



国家卫生健康委员会“十三五”规划教材
全国高等学校教材
供研究生及住院医师规范化培训用

超声医学

主 编 何 文 唐 杰

副主编 田家玮 黄品同 朱 强 朱家安



人民卫生出版社





国家卫生健康委员会“十三五”规划教材
全国高等学校教材
供研究生及住院医师规范化培训用

超声医学

主 编 何 文 唐 杰

副主编 田家玮 黄品同 朱 强 朱家安



人民卫生出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

超声医学 / 何文, 唐杰主编. —北京: 人民卫生出版社, 2019

ISBN 978-7-117-27115-8

I. ①超… II. ①何…②唐… III. ①超声波诊断
IV. ①R445.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 273564 号

人卫智网	www.ipmph.com	医学教育、学术、考试、健康, 购书智慧智能综合服务平台
人卫官网	www.pmph.com	人卫官方资讯发布平台

版权所有, 侵权必究!

超 声 医 学

主 编: 何 文 唐 杰

出版发行: 人民卫生出版社 (中继线 010-59780011)

地 址: 北京市朝阳区潘家园南里 19 号

邮 编: 100021

E - mail: pmph@pmph.com

购书热线: 010-59787592 010-59787584 010-65264830

印 刷: 三河市宏达印刷有限公司 (胜利)

经 销: 新华书店

开 本: 889×1194 1/16 印张: 34

字 数: 1028 千字

版 次: 2019 年 3 月第 1 版 2019 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

标准书号: ISBN 978-7-117-27115-8

定 价: 228.00 元

打击盗版举报电话: 010-59787491 E-mail: WQ@pmph.com

(凡属印装质量问题请与本社市场营销中心联系退换)

编者 (以姓氏笔画为序)

- 王 辉 吉林大学中日联谊医院
田家玮 哈尔滨医科大学第二附属医院
他得安 上海复旦大学
朱 强 首都医科大学附属北京同仁医院
朱家安 北京大学人民医院
任芸芸 复旦大学妇产医院
刘明辉 中南大学湘雅二医院
阮骊韬 西安交通大学第一附属医院
杜丽娟 首都医科大学附属北京天坛医院
李 锐 重庆医科大学附属第三医院
杨 敏 首都医科大学附属世纪坛医院
杨秀华 哈尔滨医科大学第一附属医院
吴青青 首都医科大学附属北京妇产医院
何 文 首都医科大学附属北京天坛医院
张 丹 首都医科大学复兴医院
张 纯 首都医科大学附属北京安贞医院
张 巍 广西医科大学第三附属医院
罗 红 四川大学华西第二医院
罗 燕 四川大学华西医院
罗渝昆 解放军总医院
袁建军 河南省人民医院
聂 芳 兰州大学附属第二医院
郭瑞君 首都医科大学附属北京妇产医院
郭燕丽 陆军军医大学西南医院
唐 红 四川大学华西医院
唐 杰 解放军总医院
黄品同 浙江大学医学院第二附属医院
谢红宁 广州中山大学附属第一医院
谢晓燕 广州中山大学附属第一医院
詹维伟 上海交通大学附属瑞金医院
穆玉明 新疆医科大学第一附属医院
戴 晴 北京协和医院

主编简介



何 文

教授,博士生导师,首都医科大学附属北京天坛医院超声科主任,首都医科大学超声医学系主任,中国医师协会超声医师分会会长,中国医师协会住院医师规范化培训超声专业委员会主任委员,中华医学会北京超声专业委员会副主任委员,中华医学会超声医学分会委员,中国医学影像技术研究会副会长,中国医学影像技术研究会超声分会主任委员,《中国医学影像技术》杂志副主编,《中华超声影像学杂志》编委等。从事超声诊断和介入性超声 30 年,主要研究方向为介入性超声和血管超声,在血管超声、腹部超声检查和介入性超声领域经验丰富,颅脑术中超声、血管超声造影和介入性超声处于领先水平。

率先开展了血管超声规范检查和血管超声造影;开展的经颅超声造影为临床诊断脑缺血和出血性疾病提供了新方法;提出肝癌尤其大肝癌的消融治疗新方法,提高了临床疗效;开展的肺部肿瘤超声造影和消融治疗达国内先进水平;主持国家自然科学基金重点项目、面上项目 3 项,国家“十一五”科技攻关课题子课题 1 项,国家科技重大专项课题子课题 1 项、省部级科技攻关课题 6 项,获得省部级科技进步奖 7 项,发表学术论文 100 余篇,以第一作者或通讯作者发表 SCI 论文 30 余篇。培养博士后人才、博士、硕士研究生 40 名。主持制定了中国医师协会超声医师分会指南丛书;主编国家卫生健康委员会“十三五”研究生规划教材 2 部,主编专著 5 部,主译著作 1 部,副主编教材 2 部。



唐 杰

教授,博士生导师,中国人民解放军总医院第一医学中心超声诊断科名誉科主任,兼任中国人民解放军超声医学专业委员会主任委员,中国医疗保健国际交流促进会超声医学分会前任主任委员,中国医师协会超声医师分会前任会长,中华医学会超声医学分会常委,北京超声医学学会名誉理事长,《中华超声医学杂志》(电子版)总编等。以第一负责人承担课题 19 项,其中国家自然科学基金 7 项。以第一或通讯作者发表 SCI 论文 51 篇。获军队科技进步一等奖 1 项,军队医疗成果二等奖 1 项,申请国家发明专利 2 项,实用新型专利 1 项。主编专著和教材 6 部,组织制定和出版中国医师协会超声医师分会指南 4 部。

曾培养博士后人才 4 名,博士研究生 35 名,硕士研究生 11 名。获国务院政府特殊津贴、中央保健工作先进个人称号和全军保健先进个人、中国医师奖、原总后勤部科技银星和优秀教师。

副主编简介

田家玮



二级教授,博士生导师,现任哈尔滨医科大学附属第二医院医学影像中心主任、超声医学科主任;享受国务院政府特殊津贴。兼任中华医学会超声医学分会副主任委员;中国医师协会超声医师分会副会长;《中国医学影像技术杂志》主编及其他3本核心期刊副主编;黑龙江省医学会超声专业委员会主委;黑龙江省医师协会超声医师分会主委。从教38年,培养研究生114名,其中博士23名。荣获黑龙江省优秀教师、哈尔滨医科大学教学名师。获黑龙江省教学成果二等奖及哈尔滨医科大学教学成果一等奖;发表教学论文7篇。科研方向是医工合作诊断早期乳腺癌。主持课题19项,其中国家自然科学基金重

点项目1项、面上项目3项;发表论文168篇,SCI收录41篇;获教育部科技进步二等奖2项,省政府科技奖8项;主编、副主编教材、专著共24部;获发明专利1项,新型专利2项;荣获全国优秀科技工作者、卫生部突出贡献中青年专家、中国杰出超声医师,是黑龙江省超声医学领域学科带头人。

黄品同



教授,博士生导师,浙江大学医学院附属第二医院超声医学科主任,国际超声造影协会(ICUS)委员,中国医师协会超声医师分会常委,中国医师协会超声医师分会介入超声专业委员会主任委员,浙江省超声医学分会副主委,浙江省超声医学质控中心常务副主任,中国卒中学会医学影像学分会委员会成员,中国超声医学工程学会腹部超声专业委员会委员,分子影像与人工智能专业委员会主任委员。

主要擅长甲状腺结节消融治疗、肝癌微波消融治疗、各类囊肿硬化治疗、超声造影、基础研究等;已发表数篇SCI文章及核心期刊文章;为《中华超声影

像学杂志》通讯编委,《中国超声医学杂志》《中国医学影像技术》编委,Cancer Letter、Journal of Ultrasound and Journal of Clinical & Experimental Oncology 编委,以及 Ultrasound in Medicine & Biology、Plos One、Scientific Reports 等多个SCI期刊审稿专家。

副主编简介



朱 强

教授、博士生导师,首都医科大学附属北京同仁医院超声科主任,中国医师协会超声医师分会副会长、毕业后医学教育部超声专业委员会副主委兼总干事,中国医疗保健国际交流促进会超声医学分会常委兼秘书长、甲状腺疾病分会副主委,中国医学影像技术研究会常务理事、超声分会副会长,中华医学会超声医学分会委员,北京医学会超声医学分会副主委,北京市住院医师规范化培训医学影像科专家委员会副主委,《中华超声影像学杂志》等编委或通讯编委。从事放射影像诊断和超声影像诊断工作 30 余年,以浅表器官、胃肠及超声设备部件研发为专业特长和主要研究方向。

主持多项“十二五”国家科技支撑计划课题、“十三五”国家重大研发计划项目和省部级课题。近 5 年发表论文 16 篇,其中 SCI 论文 6 篇;参编专著 6 部,主译专著 3 部。执笔全国 2014 年和 2018 年《住院医师规范化培训基地认定标准(试行)超声医学科专业基地认定细则》和《住院医师规范化培训内容与标准(试行)超声医学科培训细则》、2016 年《住院医师规范化培训理论考核大纲》、《住院医师规范化培训结业临床实践能力考核标准(超声医学科)》。



朱家安

教授、博士生导师,北京大学人民医院超声科主任,兼任中国医师协会超声医师分会肌骨超声专业委员会主任委员,中国超声医学工程学会肌骨超声专业委员会主任委员,中华医学会超声医学分会第七届青年委员会副主任委员,中国医学影像技术研究会超声分会常务理事,北京医学会超声医学分会副主任委员,《中国超声医学杂志》及《中华超声医学杂志》(电子版)等多个杂志编委,《中国肌骨超声检查指南》专家组组长等。

长期致力于肌腱、肌肉、关节和周围神经等超声在运动损伤、风湿、疼痛和康复中应用的基础和临床研究。擅长肌骨超声、周围血管超声、泌尿系统腔内超声和浅表器官超声等。长期致力于研究生和住院医师规范化培养方法的研究,发表教学论文 5 篇。专著《周围神经超声显像》1 部。获中国杰出超声医师奖。

前言

《超声医学》研究生及规培教材是根据研究生培养要求和全国《住院医师规范化培训内容与标准(试行)超声医学科培训细则》(学科轮转、病种及相关技能的培训设置)、综合各院校对教学过程中课程设置的反馈结果而成,目标读者定位于医学影像(超声医学)专业的临床型研究生和参加住院医师规范化培训的医师,内容涵盖全国住院医师规范化培训内容与标准中的病种和临床操作要求。

本教材旨在培养临床型研究生和规培生的基础知识、临床能力、创新思维,提高其独立思考能力、创新能力及解决问题的能力,推动医学教育及人才培养模式的改革,促进毕业后医学人才培养。本教材注重实用性、规范性、启发性和创新性,遵循专业培养的目标要求,淡化学科意识,整体优化;按照“三基”“五性”“三特定”原则,对比其他影像学检查,充分阐述超声成像的局限性,以及影响其诊断结果的各种临床因素,并对领域内临床应用进展与展望进行简要针对性介绍,让读者对超声应用的优势与不足有正确认识。

希望超声医学专业研究生及住院医师通过对本教材的学习,能够掌握正确的超声检查操作方法并基本掌握常见疾病的超声诊断和鉴别诊断,了解各临床科室诊疗常规(包括诊疗技术),打下扎实的临床工作基础,成为一名合格的住院医师和优秀的研究生。

本书的编写得到了多方支持和帮助,各位编者对本书倾注了极大的心血,在此表示衷心感谢!

由于水平有限,编写匆忙,本书难免有错误或不当之处,恳请各位专家和读者批评指正。

何文 唐杰

2019年1月于北京

获取图书配套增值内容步骤说明



目 录

第一章 超声诊断的基础知识	1
第一节 超声医学发展历史	1
第二节 超声成像原理	1
第三节 医学超声诊断仪组成及使用	5
第四节 超声医学相关概念及临床应用	9
第五节 超声诊断思维	11
第六节 超声图像存档与传输系统	12
第七节 常见的超声效应与图像伪差	13
第八节 超声的生物效应	15
第九节 超声诊断技术新进展	15
第二章 胸部疾病超声诊断	21
第一节 解剖概要	21
第二节 超声检查方法和正常声像图表现	22
第三节 胸壁常见疾病	22
第四节 胸膜及胸腔常见疾病	27
第五节 肺部常见疾病	28
第六节 纵隔常见疾病	29
第三章 心脏疾病的超声诊断	31
第一节 解剖概要	31
第二节 超声检查方法和正常声像图	34
第三节 心脏功能的超声测定	42
第四节 先天性心脏病	47
第五节 心肌病	78
第六节 心脏瓣膜病	88
第七节 感染性心内膜炎	101
第八节 冠状动脉粥样硬化性心脏病	103
第九节 高血压性心脏病	109
第十节 肺源性心脏病	111
第十一节 心脏肿瘤和血栓	114
第十二节 心包疾病	118

第十三节 主动脉疾病	123
第十四节 超声心动图在外科手术和介入术中的应用	127
第十五节 经食管超声心动图	132
第十六节 心脏声学造影	134
第四章 腹部疾病的超声诊断	139
第一节 腹部解剖概要	139
第二节 肝脏疾病	146
第三节 胆道疾病	169
第四节 胰腺疾病	194
第五节 脾脏疾病	204
第六节 消化道疾病	213
第七节 泌尿系统疾病	228
第八节 肾上腺疾病	245
第九节 腹膜及腹膜后疾病	252
第十节 腹部外伤	258
第五章 妇科疾病的超声诊断	264
第一节 解剖概要	264
第二节 超声检查方法与正常声像图表现	267
第三节 子宫疾病	269
第四节 卵巢疾病	277
第五节 输卵管疾病	288
第六节 盆腔炎性疾病	290
第七节 宫内节育器	293
第八节 宫腔及输卵管造影	295
第六章 产科疾病的超声诊断	300
第一节 妊娠解剖及生理概要	300
第二节 超声检查方法与正常声像图表现	301
第三节 正常产科的超声诊断	308
第四节 胎儿生长发育的监测	314
第五节 异常妊娠	316
第六节 胎盘脐带异常	323
第七节 妊娠滋养细胞疾病	329
第八节 胎儿畸形	331
第九节 羊水过多和羊水过少	352
第十节 胎儿超声心动图	353
第七章 浅表器官疾病超声诊断	366
第一节 甲状腺及甲状旁腺	366
第二节 乳腺疾病	384
第三节 浅表淋巴结疾病	395
第四节 男性生殖系统	401

第八章 骨骼、关节、肌肉和神经疾病超声诊断	408
第一节 解剖概要	408
第二节 超声检查方法和正常声像图表现	409
第三节 肌腱和肌肉	413
第四节 骨、关节常见病变的超声诊断	417
第五节 周围神经病变的超声诊断	420
第六节 软组织肿瘤	424
第九章 血管疾病的超声诊断	428
第一节 解剖生理概要	428
第二节 颅脑血管疾病	434
第三节 颈部血管疾病	437
第四节 腹部血管疾病	449
第五节 上肢血管疾病	460
第六节 下肢血管疾病	464
第十章 介入性超声	472
第一节 介入性超声基础	472
第二节 超声引导穿刺细胞学与组织学活检	474
第三节 超声引导穿刺抽吸治疗与置管引流	482
第四节 经皮经肝胆管及胆囊穿刺置管引流	487
第五节 超声引导下的肿瘤消融	489
第六节 术中超声	500
第十一章 急症超声医学	507
第一节 急腹症超声诊断思路及技巧	507
第二节 妇产科危急症超声诊断思路及技巧	511
第三节 产科急症超声诊断思路及技巧	515
第四节 急诊超声心动图诊断思路及检查技巧	517
索引	521

第一章

超声诊断的基础知识

超声医学是研究超声波与人体组织相互作用的现象和规律,并应用于医学诊疗的一门交叉学科,涉及物理、生物、医学、电子、计算机、信息、机械、材料等学科。超声诊断是超声医学的最重要组成部分,它是在现代电子学发展的基础上,将雷达技术与超声原理相结合,并应用于临床医学的诊断方法。超声诊断利用人体不同类型组织之间、病理或损伤组织与正常组织之间的声学特性阻抗差异,以图像、图形、数字、声音等形式予以显示,并对疾病的有无、性质、程度作出判断的过程和行为。本章扼要介绍超声诊断的物理基础,包括超声医学发展历史、超声成像原理、医学超声仪器组成及使用、超声医学相关概念和临床应用,以及超声诊断思维等。

第一节 超声医学发展历史

1880年法国物理学家居里发现的压电效应是现代超声技术的起点,而超声技术渗透到医学领域始于20世纪30至40年代。超声诊断始于1949年,Dussik将脉冲超声波用于脑部疾病的诊断;Wild用超声波检测离体脏器的厚度,属于最初的A型(amplitude mode)超声诊断技术。此后,A型超声诊断仪在临床上得到了广泛的应用。20世纪50年代Wild和Reid研制成手动接触式二维灰阶扫描仪;里村茂夫将多普勒(Doppler)效应引入超声医学;Edler与Hertz应用M型(motion mode)超声显示心壁的运动。60年代末Bom研制了诊断脏器的电子线阵二维灰阶扫描实时成像系统。此后,二维灰阶成像技术发展迅速,在临床诊断中占据了十分重要的地位。70年代初出现了可在二维图像上选定部位测量血流频谱的脉冲多普勒技术,80年代初彩色

血流成像技术问世。将彩色血流信号叠加于二维声像图上,不但可以直观显示心脏、血管内的血流方向和速度,而且使多普勒频谱的取样快速便捷,超声诊断的方法更加丰富。90年代以后出现了腔内超声、超声造影、三维超声和谐波超声等成像技术,21世纪初出现了超声弹性成像、超声分子影像及人工智能等技术,使超声医学发展到了一个新的高度。

近10年来,随着计算机容量的扩大和功能的增强,信息技术、电子技术、压电陶瓷等高科技的迅速发展和临床诊疗的需求,数字化技术的引入,以及各种信号处理、图像处理和控制技术的应用,医学超声成像的新技术、新设备、新方法层出不穷,使图像质量和分辨率越来越高,超声诊断范围和信息量不断扩充。当前超声诊断已从单一器官扩大到全身,从静态到动态,从定性到定量,从模拟到全数字化,从单参数到多参数,从黑白到彩色,从二维到三维显示,大大扩充了超声诊断的范围,提高了诊断的特异性和信息量。由于超声其无损,无电离辐射,价格低廉,易被患者所接受,目前已成为发展最快的成像技术。所以,超声诊断设备是一种高科技产品,在某种程度上反映一个国家的科技进步水平。

第二节 超声成像原理

超声波作为一种有限振幅的机械波在人体组织中的传播过程相当复杂,是多个过程和多种机制复合作用的结果。人体不同组织器官或同一组织器官处于正常与病变状态下的声特性阻抗和衰减特性不同,当超声波遇到声特性阻抗不同的界面时就会发生声波的散射、反射、透射和衍

射等现象,这种不同的散射、反射与衰减是构成超声成像技术的基础。用于成像的超声背向散射回波中携带着丰富的关于体组织结构、成分、状态等信息。

超声医学诊断中最重要的三个参量是超声频率、声特性阻抗和多普勒频移;超声波在人体组织中的其他参数和所有传播特性都与以上三个参数有关。

一、超声频率

超声频率是影响超声诊断分辨率的最重要参量。超声波的三个基本物理参量声速、波长和频率中,声速和波长与频率有关。

(一) 声速、频率和波长

单位时间内声波在媒质中传播的距离称为声波的传播速度,简称声速,单位为 m/s(米/秒),是决定声特性阻抗及回声测距精度的重要因素。声波的传播过程实质上是声能量的传递过程,其速度依赖于媒质的密度、弹性模量、频率和波的类型等。一般而言,固体物含量高者声速高;含纤维组织(主要为胶原纤维)高者声速较高;含水量较高的软组织声速较低;体液中声速更低。人体软组织虽然生物学角度成分多种多样,声速也有一定的差异(约 5%),但国际公认的平均值为 1540m/s,也是迄今为止各种医用超声仪器设计、制造的基本假设之一。若将声速的差异在超声诊断仪中考虑进去,那么对于脏器大小、病灶尺寸的测量会更准确。

媒质中的质点在平衡位置往返振动一次所需要的时间称为周期,单位是 s(秒);单位时间内质点振动的次数称为频率,单位为 Hz(赫兹)。声波的频率和周期互为倒数关系。一个周期内声波传播的距离就是一个波长。

因为质点每振动一次声波将前进一个波长 λ 的距离,质点在单位时间内振动次数为 f ,也就是说单位时间内波前进了 λf 的距离,而根据声速的定义,单位时间内波前进的距离就是声速 c ,因此声速(c)与声波的波长(λ)和频率(f)的关系为:

$$c = \lambda \cdot f \quad \text{式 1-2-1}$$

目前医学诊断中常用的频率范围为 2.5~20MHz,在人体软组织中传播的超声波的波长约为 0.6~0.075mm。

频率和波长在超声成像中是两个极为重要的参数,波长决定了成像的极限分辨力,而频率则决定了可成像的组织深度。

(二) 声速和超声频率的关系

声波在介质中传播时,其速度(或其他声学参数)随频率变化的现象称为频散。频率 f_1 和 f_0 时的声速差 Δc 可近似为:

$$\Delta c = \frac{c_0^2 \alpha}{\pi^2 f_1} \ln \frac{f_1}{f_0} \quad \text{式 1-2-2}$$

其中 α 为介质中的衰减系数, c_0 为 f_0 时的声速。

多数人体软组织在 2.5~20.0MHz,声速的变化在 3~20m/s 之间,但对骨骼等硬组织,声速的变化可达 500m/s 以上。

(三) 超声波的主要传播特性

超声波在人体组织中的传播特性是指超声波和人体组织相互作用的规律,波的传播特性与超声频率直接相关,主要包括超声波的反射、折射、散射、衍射和衰减,其中散射(特别是背向散射)和衰减形式构成了超声图像中的决定性的信息,是超声成像的重要信息来源。

1. 散射 当组织界面(或组织中的微小粒子)的尺寸与波长相当或小于波长时,声波将向各个方向散射。它是超声波在人体组织传播中最重要、最普遍和最基本的现象。当散射的方向为入射波的反方向时,这种散射称为背向散射。被界面散射的声波给我们带回来了界面位置和形状等重要信息,使人们可以利用这些信息进行超声诊断。而透射进去的那一部分声波,将在第二种媒质中继续传播,探索更深处组织的情况。

散射体的声特性阻抗、几何形状等不同,声波散射的情况也会不同。一般来说,散射体的尺寸越大,频率越高,界面两边声特性阻抗差越大,则散射也越强。

在大小与波长可比或更小的脏器或组织内部的微小结构上的超声散射,对形成软组织的超声图像起到了重要的作用。例如红细胞的散射,在研究红细胞运动规律时,背向散射是极有用的超声信息。超声束内红细胞的数量越多,散射源也就越多,超声探头接收的背向散射信号的强度也就越大。采用频谱多普勒技术研究红细胞(血流)运动规律时,其信号是来自红细胞背向散射。

2. 衰减 超声波在组织中传播时,由于声能损失(吸收)和(或)方向歧异(散射)导致声强在传播距离上逐渐减弱的现象称为衰减。人体组织的衰减机制比较复杂,主要原因有:第一,软组织的声吸收所造成的声能转化为其他形式的能量,主要是热能,从而引起声波的衰减。第二,组织的非均匀

性造成的声波的反射和散射,在声特性阻抗差异大的界面反射很强烈,因而透射波的声强将大大降低;另一方面,即使在界面两边声特性阻抗相差较小的情况下,组织的非均匀性也会引起声波的散射和反射,使得按原来方向传播的声波强度逐渐减弱。第三,声波传播过程中声束的逐步扩散,从而引起声束截面积的逐渐增大,导致了声强的减弱。

在超声诊断的频率范围内,人体软组织的声衰减系数大多与频率成正比。但血液和骨组织的声衰减系数和频率不是线性关系,血液的声衰减系数比一般软组织小,而骨组织的声衰减系数比一般软组织大很多。

沿声传播方向单位距离上的声衰减称为衰减系数。如声波在 A 点的声压为 p_a ,在其之后 B 点的声压为 p_b ,A、B 两点间距离为 d ,则声衰减系数 α 为

$$\alpha = \frac{1}{d} \left[20 \log \frac{p_a}{p_b} \right] \quad \text{式 1-2-3}$$

其中 $\log$ 是十进对数符号,两个声压的比值是无量纲的,如距离的单位为 cm (厘米),则声衰减系数的单位为 dB/cm (分贝/厘米)。在人体组织中,吸收和散射都是超声衰减的重要原因,故其声衰减系数 α 是由吸收衰减 α_a 和散射衰减 α_s 两部分构成,即

$$\alpha = \alpha_a + \alpha_s \quad \text{式 1-2-4}$$

根据以上超声的散射和衰减特性可知,超声频率高,分辨力好,但穿透性差;频率低,分辨力低,但穿透性强。对应的临床应用:检测浅表器官时,采用高频超声;检测深部脏器时,采用低频超声。

二、声特性阻抗

声特性阻抗是声波在介质中传播的一个十分重要的参量,其值决定于介质的自身特性,称声特性阻抗,它和声波的传播过程有着很大的关系。实质上,超声诊断技术的应用都和声特性阻抗有关,超声波的散射、反射、折射和透射等特性取决于相邻介质声特性阻抗的差别。按照严格的物理定义,声特性阻抗是平面自由行波在媒质中某一点的声压与质点速度的比值。声特性阻抗 z 在数值上等于媒质的密度 ρ 和其中声速 c 的乘积:

$$z = \rho \cdot c \quad \text{式 1-2-5}$$

当考虑媒质中的衰减时,声特性阻抗是一个与频率有关的复数,但对人体软组织等衰减较小的媒

质,采用密度与声速的乘积并不会造成明显的误差。需要注意的是,当密度以 kg/m^3 (千克/立方米)为单位,声速以 m/s (米/秒)为单位时,声特性阻抗的法制计量单位为 $\text{Pa} \cdot \text{s/m}$ (帕·秒/米)。

物质的密度一般是固体 > 液体 > 气体,超声在介质中的速度是固体 > 液体 > 气体,故声特性阻抗一般也是固体 > 液体 > 气体。

人体各种器官与组织,包括病理组织均有它特定的声特性阻抗,当超声波在复杂的人体组织中传播时,因各组织之间存在着声特性阻抗差别和大小不同界面,从而产生不同的反射与散射。如果相邻组织的声特性阻抗相当接近,则反射和散射很少。但只要有 1% 的差异,就会产生反射和散射,所以超声对软组织分辨力很高。探头接收反射、背散射信号,并根据其强弱用明暗不同的光点依次显示在荧屏上,通过不同的扫查方式显示出人体组织脏器各层面及内部图像,称之为声像图。表 1-2-1 列出了人体组织的一些声学参数。

三、多普勒频移

(一) 多普勒效应基本原理

如果发射、接收换能器与人体组织之间存在着相对运动,此时接收到的超声信号的频率和发射信号的频率之间就有一定的差异,把这种效应称为多普勒效应(Doppler effect, DE)。以 DE 为基础多普勒技术的主要用途包括:检测运动器官(如心脏、瓣膜)、探查血流状态、区分层流和湍流、鉴别液性暗区的性质、探测血流速度、利用伯努利方程估计压力差及估计血流量等。

在 DE 中,把接收信号的频率 f_R 与声源的频率 f_S 之差 f_d 称为多普勒频移(Doppler frequency shift, DFS),而相应的差频信号称为多普勒信号(在超声诊断中一般是音频的)。

假设发射换能器和接收换能器分别以速度 V_S 和 V_R 相对组织运动,则多普勒频移 f_d 可表示为

$$f_d = f_s \frac{V_R \cos \theta_R + V_S \cos \theta_S}{c} \quad \text{式 1-2-6}$$

其中 θ_S 和 θ_R 分别为相应的声束和运动方向(如血流方向)的夹角, c 为声速。

若发、收换能器为同一换能器,或靠得很近且相对静止,可以认为 $\theta_R = \theta_S = \theta$, $V_R = V_S = V$,于是 f_d 简化为:

$$f_d = \frac{2f_s V \cos \theta}{c} \quad \text{式 1-2-7}$$

表 1-2-1 人体组织的声学参数

组织名称	密度(g/cm ³)	声速(m/s)	特性阻抗(g/cm ² ·s) × 10 ⁵	衰减系数(1MHz) (dB/cm)
血液	1.055	1580	1.67	0.18
血浆	1.027	1570	1.61	0.07
小脑	1.030	1470	1.51	0.85
大脑	1.038	1540	1.60	0.61
脑脊液	1.000	1522	1.52	—
脂肪	0.955	1476	1.41	0.68
肝	1.050	1570	1.65	0.72
肾	1.040	1560	1.62	1.00
肌肉(平均)	1.074	1568	1.68	—
玻璃体	1.001	1495	1.50	2.00
羊水	1.013	1474	1.49	0.002
胎体	1.023	1505	1.54	—
软组织 (平均)	1.016	1500	1.52	0.81
颅骨	1.658	3860	5.57	20.00
空气	0.0012	340	0.0004	41.00
生理盐水(0.9%)	0.997	1534	1.53	0.002

这就是常用的超声多普勒技术测量血流速度的基本公式。

通常在超声诊断中,换能器(包括发、收换能器)均静止不动,而反射或散射的组织(例如胎心、瓣膜、血流等)则存在运动,此时产生的 DE 仍可以用多普勒基本公式来表示。这样,通过测量接收信号的 DFS,就可以估算出人体内运动组织或血流的速度,从而达到了非侵入性检测体内生理状况的目的。

(二) 多普勒信息的显示

一般来说,接收到的超声多普勒信息通常有三种表达方式:音频多普勒、单一曲线和声谱图,后两种在临床上现已基本不用。

对于音频多普勒,由于接收到的超声 DFS 信号处于音频的范围内,因此可以将它通过音频放大器放大后,加在喇叭或耳机上,操作者通过声音的音调等信息来判断血流的速度、性质(是动脉血流还是静脉血流)。虽然这是一种最直观、简单的表示方法,但难以定量地用于血流速度的测量。

(三) Nyquist 极限与频率混叠

当超声换能器发射脉冲波后接收到的回波频率达到初始发射脉冲波重复频率的二分之一时,其接收到的频率方向和测值就会出现反转频率混

叠。这一物理现象被命名为: Nyquist 极限(Nyquist frequency limit)。其具体计算公式为:

$$Nyquist=1/2\ PRF$$
 式 1-2-8

其中脉冲重复频率(pulse repeative frequency, PRF)是指单位时间内发射的脉冲波个数。

这一物理现象的存在限制了脉冲波频谱多普勒的测速范围。当被测血流速度过高时,回波频率就有可能达到或超过初始发射脉冲波重复频率的二分之一,发生频率混叠从而导致测速不准和方向错误。采用彩色多普勒血流成像时,由于该极限原理的存在,同样会导致彩色血流速度的频率混叠。通过调高彩色速度标尺的测速范围或调低频谱多普勒测速零线,将有效减少频率混叠对脉冲波频谱多普勒测速的影响,增大其测速范围。同时,通过选择较低发射频率超声探头、增大声束入射角度以及减小测速位点与探头间的空间距离等技术手段,也能够有助于提高脉冲波频谱多普勒技术的测速范围。

在临床实践中合理利用频率混叠现象,能够实现彩色多普勒血流成像对血流汇聚现象的观察。通过调节彩色速度标尺的测速范围和测速零线,将更好地显示血流通过狭窄通道时的加速汇聚现象。通过测量血流汇聚半球形区域的半径和频率

混叠临界值,将能够据此计算出心腔内的分流和反流量。

第三节 医学超声诊断仪组成及使用

一、超声诊断仪的组成

超声诊断仪由超声换能器(探头)部分、基本电路(包括计算机信号处理)部分、图像存储和显示部分等组成。

超声换能器(探头)部分的主要功能是通过陶瓷晶体的“负”和“正”压电效应发射和接收超声波。同时先进的探头技术也包括了对发射声束的波形及其时间延迟的调控和对接收到的压电信号的前端数字化处理。基本电路部分的主要功能是对接收到的模拟或数字信号进行进一步的处理,通过信号放大、滤波等处理后,再依据接收到的信号时间和空间位置确定其将要在超声图像上显示的时间和空间位置及其信号强度。图像存储和显示部分的主要功能是将已经处理好的图像信息加以传输、存储并通过显示器加以显示。

二、超声诊断仪类型及使用

依据不同的超声信号获取和显示方式,将超声诊断仪分为以下几个类型:A型、M型、B型和D型超声诊断仪,这些诊断仪都属于反射/背散射型超声诊断设备,是根据超声在通过两种有差异的声特性阻抗界面时产生回波的原理而设计。

(一) A型超声诊断仪

A型模式(amplitude mode)即幅度调制型,此方法是以波幅的高低代表界面反射的强弱。它用一个超声换能器发射单束超声脉冲至人体组织内,当超声波在人体组织内遇到声特性阻抗不同的界面时就会产生回波,声特性阻抗差异越大,则回波的幅度也就越大,这些从组织反射和背向散射回来的超声波被同一个换能器接收,然后转换为相应的电信号,并在显示屏上进行显示。显示时用横轴表示声波到达的时间,与组织界面离换能器的距离成正比,一般直接用距离单位定标;纵轴表示反射或散射回来的超声信号的幅度大小。这种将声束位置上组织的超声信息,按距离的分布在显示屏上以回波的幅度进行调制的显示形式,称为A型超声显示。

A型超声诊断仪以序列波形方式显示一维声

束方向上组织的回声强度和距离,其纵向(距离)分辨率取决于发射的超声脉冲的持续时间,横向分辨率则取决于声束的宽度。A型超声仪是最早、最基本,也是最简单的诊断仪器。

临床诊断中的应用范围:A型超声诊断法在脑中线探测、眼球探测等方面还是有一定的临床诊断意义。

(二) M型超声诊断仪

M型成像模式(motion-mode)属亮度调制型,以不同的灰阶来反映回声的强弱。它是将单声束超声波所经过的人体各层解剖结构的回波以“运动-时间”曲线的形式显示的一种超声诊断法。其图像纵轴代表人体组织自浅至深的空间位置,横轴代表扫描时间。

临床诊断中的应用范围:它的主要特点是通过慢扫描,提高了时间分辨率,适合于运动器官的快速测量,因此主要用于心脏的各类疾病的诊断,如对心血管各部分大小、厚度的测量,心脏瓣膜运动状况的测量,研究心脏各部分和心电图、心音图之间的关系以及心脏搏动和脉搏之间的关系等,故称M型超声心动图。另外,还可以研究人体内其他各运动面的活动情况,如可以用于对胎儿和动脉血管搏动等的检测。但M型显示仍不能获得解剖图像,它不适用于对静态脏器的诊查。

(三) B型超声诊断仪

B型成像模式(brightness-mode)属亮度调制型。这种模式以光点的明暗度(灰阶)代表界面散射/反射的强弱,散射/反射强则亮,散射/反射弱则暗。

B型超声诊断仪主要是由超声换能器、发射电路、高频放大电路、检波电路、视频放大电路、同步电路、时标电路、水平位置检测装置和显示器组成,如图1-3-1所示。在二维灰阶超声成像仪器中,发射电路产生高频的电脉冲信号,控制换能器产生相应的超声束,这些声束进入人体组织后,若遇到声特性阻抗不同的界面就会产生回波。回波被换能器接收后,先后经过高频放大器、检波器和视频放大器,最后加到显示器的Z轴作为亮度调制。而显示器的Y轴则由与声束同步的时标电路控制。图像X方向的信息靠声束的扫描(手动扫描、机械扫描和电子扫描)得到,水平位置检测装置的作用是检测声束的水平位置,并控制显示器的X轴。这样,显示器上就出现了二维超声切面图像。

B型超声诊断仪采用多阵列多声束连续扫描,每一单条声束上的光点连续从而构成一幅切面图像,并根据光点的有无、强弱、多少、分布等情况可