



中国医师协会

全国专科医师培训规划教材（供专科医师培训使用）

超声医学

主编 唐杰 姜玉新



人民卫生出版社



中国医师协会

全国专科医师培训规划教材（供专科医师培训使用）

超 声 医 学

主 编 唐 杰 姜玉新

编 者（按章节为序）

- | | |
|----------------------|---------------------|
| 姚克纯（中国人民解放军空军总医院） | 朱永胜（第四军医大学西京医院） |
| 尹立雪（四川省人民医院） | 周晓东（第四军医大学西京医院） |
| 赵博文（浙江大学医学院附属邵逸夫医院） | 于 铭（第四军医大学西京医院） |
| 张 梅（山东大学齐鲁医院） | 陈敏华（北京大学临床肿瘤学院） |
| 王建华（中国人民解放军北京军区总医院） | 李 锐（第三军医大学西南医院） |
| 田家玮（哈尔滨医科大学附属第二医院） | 王金锐（北京大学第三医院） |
| 任卫东（中国医科大学附属第一医院） | 杨 萌（北京协和医院） |
| 温朝阳（中国人民解放军总医院） | 姜玉新（北京协和医院） |
| 袁建军（河南省人民医院） | 戴 晴（北京协和医院） |
| 吴长君（哈尔滨医科大学附属第一医院） | 唐 杰（中国人民解放军总医院） |
| 王 浩（中国医学科学院阜外心血管病医院） | 王 旻（中国人民解放军总医院） |
| 吴伟春（中国医学科学院阜外心血管病医院） | 常 才（复旦大学附属肿瘤医院） |
| 张 军（第四军医大学西京医院） | 荣雪余（北京协和医院） |
| | 贺 声（中国人民解放军海军总医院） |
| | 何 文（首都医科大学附属北京天坛医院） |

统 稿

程志刚（中国人民解放军总医院）

人 民 卫 生 出 版 社

图书在版编目(CIP)数据

超声医学/唐杰等主编. —北京:人民卫生出版社,
2009. 2

ISBN 978-7-117-10224-7

I. 超… II. 唐… III. ①超声波诊断-医师-培训-
教材②超声波治疗-医师-培训-教材 IV. R445. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 067324 号

本书本印次封底贴有防伪标。请注意识别。

超 声 医 学

主 编: 唐 杰 姜玉新

出版发行: 人民卫生出版社(中继线 010-67616688)

地 址: 北京市丰台区方庄芳群园 3 区 3 号楼

邮 编: 100078

网 址: <http://www.pmph.com>

E - mail: pmph@pmph.com

购书热线: 010-67605754 010-65264830

印 刷: 潮河印业有限公司

经 销: 新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 47

字 数: 1113 千字

版 次: 2009 年 2 月第 1 版 2009 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

标准书号: ISBN 978-7-117-10224-7/R·10225

定 价: 188.00 元

版权所有, 侵权必究, 打击盗版举报电话: 010-87613394

(凡属印装质量问题请与本社销售部联系退换)

全国专科医师培训规划教材

编辑委员会

主任委员 殷大奎

副主任委员 杨 镜 胡国臣 刘海林 陆 君 曹金铎

委 员 (排名不分先后)

丛玉隆	王茂斌	刘新光	郭晓蕙	梁万年	王天佑
顾 江	李世荣	张尔永	胡大一	李仲智	于学忠
屈婉莹	唐 杰	党耕町	黄宇光	高润霖	马明信
黄晓军	王 辰	祝学光	陈孝平	孙永华	冷希圣
张奉春	栾文民	李学旺	贾建平	朱宗涵	张永信
黄魏宁	于 欣	赵家良	郭应禄	戴建平	郑志忠
廖秦平	王忠诚				

序

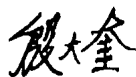
在卫生部毕业后医学教育委员会的领导下,“建立我国专科医师培训和准入制度”的研究,正向纵深发展,取得了卓有成效的硕果;现已进入专科医师培训试点实施阶段,经卫生部批准的试点基地已陆续启动,面向全国高等医学院校毕业生(包括研究生)招收培训人员。为推动规范化专科医师培训工作的进程,贯彻落实“专科医师培训标准”的要求,确保高质量、高水平培训效果,中国医师协会、卫生部教材办公室共同策划组织国内知名专家、学者,撰写了首套“全国专科医师培训规划教材”,涵盖了18个普通专科和16个亚专科,由人民卫生出版社出版发行,编制分册与读者见面。

本套教材,结合国情和地区特点,紧紧围绕“专科医师培训标准”,以提高实践技能和临床思维能力为主线;内容新颖与实用结合,突出实用性;编写体例链接学校教育教材,又凸显区别;编著队伍由资深专家、中青年医师组成,颇具活力;加之严格审稿制度,保证了编写质量。

相信本套教材问世,无论对指导教师还是对参加专科医师培训人员都具有较大的参考价值,实为不可多得的良好益友。同时也充分体现了行业协会配合卫生部工作,忠实履行行业职责,为培养与国际接轨的专科医师作出应有的贡献。谨此,衷心感谢为本套教材付出辛勤工作的专家、学者,出版社和编辑人员。

本套教材编写人员多,时间紧迫,误漏之处在所难免,恳请批评、指正。

中国医师协会会长



2008年12月30日

全国专科医师培训规划教材

编写说明

2003年11月,卫生部启动了“建立我国专科医师培养和准入制度”研究课题,中国医师协会和相关的专家组借鉴国外经验,结合我国医师培养的现状作了大量的探讨和研究,本着“先易后难、先粗后细、争议搁置”的原则,制订了我国第一阶段临床专科设置,共设置34个专科,其中普通专科18个,亚专科16个;制订了“专科医师培训标准”和“专科医师培训基地标准”。卫生部毕业后医学教育委员会、中国医师协会、卫生部教材办公室于2006年年底共同启动了与之配套的全国专科医师培训规划教材的编写工作,每种教材均由国内各专科知名专家主编。这是我国首套专科医师培训规划教材。

毕业后医学教育是临床医学人才培养过程中极为重要的阶段。对住院医师进行以提高临床技能为核心的规范化培训是专科医师培训的核心,紧扣这个核心,按照“专科医师培训标准”中各个专科的具体要求,对疾病种类和临床技能操作进行详细的、十分贴近临床的介绍,是本套教材的特色。该套教材共有18个普通专科和16个亚专科,每种约为50~100万字,其中将影像一分为三,共有教材36种。

本套教材的编写取材于临床,内容服务于临床,除主要供专科医师培训使用外,也可兼顾其他医生参考使用。

尽管该套教材在多方的共同努力之下终于顺利出版,但由于系国内首创,不足之处在所难免,需要在临床实际应用过程中进行检验、进一步补充、修订与完善,恳请读者给予批评指正。

卫生部教材办公室

中国医师协会

2008年12月

前 言

20 世纪 70 年代以来,伴随着临床医学的发展和日新月异的数字化时代的到来,超声医学呈现出高速发展的局面。超声检查涉及的范围大幅度拓展,包括腹部、心脏、妇产、血管、浅表器官、神经、肌肉、骨关节等全身大多数器官和组织。超声医学从单纯的灰阶超声(B 超)发展成包括彩色多普勒超声、三维超声、超声造影和介入性超声的综合型检查手段。同时,介入性超声开展的多种微创治疗所显示出的实时性、安全性和有效性等特点正逐步得到临床的广泛认可。现代超声医学不仅在医院门诊和住院患者的诊治过程中发挥着重要作用,而且在正常人群的常规体检方面也获得了广泛应用。

通过几代超声医学工作者的不懈努力,我国超声医学已建立起具有鲜明专业特色,医疗、教学和科研同时发展的诊治结合的综合型学科,与放射学和核医学一起共同推动医学影像诊治水平的不断提高,为保障广大人民群众的身体健 康发挥积极的作用。

超声医学的全面和快速发展是《全国专科医师培训规划教材——超声医学》得以独立成册的重要基础。该教材由中国医师协会超声医师分会组织编写,首先介绍超声医学的基础原理和理论,其次阐述超声诊断的步骤和图像分析方法,然后简明扼要地讲解人体各系统正常的解剖结构、超声检查方法以及正常声像图表现,最后以典型病例作为引子,对疾病的常见超声表现、鉴别诊断以及漏诊、误诊原因进行分析。通过以上学习,使初学者能够在熟悉超声医学物理基础之上,学习和掌握超声图像资料的记录方法,掌握大纲中所列的各系统常见病和多发病的超声表现,训练观察和独立思维的能力,并能基本正确地书写诊断报告书,达到超声专科医师培训的基本要求。

此次教材编写的时间正值盛夏之际,各位编委在紧张而繁忙的临床、教学和科研工作之余,利用了大量业余时间参加并完成了本次教材的编写工作,为此我们代表中国医师协会超声医师分会对各位编委为本教材编写所做出的巨大贡献表示衷心的感谢,并致以崇高的敬意!

本书编写过程中还得到了中国人民解放军总医院超声科全体工作人员的大力支持和帮助,特别是程志刚医生在全书的统稿过程中兢兢业业、认真细致,付出了大量宝贵时间,在此向他们致以衷心的感谢!因人员较多,无法一一提及,他们每个人的工作都会永远留存在我们的记忆中。

由于我们的知识和经验不足,加之时间有限,本书定有许多不足或错误之处,敬请广大读者批评指正!

唐 杰 姜玉新

2007 年 10 月 3 日

目 录

第一篇 超声医学基础

第一章 超声医学基本原理.....	1
第一节 超声波在组织中的传播.....	1
第二节 超声的生物效应	20
第三节 灰阶超声成像的基本原理	26
第四节 多普勒超声基本原理	28
第二章 超声图像分析与伪像	52
第一节 超声图像分析	52
第二节 超声诊断报告的书写	64
第三节 超声伪像	74
第三章 超声诊断仪	86
第一节 超声仪的类型、基本原理及结构.....	86
第二节 超声探头.....	108
第三节 超声仪器控制面板的操作和调节.....	116

第二篇 临床超声诊断与介入性超声

第一章 心脏与大血管系统.....	127
第一节 心脏解剖、功能与超声检查方法	127
第二节 正常心脏超声表现.....	135
第三节 心脏功能.....	168
第四节 先天性心脏病	176
第五节 获得性心脏瓣膜病.....	211
第六节 冠心病.....	227
第七节 心肌病.....	245
第八节 心包疾病.....	260
第九节 感染性心内膜炎.....	272
第十节 肺心病.....	276

第十一节 心脏肿瘤·····	283
第十二节 大动脉疾病·····	293
第二章 消化系统·····	302
第一节 肝脏疾病的超声诊断·····	302
第二节 胆囊及胆管疾病的超声诊断·····	322
第三节 胰腺疾病的超声诊断·····	333
第四节 脾脏疾病的超声诊断·····	342
第三章 泌尿系统·····	357
第一节 肾脏及肾上腺疾病的超声诊断·····	357
第二节 输尿管疾病的超声诊断·····	439
第三节 膀胱疾病的超声诊断·····	446
第四章 女性生殖系统·····	453
第一节 正常女性生殖系统·····	453
第二节 产科疾病·····	457
第三节 妇科疾病·····	476
第五章 男性生殖系统·····	516
第一节 正常男性生殖系统·····	516
第二节 前列腺疾病·····	521
第三节 精囊疾病·····	532
第四节 阴囊及其内容物疾病·····	533
第六章 周围血管疾病·····	542
第一节 颈部血管·····	542
第二节 四肢血管·····	570
第三节 腹部血管·····	595
第七章 内分泌系统·····	628
第一节 正常甲状腺和甲状旁腺·····	628
第二节 甲状腺疾病·····	631
第三节 甲状旁腺疾病·····	645
第八章 浅表器官·····	647
第一节 乳腺·····	647
第二节 周围淋巴结·····	657
第三节 涎腺·····	674

第九章 介入性超声.....	684
第一节 介入性超声基础.....	684
第二节 超声引导穿刺活检.....	691
第三节 超声引导穿刺治疗.....	716
参考文献.....	738

第一篇 超声医学基础



第一章

超声医学基本原理

超声成像的物理基础犹如医学基础一样重要,是超声医学工作者不可缺少的一门物理基础。本章主要介绍与超声医学成像有关的物理基础,包括超声波的概念、基本物理量、在生物组织中的传播特点、生物效应、灰阶超声成像的基本原理及多普勒超声基本原理。这是超声医学工作者必须掌握的基础知识。

第一节 超声波在组织中的传播

一、超声波的概念

波在日常生活中是常见的自然现象。在自然界中,蝙蝠和海豚是利用超声波的反射功能来生活的。蝙蝠在黑暗中就是通过鼻和口中发出超声波来判断障碍物的距离,从而实现自由飞翔。现代医学中,就是利用超声波的反射性质,即发射超声波到人体内,就会从组织、器官中产生反射,从而进行超声医学诊断与治疗。

自然界中有各种各样的波,但根据波的性质(力的作用),通常将波分为两大类,即电磁波和机械波。声波、水波和地震波等属于机械波;X线、红外线、微波等属于电磁波。

机械波是由于机械力或弹性力的作用,机械振动在弹性介质内的连续传播过程,其传播的为机械能量。电磁波是在电磁场中由于电磁力的作用而产生的,是电磁场的变化在空间的传播过程,其传播的是电磁能量。机械波与电磁波的传播方式不同,机械波只能在介质中传播,不能在真空中传播;电磁波可以在介质中传播,也可以在真空中传播。两者的传播速度也不同,机械波比电磁波传播速度要慢得多,如声波在空气中的传播速度是340m/s,而电磁波在空气中传播的速度是 3×10^8 km/s。机械波与电磁波相同的地方,就是按其频率可分成各种不同的波,机械波分类见表1-1-1。

表 1-1-1 机械波分类

分类	次声波	声音	超声波	高频	宽高频
频率(Hz)	<16	$16\sim 2\times 10^4$	$2\times 10^4\sim 10^8$	$10^8\sim 10^{10}$	$>10^{10}$

从表 1-1-1 中得知,人们能听到的声音是有一定范围的,把 $16\sim 2\times 10^4$ Hz 作为正常健康人能听到声音的极限频率,因为 16Hz 是人耳能听到的最小频率, 2×10^4 Hz 是人耳能听到的最大频率,把高于 2×10^4 Hz 的声音叫做“超声波”(ultrasound wave)。超声诊断所用频域范围为 $1\sim 40$ MHz。

二、超声波产生的必要条件

(一) 声源及波源

人类及动物发出的声音是由于声带振动而产生的,这种振动是一种机械振动。我们把能发出声音的物体称为声源(acoustic source)。振动是产生声波的根源,即物体振动后产生声波。作机械振动的物体称为波源(wave source)。在超声成像过程中,探头的晶片作机械振动即产生超声,故探头的晶片是声源。机械振动的能量在弹性介质中传播开来,这就形成了机械波。比如超声波是由超声探头的晶片产生振动,引起耦合剂的振动,耦合剂振动又引起了人体皮肤、皮下脂肪层、肌层及靶器官部位的振动,超声波的能量就这样进入人体。

(二) 介质

固体、液体、气体都是弹性介质,是传播超声波的媒介物质,称为介质。声波必须在弹性介质中传播,真空中没有介质存在,故不能传播声波。在医学超声成像中,人体的细胞、组织、器官都是介质。介质的声学特性与超声图像的关系密切。

三、超声波的分类

(一) 根据质点振动方向

相对于声波的传播方向,质点的振动方向可以不同。如果质点的振动方向和声波的传播方向相垂直,称这种波为横波(transverse wave),比如表面水波。如果质点振动方向与声波传播方向相平行,称这种波为纵波(longitudinal wave)。在液体和气体中因不存在切变力,故不存在横波,只有纵波。声波的本质是力的作用。横波是由于切变力的作用产生的,而纵波是由于压力或拉力的作用产生的,可以在固体、液体、气体中传播。在超声医学成像中主要应用纵波,它通过激励电压迫使探头晶片作厚度方向振动,对人体组织施加压力或拉力而产生。纵波在人体中行进时,使有的部位质点密,有的部位质点疏(图 1-1-1)。

(二) 根据波阵面的形态

声波从波源出发,在介质中向各个方向传播。在某一时刻介质中周相相同的各点所组成的面称为波面。声波在介质中的传播过程中,形成的波面有无数个,最前面开始的一个波面即波源,最初振动状态传播的各点组成的面称为波阵面。波面有各种各样的形态,波面是平面的称为平面波,波面是球面的称为球面波(图 1-1-2)。

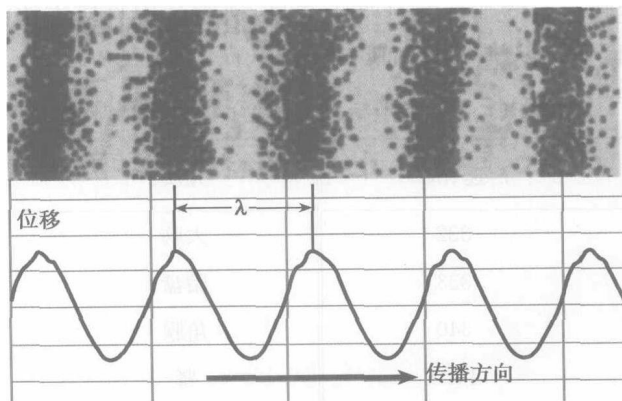


图 1-1-1 超声波在人体中的传播方向

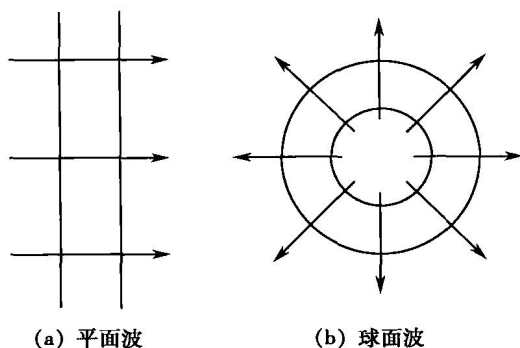


图 1-1-2 平面波及球面波

(三) 根据发射超声波的类型

发射超声波可分为连续波和脉冲波两种。连续波目前仅在连续多普勒超声心动图仪中使用；A 型、M 型、B 型及脉冲多普勒超声心动图仪均采用脉冲波。

四、超声波的物理量

(一) 波长、频率和声速

波长(λ)、频率(f)和声速(c)是超声波的三个基本物理量,三者之间的关系为:

$$c = \lambda \cdot f \text{ 或 } \lambda = \frac{c}{f} \quad (\text{式 1-1-1})$$

这一公式适用于电磁波和机械波等所有的波。

波长:声波在介质中传播时,介质中质点在一次完全振动时间内,波所通过的距离。它等于同一波线上相邻周期中两个振动状态相同的点之间的距离,单位为毫米(mm)。

频率:单位时间内任一给定点上通过的波或声源振动的次数,单位为赫兹(Hz),1Hz=1次/秒,1MHz=1000000Hz。

声速:超声波在介质中的传播速度,即单位时间内超声波传播的距离,单位为 m/s。声速反映了振动传播的快慢。

例如:某台超声仪检查肾脏,发射频率为 3.5MHz,超声在肾脏中传播的速度为 1560m/s,求该台超声仪声波的波长。

解:
$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{1560000 \text{ mm/s}}{3500000 \text{ Hz}} \approx 0.45 \text{ mm}$$

由于振动的传播是通过介质中质元间的弹性联系而实现的,故声速必然与介质的性质有关,而与超声波的频率无关。就超声波而言,它在介质中的传播速度除受介质密度(ρ)和弹性(K)影响外,还与温度有关,即 $c = \sqrt{\frac{K}{\rho}}$

实际情况下,生物组织的弹性模量难于测量,通常是用直接方法测量组织中的声速的。超声波诊断中有关的各种介质传播时的声速(纵波)见表 1-1-2。

表 1-1-2 超声诊断有关的各种介质的声速(纵波)

介质	声速(m/s)	介质	声速(m/s)
空气(0℃)	332	大脑	1540
肺	333	胎盘	1541
空气(15℃)	340	角膜	1550
石蜡油	1420	肾	1560
小脑	1470	肌肉	1568
羊水	1474	肝	1570
脂肪	1476	血液	1570
前房房水	1495	巩膜	1630
玻璃体	1495	晶状体	1641
体液	1495.6	有机玻璃	2720
胎体	1505	颅骨	3360
脑脊液	1522	钢铁	5800
生理盐水(37℃)	1534	铝	6400
软组织(平均值)	1540		

从表 1-1-2 得知,通常 $c_{\text{固}} > c_{\text{液}} > c_{\text{气}}$ 。由于研究者采用的方法不同,各种报道的声速稍有出入,但无统计学差别。

超声医学工作者应熟记公式(式 1-1-1),熟练掌握以下结论:

1. 同一介质的声速只与介质的性质有关,与频率无关。也就是说,超声波不管频率高低在同一介质中传播时声速都相同。例如:探查皮下脂肪层,5MHz 的探头与 15MHz 探头的超声波的声速都是 1476m/s。

2. 相同频率的超声波在不同的介质中声速是不同的。例如:2MHz 超声波在颅骨中为 3360m/s,在大脑组织中为 1540m/s。

3. 在同一介质中传播时,不同频率的超声波的波长与频率成反比。如:我们常用的 3MHz 和 5MHz 探头在人体软组织中的波长分别为:

3MHz 的超声波在人体软组织中传播时,其波长

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{1540000\text{mm/s}}{3 \times 10^6 \text{Hz}} \approx 0.5\text{mm}$$

5MHz 的超声波在人体软组织中传播时,其波长

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{1540000\text{mm/s}}{5 \times 10^6 \text{Hz}} \approx 0.3\text{mm}$$

由此可知,频率越高的超声波在同一人体软组织中传播时其波长越短。临床上常用

的各种超声波频率与波长的关系见表 1-1-3。

表 1-1-3 声速 1540m/s,常用的超声波的频率与波长

频率(MHz)	1	1.25	1.5	2.5	3	5	7.5	8	10	12	15
波长(mm)	1.5	1.23	1	0.6	0.5	0.3	0.2	0.19	0.15	0.125	0.1

4. 在不同的介质中传播时,相同频率的超声波因声速存在差异,其波长是不一样的。如 3MHz 的超声波在人体软组织($c=1540\text{m/s}$)、空气($c=340\text{m/s}$)及钢铁($c=5800\text{m/s}$)中的波长为:

3MHz 的超声波在人体软组织中传播时,其波长

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{1540000\text{mm/s}}{3 \times 10^6 \text{Hz}} \approx 0.5\text{mm}$$

3MHz 的超声波在空气中传播时,其波长

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{340000\text{mm/s}}{3 \times 10^6 \text{Hz}} \approx 0.11\text{mm}$$

3MHz 的超声波在钢铁中传播时,其波长

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{5800000\text{mm/s}}{3 \times 10^6 \text{Hz}} \approx 1.9\text{mm}$$

5. 人体软组织中超声波速度通常采用 1540m/s,所以超声波传播 1mm 组织所需的时间为 $0.649\mu\text{s}$ ($\frac{1000000\mu\text{s}}{1540000}$),往返 1mm 需 $1.298\mu\text{s}$ 。探测 1cm 深度目标往返需 $12.98 \sim 13\mu\text{s}$;探测 10cm 深度目标往返需 $130\mu\text{s}$;成人心脏超声成像时,通常深度不少于 18cm,而对于腹部器官的超声检查,一般在 20cm 深度,故获取一条超声信息线所需要的时间为 $234 \sim 260\mu\text{s}$ 。探测深度与所需时间如图 1-1-3 所示。

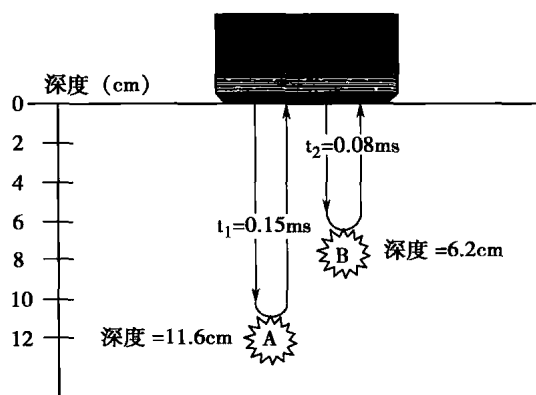


图 1-1-3 探测深度与所需时间

$$1540\text{m/s} = \frac{154000\text{cm}}{1000000\mu\text{s}} = \frac{1540000\text{mm}}{1000000\mu\text{s}}$$

$$1\text{s} = 1000\text{ms} = 1000000\mu\text{s}.$$

(二) 声压和声强

1. 声压 对于平面波来说,超声波在介质中传播时,介质的质点密度疏密不均,以致平衡区的压力强弱不等,即产生了一个周期性压力变化。声压就是单位面积上介质受到的压力,用 P 表示。

$$P = \rho cv \quad (\text{式 } 1-1-2)$$

这里 ρ 为介质密度, c 为声速, v 为质点振动速度。

声压的单位为微巴(μbar),其关系为:

$$1\text{dyn}/\text{cm}^2 (\text{达因}/\text{厘米}^2) = 1\mu\text{bar}$$

$$1\text{nt}/\text{m}^2 (\text{牛顿}/\text{米}^2) = 10\text{dyn}/\text{cm}^2$$

$$1\text{kg}/\text{cm}^2 \approx 1.013 \times 10^6 \text{dyn}/\text{cm}^2 \approx 1.013 \times 10^6 \mu\text{bar}$$

$$1\text{bar} = 10^6 \mu\text{bar}$$

声压在日常生活中可以计算出来,例如,在室内大声说话,其声压约 $1\mu\text{bar}$,微风吹树声压约 $10^{-3}\mu\text{bar}$ 。

2. 声强 声波在单位时间内,通过与声波传播方向相垂直的单位面积上的超声能量称为超声强度,简称声强(声功率)。声强等于能流密度,是衡量超声强弱的一个重要物理量,用 I 表示。

对于平面波,声强为

$$I = \frac{P^2}{\rho c} \quad (\text{式 1-1-3})$$

声强的单位为 W/cm^2 或 mW/cm^2 或 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 。

$$1\text{W}/\text{cm}^2 = 10^3 \text{mW}/\text{cm}^2 = 10^6 \mu\text{W}/\text{cm}^2$$

例:人耳对 $f=1000\text{Hz}$ 声波所能忍受最大的声强近似为 $1\text{W}/\text{m}^2$,求声压。

解:

$$I = 1\text{W}/\text{m}^2$$

$$Z = \rho c = 439\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$$

$$P^2 = 2\rho c I$$

$$P = \sqrt{2 \times 439 \times 1} = 29.6\text{N}/\text{m}^2$$

对于平面波而言,超声总功率为超声强度和超声通过某截面面积的乘积

$$W = I \cdot S \quad (\text{式 1-1-4})$$

超声强度大小对超声诊断的安全性是极为重要的。有关安全性见生物效应章节。

(三) 声特性阻抗

声特性阻抗(acoustic characteristic impedance)是声学中一个非常重要的物理量,表征超声波在不同介质中传播时的特征,用 Z 表示。其定义为介质密度和声速的乘积。

$$Z = \rho \cdot c \quad (\text{式 1-1-5})$$

声特性阻抗 Z 是通过声学公式和电学公式类比得出来的。

我们在声学中得知,声强 $I = \frac{P^2}{\rho c}$,在电学中学过,电功率 $I = \frac{U^2}{R}$,其中 U 是电压, R 是电阻。由此可以看出,这两个公式很相似。如果把声强 I 类比为电功率 I ,声压 P 类比为电压 U ,那么 ρc 可以类比为电阻 R ,所以声学中把 $Z = \rho c$ 称为声学特性阻抗。

声学特性阻抗的单位是瑞利。 $1\text{瑞利} = 1\text{dyn} \cdot \text{sec}/\text{cm}^3 = 1\text{g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$

千克/米³ × 米/秒 = 千克/米² 秒 = 克/厘米² 秒 = 瑞利。超声医学临床常用的各种介质的声特性阻抗(Z)见表 1-1-4。

表 1-1-4 超声医学常用介质的声特性阻抗(Z)

介质名称	$\rho(\text{g}/\text{cm}^3)$	$c(\text{m}/\text{s})$	$Z(1 \times 10^5 \text{ 瑞利})$
空气(22℃)	0.00118	344	0.00407
液状石蜡(33.5℃)	0.835	1420	1.186
脂肪	0.955	1476	1.410
羊水	1.013	1474	1.493
水(37℃)	0.9934	1523	1.513
脑脊液	1.000	1522	1.522
人体软组织(平均值)	1.016	1500	1.524
生理盐水(37℃)	1.002	1534	1.537
胎体	1.023	1505	1.579
肝脏	1.050	1570	1.648
血液	1.055	1570	1.656
肌肉(平均值)	1.074	1568	1.684
晶状体	1.136	1650	1.874
颅骨	1.658	3360	5.570

从表 1-1-4 可以得出:①介质的密度与声特性阻抗成正比;②软组织的声阻抗大约是空气声阻抗的 3800 倍,颅骨声阻抗大约是软组织声阻抗的 3.6 倍;③人体软组织及实质性器官的声阻抗是各不相同的,但差别较小。

声特性阻抗对介质交界面上超声传播的特性起决定因素。我们从超声图像所看到的回声强与弱,是入射超声穿过不同声学界面时,由界面两边介质的声阻抗差所决定。

(四) 声强级及声压级

声强级的定义为两个声强的对比数。声强级是一个无量纲的量。声强级的单位是贝尔(Bel)

$$\text{声强级 } L_I = \log \frac{I}{I_0} (\text{Bel}) \quad (\text{式 1-1-6})$$

公式中 I 为所求声强, I_0 为参考声强。由于 Bel 这个值过大,所以目前国际上通用 $1\text{Bel}=10\text{dB}$ (分贝),即 dB 作为声强级单位。

$$\text{声强级 } L_I = 10 \log \frac{I}{I_0} (\text{dB}) \quad (\text{式 1-1-7})$$

$$\text{当 } I=10I_0, \quad L_I = 10 \log \frac{10I_0}{I_0} = 10 \times 1 = 10(\text{dB})$$

$$I=1000I_0, \quad L_I = 10 \log \frac{1000I_0}{I_0} = 10 \times 3 = 30(\text{dB})$$