



GAOSHENG ZHENDUAN JICHU YU
LINCHUANG JIANCHA GUIFAN

名誉主编 刘望彭

超声诊断基础与 临床检查规范

主编 袁光华 张武 简文豪 姜玉新

 科学技术文献出版社

图书在版编目(CIP)数据

超声诊断基础与临床检查规范/袁光华等主编. -北京:科学技术文献出版社,2005.2
ISBN 7-5023-4770-4

I. 超… II. 袁… III. 超声波诊断 IV. R445.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 101422 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)58882952
网 址 <http://www.stdph.com>
E-mail: stdph@istic.ac.cn
策 划 编 辑 刘新荣
责 任 编 辑 刘新荣
责 任 校 对 赵文珍
责 任 出 版 王芳妮
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 北京地大彩印厂
版 (印) 次 2005 年 2 月第 1 版第 1 次印刷
开 本 880×1230 16 开
字 数 999 千
印 张 33
印 数 1~5000 册
定 价 198.00 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。

作者名单

- 名誉主编** 刘望彭 (教授) 山西医科大学第一医院
- 主 编** 袁光华 (研究员) 中国医学科学院基础医学研究所
张 武 (教授) 北京大学第三临床医院
简文豪 (教授) 中国人民解放军北京军区总医院
姜玉新 (教授) 中国医学科学院协和医院
- 副主编** 王金锐 (教授) 北京大学第三临床医院
吴钟瑜 (主任医师) 天津市中心妇产科医院
程克正 (副主任医师) 中国医学科学院阜外心血管医院
- 主 审** 徐智章 (教授) 上海复旦大学超声医学与工程研究所
- 审 编** 王新房 (教授) 武汉华中科技大学协和医院
伍于添 (教授) 广州中山医科大学
张青萍 (教授) 武汉华中科技大学同济医院
宋健宁 (教授) 中国科学院声学研究所
- 临床顾问** 刘汉英 (教授) 中国医学科学院阜外心血管医院
张缙熙 (教授) 中国医学科学院协和医院
- 编 委** (按姓氏笔划排列)
王 牧 (教授) 吉林大学中日联谊医院
王志民 (副教授) 中国医学科学院阜外心血管医院
王新房 (教授) 武汉华中科技大学协和医院
刘 纯 (副主任技师) 首都医科大学北京同仁医院
刘传玺 (教授) 山东省省立医院
李治安 (教授) 首都医科大学北京安贞医院

- 李垂平 (副主任医师) 山东莱芜妇幼医院
李建国 (教授) 北京大学人民医院
李建初 (副教授) 中国医学科学院协和医院
李俊来 (副教授) 中国人民解放军总医院
苗立英 (主任医师) 北京大学第三临床医院
俞雯 (教授) 中国人民解放军总医院
孟华 (副教授) 中国医学科学院协和医院
姚克纯 (教授) 中国人民解放军空军总医院
张歧山 (主任医师) 中国人民解放军海军总医院
徐辉雄 (副教授) 广州中山医科大学第一附属医院
康春松 (教授) 山西医科大学第一医院
董宝玮 (教授) 中国人民解放军总医院
栾姝蓉 (副主任医师) 首都医科大学北京安贞医院
杨娅 (教授) 首都医科大学北京安贞医院
杨文利 (副主任医师) 首都医科大学北京同仁医院
焦彤 (主任医师) 天津第一中心医院
龚新环 (教授) 上海第二医科大学附属瑞金医院
裴金凤 (主任医师) 首都医科大学北京安贞医院

编 务 杨淑英 (经济师) 北京和安康医疗科技开发中心

绪 言

当人类跨入21世纪时,超声医学作为临床影像医学的重要组成部分,正以迅速发展的新面貌展现在我们面前。半个多世纪,随着声学、电子学、计算机及图像处理技术等的发展,超声医学在临床各个领域的应用日趋广泛;如今,超声医学已成为一门崭新的临床学科,而且每项医用超声新设备的诞生和新技术的应用都是理、工、医学相互合作的结晶。

回顾我国超声诊断发展的历程,从早期的A型、M型到B型、频谱多普勒,直到今天的高清晰度的实时灰阶超声、彩色多普勒血流显像,以及尚在不断发展的静态和动态三维超声、组织多普勒成像、声学造影等各种超声诊断技术,已在国内城乡各级医疗机构中发挥着重要作用,超声临床医师及工程技术人员已达数万人之多;受益于超声诊治技术的人群逐渐扩大。我国超声医学事业呈现了从未有过的发展态势。

然而,还需要冷静分析我国超声快速发展中存在的问题。近年来,许多临床医疗机构急于开展超声诊断工作,而购置了各种超声仪器设备。其中有不少部门因缺少超声诊断专业技术人材、缺乏超声设备物理基础知识,往往造成引进的设备与实际需求不适应;其次,从事超声诊断、治疗的工作者多为医学院校或中级卫校培养的医生或技师,对于超声物理学、电子学、计算机及图像处理等知识掌握得不够深,在经过短期培训或进修学习后,便匆匆上岗,整日忙于大量的临床工作,很难系统地学习和接受继续教育,这也是影响超声新技术应用和超声仪器(尤其是高科技含量的进口设备)潜力发挥的重要原因;第三,我国幅员辽阔、人口众多,对超声专业人员和超声设备的需求量大,短期内快速发展必然形成各地区间的不平衡,表现为人员、设备及技术水平差距很大、参差不齐,缺少统一规范;在临床超声诊断工作中,对超声的应用范围、适应证、检查手法、标准图像、报告内容描述等,没有统一标准。

针对上述问题,国内超声医学界的知名专家和学者纷纷著书立说,撰稿呼吁,特别是在改革开放后的20多年,北京、上海、武汉、西安等地的超声医学会、超声工程学会、声学会、影像医学会等,在指导我国超声医学正确发展方面做了大量的工作。

1999年夏,以袁光华、张武、简文豪等一批北京的超声医学专家提出:编撰一本适合各级各类超声医学工作者应用、通俗易懂的《超声诊断基础与检查规范》(以下简称《规范》)。此意得到山西医科大学第一医院为代表的基层单位的赞同与支持。接着以北京地区为主的30余名专家、教授多次讨论编写大纲,反复斟酌内容,多方汇集资料,经过1年又10个月的艰辛劳动,《规范》于2001年10月得以问世。

《规范》不同于其他专著之处在于:其内容简明扼要、提纲挈领、深入浅出、概念清楚、观点明确,便于读者理解和记忆;为了使读者能够透彻地理解物理学概念、完整地掌握检查技术规范,作者不惜篇幅,采用图文并茂的方式予以详细阐述;对现今正在发展的超声诊断新技术、新设备及

新经验亦做了简要介绍。其内容除了为编者的知识、实践经验、体会及理解外，还收入了国内、外学者的相关成果。

诚然，由于超声医学应用领域愈来愈广，从事超声诊断专业的人员越来越多，尽管有30多位国内著名专家参与编写，但远远不能涵盖众多超声学者的卓越见识，尤其对“超声检查规范”来说，应该是经过超声界同道们上上下下反复讨论，再由权威学术机构审核认定的工作。加之当时编写时间仓促、资料收集不全、听取各方意见不够，参编人员各自文风不尽相同，使之2001年版的《规范》中存在错误和不妥之处；为此，编者一致认为：在2001年版的基础上再做认真修改、补充，并广泛征求意见，以期提高质量，尽力满足广大读者要求。

自2002年至今，对《规范》进行全面修订，扩大了编者队伍（40人），扩充并精练了内容，并更名为《超声诊断基础与临床检查规范》，突出了“临床”二字。其中，“超声诊断基础”约占30%，“临床检查规范”约占70%；并且增加了超声仪器新技术的内容。旨在对我国超声诊断专业在超声物理基础的认识、技术操作及图像分析上进行规范。

本书完稿后，特邀请了我国超声界著名专家进行审定。其中第一篇的第一章~第八章，第二篇的第十一章、第十二章，第三篇的第十七章由徐智章教授进行审定；第二篇的第九章由王新房教授进行审定；第一篇的第一章~第八章，第三篇的第十七章又请伍于添教授、宋建宁教授再审；第二篇的第十一章、第十二章请张青萍教授再次审定。这些专家在百忙之中对书稿进行了认真细致的审核，提出了许多宝贵意见和建议。特别是徐智章教授对书稿中的名词术语、概念进行了逐句逐条的修订。以上几位教授的审改为提高本书内容的科学性、实用性起到了重要作用。在此，编写组特向他们的认真、严谨、一丝不苟的治学作风表示钦佩与致谢！

为了更广泛地听取超声专家的意见，在书稿修订后，又召开了审稿研讨会。与会者有北京、天津、河北、河南、山东、山西、江苏、吉林、新疆等地的专家教授。他们共同对《规范》内容进行了审议，对规范名词术语、技术概念、注意事项等进行了热烈讨论，并达成了广泛共识；对《规范》的编写出版给予了充分肯定和热切期待。在此，对参加会审的专家、教授致以真诚的感谢！

《规范》的编写出版已远远超出作者的个人行为范围，这是我国众多超声专家对广大超声同仁的共同奉献！书中不妥之处，真诚地希望各位专家、学者、读者给予批评指正。

刘望彭

2004.4.18

目 录

第一篇 超声临床诊断基础

第一章 超声诊断的物理基础	袁光华 (3)
第一节 超声的基本概念	(3)
第二节 超声诊断的物理基础	(7)
第三节 超声成像规律及误诊因素	(17)
第二章 超声波的产生及超声诊断仪器	袁光华 (20)
第一节 超声换能器及超声探头	(20)
第二节 超声成像及超声诊断仪器	(23)
第三节 超声诊断仪若干技术概念	(28)
第三章 频谱多普勒血流检测与彩色多普勒成像	袁光华 (31)
第一节 超声多普勒物理基础	(31)
第二节 多普勒血流频谱及血流指数	(36)
第三节 多普勒频移曲线的混迭及制约关系	(38)
第四节 血流动力学基本概念	(41)
第五节 彩色多普勒血流成像基本原理	(47)
第六节 彩色多普勒其他成像方式简介	(52)
第四章 自然组织谐波与造影谐波成像	(56)
第一节 谐波成像的基本概念与相关问题	袁光华 (56)
第二节 超声造影原理与超声造影剂	简文豪 (60)
第三节 增强超声造影效果的技术	简文豪 (65)
第四节 超声造影效果的分析方法	简文豪 (67)
第五章 声像图分析与伪像识别	张 武 (68)
第一节 灰阶超声图像与声像图分析	(68)
第二节 超声图像基准断面和方位的识别	(76)
第三节 超声伪像 (伪差)	(82)

第四节 怎样写超声诊断结论	(95)
第六章 三维超声成像技术	袁光华 (100)
第一节 三维超声成像概况	(100)
第二节 三维成像基本技术	(101)
第七章 超声诊断仪常用技术及临床应用	袁光华 (105)
第一节 常规超声波束聚焦技术	(105)
第二节 数字波束形成器及数字信号处理技术	(108)
第三节 超声图像存档与通讯系统	(109)
第四节 超声诊断仪标书技术规格及分类	(117)
第八章 超声诊断仪的正确调节与使用	(125)
第一节 超声仪器的功能选择及操作概要	姚克纯 程克正 (125)
第二节 超声诊断仪的保养	姚克纯 程克正 (133)
第三节 超声测量及分析技术	姚克纯 (134)

第二篇 超声临床检查规范

第九章 心血管超声诊断与报告书写	(141)
第一节 心脏超声检查基本要求	简文豪 (141)
第二节 正常心脏	栾姝蓉 李治安 王志民 (144)
第三节 心脏瓣膜疾病	栾姝蓉 李治安 王志民 (156)
第四节 先天性心脏病	裴金凤 李治安 王志民 (170)
第五节 原发性心肌病	简文豪 (186)
第六节 冠心病	简文豪 (190)
第七节 心包疾病	康春松 刘望彭 (197)
第八节 心脏肿瘤	裴金凤 李治安 (200)
第九节 慢性肺源性心脏病	康春松 刘望彭 (207)
第十节 高血压性心脏病	简文豪 (210)
第十一节 经食管超声心动图	杨 娅 李治安 (212)
第十二节 胎儿心脏病	刘传玺 李垂平 (218)

第十章 外周血管疾病超声诊断与报告书写	李建初 (229)
第一节 外周血管超声检查概述	(229)
第二节 颈部动脉疾病	(234)
第三节 四肢静脉疾病	(243)
第四节 四肢动脉疾病	(253)
第十一章 胸部疾病超声诊断与报告书写	王金锐 (266)
第一节 胸部疾病检查基本要求	(266)
第二节 胸膜腔及纵隔疾病	(269)
第十二章 腹部疾病超声诊断与报告书写	(277)
第一节 肝脏疾病	张 武 李俊来 董宝玮 (277)
第二节 胆道系统疾病	王金锐 (298)
第三节 脾脏疾病	王金锐 张 武 (309)
第四节 胰腺疾病	王金锐 (319)
第五节 胃肠疾病	苗立英 王金锐 (326)
第六节 肾脏疾病	张 武 张岐山 刘 纯 (338)
第七节 输尿管、膀胱疾病	张 武 张岐山 刘 纯 (350)
第八节 前列腺、精囊疾病	张 武 张岐山 刘 纯 (355)
第九节 肾上腺疾病	龚新环 (363)
第十节 腹膜后间隙疾病	李建国 (373)
第十三章 浅表器官疾病超声诊断与报告书写	(382)
第一节 眼部疾病	杨文利 (382)
第二节 甲状腺、甲状旁腺和颌部其他器官疾病	孟 华 姜玉新 (395)
第三节 乳腺疾病	孟 华 姜玉新 (400)
第四节 阴囊疾病	张 武 (403)
第五节 肌肉骨骼系统疾病	王 牧 (410)
第十四章 妇科超声诊断与报告书写	(429)
第一节 子宫疾病	焦 彤 俞 雯 (429)
第二节 附件疾病	焦 彤 俞 雯 (432)

第十五章 产科超声诊断与报告书写	(435)
第一节 正常妊娠	吴钟瑜 (435)
第二节 异常妊娠	吴钟瑜 (438)
附 产科超声检查指南(试行)	中华医学会超声医学分会 (445)
第十六章 颅脑疾病超声诊断与报告书写	简文豪 (447)
第一节 经颅超声检查技术	(447)
第二节 正常颅脑	(449)
第三节 脑积液性及颅内囊性疾病	(452)
第四节 颅内血管性疾病	(453)
第五节 颅内损伤并发症	(457)
第六节 颅内占位性病变	(458)
第七节 颅脑其他疾病	(460)

第三篇 超声临床诊断技术

第十七章 超声临床诊断新方向	(465)
第一节 超声造影的临床应用及发展前景	简文豪 (465)
第二节 实时三维超声心动图临床应用	王新房 (466)
第三节 三维超声成像在腹部及妇产科临床应用	徐辉雄 (469)
第十八章 超声诊断仪器新技术	(481)
第一节 超声诊断仪技术现状及发展趋势	袁光华 (481)
第二节 东芝超声仪器技术	东芝株式会社三广医疗 (482)
第三节 百胜超声仪器技术	百胜(中国)有限公司 (486)
第四节 飞利浦超声仪器技术	飞利浦(中国)投资有限公司 (490)
第五节 GE超声仪器技术	通用电气(中国)有限公司-医疗系统集团 (495)
第六节 西门子超声仪器技术	西门子(中国)有限公司-医疗系统集团 (499)
第七节 Aloka超声仪器技术	Aloka株式会社 (506)
参考文献	(511)

第一篇

超声临床诊断基础

必备的业务基础

从事超声诊断的专业人员、彩色多普勒超声设备使用人员（医师、技师上岗资格考试）必须具备如下的业务基础。

物理基础：超声物理学基础；了解成像规律及相关的制约因素。

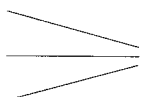
临床基础：具有解剖学和诊断学基础，了解患者的病史及临床检查的资料。

操作基础：具有正规的超声仪器操作技能，进行认真细致的规范化超声检查。

分析基础：对所获超声图像资料进行系统、全面的分析，通过正确、科学的临床思维分析，做出合乎逻辑的推理、判断，提出适当的超声诊断结论。

掌握超声诊断基础知识的方法

重点理解——原理、概念
加强记忆——规律、数据
融会贯通——联想、判断



理解—记忆—贯通

达到：打好坚实基础，正规使用仪器；
规范检查操作，提高诊断水平。

第一章

超声诊断的物理基础

本章主要介绍与超声临床诊断有关的物理基础，包括超声的基本概念、超声诊断的物理性能及生物效应，超声成像规律及误诊因素。这是临床医师应知的必要基础。

第一节 超声的基本概念

一、声源、介质

1. 声源（波源或振源）

能发声的物体称声源（acoustic source）。物体振动后产生声波。

在超声成像中，探头中晶片高频振动时即产生超声，所以探头晶片即为声源。

2. 介质

气体（空气）、液体、固体是传播声音（可闻声）的媒介物，称介质；传播机械振动的介质是弹性介质。声波必须在介质中传播，而不能在真空中传播。

在超声诊断中，人体脏器、器官都是介质。介质的声学特性与成像的关系非常密切。

超声与可闻声除频率高低有别外，其本质都是一种机械振动，并以确定的速度在介质中传播。

二、超声波与频谱图

1. 超声波

人们能听到的声音有一定的范围。正常年轻人能听到的声音，其频率（frequency）占据着机械振动频谱中相当明确的一段范围（20~20 000 Hz）。如超过人耳听觉上限阈值（20 000 Hz）人们就听不到。所以把高于20 000 Hz的声音叫做“超声”，也就是通常所称的超声波（ultrasonic wave）。

2. 频谱分布

在很宽的频率范围内，机械波和振动都可以产生声音，这种频率范围叫做声学频谱。这个频谱从可听范围到构成物质振动状态的声子的范围（ $> 10^{12}$ ），在图1-1-1频谱分布图中给出了声学频谱分布的范围及用途。

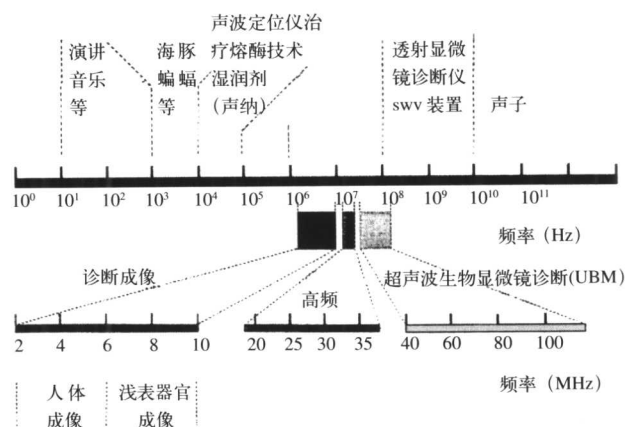


图 1-1-1 声学频谱范围（未包括“次声”）

常规的临床超声检查使用的超声频率在2~10 MHz段中

三、医学超声波应用范围

应用于治疗和清洗的频率范围在20~2 000 kHz。高强度聚焦超声治疗仪采用1 MHz左右的频率。用于临床诊断的频率范围在1~60 MHz。

其中 3.5~5 MHz 的频率用于成人心脏及腹部成像。这些频率通常能穿透组织 20~15 cm 的深度。

7~10 MHz 用于小器官的成像,如甲状腺、乳腺、眼睛显像,通常达 5~4 cm 的穿透深度。参见图 1-1-1。

在 10~40 MHz 的高频范围内已应用于皮肤成像及血管成像系统。

在 40~60 MHz 的频率范围内,则用于生物显微镜成像,对眼睛活组织表面下显微镜诊断结果,可显示用其他非侵入的方法无法获得的信息。

超过 100 MHz 的频率范围称为超高频。同样有各种应用价值,但目前没有在临床上应用。

四、波的传播及波动过程

1. 超声波的振态

超声波的振态在固体中有纵波 (longitudinal wave)、横波 (transverse wave)、表面波 (surface wave)、瑞利波 (Rayleigh wave)、板波 (plate wave) 等多种振态,而在液体和气体中只有纵波振态,在超声诊断中主要应用超声纵波。

2. 振幅

在介质质点的振动中,从一群粒子来看,它们先离开原点向一侧移动,然后又回到原点,再经过原点向另一侧移动,又回复至原点。如此循环往复,质点始终没有离开原位而来回振动,而声波的能量将从一端传到另一端去。质点从平衡位置到最大位移的距离称为振幅或幅度、幅值。

3. 波动表达式

图 1-1-2 的压力可用下式表示:

$$p(z) = \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} z\right) = \sin(kz) \quad (1-1-1)$$

这里, $k = 2\pi / \lambda$, 称为波数; z 是传播方向。公式 1-1-1 的示意图 (图 1-1-2) 揭示了一条波长为 λ 的简单正弦波。当考虑到时间的作用,即压力波如何依赖时间变化,应固定在空间中的某一位置 (固定在一行垂直点划线的位置),可以观察到压力在这个点随时间变化的正弦波变化,并用等式描述为

$$p(t) = \sin\left(\frac{2\pi}{T} t\right) = \sin(2\pi ft) \quad (1-1-2)$$

这里 T 是波的周期 (两个波峰之间的时间);

f 是频率 (周期的倒数); t 是时间。联立式 1-1-1 和式 1-1-2 就获得了一个压力波随时间和空间变化的表达式

$$p(z, t) = \sin(2\pi ft - kz) \quad (1-1-3)$$

这里负号反映传播方向沿 z 的反方向。

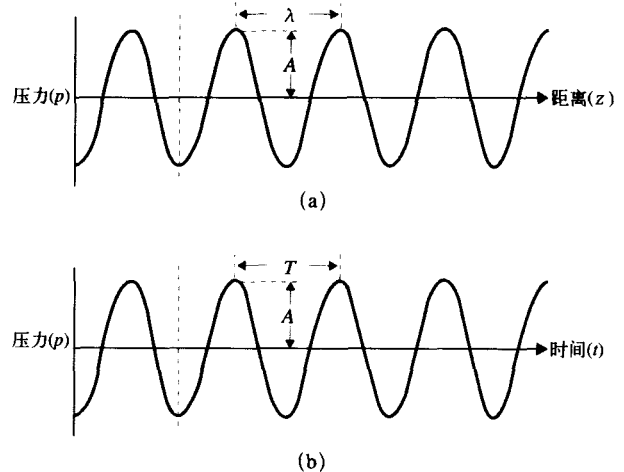


图 1-1-2 波动过程的图形表示

五、超声波的基本物理量

超声波有三个基本物理量,即波长 (λ),频率 (f) 和声速 (c),它们之间的关系为

$$c = \lambda \times f \quad \text{也就是} \quad \lambda = c / f \quad (1-1-4)$$

波长: 将正在传播的压缩与弛张相间的声波快速记录下来,如图 1-1-3 所示。波沿水平轴方向传播,分子的相对位置在图 1-1-3a 中由小圈表示。在压力大的区域 (压缩区),分子排列紧密;而在压力小的区域 (弛张区),分子排列疏松。若将波动转变成灰度 (灰色的阴影),很容易理解这样一个事实,即压力波的波峰被特殊的距离所分开,这个距离叫波长 λ ,如图 1-1-3b 所示。波长表示声波在介质中传播时,两个相邻的周期质点之间的距离。对纵波来说,波长是两个相邻的稠密区 (压缩区) 或稀疏区 (弛张区) 中心点的波动距离。振动的传播过程就是波动 (wave motion)。

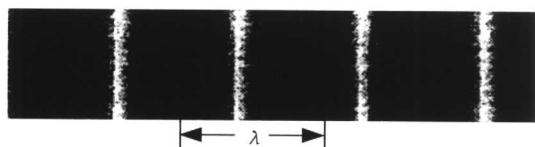
周期: 声波在介质中传播时,介质中质点完成一次全振动,即质点在平衡位置来回振动一次所需的时间称为振动周期 T 。

频率: 单位时间内声源振动的次数,以赫为单位 (Hz), $1\text{Hz} = 1\text{次/s}$, 高频率用千赫 (kHz = 1 000 Hz), 或兆赫 (MHz = 1 000 000 Hz) 表达。

声音的频率通常用 f 表示。它是周期 T 的倒数，即 $f = 1/T$ 。



(a) 传播声波的媒质(介质)的分子



(b) 波长为 λ 的平面连续压缩波的压力分布

图 1-1-3 质点振动传播声波

声速: 声速 c 表示超声波在某种介质中的传播速度，即单位时间内传播的距离，单位为米/秒(m/s)。它与介质的弹性(K)和密度(ρ)有关，即 $c = \sqrt{\frac{K}{\rho}}$ ，而与超声波的频率基本无关。声速在决定声阻抗以及回声测距精度上是重要因素。超声在人体不同正常组织中传播时的有关密度、声速和声学特性阻抗见表 1-1-1。

表 1-1-1 人体正常组织的密度、声速和声学特性阻抗

组织器官	密度 ($\text{kg/m}^3 \times 10^{-3}$)	声速 (m/s)	声学特性阻抗 ($10^3 \text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)
血液	1.055	1 570	1.656
血浆	1.027	—	—
大脑	1.038	1 540	—
小脑	1.030	1 470	1.514
脂肪	0.955	1 476	1.410
软组织(平均值)	1.016	1 540	1.590
肌肉(平均值)	1.074	1 568	1.684
肝	1.050	1 570	1.648
肾	—	1 560	—
脑脊液	1.000	1 522	1.522
颅骨	1.658	3 360	5.570
甲状腺	—	—	1.620~1.660
胎体	1.023	1 505	1.579
羊水	1.013	1 474	1.463
胎盘	—	1 541	—
角膜	—	1 550	—
水晶体	1.136	1 650	1.874
前房液	0.994~1.012	1 495	1.499
玻璃体	1.010~0.992	1 495	1.496
巩膜	—	1 630	—
体液	0.997 3	1 495.6	1.492
空气(肺、肠腔)	0.001 29	333	0.000 428

(一) 声速与介质的关系

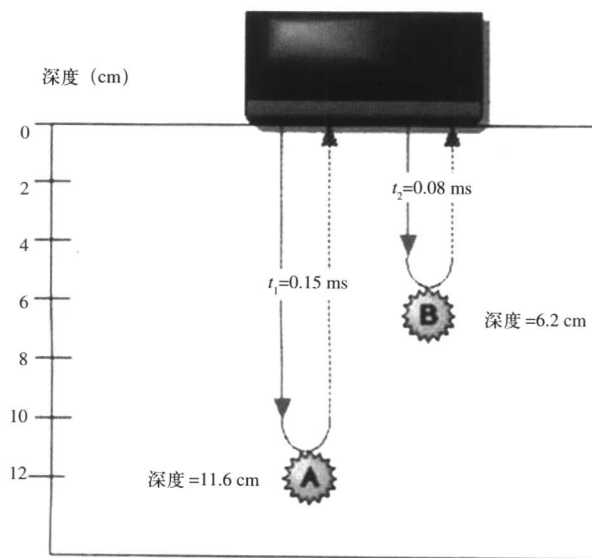
1. 同一介质

超声波无论频率高低在同一介质中传播时声速基本相同。例如：在 20°C 的空气中，超声和可闻声的速度都是 343 m/s 。

2. 不同介质

同一频率的超声波在各种不同介质中的声速不同， 1 MHz 超声波在 0°C 的水中为 $1 500 \text{ m/s}$ ；在 0°C 的钢材中为 $6 000 \text{ m/s}$ ；在人体软组织中平均声速为 $1 540 \text{ m/s}$ (与水中声速近似)。探测 1 cm 深度目标所需要的时间约为 $13 \mu\text{s}$ ，深度与时间关系如图 1-1-4 所示。

在图 1-1-5 中：(a) 为正常肝脏与实性占位病变的声速；(b) 为生物材料(组织)中的超声速，粗横条代表实验测得的速度范围。



$$1 540 \text{ m/s} = 154 000 \text{ cm}/1 000 000 \mu\text{s}$$

$$1 \text{ m} = 100 \text{ cm}$$

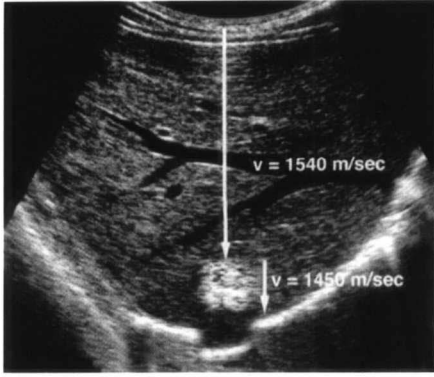
$$1 \text{ s} = 1 000 \text{ ms} = 1 000 000 \mu\text{s}$$

超声传播 1 cm 所需时间为：

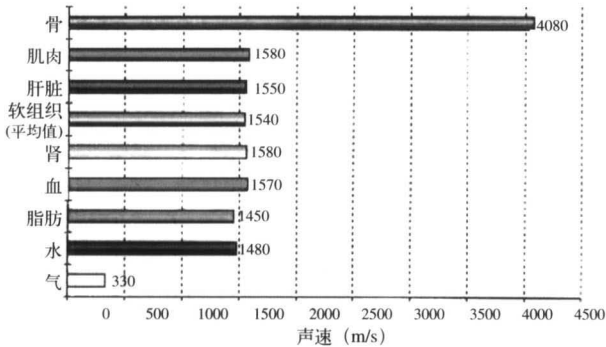
$1 000 000 \mu\text{s}/154 000 \text{ cm} = 6.49 \mu\text{s}$ ，探测 1 cm 深度目标的时间为来回 2 次，即 $6.49 \mu\text{s} \times 2 = 12.98 \sim 13 \mu\text{s}$ ；所以，探测 11.6 cm 目标 A 的时间为 $150 \mu\text{s} = 0.15 \text{ ms}$ ，探测 6.2 cm 目标 B 的时间为 $80.0 \mu\text{s} = 0.08 \text{ ms}$

图 1-1-4 接收不同深度的回声所需时间不同

(引自文献 [14])



(a) 正常肝脏声速为 1 540 m/s, 占位病变声速为 1 450 m/s



(b) 生物材料及水、气中的超声传播速度, 横条代表实验测得的速度范围

图 1-1-5 超声在脏器和生物材料中的速度
(引自文献 [14])

3. 距离测量

人体软组织的声速分布为 1 470~1 680 m/s, 而骨组织的声速则高于 2 800 m/s, 肺组织的声速大约在 400 m/s 以下, 了解人体不同组织声速的分布对判断由超声测量引起的误差很有帮助。在软组织中, 探测 1 cm 长度需 13 μs (0.013 ms); 在脂肪组织中, 探测 1 cm 长度需 13.8 μs (0.013 8 ms); 而在骨组

织中, 探测 1 cm 长度, 只需 7.14 μs (0.007 14 ms)。在超声诊断的二维图像上测量距离是按平均速度设置的电子尺每探测 1 cm 的时间 13 μs 计算, 所以测量骨组织的读出值, 只是真实值的 54%; 而测量脂肪组织读出值为真实值的 106%。

(二) 波长与介质的关系

1. 同一介质

不同频率的超声波, 在同一介质内传播时其波长与频率成反比。

1 MHz 的超声波在人体软组织中传播时, 其波长

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{1\,500\,000\text{ mm/s}}{1\,000\,000\text{ Hz}} = 1.5\text{ mm} \quad (1-1-5)$$

3 MHz 的超声波在人体软组织中传播时, 其波长

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{1\,500\,000\text{ mm/s}}{3\,000\,000\text{ Hz}} = 0.5\text{ mm} \quad (1-1-6)$$

同理 5 MHz 的超声波在人体软组织中传播时, 其波长为 0.3 mm, 所以频率越高的超声波在同一脏器组织中传播时其波长愈短。

2. 不同介质

同一频率的超声波, 在不同介质内传播, 因传播声速不同, 则波长也不相同。频率为 3 MHz 的超声波在人体软组织中传播时, 其波长为 0.5 mm, 而在空气中传播, 其波长

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{343\,000\text{ mm/s}}{3\,000\,000\text{ Hz}} = 0.114\text{ mm} \quad (1-1-7)$$

用同一种探头检查人体不同的组织时, 由于声速存在差异, 其波长是不相同的。有关频率、周期与波长的关系如表 1-1-2 所示。

表 1-1-2 声速 1 540 m/s, 某些频率下的超声波的周期和波长

频率(MHz)	1	1.5	2.5	3	5	10	12	15	18	32
周期(μs)	1	0.67	0.4	0.33	0.2	0.1	0.083	0.066	0.055	0.31
波长(mm)	1.5	1	0.6	0.5	0.3	0.15	0.125	0.1	0.083	0.047

3. 声学特性阻抗

声学特性阻抗(acoustic characteristic impedance)表征超声波在不同介质中传播时的特征, 用 Z 表示, 单位: kg/(m²·s), Z 等于介质的密度 ρ 和超声在其中传播速度 c 的乘积, 即

$$Z = \rho \times c \quad (1-1-8)$$

物质的密度一般是固体 > 液体 > 气体, 超声波在介质中的速度是固体 > 液体 > 气体, 故声学阻抗值一般也是固体 > 液体 > 气体 (但在汞中除外)。

人体软组织及实质性脏器的密度, 声速和声阻抗与水相接近 (因脏器内水的成分占 60%~70%)。

提要

1. 超声在人体中传播的速度

- A. 与人体中组织的弹性 (K) 有关;
- B. 与人体中组织的密度 (ρ) 有关;
- C. 与人体中组织的特性阻抗 (Z) 有关;
- D. 与测量不同脏器组织厚 (长) 度的精度有关;
- E. 与超声波的频率高低无关。

2. 人体组织的声学特性

- A. 软组织、肌肉、骨组织的声学特性阻抗 (Z) 不同;
- B. 在肝组织中, 用 3.5 MHz 与 5.0 MHz 探头检查时的声速相同;

C. 在同一软组织中超声波的频率与波长成反比;

D. 正常肝组织与占位病灶组织密度不相同, 声速也不同;

E. 10 MHz 超声波在虹膜中的声速小于巩膜中的声速。

3. 利用超声仪器中的电子卡尺测距

- A. 测量肝、胆、脾、胰误差很小;
- B. 测量脂肪组织大于真实值 (偏大);
- C. 测量胎儿股骨长径时小于真实值 (偏小);
- D. 测量颅骨钙化病灶值也偏小;
- E. 测量眼组织晶体、玻璃体、角膜、虹膜均有一定偏差。

第二节 超声诊断的物理基础

一、超声波的物理性能

(一) 超声波的回声是反射式超声成像的基础

1. 界面反射

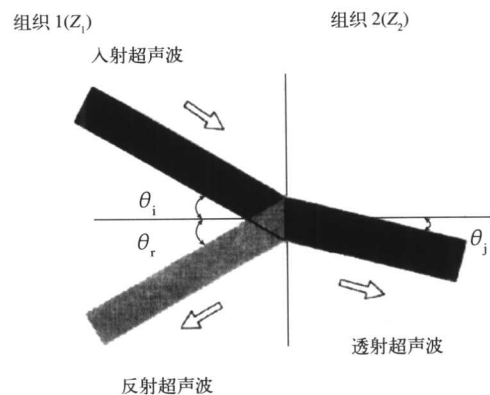
超声波在传播时像光线一样, 在均匀介质中沿直线传播。在两种不同介质的分界面传播时就能发生反射和折射 (reflection), 图 1-2-1 所示。其反射性能受到介质特性阻抗的影响。界面两边的特性阻抗值及声束与界面法线间的入射角, 将决定入射超声如何在透射和反射之间分配。

2. 镜面反射及反射系数

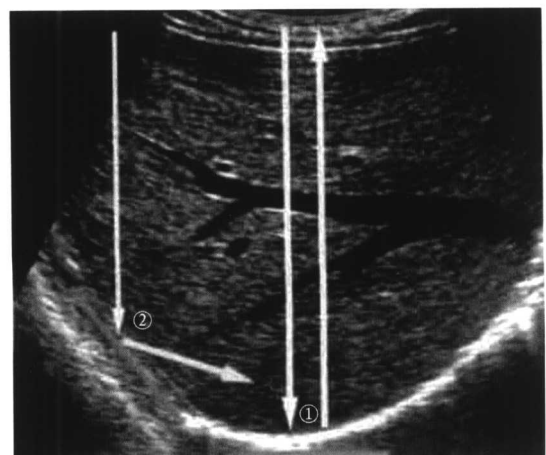
如果声学特性阻抗相等, 即 $Z_1 = Z_2$ 时, 称为均匀介质, 此时入射声波均透射过分界面, 则不产生反射。如果特性阻抗不同, 则形成反射界面 (boundary)。凡界面尺寸大于波长者称大界面; 界面尺寸小于波长者称小界面。入射超声在大界面上使一部分声波反射, 与光的情况一样, 反射角等于入射角。符合光学上 Snell 定律。入射波的能量在反射波和透射波之间分配, 这一分配必须使两介质保持接触。其反射的能量占入射能量的比例, 在入射方向垂直于分界面时是最简单的情况。此时

$$\left. \begin{aligned} \text{反射系数 } R_i &= \frac{(Z_2 - Z_1)^2}{(Z_2 + Z_1)^2} \\ \text{透射系数 } T_i &= 4Z_1Z_2 / (Z_1 + Z_2)^2 \\ R_i + T_i &= 1 \end{aligned} \right\} \quad (1-2-1)$$

式中 Z_1, Z_2 分别表示入射边和透射边介质的特性阻抗, 反射程度取决于 Z_1 和 Z_2 的相对值。如表 1-2-1 所示。



(a) 反射与透射 / 折射



(b) 超声波在肝内反射

图 1-2-1 超声波的反射与透射

①垂直界面反射信号最强, 易接收; ②成角度界面反射难于接收, 术语称“回声失落”

(引自文献 [14])