

波对生物组织的作用和机理

张士华 郑治祥 汤文明

(合肥工业大学材料科学与工程学院 安徽 合肥 230009)

随着科学技术的不断发展,越来越多的物理方法被运用到医学治疗与诊断领域。其中以利用次声波、超声波、毫米波为代表,将药物治疗和物理疗法相结合,大大缩短了疗程、提高了疗效,在医疗中得到很好的运用。但对于其作用原理的综合性报道尚缺乏,因此本文将依次分析次声波、超声波、毫米波对生物组织的作用与机理。

1. 次声波

次声波是频率为 10^{-4} —20Hz 的弹性波,它是由物质或物体的机械振动而产生,通过各种介质分子做稀疏或紧密的交替波向四周传播。本质上与可听声一样,但由于频率低,还具有传播远、穿透性强、衰减减小等特性。

次声波广泛地存在于冶金、建筑等行业的环境里。近来研究表明次声波可对人体造成危害,长期受环境里一定强度的次声作用会引起应激反应和内分泌紊乱,进而导致脑皮质功能失调。以 10Hz、135dB 的次声作用 15min,体内多处器官有振动感,实验结束后,受试者感到极度疲乏无力。另外,次声也可对人体产生良好作用。有报道:用 4Hz、 $0.1\text{kg}/\text{cm}^2$ 的次声空气按摩作用 10d,每次 10min,可稳定进行性近视的发展;用类似人脑 α 节律(8—13Hz)的适度人工次声作用,可以使人体保持精神饱满的状态。目前,对于次声的保护和开发利用尚不够深入。

次声对生物体的基本作用原理是生物共振,生物体各器官都存在一定的固有频率,并分布在次声频率范围内,如头部为 8—12Hz,胸腔为 4—6Hz,心脏为 5Hz,腹腔为 6—9Hz。当次声作用于生物体时,一方面当它的频率与某一部位的自身频率接近或相等时,引起共振反应,使其吸收能量;另一方面其共振刺激躯体感受器,将刺激传到中枢神经系统相关部位,引起一系列功能和形态改变,最终影响组织分子结构、生物氧化和能量代谢过程。

2. 超声波

超声波是频率高于 20kHz 的机械波,它可由多种能量通过换能器转变而成。目前,医用超声波的范围多在 1—15MHz,是由压电晶体在交变电场作用

下发生机械振动而产生,当电场交变频率等于压电晶体的固有频率时,电能转换为声能的效率最高。

适当剂量的超声照射生物组织可以起促进生长、康复和调节机能的作用。例如,用 0.5 — $1\text{W}/\text{cm}^2$ 强度照射心脏,可治疗冠心病;用 $0.5\text{W}/\text{cm}^2$ 以下强度照射可治疗眼底出血,加快伤口的愈合,但超高剂量又会引起不良后果,如出现骨损伤、心绞痛等。这些后果的产生基于超声波对生物组织的热效应和非热效应(包括机械效应、空化效应等)。通常认为,超声声强不超过 $10\text{W}/\text{cm}^2$,照射时间不小于 1s,对应于超声的热效应,超过这一范围,对应的是超声的非热效应。

(1) 超声热效应

超声通过介质传播时,在介质的微粒间和分界面上的摩擦以及介质的吸收等使超声能量转化为热能,从而引起生物体的某种变化的现象称超声热效应。高强度聚焦超声加热治癌技术就是利用此效应进行治疗的方法之一。

超声加热需控制适当的放射剂量。如图 1 所示,随着放射剂量的逐渐增加,组织内癌细胞的残存率显著降低,当剂量超过一定的限度值,就会引起组织的热损伤,热损伤阈值如图 2 所示,可见放射剂量可以理解为声强与连续作用时间的乘积,随着加热时间的延长,产生热损伤所需声强相应减小。

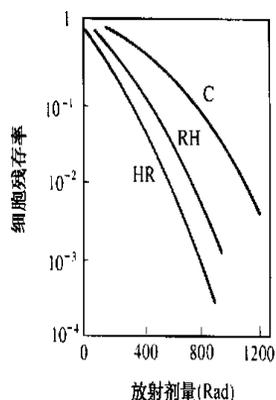


图 1 超声加热结合放射性照射与癌细胞存活率的关系
G 参考, HR: 先加热后照射, RH: 先照射后加热

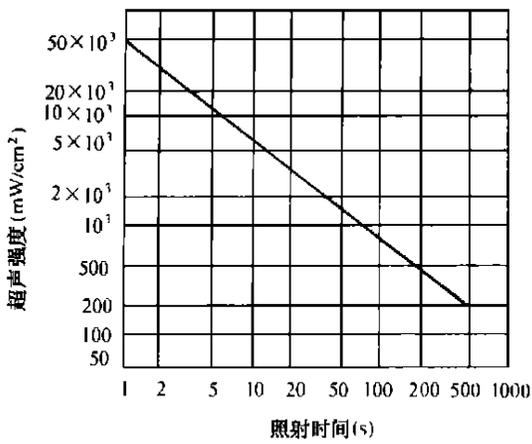


图2 对活体哺乳动物超声照射安全剂量阈值

(2) 机械效应

超声在媒质中传播时,引起媒质质元的振动,其位移、速度、加速度、压强等力学量所引起的效应,称为超声的机械效应。利用此效应可以促进骨折愈合,进行结合粉碎等治疗。

超声治疗中超声频率和声强对作用效果有很大影响。研究表明,在其他条件相同的情况下,频率为1.5MHz的超声照射促进骨折愈合作用最明显,而在频率相同的情况下,用声强分别为100mW/cm²、250mW/cm²、500mW/cm²、1W/cm²超声照射,结果100mW/cm²强度照射能促进骨折愈合,500mW/cm²强度以上开始抑制骨折愈合,1W/cm²强度照射不仅抑制愈合,而且出现明显的热效应,因此治疗骨折超声声强限制在100mW/cm²。

(3) 空化效应

超声辐射到体内液体时,在一定声强下造成气泡的产生、膨胀以及崩溃的效应,称为超声的空化效应。此效应往往使生物组织受到严重的损伤,造成较大的破坏作用。

超声空化是从极微小的小气泡作核开始,在几十mW/cm²的低声强下,空化核可以扩展进入稳定的径向振动而不崩溃,当声强达到700—1500W/cm²时,产生的声压大于大气泡面上的液静压力,且正负交替出现,在负压期间作用于物质微元间的拉力使核半径迅速增大,形成空腔;而在下半周期内,微元间作用的正压力紧压空腔使之崩溃。这种空化称为稳态空化,当声强达到2000W/cm²以上,空化核破灭所需时间极短。可在声波一个周期内完成,同时出现局部高温、高压,称为瞬态空化,在液体中任何频率上都有一声压幅度,达到

此值就会产生空化效应。生物组织的空化阈值如图3所示。

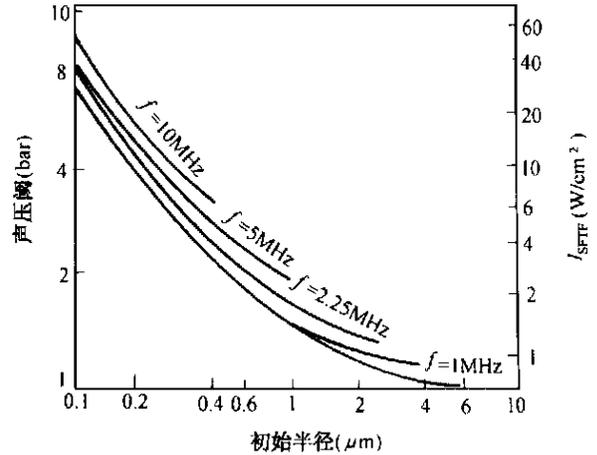


图3 生物组织的超声空化阈值

3. 毫米波

毫米波是波长在1—10mm的电磁波,其相应频率范围是300—30GHz,处于微波频率的高端,目前国内毫米波治疗仪可以输出波长4—8mm(频率36—78GHz)范围的毫米波,低功率密度在9mW/cm²,高功率密度达到400mW/cm²。

毫米波辐射产生的生物效应强烈地依赖于频率,对频率变化反应很灵敏。早期的苏联科学家,发现酵母菌细胞分裂度对照射的毫米波有鲜明的频率相关性。如图4所示,用特定频率的毫米波先进行照射可把受到X射线伤害性照射后的细胞存活率从50%提高到80%以上,而在其他频率无此效果,如图5所示。

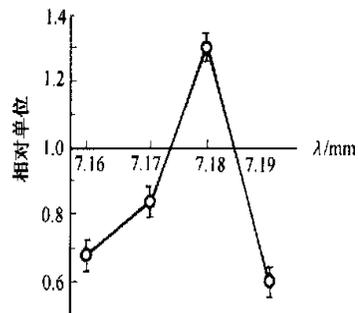


图4 频率相关特性

这些现象说明毫米波对生物体的作用涉及到非热生物学效应,即当外界施加小的能量诱导或激励,可在生物体内释放出巨大的能量。目前,医学上利用毫米波产生非热效应进行多种疾病治疗,用毫米波治疗溃疡病已取得良好疗效。高功率密度毫米波

她用物理的情趣,引我们科苑揽胜;
她用知识的力量,助我们奋起攀登!

欢迎投稿, 欢迎订阅

又是一年春草绿。《现代物理知识》在广大读者的关心和爱护下,迎来了 21 世纪的第二个明媚的春天。在新的一年里,她像大家一样,会有更新的创意、更高的追求!

新年里的《现代物理知识》,继续设有物理知识、物理前沿、科技经纬、教学参考、中学园地、科学源流、科学随笔和科苑快讯共 8 个栏目。欢迎大家向这些栏目踊跃投稿。恳请大家注意以下几点:稿件请用方格稿纸誊写,用微机打印的则请单面打印并留 1.5 倍行距;外国人名地名,请译成中文,有必要保留外文名称时则在文中首次出现时将外文用括号括在中译名后面,图表中的外文也尽可能地译成中文;文稿中的插图最好单独成页,并在文稿中的相应位置标上插图的编号;文稿无需附“摘要”和“关键词”等,一般也无需附“参考文献”,只需附上英文题目和作者的英文姓名;请注意语言规范,例如,“其它”一律改为“其他”,“公里”改为“千米”,“公斤”改为“千克”,数字和百分数尽量采用阿拉伯数字,除了书刊名称用书名号外,一般文章的题目则用引号。

《现代物理知识》的读者对象颇为广泛,有科学工作者、教育工作者、科学管理干部、大学生、中学生和其他物理学爱好者。欢迎各界人士继续订阅!

在邮局漏订或需要过去杂志的读者,请按下列价格汇款到《现代物理知识》编辑部(100039,北京 918 信箱现编部)补订。1992 年合订本,18 元;1993 年合订本,18 元;1995 年合订本,22 元;1996 年合订本,26 元;1993 年增刊,8 元;1994 年增刊,8 元;1994 年附加增刊合订本,36 元;1996 年增刊,15 元;1997 年合订本,30 元;1998 年合订本,32 元;1999 年合订本已售完,尚有 1、4、5、6 期单行本,每本 3 元;2000 年附加增刊合订本,38 元;2000 年增刊,10 元;2001 年合订本,48 元;2002 年每期 7 元,全年 42 元,订阅全年 5 份以上者,按 8 折优惠,即每份 33.60 元;《微观绝唱》(《诺贝尔奖百年鉴》丛书之一,江向东、黄艳华著,卞毓麟、匡志强责任编辑,上海科技教育出版社 2001 年 7 月出版),10 元。以上所列,均含邮资或免邮资。

对肝癌小鼠产生良好的远位抗癌效应。运用毫米波改善组织微循环血流,从而起到消炎、止痛作用。

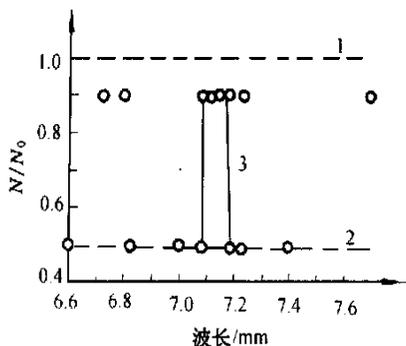


图 5 骨髓细胞数量随波长的变化

1. 对照组(无照射的动物);
2. X-射线照射;
3. 毫米波+X射线照射

对于毫米波产生非生物学效应的解释主要有相干电振荡理论和“声-电”波理论。相干电振荡理论预测生物系统中存在一系列在 10^{11}Hz 到 10^{12}Hz 径

向电模。如果局部地对某一部位供能,能量变化将由形成电模的所有部件共同承担和实现,若供能足够大,将导致单一电模产生强激励相干径向电震荡,它的波长取决于部件的几何精细结构。“声-电”理论提出辐射作用的最主要对象是生物膜,由于毫米波在深度零点几毫米的皮肤表层已被吸收,所以辐射效应主要出现在皮肤表层内,并通过神经纤维和体液系统被进一步传播。上述理论虽存在各自的不足,但都为毫米波在医学领域产生远位效应作出合理的解释。

波的频率、强度与作用时间等多方面的因素影响着波对生物组织的作用效果,同时生物组织因其固有特性而对波作出选择性,因而从波的能量角度出发,结合构成生物组织的物质本身特性,探索和发现两者更密切的联系,将会给研究工作者带来广阔的前景,相信在不久的将来,波对生物组织的作用将会得到更有效的利用。