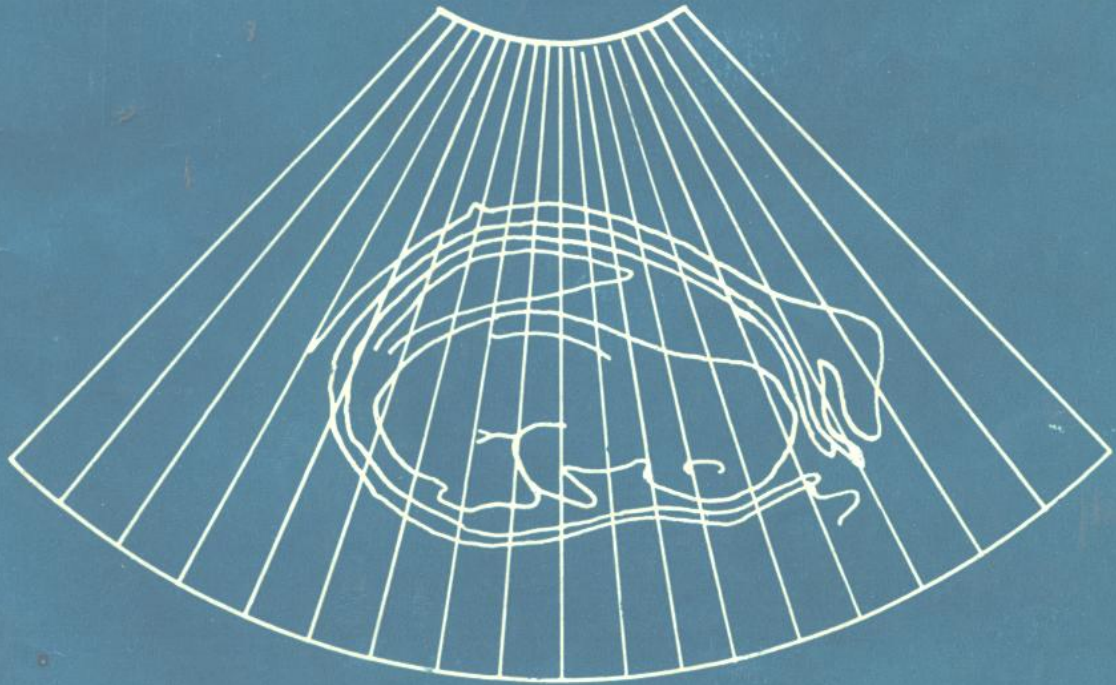


# 医学超声

Medical Ultrasonics

• 金树武 编著 •



浙江大学出版社

123195

D2-99/07

# 医学超声

金树武 编著

浙江大学出版社

(浙)新登字10号

## 内 容 简 介

本书是生物医学工程与仪器专业应用多年的教材。按照新学科的特点，采用了理工医相结合方法编写。全书共分八章，分别叙述了发展史与现状；医学超声物理基础；医用超声换能器及声场；脉冲回声技术；医学超声仪器基本结构与A型仪器，M型仪器及应用；B型超声显像仪原理与设计考虑；超声多普勒技术与仪器等方面的内容。

本书内容新颖，图文并茂。由浅入深，循序渐进，较系统地介绍了新学科的基础知识，仪器原理、设计和应用，以及最新科研成果。可以作为高校生物医学工程专业及医学影像专业教材。本书内有大量的图表、数据和参考文献。对于从事医学超声教学的高校教师、科研及工程人员、本科生和研究生、临床超声诊断医师、进修的教师和医师，都将是一本很有价值的参考书。

## 医 学 超 声

金树武 编著

责任编辑 陈子饶

浙江大学出版社出版  
德清第二印刷厂印刷  
浙江省新华书店发行

开本787×1092 1/16 印张：22 字数：549千

1992年9月第1版 1992年9月第1次印刷

印数：0001—2000

ISBN 7-308-01017-1

TH·035 定价：6.00元

# 前 言

基础理论学科和技术学科相互结合,生命科学和工程技术相互渗透,促进了现代新学科的形成和发展。科学家们预测,用工程技术方法研究生命科学,是今后几十年内大有发展前途的领域,人们将于此创建不朽的丰碑。新兴的生物医学超声工程学正是这新领域中一支生力军。1973年“世界生物医学超声联合会”的成立,有力地推动了新学科在世界各地的迅速发展。

生物医学超声工程学是现代超声物理学、生物医学、电子探测技术和计算机技术相互渗透的结果。是具有理工医三结合特点的新边缘学科。它包括基础理论研究、仪器工程开发研究和生物医学应用研究三个相互联系又相互促进的方面。它以研究超声波与生物组织相互作用规律和生物效应为基础;研制先进的生物医学超声设备为工具,来进行诊断、治疗、康复、监护或普查人体疾病;并可在农牧渔林业中实现培育良种或促进速生和高产等多种应用。

生物医学超声工程技术的产生可以追溯到本世纪20年代,但直到60年代才在医学诊断中获得较广泛的初步应用。60年代,随着B型超声成像技术的不断革新,生物医学超声工程学出现了蓬勃发展的新局面。80年代以来,医学超声成像与计算机新技术、新型压电材料及换能器工艺密切结合,高分辨率和多功能的B型超声诊断显像仪不断出现,获得了广泛的应用。B型超声图像诊断已成为医学图像检查的首选技术,每年全世界有数以亿计的患者接受超声诊断或健康普查。与此同时,在基础理论深入研究的基础上,各种新技术,如彩色超声多普勒成像、超声CT、超声三维成像、超声显微镜、超声手术刀、超声加热治癌等各种新技术亦获得了开发应用。与此相关的基础理论研究、新型超声换能器研究、新的医学超声检测参量等研究,均在深入进行。而在农牧渔林业各业中的超声应用则方兴未艾。出现了世界性的生物医学超声热。

70年代中期以来,世界医学超声设备的销售一直按15%左右的高速度增长。我国也处于同样高速发展的状态。据估测,目前所使用的各种医学超声设备已近10万台,近十年来翻了两翻。与当代计算机技术密切结合的新兴B型超声显像仪,在70年代仅使用大中城市中的重点医院,目前已向区乡一级医院普及;国家计划生育委员会决定推广B型超声显像技术,用于计划生育工作,将把这一现代技术推向边远的地区。面临着大量地培养医学超声临床诊断及维修人才的任务。同时,为了改变各类先进医学超声设备大量进口的状态,必须在医学超声学基础研究和仪器工程开发方面加强投入,培养具有医学超声工程学新的知识结构的人才成了当务之急。同时也对理工医相结合的教材提出了迫切要求。

《医学超声》一书源于1979年来为浙大生物医学工程专业教学编写的讲义。多年来,先后为西安交通大学、清华大学、南京大学声学所、武汉无线电研究所等许多单位用于教学讲义或参考资料,受到普遍好评。许多专家还在百忙中提出宝贵的建议,由作者多次修改增补而成的。本书第一章绪论,介绍了医学超声发展史及现状;第二章是医学超声物理基础;第三章是医学超声换能器及超声场;第四章是超声脉冲回声技术原理;第五章是

超声诊断仪基本结构原理和A型仪器；第六章为M型超声诊断仪结构原理及应用；第七章是B型超声显像技术；第八章是医学超声多普勒技术。

本书采用了理工医进行结合的方式进行编写，注意深入浅出而有系统地介绍了超声物理学和超声换能器的基础，而后又按医学超声仪器发展过程由简单到复杂地作了较有系统的介绍。可以用作生物医学工程专业本科生教材，也可以用作跨学科工作的科研人员、进修教师、工厂工程人员、医学临床医师和医院维修人员的自学教材和参考书。

由于编者水平和收集资料所限。加之医学超声发展迅速，论文繁浩，新技术新设备不断出现，也使人感到力不从心。编写中差错难免，敬希批评指正，以便校改。

本书在编写中得到了学部委员、中国声学会名誉会长魏荣爵教授，南京大学声学所冯若教授，西安交通大学生物医学工程专业程敬之教授，陕西师范大学赵恒元教授，上海第六人民医院周永昌教授、南京大学物理系金新教授、清华大学电机系邵会华、沈以鸿副教授，复旦大学电子工程系王威琪教授，安科公司副总经理刘忠齐研究员等的真诚鼓励和帮助，特此致谢。对钟信仲、陆红等同志的大力协助表示感谢。

金树武

1991年9月1日

# 目 录

## 第一章 绪论

§1 新兴的生物学超声工程学	1
§2 发展简史	1
§3 发展概况	2
§4 发展方向展望	8

## 第二章 医学超声物理基础

§1 振动学基础	11
一、质点的自由振动；二、质点的衰减振动；三、质点的强迫振动； 四、电声换能器振动区间选择原理；五、电声换能器的频率响应 选择；六、强迫振动的能量关系；七、振动的合成	
§2 超声波	25
一、声波和超声波；二、声压的基本概念；三、声波波动方程；四、 声波传播速度；五、超声波的物理参量及相互关系；六、超声波波 型	
§3 超声波的传播特性	46
一、声学边界条件；二、超声波在界面上反射和折射；三、超声波 通过中间层传播；四、散射和绕射；五、超声波的干涉	
§4 超声的衰减	63
一、衰减的成因；二、衰减系数；三、衰减系数的理论分析；四、 生物组织的超声衰减	
§5 超声波的非线性特性	78
一、非线性声波方程；二、B/A非线性声学参量计算和测量	
§6 超声的其他物理特性	84
一、声波的辐射力；二、超声多普勒效应；三、超声的其他单向力	

## 第三章 医用超声换能器及辐射声场

§1 压电效应和压电材料	89
一、压电效应的物理原理；二、压电材料；三、压电陶瓷材料的生 成；四、压电高分子聚合材料	
§2 压电方程及压电常数	98
一、压电方程；二、压电常数的物理意义；三、一些重要参数的意义	
§3 医用超声换能器设计考虑	105
一、医学用途和压电材料选择；二、振动模式；三、等效电路； 四、超声换能器的瞬态特性；五、医用超声换能器设计考虑流程	

§4	医用超声换能器电声匹配	124
	一、有损耗背衬；二、电阻抗匹配；三、1/4波长匹配层	
§5	医用单振子超声换能器的结构和声场	130
	一、单振子超声换能器的种类和基本结构；二、均匀圆盘单探头辐射声场特性；三、矩形晶片单探头的辐射声场；四、遮幅式单探头超声换能器	
§6	医用聚焦超声换能器	144
	一、声透镜聚焦系统；二、声反射镜聚焦系统；三、曲面超声换能器发射聚焦系统	
§7	聚能型医用超声换能器	151
	一、圆锥形聚能超声换能器；二、指数形聚能超声换能器；三、双曲函数形聚能超声换能器；四、阶梯形聚能超声换能器；五、医用聚能超声换能器	
§8	医用多晶片超声换能器与辐射声场	162
	一、双晶片超声换能器声场；二、线阵声源辐射声场；三、相控阵超声换能器辐射声场；四、多晶片聚焦超声换能器设计考虑；五、相控阵多晶片超声换能器	

#### 第四章 医学超声脉冲回声技术总论

§1	基本原理	175
	一、超声脉冲回声检测原理；二、医学超声诊断的人—机关系；三、医学超声诊断的安全性考虑；四、脉冲回声法的三种基本显示方法	
§2	超声脉冲回声系统的总体考虑	180
	一、探测深度和脉冲重复频率；二、工作频率和带宽；三、动态范围和线性范围；四、增益和深度补偿；五、近区特性；六、同步控制要求；七、医学超声仪器的分辨率；八、对比度的概念	
§3	显示器选择	193
	一、阴极射线管；二、电子存储管；三、扫描转换存储管；四、灰阶和彩色显示；五、显示器选择的基本要求；六、其他显示和记录方式	

#### 第五章 超声诊断仪基本结构和A型超声诊断仪

§1	A型显示原理及仪器结构	202
	一、A型显示方式；二、A型超声诊断仪总体结构；	
§2	发射器	204
§3	脉冲回声信号的基本处理过程	206
	一、信号处理流程图；二、射频信号放大处理；三、解调和抑制；四、视频信号放大处理	
§4	基本辅助电路	220
	一、时间电路；二、显示电路；三、电源电路	
§5	A型超声诊断仪系统分析	233

一、整机工作原理；二、电路分析；三、应用简介

**第六章 M型超声诊断仪原理及应用**

§1 概述	242
§2 M型超声诊断仪结构和工作原理	243
一、基本结构；二、工作原理	
§3 M型心脏功能超声诊断仪	244
一、三参数心功能超声诊断仪；二、双导型超声心动图仪；三、M型仪器中的标志和整形电路	
§4 M形波形的处理	247
一、概述；二、M型数字扫描转换处理原理	
§5 M型诊断的基本方法与临床应用	251
一、探测区域和波影；二、M型超声心动图的检查方法；三、M型诊断心脏疾病	

**第七章 B型超声显像诊断仪**

§1 基本原理和总体考虑	259
一、基本原理；二、声束扫查技术；三、B型超声显像仪设计的总体考虑	
§2 机械扫查B型超声显像仪	265
一、手动机械扫查超声显像仪；二、高速机械扫查超声显像仪；三、转子式机械扇扫超声显像仪；四、计算机控制全自动复合机械扫查仪	
§3 电控扫查B型超声显像诊断仪	271
一、电控线阵B型超声显像仪结构原理；二、相控阵超声显像仪	
§4 B型超声显像仪的基本电路	279
一、基本的发射和接收电路；二、高密型线阵B型超声显像仪的发射和接收系统原理；三、发射和接收方式控制原理；四、接收信号的予处理电路原理；五、深度补偿电路	
§5 B型超声成像的数字信号与图像处理	304
一、引言；二、数字扫描转换器的基本结构；三、数字扫描转换器基本原理分析；四、利用DSC技术扩展B型超声显像仪功能；五、图像处理技术简介	

**第八章 医学超声多普勒技术**

§1 超声多普勒效应的原理	316
一、发射器和接收器相互运动；二、血流测量中的多普勒原理	
§2 超声多普勒系统的一般特性	318
一、基本框图；二、信噪比和最佳频率；三、发射功率；四、多普勒型超声换能器	
§3 连续波多普勒系统	322
一、基本原理分析；二、鉴频式多普勒超声诊断仪；三、鉴相式多	



<b>普勒超声诊断仪</b>	
<b>§4 脉冲超声多普勒系统</b> .....	<b>324</b>
一、概述；二、相干脉冲多普勒系统；三、随机噪声脉冲多普勒系统；四、调频脉冲多普勒系统	
<b>§5 多普勒成像技术</b> .....	<b>327</b>
一、连续波超声多普勒成像；二、脉冲多普勒双功扫查成像系统；三、彩色多普勒成像系统	
<b>复习思考题</b> .....	<b>331</b>
<b>附录</b> .....	<b>333</b>
附表1 声学量的定义及单位	
附表2 声速公式	
附表3 常用声学量的级及基准	
附表4 弹性常数换算表	
附表5 固体的声速、弹性常数及声阻抗	
<b>参考文献</b> .....	<b>341</b>

# 第一章 绪论

## §1 新兴的生物医学超声工程学

基础理论学科和技术学科相互结合,生命科学和工程技术相互渗透是现代科学技术发展的特点。新兴的生物医学超声工程学正是具有这种特点的边缘学科。

现代生物医学超声工程学是当代超声物理学、电子探测技术和生物医学在发展中相互渗透的产物,具有理、工、医相结合的特点。其主要研究内容包括基础理论研究、仪器工程开发和生物医学应用三个相互联系又相互促进的方面。它以研究超声波与生物组织媒质相互作用规律和生物效应为理论基础,以研制先进的生物医学超声仪器为工具,应用于诊断、康复、监护和普查人体疾病,并可在农牧渔林业中进行培育良种,促进速生和高产等各种应用。

生物医学超声工程学的兴起经历了半个多世纪的酝酿和发展阶段。1973年世界生物医学超声联合会的成立,标志着该学科在世界范围内形成。70年代以来,生物医学超声工程蓬勃发展,推动着超声生物物理学、生物力学、超声学和图象处理的发展。它对卫生保健事业的明显效果,巨大的经济效益和发展潜力,受到了各国的广泛重视。

## §2 发展简史

现代生物医学超声工程是在长期发展中逐步形成的新学科。

1917年,压电超声辐射器的发明开创了应用超声探测技术的时期。在利用超声探测水下潜艇的试验时,已观察到强超声波杀死在水中浮游生物和小鱼等现象,出现了超声生物效应的最早记载。

1928年,德国已有了超声治疗机发明专利,但直到1939年才获得应用超声治疗效果的报告,超声对于关节炎和神经痛等疾病疗效显著。从此发展了超声治疗学。同时也开始应用超声对原生动物及大肠杆菌等作超声生物效应方面的研究。

40年代,先前主要采用于军事和工业探测的超声技术引入超声诊断。超声脉冲回声法取代了透射法,A型超声诊断研制成功,超声诊断学开始兴起。用超声法处理甜菜种子获得高产等农业方面的研究也开始发展。

50年代,A型超声诊断获得推广应用。利用辉度显示方式表明运动界面位置运动的M型超声心动仪发明并用于临床诊断,超声诊断学进一步发展。同时用超声来处理小麦和蔬菜的种子,观察超声对种子的活化作用。

60年代,超声医学工程研究从A型、M型向着B型超声诊断仪发展,超声诊断由波形显示向着图像显示过渡。各种医用超声新技术,如超声多普勒技术、超声全息、超声显微镜等开始发展。

70年代,生物医学超声工程学进入了蓬勃发展时期。B型超声显像仪不断更新换代,

超声诊断进入了图像化时代。超声CT, 超声刀和超声加热治癌研究不断发展。超声诱变育种、超声诊断家畜早期妊娠和超声生物效应的研究受到广泛重视。生物医学超声工程学的许多分支研究领域逐步形成。在国际和国内建立了生物医学超声工程学的学术机构, 在现代科学技术的百花园中, 出现了令人瞩目的生物医学超声工程学。

80年代以来, 超声断层显像仪进一步与计算机数据和图像处理技术相结合, 出现了利用全数字机和模数混合机的所谓电脑超声。超声诊断向着定量和开发新参量的方向发展。利用高分子压电材料和复合压电材料研制新型超声换能器取得进展。生物医学超声工程的基础理论受到重视。

### § 3 发展概况

#### 一、世界医学超声诊断热

70年代以来, 超声诊断获得了惊人的发展。著名的医学超声工程专家Kossoff教授总结指出, 1973—1974年是腹部黄金年; 1975年是灰阶年; 1976年是胰腺年; 1977年是超声实时显像年; 1979年是超声乳房年; 1980年是胃、儿科、深部血管和组织特性年。于此可见超声诊断深入发展的过程。据统计, 1980年在美国临床应用的超声显像仪台数已超过了X射线机总台数。新兴的医学超声图像技术向近百年来在医学图像检查中一直占垄断地位的X射线图像进行了挑战, 这是医学史上的一件大事。以致宣称于1980年进入了“医学超声年”。美国氢弹之父、著名科学家E.泰勒在“80年代物理学家责职”一文中断言, 超声对于医学诊断有着无可比拟的作用。

80年代以来超声诊断的发展特点, 是由体表诊断向内窥诊断, 由单参量诊断发展到多参量诊断, 由定性观察向组织定征发展, 由临床诊断向健康普查发展。

医学超声图像诊断以对人体无损伤, 直观动态性能好, 对软组织鉴别力高, 使用方便、价廉等明显优点, 成为当前医学图像检查的首选技术。目前超声诊断已成功地用于胆、肝、胰、肾、眼、脑、膀胱和子宫等各种器官的诊断, 而对于心血管、妇产科、儿科及癌症的诊断更有独到之处。但对肺和骨组织的诊断效果不佳。

内腔导入式探头的发展开拓了内窥检查的新领域, 使得超声诊断进一步深入发展。全景扫描的阴道导入探头, 其扫描角达 $240^\circ$ , 可以清楚观察子宫内膜及子宫疾病, 为活检提取卵泡提供了方便。双焦点多平面直肠探头, 可进行旋转或摆动扫查, 能旋转 $360^\circ$ 。膀胱导入探头可以检查整个膀胱, 亦可装配在标准膀胱镜上进行检查。食道导入探头为检查心脏提供了全新的观察窗口。

多功能超声诊断仪为多参量诊断提供了可能, 已可以实现波形、频谱、流向、流速、图像等多种方法诊断。

B型超声断层图像诊断已成为超声诊断的主要方法。它以光点辉度的明暗来反映人体组织界面超声脉冲回声信号幅度的大小, 结合各种扫查技术形成二维图像。超声诊断的另一种重要技术是超声多普勒技术。它利用超声多普勒效应, 检测血球等运动散射体形成的多普勒频移信号, 来判断人体内运动组织器官的动态特性。已发展出连续波、脉冲波、多普勒血流图像和彩色多普勒血流图像等多种方法。80年代中彩色多普勒血流成像技术迅速发展, 临床应用表明, 彩色多普勒系统能够90%的取代通常的心导管穿刺检查, 对于判

别心脏分流, 血管回流和狭窄有独特的作用。在心脏外科的心脏瓣膜修补手术中, 可以用来评价手术结果。利用超声多普勒原理, 已研制出诊断脑血流状态的系统。可以用来预防 and 诊断中风, 为解决这一医学难题提供了新武器。

心脏、腹部两用, 具有黑白和伪彩色图像显示的超声显像仪, 代表现代超声诊断设备的先进水平, 可同时提供了波形、频谱、灰阶及伪彩色图像等多种诊断参量。同时还能预测妊娠, 计算血流流速、流量、面积、分散等多种运算功能。80年代后的超声诊断已深入到儿科、妇产科、内科、外科、泌尿科等多种传统医学分支学科。目前正开展着脏器内窥、含气脏器(胃肠)和颅脑等超声图像诊断研究。

现在, 不仅每年利用超声诊断为数以千万计的患者诊断疾病, 而且利用超声诊断作健康普查已迅速兴起, 70年代末日本已利用B型超声诊断仪作健康普查, 80年美国每年有400万胎儿接受超声监护。现在已遍及每一个新生儿, 国际医学超声诊断热于此可见一斑。

## 二、超声治疗的新发展

超声治疗一直是医学物理疗法的重要组成部分, 在经历了40余年的稳定而缓慢的发展后出现新的活跃动向。

用超声透热原理治疗常见病, 如肩关节周围炎、坐骨神经痛、颈肩腰腿组织疼痛、带状疱疹、盆腔炎, 肠粘连、冻伤等数十种疾病, 其疗效显著, 临床应用历久不衰。

我国医生在发展超声治疗学方面开拓了新途径。应用超声治疗脑血管意外偏瘫取得明显效果。用超声透入跌打丸膏剂治疗扭挫伤, 用中药排石汤和超声治疗尿路结石, 用超声中药透析治疗冠心病, 以及发展超声针灸穴位治疗方面都取得了良好的结果。

正在发展的超声加热治癌是超声治疗学的重大发展。它是继外科手术、化学和辐射疗法之后的第四种攻克癌症的新武器。实验及临床研究表明, 利用超声透热将肿瘤组织加温至 $43^{\circ}\pm 1^{\circ}\text{C}$ , 再结合化疗和放射疗法就可以有效地抑制癌细胞的生长。这是因为超声的作用提高了癌细胞对于化学药物和放射性的敏感性, 加强了这两种疗法对于癌细胞的灭活能力。超声能穿过组织并易于聚焦, 因而能于深部焦区加热癌细胞而不灼伤表浅的正常组织。目前已研制出七阵元加热治癌系统。

用超声透入抗癌药物治疗肿瘤, 前景令人兴奋。有人给大白鼠和家兔作肿瘤移植, 然后采用频率为860和2600kHz的超声波, 按脉冲、连续波的不同方式和不同强度, 透入适当的环磷酸胺, 经过7—10天后移植肿瘤消散, 3个月内的存活率达100%, 未见复发。

不仅超声盲人手杖和盲人眼睛成为重要的康复工程工具, 超声温浴器、超声雾化器等也是康复治疗常用方法。

## 三、超声外科的兴起

80年代以来, 超声外科技术取得令人瞩目的进展。美日两国已分别研制成磁致伸缩式和电致伸缩式超声刀。其振动频率为23kHz和24kHz, 振幅约0.5毫米, 用它切割软组织切口小面平滑, 能够阻止微血管出血, 而对于具有弹性的稍大血管却无损伤。外科医生可以从超声刀尖部小孔中吸出组织作检活用, 并用冲液同时冲洗切口, 以便清楚观察, 超声刀已成功地用于切除白内障、脑垂体及脑肿瘤等方面。最近, 已成功地将冷冻式超声刀用于临床切割肿瘤, 阻止了切割处流血。

超声神经外科是一种新颖的医学专科, 很有发展前途。它能导致处于组织深部的神经

损伤或连合，而不影响所经过的表层组织。典型的超声连合装置利用声强为 $200\text{W}/\text{cm}^2$ ，脉宽为2秒的超声脉冲，造成了 $2\text{cm}\times 1\text{mm}$ 的椭圆形损伤区，它可以有选择地破坏脊髓白质而不破坏灰质，减少了神经外科手术中的死亡率与发病率。

超声脉冲冲击波粉碎肾结石装置的研制成功是超声外科技术的重大突破，它利用爆炸激波的超声能量声聚焦于焦斑区，产生千帕以上的高声压，以粉碎肾结石。美国、西德等首先投入临床应用后，可以93%的粉碎肾结石，大量地减轻了患者的手术痛苦。

#### 四、B型超声断层显像仪质量提高和功能扩展

70年以来B型超声断层显像技术蓬勃发展，70年中就完成了30余种重大技术革新。80年代以来，医学超声图像技术的发展进一步受到当代计算机、新材料、光纤等当代高技术发展的推动。

当代计算机技术已深入到超声诊断仪的信号接收、处理、显示和数据处理的过程。对128条通道发射或接收信号进行模拟—数字混合计算机处理的“电脑超声诊断仪”，开创了医学超声仪器设计的新思维。它由动态机控声透镜系统，图像显示和分析计算机组成，通过多路数据传输和控制结构相连。每一根扫描线均由具有自控程序的混合式计算机组成，由软件处理使每根扫描线逐点成为最佳聚焦。分析计算机将扫描线转换数字形式，用自适应像素图像显示。经过专用软件处理获得非常清晰准确的图像。整机已采用软盘控制，可以随时加入软件程序以更新整机功能，使主机可以长久使用。

同时，全数字计算机处理的超声诊断系统亦已研制成功，该机可采用软件系统匹配使用 $2.25\text{—}10\text{MHz}$ 的各类超声诊断探头15种，可以显示B型、M型、扇形图像，以及显示连续波或脉冲波多普信号和二维彩色多普勒血流图像。实现了多参量多方位综合诊断。

目前利用数字机的超声诊断仪存储量可达8兆字节，能以每秒156帧的高速度显示相控阵扇形图像。能将整幅和局部的图像放大到8倍，灰度级数为256级，具有逐幅诊断图像回放装置可回放166幅图像。

动态频率扫查技术进一步提高了B型超声图像的清晰度和灵敏度。它由多频同时发射、可变带通滤波器和多层匹配的宽带超声探头组成。一幅图像将由不同频率的回声扫描信号组成，不同深度由不同频率探测，克服了组织衰减因素对图像清晰度的影响。多匹配层的超声探头减少了发射和接收过程中的声能损失，提高了图像的灵敏度和分辨率。

并行处理的开发，使得超声探头能同时向几个方向发射超声脉冲，并同时接收处理几个方向扫查的回声信息，这样明显地缩短了扫描时间。可增加帧速率但不损伤分辨率。并行处理技术增加了超声成像的复杂性，也为改善超声图像的质量带来了新的前景。

#### 五、彩色多普勒血流成像技术

彩色多普勒成像技术的发展，代表了医学超声工程与当代高技术相结合的新水平。它由黑白灰阶显示的B型图像描画组织结构，由超声多普勒信号伪彩色编码显示血流图像。它可以同时具有B型、M型、D型（CW和PW），及彩色血流图像的功能。通常，这种仪器首先是一台技术复杂的相控阵超声显像仪，再与超声多普勒技术和彩色显像技术相互结合。

彩色多普勒采用运动目标成像法（MTI）提取血液中红血球的运动信息。接收的信号通过正交检相，A/D转换、MTI滤波和自相关处理，消除心脏壁面等慢速运动的多普勒频

移信号,仅留下血流的速度、方向和分散信息。然后利用红、蓝、绿三原色对血流信号进行彩色编码。蓝色表示血流背离探头,红色表示流向探头。

目前,除了应用于心脏血流检测的低频(2MHz)的彩色多普频系统外,已开发出适用于周围血管的高频(10MHz)的多普彩色血流仪。临床应用中对于判别心脏血流和脑血流的特性有着独特的作用。

## 六、超声波与生物体系互作用规律研究

在此项研究中,已采用 $10^4$ — $10^{10}$ Hz频率范围内的超声波与生物组织器官、细胞、大分子等各层次上的生物体系发生相互作用。对这类作用机制的研究和作用特性的测定,构成了当代生物医学超声工程学的理论基础。在国际上已形成了《超声生物物理学》和《生物声学》的新分支学科。

超声在生物媒质中传播所产生的声阻抗特性的研究和测定,为利用超声脉冲回声技术构成A型、B型、M型、C型等各类超声诊断及诊断方法提供了理论依据。超声显微镜、超声全息、超声照相机、T型超声诊断仪等建立在超声在生物媒质中透射特性的研究基础上。超声在生物媒质中的传播速度、衰减、频谱和相位分布的研究发展了超声CT技术。红血球等运动组织对不同频率和强度超声波散射作用的研究,发展了医学超声多普勒技术。

超声诊断技术是利用超声波充当“信使”,以提取由互作用后的超声波所携带出的生物组织内部信息,这是超声波的一种被动式运用。它不导致任何可以影响组织特性的超声生物效应。而超声治疗、加热治癌、结石粉碎等则是超声波的一种主动应用,它利用具有一定强度的超声波在组织内产生热、机械、化学和冲击波等效应,以达到治疗和手术目的。

近半个世纪以来,科学家们一直关注着超声对于微生物、病毒、细菌、动植物细胞和组织以及人体组织器官的超声生物效应的研究、测量和应用。这些研究构成了利用超声进行清洗消毒、诱变育种、治疗疾病的理论基础。

超声波与生物体互作用规律的研究的发展,必然涉及到定量检测问题。因此声功率标准计量、人体安全阈值、超声生物效应的产生、测量和利用,亦已成为人们感趣的研究课题。

## 七、超声波在生物媒质中的非线性传播特性研究

随着当代物理学进入非线性时代,医学超声的非线性特性研究日益发展。1968年以来,国际非线性声学技术委员会举行十多次国际学术交流,进一步推动了此项研究工作。

超声在生物媒质内传播将产生波形畸变、谐波滋生、冲击波、声吸收增加和声饱和等非线性现象。美国伊利诺斯大学、中国南京大学等对一系列生物样品的非线性声参量B/A进行研究和测量。已发现肝癌的B/A参量是5.30,而正常肝则为6.54等具有临床意义的特性。亦已研制出两种不同型式的B/A的参量成像实验装置,可以用来对手臂、仓鼠等成像实验,分辨率可达0.9mm,而其图像的对比度远远高出B型灰阶图像。非线性B/A参量将为组织特性鉴别提供新途径。

利用非线性效应产生的超声辐射力来平衡物体所受的重力作用,使物体处于失重自由飘浮状态,形成新兴的声飘技术。这是一种极微量的活检技术,仅需 $4 \times 10^{-6}$ — $4 \times 10^{-3}$ ml的

样品就可以进行测量。国外已采用此方法来研究红细胞、海豚脑部类脂结构，并已为诊断遗传性球形贫血症提供了参数。

## 八、新型压电材料与医用超声换能器研究

医用超声换能器是一切医学超声设备的关键部件。其研制涉及声场理论分析、材料学与工艺学。它要求高灵敏度、高 $K_t$ 、低 $Q$ 值的压电材料。已研制出 $K_t$ 达54%的压电陶瓷材料。高分子压电薄膜PVDF及其共聚物，具有宽频带低阻抗，易加工的优点。已用它研制出5MHz的线阵探头。用压电陶瓷和高分子压电材料组成的复合材料，其机电耦合系数高达60—75%，将为发展新型超声换能创造了条件。

多层匹配的多频超声探头，能按距离深浅接收频率低高变化的回声信号，形成清晰图象。复合功能的探头结合3.5MHz的B/M型及2MHz的D型(CW/PW)的功能，同一探头实现多功能检测。环形阵探头可以明显改善侧向分辨率。食道、直肠、子宫等专用探头，开创了内窥诊断的新领域。导管式探头可以进一步观察心脏内部结构。

## 九、发展新型生物医学超声成像技术

利用声阻抗特性，检测生物组织界面脉冲超声回声信号的B型超声成像技术，已得到了广泛的应用。但以实现定量诊断。需要探索新的超声参量成像技术。

超声显微、超声全息、超声CT是引人注目的三种新型成像技术，在生物医学中具有应用潜力。

超声显微镜显示组织声衰减图象，开创了组织细胞病理学的新领域。它不需要像光镜那样对组织染色处理，也不象电镜那样要求真空条件。采用计算机辅助处理生物组织显微图像技术，可以在微米级范围内对生物组织的声学性质的空间分布作出精确的描述，其分辨率可达 $0.09\mu\text{m}$ 。已发展出光测液面型、扫描型、反射型和声光显微组合型等多种装置。国际上已有利用超声显微镜与B型超声显像诊断相结合的临床报导，利用超声显微镜可以对某些疾病提供定量诊断。

超声全息以两阶段成像过程来获得三维图镜。它以干涉记录全息图，而以衍射显示图像。已有液面、激光干涉、扫描水听器 and 布阵式多种装置问世。目前已有用于乳腺及手腕诊断的报告。亦已对B型超声显像与全息相结合的技术进行了开发。超声全息术的不是具有纵向失真，但具有连续声灰阶的高分辨率三维实时图像。

超声CT是一种定量化声成像技术，在其发展过程中曾借鉴了X—CT技术的原理。但它可以利用衰减、声速、散射、相位、频率等多种参量来实现多种型式的超声CT图像。

随着逆散射问题求解和非线性声学重建理论的发展，超声CT成像将会发展到一个新阶段。目前已有部分实验性临床使用报道。

多波束发射扫描成像可同时在几个方向上发射超声束进行探测，并利用并行处理技术同时接收处理几个方向扫描的回声信息，这样明显地缩短了扫描时间，实现高速扫描成像。已实现了100帧/秒的扫描成像，可以观察心脏瓣膜的快速运动。

## 十、超声生物技术

从30年代开始，已有人用超声处理马铃薯、碗豆、甜菜、玉米、苜蓿种子，取得了大幅度增产的报告，但发展缓慢。70年代以来，随着超声显微镜等新技术手段的发展，为超声在农业上的应用带来了新动力。

研究表明,超声波与植物有机体发生作用后,能产生机械、热、电化学、光化学、氧效应、酶效应和生物学效应等各种作用,能使种子消毒灭菌,促进种子萌发和加快发育,使农作物增产。这些作用特性可以延续在种子的后代中。

现在正在不断发展的超声农业应用有:1)超声刺激农作物增产;2)超声诱变育种;3)利用超声消除农作物病虫害;4)超声处理蚕卵等。我国学者利用超声处理冬小麦、玉米、水稻和蚕卵等都取得了增产效果,增产幅度在4~30%之间。用超声处理中草药籽种方面更具特色。已对丹参、桔梗、重楼等多种药用植物籽种作了超声处理,取得了速生和增产的明显效果。如重楼是遐迩闻名的云南白药的主要原料,经超声处理后,发芽时间由原来的2年减少为5个月,发芽率亦由原来的30%变为90%。处理无性繁殖的块根,开花结种期提前了3~5年。为发展我国的中医药事业提供了新途径。

在畜牧业上,已开展超声检测猪膘厚度的研究,发展瘦肉型猪;用超声处理家畜精液以增加子代的防疫特性;超声诊断猪、羊、牛、马等的早期妊娠,可以加速家畜繁殖,具有明显的社会经济效益。已发展利用A型脉冲超声回声报警法和超声多普勒法来进行家畜早孕的推广应用工作。如母猪早孕40天后,诊断阳性率可达100%,为及早发现空怀、采取加速繁殖措施提供了科学依据。

同时,仿生超声技术,近年来亦获得了迅速的发展。动物用超声“通讯”和探测机制的研究吸引着人们。如蝙蝠喉部发出100kHz探测超声波,用耳接收目标回声。瞎眼蝙蝠仍能在0.5秒内捕食3个昆虫。现在人们研制电子蝙蝠来驱散夜蛾,利用“电子鱼”发出鱼类觅食时的超声波信号来诱捕鱼群。超声驱鼠器和超声驱鸟器也都利用仿生超声技术的研究成果。随着人们研究的深入,仿生超声技术将会取得丰硕的成果。

## 十一、学术交流频繁活跃

与生物医学超声工程相应的世界、洲内和国内学科组织的纷纷建立,学术论文的猛增,学术交流的频繁活跃,已成为生物医学超声工程蓬勃发展的重要标志。

国际上著名的学术组织有“世界生物医学超声联合会”,“眼科超声诊断国际协会”,“国际超声成像与细胞特性学会”,“世界超声医学协会”等;欧洲、亚洲、南北美洲等还建了一些洲内学术交流组织,如“南美洲生物医学超声联合会”,“亚洲超声医学协会”等。国家性的学术组织如“日本超声医学工程学会”和“超声医学学会”,美国“超声医学学会”等,我国有“中国医学超声工程学会”,“中华医学会超声诊断学会”,“中国生物医学工程学会医学超声工程专业委员会”,“中国声学学会生物医学超声工程分会”,“中国医学影像研究会”等,几乎每个科学较为发达的国家均建立了医学超声有关的学术组织,以推动本国医学超声学的发展。

这些学术组织常常单独或联合举办国际或国内的有关学术会议,促进学术交流。据统计,1987年1—10月,生物医学超声工程各种专题性国际会论,几乎每月平均一次。每三年一次的“世界生物医学联合会”的每年年会发表论文达1500篇左右。而每次会议都有世界上著名的医学超声仪器生产厂家参展并赞助,出现了科研、生产、应用三结合的新局面。

学术组织的每年年会均出版专门会议论文集。同时也出版了定期学术刊物,如“生物医学超声”,“超声成像”,“临床超声”,“医学超声”,“日本超声波医学”,“中国超声医学杂志”,“中国医学影像技术”,“临床超声”等各种专门学刊。而有关内容还可



以从“超声学”，“生物医学工程学报”，“声学学报”，“应用声学”，“声学技术”等刊物中查找。在我国与医学超声有关的中外刊物已多达50余种。活跃的学术交流有力地推动了新学科的发展。

## 十二、巨大的市场需求

近10年来，生物医学超声设备的销售和技术转让形成了巨大的国际和国内市场。80年代仅超声诊断设备的研制就取得了30多项重大技术革新，医学超声诊断获得了广泛而深入发展。一种新产品在1~2年内就会获得新的改进几乎每年均有大量新产品投入应用。如美国1980年使用的医学超声设备比1974年增加了3倍。近10年来每年以10%以上的高速度增长。80年代中美国、日本、西德、法国四国每年的医学超声设备销售值达5亿美元以上。我国除每年自产自销近千台医学超声设备外，每年还购买1亿元左右的国外先进设备。每年以10%以上的高速增长的国内外市场销售，巨大的经济价值，吸引了许多国际著名公司从事医学超声工程的开发和应用。如BK、东芝、日立、HP、西门子，Acuson等。我国深圳安科公司、天津医疗电子仪器公司、汕头超声仪器研究所、江苏雷声电子设备厂、绵阳超声仪器厂、上海医电厂、上海医用仪表厂、上海超声波仪器厂、邯郸电子仪器厂等均投入了医学超声设备的研制和生产，以满足各种不同层次对医学超声设备的需求。

## § 4 发展方向展望

现代生物医学超声工程学的兴起，受到许多技术发达国家的高度重视。早在70年代中期日本国家科学协会就提出“超声换能器”、“扫查方法”、“信息处理”、“超声对人体组织的作用”等四大重点开发课题，促进了该国生物医学超声工程学的发展。1978年美国国家医学研究院的研究生理和生物工程规划机构邀集了大学、工业界、政府部门专家研讨未来生物医学工程最有发展前景的方向时，一致认为“非侵入的超声组织特性鉴别”是有“巨大发展潜力”的“重要而迅速发展”的领域之一，用得上“新技术和先进的工程方法”。近来，美国氢弹之父著名物理学家在“80年代物理学家职责”一文中断言，“超声对医学诊断将有无可比拟的作用”。当今，美日两国占有世界医学超声设备销售值的80%，取得了巨大的经济价值。这显然是与把握新学科发展方向，成功地制定发展战略分不开的，也是与培养新型知识结构的人才分不开的。

我国生物医学超声工程经过近30年的发展，已初具规模。据统计，1978年，临床使用的各种医学超声设备已有3万台，从事临床诊断及科研生产的人员有5万余人。近10余年来，一直以10%以上的高速增长。据估计，目前医学超声显像设备已向乡镇一级卫生院普及，投入使用的各种医学超声仪器已近10万台，从事生物医学超声工程科研、生产和应用的人员达15万左右。近年来国内已能生产高中低各档B型超声显像诊断仪，同时每年还引进国外先进B型超声显像仪。已为我国生物医学超声工程领域的发展创造了坚实的基础。

研究生物医学超声学的发展方向，对于制定2000年前后我国生物医学超声工程的发展战略是十分有益的。现仅作如下探讨。

(1) 理工医结合，科研生产应用结合，攻克医学超声显像高技术