

续议中医学是复杂性科学

——中医标准化预备研究之三

包含飞

上海中医药大学 中医学信息化-标准化研究室

摘要: 中医学与其他医学或生命科学具有相同的观控对象和观控目标, 相互之间共性是主要的。与现代生命科学一样, 中医学同样无法避免复杂性科学规律的支配。本文继续讨论复杂性科学及其与多样性或个性、不确定性和混沌动力学的关系; 从动力学视点探讨了作为中国古代科学基石的太极阴阳图符的循环零维空间的哲学意义; 提出了当今生物医学知识的关系、网络和动力学三个表达层次及总结了心脏泵血循环从分子层次到整体层次的定性动力学模型; 最后以中医学气论为例分析了中医学层次动力学的特征。

关键词: 复杂性科学 中医学 混沌动力学 不确定性 太极图

本文为有关中医学的信息学属性探讨性系列文章之一^[1-2], 主题是继续讨论复杂性科学及其与中医学的关系。

(1) 复杂性与多样性或个性:

当前主流科学研究也是以忽略个性和变化性开始的。当牛顿建立他的定律 $F = MA$ 和爱因斯坦建立他的方程 $E=MC^2$ 时, 我们这些聪明盖世的人类与石块、木块、卫星、流星、陨石等毫无区别, 统统被认为仅有质量而无其他任何属性的“质点”。连体积、形状、表面不光滑引起摩擦力、比重不均衡分布等都统统被忽略不计。生物学医学的实验需符合统计学规律, 要求随机抽取足够大小的样本。因为根据统计学原理, 足够大的样本具有代表性, 能够代表该群体中的每一个成员。只要达到要求, 群体中形形色色的个性和差异统统可被认为是无意义的, 仅是噪音或扰动而已。因此我们应清醒地知道当今的医学知识仅仅是那些表达一般性规律的知识, 是非个性的知识。它们描述的是典型的、标准的生命世界, 不是富有个性的生命世界, 不包括个性差异。然而个性是绝对的, “世上没有二瓣相同的叶子”, 周末熙熙攘攘的上海南京路上没有二张相同的面孔。只要我们的科学所处理或操作的对象为事物原型, 就会遇到个性, 就会遇到复杂性。而医学知识所处理的对象正是千变万化的富有个性或体质差异的病人, 个性是产生复杂性的另一个源泉。

现代生命科学和医学已开始关注人体的个性的形成机制, 例如正在兴起的关于机体对药物的反应、体内药物与药物之间的交互作用和机体对疾病的易感性个体差异的遗传学机制的研究。现代遗传学重视基因的多态性与个体差异的关系, 其中包括单核苷酸多态性(single nucleotide polymorphism, SNP)。不同个体同一条染色体同一位点的核苷酸序列绝大多数碱基序列相同而单个碱基有异的现象称为 SNP。SNP 是人类基因组 DNA 序列中最常见的变异形式。估计发生在基因的蛋白质编码区的 SNP 约有 4 万个, 这些 SNP 可以导致蛋白质合成时氨基酸“错义”。SNP 还可发生于基因的非编码区, 影响相关基因的调控。这些 DNA 序列的变异可以影响人们对疾病易感性和对药物的反应, 形成“个性”。

科学家认为影响人类药物反应性的个体差异的基因多态性包括: (a) 药物靶蛋白分子的

基因多态性；(b) 血浆药物结合蛋白的基因多态性；(c) 药物运输蛋白的基因多态性；(d) 细胞色素 P450 酶系的基因多态性等^[3]。

(2) 复杂性与不确定性：

也许只有纯理性系统才有绝对的确定性，如数学体系中 $1+1=2$ 。自然系统中不确定性是永恒的和绝对的，确定性是相对的。

(a) 概念的不确定性：1965 年美国数学家查德 (Lotfi Assker Zadeh,1921-) 在其开创的 Fuzzy 数学中，提出了概念的不确定性：对一个具体对象或原型进行分类，我们往往不能确定地说“是”或“否”。查德由此引进隶属度概念，隶属度就是一种不确定概念^[4]。普通逻辑学又告诉我们，由于概念的建立依赖于思维的抽象过程，而抽象过程就是“求同存异”即忽略差异的过程。一个高度抽象内涵极小的概念可以涵盖（“或”关系）很多实例，因此在把概念转化为实例时会遇到一对多的不确定性。

(b) 动力系统的确定性：

(i) 非决定系统：随机系统，如城市交通控制系统。

(ii) 决定系统：混沌系统虽然为决定性系统，但由于其对初态高度敏感，其行为可表现拟随机性，难以预测（下文有专门介绍）。

(c) 冗余性和容错性：

生物物种在漫长的生死搏斗的进化过程中，发展了一种冗余战略，也即我们常说的“备战备荒”策略。无论是物质流（脂肪库、血库）、能量流、信息流、结构构建、时空分划与各种通道（如侧枝旁支）、生理机制种类均有相当的储备、富裕或备选方案，使机体有足够的包容性和容错性应付各种不测情况。力求“以相对少变应相对多变”，“以不变应万变”。所以外环境的变化与内环境变化往往不呈现为线性关系，一般内环境相对少变，外环境相对多变，导致一些非常规医学逻辑。

(d) 三体决定性动力系统的不可预测性：

科学家指出，三个运动着的相互作用的物系如太阳-地球-月亮三体系统，即使精确地知道它们的初态（初速度、初位置等），也无法预测其遥远将来的位置和速度。能预测任何决定性系统未来状态的所谓“拉普拉斯妖”并不存在。

(e) 海森堡测不准原理(不确定关系)：

1927 年德国科学家威纳·海森堡 (Werner Karl Heisenberg,1901-1976) 发现了人们观测过程的基本局限性，即一种“观测无奈”：为了预言一个粒子的未来的位置和速度，人们必需精确地测量其当前的速度和位置。我们常常用光照射这颗粒子并通过反射光获得粒子的位置。但相关的物理规律告诉我们测定粒子的位置的精确程度不能超过光的相邻两个波峰之间的距离（波长）。为了更精确地测出粒子的位置，我们必须用波长较短的光来测量。但当光量子照到被测粒子上时，二者可发生相互作用（扰动），以一种不可预见的方式改变粒子的动量。光量子波长越短，位置测得越准，光量子能量越大，扰动越大，动量的不确定性就越大。换言之，位置测量越准，动量测量越不准。反之亦然^[5-6]。科学家还发现时间与能量也服从不确定关系：微观粒子存在于某一状态时间越短，这种状态的能量的确定程度越差。

(3) 物理学的三次革命：

刘式达教授在为 C·格里博格，J.A. 约克著的《混沌——对科学和社会的冲击》^[5]一书所写的序言中指出：从牛顿 1680 年在伦敦皇家学会发表《自然哲学的数学原理》算起，物理学已经历了 300 年。在这 300 年中，物理学已经完成了几次革命：

- (a) 以伽利略、牛顿为代表的 17 世纪物质、力和运动的研究；
- (b) 本世纪量子力学、相对论和放射性的发现；
- (c) 混沌和分形的发现使物理学进入复杂物理学阶段，物理学将以生命科学、地球与环境科学等为主要标志。

传统的物理学为确定论所统治，以法国科学家拉普拉斯的名言为代表：只要知道初条件，我就可以决定未来的一切。物理学的发展一次又一次地给确定论以冲击。首次冲击是分子运动论，对大量分子的运动，不可能用经典力学描述每个分子运动的动力学，众多的分子动力学汇总即可发生质的突变，转化成宏观的必须用统计方法描述的热力学动力学。上述海森堡测不准关系给确定论又一次冲击。而混沌的发现给确定论以最猛烈的冲击，它显示确定系统同样可以出现类似随机的现象，表明绝对确定论和典型随机论之间存在着貌似随机实为确定的事物。很多像天气、地震等现象看起来是随机的，无规律的，但却遵循决定性方程的动力学。

(4) 复杂性与混沌系统：

1963 年美国气象学家 E. N. Lorenz 在分析气象预报模型时指出远期气象是不可预测的。人们开始认识到一种混沌原理，即使决定系统其未来行为也可能是不确定的^[6]。

(a) 什么是混沌系统

目前对混沌的认识和研究还处于初步阶段，尚没有公认的严格的数学定义。科学家仅仅从不同的角度描述混沌的行为和规律。即使是描述性定义，有时也会产生自相矛盾。为了说明混沌，我们按确定性的大小列举三类动力系统，从中我们也许可以领悟出确定性混沌系统涵义。

(i) 确定性动力系统：初始态、中间轨迹、终末态都是确定的，其行为可以预测，如钟表等机械系统、电脑系统和软件系统。读者请注意其中大多是人类智能的产物。

(ii) 随机系统：对初值极端敏感，中间轨迹不可知，结果不确定，或只能按概率确定（具体不确定）。如某路口交通事故发生率，某种疾病的死亡率（我们无法确定某个病人是否一定死亡）。又如无数粒子的布朗运动，摸彩票，抛绣球，掷骰子等行为。因为中间过程是黑的，人们只能对系统的两端（输入-输出）进行观察，此即我们常用的统计学实验方法。

(iii) 确定性混沌系统：

首先，混沌(chaos)运动不是随机运动，而是一种拟随机运动，是决定性系统的行为和丰富内涵的表现。也许我们可以用以下特征描述混沌系统：

(i) 此种系统对初态敏感；

(ii) 中间轨道复杂、多变、发散、相邻轨道指数分离和局部轨道不稳定，但尚可以用某些变量加以描述；

(iii) 最终结果收敛到一个确定值域内（奇异吸引子）。从初始态、中间轨迹到终末态理论上每一步都是决定性的，但实际操作上不可能确定；

(iv) 所有可能的初态出发形成的轨线族称为流，作为流和吸引子“源头”的这个初态集合称为吸引子的吸引盆或吸引域，终极结果的集合称为吸引子。

(v) 混沌只出现在非线性系统中，而非线性系统的研究和开发是未来科学的主要领域。

与混沌有关的一类吸引子称为奇异吸引子(与平凡吸引子比较而言)。奇异吸引子的主要特征如下：

(i) 奇异引子为有限区域，从它的吸引域内任一点出发的轨线都归宿到该奇异吸引子，轨线终点的总和填满该区域，表现了它的稳定性；

(ii) 吸引子空间结构复杂，有时可具有无穷自相似结构(多重分形)。

(b) 观察描述混沌系统的参量

可用混沌系统的吸引盆，流和吸引子的非线性特性如维数、密度、测度、概率及相互关系来描述混沌系统^[5]。如（i）动力学系统的熵：由 Kolmogorov 和 Sinai 提出，一种测度熵，本质上与 Shannon 信息熵相同；（ii）拓扑熵：由 Adler, Konheim 和 McAndrew 提出，用某个区域的测度代替概率的测度；（iii）混沌的功率谱；（iv）豪斯道夫（Hausdorff）维数；（v）容量维数；（vi）相关维数；（vii）信息维数：随着描述系统的精度或位数的增加，确定吸引子上某一点的所需的信息量增加的快慢；（viii）李雅谱诺夫（Lyapunov）指数：估计系统在物理相空间或时序相空间中轨道的收敛率或发散率，反映相邻两条轨道的局部特征；（ix）测度熵：表征随着时间的延长，轨线对初始值的依赖程度。极限环的测度熵为 0（轨线由初始值全确定），纯粹随机运动轨线的测度熵为 $+\infty$ （初始值无法确定轨线）。而奇异吸引子的测度熵是一个正数（初始值可以但难以确定轨线）；（x）吸引子的多重分形性。

（5）从阴阳太极图到动态循环零维空间：

天才的数学家、微分学的创始人之一莱布尼茨曾说过他的二元律的思路受启发于古代中国伏羲氏的阴阳学说。现代计算机技术把二元律用激发器的二态体现出来，开创了令人瞩目的现代计算机文明。然而计算机再“聪明”也不等于生命系统。莱布尼茨也并未穷尽太极图之哲学涵义。据笔者所见，太极图所阐发的不仅是阴阳二元问题，太极图中阴阳二色形不是机械的二分，而是呈相互首尾相接之势，寓有周而复始之意，是一种太极二元循环动力学。我们知道古希腊哲学和欧几里得空间源于被称为零维空间的“点”，由点生线，由线生面，由面生体。而“点”为无高、无长、无宽的概念，因此它实际上不能作为一个“存在”，仅能作为一个概念以示区别于“虚无”，为纯理性的产物。在此哲学基础上创建了现代科学体系的质点结构科学大厦。中国古代科学源于太极阴阳二元，太极二元循环动力学是一种动态循环零维空间，与“点”零维空间有本质区别，是西方科学与中国古代科学的哲学“分水岭”。循环动态“零”维空间的深刻的哲学和科学意义至今远未为人们所真正认识，可以说动态循环零维空间是生命系统得以存在的一种基本空间，无论是形形色色的反馈（如下丘脑-垂体-靶器官反馈）、周期（如月经周期、细胞周期）和循环（如血循环）机制，还是诸如类球形（细胞、器官、人体）、螺旋形（如 DNA 双螺旋）都遵循了这一空间原则。至少有如下理由（i）“点”零维空间是一个静止概念，而动态循环零维保证了物质、能量、信息的运动性，保证机体为一个可演化发展的耗散系统；（ii）循环动态零维保证了稳定性，为把在演化过程中系统获得的新信息加以固化并形成组织和结构提供了哲学基础，因此动态循环零维是结构形成的重要原理，由此我们也许可以创建动态循环结构科学的新体系；（iii）除了上述动静相济特征以外，动态循环零维无须如非零维空间那样冒“无穷延伸”之险，也符合赵南元教授提出的事物发展的一个基本原理即“经济原则”^[7]（因为动态循环零维空间结果就是原因，产物就是原料，而“经济原则”与“生存原则”是一致的）。“无穷延伸”、“无穷大”、“无穷小”仅是纯理性世界的概念。M·克来因指出被我们认为绝对严密的纯理性系统数学系统蕴涵了多方面的确定性危机^[6]。而据笔者的研究，一些危机就与“无穷大”有关。因为我们知道自然界自身应该只有“极大”或“极小”的概念，应该不存在“无穷大”和“无穷小”的概念，至少是谁也没有经历过“无穷大”。因此由中国古代科学太极循环动力学引申的动态循环零维空间比古希腊的“点”零维空间更接近自然。

（6）从动力学看人体：t

也许我们可以从关系、网络及动力学三个认知层次或认知阶段来描述生命系统。（i）当今关于医学和生命科学的知识的主体为相对分散的关系，我们只能通过逻辑思维把这些关系连接起来。此类知识占据了当代生物医学知识体系的绝大多数，媒体为书本、杂志等文本形式和数据库形式。（ii）网络型知识是目前全世界生物学、医学及生物医学信息学科学家

携手协作的主攻方向。符号级知识有关于医学标准化（或经典的）概念语义网络研究，如统一医学系统（UMLS）和 GALEN 工程^[9]。生物医学信息学方面有基因组调控网络、蛋白质相互关系网络^[10]、蛋白质空间构型网络、生物化学网络、生理过程网络、信息通道网络等等。（iii）用动力学来描述机体最为困难，有人认为动力学是不可能用符号来表达的^[11]。将来的所谓“虚拟生理人体”、“虚拟病理人体”、“虚拟药理人体”可称得上是动力学意义下模拟人体，但可想而知，这将是多少代科学家的前赴后继的努力。现在的国内外正在进行的“虚拟解剖人体”只存储静态空间信息，故尚不能称为动力学意义下的模拟人体。

也许我们不应拘泥于严格的混沌动力学系统，若用生物-医学信息学方法从动力系统的初态、对初态的敏感性、轨道及轨道流及其分散性、吸引子或终态等方面研究生命系统必将开创生命科学的新局面。

笔者总结了心脏搏动周期中从分子生物学层次到心脏整体泵血层次各循环机制相互衔接的动力学定性模型^[12]，这些动力学循环分别由诸如离子通道、离子泵、膜电位、动作电位、内质网与钙离子、ATP 酶、肌丝蛋白（粗肌丝、细肌丝）、神经递质-受体、突触、心肌细胞、心肌、流体力学、活塞原理、结构和生理规律所决定，一个正常的泵血循环，依赖于这些异质的动力循环各相态的相互准确衔接，最后整合为心脏整体的泵血行为。任何相态之间的不准确衔接均有导致疾病的可能。

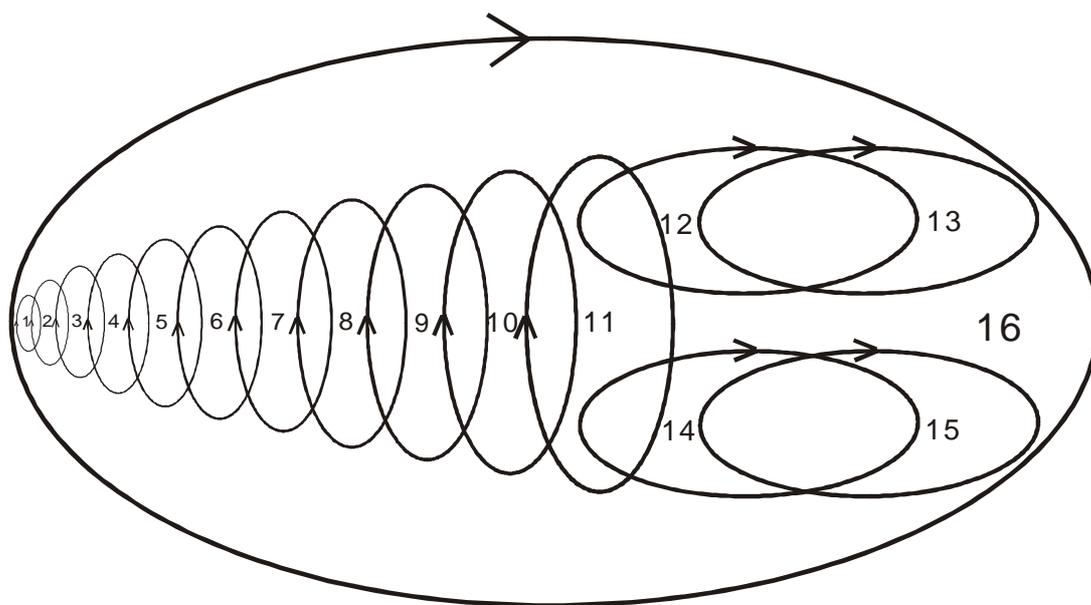


图 1：心肌循环连接图：1.膜电位循环；2.钙离子从肌浆网收放循环(借助于钙泵即 Ca^{++} 依赖性 ATP 酶的循环)；3.肌钙蛋白与 Ca^{++} 结合与释放循环；4.肌钙蛋白分子构型循环；5.原肌凝蛋白的构型变化循环；6.横桥与肌纤蛋白结合-扭动-解离循环(依赖于肌球蛋白的头部即 ATP 酶激活-分解 ATP-释放能量-抑制循环)；7.粗肌丝与细肌丝的滑动循环；8.肌节的缩舒循环；9.肌纤维的缩舒循环；10.肌肉的缩舒循环；11.心室内血液压力循环；12.房室瓣开闭循环；13.心房内血液压力循环；14.主动脉瓣开闭循环；15.主动脉内血液压力循环；16.心脏泵血循环。

(7) 医学气论的动力学的层次性：

现代科学意义下的机体动力学系统是无数宏观的、微观的动力学系统相互衔接、穿插、

交叉、嵌套的整合系统。中医学理论强调其中的层次关系。以中医学气论为例。中医内科学^[13]有如下描述“人体的气，包括元气、宗气、营气、卫气和五脏之气。元气是先天精所化生，发源于肾，借三焦之道通达全身，以推动五脏六腑的功能活动。宗气是由肺吸入的清气与脾胃运化来的水谷之气结合而成，聚集于胸中，其功能主要是推动肺的呼吸和心血的运行。营气与卫气皆由水谷之气化生，但营气运行于脉中，内注五脏六腑，外营四肢。卫气运行于脉外，其主要功能是保卫体表，抗御外邪入侵。五脏之气，也就是五脏功能的具体表现。”所以，根据中医学理论，气是有层次性的：元气乃根本之气，统帅之气，是驾御其他诸气的气。中医气论的动力系统为嵌套动力系统，元气动力系统承载着宗气、营气、卫气和五脏之气的动力系统。因此，决定元气动力系统的驱动因素应是一些根参量、主导参量、慢参量或序参量（用协同学创始人哈肯的话），有时候可能是资源极度匮乏紧张的参量。这就是动力系统各变量的“君臣佐使”关系，循此探索，也许柳暗花明的一片新天地正等待着我们。（待续）

参考文献

- (1) 包含飞, 严世芸: 中医学概念的信息学属性及中西医学互通性初探——中医标准化预备研究之一, 上海中医药大学学报, 15 (4): 8-11, 2001
- (2) 包含飞: 初议中医学是复杂性科学——中医标准化预备研究之二 (待发表)
- (3) 卢业宏, 洪钧言: 从药物遗传学到个体化医学, 科学, 54(2): 26-29, 2002
- (4) 粟载福等编著: 《模糊数学与医学》, 重庆: 科学技术文献出版社重庆分社, 1989
- (5) (美) C·格里博格, J.A. 约克著, 杨立, 刘巨武等译: 《混沌——对科学和社会的冲击》, 湖南: 湖南科学技术出版社, 2001
- (6) 刘心东, 蒋大宗: 混沌及其在生物医学工程中的应用[j], 国外医学: 生物医学工程分册, 16 (2): 63-70, 1993
- (7) 赵南元著: 《认知科学揭秘》, 北京: 清华大学出版社, 2002
- (8) [美] M·克来因: 数学: 确定性的丧失, 湖南: 湖南科学技术出版社, 1997
- (9) JH van Bemmel, M Musen 主编, 包含飞, 郑学侃主译: 《医学信息学》, 上海: 上海科学技术出版社, 2002
- (10) B. Schwikowski, P. Uetz and S. Fields: A network of protein-protein interactions in yeast (published in Internet web site)
- (11) Klaus Prank : Data mining and mathematical modeling in systems biology (published on Internet Web Site)
- (12) 张镜如主编, 乔健天副主编: 《生理学》, 北京: 人民卫生出版社, 86-88, 39-45, 1996
- (13) 张伯臾主编, 董建华, 周仲英副主编: 《中医内科学》, 上海: 上海科学技术出版社, 1984