

# 中医五脏供能物质和能流变化的动力学特征<sup>\*</sup>

张启明<sup>①</sup>, 王永炎<sup>②</sup>

①教授, ②中国工程院院士, 中国中医科学院, 中医临床基础医学研究所, 北京 100700

\* 国家自然科学基金(No. 30271564)和国家中医药管理局中医药科学技术研究基金(No. 2000-J-P-05)资助

**关键词** 供能物质 能流 数值仿真 关系结构 中医学

**目的:**介绍一种体现人与自然环境交融且能定量揭示生命、健康和疾病机制的人体结构。**方法:**依据中医五脏的生克关系建立数学模型, 基于新陈代谢的统计数据, 数值仿真五脏供能物质和能流的季节性变化, 并与中国气候的变化规律做了比较。**结果:**脾、肺、肾、肝、心五脏的供能物质的波峰分别位于公历的7月、10月、1月、4月和7月, 能流的波峰延迟1/4年。在由供能物质和能流张成的相平面上, 轨线不断重复但从不真正重复。**结论:**中医认识的人体结构是以供能物质和能流为实体媒介的五脏生克关系结构。这种结构使得供能物质和能流的变化与中国气候的季节性变化有同样的动力学特征。对供能物质和能流的定量检测可能是揭示生命、健康和疾病机制的新方法。

肺脏的呼吸潜能不同于大脑的思维潜能, 这是因为他们的解剖结构不同。但要使潜能发挥出来成为可观测的功能, 以物质和能量为实体媒介的内外关系协调是必要的。受中国传统文化重道轻器思想的影响和封建礼教的禁锢, 中医解剖学没有得到应有发展。但是, 鉴于人体来自自然界并适应自然界的各种变化, 中医学提出了“天人相应”原理, 即人体与他来自的自然界在组成结构和运动规律上相互对应, 具有相似性。这种部分与整体的自相似现象在人体及自然界普遍存在且受现代混沌科学和分形理论的支持<sup>[1,2]</sup>。基于该原理, 中医学运用从自然界总结的五行学说为原始模型认识生命、健康和疾病, 形成了具有同样生克关系的五脏学说。本文基于五脏之间的生克关系建立数学模型, 并依据新陈代谢的统计数据数值仿真, 发现模型的动力学特征不仅符合中医学的传统认识, 而且符合中国气候的季节性变化规律。如果说西医学更关注组织器官的解剖结构改变引起的功能改变, 那么, 中医学更强调以供能物质和能流为实体媒介的协调关系改变引起的功能改变。这一以供能物质和能流为实体媒介的关系结构, 可能是不同于西医学的解剖结构但能定量揭示生命、健康和疾病机制的新方法。

## 1 中国古代哲学思想

阴阳学说、五行学说和元气论本为中国古代的哲学思想, 因为中医学借以阐释人体的组成结构、生理功能和疾病诊治规律, 所以有必要先做简要介绍。

### 1.1 阴阳学说

阴、阳的最初含义可能是指日光的向背, 背日为阴, 向日为阳。后来引申到寒与热、暗与明、下与上、重与轻等许多方面, 而发展成哲学概念。根据中医文献, 平静、迟缓、柔和、寒凉、湿润、晦暗、有形、浑浊、沉重、在下、在内、下降、收缩为阴的属性, 躁动、迅急、刚烈、温热、干燥、明亮、无形、清澈、轻便、在上、在外、上升、离散为阳的属性。因为属性表征事物所处的状态, 事物的状态又是由能流(单位时间内流过事物的能量)来维持的, 容易发现, 传统意义的属性属阴的事物的能流较低或正在下降, 属性属阳的事物的能流较高或正在上升, 故取  $X$ 、 $Y$  分别表示阴、阳的属性集合, 那么

$$X = \{x | x \text{ 为能流较低或正在下降的事物表现的属性}\}$$

$$Y = \{y | y \text{ 为能流较高或正在上升的事物表现的属性}\}$$

$X$  与  $Y$  之间存在对立统一关系, 是一类特殊矛盾<sup>[3]</sup>。

### 1.2 五行学说

类似于古希腊关于自然万物是由土、气、水、火组成的四元素说, 中国古人认为自然万物是由木、火、土、金、水组成。后来通过抽取五种物质的属性, 如木的生发、条达, 火的温热、上升, 土的承载、化育, 金的沉降、肃杀, 水的滋润、寒凉, 并借以对自然万物进行分类和说明他们之间的关系而发展为哲学概念。五行之间存在着图1(a)所示的递相资生和递相克制关系。尽管这种生克关系的原始解释有些牵强, 却表达了任何一个生物体同其

环境间的最一般关系。事实上,一个生物体同其环境间的关系可分为两类,一类是环境对生物体的作用,包括促进和抑制两种作用;另一类是生物体对环境的作用,也包括促进和抑制两种作用,而这恰好是任一行与其余四行之间的关系。

五行学说被中医学用于总结古代解剖知识、生理现象和疾病诊治规律,形成了具有同样生克关系的五脏学说。见图 1(a)。具有递相资生关系的相邻两脏分别称为母脏和子脏,如肺为脾之子脏,脾为肺之母脏;具有递相克制关系的相邻两脏分别称为所胜脏和所不胜脏,如肾为脾的所胜脏,脾为肾的所不胜脏。就功能而言,脾类似于消化系统和运动系统,肺类似于呼吸系统,肾类似于泌尿系统,心类似于心脏和大脑皮质,肝类似于下丘脑、网状结构、边缘系统、视觉传导路、本体觉传导路、前庭系统、听觉传导路和运动传导路<sup>[4-8]</sup>。

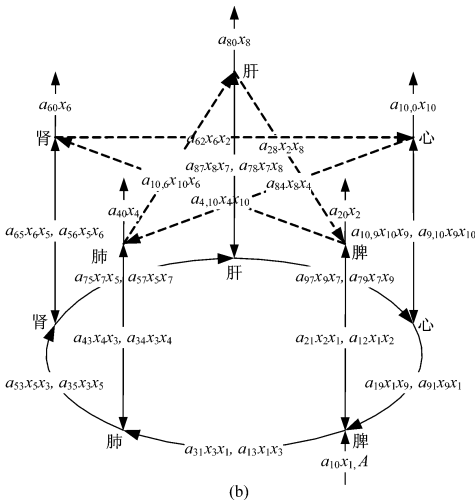
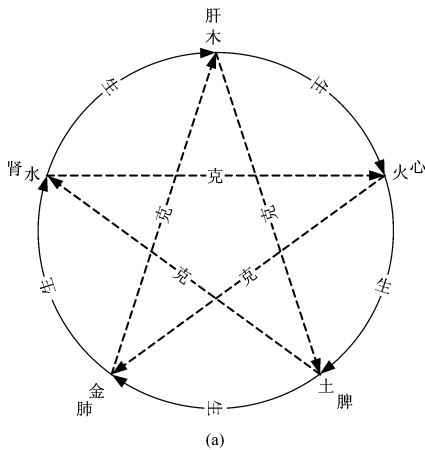


图 1 五行及五脏间的生克关系图

(a) 表征了土、金、水、木、火五行与脾、肺、肾、肝、心五脏的对应关系,及五行或五脏之间的生克关系;(b) 表征了以供能物质和能流为实体媒介的五脏生克关系

### 1.3 元气论

对应于古希腊“原子论”强调由原子组成的物体的个体性、间断性、有形性、结构性和组合性,中国“元气论”注重由气组成的物体的整体性、连续性、无形性、功能性和化生性。精和形是气的两种存在形式,无形态可见的精细之气谓之精,有结构可察的有形之体谓之形。气的各种运动统称为神。

精、气、形、神概念被引用于中医学后,仍带有哲学的印记:形即人的形体本身,精、气泛指构成人体和维持人体生命活动的营养物质,神是人体各种生命活动的总称。于是,整个机体可分为物质性的精、气、形,和功能性的神两部分。能够化生能量维持人体生命活动的营养物质主要是碳水化合物、脂肪和蛋白质(即供能物质),故以之代表维持人体生命活动的精、气。他们有形质,相对静止,为阴的属性。人体的各种生命活动是由单位时间内流过人体的能量(即能流)维持的。生理状态下,能流越大功能越强,故以能流的变化刻画神的盛衰。能流无形质,相对运动,为阳的属性。这种处理既符合中医学的传统认识,又容易实行可操作性的检测<sup>[9,10]</sup>。

精、气、形、神之间的关系见图 2。图 2 表征了机体从外界摄取营养物质,向外界排泄代谢废物,及营养物质与有形之体和生命活动之间的转换关系。中医学将有形之体与营养物质的转换称为聚散运动,将生命活动中机体与外界进行的物质能量交换称为升降出入运动。

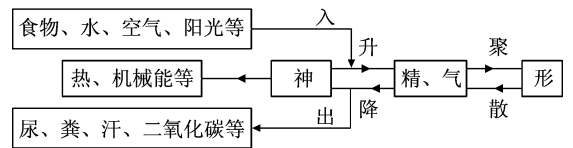


图 2 人体精气形神关系图

### 2 数学模型的构建

生态食物链与五脏存在五个类似特点,参见图 3。  
 ①绿色植物借助根、茎、叶从环境中吸收营养物质,是食物链的营养来源;脾借助胃、小肠、大肠从体外摄取饮食食物供养其他各脏。  
 ②绿色植物在夏末秋初,由于阳光充足,温度、湿度适宜,发展至最盛。脾盛于夏秋之交;食草动物盛于秋季,肺亦盛于秋季。  
 ③食物链的相邻营养级存在供养关系,五脏中的相邻两脏亦存在供养关系。

④食物链各营养级间可存在偏害关系,即某营养级能抑制另一营养级的生长,却不受另一营养级的直接影响。五脏间存在相克关系,一脏能抑制其所胜脏的发展,却不受所胜脏的直接影响。⑤两系统的生存环境均处于相对稳定的周期性变化之中,如光照度的四季节律性变化。

图3比较生态食物链与五脏的相似性,利用逻辑学的类比原则认识五脏供能物质与能流间可能具有的数量关系。为参照生态食物链的Lottaka-Volterra模型建立五脏生克关系模型提供依据。

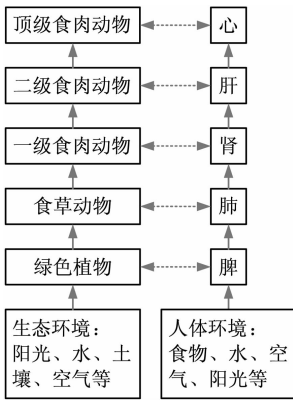


图3 食物链与五脏的对应关系图

依据逻辑学的类比原则,中医五脏可能具有食物链的如下特性:①由于供给某营养级的营养一般不能被全部吸收利用,而吸收利用的营养主要用于氧化供能,使得相邻营养级的营养同化量之比约为10%(又称Linderman“百分之十定律”)。②在营养供给方向上,相邻营养级的现存量约按一个数量级递减,又由于绿色植物现存量的有限性,使得食物链的长度多为3~4个营养级,一般不超过5级。③食物链的相邻营养级之间的关系可表达为Lottaka-Volterra微分方程模型。

以 $x_1, x_3, x_5, x_7, x_9$ 分别表示脾、肺、肾、肝、心的供能物质(单位“千卡”),以 $x_2, x_4, x_6, x_8, x_{10}$ 分别表示单位时间内流过脾、肺、肾、肝、心的能量(单位“千卡/年”)。考虑到每一脏都可分为供能物质和能流两部分,将五脏之间的生克关系表达为图1(b)。

依据供能物质与能流之间的协调关系,脾的供能物质越多(如形体高大之人),则其需要和能够从体外摄取供能物质的量越大,故称 $a_{10}x_1$ 为脾从体外瞬时吸收的供能物质质量。

类似于捕食种群的营养供给量正比于捕食与被捕食种群相遇的联合概率,某脏供能物质越多,则越有条件供养子脏,且对母脏供能物质的需求量越大(如维

持其功能的消耗),故称 $a_{13}x_1x_3, a_{35}x_3x_5, a_{57}x_5x_7, a_{79}x_7x_9, a_{91}x_9x_1$ 分别为脾、肺、肾、肝、心因供养子脏瞬时消耗的供能物质质量, $a_{31}x_3x_1, a_{53}x_5x_3, a_{75}x_7x_5, a_{97}x_9x_7, a_{19}x_1x_9$ 分别为肺、肾、肝、心、脾因母脏供养瞬时同化的供能物质质量。

生理状态下,某脏供能物质越多,单位时间内为维持其自身功能(维持体温及发挥功能)需要化生的能量越多,故称 $a_{12}x_1x_2, a_{34}x_3x_4, a_{56}x_5x_6, a_{78}x_7x_8, a_{9,10}x_9x_{10}$ 分别为脾、肺、肾、肝、心因维持自身功能瞬时消耗的供能物质质量, $a_{21}x_2x_1, a_{43}x_4x_3, a_{65}x_6x_5, a_{87}x_8x_7, a_{10,9}x_{10}x_9$ 分别为脾、肺、肾、肝、心单位时间内消耗自身供能物质实际化生的能量的瞬时变化量。

五脏供能物质化生的能量,一方面主要用于维持其功能,并最终主要以热或机械能形式排出体外,因单位时间内维持某脏功能所需能量越多,以热或机械能形式排泄的能量就越多,故称 $a_{20}x_2, a_{40}x_4, a_{60}x_6, a_{80}x_8, a_{10,0}x_{10}$ 分别为维持脾、肺、肾、肝、心的生理功能,单位时间内以热或机械能形式排泄的能量的瞬时变化量;另一方面,剩余能量用于五脏之间的克制造成的消耗,可视为五脏间功能的非绝对协调引起。生理状态下,若甲脏克制乙脏,则甲脏功能越强,对乙脏克制越强;乙脏功能越强,受甲脏的克制亦越强,以维持五脏系统的相对稳定,故称 $a_{28}x_2x_8, a_{4,10}x_4x_{10}, a_{62}x_6x_2, a_{84}x_8x_4, a_{10,6}x_{10}x_6$ 分别为脾、肺、肾、肝、心单位时间内因所不胜脏的克制消耗的能量的瞬时变化量。

概括起来即得五脏供能物质与能流生克关系模型如下<sup>[11]</sup>:

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= a_{10}x_1 - a_{12}x_1x_2 - a_{13}x_1x_3 + a_{19}x_1x_9 \\ \frac{dx_2}{dt} &= -a_{20}x_2 + a_{21}x_2x_1 - a_{28}x_2x_8 \\ \frac{dx_3}{dt} &= a_{31}x_3x_1 - a_{34}x_3x_4 - a_{35}x_3x_5 \\ \frac{dx_4}{dt} &= -a_{40}x_4 + a_{43}x_4x_3 - a_{4,10}x_4x_{10} \\ \frac{dx_5}{dt} &= a_{53}x_5x_3 - a_{56}x_5x_6 - a_{57}x_5x_7 \\ \frac{dx_6}{dt} &= -a_{60}x_6 - a_{62}x_6x_2 + a_{65}x_6x_5 \\ \frac{dx_7}{dt} &= a_{75}x_7x_5 - a_{78}x_7x_8 - a_{79}x_7x_9 \\ \frac{dx_8}{dt} &= -a_{80}x_8 - a_{84}x_8x_4 + a_{87}x_8x_7 \\ \frac{dx_9}{dt} &= a_{91}x_9x_1 + a_{97}x_9x_7 - a_{9,10}x_9x_{10} \\ \frac{dx_{10}}{dt} &= -a_{10,0}x_{10} - a_{10,6}x_{10}x_6 + a_{10,9}x_{10}x_9 \end{aligned} \tag{1}$$

其中  $a_{ij} (i=1,2,\dots,10, j=1,1,2,\dots,10)$  为待定系数矩阵。

$$\frac{1-p}{1-d} = 0.05 \tag{5}$$

### 3 初始值的确定

传统中医认为,脾、肺、肾、肝、心依次盛于每年的长夏(?)、秋、冬、春、夏,这等于告诉了我们  $x_i (i=1,2,\dots,10)$  的变化规律。故确定初始值的过程应是常微分方程初值问题的反问题。

模型的右端是双线性的。故存在  $2^{10}$  个可能的平衡点,但正平衡点只有一个,且由系数矩阵  $a_{ij}$  唯一决定。对于一个确定的正平衡点,可能存在无穷多个系数矩阵与之对应,但若所有系数的变化仅取决于其中的一个,则系数矩阵与正平衡点是一一对应的,亦即由正平衡点决定的系数矩阵  $a_{ij}$  是唯一的。

生理状态下,尽管各脏供能物质与能流在一年中的不同季节存在波动,但这种波动的幅度相对于其各自的平衡值来说应该是很小的,否则难以解释各脏于每季都能维持的相对稳定的功能状态,故先令  $x_i (i=1,2,\dots,10)$  为正常数。显然,对应于由此获得的系数矩阵  $a_{ij}$ ,这时  $a_i$  就是平衡值。为了使问题简化(下文(4)、(6)、(12)、(15)式亦做类似处理),先取各脏对其母脏供给的供能物质的吸收利用率均为  $p$ (这里也取脾对体外环境供给的供能物质的吸收利用率为  $p$ ),若设体外环境对机体供能物质的瞬时供给量为  $A$ ,则有

$$\frac{a_{10} x_i}{A} = \frac{a_{31} x_3 x_1}{a_{13} x_1 x_3} = \frac{a_{53} x_5 x_3}{a_{35} x_3 x_5} = \frac{a_{75} x_7 x_5}{a_{57} x_5 x_7} = \frac{a_{97} x_9 x_7}{a_{79} x_7 x_9} = \frac{a_{19} x_1 x_9}{a_{91} x_9 x_1} = p \tag{2}$$

据最新知识<sup>[12]</sup>,成人每日摄取的食物中约有以未消化食物的形式随同粪便排出体外,故有

$$[(A - a_{10} x_1) + (a_{13} - a_{31}) x_1 x_3 + (a_{35} - a_{53}) x_3 x_5 + (a_{57} - a_{75}) x_5 x_7 + (a_{79} - a_{97}) x_7 x_9 + (a_{91} - a_{19}) x_9 x_1] / A = 0.05$$

联系(2)得

$$(1-p)(a_{10} x_1 + a_{31} x_3 x_1 + a_{53} x_5 x_3 + a_{75} x_7 x_5 + a_{97} x_9 x_7 + a_{19} x_1 x_9) = 0.05 a_{10} x_1 \tag{3}$$

流入某脏的供能物质,一方面主要用于化生(生物氧化)能流维持其功能,另一方面供养子脏的供能物质一般不能被全部吸收利用,使得供能物质在逐脏传递过程中必然越来越少。取

$$\frac{a_{31} x_3 x_1}{a_{10} x_1 + a_{19} x_1 x_9} = \frac{a_{53} x_5 x_3}{a_{31} x_3 x_1} = \frac{a_{75} x_7 x_5}{a_{53} x_5 x_7} = \frac{a_{97} x_9 x_7}{a_{75} x_7 x_9} = \frac{a_{19} x_1 x_9}{a_{97} x_9 x_7} = d \tag{4}$$

代入(3)得

因供能物质一般不能完全氧化供能,故取某脏因维持自身功能单位时间内实际化生的能量的瞬时变化量与瞬时消耗的供能物质量之比为  $q$ 。

$$\frac{a_{21} x_2 x_1}{a_{12} x_1 x_2} = \frac{a_{43} x_4 x_3}{a_{34} x_3 x_4} = \frac{a_{65} x_6 x_5}{a_{56} x_5 x_6} = \frac{a_{87} x_8 x_7}{a_{78} x_7 x_8} = \frac{a_{10,9} x_{10} x_9}{a_{9,10} x_9 x_{10}} = q \tag{6}$$

据文献<sup>[12]</sup>,成人每日摄取的食物中约有 3% 因未完全氧化供能随尿排出体外,故有

$$[(a_{12} - a_{21}) x_1 x_2 + (a_{34} - a_{43}) x_3 x_4 + (a_{56} - a_{65}) x_5 x_6 + (a_{78} - a_{87}) x_7 x_8 + (a_{9,10} - a_{10,9}) x_9 x_{10}] / A = 0.03$$

联系(2)、(6)得

$$p(1-q)(a_{12} x_1 x_2 + a_{34} x_3 x_4 + a_{56} x_5 x_6 + a_{78} x_7 x_8 + a_{9,10} x_9 x_{10}) = 0.03 a_{10} x_1 \tag{7}$$

已知健康成人在适当时间内吸收的营养物质除极少量因肠道内皮及皮肤细胞脱落等丢失外,几乎全部用于氧化供能,故取

$$(a_{12} x_1 x_2 + a_{34} x_3 x_4 + a_{56} x_5 x_6 + a_{78} x_7 x_8 + a_{9,10} x_9 x_{10}) / x_{10} x_1 = B \tag{8}$$

于是

$$Bp(1-q) = 0.03 \tag{9}$$

由  $x_i (i=1,2,\dots,10)$  的选取知  $dx_i/dt = 0, (i=1,3,5,7,9)$ ,故由(1)联系(2)、(4)得

$$\begin{aligned} a_{12} x_1 x_2 &= a_{10} x_1 (1-d/p)/(1-d^5) \\ a_{34} x_3 x_4 &= a_{10} x_1 d(1-d/p)/(1-d^5) \\ a_{56} x_5 x_6 &= a_{10} x_1 d^2(1-d/p)/(1-d^5) \\ a_{78} x_7 x_8 &= a_{10} x_1 d^3(1-d/p)/(1-d^5) \\ a_{9,10} x_9 x_{10} &= a_{10} x_1 d^4(1-d/p)/(1-d^5) \end{aligned} \tag{10}$$

(10)式相加并联系(8)得

$$\frac{1-d/p}{1-d} = B \tag{11}$$

将(5)代入(11)知,要使得  $d, p$  值有意义,即  $0 < d < 1, 0 < p < 1$ ,须满足  $0.95 < B < 1$ 。据测定<sup>[13]</sup>,可取  $B = 0.99077$ ,联立(5)、(9)、(11)解方程得

$$\begin{aligned} p &= 0.9588502 \\ d &= 0.1770037 \\ q &= 0.968421 \end{aligned}$$

若取某脏因为所不胜脏的克制造成的能耗与维持其自身功能引起的能耗之比为  $k$ ,

$$\frac{a_{28} x_2 x_8}{a_{20} x_2} = \frac{a_{4,10} x_4 x_{10}}{a_{40} x_4} = \frac{a_{62} x_6 x_2}{a_{60} x_6} = \frac{a_{84} x_8 x_4}{a_{80} x_8} = \frac{a_{10,6} x_{10} x_6}{a_{10,0} x_{10}} = k \tag{12}$$

则因  $dx_j/dt = 1, (j = 2, 4, 6, 8, 10)$ , 而有

$$\frac{a_{20} x_2}{a_{21} x_2 x_1} = \frac{a_{40} x_4}{a_{43} x_4 x_3} = \frac{a_{60} x_6}{a_{65} x_6 x_5} = \frac{a_{80} x_8}{a_{87} x_8 x_7} = \frac{a_{10,0} x_{10}}{a_{10,9} x_{10} x_9} = \frac{1}{1+k} \quad (13)$$

将(2)、(4)、(10)代入(1)得

$$\frac{dx_3}{dx_1} = \frac{dx_5}{dx_3} = \frac{dx_7}{dx_5} = \frac{dx_9}{dx_7} = d \quad (14.1)$$

将(6)、(10)、(12)、(13)代入(1)得

$$\frac{dx_4}{dx_2} = \frac{dx_6}{dx_4} = \frac{dx_8}{dx_6} = \frac{dx_{10}}{dx_8} = d \quad (14.2)$$

从系统发生的角度, 可将五脏近似地看作从无到有协同发展起来的。故取

$$x_1(0) = x_3(0) = x_5(0) = x_7(0) = x_9(0) = 0$$

$$x_2(0) = x_4(0) = x_6(0) = x_8(0) = x_{10}(0) = 0$$

且认为在人体生长发育过程中(14.1)、(14.2)恒成立。由于

$$x_i(m) = \int_0^m dx_i$$

$m$  代表五脏供能物质与能流的变化年数,  $i = 1, 2, \dots, 10$ , 故有

$$\frac{x_3(m)}{x_1(m)} = \frac{x_5(m)}{x_3(m)} = \frac{x_7(m)}{x_5(m)} = \frac{x_9(m)}{x_7(m)} = \frac{x_4(m)}{x_2(m)} = \frac{x_6(m)}{x_4(m)} = \frac{x_8(m)}{x_6(m)} = \frac{x_{10}(m)}{x_8(m)} = d \quad (15)$$

经测定<sup>[14]</sup>, 一个体重为 70 千克的成年男性, 体内存储的可用于供能的组织折合能量约 158 309 千卡, 进行一般代谢每天约需能量 2 600 千卡。由于上述系数矩阵  $a_{ij}$  的选取令  $x_i (i = 1, 2, \dots, 10)$  为平衡值, 故有

$$x_1 + x_3 + x_5 + x_7 + x_9 = 158\,309 \text{ 千卡}$$

$$x_2 + x_4 + x_6 + x_8 + x_{10} = 2\,600 \times 365.25 = 949\,650 \text{ 千卡/年}$$

联系(15)得

$$\begin{aligned} x_1 &= 130310.36 \text{ 千卡} \\ x_3 &= 23\,065.42 \text{ 千卡} \\ x_5 &= 4\,082.66 \text{ 千卡} \\ x_7 &= 722.65 \text{ 千卡} \\ x_9 &= 127.91 \text{ 千卡} \\ x_2 &= 781\,694.25 \text{ 千卡/年} \\ x_4 &= 138\,362.77 \text{ 千卡/年} \\ x_6 &= 24\,490.72 \text{ 千卡/年} \\ x_8 &= 4\,334.95 \text{ 千卡/年} \\ x_{10} &= 767.30 \text{ 千卡/年} \end{aligned} \quad (16)$$

联系(8), 取

$$\int_n^{n+1} a_{10} x_1 dt = 2\,600 \times 365.25 / B = 958\,497 \text{ 千卡/年}$$

$$a_{10} = 7.355\,493 \text{ 年}^{-1} \quad (17)$$

将(16)、(17)代入(2)、(4)、(6)、(12)、(13)即可确定系数矩阵  $a_{ij} (k \text{ 除外})$ 。

在平衡值附近, 从  $x_i (i = 1, 2, \dots, 10)$  中任选一个, 使之大于或小于平衡值, 如取  $x_1$  的振幅  $Am$  为其平衡值的  $1/10\,000$ , 即  $x_1 = 130\,310.36 \times (1 + Am) = 130\,323.39$  千卡,  $x_i (i = 2, 3, \dots, 10)$  取平衡值作为初始值。采用四阶龙格-库塔(Runge-Kutta)法求数值解知, 当  $k < 0.0025$  时, 五脏供能物质与能流稳定波动。其中肺、肾、肝、心之供能物质波动的峰值(或谷值)均较其母脏延迟  $1/4$  周期, 心、脾之供能物质同盛一时, 见图 4(a); 脾、肺、肾、肝、心之能流波动的峰值(或谷值)均较其供能物质延迟  $1/4$  周期, 心、脾的能流同盛一时。

由(16)知, 脾之供能物质约占全身供能物质质量的 80%, 而与中医脾功能相近的消化系统、骨骼肌等, 约占体重的 80%<sup>[14]</sup>, 所以可从体重的变化了解脾之供能物质的变化情况。据报道, 北美的婴儿及德国的学龄儿童的体重变化具有明显的年节律性, 其峰值出现在夏末秋初<sup>[15]</sup>, 故取脾之供能物质盛于此时。

若设  $x_{i,M}, x_{i,0}, x_{i,m} (i = 1, 2, \dots, 10)$  分别代表五脏供能物质、能流的波动峰值、平衡值和谷值, 则依据上述模拟结果应有

$$\begin{aligned} x_1(t_0) &= x_{1,M} \\ x_2(t_0) &= x_{2,0} \\ x_3(t_0) &= x_{3,0} \\ x_4(t_0) &= x_{4,m} \\ x_5(t_0) &= x_{5,m} \\ x_6(t_0) &= x_{6,0} \\ x_7(t_0) &= x_{7,0} \\ x_8(t_0) &= x_{8,M} \\ x_9(t_0) &= x_{9,M} \\ x_{10}(t_0) &= x_{10,0} \end{aligned} \quad (18)$$

其中  $t_0$  为机体发育成熟时心、脾供能物质的最盛之时——夏末秋初。据(18)在平衡值附近重新选取初始值求数值解, 记录  $t_0$  后  $x_i (i = 1, 2, \dots, 10)$  出现的第一个峰值和谷值, 计算各脏供能物质、能流波动幅度的比例关系, 并依据这一比例关系重新调整初始值。这一过程反复进行易知, 当五脏供能物质、能流的相对波动幅度之比如下式时,

$$\begin{aligned} (x_{1,M} - x_{1,m}) : (x_{3,M} - x_{3,m}) / d : \\ (x_{5,M} - x_{5,m}) / d^2 : (x_{7,M} - x_{7,m}) / d^3 : \\ (x_{9,M} - x_{9,m}) / d^4 : (x_{2,M} - x_{2,m}) : \\ (x_{4,M} - x_{4,m}) / d : (x_{6,M} - x_{6,m}) / d^2 : \end{aligned}$$

$$(x_{8,M} - x_{8,m}) / d^3 : (x_{10,年} - x_{10,脾,心的供能物质})$$

的波峰出现在同一时刻,见图 4 = 1 : 3.5926 : 10.705 : (19.5 各脏的能流波峰较其供能物质的波峰延迟 1/4 年, 1.225 : 2.4587 : 13.426 见图 4(b), 36c, 428

$$(19)$$

该比值趋于恒定,且五脏供能物质与能流的波动轨线最规则。

### 4 结 果

①脾、肺、肾、肝、心的供能物质的波峰依次延迟 1/4

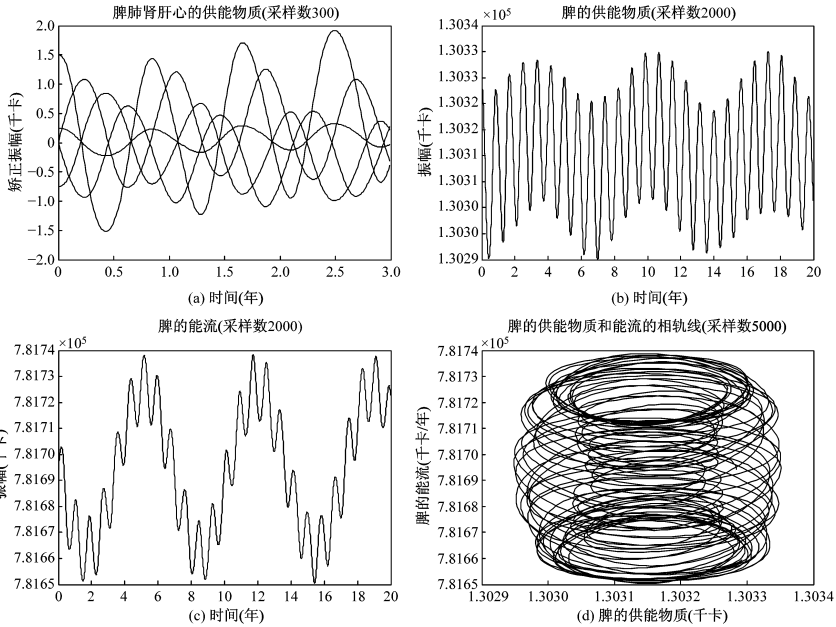


图 4 五脏供能物质与能流的波动规律

(a) 表征了脾、肺、肾、肝、心的供能物质的波峰依次延迟 1/4 年。脾、心的供能物质的波峰出现在同一时刻。(b)、(c) 表征了脾的供能物质的波动主周期和副周期分别为 1 年和 7 年,脾的能流的波动主周期和副周期分别为 7 年和 1 年,能流波峰较其供能物质的波峰延迟 1/4 年。(d) 表征了在由供能物质和能流张成的相平面上,轨线不断重复但从真正重复。随着时间的延长,轨线将覆盖平衡值附件的区域

### 5 讨 论

若取脾、肺、肾、肝、心的供能物质的波峰分别位于公历的 7 月、10 月、1 月、4 月和 7 月,则一方面明确了中医学中的“长夏”就是季夏(夏季的第三个月),另一方面与

中国的季节性气候变化规律完全一致,印证了“天人相应”原理。事实上,据遍布中国 36 个气象台站 1951~1980 年 30 年间的平均气候资料<sup>[16]</sup>,存在季夏(公历 7 月)最炎热且最潮湿、季秋(公历 10 月)最干燥(接近)、季冬(公历 1 月)最寒冷、季春(公历 4 月)风速最大的规律,见图 5。

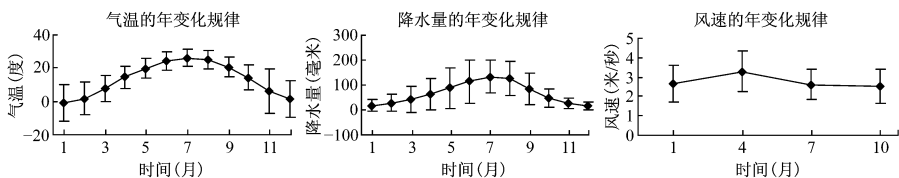


图 5 气温、降水量、风速的年变化规律

在人体,各脏能流的波峰较其供能物质的波峰延迟 1/4 年。在自然界,从单位时间内来自太阳的能量(能流)最大的夏至到夏播作物(主要包含供能物质)成熟时的秋分恰好是 1/4 年。只是在人体,供能物质通过氧化释放能量而使能流的波峰延迟;在自然界,能流结合二氧化碳和水等制造供能物质而使供能物质的波峰延迟。

在由  $x_i (i = 1, 2, \dots, 10)$  中的任意两个张成的相平面上,轨线不断重复,但从真正重复。并随着时间的延长,轨线覆盖平衡解附件的区域。类似于中国气候的季节性变化,既具有周期性又具有随机性。这可能是一种典型的混沌运动。

令(12)式中的每个比值在值附近取值,容易发现标志肝气克脾的比值  $a_{28} x_2 x_8 / a_{20} x_2$  增大对模型稳定性的破坏程度最大。这可能与日常生活和临床实践中常见的郁怒致食欲减退的肝气乘脾现象有关。

容易验证,当(2)、(4)、(6)式中的每个比值在  $p, d, q$  附近且属于理论上允许的范围( $0 < p, d, q < 1$ )取值,  $x_i (i = 1, 2, \dots, 10)$  的波动规律几乎不变;进行一般代谢机体每天需要的营养物质和体内存贮的供能物质在理论上允许的范围变化,  $x_i (i = 1, 2, \dots, 10)$  的波动规律几乎不变;选取  $t_0$  后不同时刻的峰值和谷值,可获得类似(19)的不同比例关系,但  $x_i (i = 1, 2, \dots, 10)$  的波动规律几乎不变;选取不同的  $x_i(t_0)$ , 只要满足  $[x_i(t_0) - x_{i,0}] / x_{i,0} < 0.2\%$  可确定不同的初始值,但除了引起  $x_i (i = 1, 2, \dots, 10)$  振幅的改变外,波动规律不变;若考虑外界环境周期性变化的影响,于(17)中加入周期项,使模型(1)变为时变系统,但  $x_i (i = 1, 2, \dots, 10)$  波动规律不变。这些结果都证明了模型(1)的鲁棒(Robust)性,五脏的供能物质和能流的波动规律应主要取决于五脏之间的生克关系。

概言之,中国气候具有季夏最炎热且最潮湿、季秋最干燥(接近)、季冬最寒冷、季春风速最大的规律。传统中医认为,脾、肺、肾、肝、心常依次在季夏、季秋、季冬、季春、季夏感受湿、燥、寒、风、热而发病,脾、肺、肾、肝、心的疾病又常依次表现为湿、燥、寒、风、热的特点。因此中医建立了脾、肺、肾、肝、心与季夏、季秋、季冬、季春、季夏的依次对应关系,并借以解释所有的生理现象、病理特征和中药功效。例如,湿的黏滞性被用以解释患痢疾时大便中的黏液和排便不畅,痢疾常发生于最潮湿的季夏,常用在最干燥的季秋采收的具有祛湿功效的黄连治疗。本文通过建立数学模型进行计算机数值仿真,发现具有生克关系的五脏供能物质和能流的变化与中国气候的变化具有同样的动力学特征。因此,以供能物质和能流为实体媒介的五脏生克关系结构可能是体现人与自然环境交

融,且能定量揭示生命、健康和疾病机制的重要方法。

(2009年8月15日收到)

- [1] 吴祥兴,陈忠. 混沌学导论[M]. 上海:上海科学技术文献出版社,1996:58.
- [2] 张济中. 分形[M]. 北京:清华大学出版社,1995:7-14.
- [3] 王永炎,张启明,赵亚军. 太极图反映了自然界最基本的周期运动——简谐振动[J]. 自然杂志,2009,32(2):1-4.
- [4] 张启明. 中医肝与现代西医学组织器官的相关性研究[J]. 辽宁中医杂志,2003,30(7):530-531.
- [5] 张连才,张启明. 中医肾与现代西医学组织器官的相关性研究[J]. 辽宁中医杂志,2003,30(8):634-635.
- [6] 张启明. 中医肺与现代西医学组织器官的相关性研究[J]. 辽宁中医杂志,2003,30(9):713-714.
- [7] 张启明,张惠珍. 中医脾与现代西医学组织器官的相关性研究[J]. 辽宁中医杂志,2004,31(1):22-23.
- [8] 张启明,苏振洲. 中医心与现代西医学组织器官的相关性研究[J]. 山东中医药大学学报,2004,28(1):22,33.
- [9] 张启明,田欣. 定义两个能使中医理论定量化的重要概念[J]. 中国中医基础理论杂志,1999,增刊(中):14.
- [10] 张启明,张珍玉. 论阴精阳气与西医学理论的相容性[J]. 山东中医药大学学报,2003,27(4):242-243.
- [11] 张启明,韩京清. 健康成人五脏精气变化规律的数学模拟[J]. 系统工程理论与实践,1998,18(7):130-135.
- [12] [德]W. 亥克尔. 食品化学与营养学[M]. 北京:人民卫生出版社,1985:236.
- [13] [英]R. S. 埃里克里莱斯. 人类疾病生物化学[M]. 北京:人民卫生出版社,1988:94-96.
- [14] 姚磊. 医学实用数据手册[M]. 北京:中国广播电视出版社,1993.94-96.
- [15] 金观源,相嘉嘉. 现代时间医学[M]. 长沙:湖南科学技术出版社,1993.49.
- [16] 张家林,林之光. 中国气候[M]. 上海:科学技术出版社,1985.579-584.

## The Dynamical Features on the Variation of the Energizing Nutrients and Energy Flow of the Five Zangs in Chinese Medicine

ZHANG Qi-ming<sup>①</sup>, WANG Yong-yan<sup>②</sup>

① Professor, ② CAE Member, Institute of Basic Research in Clinical Medicine of China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100700, China

**Abstract** Objective To introduce a new human body's structure that can not only show the harmony between the human body and the natural world, but also discover the mechanism of life, health and disease quantitatively. Methods Based on the nurturing and restricting relationships between the Five Zangs in Chinese medicine, a mathematical model was founded. According to the statistical data of the human body's metabolism, numerical simulation on the seasonal variation of the energizing nutrients and energy flow of the Five Zangs that was stated by Chinese medicine traditionally had been done in this paper. The simulated results were compared with the seasonal climatic variation of China also. Re-

sults The wave crests of the energizing nutrients of Pi, Fei, Shen, Gan and Xin are in July, October, January, April and July in this given order. The wave crests of their energy flow are delayed by 1/4 years to that of the energizing nutrients. On the phase plane that consisted of the energizing nutrients and energy flow of the Five Zangs, the locus repeats again and again but not in the same manner. Conclusions The human body's structure stated by Chinese medicine is the nurturing and restricting relationship structure through the media of energizing nutrients and energy flow. The relationship structure let the variation of the energizing nutrients and energy flow of the Five Zangs has the same dynamical features with the seasonal climatic variation of China. The quantitative measurement on the energizing nutrients and energy flow may be a complete new approach to discover the mechanism of life, health and disease.

cal features with the seasonal climatic variation of China. The quantitative measurement on the energizing nutrients and energy flow may be a complete new approach to discover the mechanism of life, health and disease.

**Key words** energizing nutrients, energy flow, numerical simulation, relationship structure, Chinese medicine

---

(责任编辑:方守狮)