

混沌状态是健康的吗？

R. Pool

混沌 (chaos) 可能对心脏、脑以及人体的其他部位提供某种健康的适应性。反之，许多疾病或许与这种混沌适应性的损失有关。

心脏病发作时在心电图上留下了明显的波形图。在心脏病发作前，当病人的心脏正常跳动时，心电图呈现出稳定的规律——一条基本上平展的曲线，其中大约每隔一秒钟出现一个显示心脏跳动的连续起伏尖峰信号。突然，心室纤颤开始了，自动记录线在纸上乱蹦，犹如要飞离纸面。通过放在一起观察，发现心脏的正常节律与心脏病发作时的病理心律间有着显著的差别。

在脑电图上观察到的癫痫发作，看上去惊人的相似。正常脑的脑电图，尽管不象健康心脏的心电图信号那样有规律，却有着它自己的稳定节律。信号忽上忽下地漂动，各峰值的高度只有不大的变化。当癫痫发作时，脑电图转为较明显较剧烈的波动。

心脏病和癫痫的发作可看作是“动态性疾病”(dynamical diseases)，这个术语是McGill大学的生理学家 Leon Glass 和 Michael Mackey 在病理学中建议的，用于表征人体中正常节律的转变。医生们了解许多此类节律的紊乱现象，包括白血病患者中的白血细胞数目的涨落和 Cheyne-Stokes 气喘（一种呼吸周期的加快和减慢，往往伴有充血性心力衰竭）。

但什么是人体的正常节律？标准的回答是：健康的身体具有相当简单的节律。按此观点，身体的各个部位，要么是趋向于自动调节动态平衡，那里互相联系的系统达到一个平衡；要不就是它们具有某种简单的周期性行为，如心脏的有节奏跳动。而紊乱则将有一个较复杂的不大受控制的节奏。

一个修正理论学派想要推翻上述解释。依据这种仍在发展中的思想，一个健康的生理系统具有一定量的固有的可变性，而这种可变性的损失（转变为一种不太复杂的较有秩序的状态）则将成为系统受损的先兆。

然而，这种健康的可变性并不就是无规的不受控制的涨落。它是称为混沌的某种有节奏类型的紊乱。尽管对混沌的精确数学定义有些复杂，但它在人体中的存在可由下述两件事表示出其特征。首先，它是有意地存在于人体中的，例如，不是由神经元的无规触发或是由偶然的化学反应所产生的。其次，一个混沌系统的行为是复杂的和不能预言的。尽管该系统可能处于某些限制内（如心率可能保持每分钟 60—80 次），但其行为的复杂性使人无法作出确定的预言。

“也许混沌是把人体内各种东西拼凑在一起的自然方式”，哈佛医学院的Ary Goldberger这样认为。Goldberger在对正常心脏和有病心脏作了多方面的分析后认为，混沌给人体提供

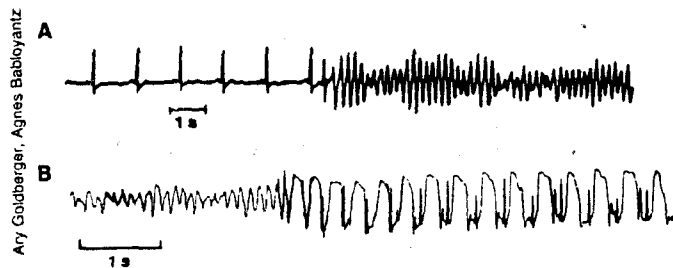


图1 (A) 心脏病发作, 和 (B) 轻度癫痫发作所出现的节律改变

对各种刺激作出反应的适应能力。他说, “健康的系统无需自动调节动态平衡, 这些系统需要浑沌。”

研究人体内浑沌和其他复杂动力学行为的研究人员指出, 更好地洞察人体的节律, 无论是健康的或是有病的, 都将有助于医生更好地诊断和预测疾病。最终目的是根据所掌握的各种不同治疗方式如何影响人体动力学行为的知识, 去改进医疗措施。

迄今有关生理浑沌的最为确认的例子, 不是来自人体, 而是来自Glass, Alvin Shricer和Michael Guevara对小鸡胚胎期的心脏细胞进行的离体研究。这一组细胞按有规则的固有节律自发地跳动, 将一强电刺激作用于这组细胞, 以使下一次跳动提前或滞后于正常跳动(用数学术语来说, 就是重新调节心脏跳动的相位)。

如果这些心脏细胞受到一系列周期性的电击, 它们就会受到两个定时机构, 即它们自己的内部节律和电击节律的推动。最后的心搏取决于该电刺激的时间控制。在某些情况下, 这些心脏细胞将与电刺激同时搏动, 即每电击一下搏动一次, 两次或若干次, 或者每电击二下搏动三次或某个分数值。但在另一些情形, 这些细胞的搏动表面上看是无规的, 决非固定于某一周期节律。这就是浑沌, 即由生理控制机制产生的一种复杂的非周期性的行为。

实验表明, 浑沌可以在一个生理系统中人为地产生。但它能自然地出现吗? 许多研究者对此是肯定的。

Goldberger说: “健康的窦性(心脏)节律是浑沌的。”尽管心搏看起来是很有规则和周期性的, 但它实际上在全天中每秒、每分、每小时都在不规则地变化着。通过数学上分析这些变化, Goldberger得出结论, 它们是浑沌的, 即这些变化是复杂的和不能预言的, 但它们是确定性地起因于心脏调节它的搏动的方式, 而不是起因于这些变化的无规涨落。

而且, 通过健康人与心脏病病人的心电图比较, Goldberger发现, 健康心脏与有病心脏相比, 前者在搏动时显示出更大的可变性。他说, 健康心脏在某种意义上“更为浑沌”。

Goldberger关于心率的数学分析, 涉及计算其频谱, 即测量心率涨落中的不同节律。例如, 某些病人的心率几乎是不变的, 在这种情况下, 频谱曲线近似为零。这表明, 心率几乎无涨落。另一些病人的心率则按某种有规则的类型或加快或减慢, 在频谱上显示为单个尖峰脉冲, 因为对应于这种涨落仅有单一的节律。

Goldberger说, 健康人的频谱显示出所有周期的节律是按 $1/f$ 分布排列的。(在 $1/f$ 频谱上, 某一特定频率的节律的强度与频率的某次幂成反比。)他还说, $1/f$ 分布是一种启发性的(但不是结论性的)正常心脏中的浑沌证据。

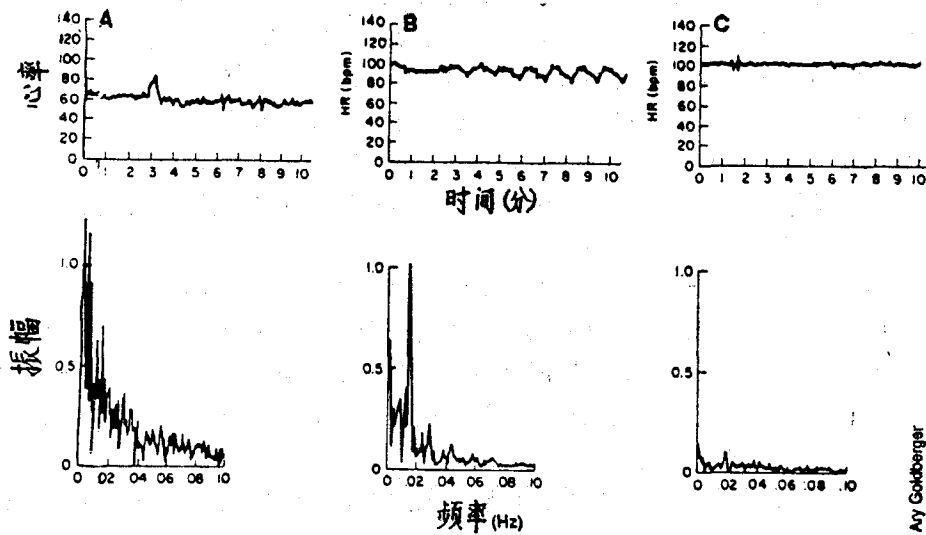


图2 三种心搏的心率和频谱：(A) 正常的；(B) Cheyne-Stokes 气喘时的节律；(C) 几乎为常值

他说，心脏浑沌的最有力证据在于心脏的结构。把电信号带至心室的那些神经，是一系列的分枝状结构，很象植物的根系。象这样的构形称为分形结构 (fractal structure)。整个心脏（还有身体的其他部位，如肺和循环系统等）似乎在设计上也是分形的。在1985年的一篇文章中，Goldberger, Valmik Bhargava, Bruce West 和 Arnold Mandell 证明了指挥心脏的那些神经，其分形结构如何能导致心率的 $1/f$ 频谱。“如果你承认我们的解剖结构是分形的，那就差不多可说这些系统的一天又一天的工作是分形的”，Goldberger说，而分形行为和浑沌是同一枚硬币的两面。

Goldberger的工作尚未为大部分医学界所接受。“纤颤是不是浑沌的问题，在我心目中并不是个问题”，一位著名的心脏动力学研究者说，“浑沌是时髦的，但对于浑沌的兴趣实际上已超前于事实”。甚至 Glass 在证实了小鸡心脏细胞中的浑沌后，也认为对于正常、健康心脏中的浑沌情形也远没有得到证明。“可以肯定，心脏可以大大改变它的心率，但我并未看到任何迹象表明，这种可变性与确定性浑沌有关。”他指出， $1/f$ 频谱并不必然地意味着浑沌，并说他认为心脏的分形结构“与浑沌的节律绝无任何关系。”

许多异议集中在难于证明，涨落的生理行为实际上是浑沌，而并不只是人体内某些无规信号的偶然结果。尽管贬低浑沌的人承认人体可能具有复杂的动力学行为，但他们争辩说，Goldberger所研究的涨落很可能只是正常的噪声和任何生物系统的不规则性。

关于生理浑沌的情形并不止于心脏，例如，一些研究者声称已在脑电图信号中发现了浑沌。他们说，浑沌在脑中或许起了某种类似于 Goldberger 所提出的浑沌在心脏中所起的作用——它提供能使器官对各种刺激作出快速反应的一种健康的可变性。

布鲁塞尔自由大学的 Agnes Babloyantz 分析了正常脑和处于癫痫发作的脑的脑电图，得出结论：两种信号均呈现浑沌。此外她还发现，一个正常的脑远较一个处于癫痫发作的脑的脑电图更为浑沌，这意味着癫痫发作伴有脑电活动可变性的损失。

Babloyantz专门研究了每个脑电图的相空间图，并计算了它们的维数。正常脑处于深度睡眠时，维数大约为4，相比之下，癫痫发作时维数约为2。病人醒着时所获得的脑电图，要比睡着时的浑沌得多，她未能测得其维数，由此作出结论：正常脑的脑电图是十分复杂的，但在熟睡时，其行为要简单得多，而在癫痫发作时则变得非常规则而有周期性。

加利福尼亚大学伯克利分校的Walter Freeman争辩说，浑沌对脑起着准备状态的作用，使脑作好准备接受新的输入。他认为，脑的正常背景活动是浑沌的，而精神活动的发生则如同在这浑沌背景上加上了一些图象。

Freeman的证据来源于对录自兔子嗅球的脑电图信号的研究结果，记录信号时让兔子嗅曾使它发生条件反应的香水。在与巴黎Ecole综合工业大学的Christine Skarda的合作中，他观察了从安装在一块嗅球上的64个探测器得到的脑电图自动记录，发现，每一种指定的香水诱发出一种特殊的脑电图响应空间图象。每只兔子的脑电图图象是确定的，但对于同一种香水而言，各个兔子的脑电图图象是不同的。

Freeman和Skarda考察了产生香水识别图象的嗅球的背景活动，并提出了嗅觉系统的一个简单模型，它能产生非常类似于对兔子观察到的背景活动。这个模型也能极象兔脑那样对香水作出反应。因这模型的背景活动是浑沌的，研究者们得出结论：兔脑中嗅觉部分的背景活动也是浑沌的。Freeman和Bob van Dijk后来报道了猴子视皮质的类似脑电图活动。

Freeman和Skarda在一篇概述他们从兔子实验中获得的结论的论文中写道，“浑沌为系统提供一个确定性的‘我不知道’状态，在此状态中可能产生新的活动图象，当脑处于浑沌状态时，它能迅速与其他任何图象（例如对兔子提供一种能引起它反应的香水所产生的图象）相接通。“在这个嗅觉系统中，浑沌背景状态向该系统提供连续的可扩充状态（open-endedness）和准备状态，使其不仅对熟悉的输入而且对完全新的输入作出反应。”

宾夕法尼亚医学院的Paul Rapp的工作与Freeman关于脑如何活动的想法十分相符。Rapp从进行各种不同工作的受试者身上取得的脑电图，计算其分维。如同Freeman在鼠身上和Babloyantz在人身上发现的那样，Rapp说，他也发现了“脑电活动的维数随认识活动的变化而变化。”在一次实验中，Rapp先让受试者闭眼静躺着，同时记录其脑电图，然后再让他们从事脑力工作，即从700开始每隔7倒着数，同时记录其脑电图。静息时的脑电图维数大约为2.3，而在作数数目试验时上升到大约2.9，这说明，较活跃的精神状态对应于较高维数的脑电图。Rapp说这种维数的变化是可重复的。

在第二组实验中，Rapp让受试者听一组无规音调的声音，要他们或是只数高音数目而不管低音，或反过来只数低音数目而不管高音。他说，通过监视脑电图，他能准确分辨出受试者听的是哪一种音调——要求受试者计数的这些音较之那些不予计数的音，引起的脑电图维数要低。Rapp说，这是因为当受试者听指定的音时，其脑集中在该信号上，并进入一个复杂性较低的状态；当受试者听非指定的音时，其脑仍在工作，等待着下一个音，因而处在较高维的等待状态。

研究者们认为，除了心脏与脑的电活动以外，浑沌在其他各种生理系统中可能也有作用。例如，某些白血病人中，白血细胞数目在各个星期间有明显的涨落。Goldberger说，这也许代表着浑沌的损失——正常、健康人的白血细胞数目有浑沌态涨落，而白血病癌症患者的白血细胞则有周期性的振荡。

（下转第385页）

THE 9TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLASMA CHEMISTRY (ISPC-9)

(Sept. 4—8, 1989. Pugnochiuso, Italy)

Wu Cheng-kang

Institute of Mechanics, Academia Sinica

Abstract A brief summary of the papers and activities of the 9th international symposium on plasma chemistry is presented. Some views on the development in this field are given.

Keywords *plasma chemistry; thermal plasmas; non-equilibrium plasmas*

(上接第 434 页)

加利福尼亚大学洛杉矶分校的 Alan Garfinkel 认为, 人体内的浑沌或许是避免严格的周期性行为的一种方式, 这种周期性行为可能十分有害。浑沌的这种功能, 他称之为“主动消除同步”, 类似于一队士兵过桥前的碎步行走方式, 以便使他们的行进不至于跟桥发生共振而使桥坍塌。例如, 肌肉起动时, “如果其中的各个运动单元周期性地启动, 则它们可能趋于同步, 产生不希望有的振颤。因此, 很可能在持续收缩中存在一种主动消除同步的机制, 把运动单元的这些时间控制作用扩大到肌肉活动的整个时间间隔。”

Goldberger 认为, 帕金森病——其特征是肌肉振颤的不能控制——很可能是某系统损失了可变性所引起的。此外他推测, “衰老或许涉及可变性和频谱储备的损失——维数的损失”。青年比老年更为浑沌。

对离体生长的垂体细胞的实验表明, 健康细胞服从其作为自然调节器的化学指令, 但肿瘤细胞则具有对这种调节器不作反应的节律活动。它们的行为局限于一固定的节律。

甚至在此领域中最热情的研究人员也认为, 要经过很长时间之后, 对人体复杂动力学行为的这种日益增长的了解才会在较好的诊断和治疗方面获取报偿。“实验室和临床之间的差失”。距是巨大的”, Rapp 说。一些可能的应用已经在进行讨论中。

首先很有可能的应用是诊断。Goldberger 希望, 通过心电图的降维试验, 医生们最终将能检出那些最有心脏病发作危险的病人。同样类型的试验也许能预测癫痫病的快要发作。

对人体节律的深入了解也许有助于改进现行的治疗效果。Glass 和 Mackey 在《从时钟到浑沌: 生命的节律》(见 675 页) 中认为, 当今慢性骨髓性白血病病人的存活率不超过 1910 至 1948 年的水平, 其原因之一是白血细胞数目存在着振荡, 这一点医生们在治疗中并没考虑进去。他们写道, “一种可能的解释是, 有些病人由于进行治疗而死, 却死得比不去管他们还要快得多, 而另一些病人则能使自己的寿命延长”。他们认为, 了解白血细胞控制系统的自然节律, 可能导致更为有效的治疗。最终医生们会将关于自然生理节律的知识应用于象安放心脏起搏器、给病人服用胰岛素、抑制振颤、医治癫痫病人, 甚或调节不同步的生理节律之类的措施。参考文献 (6 篇略)

王振明译自: *Science*, 243 (3 Feb., 1989): 604—607. (俞稼槎校)