

实用超声

治疗学

冯 若 王智彪 主编

 科学技术文献出版社

实用超声治疗学

顾 问 王建勋

主 编 冯 若 王智彪

编 委 冯 若 王智彪 王建勋 汪荫棠 周万松

作 者 (以姓氏笔画为序)

于廷和 王智彪 王芷龙 冯 若 叶方伟

伍 烽 李发琪 汪荫棠 陈文直 邹建中

吴 巍 周万松 赵纯亮

科学技术文献出版社

Scientific and Technical Documents Publishing House

北 京

图书在版编目(CIP)数据

实用超声治疗学/冯若,王智彪主编.-北京:科学技术文献出版社,2002.11
ISBN 7-5023-4109-9

I. 实… II. ①冯… ②王… III. 超声波疗法 IV. R454.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 062004 号

出 版 者:科学技术文献出版社

地 址:北京市复兴路 15 号(中央电视台西侧)/100038

图书编务部电话:(010)68514027,(010)68537104(传真)

图书发行部电话:(010)68514035(传真),(010)68514009

邮 购 部 电 话:(010)68515381,(010)68515544-2172

网 址:<http://www.stdph.com>

E-mail:stdph@istic.ac.cn;stdph@public.sti.ac.cn

策 划 编 辑:张金水

责 任 编 辑:张金水

责 任 校 对:赵文珍

责 任 出 版:刘金来

发 行 者:科学技术文献出版社发行 全国各地新华书店经销

印 刷 者:北京国马印刷厂

版 (印) 次:2002 年 11 月第 1 版第 1 次印刷

开 本:787×1092 16 开

字 数:387 千

印 张:16.5 彩插 4 面

印 数:1~5000 册

定 价:28.00 元

© 版权所有 违法必究

购买本社图书,凡字迹不清、缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责调换。

(京)新登字 130 号

内 容 简 介

本书内容包括超声波的物理基础,超声的生物医学效应及其物理机制,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。重点阐述了超声波治疗心血管疾病,脑血管疾病,超声血管成形术(超声消融术),超声外科,冲击波和超声波碎石,超声波热疗法治癌和冲击波治癌,高强聚焦超声无创外科,超声节育与抗早孕等。最后介绍了超声治疗技术研究的新进展。

本书适于超声医学工作者,医学院校有关专业师生参考。

我们所有的努力都是为了使您增长知识和才干

科学技术文献出版社是国家科学技术部所属的综合
性出版机构,主要出版医药卫生、农业、教学辅导,以及科技
政策、科技管理、信息科学、实用技术等各类图书。

前 言

超声医学是现代医学的重要组成部分,主要由超声诊断、超声治疗和医学超声工程等几个部分组成。

从超声医学的临床应用历史发展来看,超声治疗早于超声诊断。1928年 Harvey 等人首先发现超声波作用可以使生物组织发生变化,1939年 Pohman 等人就把超声用于治疗关节痛和神经痛疾病,1944年 Horvath 报道超声波治疗皮肤转移癌获得成功。

然而,其后的历史发展则表明,相对于20世纪40年代兴起、60—70年代迅速发展、80年代后走向辉煌的超声诊断技术而言,超声治疗则近乎处于停滞状态。

1980年之后,超声治疗技术开始活跃起来。这主要表现在超声外科、超声温热疗法治癌、冲击波和超声波体外碎石术的研究进展和临床应用。

为了推动超声治疗技术在我国的研究和应用,冯若和汪荫棠先生于1994年出版了《超声治疗学》,不仅为广大的临床超声治疗医生提供了帮助,而且还为一些医科高校培养学生提供了教材。

转瞬间,又8年过去了,时间跨入21世纪。在此期间,心脑血管的超声治疗受到空前重视,此外,具有重要意义的是高强聚焦超声(HIFU)无创外科重新崛起,它甚至成了超声医学发展在世纪之交的一个新亮点!

我国重庆医科大学率先研制出大型HIFU治疗机,并在临床治疗多种癌症获得成功。2000年春在重庆市召开的“首届HIFU在医学中应用的国际学术研讨会”,对国际HIFU技术的发展产生了深远影响,它还直接促成“国际超声治疗学会”的诞生,并开始了我国大型医疗设备向西方出口的先河。“第二届HIFU在医学中应用的国际学术研讨会”将于2002年7月在美国西雅图市召开。

中国超声医学工程学会亦将于2002年10月在北京召开“全国超声治疗学术交流大会”。为了更好地迎接这次大会的召开,与时俱进地推动我国超声治疗事业

的发展,王建勋研究员积极倡议并组织有关学者编写了这部《实用超声治疗学》,以及时反映近年来超声治疗技术的迅速发展,并安排落实好一切有关该书的出版事宜。在此,我们深表谢忱。

本书第二章介绍了有关超声物理学的基础知识;第三章较为翔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;第八章至第十章讨论超声治疗心脑血管疾病的应用和研究进展。第十一章至第十三章分别介绍超声外科、体外碎石术和超声温热疗法治癌等。第十四章讨论 HIFU 无创外科,主要是它在治疗肿瘤方面的研究和应用进展。第十五章讨论超声节育与抗早孕的研究进展。第十六章介绍超声治疗技术的若干研究进展。

由于编写时间仓促,尽管作者们付出了极大的努力,编写中始终贯穿理工医相结合的特点,但不足之处依然难免,还望读者不吝指正。

主 编

2002 年 6 月

目 录

第一章 绪论	冯 若(1)
第二章 超声波的物理基础	冯 若(3)
第一节 什么是超声波	(3)
第二节 如何产生超声波	(3)
一、压电效应与反压电效应	(4)
二、压电式超声换能器	(5)
三、磁致伸缩式超声换能器	(5)
第三节 纵波和横波	(6)
第四节 描述超声波的重要物理参数	(6)
一、频率与周期	(6)
二、波长	(7)
三、声速	(7)
四、质点的振动位移、速度与加速度	(7)
五、声压	(8)
六、声波的能量密度与声强	(8)
第五节 声波的传播	(8)
一、描述声波传播过程的惠更斯原理	(8)
二、声阻抗率与媒质的特性阻抗	(9)
三、声波的反射与折射	(11)
四、声波的散射	(12)
五、声波的吸收	(12)
六、声波的传播衰减与衰减的对数表示	(13)
七、声波的干涉与驻波	(15)
八、近场与远场	(15)
第三章 超声的生物医学效应及其物理机制	冯 若(18)
第一节 治疗超声的声场参数	(19)
一、治疗超声波的波形	(19)

二、治疗超声波声强的时空变化及其表述·····	(20)
第二节 超声生物效应的物理机制·····	(22)
一、热学机制·····	(22)
二、机械(力学)机制·····	(23)
三、空化机制·····	(23)
四、研究超声生物效应非热学机制的实验装置·····	(25)
五、医学超声对人体组织的可能作用机制·····	(26)
第三节 超声生物效应的基本实验数据·····	(27)
一、活体研究·····	(27)
二、离体研究·····	(30)
三、小结·····	(37)
第四节 不同剂量超声作用于人体各组织器官的效应·····	(38)
一、皮肤·····	(38)
二、肌肉和结缔组织·····	(38)
三、骨骼·····	(39)
四、神经系统·····	(39)
五、心血管系统·····	(40)
六、消化系统·····	(41)
七、血液·····	(41)
八、内分泌·····	(41)
九、生殖系统·····	(41)
十、眼睛·····	(42)
十一、其他脏器·····	(42)
第四章 超声疗法·····	(43)
第一节 超声治疗设备····· 冯 若 汪荫棠	(43)
一、超声治疗仪的典型电路·····	(43)
二、超声治疗仪的波形与功率输出·····	(44)
三、超声治疗仪辐射的声场特性·····	(45)
四、使用超声治疗仪应注意的事项·····	(46)
五、超声治疗仪声输出的测量·····	(46)
六、超声治疗仪附件·····	(50)
七、超声耦合剂的选择·····	(51)
八、其他类型的超声治疗设备·····	(52)
第二节 超声治疗操作程序····· 汪荫棠	(54)

一、操作常规和治疗方法	(54)
二、治疗剂量和疗程	(57)
三、治疗剂量的选择	(58)
第三节 超声疗法临床应用	汪荫棠 周万松(59)
一、治疗病种及方法	(59)
二、副反应及禁忌证	(81)
三、与其他治疗法的综合应用	(82)
第五章 超声-电疗法	汪荫棠(83)
第一节 超声-低频电疗法	(83)
一、超声-间动电疗法	(83)
二、超声-脉冲电疗法	(87)
第二节 超声-中频电疗法	(87)
一、超声-中频电疗法	(87)
二、超声-干扰电疗法	(89)
三、超声-等幅中频正弦(音频)电疗法	(90)
第六章 超声药物透入疗法	汪荫棠 周万松(91)
第一节 作用基础	(91)
第二节 疗法特点	(91)
第三节 仪器设备	(91)
第四节 药物制备	(92)
第五节 操作常规	(92)
第六节 其他要点	(93)
第七节 应用举例	(93)
第八节 适应证	(96)
第九节 禁忌证	(96)
第七章 超声雾化吸入疗法	汪荫棠 周万松(97)
第一节 作用原理	(97)
第二节 治疗设备	(98)
第三节 操作常规	(99)
第四节 应用举例	(99)
第五节 适应证	(102)
第八章 超声波治疗心血管疾病	周万松(103)
第一节 概述	(103)
第二节 冠心病	(103)

第三节 有关超声波治疗心脏病的实验研究·····	(104)
一、超声波对冠脉流量的影响·····	(104)
二、超声波对心肌收缩力、心律、心率的影响·····	(104)
三、组织学观察·····	(105)
四、超声波溶栓·····	(105)
五、降低血压,减少心脏负荷·····	(105)
六、降低血脂,有利于血管软化、减轻血管硬化·····	(105)
第四节 超声波治疗冠心病的机制·····	(106)
第五节 超声波治疗冠心病的效果·····	(107)
第六节 超声波治疗冠心病的意义评估·····	(109)
第七节 超声波治疗冠心病的操作方法·····	(110)
一、治疗部位的选择·····	(110)
二、操作方法·····	(110)
三、注意事项·····	(110)
第九章 超声波治疗脑血管疾病····· 周万松	(112)
第一节 概述·····	(112)
第二节 脑血管解剖与脑血液循环特点·····	(113)
一、脑血管解剖·····	(113)
二、脑血液循环的特点·····	(113)
第三节 脑血管疾病·····	(114)
一、缺血性脑血管疾病·····	(114)
二、出血性脑血管疾病·····	(115)
第四节 超声波治疗脑血管病的可行性·····	(116)
一、超声波的透颅率·····	(116)
二、超声波对脑组织安全性的研究·····	(117)
第五节 超声波治疗脑血管病的临床效果·····	(118)
第六节 超声波治疗脑血管病意义的评估·····	(121)
第七节 超声波治疗脑血管病的机制·····	(122)
第八节 超声波治疗脑血管病的方法·····	(124)
一、治疗部位的选择·····	(124)
二、治疗方法·····	(127)
三、注意事项·····	(128)
四、超声治疗脑血管病的时机选择·····	(128)
第十章 超声血管成形术(超声消融术)····· 吴 巍 冯 若	(129)

第一节 概述	(129)
第二节 作用原理	(129)
第三节 治疗设备	(130)
第四节 国外研究与应用	(131)
一、实验研究	(131)
二、临床应用研究	(132)
第五节 国内研究与应用	(134)
一、超声消融血栓的离体实验	(134)
二、实验动物研究	(135)
三、临床应用研究	(135)
第六节 超声血管成形术的临床意义	(137)
第七节 超声血管成形术存在的问题	(137)
第十一章 超声外科	冯 若(138)
第一节 前苏联的超声外科	(138)
一、超声骨外科	(138)
二、超声矫形外科	(139)
三、超声用于脑垂体外科	(139)
四、超声普外科	(139)
五、超声动脉内膜切除术	(140)
六、超声用于肺外科	(140)
七、超声眼外科	(140)
第二节 超声美容和超声减肥术	(141)
一、超声美容	(141)
二、超声减肥术	(141)
第三节 超声手术刀的基本结构与工作原理	(143)
第四节 超声手术刀的切割机理和优点	(144)
一、瞬时冲击加速度	(145)
二、微声流的作用	(145)
三、声空化的作用	(146)
第五节 几种专用的超声手术器械	(146)
一、用于牙科的超声器械	(146)
二、用于乳化和剔除白内障的超声器械	(147)
三、用于整除表浅病变组织的超声器械	(147)
第六节 我国超声外科发展简况	(148)

第十二章 冲击波和超声波碎石·····	冯 若 汪荫棠(149)
第一节 体内接触式超声波碎石·····	(149)
一、历史概述·····	(149)
二、接触式超声碎石设备·····	(150)
三、临床治疗·····	(150)
第二节 体外冲击波碎石的原理与设备·····	(151)
一、发展历史与现状·····	(151)
二、液电式体外冲击波碎石机的结构原理·····	(153)
三、液电效应·····	(159)
四、冲击波的碎石机理·····	(159)
五、压电式冲击波源·····	(160)
六、电磁式冲击波源·····	(161)
七、光脉冲冲击波源·····	(162)
八、对各种 ESWL 系统的比较与评价·····	(163)
九、配合 ESWL 治疗的其他疗法·····	(167)
十、碎石冲击波对动物组织的损伤作用·····	(168)
第三节 ESWL 临床应用·····	(170)
一、国内应用实例·····	(170)
二、国外情况简介·····	(176)
三、儿童尿路结石·····	(179)
四、石街防治问题·····	(180)
第四节 ESWL 对人体的影响·····	(182)
一、对肾组织的损伤·····	(182)
二、对肾功能的影响·····	(183)
三、对血液生化和血液流变学的影响·····	(183)
四、对碎石机旁工作人员听力的影响·····	(184)
第五节 并发症及其防治·····	(184)
第六节 ESWL 治疗常规·····	(185)
一、准备工作·····	(185)
二、操作常规·····	(186)
第七节 适应证·····	(186)
第八节 禁忌证·····	(186)
第十三章 超声温热疗法治癌和冲击波治癌·····	(188)
第一节 温热疗法治癌的基本原理及应用概况·····	冯 若(189)

一、作用基础	(189)
二、仪器设备	(189)
三、治疗技术	(192)
四、应用举例	(193)
第二节 高能冲击波治癌研究进展..... 汪荫棠	(195)
一、研究近况	(195)
二、机理探讨	(197)
三、前景展望	(198)
第十四章 高强度聚焦超声(HIFU)无创外科	(199)
第一节 HIFU 无创外科及其特点	王智彪 于廷和(199)
第二节 HIFU 的发展历史	王智彪 王芷龙 伍 烽(200)
第三节 HIFU 的工程研究	王芷龙 叶方伟 赵纯亮(201)
一、超声波发生和聚集单元	(201)
二、实时监控单元	(203)
三、自动控制单元	(203)
第四节 HIFU 的生物学效应及剂量学研究	李发琪 王智彪 于廷和(204)
一、细胞	(205)
二、组织	(205)
三、HIFU 生物学效应的机制	(208)
四、剂量学	(208)
第五节 HIFU 治疗肿瘤	伍 烽 陈文直 邹建中(212)
一、概述	(212)
二、原发性肝癌	(217)
三、原发性骨肿瘤	(218)
四、乳腺癌	(219)
五、软组织肿瘤	(221)
六、肾癌	(223)
七、胰腺癌	(224)
八、盆腔肿瘤	(224)
九、前列腺癌	(225)
第六节 HIFU 在医学中的其他应用	于廷和 王智彪(225)
第十五章 超声节育及抗早孕	(227)
第一节 超声节育	汪荫棠(227)
一、概述	(227)

二、研究动态	(227)
三、机理探索	(228)
四、操作要领	(229)
五、安全评价	(229)
六、前景展望	(229)
第二节 超声抗早孕.....	冯 若(230)
一、概述	(230)
二、对鼠和香猪的实验研究	(230)
三、HIFU 用于猴抗早孕的实验研究	(231)
四、结论	(232)
第十六章 超声治疗技术研究新进展.....	冯 若(233)
第一节 超声抗早孕.....	(233)
第二节 超声止血.....	(233)
第三节 超声基因疗法.....	(234)
一、概述	(234)
二、声孔效应	(234)
三、基因疗法的研究进展	(234)
四、基本结论	(236)
第四节 超声激活血卟啉治疗肿瘤.....	(236)
第五节 超声引导肝癌介入性治疗.....	(237)
一、概述	(237)
二、超声引导下局部液体制剂注射治疗	(237)
三、超声引导下局部间质热疗	(237)
主要参考文献.....	(239)

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 20kHz 的声波。自 19 世纪末到 20 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,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。

表 1-1 超声技术的应用范围

被 动 应 用	水下定位与探测:声纳、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、乳化反应及其他多相反应
	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动物产生致死效应。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 20 世纪 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。40 多年来,已积累了相当数量的资料和比较丰富的临床经验。

自 20 世纪 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。但近二三十年来,超声治疗技术也步入了新的发展时期,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、体外机械波碎石术和高强聚焦超声(HIFU)无创外科等,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。20 世纪 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。而在世纪之交时重新崛起的 HIFU 已被誉为是 21 世纪治疗肿瘤的新技术。

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(Hz),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^{-4} 到 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,区分与命名如下。

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,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。

由上述可知,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。

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