

活体超声显微镜 眼科学

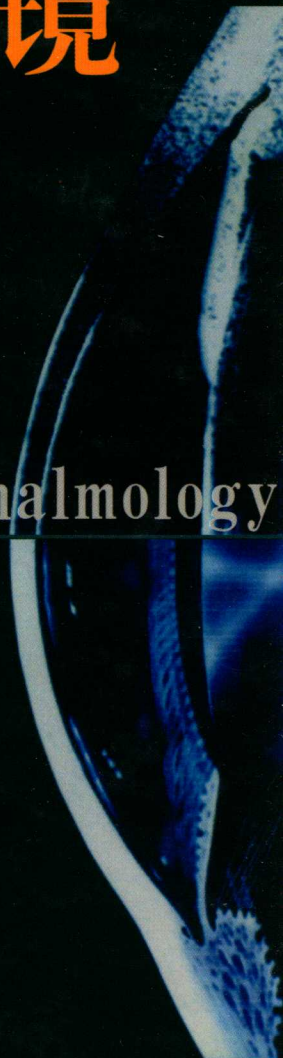
Ultrasound Biomicroscopic Ophthalmology

■ 主 编 王宁利 刘 文



科学出版社

www.sciencep.com



活体超声显微镜眼科学

Ultrasound Biomicroscopic Ophthalmology

主 编 王宁利 刘 文

副主编 吴中耀 赖铭莹



科学出版社

2002

内 容 简 介

活体超声显微镜(ultrasound biomicroscopy, UBM)是近年发展起来的一种新型眼科B型超声影像学检查工具,能提供类似低倍光学显微镜效果的眼前段二维图像,具有高分辨率、实时、非干扰、定量、不受不透光组织影响等优点。本书各章节均为国内从事UBM的临床应用专家编写,许多资料均为首次发表。

本书包括了UBM成像原理和检查方法的基础篇,各种眼前段疾病UBM图像特征的临床篇,最后一篇介绍了UBM在实验研究中的价值和国产UBM的研制及UBM发展的展望。特别是本书详细地介绍了采用此项设备在眼科基础及临床应用中所获得的新知识、新观点、新理论。本书采用图文并茂方式编写,大量的UBM图和彩图对照,有利于读者理解。本书深入浅出,适合各级眼科医师、B超医师、教学及研究人员、眼科研究生和生物医学工程技术人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

活体超声显微镜眼科学/王宁利,刘文主编. - 北京:科学出版社,2002.8
ISBN 7-03-010624-5

I. 活… II. ①王… ②刘… III. 超声显微镜:生物显微镜-应用-眼科检查
IV. R770.41

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第052905号

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2002年8月第 一 版	开本:787×1092 1/16
2002年8月第一次印刷	印张:20 1/2
印数:1-2 500	字数:484 000

定价:190.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈科印〉)

活体超声显微镜眼科学

主 编 王宁利 刘 文

副主编 吴中耀 赖铭莹

编 委(按姓氏笔画排序)

王宁利 叶天才 刘 文 朱思泉

李奇根 吴中耀 陈伟蓉 赖铭莹

参 考 书

概 不 出 借

参与编写人员 (按姓氏笔画排序)

姓名

单 位

王宁利	中山大学中山眼科中心,首都医科大学北京同仁眼科中心
王延群	中国医学科学院生物医学工程研究所
叶天才	中山大学中山眼科中心
卢清君	首都医科大学北京同仁眼科中心
刘 文	中山大学中山眼科中心,首都医科大学北京同仁眼科中心
朱思泉	中山大学附属第三医院眼科,首都医科大学北京同仁眼科中心
李奇根	中山大学附属第三医院眼科
李山祥	中山大学附属第四医院眼科
李群英	中山大学附属第三医院眼科
吴中耀	中山大学中山眼科中心
吴河坪	中山大学中山眼科中心
张 欣	中山大学中山眼科中心
陈龙山	中山大学中山眼科中心
陈伟蓉	中山大学中山眼科中心
陈秀琦	中山大学中山眼科中心
陈静嫦	中山大学中山眼科中心
汪振芳	中山大学中山眼科中心
杨华胜	中山大学中山眼科中心
杨 晖	中山大学中山眼科中心
杨文利	首都医科大学北京同仁眼科中心
何丽文	中山大学中山眼科中心
宋学东	中国医学科学院生物医学工程研究所
郑 政	中国医学科学院生物医学工程研究所
欧阳洁	福建医科大学附属第一医院眼科
赵培泉	上海复旦大学附属眼耳鼻喉科医院
闻祥根	中山大学中山眼科中心
赖铭莹	深圳眼科医院
魏文斌	首都医科大学北京同仁眼科中心

主编简介



王宁利 眼科学博士、教授、主任医师。1987年考入中山医科大学,师从我国著名眼科专家周文炳教授,进行研究生科研及临床训练,1992年在中山医科大学获眼科学博士学位。1998~2000年在美国加州大学圣迭哥分校 Shiley 眼科中心做访问学者及博士后研究。1992~2002年在中山医科大学任副教授、教授。现任首都医科大学北京同仁眼科中心常务副主任和同仁医院眼科主任、教授、主任医师,北京大学眼科中心教授。在学术组织中担任《眼科学报》副主编;《国际青光眼回顾杂志》、《中华医学杂志(英文版)》、《中华眼科杂志》、《中美国际眼科杂志》和《眼科杂志》编委等职务;中华眼科学会青光眼学组委员,中国超声学会眼科分会常委;亚太地区青光眼循证医学工作组成员,亚洲闭角型青光眼研究协会理事,美国视觉科学学会会员。从事

眼科工作已 20 年和青光眼临床工作 15 年。主要从事眼科学临床和基础研究。1996 年参加并通过美国医学会眼科医师基础知识考核,眼科基础知识扎实,有很好的眼科手术技巧,已完成各类眼科手术约 6000 余例,具有丰富的临床经验。在国内最早将活体超声显微镜应用于青光眼发病机制的研究,首次提出了我国闭角型青光眼房角关闭机制多样性的观点,并在此基础上提出了新的分类和治疗原则,取得了良好的治疗效果,此项研究获中国高校自然科学成果一等奖。承担国家级和省级课题各四项,获省部级奖两项;其他厅局级奖项三项。发表论文 70 余篇,其中第一作者 41 篇,在国外期刊发表论文及摘要 6 篇,在国内一级刊物发表论文 20 余篇。作为主编、编委、编者等出版多部专著及多媒体教学带。



刘文 眼科学博士、副教授、副主任医师。湖北省潜江人。1992年考入中山医科大学攻读眼科临床硕士和临床博士学位,师从我国著名眼科专家吴启崇教授和陈家祺教授,以优异成绩毕业后留广州中山眼科中心工作,主要从事玻璃体视网膜疾病发病机制和诊断治疗的研究。从事眼科工作 20 余年和眼底病专业 10 年,眼科基本知识和技能扎实,特别擅长各种眼底疾病、复杂性视网膜脱离和糖尿病性眼病的手术治疗。1996 年开始研究活体超声显微镜在前段玻璃体视网膜疾病诊断中的应用,在国内外最早用活体超声显微镜对前段增殖性玻璃体视网膜病变进行了分型,对这一复杂性玻璃体视网膜疾病的诊治有着重要的临床指导意义。在国内外发表论文 40 余篇,其中以第一作者发

表眼科专业文章 30 余篇。参与编写眼科专著三部,获省级科研成果奖二项。

序

每当一种新技术应用到眼科临床和科研中,均会对眼科学的发展产生巨大的推动作用,并会进一步地增加我们对眼科生理、病理的认识,甚至改变了我们对眼科疾病的处理原则,结果使眼科学知识得到更大的丰富,加深人类对眼和眼科疾病的认识,使人类在保护视功能的道路上向前迈进。活体超声显微镜的诞生和在临床及科研中的应用,则和其他眼科新技术一样,促进了眼科学的发展。10年来,得到了许多新知识、新观点、新的疾病处理原则,使眼科疾病的诊治和研究得到了卓有成就的发展。我国眼科工作者在这一领域通过自己的辛勤耕耘做出了自己的贡献,在这一领域有新发现、新观点、新思想及自己的独到见解。本书作者联合目前国内在这一领域的专家、汇集近10年来这一领域的科研结果,撰写了本书。多方专家根据书的内容一致提议,使用《活体超声显微镜眼科学》作为本书书名,其意义就在于本书重点描述的是活体超声显微镜在眼科应用后对眼科学的新贡献,所以冠名《活体超声显微镜眼科学》。作者也希望它能成为我国目前眼科学教材的补充,使广大读者能分享这一领域的成果。

李子良

2002年6月于北京大学眼科中心

前 言

人类自从诞生,其探索世界的活动就从来没有停滞过。人造卫星的发射使我们获得了羞答答隐藏的月球背面的照片。显微镜的发明使我们认识到了各类致病的病原体,CT和磁共振技术的诞生使我们能在活体上对人体的病变进行形态学甚至病理学诊断。眼底镜的发明,使我们直接地观察到了眼底形态,大大加深了对眼的生理及相关疾病的认识。裂隙灯显微镜的发明,又使我们能更加精细地观察到角膜、前房、虹膜和晶状体。

然而,医学科学家们并没满足在眼科学上已取得的成就。眼前段的房角以后到睫状体部这一解剖区域一直是活体观察的盲区,和这一区域解剖结构相关的疾病研究大多是建立在尸检眼病理检查基础上的。由于所获标本来源的限制、标本制作中相关解剖结构变化使得所获结论多少带有推断性,并具有一定片面性。所以,如果设计一种仪器或设备能在活体人眼对上述解剖结构进行高分辨的观察,将对这一区域相应疾病及相关眼生理的研究起到极大的推动作用。

1991年,加拿大医师 Pavlin 利用超声技术设计了 B 型高频超声诊断仪——活体超声显微镜(ultrasound biomicroscopy, UBM),又称超声生物显微镜。采用这一技术可实时地对活体人眼的相关解剖结构进行观察和研究,其分辨达到普通光学显微镜水平。近 10 年来,国内外发表的相关文章达 300 余篇,其中,国内发表相关文章达 50 余篇。中国眼科工作者在这方面做出了自己的贡献,特别是采用 UBM 对我国闭角型青光眼房角关闭发病机制进行了系统的观察研究,发现了中国人闭角型青光眼房角关闭机制多样性的学说,采用 UBM 对前段增殖性玻璃体视网膜病变进行了系统研究等。

本书历时 8 年才完成,邀请了全国十数年来一直从事 UBM 临床和研究的眼科专家编写。本书首先介绍了与 UBM 密切相关的超声学基础、UBM 成像原理和检查方法,以及正常眼的 UBM 图像。重点是在第二篇,用大量的篇幅详细论述了各种眼

前段疾病的 UBM 表现,以及 UBM 图像与临床表现的关系和 UBM 图像揭示的各种眼前段疾病的发病机制及临床意义等。比如:长期以来在我国闭角型青光眼发病机制中的一种经典观点是分两种类型,一是虹膜膨隆型;二是高褶虹膜型。然而,通过 UBM 对各种闭角型青光眼的房角形态、虹膜附着位置和睫状体形态的客观定量观察,新发现闭角型青光眼病因和发病机制存在多种机制共存,从而为青光眼的诊断和鉴别诊断、防治提供了新的理论和实践依据。又如:前段增殖性玻璃体视网膜病变(APVR)是发生在锯齿缘部位严重的玻璃体视网膜病变,已是裂孔性视网膜脱离手术失败的重要原因之一,临床上缺乏有效的诊断手段。通过 UBM 的临床观察,发现 APVR 有着典型的 UBM 图像特征,为临床诊断、治疗和估计 APVR 的预后提供了非常有意义的客观证据。另外,UBM 在揭示角膜疾病、晶状体疾病、巩膜疾病、葡萄膜疾病、肿瘤和眼外伤等眼部疾病的病因和发病机制方面都有着其他影像学检查所不能代替的作用,在第二篇内都有详细的介绍。在本书的第三篇,作者介绍了 UBM 在实验研究中的比较研究和 UBM 在影像学中的地位和发展展望,力图让读者全面了解 UBM 的现状及发展方向。

和国内外已经出版的相关书籍完全不同,本书不是一本活体超声显微镜使用手册,也不是一本活体超声显微镜诊断学,而是一本关于 UBM 在活体使用和研究的新发现的眼科新知识、新理论的总结,是一本对临床及科研具有指导意义,丰富眼科学知识、提高眼科临床诊治水平的书籍。因为 UBM 是对活体眼组织结构进行观察,为强调这些特点,本书冠名《活体超声显微镜眼科学》。本书不但适用于已拥有 UBM 的单位,同样适宜目前无此设备的各专业眼科工作者阅读。本书采用图文并茂、由浅入深的方式编写,编写人员均为国内在这一领域有成就的专家,其内容的 80% 来自专家的第一手资料。相信本书出版后可能会大大地促进我国眼科疾病的诊治水平,提高医疗质量。

由于本书编写仓促,错误实在难免,敬请读者批评指正!

王宁利 刘 文

2002 年 4 月于北京

目 录

序 前言

第一篇 眼科活体超声显微镜检查基础

第一章 高频超声影像的基本原理

..... 赖铭莹 王宁利 叶天才	(3)
第一节 超声波的基本特征	(5)
第二节 高频时眼组织的特征	(6)
一、衰减	(8)
二、声速	(9)
三、组织反射与散射	(10)
第三节 脉冲回声图像的原理	(13)
第四节 分辨率和穿透性	(15)

第二章 活体超声显微镜基本原理

..... 赖铭莹 王宁利 叶天才	(19)
第一节 扫描器设计	(19)
第二节 UBM 图像质量和测量的精确性	(22)
一、图像质量	(22)
二、测量的精确性	(24)
第三节 高频超声的安全性	(25)

第三章 活体超声显微镜检查技术

..... 赖铭莹 王宁利 刘文	(27)
第一节 UBM 简介	(27)
一、控制装置	(28)
二、可选择的设置	(30)
第二节 UBM 检查技术	(34)
一、检查前准备	(34)
二、UBM 眼部检查	(39)
三、检查规则	(41)

第四章 正常眼的 UBM 图像

..... 王宁利 赖铭莹 刘文	(44)
一、角膜	(44)
二、角巩膜结合部	(47)
三、巩膜	(47)

四、前房	(48)
五、房角	(50)
六、虹膜	(51)
七、睫状体和后房	(56)
八、周边视网膜脉络膜	(58)
第五章 眼前段结构的计算机辅助定量测量	王宁利 赖铭莹 吴河坪 (59)
第一节 UBM 图像的获取、拼接与二值化	(60)
第二节 眼前段结构的定量测量	(62)
一、前房轴深和瞳孔直径	(63)
二、瞳孔缘相对位置	(63)
三、虹膜形态的测量	(65)
四、房角开放距离与房角开放度数的测量	(67)
五、相对瞳孔阻滞力	(68)
六、小梁网睫状突距离	(69)
七、虹膜睫状突距离	(69)
八、睫状突位置及突起高度测量	(70)
九、虹膜根部附着位置	(72)

第二篇 眼科疾病

第六章 角膜疾病	李奇根 陈龙山 李群英 (77)
第一节 正常角膜的 UBM 图像	(77)
第二节 异常角膜的 UBM 图像	(78)
一、角膜上皮改变	(78)
二、角膜基质病变	(79)
三、角膜后弹力层脱离	(81)
四、圆锥角膜	(81)
五、角膜白斑	(82)
第三节 UBM 在角膜移植手术中的应用	(83)
一、UBM 在板层角膜移植中的应用	(83)
二、UBM 在穿透性角膜移植术中的应用	(85)
三、UBM 对角膜移植术后的植片和植床连接处的观察	(89)
四、UBM 在揭示角膜移植术后青光眼发生机制的作用	(91)
第七章 巩膜疾病	王宁利 欧阳洁 吴河坪 (97)
第一节 巩膜炎	(98)
一、表层巩膜炎	(98)
二、深层巩膜炎	(99)
第二节 巩膜葡萄肿	(101)
第八章 葡萄膜疾病	王宁利 吴河坪 欧阳洁 (103)
第一节 虹膜睫状体炎	(104)

第二节 中间部葡萄膜炎·····	(107)
第三节 后部葡萄膜炎或全葡萄膜炎·····	(108)
第九章 青光眼····· 王宁利 吴河坪 欧阳洁	(109)
第一节 正常眼的 UBM 图像特征·····	(109)
第二节 UBM 在青光眼诊断和研究中的应用·····	(110)
一、原发性闭角型青光眼·····	(110)
二、中国人房角关闭机制的特殊性及多样性·····	(112)
三、色素播散综合征·····	(119)
四、恶性青光眼·····	(120)
五、晶状体源性青光眼·····	(122)
六、先天性青光眼·····	(123)
七、无晶状体眼及人工晶状体眼的青光眼·····	(124)
八、房角后退性青光眼·····	(125)
九、血影细胞性青光眼·····	(126)
十、继发性房角关闭·····	(126)
十一、对青光眼药物治疗效果的观察·····	(127)
十二、UBM 在青光眼手术效果评价中的应用·····	(128)
十三、在青光眼激发试验中的应用·····	(138)
十四、在研究房角形态与白内障手术关系中的应用·····	(140)
十五、在原发性急性闭角型青光眼发作期睫状体脱离检查中的应用·····	(143)
第十章 晶状体疾病····· 陈伟蓉 朱思泉 王宁利	(145)
第一节 UBM 在白内障诊断中的应用·····	(145)
一、初发期老年性白内障·····	(145)
二、膨胀期老年性白内障·····	(147)
三、过熟期老年性白内障·····	(147)
第二节 UBM 在晶状体形态及位置异常诊断的应用·····	(148)
一、球形晶状体·····	(148)
二、晶状体脱位·····	(149)
第三节 UBM 在人工晶状体植入手术疗效评价的应用·····	(149)
一、后房型人工晶状体植入术·····	(150)
二、前房型人工晶状体植入术·····	(154)
第十一章 玻璃体疾病····· 刘 文 王宁利 魏文斌	(157)
第一节 正常玻璃体的 UBM 图形·····	(157)
第二节 玻璃体疾病的 UBM 图形·····	(159)
一、前段玻璃体脱离·····	(159)
二、玻璃体混浊·····	(160)
三、玻璃体腔内异物·····	(163)
四、玻璃体腔气体·····	(163)
五、眼内硅油和重水·····	(164)

六、硅油引起的并发症	(166)
七、玻璃体手术并发症	(172)
小结	(176)
第十二章 视网膜疾病	刘文 王宁利 卢清君 (177)
第一节 正常视网膜的 UBM 图形	(177)
第二节 视网膜疾病的 UBM 图像特征	(179)
一、视网膜下出血	(179)
二、视网膜裂孔	(179)
三、视网膜脱离	(180)
四、前段增殖性玻璃体视网膜病变	(182)
五、特殊类型的视网膜脱离	(192)
六、视网膜肿瘤样改变	(198)
七、视网膜先天性异常	(202)
小结	(202)
第十三章 早产儿视网膜病变	赵培泉 (205)
一、早产儿视网膜病变手术分类	(205)
二、早产儿视网膜病变的 UBM 检查	(206)
第十四章 眼外伤	闻祥根 汪振芳 李山祥 刘文 (209)
第一节 眼球挫伤	(210)
一、虹膜根部离断	(210)
二、房角后退	(211)
三、睫状体分离	(212)
四、睫状体脉络膜脱离	(213)
五、前房积血和角膜血染	(215)
六、外伤性晶状体脱位	(216)
七、外伤性白内障	(216)
八、玻璃体积血	(217)
九、视网膜脱离	(217)
十、脉络膜上腔出血	(217)
第二节 眼球贯通伤	(218)
一、角膜贯通伤	(218)
二、上皮植入	(219)
三、外伤性增殖性玻璃体视网膜病变	(219)
第三节 眼球内前段异物	(220)
小结	(223)
第十五章 眼前段肿瘤	杨华胜 吴中耀 (224)
第一节 虹膜肿物	(224)
一、虹膜痣	(225)
二、虹膜黑色素瘤	(227)

三、虹膜囊肿	(227)
第二节 睫状体肿瘤	(229)
一、睫状体实体肿瘤	(230)
二、睫状体囊肿	(231)
第三节 周边部脉络膜肿瘤	(232)
第四节 球结膜及眼附属器病变	(234)
一、结膜和角膜缘病变	(234)
二、眼睑上方区肿瘤	(236)
三、眼睑疾病	(237)
第十六章 睫状体调节及睫状体疾病	杨 晖 陈秀琦 (239)
第一节 正常睫状体的解剖形态	(239)
第二节 正常睫状体的 UBM 图像	(239)
一、睫状谷矢状切面图	(240)
二、睫状突正中矢状切面图	(242)
三、冠状切面睫状体图像	(244)
第三节 应用 UBM 对睫状体进行定性观察	(245)
一、睫状体囊肿	(245)
二、睫状体肿大	(246)
三、睫状体萎缩及发育不良	(247)
四、睫状体肿瘤	(248)
第四节 应用 UBM 对睫状体调节功能及形态进行定量检测	(249)
一、图像质量的控制	(249)
二、选择代表图像	(249)
三、根据检测目的定出有效的指标	(250)
四、同一观察者进行测量	(250)
第十七章 眼科激光	张 欣 王宁利 (252)
第一节 UBM 在青光眼激光治疗中的应用	(253)
一、激光周边虹膜成形术	(253)
二、激光周边虹膜切除术	(256)
三、激光巩膜瓣缝线调整术	(257)
四、睫状体光凝术	(257)
第二节 UBM 在眼底疾病激光治疗中的应用	(258)
第十八章 玻璃体视网膜手术	魏文斌 (262)
第一节 巩膜环扎术后 UBM 检查	(262)
一、睫状体脱离与睫状体水肿	(262)
二、前房角的改变	(264)
三、巩膜环扎术后继发闭角型青光眼的发生机制	(265)
第二节 玻璃体切割术后的 UBM 检查	(265)
一、概述	(265)

二、玻璃体切割术后的穿刺孔观察	(265)
三、UBM 检查的临床意义	(267)

第三篇 实验研究及展望

第十九章 实验性角膜碱性化学伤	何丽文 王宁利 (271)
-----------------------	---------------

一、材料与方法	(271)
二、实验观察	(273)
三、讨论	(284)

第二十章 活体超声显微镜的历史和在中国的发展	郑 政 王延群 宋学东 (287)
------------------------------	-------------------

第二十一章 眼前段影像学检查	杨文利 (289)
----------------------	-----------

一、裂隙灯显微镜	(289)
二、超声检查	(291)
三、光学相干断层成像	(293)
四、电子计算机体层扫描	(295)
五、磁共振成像	(296)
六、活体超声显微镜	(297)

第二十二章 UBM 在中国眼科临床应用及研究中应注意的问题	王宁利 刘 文 陈伟蓉 陈静嫦 (300)
-------------------------------------	-----------------------

第一节 UBM 在青光眼研究及诊断中的应用	(301)
-----------------------------	-------

一、UBM 在房角检查中的价值	(301)
二、在原发性闭角型青光眼房角关闭机制研究中的应用	(301)
三、恶性青光眼	(302)
四、原发性先天性青光眼	(302)
五、色素播散综合征	(302)
六、睫状体囊肿及肿物引起的闭角型青光眼	(303)
七、在青光眼手术效果评价中的应用	(303)

第二节 UBM 在前段增殖性玻璃体视网膜病变(APVR)诊断中的应用	(303)
--	-------

第三节 UBM 在视网膜光凝术效果评价中的应用	(304)
-------------------------------	-------

第四节 UBM 在白内障诊断及人工晶状体植入手术效果评价中的应用	(304)
--	-------

第五节 UBM 在角膜病研究及诊断中的应用	(304)
-----------------------------	-------

第六节 UBM 在眼外伤诊断中的应用	(305)
--------------------------	-------

第七节 UBM 在眼肿瘤诊断中的应用	(305)
--------------------------	-------

第八节 正常人眼前段活体测量及生理和药理研究	(305)
------------------------------	-------

第九节 动物实验	(306)
----------------	-------

第十节 UBM 在临床研究应用中应注意的问题	(306)
------------------------------	-------

第十一节 展望	(307)
---------------	-------

索引	(309)
----------	-------

第一章

像的基本原理

第一篇

眼科活体超声显微镜检查基础

主编 王宁利 叶天才

自然界中,声波的频率范围很广,从几赫兹到几兆赫兹。在医学超声中,我们通常所说的超声波是指频率在20kHz以上,即大于人耳听觉范围的声波。有些动物的器官如蝙蝠、海豚等都能发出超声波。超声波也能用人工的方法获得。人们已经能制造许多不同形式的超声波发射器,同时也能制造各种形式不同的超声波接受器,利用它们可以接受各种超声信号。图1-1显示声音的频率范围,10Hz到20kHz频率范围可被人耳的听觉器官所感受到,即所谓的可听声。频率超过20kHz不能被人耳的听觉感知,称为超声波。许多动物利用20~100kHz范围频率来捕捉食物,例如蝙蝠^[1]。

在声波中,周期性的压力变化引起传播介质中的单个分子的运动,形成波动,即按某个平衡点来回振荡向前传播。波动的能量通过介质中分子的弹性特征而传给邻近的分子,引起波动呈特征性的连续向前传递,这一速度称为声速。在理想的液体、气体和大部分组织中,这些波实际上是纵波的,即分子的位移是沿着纵轴方向传播的。与机械类型(光、热)的波动能量传播不同,惟有声波需要介质才能传播。超声波与声波的物理性能相似,其频率(f)、声速(c)和波长(λ)的关系为 $c = f\lambda$ 。不同之处是由于超声波频率高,波长短,因此,方向性强,不仅可以集中而某一个方向传播,而且能穿透较深组织。超声波的频率一般比可听声高得多。

超声波同样也被人类用于医学诊断。

