

# 毫米波生物效应的水分子谐振机理\*

廖小丽\*\*

(电子科技大学生命科学与技术学院 成都 610054)

【摘要】概述了水在生命活动中的重要地位,在现有的有关毫米波对水作用的实验研究基础上,通过毫米波对水的分子谐振作用机理的分析,提出了毫米波在生命体的传输过程中水分子谐振链起着重要作用,初步进行了毫米波与生命体作用机理的探讨,为毫米波生物效应的研究打下了一定基础。

关键词 水; 毫米波; 生物效应; 谐振

中图分类号 R454.1; R312

毫米波生物效应,一般讲有热效应(能量效应)和非热效应(信息效应)之分,本文讨论信息效应,即指生命机体接收了外来的毫米波信号后所产生的生理应答反应<sup>[1]</sup>。这是毫米波信息医学的基础,当前倍受关注。

在生命科学中生命体接受外来信号后,是在体内生理调节系统产生和释放信号分子,将信息传递到功能部位的功能细胞,引发生理效应<sup>[2]</sup>。毫米波生物信息效应也是毫米波信号干预生命机体的生物信息调控系统所得到的结果,涉及到信号的接受和转导等一系列细胞、分子过程和一系列生物物理和生物化学变化。生命机体接受和传递毫米波信号的载体是毫米波生物效应的初始机理问题,而水是其关键,本文对其进行了分析和讨论。

## 1 毫米波与水的特殊性

毫米波是波长为毫米量级的电磁波,其频率为30~300 GHz,属于电磁频谱中的极高频段,特点是波长短而量子能量较大,但其量子能量还不足使分子发生电离,而且还低于室温下分子热运动的能量。此外,该频段的独特性还在于其声波和声-电波的波长为纳米量级,可同分子和细胞膜尺寸相比拟。

水是生命之源,是生命机体中含量最高的物质,也是生命活动中最重要的介质。水的存在状态和理化性质对生命活动有重大的调控作用。水是极性分子,具有大的电偶极矩,并且由于其中氧原子具有大的电负性,可以同其他1个、2个、3个和4个水分子形成氢键。氢键使水具有极不寻常的性质,在生命系统中具有特别重大的意义。水分子的转动频谱大部分位于极高频和超极高频段,其转动能量小于毫米波的量子能量,而氢键能量接近毫米波的量子能量。

不难看到,水分子的电偶极矩及其分子之间的氢键,在毫米波信号的交变电场作用下可能产生谐振式摆动,促使其摆动能量产生一个增量,因而可将信号能量“记忆”储存起来,记忆储存时间可达4~6 h<sup>[3]</sup>,然后再参与机体本身的细胞、分子的调控,引发生理效应<sup>[4]</sup>。

## 2 毫米波-水谐振通道

近年来国外学者研究发现,水分子谐振链在一定频率范围内可能产生体系性的物理谐振,即水对一定参数的毫米波具有一种物理谐振透明特性<sup>[5]</sup>。

2001年11月9日收稿

\* 国家自然科学基金资助项目,编号:39980009;四川省杰出青年学科带头人培养基金资助项目

\*\* 女 29岁 在职硕士 讲师

### 2.1 无损耗的耦合谐振子链

水分子是由相互夹角为  $104.5^\circ$  的 2 个 O-H 键组成的一种极性分子, 具有较大的偶极矩(约 1.84 D), 其摆动(天平动)频谱包括有极高频。为了简明起见, 将每个水分子看作一个独立谐振子, 而把一条路径上的一群水分子当作一维耦合谐振子链的理想系统来分析处理(见图1), 以大概说明这个理想化系统的色散特性。

假设这种谐振子的质量为  $m$ , 间距为  $a$ , 第  $n$  号振子的位移为  $y_n$ , 若暂时不考虑损耗, 只考虑相邻两个振子的相互耦合, 意即每个振子相当于通过两个相同刚性“弹簧”与其左、右相邻的两个振子耦合, 而且认为每个振子的位移都是足够小, 则相邻振子对第  $n$  号振子的作用力为

$$f = \frac{k}{m} \Delta y_n \quad (1)$$

对于极高频段, 声波波长同系统的特征尺度可相比拟, 并且又不考虑衰减问题。所以, 对耦合链中第  $n$  号振子的运动方程采用微分形式

$$\ddot{y}(l,t) + w_0^2 y_n(l,t) = \frac{k}{m} \Delta y_n(l,t) \quad (2)$$

式中  $w_0 = (k_0 / m)^{0.5}$  为独立振子的谐振频率;  $k_0$  为独立振子的弹性系数;  $k$  为耦合振子的弹性系数;  $\Delta y_n = (y_{n+1} - y_n) - (y_n - y_{n-1}) = y_{n+1} + y_{n-1} - 2y_n$  为第  $n$  号振子的合位移(相对于相邻的振子);  $t$  为时间;  $l=na$  为第  $n$  号振子的位置。

为了求色散特性, 假设

$$y_n(l,t) = y_0 \exp j(\omega t - \kappa na) \quad (3)$$

式中  $y_0$  为振子位移的幅值。

将式(3)代入式(2), 经简单变换后得色散方程

$$\omega^2 = w_0^2 + 4 \frac{k}{m} \sin^2 \frac{\kappa a}{2} \quad (4)$$

当  $\sin^2(\kappa a/2)=1$  时, 可得

$$\omega_{\max}^2 = w_0^2 + \frac{4k}{m} \quad (5)$$

当  $\sin^2 \frac{\kappa a}{2} = 0$  时, 可得

$$\omega_{\min}^2 = w_0^2 \quad (6)$$

当满足条件  $w_{\min} < \omega < w_{\max}$  时,  $\kappa$  值为实数, 意味着该系统中的振子位移幅值  $y_0$  在运动中保持恒定。当  $\omega < w_{\min}(w_0)$  或  $\omega > w_{\max}$  时,  $\kappa$  值将为虚数, 即幅值呈指数衰减。

由此可见, 无损耗而有耦合的分子谐振子链, 无论是内因还是外因的扰动, 只要扰动因子的频率处于  $w_{\min} \sim w_{\max}$  范围内, 就有可能产生体系性的物理谐振, 其扰动所引起的振子位移幅值基本上一样大小, 这就意味着扰动作用能够沿着整个链传播, 即此时的分子谐振子链是一种具有传播扰动作用的功能系统, 这种性质叫做物理谐振透明性。如果耦合很微弱, 式(5)中的  $\frac{4k}{m} \ll w_0^2$ , 则有  $w_{\max} \rightarrow w_0(w_{\min})$ , 即弱耦合时物理谐振透明频带将是非常窄的。

国外学者的实验已观测到  $25^\circ\text{C}$  的正常水的谐振频率为: 50.3 GHz、51.8 GHz、65 GHz、98 GHz, 而且健康人体具有与此一致的谐振频率<sup>[4]</sup>。

### 2.2 在波场中线性损耗谐振子的色散特性

前面的分析只考虑了相邻谐振子之间的作用, 忽略了损耗。现在将线性损耗和外场的作用考虑进来, 而不计及相邻谐振子之间的作用。对于本文所讨论的毫米波, 假设透入生物体的电场分量随时间仍作简谐变化, 记作

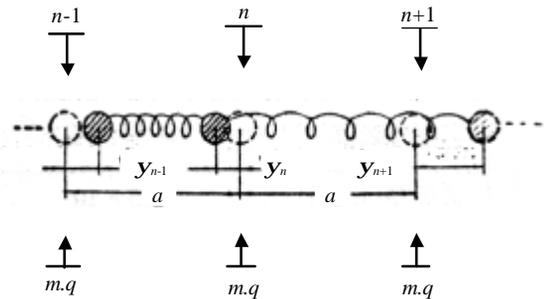


图 1 谐振子链模型

$$E = E_m \exp j\omega t \quad (7)$$

电场中谐振子的单位质量上将受到一个周期性力的作用

$$F = \frac{qE_m}{m} \exp j\omega t \quad (8)$$

式中  $\omega$  为角频率;  $t$  为时间;  $q, m$  分别为振子的电荷和质量。

考虑线性损耗和外场作用后, 谐振子的运动方程为

$$\ddot{y}(t) + 2g_0\dot{y}(t) + \omega_0^2 y(t) = F \quad (9)$$

式中  $2g_0$  为单位质量上的线性损耗系数(粘性, 分子摩擦)。

经求解后可得线性损耗谐振子的色散方程为

$$\omega_p^2 = \omega_0^2 - 2g_0^2 \quad (10)$$

当  $g_0 \ll \omega_0$  时,  $\omega_p \rightarrow \omega_0$  表明损耗使得谐振子的谐振频率由  $\omega_0$  偏移(降低)到  $\omega_p$ 。

### 2.3 在波场中非线性损耗谐振子的色散特性

考虑到谐振子的位移随着振幅值的增大而逐渐趋近于分子振子之间的距离  $a$ , 相应的分子振子之间的相互作用力也随之而增大, 产生非线性损耗, 从而使得谐振子的振荡过渡为非线性状态(靠近最大振幅时)并且, 这种非线性耗散的损失系数  $g$  同振子振幅的关系可描述为

$$g = g_0 [1 + a(\tilde{y}_0/a)^2] \quad (11)$$

计及这种非线性损耗效应之后, 运动方程将用如下形式的非线性方程描述

$$\ddot{\tilde{y}} + 2g_0 [1 + a(\tilde{y}_0/a)^2] \dot{\tilde{y}}(t) + \omega_0^2 \tilde{y}(t) = F \quad (12)$$

可见同式(9)的区别就在于用具有参变量的非线性损耗项代替了线性损耗项。式中  $\tilde{y}(t)$ ,  $\tilde{y}_0$  分别为振子非线性振荡的位移和振幅,  $a$  为比例系数。

经求解后可得非线性损耗谐振子的色散方程为

$$\tilde{\omega}_p^2 = \omega_0^2 - 2g_0^2 [1 + a(\tilde{y}_0/a)^2]^2 \quad (13)$$

当  $\tilde{y}_0 \ll a$ , 即非线性损耗将不存在时,  $\tilde{\omega}_p \rightarrow \omega_p$ 。反之, 当非线性损耗因素存在时, 就将使谐振频率由  $\omega_p$  偏移(降低)到  $\tilde{\omega}_p$ 。

当然, 如果外面的波场作用停止, 或生物体处于“不应期”时, 谐振子系统也就将回复到初始状态, 即  $\tilde{\omega}_p \rightarrow \omega_0$  的谐振状态。

### 2.4 小结

综上所述分析可以得到以下两个结论:

1) 如果毫米波的频率等于水的谐振透明带频率(50.3 GHz、51.8 GHz、65 GHz等), 那么毫米波的低能信号可穿入到生物体的内部组织器官参与调控作用, 即形成了“毫米波-水”谐振通道, 这就是近年来发展分子波疗法(或谐振波疗法)的根据。

2) 如果毫米波的频率为水的非谐振透明带频率, 那么毫米波的低能信号将衰减很快, 直接穿透生物体的深度不大, 但可由在体表层被毫米波作用的部分水或体外经毫米波作用激活后的水<sup>[2, 3]</sup>, 再经体液循环而深入到体内组织器官参与调控作用, 这也可以说是现有毫米波疗法的基础。

## 3 结束语

根据现代信息生物医学观点, 本文讨论了毫米波与水所具有的特殊生物学意义, 并用谐振子方法分析了毫米波-水谐振通道, 有助于解决当前毫米波疗法推广应用中所提出的毫米波的作用途径及机理, 本文给出的是毫米波生物效应的初始机理, 有关毫米波对神经系统和脑电的作用等重要问题有待作进一步探讨<sup>[6-8]</sup>。

## 参 考 文 献

- 1 张富鑫, 林崇文. 极高频生物医学电子学. 成都: 电子科技大学出版社, 1993
- 2 魏尔清主编. 药理学前沿——信号、蛋白因子、基因与现代药理. 北京: 科学出版社, 1999, 3-14
- 3 Petrosyan V I. Physics of Interplay Between Millimeter Wave and Objects of Different Nature. Biomedical Radioengineering and Electronics, Moscow, 1996, (9): 20-31
- 4 Katin A Ya. Duration of Action of the Water. Charged by mm-Wave Radiation, on the Human Organism. Millimeter Waves in Biology and Medicine, Moscow, 1996, (8): 63-64
- 5 Deviatkov N D, Kislov V Ya, Kislov V V, et al. Detection of the Normalization Effect on the Functional Condition of Internal Organs of Humans under the Influence of the Water Activated with mm-Wave Radiation. Millimeter Waves in Biology and Medicine, Moscow, 1996, (8): 65-68
- 6 尧德中, 齐 军. 大脑皮层成像的一种新算法. 电子科技大学学报, 1995, 24(2): 178-181
- 7 胡 晓, 尧德中. 不同精神状态下的脑电复杂度研究. 电子科技大学学报, 1999, 28(3): 274-282
- 8 尧德中. 多维延时相关MUSIC方法. 一种求解脑电逆问题的新方法. 电子学报, 2001, 29(4): 522-525

## Resonance Mechanism of Water Molecular in Biological Effects of Millimeter Waves

Liao Xiaoli

(College of Life Science and Technology, UEST of China Chengdu 610054)

**Abstract** In this paper, the important effect of water in living action is described. On the base of research for the actions of millimeter waves on water, and the analysis of molecular resonance mechanism of MMW actions on water, the important action of water resonance line in transport process of MMW in body is discussed, and the mechanism of MMW actions on living is clarified. This paper established an important theoretical basis for research on the mechanism of biological effects of MMW.

**Key words** water; millimeter wave; biological effects; resonance