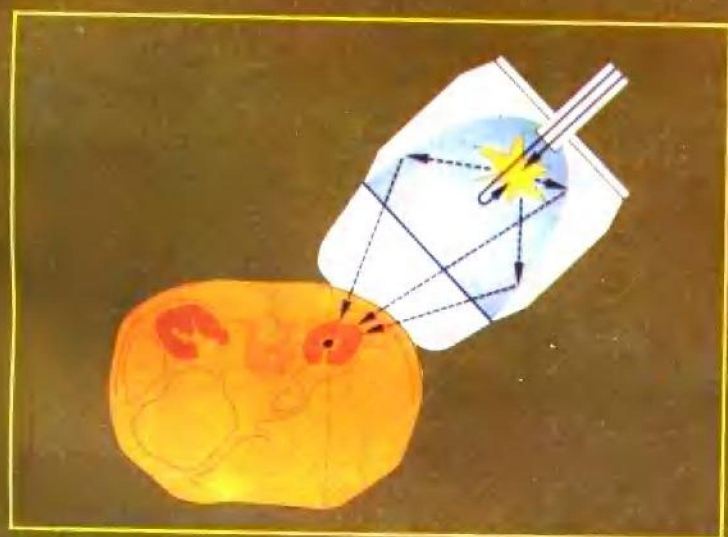


冯 若 汪荫棠 编著

超声治疗学



中国医药科技出版社

超声治疗学

冯 若 汪荫棠 编著

中国医药科技出版社

登记证号 (京) 075 号

内 容 提 要

本书从理工医相结合的科学高度,全面系统地论述了现代超声治疗学的发展及临床应用。主要内容有:超声物理基础、超声生物医学效应、超声疗法、超声—电疗法、超声药物透入疗法、超声雾化吸入疗法、超声外科、超声治癌、冲击波及超声波碎石及超声节育及抗早孕等,资料完整、新颖。两位作者长期在超声医学领域中,从事科学研究和临床工作,书中内容也包含了他们的部分科研成果。

该书为有关高等院校师生、广大医务工作者、患者及科技人员之必备参考书。

超声治疗学

冯 若 汪荫棠 编著

*

中国医药科技出版社 出版

(北京海淀区文慧园北路甲 22 号)

(邮政编码 100088)

本 社 激 光 照 排 部 排版

北京市昌平精工印刷厂 印刷

全国各地新华书店 经销

*

开本 $787 \times 1092 \text{mm}^{1/32}$ 印张 10

字数 212 千字 印数 1—3000

1994 年 12 月第 1 版 1994 年 12 月第 1 次印刷

ISBN 7-5067-1309-8/R · 1157

定价: 12.00 元

序 言

超声治疗学是超声医学的重要组成部分，而且从超声医学的发展历史来看，超声治疗技术至少要比超声诊断技术早出现一、二十年。在经历了一段缓慢的发展之后，超声治疗于近 20 年来又取得了世人瞩目的进步，不仅传统的超声理疗应用范围有许多新的扩展，而且一批新型的超声医疗技术相继问世，它们正有力地影响与推动着现代医疗技术的发展。

但是令人费解的是，在各门超声诊断专著频频出版的同时，在国内外却几乎看不到有关超声治疗学专著的问世。为此，人们只能在超声医学的专著中去查阅一些有关超声治疗学的梗概或片断，而无法从理工医相结合的科学高度、系统而深入地领略到它的发展细节与全貌。无疑，这种状况的延续，既不利于超声治疗学的人材培养，也不利于超声治疗技术的推广与发展。笔者在多年有关超声医学的科研、教学与临床工作中，对此况耳闻目睹，感怀颇深，遂有合作出书之萌想与计划。在众多朋友的支持鼓励下，于 1993 年底终成此书稿。

本书稿在落实出版过程中，得到了江苏省江阴市白云 BB 台经理江振华先生的大力资助。对于江经理关心与支持国家科技事业的一片拳拳之心深表由衷的敬佩与谢意。另外，本书在撰稿与清稿过程中得到了南京鼓楼医院图书馆和尚志

远，孙福成、关立勋、吴巍、许鑑青、解修伦、朱昌平、黄金兰及陈兆华等同志的帮助，在此一并表示感谢。

本书所及内容面广、交叉性强，且发展很快，作者的能力与时间有限，不足或不当之处在所难免，祈望读者指正。

编著者

1994 年 6 月 30 日于南京大学

目 录

第一章 绪论	(1)
第二章 超声波的物理基础	(4)
第一节 什么是超声波	(4)
第二节 如何产生超声波	(5)
一、压电效应与反压电效应	(5)
二、压电式超声换能器	(7)
三、磁致伸缩式超声换能器	(8)
第三节 纵波和横波	(10)
第四节 描述超声波的重要物理参数	(11)
一、频率与周期	(11)
二、波长	(11)
三、声速	(12)
四、质点的振动位移、速度与加速度	(12)
五、声压	(13)
六、声波的能量密度与声强	(14)
第五节 声波的传播	(14)
一、描述声波传播过程的惠更斯原理	(14)
二、声阻抗率与媒质的特性阻抗	(16)
三、声波的反射与折射	(19)
四、声波的散射	(21)
五、声波的吸收	(22)
六、声波的传播衰减与衰减的对数表示	(23)

七、声波的干涉与驻波	(27)
八、近场与远场	(28)
第三章 超声的生物医学效应及其物理机制	(31)
第一节 治疗超声的声场参数	(32)
一、治疗超声波的波形	(33)
二、治疗超声波声强的时空变化及其表述	(35)
第二节 超声生物效应的物理机制	(38)
一、热学机制	(39)
二、机械(力学)机制	(40)
三、空化机制	(41)
四、研究超声生物效应非热学机制的实验装置	(45)
五、医学超声对人体组织的可能作用机制	(46)
第三节 超声生物效应的基本实验数据	(48)
一、活体研究	(48)
二、离体研究	(54)
三、小结	(67)
第四节 不同剂量超声作用于人体各组织器官的 效应	(67)
一、皮肤	(70)
二、肌肉和结缔组织	(70)
三、骨骼	(71)
四、神经系统	(71)
五、心血管系统	(73)
六、消化系统	(75)
七、血液	(75)
八、内分泌	(75)
九、生殖系统	(76)
十、眼睛	(76)

十一、其他脏器	(7 7)
第四章 超声疗法	(7 8)
第一节 超声治疗设备	(7 8)
一、超声治疗仪的典型电路	(7 9)
二、超声治疗仪的波形与功率输出	(8 1)
三、超声治疗仪辐射的声场特性	(8 2)
四、使用超声治疗仪应注意的事项	(8 4)
五、超声治疗仪声输出的测量	(8 5)
六、超声治疗仪附件	(9 1)
七、超声耦合剂的选择	(9 4)
八、其它类型的超声治疗设备	(9 6)
第二节 超声治疗操作程序	(9 9)
一、操作常规和治疗方法	(9 9)
二、治疗剂量和疗程	(1 0 5)
三、治疗剂量的选择	(1 0 8)
第三节 超声疗法临床应用	(1 0 9)
一、治疗病种及方法	(1 0 9)
二、副反应及禁忌证	(1 3 9)
三、与其他治疗法的综合应用	(1 4 0)
第五章 超声-电疗法	(1 4 2)
第一节 超声-低频电疗法	(1 4 2)
一、超声-间动电疗法	(1 4 2)
二、超声-脉冲电疗法	(1 5 0)
第二节 超声-中频电疗法	(1 5 0)
一、超声-中频电疗法	(1 5 0)
二、超声-干扰电疗法	(1 5 3)
三、超声-等幅中频正弦（音频）电疗法	(1 5 4)
第六章 超声药物透入疗法	(1 5 6)

第一节	作用基础	(156)
第二节	疗法特点	(157)
第三节	仪器设备	(157)
第四节	药物制备	(158)
第五节	操作常规	(159)
第六节	其他要点	(159)
第七节	应用举例	(160)
第八节	适应证	(162)
第九节	禁忌证	(162)
第七章	超声雾化吸入疗法	(163)
第一节	作用原理	(163)
第二节	治疗设备	(164)
第三节	操作常规	(166)
第四节	应用举例	(168)
第五节	适应症	(170)
第八章	超声外科	(172)
第一节	前苏联的超声外科进展	(173)
一、	超声骨外科	(173)
二、	超声矫形外科	(174)
三、	超声用于脑垂体外科	(175)
四、	超声普外科	(175)
五、	超声动脉内膜切除术	(175)
六、	超声用于肺外科	(176)
七、	超声眼外科	(176)
第二节	超声美容和超声减肥术	(177)
一、	超声美容	(177)
二、	超声减肥术	(177)

第三节	超声手术刀的基本结构与工作原理	(180)
第四节	超声手术刀的切割机理和优点	(183)
一、	瞬时冲击加速度	(183)
二、	微声流的作用	(185)
三、	声空化的作用	(185)
第五节	几种专用的超声手术器械	(187)
一、	用于牙科的超声器械	(187)
二、	用于乳化和剔除白内障的超声器械	(188)
三、	用于剜除表浅病变组织的超声器械	(189)
第六节	我国的超声外科发展简况	(190)
第九章	超声治癌	(191)
第一节	升湿治癌的基本原理及应用概况	(192)
一、	作用基础	(192)
二、	仪器设备	(193)
三、	治疗技术	(199)
四、	应用举例	(201)
第二节	高能冲击波治癌研究进展	(204)
一、	研究近况	(205)
二、	机理探讨	(209)
三、	前景展望	(210)
第三节	体外聚焦高温热疗法 (FEP)	(211)
一、	FEP 的实验研究	(211)
二、	FEP 的动物实验研究	(211)
三、	FEP 对人体的实验研究	(212)
四、	前景展望	(213)
第十章	冲击波和超声波碎石	(214)
第一节	体内接触式超声波碎石	(214)

一、历史概述	(214)
二、接触式超声碎石设备	(216)
三、临床治疗	(217)
第二节 体外冲击波碎石的原理与设备	(217)
一、发展历史及现状	(217)
二、液电式体外冲击波碎石机的结构原理	(222)
三、液电效应	(234)
四、冲击波的碎石机理	(236)
五、压电式冲击波源	(238)
六、电磁式冲击波源	(240)
七、对各种 ESWL 系统的比较与评价	(242)
八、配合 ESWL 治疗的其他疗法	(251)
九、碎石冲击波对动物组织的损伤作用	(253)
第三节 ESWL 临床应用	(257)
一、国内应用实例	(258)
二、国外情况简介	(271)
三、儿童尿路结石	(277)
四、石街防治问题	(280)
第四节 ESWL 对人体的影响	(282)
一、对肾组织的损伤	(282)
二、对肾功能的影响	(284)
三、对血液生化和血液流变学的影响	(285)
四、对碎石机旁工作人员听力的影响	(287)
第五节 并发症及其防治	(288)
第六节 ESWL 治疗常规	(290)
一、准备工作	(290)
二、操作常规	(290)
第七节 适应证	(292)

第八节 禁忌证	(292)
第十一章 超声节育及抗早孕研究进展	(293)
第一节 超声节育	(293)
一、概述	(293)
二、研究动态	(294)
三、机理探索	(296)
四、操作要领	(297)
五、安全评价	(297)
六、前景展望	(298)
第二节 超声抗早孕研究进展	(299)
主要参考文献	(301)

第一章 绪 论

超声治疗学是超声医学的重要组成部分。超声治疗是将超声波能量作用于人体病变部位，以达到治疗疾患和促进机体康复的目的。

超声波是指振动频率大于 20 千赫兹的声波。自上世纪末到本世纪初，在物理学上发现了压电效应与反压电效应之后，人们解决了利用电子学技术产生超声波的办法，从此迅速揭开了发展与推广超声技术的历史篇章。半个多世纪以来，超声波已在科学技术、社会生产与生活等各个领域中获得了十分广泛的应用。

超声波是一种波动形式，因此它可作为探测与负载信息的载体或媒介；超声波同时又是一种能量形式，当其强度超过一定值时，它就可以通过与传播超声波的媒质的相互作用，去影响、改变以至破坏后者的状态，性质及结构。作为信息载体，超声波技术已用于水下定位与通讯、地下资源勘查、工业检查与控制、声电与声光器件、医学诊断、盲人探路及研究物质结构等方面。作为能量形式，超声波技术又在工业加工与处理、加速化学反应、超声治疗、细胞粉碎、大分子切割及种子处理等方面取得了重要应用。通常把前一类应用称为被动应用，而后一类应用称为主动应用。超声技术的被动应用与主动应用范围见表 1-1 所列。

表 1-1 超声技术的应用范围

被动应用	水下定位与探测：声呐、保卫领海、导航、开发海洋资源
	工业超声检测：探伤、测厚、流速与流量、粘度、组分、应力等
	超声测井：石油、煤田勘探及工程地质、水文地质评价等
	超声诊断：A 型、B 型、M 型、D 型、双功及彩超等
	超声用于研究物质结构：分子声学、量子声学
主动应用	工业上应用：清洗、焊接、加工、冷拉管及除气管
	医学中应用：理疗、治癌、外科、体外碎石、牙科等
	生物学中应用：剪切大分子、破坏细胞、生物工程及处理种子等
	化学中应用：声化学用于促进均相反应、乳化反应及其它多相反应
	化工等方面的应用：电镀、沉淀、结晶与雾化、分离与过滤等

早在第一次世界大战末，法国物理学家 Langevin 在研究超声水下探测时，就发现强超声波会对鱼类等小水生物产生致死效应。接着 Haavey 等人发现，超声辐照可使动物体内温度升高，以至造成细胞结构损伤。

1922 年，德国出现了首例超声治疗机的发明专利，1939 年发表了有关超声治疗取得临床效果的文献报道。但直到 1949 年召开的第一次国际医学超声学术会议上，才有了超声治疗方面的论文交流，为超声治疗学的发展奠定了基础。

国内在超声治疗领域起步稍晚，于 50 年代初只有少数医院开展超声治疗工作。公开的文献报道始见于 1957 年。30 多年来，已积累了相当数量的资料 and 比较丰富的临床经验。

自 50 年代起，超声诊断技术却越来越多地进入临床应用。始为 A 型，继而为 M 型，D 型（多普勒型）及 B 型，迅速推广普及。特别是到了 70 年代以后，超声诊断技术频繁地

更新换代,日新月异,相形之下,超声治疗一时显得停滞。但近 20 年来,超声治疗技术也步入新的发展时期,并在若干方面取得了突破性进展。

目前的超声治疗内容已有很大进展,除一般超声治疗法之外,还包括诸如超声药物透入疗法、超声雾化吸入疗法、超声穴位疗法(也称声针疗法)以及与其他理疗技术协同应用的超声-电疗法等等。特别引人瞩目的是超声外科、超声透热治癌及体外机械波碎石术,它们的出现与发展已使超声治疗在当代医疗技术中占据重要位置。

超声外科已在骨、脑神经、矫形外科、眼科及肿瘤、息肉摘除及减肥手术中得到有效的推广应用,并充分显示出它特有的优越性。透热治癌疗法正在继外科、化疗、放疗之后作为第四种疗法日益受到重视,而超声热疗由于其安全、可控、适于对深部肿瘤加热而倍受青睐。80 年代初出现的体外机械波碎石术,是结石症治疗史上的重大突破,如今已在国际范围内推广应用。

本书第二章首先介绍有关超声物理学的基础知识;第三章较为详实地叙述了超声生物医学效应及其产生的物理机制;第四章至第七章逐一地对超声疗法、超声-电疗法、超声药物透入疗法及超声雾化吸入疗法进行介绍;第八章至第十章则分别讨论了超声外科、超声治癌及冲击波与超声波碎石,这部分内容是超声治疗的新发展,也是本书的重要组成部分;第十一章扼要地介绍了有关超声节育及超声抗早孕的研究进展。

笔者将力求在本书编著中始终贯穿理工医相结合的特点。

第二章 超声波的物理基础

第一节 什么是超声波

超声波是声波大家族中的一员。

声波是物体机械振动状态（或能量）的传播形式。所谓振动是指物质的质点在其平衡位置附近进行的往返运动。譬如，鼓面经敲击后，它就上下振动，这种振动状态通过空气媒质向四面八方传播，这便是声波。

每秒钟内往返振动的次数叫频率，它的单位为赫兹，如声波每秒振动 100 次，我们就说这个声波的频率为 100Hz。目前，人类研究与使用的声波频率已从 $10^{-1} \sim 10^{13}$ Hz，足足跨越了 17 个数量级。

在物理学中，人们将声波依其频率高低和人耳对声波的感受能力，按如下区分与命名。

频率为 $10^{-4} \sim 16$ Hz 的声波称为次声。

频率为 $16 \sim 2 \times 10^4$ Hz 的声波称为可听声。

频率为 $2 \times 10^4 \sim 10^9$ Hz 的声波称为超声。

频率为 $10^9 \sim 10^{13}$ Hz 的声波称为特超声。

超声波的频率超出了人耳所能感受的声波频率上限，因而人耳听不见超声，这正如人的眼睛看不见紫外光一样，都是由于人的感官生理局限性所决定的。

由上述可见，超声波也是声波，而且由于它具有如下一些特点而成为声波大家族中重要的一员。这些特点是：

1. 超声波在传播时，方向性强，能量易于集中；
2. 超声波能在各种不同媒质中传播，且可传播足够远的距离；
3. 超声与传声媒质的相互作用适中，易于携带有关传声媒质状态的信息或对传声媒质产生效应。

正是由于超声波具有这些独特的优点，它在人类社会的生产、生活及各种科学技术中才得以开拓十分广泛的应用领域。

第二节 如何产生超声波

在所有超声应用中，超声波都是通过换能器产生的。所谓换能器，即指能够实现不同形式能量之间相互转换的器件。在超声医学中，超声换能器通常包括两大类，一类是实现电场能量与超声波能量相互转换的器件，称为压电式超声换能器；另一类，则是实现磁场能量与超声波能量相互转换的器件，称为磁致伸缩式超声换能器。

一、压电效应与反压电效应

·1880年，法国物理学家 Curie 发现，某些不具有中心对称结构的晶体，当受到一定方向外力作用时，其表面上会呈现电荷，这种现象称为压电效应。具有这种效应的晶体叫压电晶体。其后又发现，压电晶体同时也具有反压电效应，即在外电场作用下晶体产生形变。

压电效应的产生是由于晶体内部的离子在外力作用下产