

# 负熵概念在医学临床研究中的应用

胡长安

(湖北医学院物理教研组)

近年来,在生命体系中应用负熵(即熵值的减少)概念定量地描述系统的状态及其组织程度方面,取得了具有实际意义的进展。

负熵,是在信息论中为阐明信息量的物理意义而沿用的一个据认为是必要的概念。在信息论中,人们为了量度被传递信息的量的多少,定义信息量为不确定性减少程度的量度。根据这一定义,人们把描述“不确定性减少”的信息一词,引伸为描述宇宙中存在的关于物质由离散混乱状态趋向有特定组织结构的自然过程的概念,即描述熵减少的过程的概念。这样就使得具有负熵内容的信息量概念超出了工程通信领域,在自然科学各个方面开展了广泛的探讨与研究,最先崭露头角,并取得一系列研究成果的,是具有熵减少过程的生命体系方面的研究。其中之一是关于应用负熵的观点来定量地研究机体中某些系统的功能状态,本文将重点讨论这一方面研究的有关问题。

在研究生命体系的代谢活动中,可以把机体看成是一个开放系统。生命体系不断从外部吸取信息量(负熵),以便在机体中合成高度有序的结构;与此同时,机体内的有序结构又不断破坏(即熵值在增加)。因此,在有机体内形成一连续的不恒定的信息流,使正常机体中各个局部系统处于存有一定信息的动态稳定状态中。这些系统的状态可以采用具有熵与负熵意义的指标定量表示。我们可以根据这些指标数值的增减,来判断系统功能状态变化方向是趋向巩固与激活,或者是趋向瓦解与衰落。这些指标的定义如下:设组成系统的元素 $x_i$ 为一集合 $Q$ ,各个元素 $x_i$ 的概率 $P(x_i)$ 之和等于1,即系统满足条件

$$\bigcup_{i=1}^m x_i = Q, \quad \sum_{i=1}^m P(x_i) = 1, \quad (1)$$

而这个集合的不确定程度可以由熵函数<sup>[1]</sup>

$$H(P_1, P_2, \dots, P_m) = - \sum_{i=1}^m P(x_i) \log P(x_i) \quad (2)$$

表示。熵函数在信息论中称为信息熵。在各元素的概率相等时,信息熵具有最大值

$$\begin{aligned} H_{\text{Max}} &= - \sum_{i=1}^m P(x_i) \log P(x_i) \\ &= -m \left( \frac{1}{m} \log \frac{1}{m} \right) = \log m, \end{aligned} \quad (3)$$

其中,当对数的底为2时熵的单位为比特。

在研究机体中系统的状态时,人们用最大信息熵 $H_{\text{Max}}$ 表示系统内部的有序结构瓦解到最大限度(最大混乱程度),而用信息熵 $H$ 表示系统结构处于某种程度的有序状态,这种有序性的相对程度可以由剩余度

$$R = (H_{\text{Max}} - H) / H_{\text{Max}} \quad (4)$$

表示。(4)式中分子代表相对于最大信息熵的负熵值。

有机体中一些局部系统在正常情况下,各自具有表征正常状态的一定 $H$ 值与 $R$ 值,我们把这样的系统称为信息系统。当机体处于病变情况下,或者当机体对外界出现的危险作出保护性反应时,信息系统的信息指标( $H, R$ )将发生变化。原则上说,这些数值的变化是具有一定趋向的。实验表明<sup>[2]</sup>,在机体中有一类信息系统,它们的熵值的变化具有热力学中熵增原理的典型倾向,即它们的信息熵值会随着疾病的恶化而增加,另一方面也会随着疾病的好转而减少。我们举一例子说明这一情况。在研究心肌梗塞患者病情发展过程中的状况时,分析

了血清中蛋白质谱 ( $x_1 =$  白蛋白,  $x_2 = \alpha_1$ -球蛋白,  $x_3 = \alpha_2$ -球蛋白,  $x_4 = \beta$ -球蛋白,  $x_5 = \gamma$ -球蛋白) 的百分含量 [作为概率  $P(x_i)$ ] 变化, 得出

在疾病进程中血清蛋白质谱这一信息系统的信息指标变化 (见表 1)。

结合临床其它诊断手段分析, 病人在病程

表 1

信息指标	健康人血 (对照组)	得 病 天 数				
		1—2 天	3—7 天	8—15 天	16—30 天	31—60 天
$H$ (比特)	1.562	1.909	2.032	2.105	2.005	1.916
$R$	33%	18%	13%	9%	14%	17%

开始阶段, 系统的信息熵有很大的增加, 信息储存(负熵, 由剩余度  $R$  表示) 有很大的消耗, 这表明此信息系统稳定状态向不利方向(无秩序性) 发生偏移。病程最危险的时期为第 8 至第 15 天, 因为在此期间信息储存降低到 9%, 是整个观察时期的最低值。随后有好转的趋势。

各种病例的临床研究表明, 在机体内还存在一些类似的信息系统, 它们的信息指标可以用作疾病诊断与治疗效果检验的定量指标。例如, 在急性白血病患者血清中脂质谱(磷脂、自由型胆固醇、甘油一、二脂、甘油三脂和脂型胆固醇) 的信息指标 ( $H = 2.208$  比特,  $R = 5\%$ ), 较健康人的相应信息指标 ( $H = 2.087$  比特,  $R = 11\%$ ) 有稳定而又显著的改变, 它表现出一种可以作为对急性白血病患者最佳确诊手段, 它可以确定用普通方法所不能揭示的病态<sup>[2]</sup>。

另一方面, 由于有机体及其中各个局部系统都是开放系统, 彼此之间有着信息的传递与交换, 在机体内控制系统的作用下, 可以使得某些系统获得信息的补偿与支持, 因而并不都能表现出信息熵值有随疾病恶化而增高的倾向。研究表明, 在机体中还存在着另一些信息系统, 它们的熵值随着疾病的恶化而有减少的情况。例如, 血清中硫醇谱的信息熵值, 就是随着疾病的

恶化而减少的。此外, 据认为, 与某些疾病有关的相应信息系统, 它们的信息指标并不随疾病的进程而有明显的变化; 特别是, 从理论上分析, 对于信息系统内任意两元素的概率值在互易的情况下, 显然应为病态, 但系统的熵值不变 [参看(2)式]。这些实验资料以及理论问题, 都还有待研究解决。

利用负熵概念研究信息系统疾病状态的重要理论意义<sup>[3,4]</sup>, 在于它能够对医学中过去认为零乱庞杂难以概括的实验数据作出综合统一的判断, 并给过去对疾病的经验分析方法赋予物理内容, 且有可能使得对生命体系的研究形成一门定量的理论学科。因此继续广泛地开展这方面的研究, 积累充分的具有代表性的各种情况的实验资料, 以便作出完善的理论分析与实际可行的应用方案, 是很有必要的。

### 参 考 文 献

- [1] F. M. Reza, An Introduction to Information Theory, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, (1961), 77.
- [2] В. А. Бандарин, Е. П. Иванов и др., Теория информации в медицине, Ч. I и III, (1973).
- [3] L. Brillourin, Information and Science, Academic Press, New York, (1962), 116.
- [4] А. М. 罗斯著, 钟义信等译, 信息与通信理论, 人民邮电出版社, (1979), 92.