

- [24] J. L. Wragg et al., *Nature*, **348**(1990), 623.  
 [25] P. A. Heiney et al., *Phys. Rev. Lett.*, **66**(1991), 2911.  
 [26] J. H. Weaver et al., *Phys. Rev. Lett.*, **66**(1991), 1741.  
 [27] C. S. Yannoni et al., *J. Phys. Chem.*, **95**(1991), 9.  
 [28] R. Tycko et al., *J. Phys. Chem.*, **95**(1991), 518.  
 [29] R. C. Haddon et al., *Nature*, **350**(1991), 320.  
 [30] W. Hayes, *Contemp. Phys.*, **26**(1985), 421.  
 [31] W. R. Salaneck, *Contemp. Phys.*, **30**(1989), 403.  
 [32] P. Fayet and L. Woste, *Surf. Sci.*, **156**(1985), 134.  
 [33] T. G. Dietz et al., *J. Chem. Phys.*, **74**(1981), 6511.  
 [34] V. E. Bondybey et al., *J. Phys. Chem.*, **86**(1982), 3396.  
 [35] J. A. A. J. Perenboom et al., *Phys. Rep.*, **78**(1981), 173.  
 [36] I. Sumagawa, *Morphology of Crystals*, Terra Scientific Publishing Company, Tokyo, (1987).  
 [37] R. Talor et al., *J. Chem. Soc. Commun.*, **20**(1990), 1423.  
 [38] 高鸿等, 仪器分析, 江苏科学技术出版社, 南京, (1986).  
 [39] J. T. Finch, A. Klug, *Nature*, **183**(1959), 1769.  
 [40] J. W. Abrogast et al., *J. Phys. Chem.*, **95**(1991), 12.  
 [41] J. S. Miller, *Adv. Mater.*, **3**(1991), 262.

## 声致生物学效应

尚志远 梁昭燕

(陕西师范大学应用声学研究所, 西安 710062)

本文较全面的介绍了声致生物效应的研究内容, 包括超声生物效应, 次声生物效应以及噪声生物效应, 并综述了近年来这三个方面的研究进展. 简要地分析了其作用机理与一些疾病的关系. 文章最后阐述了声致生物效应研究的意义.

### Abstract

We review the research on the bioeffects caused by ultrasound, noise and infrasound. We also discuss the mechanism of bioeffects in relation to some diseases, as well as the significance of this research.

声学是物理学的一个重要分支, 也是一门古老的学科. 早在 18 世纪人们就开始研究声学. 那时人们只对频率在 20—20000 Hz 的可听声感兴趣. 自从居里兄弟发现压电效应以来, 人们才知道还有听不见的声——超声 (频率在 20 kHz 以上), 嗣后又发现次声 (频率在 20 Hz

以下). 声学具有较强的“外在性”, 也是一门技术性很强的学科. 迄今为止, 在声学这门学科里又有十多个分支, 如图 1 所示, 甚至在每个分支里又有许多细小的分支, 形成了声学同其他领域学科的相互交叉渗透, 充分显示了声学潜在的威力. 自从 1922 年法国著名的物理学家

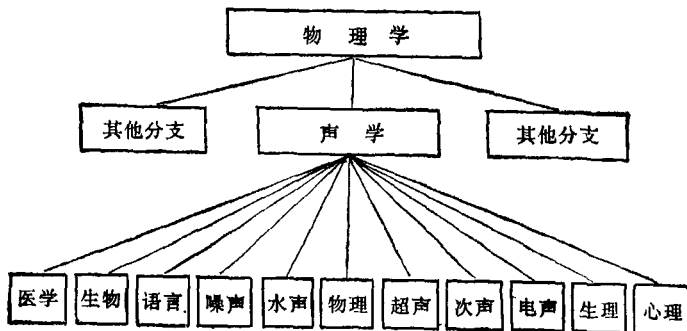


图 1 物理学和声学研究领域

朗之万发现超声杀死水中小鱼的生物效应以来,引起了许多科学家对这一现象的极大兴趣并进行了大量的研究。随着科学的进步,尤其近来超声医学的飞速发展,更加促使声致生物效应研究不断出现新的高峰。本文拟就超声生物效应,次声生物效应以及噪声生物效应三个主要方面予以简单评述。

## 一、超声生物效应

超声波是一种弹性机械波。其振动频率一般高于人耳所能接收的频率上限(20 kHz)。由于它产生比较容易,具有可束性,能量也比较集中而且在媒质中传播较远,所以它的应用范围极广。早些时候人们就把这种技术用于工业无损检测。大约在本世纪40年代费尔石通(Firestone)等人首先把工业无损检测回波技术转用到人体疾病诊断上,曾成为一时的热门诊断仪器,称之为A型超声诊断仪。由于A型仪器是波形显示,即不直观信息量也不丰富,所以在临床应用中逐渐暴露出它的弱点和不足。到60年代,许多学者对这一问题不断进行研究,嗣后发展到二维图像显示。由于它采用的是调辉显示,所以根据辉度的强弱来表示回波信号的大小。因为病变组织和正常组织的声阻抗有所不同,因而回波信号大小不同从而由屏幕上辉度强弱的图像来诊断疾病。在临床应用上图像显示比波形显示大为改观。这就是目前医院临床应用的B型超声波诊断仪。当然超声成像仪器还有好多种,而且日臻完善。这里就不一一赘述。为什么超声仪器在临床上颇受重视,而且有极高的声望,其重要的原因就是超声检查对人“安全无害”。超声检查对人果真无害吗?这个问题在国际生物物理学界引起广泛关注。超声作用于人体组织会引起生物效应。这些生物效应可能是损伤性的有害生物效应,也可能是不伤害组织的无害生物效应。为此,必须通过大量的实验研究和流行病学的调查加以分辨和证实。现关于生物效应的物理机制分述如下:

## 1. 超声的热效应

早在1950年许多生物物理学家开始对超声的热和非热效应展开讨论。当时超声诊断仪器较少,用于临床多为超声治疗仪器。这种仪器的输出大多是连续波和长脉冲波。这些声波辐照人体时被组织吸收转变成热,使组织局部温度升高,所以在超声治疗中热效应比较显著。因此,被许多学者误认为超声热效应是其最主要的效应。由于超声能穿透传播到深部组织,所以在超声治疗中称为透热疗法。实验证明<sup>[1]</sup>低强度超声( $I = 0.1 \text{ W/cm}^2$ 左右)对生物体有刺激作用,中强度超声( $I = 1 \text{ W/cm}^2$ 左右)有抑制作用,高强度超声( $I = 10 \text{ W/cm}^2$ 左右)有破坏作用。这个规律是超声和生物体相互作用的一般规律,也是超声治疗疾病的科学基础。据最近资料报道<sup>[2]</sup>采用超声波“强化”疗法可以对各种神经内科疾病、冠心病、肠功能紊乱、支气管肺炎以及外科的雷诺氏病、坐骨神经痛等多种疾病有明显的疗效。经实验证明这些疾病的主要治疗机理是生物体接受超声辐照后增加了细胞膜对钾、钠及钙离子的通透性,促进了血液的微循环,改善了静脉和淋巴的回流作用,加强了神经的调节作用使机体容易恢复。由于超声治疗仪的输出基本是连续波和长脉冲,所以热效应是其主要作用机理。

## 2. 超声的机械效应

超声作用于机体时各种效应都不是孤立产生的。超声的机械效应是超声生物物理学中特别值得注意的特性之一。因为它伴随超声作用机体的全过程。机械效应分为行波场的机械效应和驻波场的机械效应。当生物体处在行波场时,它将受到一个恒定的和交变的声压。交变声压随超声频率的变化而使媒质质点发生疏密变化,受到压缩和拉伸。当生物体处在高强度大振幅的声场中时,其细胞将受到上万g( $g$ ——重力加速度)的振动加速度作用而被破坏。其振动加速度依下式变化

$$a = \omega^2 \xi,$$

式中 $a$ 是质点振动加速度, $\omega$ 是超声频率, $\xi$ 是质点的位移振幅。

笔者在文献[3]中曾报道高强度超声的机械效应。高频机械振动使细胞内浆液发生运动从而使细胞核偏向一边,这属于破坏性强度剂量,所以超声治疗一般选在较低的声强度剂量上。超声的机械振动能刺激半透膜的弥散过程,加强了新陈代谢,增加了组织的再生过程。同时高频机械振动,还会使神经末梢发生微细按摩作用。当生物体处在驻波场时,它将在波节和波腹中有不同的反应。驻波场中的效应基本是力学效应。因为驻波场出现张力,压力以及质点以巨大的加速度运动。R. Frey 等人在电解液中发现,波腹和波节间出现电位差以及媒质分隔现象,可使细胞的新陈代谢受到影响。最近有文献<sup>[4]</sup>报道,处在声驻波场中的绿藻(如图2所示,上边是绿藻的单个细胞,下边是超声形成的驻波),由于细胞壁的振动使绿藻的网状细胞的细胞质相对集中在波腹处,形成有规律的环状,其每个环与驻波的波腹一一对应很明显,这是驻波的机械效应所致。

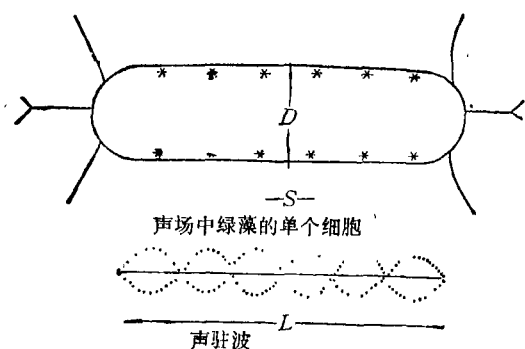


图2 处在驻波场中的单个绿藻细胞

上边是绿藻的单个细胞(细胞中\*表示细胞质相对集中形成环状, $D$ 是细胞的直径, $L$ 是细胞的长度, $S$ 是环的间距);下边是声驻波波形

### 3. 超声的空化效应

超声空化意指处在超声场的液体(或半固体状的媒质)中的微小气核的生长,随着超声频率的振荡(伸张、压缩)及崩溃破灭一系列动力学过程。超声空化严格地说可分为稳态空化和瞬态空化。瞬态空化是空泡在声波的作用下振荡一个周期随即崩溃破灭,而稳态空化空泡要

在声场中在其平衡半径附近存留较长的时间(几个声波周期)。当空泡继续生长它就会崩溃破灭。一般地说,瞬态空化空泡崩溃时的最大压力比稳态空化时大几个数量级。稳态空化空泡崩溃时最大压力约10 MPa,也就是说瞬态空化时空泡崩溃时的最大压力还要大得多。瞬态空化时空泡的最大半径比初期汽核的半径大两倍多。在空泡生长过程中,声波的正半周空泡被压缩得极小,内部温度急剧升高可达摄氏数千度。在高温高压下,空泡内部有极其复杂的物理化学反应。所以当空泡崩溃破灭时,伴有发光、噪声、冲击波以及自由基产生。我们认为空化尤其是瞬态空化对生物组织引起伤害的可能来自两个方面:一个是冲击波,另一个则是自由基。冲击波主要构成机械性的损伤,自由基则产生化学性的伤害。然而更可怕的是后者。有文献报道<sup>[5]</sup>,在人体内的细胞中经常由于一些可溶性的酶或非酶促反应产生一定量的自由基。在细胞内的自由基有一定的含量,适量有益,过量有害。这个自由基的适量维持靠体内产生的自由基清除剂(超氧化物歧化酶等)。声空化产生的自由基使体内自由基过量。在自由基清除剂不能清除和抑制的情况下,这些过量的自由基会产生如下三方面的危害:(1)自由基对脂类和细胞膜的破坏,(2)自由基对蛋白质和酶的损害,(3)自由基对核酸和染色体的破坏。以上原因可引起诸如癌症、衰老、消化系统以及循环系统等多种疾病。自从超声诊断仪器被广泛应用以来,国际上形成了一股“超声空化热”。许多著名的科学家都企图从理论和实验上证明,在人体组织中是否存在空化核。诊断剂量超声辐照时能否产生空化效应。由于诊断超声是短脉冲波(微秒级脉宽),完全可以排除热效应的影响,而且它的峰值声强度可高达 $1000 \text{ W/cm}^2$ (空间峰值,时间峰值声强度)。根据 Flynn 的理论计算,在液体中可以产生空化。同时许多学者进行了离体生物流体实验(如血液,人体组织细胞培养等),用电子自旋共振技术捕捉到羟基自由基的信号波谱。最近西安医科大学于学文等人<sup>[6]</sup>用诊断剂量超声

辐照 6—9 周的人胚,取胎盘绒毛组织分析超声引起绒毛组织生化代谢障碍,在电镜下观察到亚微结构的改变。另外一条途径是流行病学调查。Moore<sup>[7]</sup> 等人报道用超声诊断仪检查孕妇,结果胎儿体重下降,异常的强直颈反射等现象存在。但也有跟踪调查结果未发现任何异常现象的。所以关于这方面研究尚无明确定论,有待进一步研究。

#### 4. 超声对植物的生物效应

超声对植物作用的研究以苏联的成绩最为卓著。我国从 60 年代初也已开始此项研究,到目前为止所研究的范围大致如图 3 所示。超声处理农作物种子使发芽率提高,抗病力强,生长期缩短,产量也有较明显的增加。用超声处理马铃薯、大豆、甜菜、黄瓜、蕃茄以及辣椒等产量可提高 10—40%。超声对棉花的影响比较大。把棉花种子用超声处理 35 min 增产 22.2%。用超声刺激中草药可以使难于发芽的种子提前发芽。如云南白药两年才能发芽,经超声处理后只需五个月。超声处理桔梗、丹参后产量可提高 44—58%。超声对植物的作用报道很多,这里不多作叙述。

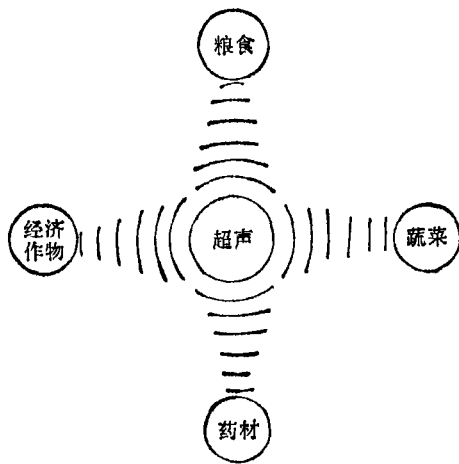


图 3 超声对植物作用的分类示意图

## 二、次声的生物效应

次声波是频率低于 20 Hz 的声波。它的波

长很长,在地面上传播得很远。宇宙中的一些自然现象,(如地震、台风以及火山暴发等)都可以产生次声<sup>[8]</sup>。目前人们利用这些自然现象发出的次声,作为预报灾害的信息。在地震或火山暴发前期就有很强的次声波产生,这些次声波作用于人或动物,使人感觉不适,鸡犬不宁,这就是次声生物效应。因为人体或动物各部位脏器的固有共振频率多处在次声频段,例如,心音多在 5 Hz 左右,肺音比心音略高可能在 5—9 Hz 之间,腹部胃肠的蠕动在 6—10 Hz 等次声段,当次声作用时引起共振,轻则使脏器的功能失调,重则破坏脏器损害人体健康。当人处在 2—20 Hz, 150dB 次声波的声场中时,会使人生理上有强烈的反应,如呼吸急促,视觉模糊,乏困倦怠。若时间稍长或声强增加,则有可使人致死的危险。最近研究表明,我国传统医学中的气功,其能量主要集中在次声频段。陆燕芳等人根据这一主要参量研制了一台气功次声治疗仪,经 20 多家医院应用于临床收集了 3000 多病例分析,认为该仪器对支气管炎,小儿消化不良引起的痞积,骨关节痛等疾病都有一定的疗效。通过动物试验发现,免疫功能有显著提高。据报道也有人利用次声波刺激植物生长收到很好效果。综上所述,在一定条件下次声可以给人类带来灾难,但在某些条件下次声波又可以造福于人类。

## 三、噪声生物效应

噪声是随机分布,宽频带的。它的出现对人类是有害无益的,所以对于噪声只能是控制和消除的问题。工业越发达噪声污染越严重,所以控制和消除噪声尤为重要。目前最突出的是交通噪声,一些工厂的机器噪声如:纺织厂纺机噪声,木器厂的电锯噪声等,都是直接危害人的身心健康。我国“工业企业噪声卫生标准”中规定噪声标准为 85 dB,环境噪声标准规定为 70 dB,但有研究表明,工人长期处在噪声强度 75—85 dB 的环境中,对人脑的记忆与注意功能均有危害。95 dB 以上危害更明显,记忆减

退,注意力集中短暂且失误率高。过量的噪声环境会使人听力衰减而且是逐步加重的,绝不可忽视。有人对编织车间58名挡车工的水溶性维生素和蛋白质代谢水平测定并与对照组比较明显增高。另有研究表明,强噪声对脑有明显的伤害作用。中强噪声也有累积性潜在损伤效应。首先表现在生化指标的改变上,然后是细胞亚微结构的损伤,最后才出现宏观效应。切不可忽视中强噪声的累积性潜在损伤效应。近几年来由于制定了有关噪声控制的一些卫生标准,才使各类噪声得到比较严格的控制和管理,确保了人们的工作环境和身心健康。

对声致生物效应的研究的目的之一是探寻一个安全剂量标准,在研究和应用这些声辐射时到处在这种环境中的人员起到防护作用。我们认为对超声生物效应的研究,应重点放在诊断超声对孕妇的检查胎儿的发育上的影响上。目前,在尚未制定出超声诊断剂量标准以前,对孕妇检查的次数和每次检查的时间应加以限

制,确保诊断超声的安全性。其次是在超声生物效应研究的基础上开拓更新、更多的超声在生物医学领域中的应用,促进超声医学的迅猛发展。次声生物效应还研究的不多,原因在于次声的产生大多属于自然的,难于控制。所以,今后应加强对于次声波产生控制的研究,才能进一步推动次声生物效应的研究。噪声是当前环境污染的重要方面之一,应积极开展对噪声的控制,消除以及噪声潜在性危害机理的研究,唤起广大人民对噪声损害的足够重视。加强对环境污染的治理,从而保障人民的身心健康。

- [1] 马玉英、尚志远,声学进展, No. 3 (1984), 44.
- [2] 周万松,应用声学, 6-4 (1987), 6.
- [3] 尚志远等,中国生物医学工程学报, 5-1 (1986), 14.
- [4] D. L. Miller, *IEEE Transactions UFFC*, 33-2 (1986), 165.
- [5] 莫简主编,医用自由基生物学导论,人民卫生出版社, (1989), 59.
- [6] 于学文等,西安医科大学学报, 11-1 (1990), 79.
- [7] R. M. Moore et al., *America Epidemiology*, No. 116 (1982), 571.
- [8] 冯若,物理教师, No. 3 (1981), 5.

## 分形概念及其在材料科学中的应用

刘 军

(四川大学材料系,成都 610064)

本文首先结合几个数学构造分形的例子介绍分形概念,然后对分形在材料科学中的应用作了简要介绍,主要包括:粉体生长中的分形、断裂面的分形、离子注入等非平衡方法产生的分形、表面分形、无机材料中的分形、自旋玻璃中的分形。

### Abstract

The concept of fractals is introduced with some examples on their mathematical generation. We then describe the application of fractals to research in material science and technology, including powder growth, fractal growth caused by non-equilibrium treatment, fractals of fractured surfaces, surface fractals, fractals in inorganic matter, fractals in spin glass and fractals in semiconductor thin films.