR Lorenz Plot

李方洁 向晋涛 著



心电散点图

RR Lorenz Plot

李方洁 向晋涛 著

人民卫生出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

心电散点图/李方洁, 向晋涛著. —北京: 人民卫生出版社, 2014

ISBN 978-7-117-18767-1

I. ①心… II. ①李…②向… III. ①心电图
IV. ①R540.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 046042 号

人卫社官网	www.pmph.com	出版物查询, 在线购书
人卫医学网	www.ipmph.com	医学考试辅导, 医学数据库服务, 医学教育资源, 大众健康资讯

版权所有, 侵权必究!

心电散点图

著 者: 李方洁 向晋涛

出版发行: 人民卫生出版社 (中继线 010-59780011)

地 址: 北京市朝阳区潘家园南里 19 号

邮 编: 100021

E-mail: pmph@pmph.com

购书热线: 010-59787592 010-59787584 010-65264830

印 刷: 三河市宏达印刷有限公司

经 销: 新华书店

开 本: 710×1000 1/16 印张: 16

字 数: 305 千字

版 次: 2014 年 5 月第 1 版 2014 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

标准书号: ISBN 978-7-117-18767-1/R · 18768

定 价: 75.00 元

打击盗版举报电话: 010-59787491 E-mail: WQ@pmph.com

(凡属印装质量问题请与本社市场营销中心联系退换)

作者简介



李方洁,中国中医科学院望京医院心内科主任医师,医学博士,博士生导师。中华中医药学会内科心病委员会委员,中国心电学会常务委员,中国心电学会心电散点图工作委员会主任委员,中国心电信息学会常委,中国医药信息学会心脏监护委员会常务委员。

长期从事中西医结合心内科与心电学诊断的临床和科研工作,心电散点图是研究方向之一。1996 年在国内率先开始心电散点图的系统研究工作,先后发表“RR-Lorenz 图用于心律失常分析”、“混沌理论与心电学的结合”、“用于大样本心电分析的混沌方法——Lorenz 图”、“1153 例心律失常的 Lorenz 散点图与动态心电图对比研究”、“心律失常 Lorenz 图智能化诊断模型的研究”、“重视心电散点图的临床应用”等具有开创性和导向性的学术论文 20 多篇。先后主持“心律失常体表 Lorenz 图与电生理检查的相关性研究”、“心律失常 Lorenz 图智能化诊断模型的研究”、“大样本心电数据心电散点图诊断方法的推广应用”等创新性研究课题八项。

在前期研究中首先致力于体表心电散点图与心腔内电生理指标的对照和科研用心电散点图系统软件的制作,继之致力于系统解读临床心律失常的心电散点图并与动态心电图诊断结果对照。提出海量心电数据分析的概念,提出心律失常心电散点图诊断“四要素”、“B 线斜率”和“心电吸引子”的概念,建立了用“心电吸引子”鉴别心搏起源和分析复杂心律失常的方法。系统建立了具有临床实用价值的心电散点图诊断模型和分析方法,包括窦性心律、窦性心律变异性(HRV)、不同室上性早搏、不同室性早搏、心房颤动、心房扑动、房颤伴室性早搏、房颤伴差异性传导、房颤伴预激、房颤伴房扑、发作性房颤、房颤伴房室结双径路、传导阻滞,以及宽 QRS 波鉴别诊断等临床常见的心律失常诊断方法。目前正在推动心电散点图技术在动态心电图、远程动态心电数据分析中的应用,倡导发掘心电散点图的功能,使其在社区和家庭的心律失常初筛和日常监测中实现更广泛的应用价值。

作者简介



向晋涛,心血管内科医生,医学学士,科技哲学硕士,《中国心脏起搏与心电生理杂志》医学编审。中国生物医学工程学会心律分会委员,中国心电学会委员,中国心电学会心散点图工作委员会副主任委员,湖北省医学会心电生理和起搏分会委员,湖北省生物医学工程学会理事,湖北省信息学会委员。

研究方向为心脏起搏与心电生理学、心电图学。对心电散点图有较深的研究和独到见解。先后发表“心律的整体观:认识 and 解读 RR 间期散点图”、“时间 RR 间期散点图及其逆向技术”、“室性并行心律的数学特性与散点图形态特征”、“通过散点图及逆向技术揭示交界性逸搏心律的特征”、“心散点图揭示的窦房结功能的分离现象”、“心房扑动-颤动谱的 RR 间期散点图的形态特征及其意义”、“心电散点图研究中应关注的几个方向”等有创新意义和临床实用价值的论文 10 多篇。提出了运用时间 RR 间期散点图与心电散点图系统交互回放分析心律失常的概念,有效挖掘了时间 RR 间期散点图对心律失常诊断的功能,充分运用时间 RR 间期散点图、心电散点图与动态心电图系统之间的交互回放功能,对窦性心律失常、心房颤动、心房扑动、室性心律失常、逸搏心律、传导阻滞及起搏心律进行解读。强调心电散点图的整体特性,提出窦房结“纵向分离”、“横向分离”、“窦性逸搏”等概念,建立了不同起源点并行心律、三度房室传导阻滞、逸搏心律的诊断模型,对房扑、起搏心律图形进行了深入的解析,还探索了心律失常心电散点图的几何数学原理,提出在心电散点图研究和应用中应注意的问题。目前正在进行时间 RR 间期散点图诊断方法的研究,以及将心散点图应用于临床病例病情和病理生理的分析。

序

心电图学是一门应用百年而久盛不衰的诊断技术,并且随科学技术的进步,其理论仍然在不断拓宽与充实,各种派生的新技术还在不断涌现。1887年,英国生理学家 Waller 采用 Lippman 刚刚发明的毛细管静电计描记出第一份人类心电图之后,引起荷兰生理学家 Einthoven 的极大兴趣。1903年, Einthoven 研制出高精度的弦线式电流计,并用于记录心电图,为心电学的临床应用和心电图的研究与发展奠定了基础。1906年,他将最初的心电图导联系统改造成标准的Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ双极肢体导联。1934年, Wilson 完成了6个单电极胸导联的设计,而在1942年 Goldberger 改进并推出了三个单级加压肢体导联,最终形成了目前在临床应用的标准十二导联心电图记录系统。

20世纪中期以来,随着数理科学及应用技术的发展,心电图逐步进入计算机的信息时代。1963年, Holter 借助计算机技术,尝试记录长时间心电图,并获成功,发明了动态心电图技术,这是心电图学历史上又一次划时代的技术进步。动态心电图技术的问世不仅能为临床诊断与心电现象的研究提供大样本的心电数据,也对长时间内大样本心电数据的分析方法提出新挑战。

心电散点图是近年来心电学领域的新技术、新概念,是一项以非线性分析方法为基础,运用计算机技术将较长时间记录的心电图数据转换成一种高密度数据,并制成直观简约图形的技术。心电散点图有助于提取和挖掘隐含在大样本心电数据中,未被传统心电图技术识别的非线性的生理或病理信息,以及其变化规律,使其在心律和心律失常的表达上显示出独特的作用,是一种值得认真学习和深入研究与探讨的长时间心电数据的诊断与分析方法,一定会对普通心电图、动态心电图等技术方法起到补益作用。

近十年来,本书作者对心电散点图技术进行了深入的研究,积累了一定的临

床经验,书中包括的内容都是作者认识与研究的总结,对临床医生及心电学工作者一定会有所裨益,并将使这项技术得到进一步推广、普及与提高。

劉維鴻

2014年3月

前 言

无论在国内,还是在国外,心电散点图都是一个崭新的概念,这是一项以直观几何与非线性分析方法为思想基础,依靠计算机技术对长时程心电数据进行分析的新理念、新技术、新方法,是中国心电学界自 20 世纪 90 年代至今的创新性研究成果。近年来,随着临床研究数据的不断积累,心电散点图在大样本海量心电数据分析中的实用性和独特作用及对传统动态心电图分析功能的补充作用日益受到重视。

1963 年美国物理学家 N. J. Holter 制作了第一台能连续记录 10 小时心电图的动态心电图仪(被称为“Holter”),这一划时代的技术进步宣告人类已经掌握了获取长时程心电数据的自由权。Holter 能提供海量心电数据,使发作性心律失常、无症状或一过性心肌缺血的检出率大大提高,早已成为心脏科医生不可或缺的检查手段。但对国内外应用现状的回顾发现,与卓越的信息记录、贮存功能相比,当前被广泛使用的 Holter 自动分析功能还不尽如人意,对于每份有 10 万次左右心搏数据的 Holter 分析而言,人工视野和介入在很大程度上存在盲区,成为限制其分析水平的瓶颈。这是因为 Holter 分析方法只是对于动态心电时间序列的一种波形分析,由于人体具有复杂的解剖结构,作为人体时间序列的心脏节律也具有很强的非线性特征,所以除了传统的波形分析以外,心电散点图这一借用混沌理论的非线性分析方法可以作为描述动态心电 RR 间期数据这一非线性系统特征的重要手段。

心电散点图以传统心电学中前所未有的整体观视角,对 RR 间期序列进行诠释,提供了很多未知的心脏电生理信息。心电散点图使 RR 间期数据真实地在人工可视范围内得到高密度集中表达,不仅避免了分析的盲区,还由于这一图形所揭示的不同心电信号 RR 序列的非线性动力系统特征对不同心律的自动区分功能,不仅能够自成体系地对长时程心电数据进行宏观定性分析,还能简化

Holter 的分析过程,强化其诊断与鉴别诊断功能。

近年来,越来越多的心电学工作者和临床医生希望学习这项技术方法,需要一本系统介绍心电散点图的理论方法,对临床应用有指导作用的实用性专著。为此,经过两年多的酝酿,作者对近十年来的学习、思考和研究结果进行了总结、归纳、提炼,动笔写这本专著,以饕同道和读者。

本书是临床实用专书,分上、中、下三篇。上篇绪论,简要介绍心电散点图所借助的混沌理论基础和心电散点图的研究历程,从其中不仅可以感受到不同学科带来的新思维,了解一些不同学科的相关概念,也能感受到动态心电图问世之后,对大样本心电数据分析方法的探索和追求从未停止过;中篇总论,介绍与临床应用息息相关的重要概念,这在分析复杂心律失常时一定用得上,以及基本的技术方法、名词术语等初学者必会的内容;下篇各论,是对每一类心律失常心电散点图的诊断与鉴别诊断,以代表性图例为中心,分析图形形成机制,提取图形规律,提出诊断与鉴别诊断要点,对一些复杂心律失常结合临床病例进行举例解析。

著者希望赋予本书抛砖引玉的意义,因为在接触的大量临床动态心电数据中,在用心电散点图方法分析这些数据的工作中,每天都能让人不断感到来自一种新的方法学所带来的惊喜,直至本书封笔时亦如此。由于时间关系,只能将经过多年观察,得到比较肯定结果和结论的内容付诸笔下,相信会有更多的心电学工作者、临床医生和科学工作者会为这一领域带来更有意义的研究成果和建树。

著者

2014年3月

目 录

上篇绪论 理论基础与发展背景

第一章 混沌理论的思想	2
第二章 混沌理论与心电学的结合	8

中篇总论 基本概念与技术方法

第三章 心电散点图的基本概念	36
第四章 基本技术方法	51

下篇各论 心电散点图的临床应用

第五章 心律失常概论	64
第六章 窦性心律失常	77
第七章 室上性过早搏动	86
第八章 室性过早搏动	96
第九章 心动过速	110
第十章 心房颤动与扑动	117
第十一章 并行心律	131
第十二章 传导阻滞	151
第十三章 逸搏与逸搏心律	163
第十四章 宽 QRS 波心电散点图	171
第十五章 窦性心律的变异性	181
第十六章 起搏心电散点图	192
第十七章 复杂心律失常的心电散点图	200
附录 心律失常 Lorenz 图诊断模型的研究报告	212
后记	243

Contents

Part One Introduction Theoretical Basis & Development

Chapter 1	Ideology of Chaos Theory	2
Chapter 2	Application of Chaos Theory in Electrocardiology	8

Part Two General Basic Concept & Technical Methods

Chapter 3	Basic Concept of RR Lorenz Plot	36
Chapter 4	Basic Technical Methods	51

Part Three Clinical Application of RR Lorenz Plot

Chapter 5	Introduction of Arrhythmia	64
Chapter 6	Sinus Arrhythmia	77
Chapter 7	Supraventricular Premature Beat	86
Chapter 8	Ventricular Premature Beat	96
Chapter 9	Tachycardia	110
Chapter 10	Atrial Fibrillation & Atrial Flutter	117
Chapter 11	Parasystole	131
Chapter 12	Atrioventricular Block	151
Chapter 13	Escape Beats & Escape Rhythm	163
Chapter 14	RR Lorenz Plot of Wide QRS Complex	171
Chapter 15	Heteromorphosis of Sinus Rhythm	181
Chapter 16	RR Lorenz Plot of Pacing Rhythm	192
Chapter 17	RR Lorenz Plot of Complex Arrhythmia	200
Appendix	Study on the Model of Diagnoses of Arrhythmia RR Lorenz Plot	212
Postscript		243

上篇绪论 理论基础与发展背景

Part One Introduction Theoretical Basis & Development

近年来,随着研究非线性系统的各类学科的迅速发展,大量研究表明,人体具有空间结构上的复杂性和生理节律的非线性特征,采用非线性方法,能获得更多线性方法难以捕捉的生理信息。心电散点图是数学思想、计算机技术与心电学相结合的产物,也称 Lorenz 图或 Poincare 图,是以美国麻省理工学院教授、被誉为“混沌之父”的 Edward Norton Lorenz 和法国数学家“混沌理论的奠基人”Jules Henri Poincare 的姓氏命名。心电散点图是海量心电数据分析的新技术新方法,目前最常用于动态心电图的 RR 间期数据分析。其采用迭代算法,制作 RR 间期序列的动力系统图形,以全新的形式对长时程心电数据进行表达。结果发现,长时程心电数据具有很强的非线性动力学系统的特征,这些特征可以提供传统心电诊断方法所不能提供的重要信息。针对具有非线性特征的数据分析,混沌理论提供了一套很好的思想与方法体系,心电散点图正是极大程度上借用了混沌理论的思想方法,用于心电数据分析的实用技术。因此要更好地理解心电数据的非线性特征和更好地运用心电散点图分析心律失常,需要先了解一些混沌理论的思想方法,从而能够执简驭繁地认识海量心电数据中千变万化的心电现象和心电散点图形,更快捷、更准确地解读和解决海量心电数据中心律失常的诊断问题。

本篇简要介绍混沌理论的背景、基本概念,混沌理论方法在生命科学和心电学中的应用。

第一章 混沌理论的思想

Chapter 1 Ideology of Chaos Theory

一、混沌的起源

混沌(chaos)理论是数学科学中一门年轻的分支,自理论创立,在科学界广泛被认同,至今只有几十年时间。然而它的建立却经历了漫长而曲折的过程。如 Lorenz 所概括的那样,是一个从海王星发现时对混沌的毫无认识,直到一个半世纪后人们已经逐渐认识到混沌几乎无处不在的过程。

300 年以前,自然科学的研究主要靠经验积累,发展速度受到限制,1686 年牛顿《自然哲学的数学原理》的出版,使科学研究的方法学产生了根本的转变,标志着科学冲破经验积累的束缚,进入了用数学方法求索物理机制的崭新阶段。牛顿理论宣布了物质的运动受某些普遍规律的物质原理所支配。如著名的万有引力定律,天文学家曾用它预测卫星和行星轨道,其精确度令人难以置信,1846 年正是通过数学计算,人类发现了海王星,这一事件成为 19 世纪计算数学史上最光辉的一页。但在海王星发现时遇到的所谓“三体”问题,对曾历久不衰的牛顿学说提出挑战。以法国数学家 Jules Henri Poincare 为代表的一批杰出科学家发现了太阳、月亮和地球三者的相对运动(即“三体”问题)不同于单体和二体问题,无法求出精确的解。1903 年 Poincare 在《科学与方法》一书中指出,在一定范围内,“三体”问题的解是随机的。其后续的研究成为了混沌理论的开端(图 1-1)。

麻省理工学院教授 Edward Norton Lorenz 是一位对大气结构动力学颇有兴趣的气象学家和数学家,1948 年他在麻省理工学院进行一项创新性气象理论实验时,发现了现在被称为“混沌”的现象,这种现象的特征是在一个确定性系统中显示出高度随机的性态。以此为契机,Lorenz 开始了对此类问题的研究。1961 年的一个冬天,在他打印的一份计算机报告中,能够解释混沌现象的图形终于出现了(图 1-2)。1963 年 Lorenz 在《大气科学》(*Journal of the Atmospheric*

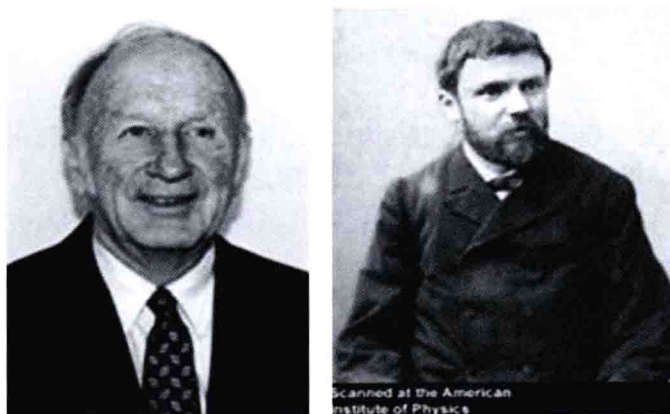


图 1-1 “混沌之父”E. N. Lorenz 与“混沌理论的奠基人”J. H. Poincaré

左图气象学家和数学家 E. N. Lorenz(1917—2008), 右图杰出数学家 J. H. Poincaré(1854—1912)

Science) 杂志上发表了一篇关于混沌理论的开创性研究论文“确定性非周期流”, 在引起气象学界的热切关注后, 又封存了 12 年之久, 终于在整个科学界引发了研究热潮, 由此诞生了一门新兴学科。

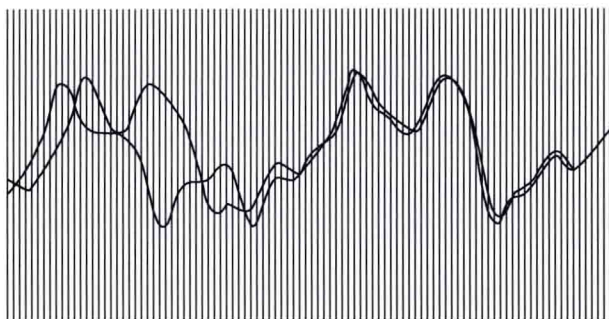


图 1-2 气象预报的两组数据是怎样分道扬镳的
图左侧的信息输入端两组数据只有微小差异,
在右侧的输出端两组数据出现明显差异

二、混沌的概念

混沌理论是一门新兴学科,也是成长中的科学。在传统意义上,混沌一词多用于描述事物混乱无序和杂乱无章的“混沌”或“浑沌”状态。现代意义上的混沌称谓由美籍华裔数学家李天岩和美国数学家 J. A. Yorke (Li · Yorke) 首先提

出。1975 年 Li · Yorke 在美国《数学月刊》发表“周期 3 意味着混沌”的文章,并给出混沌的数学定义,现被称为 Li-Yorke 定义。自此,混沌被赋予科学的概念,成为科学的专业术语。

有人说,混沌理论令人振奋也令人忧患,因为它不仅是开启简化复杂现象的钥匙,也导致对传统科学真理的怀疑;混沌理论是迷人的也是美的,因为它不仅体现了数学、物理和科学技术的相互作用,还将数学的美渗透到人类生活的各个方面。有学者归纳科学界对混沌定义的几种理解:①随机过程引起的无序状态或专门指确定系统中的内在随机性。②周期 3 意味着混沌。③如果系统似乎作无规律运动,且具有以下四个特点:作为系统基础的动力学是决定的;没有外加噪声(指偶然的涨落);个别结果敏感地依赖初始条件(即蝴蝶效应),从而其长期行为具有不可预测性;系统长期行为的某些全局特征与初始条件无关。

总之,科学意义上的混沌不是简单的无序和混乱,而是没有明显周期和对称,但却具有丰富内层次的有序状态。诺贝尔物理学奖获得者 I. Prigogine(普利高津)指出,混沌与有序同在,混沌系统中,有序通过自组织过程,从无序和混沌中自发产生出来。

混沌系统具有非线性特征,但二者又并非等同。线性过程表现为周期性,而非线性系统是一个不完全的线性过程,其间包含有线性、随机(完全无规律)和混沌。混沌是介于线性与随机之间的动态过渡态,是非线性系统的主要行为模式。

像复杂性一样,混沌也具有不规则性,并且这两种不规则性常同时发生,但二者具有完全不同的概念。复杂性通常指空间形态上的不规则性,而混沌则意味着时间节律上的不规则,混沌是在时间序列的动态变化中表现出来。

三、混沌理论的要点

(一) 对初始状态的敏感依赖性(butterfly effect)

混沌是在自然界乃至社会中能够广泛观察到的状态,它通过时间序列的“动力系统”表现出来。著名的“蝴蝶效应”(butterfly effect)是对混沌理论最经典的表述:系统的长期行为对初始条件的敏感依赖性混沌运动的本质特征。众所周知,初始状态(自变量)的变化,导致后续状态(因变量)成比例的变化是线性系统的特征,而非线性系统的初始状态变化未必导致后续状态成比例的变化。混沌属非线性系统,并且系统中初始状态的微小变化导致非常显著的后续变化,后续状态对初始状态的这种特殊依赖关系,称为“对初始状态的敏感依赖性”。

(二) 非周期性(nonperiodicity)

混沌是在确定的系统中表现为貌似随机的行为。在混沌的系统中,大多数

初始条件会引出非周期行为,因此非周期行为被认为是混沌的基本特征。1975年“周期3意味着混沌”的著名论文指出这种非周期性的含义是:系统中的任意状态与三个时刻前的状态相同,而与一、二个时刻前的状态相异。

(三) 奇怪吸引子(strange attractor)

混沌系统的行为特性还可以用几何形态表示出来,称“奇怪吸引子”,也称“混沌吸引子”。混沌吸引子的奇怪行为于1961年由日本学者 Yoshisuki Ueda (上田皖亮) 首先发现。1991年,联合国大学发起组织的“混沌对科学和社会的冲击”国际性学术会议在东京召开,Ueda 以诙谐生动的语言,讲述了发现奇怪吸引子过程中经历的欣喜、艰辛与受到的非难。

奇怪吸引子是具有分形(fractal)结构的吸引子,是一种相空间(phase space)结构(用时间序列运动轨迹虚拟描绘的几何构形)。它的维数与系统的复杂性相关,是目前常用于定量表征吸引子几何形态的方法。另一个定量表征奇怪吸引子的是 Lyapunov 指数(李雅普诺夫指数),奇怪吸引子的维数可由李雅普诺夫指数而得。有学者概括,混沌一词反映系统的动力学特征,奇怪吸引子则表征吸引子的几何形态。混沌系统的吸引子具有奇异的几何特性,这与周期系统的“平庸吸引子”(periodic attractor)截然不同,数学家将其维数称为“分数维”(fractal dimension)。李雅普诺夫指数和维数是对动力系统进行定量评价的量度,分别量度动力学性态的规则性程度和几何结构,是被广泛用于评价混沌特征的两项指标(图1-3)。

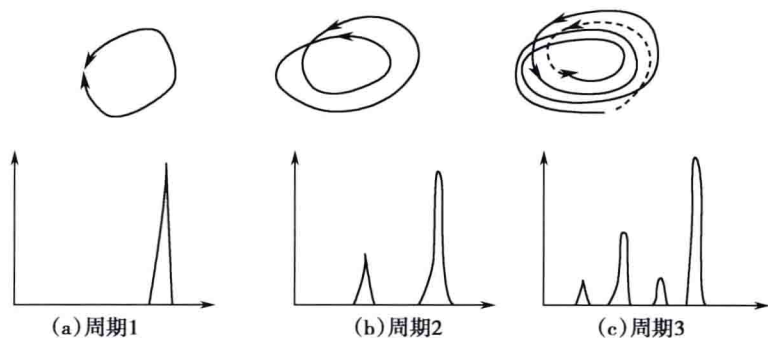


图 1-3 平庸吸引子与奇怪吸引子

左图是平庸吸引子,内部结构简单,行为轨迹简单而重复;右图是奇怪吸引子,内部结构复杂,行为轨迹不重复;中图行为轨迹有一部分重复,介于周期(平庸吸引子)与混沌(奇怪吸引子)之间

(四) 自相似性(self-similarity)

自相似性与混沌系统的分形性有关,分形的概念源于维数。维数是确定几何对象中一点位置所需的坐标数,一个点是0维,直线是1维,平面是2维,空间

是3维。以曲线、平面或立方体表现的点集(点集:点的任何聚合,通常是一条曲线、一个曲面或其他聚合体结构)分别具有一维、二维、三维的整数维性质,而一些特殊结构的点集缺少这些性质,表现为“奇形怪状”。数学家将这些无法用整数维对其性质结构进行描述的特殊点集的维数定义为“分数维”。具有分数维性质的点集称为“分形”。

在分形系统中,几个适当选择的片段,经适当放大后(数据量足够的情况下),每一个都与系统相同。这意味着每个片段的几个子片段经过放大后,等价于原片段,因而也等价于整个系统,即所谓自相似性。混沌系统与分形系统有密切关系,混沌运动的轨道或奇怪吸引子都是分形。分形是描述混沌运动的一种恰当的几何语言,分形与维数都是研究混沌现象的定量参数(图1-4)。

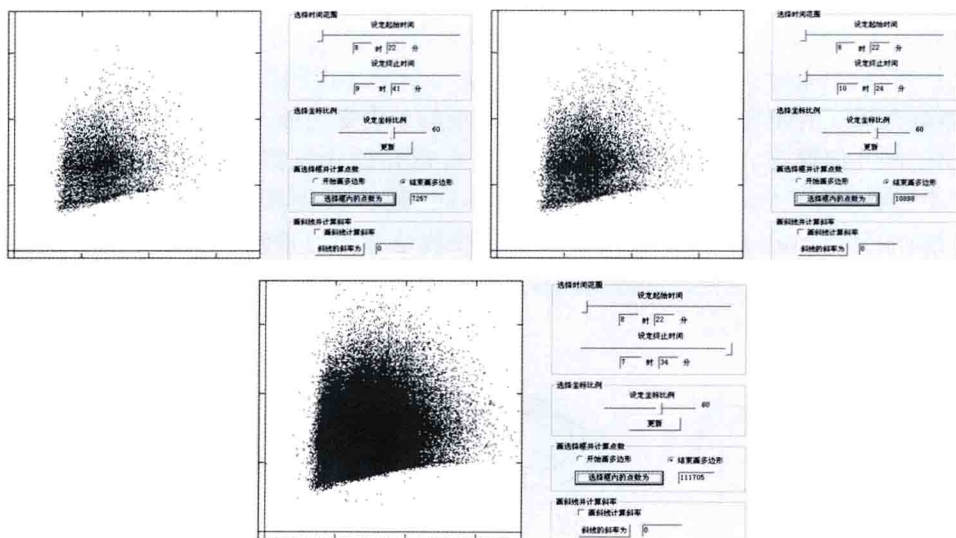


图1-4 分形

各图是同一份心电数据(同一个动力学系统)不同记录时间长度的心电散点图,各图形轮廓相似(自相似),只是每幅图中的散点密度不同

(五) 分岔(bifurcation)

混沌状态具有普遍性,它可以持续发生,也可以间歇出现,前者称“完全混沌”,后者称“有限混沌”。完全混沌是指在系统中大多数运动轨迹显示敏感依赖性;有限混沌则指在系统中既有非周期性运动,也有周期或准周期运动。如果系统的时间行为忽而周期,忽而混乱,随机地在两者之间跳跃,则称之为间歇混沌,它源于“倍周期分岔”现象。因此,混沌的特征和程度可以被识别与评价。混沌的程度代表了系统在时间流动过程中所显示的复杂性,研究表明,节律的复杂性即混沌是正常生命活动过程中的普遍现象,混沌行为的丧失则往往是疾病