

毫米波

医疗技术及其临床应用

主 编 | 吴祈耀 屈大信
副主编 | 钦耀坤 刘朝晖

毫米波医疗技术及其 临床应用

主 编 吴祈耀 屈大信
副主编 钦耀坤 刘朝晖

中国科学技术出版社
· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

毫米波医疗技术及其临床应用/吴祈耀,屈大信主编. —北京:中国科学技术出版社,2010.3

ISBN 978-7-5046-5581-3

I. ①毫… II. ①吴…②屈… III. ①极高频-微波技术-电疗法②极高频-微波技术-临床应用 IV. ①R454.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 030243 号

本社图书贴有防伪标志,未贴为盗版

中国科学技术出版社出版

北京市海淀区中关村南大街 16 号 邮政编码:100081

电话:010-62173865 传真:010-62179148

<http://www.kjpbooks.com.cn>

北京长宁印刷有限公司印刷

*

开本:787 毫米×1092 毫米 1/16 印张:17.75 字数:450 千字

2010 年 3 月第 1 版 2010 年 3 月第 1 次印刷

定价:80.00 元

ISBN 978-7-5046-5581-3/R·1440

(凡购买本社的图书,如有缺页、倒页、
脱页者,本社发行部负责调换)

内 容 提 要

全书 5 篇 12 章。论述了电磁辐射与生命体组织的相互关系；低强度毫米波与生物体的相互作用所产生的各种生物学效应以及作用机理。介绍了毫米波疗法的临床应用情况，介绍了包括本书作者在内的国内外学者在十多年来的医学实践中所取得的成果。特别是毫米波对肿瘤的治疗及临床实验研究成果。此外还介绍了毫米波的医用设备与工程学原理；毫米波能量产生的原理、方法及装置；毫米波辐射的原理及结构形式；毫米波诊断及监测技术以及在医学实践中的应用。最后一篇阐述了毫米波疗法的机理及各学派理论要点：包括相干振荡理论；生物组织细胞膜中的声电波理论；生物体的经络系统与生物量子理论；毫米波疗法的神经生理机制。

本书对于生物医学工程领域的科研、教学人员；从事物理医学的医、护人员；从事生命电子学的科研、教学人员有重要参考价值；同时也可供从事电磁环境污染的研究人员，关心微波、毫米波医学应用的科技工作者参阅。

编委会名单

主 编	吴祈耀	屈大信			
副 主 编	钦耀坤	刘朝晖			
编委成员	陈景藻	郭 鹍	谭维溢	王中和	
	钦耀坤	屈大信	刘朝晖	王晓武	

责任编辑:张 楠 周倩如 许媛媛

责任校对:林 华

责任印制:张建农

前 言

毫米波是指自由空间波长在 $1 \sim 10\text{mm}$ 的电磁波，处于微波波段的高端，具有独特的物理特性，与生物体相互作用能产生特殊的生物学效应。毫米波技术作为电子学中一个重要技术领域，近半个世纪以来在理论和应用上都取得了很大进展。

早在 20 世纪 60 年代初，西方的一些科学家就开始了毫米波技术医学应用的探索，并对毫米波的非热生物学效应进行了较为系统的理论和实验研究。20 世纪 80 年代初，我国第四军医大学的郭鹑教授、陈景藻教授等老一辈科学家也开始了毫米波生物学效应和医学应用的研究。经过国内外两代科学家的努力，现在毫米波频段电磁辐射的生物医学效应已经被基础科学研究和许多医学实践所证实，并成为现代医学中的一个新的临床医疗技术。

毫米波疗法是指将毫米波频段的电磁辐射作用于活的生命体而产生疗效的治疗方法。其名称和作为一种新疗法的确立，不仅是由于它的频段在毫米波频段，而且还在于机体组织对它的反应有很多重要特点。其重要的特点之一，是在极低的（不产生热效应的）功率电平和相对较窄的频带内（为此，毫米波疗法有时候也称为谐振疗法）就能产生明显的生物学效应。毫米波疗法在临床应用上的其他重要特点还有：非侵入式（不需要将辐射探头等侵入到活的机体之中）、远距离作用或所谓远位效应（被治疗的器官可以离开辐射头 100 个波长以外）、多疗效（在治疗某一种疾病时也可以消除其他的疾患）等等。因此它能适应很多特殊治疗场合，既可以作为一种单一疗法，也可以与其他多种医疗方法安全地联合在一起使用。现在，基于这种方法所研制的治疗装置已经在临床上得到较多应用，特别是在溃疡病学、创伤学和外科学等方面获得明显疗效。

国内外医疗机构将毫米波疗法正式用于临床始于 20 世纪 80 年代

初，20 世纪 90 年代初俄罗斯、乌克兰等独联体国家已有较大范围的应用，并得到国家卫生部门的重视。同一时期，我国在谭维溢、李晶等老一辈专家教授的亲自指导和参与下，北京医院、友谊医院、协和医院、第四军医大学附属医院等一批全国知名医院，也都先后将毫米波疗法用于临床并开展了应用研究。他们做了许多卓有成效的工作，积累了大量的经验，并一直延续到现在。20 世纪 90 年代后期王中和教授等在有关部门的支持下，在我国开展了毫米波疗法用于癌症辅助治疗的临床研究，上海第九人民医院和上海肺科医院等都做了大量临床实验研究工作，对深入了解这一疗法的临床价值和进一步扩展应用都做了非常有益的尝试。

基于当时毫米波治疗技术发展的需要，吴祈耀教授和唐晓英博士在医、工两界学者的支持下，归纳整理了当时手头掌握的国内外相关资料，于 1998 年 1 月出版了《毫米波技术与生物医学》一书。2001 年，鉴于当时毫米波技术的发展形势和国内临床资料的不断丰富，业内一批老专家提出再共同撰写一本更全面反映我国毫米波治疗技术发展现状的专著，以进一步推进这一技术的发展。但由于各种主客观原因，当时未能如愿。延至今日，我国毫米波治疗技术又有了一些新的进展，加上受到新医改政策的激励，医、工、企部分业内专家重新提出并商定，由吴祈耀教授和屈大信教授牵头，组织原来参与编写的专家在原有文稿基础上，整理和充实新内容后正式出书，以满足业内科技、医务工作者和社会相关各界的需要，为推动这一技术和产业的发展贡献一份力量。

本书较系统地论述了电磁辐射与生命体组织的相互关系；重点论述了低强度毫米波与生物体的相互作用所产生的各种生物学效应以及作用机理。

较全面地介绍了毫米波疗法临床应用及研究成果，包括我国和国外在近十多年来的医学实践中所取得的成果。重点介绍了我国的临床应用情况，特别是对肿瘤的治疗及临床实验研究结果。

简要介绍了毫米波的医用设备与工程学原理。包括毫米波能量产

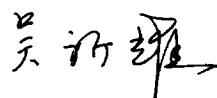
生的原理、方法及装置；毫米波辐射的原理及结构形式。毫米波诊断及监测技术以及在医学实践中的应用。

较完整地阐述了毫米波疗法的机理及各学派理论要点。包括相干振荡理论；生物组织细胞膜中的声电波理论；生物体的经络系统与量子生物学理论；毫米波疗法的神经生理机制等。

本书与《毫米波技术与生物医学》堪称是姊妹篇，不仅充实了近十年来科学的进步与相关技术发展的内容，而且着重反映了毫米波治疗技术在我国的发展现状。书中医学临床和工程技术部分的叙述，大量采用了国内资料，而且其中相当一部分内容是参编作者本人的工作经验总结和研究体会。由于本书不论在临床应用方面还是医疗设备方面，或是理论阐述方面，都力求做到与实际更为紧密的结合，力求通俗易懂，因此本书在内容上具有较强的现实性、实践性，从而具有较好的可读性。

本书对于从事医学临床的医、护人员；从事生物医学工程和医用电子学领域的科研、教学人员有很好的参考价值；亦可供从事电磁环境保护的研究人员，关心微波、毫米波医学应用的科技工作者参阅。

在本书酝酿和完成过程中，相关学界的朋友们，对本书的出版给予了很多支持，在此我们深表谢意！



2009年11月15日

目 录

第一篇 毫米波技术医学应用的物理学基础

第一章 微波及其生物物理特性	3
第一节 微波的基本特性及其应用	3
第二节 微波的生物物理特性及其医学应用	7
第二章 毫米波电磁辐射与生命组织	13
第一节 生物组织与毫米波辐射相互作用的特点	13
第二节 毫米波辐射与生物组织作用的实验研究	18

第二篇 毫米波作用的医学基础研究

第三章 毫米波生物学效应及治疗作用	25
第一节 毫米波生物学效应研究及应用概况	25
第二节 毫米波的生物学作用特点	25
第三节 毫米波的生物学非热效应	28
第四节 毫米波医学应用具有广阔前景	41
第五节 亚毫米波生物学效应	41
第四章 电磁辐射生物学效应的机理	47

第三篇 毫米波作用的医学临床研究与实践

第五章 毫米波治疗的各种模式	61
第一节 固定频率疗法	61
第二节 治疗联合疗效监测的疗法	67
第三节 毫米波生物反馈疗法	71
第四节 毫米波谐振疗法	73
第五节 连续频谱疗法	79
第六章 毫米波疗法的临床应用	83
第一节 毫米波疗法的技术方法	83
第二节 毫米波疗法的适应证及其疗效	87
第三节 毫米波疗法的安全应用	111
第七章 毫米波治疗肿瘤的临床应用	112
第一节 毫米波治疗肿瘤的发展史	112
第二节 毫米波治疗肿瘤的实验基础和依据	113
第三节 毫米波治疗恶性肿瘤的临床应用	122

第四节	毫米波治疗良性肿瘤	147
第五节	毫米波治疗肿瘤的发展前景和展望	147

第四篇 毫米波医用设备与工程学原理

第八章	毫米波疗法的仪器设备	151
第一节	毫米波治疗设备的要求和主要技术指标	151
第二节	毫米波治疗仪的类型、组成及其工作原理	152
第三节	毫米波信号发生器	156
第四节	毫米波天线	166
第九章	毫米波监测和诊断技术	170
第一节	毫米波监测与诊断概述	170
第二节	电特性监测诊断法	171
第三节	穴位经络测温监测诊断法	186
第四节	毫米波疗法中专用的监测诊断法	196

第五篇 毫米波生物电磁学的基础理论

第十章	生物组织细胞膜中的声电波理论	201
第一节	细胞膜的声电波	201
第二节	细胞膜的特性	208
第三节	生物组织中信息的传递过程	214
第四节	免疫的电磁机制	218
第十一章	量子生物学与经络系统	223
第一节	量子生物学基础	223
第二节	多细胞组织的宏观量子理论	226
第三节	生物系统的“信息熵”	236
第四节	关于经络和“气”的现代认识	237
第五节	中医经络理论在毫米波疗法中的应用	242
第六节	毫米波诊疗中的“得气”现象及其临床应用	243
第十二章	毫米波疗法的神经生理机制	246
第一节	主要论点	246
第二节	图像识别和神经计算理论	247
第三节	识别系统的工作质量	250
第四节	神经计算	252
第五节	自诊断和自疗	255
参考文献		260

Copyright © 2010 John Wiley & Sons, Ltd.

第一章 微波及其生物物理特性

第一节 微波的基本特性及其应用

一、微波波段的划分

微波就是频率很高的无线电波。频率高到什么程度才称之为微波呢？根据国际相关组织的划定，频率在 300MHz ~ 3000GHz，相对应的波长为 1m ~ 0.1mm 这个范围的无线电波就称为微波波段。根据应用上的特点，通常又将微波分成：分米波、厘米波、毫米波和亚毫米波 4 个波段，如表 1-1-1 所示。

表 1-1-1 微波波段的划分

波段名称	波长范围	频率范围 (GHz)	频段名称
分米波	1m ~ 10cm	0.3 ~ 3	超高频 UHF
厘米波	10cm ~ 1cm	3 ~ 30	特高频 SHF
毫米波	10mm ~ 1mm	30 ~ 300	极高频 EHF
亚毫米波	1mm ~ 0.1mm	300 ~ 3000	至高频

毫米波本属于微波波段范围内，由于毫米波具有许多优势，用途极其广泛，地位重要，所以人们经常把毫米波和微波相提并论。

在工程应用中，又将微波波段进行了细分，常用拉丁字母代表微波波段名称，例如 S 波段，代表 10cm 波段，Ka 波段代表 8mm 波段等等。如表 1-1-2 所示。

表 1-1-2 微波波段及其代号

波段	频率范围 (GHz)	波段	频率范围 (GHz)
uhf	0.3 ~ 1.12	K	18.0 ~ 26.5
L	1.12 ~ 1.7	Ka	26.5 ~ 40.0
Ls	1.7 ~ 2.6	Q	33.0 ~ 50.0
S	2.6 ~ 3.95	U	40.0 ~ 60.0
C	3.95 ~ 5.85	M	50.0 ~ 75.0
XC	5.85 ~ 8.2	E	60.0 ~ 90.0
X	8.2 ~ 12.4	F	90.0 ~ 140.0
Ku	12.4 ~ 18.0	G	140.0 ~ 220.0
		R	220.0 ~ 325.0

表 1-1-3 电磁波频谱

表中：Hz（赫兹）、kHz（千赫兹）、MHz（兆赫兹）、GHz（吉赫兹）、THz（太赫兹）、PHz（拍赫兹）都是频率的单位。

二、微波的特性

1. 短波特性

2. 似光性

些性质：以光速直线传播；有反射、折射、绕射、干涉等现象；某些几何光学原理仍然适用，如镜像原理、透镜聚焦可以获得很窄的定向的波束、多普勒效应可用于测量物体速度等。雷达能发现和跟踪目标正是利用了这些原理。

3. 穿透性

微波可以穿过电离层。这是人类探测外层空间的“宇宙窗户”。这就为宇宙通信、外空探测、宇宙飞船的测控、人造地球卫星、全球卫星定位系统（GPS）、导航及射电天文的研究发展提供了必要的条件。

4. 研究方法的特殊性

微波的研究方法与低频不同。在低频电路中采用的是“路”的概念和方法，而微波电路则需要采用“场”的概念和方法。在低频电路系统中用电压、电流这样的概念就可以对系统作出明确的描述，但在微波电路中电压、电流等概念失去了明确的物理意义，只有用电场、磁场和电磁波的概念来描述。普通集中参数的元件如电阻、电容、电感等已不能应用，代之的是传输线、波导管、谐振腔、微带线、不均匀性元件等分布参数的元部件。微波能量的产生、传输、接收、放大及信号处理均与低频不同，微波有它独立的完整的一套理论和技术体系。支持微波技术的元件、器件、材料以及测量仪器设备也有一套完整体系。

5. 宽频带特性

微波的频率很高，可用的频带宽度就很宽，可达数百兆赫至数十千兆赫，这是低频无线电波无法比拟的。频带宽就意味着信息容量大，因此微波具有巨大的信息传输潜力，为多路电视、多路电话能在一条线路上传送提供了可能。因此现代多路无线通信几乎都工作在微波波段。

6. 量子特性

许多物质的分子和原子中量子能级的跃迁发生在微波波段，利用这一性质可以研究分子和原子构造，对尖端科学、微波波谱学、量子物理学的发展起着非常重要的作用。

三、微波技术的应用

微波技术的应用极其广阔，最早用于通信和雷达，近代微波技术广泛用于工业农业、天气气象、测量分析、生物医学、科学研究等领域。

1. 雷达

雷达就是利用无线电波方法发现目标并测定目标的位置，包括距离、方位和仰角。因此，雷达也称为“无线电定位”。随着技术的发展，雷达的任务不仅是测量目标的距离、方位、仰角，而且还包括测量目标的速度及从回波中提取更多的信息。

雷达是微波技术的传统应用领域。雷达、青霉素和原子弹被称为第二次世界大战期间的三大科学发明。1931~1935年，英国皇家无线电研究所的科学家首先发明了雷达，当时雷达作用距离仅为80km，雷达在第二次世界大战中进入实用阶段，并在许多战役中发挥了决定性的作用，其中包括著名的不列颠空战和中途岛海战。在第二次世界大战后各国都非常重视雷达技术，雷达技术因此得到迅猛的发展。现代雷达性能日

臻完善，种类繁多，不仅从早期的军事领域已扩展到民用，而且应用范围越来越广泛。

在军事领域里有：远程警戒雷达，其作用距离可达 10000km 以上。

相控阵雷达：它利用计算机控制其天线阵列，实现电扫描，可以同时探测几个甚至几十个目标。

导弹制导雷达：能引导飞行器（如导弹、卫星、无人驾驶飞机等）按一定飞行规律导向目标的雷达称为制导雷达，能引导导弹飞向目标的雷达就是导弹制导雷达。

寻的制导雷达：就是装在导弹内部的雷达，用来测量目标的坐标，形成控制信号，使导弹自动飞向目标的一种制导方法。除此还有测量雷达、成像雷达等。

在民用领域有：气象雷达，导航雷达，遥感探测雷达，多普勒测速雷达，汽车防撞雷达等。

2. 微波通信

微波通信有中继通信和卫星通信。微波通信有许多独特的优点：频带宽，可实现多路通信；微波可在视距内直线、定向传播，保密性好；微波受工业、天电和宇宙等外界干扰较小，通信质量较高；由于微波能穿透电离层，而低频无线电波则不能，所以微波可实现卫星通信或地面和卫星间的通信。

3. 微波遥感

微波遥感是根据物质的自然辐射特性，用专用的微波遥感设备对远距离目标进行非接触的检测、成像和识别的一门技术。这是 20 世纪 60 年代开始并迅速发展起来的综合性的科学技术。遥感可以从不同的高度，使用各种灵敏的传感器，接收来自地球表层各类地物的各种电磁波信息，并对这些信息加工处理，形成对不同地物地貌的特性进行远距离的探测、成像及识别。遥感使用的波段有可见光、近中红外、远红外及微波等。但微波遥感有它突出的优点：地物目标对微波的反射性能好，易于聚成窄波束；不受高空电离层的反射的影响，大气性能好，可全天候工作；大地微波辐射小，对人工发射的微波波束干扰小等。因此，微波遥感占重要地位，广泛用于测绘、农业、地质、水文、海洋环境监测、工程建设、军事侦察等方面。

4. 微波检测技术

微波广泛用于无损检测领域，由于微波有穿透非金属材料、对金属材料能全反射的特点，所以用以检测的范围较广，包括增强塑料；蜂窝结构中的分层、脱粘；飞机轮胎的内部气孔、裂缝；金属材料加工表面的粗糙度、裂纹、划痕及其深度。另外，非金属材料的湿度、密度，混合物组分比、固化度；金属板与介质板的厚度以及各种线径、微小位移、等离子体的温度等。

5. 微波波谱学

微波波谱学是一门研究在微波频率下，物质产生电磁辐射与吸收以及能量的分布情况，以了解分子能谱的精细结构和超精细结构的学科。

6. 微波在电子计算机领域的应用

电子计算机是人类 20 世纪最重大的发明之一，早期的计算机与微波技术毫无关系，随着计算机芯片制造技术的不断进步，电子计算机的工作主频率从早期的 20 ~ 120MHz 不断向更高的频率发展。这个工作主频率控制整个计算机的工作顺序，决定了

计算机的运行速度。1997 年世界上领先的计算机微处理器的主频达到 900MHz, 2000 年英特尔公司新一代微处理器主频已经达到 1.5GHz, 到 2002 年时, 英特尔公司的奔 4 系列芯片主频达到 2.2GHz, 目前已达 2.53GHz。由此可见, 新型计算机系统离不开微波技术。

7. 微波在农业上的应用

微波在农业方面的应用也越来越广泛。微波已普遍地用于烘干谷类作物; 微波育种方面, 用微波照射种子后, 可提高发芽率, 提高抗病虫害的能力; 用微波处理蚕卵后可以提高产茧量和茧层率; 微波能杀灭线虫和土壤里的其他害虫; 微波能灭菌、灭酶、除草等。微波除草完全没有毒性残余物留在土壤中, 土地经微波处理两小时后可以播种庄稼; 土壤经微波照射后, 一年内不生杂草, 几乎没有害虫。

8. 用于科学研究

微波作为一种科学研究的手段也得到了广泛的应用, 微波在物理学、天文学、化学、医学、气象学等科学领域里的应用导致许多重要的科学发现和进展。20 世纪 60 年代天文学的四大发现——类星体、中子星、2.7K 微波背景辐射和星际有机分子, 都是利用微波作为主要观测手段而发现的。

9. 其他方面

微波在食品工业中用于杀菌、保鲜、食品膨化以及干燥等。微波在环境保护领域用于废气处理, 污水处理, 固体废弃物的处理以及环境监测等。微波在化工行业应用非常广泛, 微波可以促进化学反应, 甚至有些物质原本不可能发生化学反应的经微波处理后可以产生化学反应。

第二节 微波的生物物理特性及其医学应用

一、微波的生物物理特性

微波辐射在与生物相互作用时表现出的生物物理学特性主要有以下几种。

1. 非电离辐射

辐射是指能量在空间或介质中的发射和传播。辐射可分为两大类: 粒子辐射与电磁辐射。粒子辐射是具有一定质量的粒子, 如电子、质子、中子、 α 粒子、负介子和带电重粒子等, 在一定范围内具有确定动量和在任何瞬间具有确定位置的运动粒子所传播的能量。

电磁辐射则是一种带能量的电磁波, 它仅有能量而无静止质量。电磁辐射包括光波、热波、无线电波、微波、紫外线、X 射线和 γ 射线等。因为它们最初都是由麦克斯韦用振荡电磁理论来解释的, 故统称为“电磁辐射”。

无论是电磁辐射或粒子辐射, 能量总是有所不同。能量高时, 冲击物质时可以使物质的核或外周电子脱离原来位置, 形成自由电子, 或跃迁到能量较高的能级, 产生物质的电离或激发, 这一类称为电离辐射。而能量较低的电磁波或粒子, 其能量不足