

高级卫生专业技术资格考试指导用书

超声医学 高级教程

主 编 姜玉新 张 运

高级卫生专业技术资格考试指导用书编辑委员会

中华医学会组织编著



人民军医出版社

PEOPLE'S MILITARY MEDICAL PRESS

高级卫生专业技术资格考试指导用书

超声医学高级教程

CHAOSHENG YIXUE GAOJI JIAOCHENG

高级卫生专业技术资格考试指导用书编辑委员会

中华医学会 组织编著

姜玉新 张 运 主 编



人民军医出版社

PEOPLE'S MILITARY MEDICAL PRESS

北 京

图书在版编目(CIP)数据

超声医学高级教程/姜玉新,张 运主编. —北京:人民军医出版社,2012. 2

高级卫生专业技术资格考试指导用书

ISBN 978-7-5091-5529-5

I. ①超… II. ①姜… ②张… III. ①超声波诊断—资格考试—教材②超声波疗法—资格考试—教材 IV. ①R445. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 010283 号

策划编辑:郝文娜 姚 磊 文字编辑:赵 民等 责任审读:陈晓平

出版人:石 虹

出版发行:人民军医出版社 经销:新华书店

通信地址:北京市 100036 信箱 188 分箱 邮编:100036

质量反馈电话:(010)51927290;(010)51927283

邮购电话:(010)51927252

策划编辑电话:(010)51927300-8724

网址:[www. pmmp. com. cn](http://www.pmmp.com.cn)

印、装:北京京华虎彩印刷有限公司

开本:850mm×1168mm 1/16

印张:30 字数:945 千字

版、印次:2012 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

印数:0001—2000

定价(含光盘):215.00 元

版权所有 侵权必究

购买本社图书,凡有缺、倒、脱页者,本社负责调换

内 容 提 要

本书由卫生部人才交流中心《中国卫生人才》杂志社和中华医学会共同组织国内最具权威的专家编写,按照国家对高级卫生专业技术资格人员的专业素质要求,集中、准确地介绍了涵盖技术与临床应用的经典方法和学科发展新理论。全书分 26 章,着重介绍超声医学的基础理论、基本知识和基本技能,同时适度地介绍了超声影像技术的新技术和新进展。其中包括超声诊断的物理基础、多普勒超声及其临床应用、超声诊断仪、超声临床诊断基础、超声新技术,以及超声在心血管、消化系统、泌尿系统、妇产科、浅表器官及骨骼肌肉系统的检查方法、声像图特点、诊断与鉴别诊断要点和临床价值,并介绍了介入超声的临床应用。本书不仅是拟晋升高级职称应试者的考前复习指导用书,还能提高主治医师以上职称医务人员临床会诊、科研、带教和临床教学水平。本书具有权威性、实用性和先进性,是高年资超声人员必备案头书。

本书配有多媒体光盘,包含近 1000 道试题和 2 套综合性模拟试题。通过实战演练,帮助考生掌握卫生专业机考操作知识和技巧。

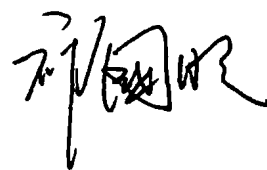
序

《卫生部关于加强“十一五”期间卫生人才队伍建设的意见》提出,要加强高层次卫生人才队伍建设,进一步完善卫生人才评价体系,加快推进卫生人才工作体制机制创新,为卫生人才队伍发展提供良好的政策环境。中华医学会作为国内医学界有一定影响的学术团体,有责任也有义务为提高卫生技术人才队伍的整体素质,进一步完善高级卫生专业技术资格的评价手段,逐步推行考评结合的评价方法,做出应有的努力。

为推进科学、客观、公正的社会化卫生人才评价体系尽快实施,《中国卫生人才》杂志社和中华医学会共同组织编辑、出版了《高级卫生专业技术资格考试指导用书》(以下简称《指导用书》)。

我国每年有 20 万以上需要晋升副高级职称和正高级职称的卫生专业人员,这些高级技术人员是我国医学发展的中坚力量,身肩承上启下的重任。考试政策的出台有助于促进不同地区同专业、同职称的医务人员职称与实践能力的均衡化。因此,本套书的内容不仅包括高年资医务人员应该掌握的知识,更力求与时俱进,能反映目前本学科发展的国际规范指南和前沿动态,巩固和提高主治医师以上职称医务人员临床诊治、临床会诊、综合分析疑难病例及开展医疗先进技术的能力,也将作为职称考试的参考依据之一。相信此书的出版不仅能帮助广大考生做好考前复习工作,还将凭借其不断更新的权威知识成为高年资医务人员的案头工具书。

本套《指导用书》所有参编人员均为国内各学科的学术带头人、知名专家。在编写过程中曾多次召开组稿会和定稿会,各位参编的专家、教授群策群力,在繁忙的临床和教学工作之余高效率、高质量地完成了本套书的编写工作,在此,我表示衷心的感谢和敬佩!



前 言

进入 21 世纪以来,超声影像技术飞速发展,从二维超声发展到三维超声;从单纯的超声诊断技术扩展到高能聚焦超声等治疗领域;从传统的形态学成像进入微血管成像,并正迈向超声分子影像领域。作为现代医学影像检查的重要组成部分,超声检查凭借其实时性、无放射性、无创性及高分辨力,在临床工作中发挥着越来越重要的作用。

随着超声影像技术的临床应用范围日益扩大,临床医生对超声诊疗技术的依赖越来越强,如何提高中国超声队伍的专业素养是摆在我们面前的重要问题。为了进一步提高高级卫生专业技术人员的专业技术水平,深化卫生专业职称改革,完善卫生专业技术高级资格考试制度,经卫生部人才交流中心同意,由卫生部人才交流中心和中华医学会共同组织编写高级卫生专业技术资格考试指导系列用书《超声医学高级教程》分册。

为了保证编写质量,我们聘请了国内知名的超声医学专家编写本书,他们都有着丰富的临床经验。全书共分 26 章,第 1~5 章介绍了超声诊断的物理基础、多普勒超声及其临床应用、超声诊断仪、超声临床诊断基础及超声新技术,第 6~26 章介绍了超声在心血管、消化系统、泌尿系统、妇产科、浅表器官及骨骼肌肉系统等的检查方法、声像图特点、诊断与鉴别诊断要点和临床价值,以及介入超声的临床应用。

本书每章都配备了电子习题集,便于帮助读者提高高级职称资格考试水平和检验自身的学习效果。电子习题集包括单选题、多选题、共用题干题、案例分析题 4 种题型。本书着重于介绍超声医学的基础理论、基本知识和基本技能,同时适度地介绍了超声影像技术的新技术和新进展,不仅可以帮助考生应试,更是一本值得用于临床实际工作参考的工具书。相信本书的问世,有助于推动我国医学超声影像学的发展。

本书撰写过程中得到了国内许多专家的大力支持和帮助,对他们的无私奉献和精心审阅表示诚挚的感谢!许多同事、研究生和进修生对本书做了大量的文字校对工作,对他们们的热情帮助表示衷心的感谢!由于本书编写时间短促,在编排上难以做到完全规范、统一,对错误与疏漏之处,敬请广大同道批评指正。

中华医学会超声医学分会主任委员 教授 主任医师

姜玉新 张 运

2011 年 12 月

高级卫生专业技术资格考试指导用书

超声医学高级教程

编委会

主 编 姜玉新 张 运
副主编 王金锐 陈敏华 唐 杰 田家玮 王建华 李建初
编 委 (以姓氏笔画为序)

王金锐 北京大学第三医院
王建华 北京军区总医院
尹立雪 四川省医学科学院 四川省人民医院
田家玮 哈尔滨医科大学附属第二医院
任卫东 中国医科大学附属盛京医院
华 扬 首都医科大学宣武医院
李建初 中国医学科学院北京协和医院
李胜利 深圳市妇幼保健院
杨文利 首都医科大学附属北京同仁医院
张 运 山东大学齐鲁医院
陈敏华 北京大学肿瘤医院
苗立英 北京大学第三医院
赵 博 北京大学第三医院
郝玉芝 中国医学科学院肿瘤医院
胡 兵 上海交通大学附属第六人民医院
姜玉新 中国医学科学院北京协和医院
姚克纯 中国人民解放军空军总医院
袁建军 河南省人民医院
高云华 第三军医大学附属新桥医院
唐 杰 中国人民解放军总医院
常 才 复旦大学附属肿瘤医院
崔立刚 北京大学第三医院
谢明星 华中科技大学同济医学院附属协和医院
薛恩生 福建医科大学附属协和医院
戴 晴 中国医学科学院北京协和医院
学术秘书 张一休 中国医学科学院北京协和医院
组织策划 李春风 裴 燕 宋炳楠

出版说明

为了进一步深化卫生专业职称改革,2000年人事部、卫生部下发了《关于加强卫生专业技术职务评聘工作的通知》(人发[2000]114号)。通知要求,卫生专业的副高级技术资格通过考试与评审相结合的方式获得;正高级技术资格通过答辩,由评审委员会评议,通过后即获得高级资格。根据通知精神和考试工作需要,副高级技术资格考试在全国各个省、自治区、直辖市职称改革领导小组的领导下设立了多个考区。目前,很多地区正高级技术资格的评审工作也逐渐采用考评结合的方法。通过考试取得的资格代表了相应级别技术职务要求的水平与能力,作为单位聘任相应技术职称的必要依据。

高级技术资格考试制度的逐渐完善,使与其相配套的考前辅导及考试用书市场明显滞后的矛盾日渐突出。鉴于职称改革制度和考生的双重需求,《中国卫生人才》杂志社和中华医学会共同组织医学各学科权威专家编辑、出版了《高级卫生专业技术资格考试指导用书》(以下简称《指导用书》)。《指导用书》在介绍基本理论知识和常用治疗方法的基础上更注重常见病防治新法、疑难病例分析、国内外发展现状和发展趋势等前沿信息的汇集,与国家对高级卫生专业技术资格人员的专业素质要求相一致。《指导用书》的编者主要由从事临床工作多年,在本学科领域内具有较高知名度的副主任医师职称以上的专家及教授担任,以确保其内容的权威性、实用性和先进性。本书以纸质载体配合CD-ROM光盘的形式出版,其中纸质载体以专业知识为主,多媒体光盘容纳练习题库、模拟试题等内容,实现人机互动的功能。本书根据高级卫生专业技术资格考试大纲对专业知识“了解”“熟悉”和“掌握”的不同层次要求安排简繁,重点突出,便于考生复习、记忆。

考试不是目的,而是为了加强临床医务人员对学科知识的系统了解和掌握,是提高医疗质量的一种手段。因此,本套出版物的受益者不仅仅是中、高级技术资格报考人员,其权威、专业、前沿的学科信息将会对我国医学科学的发展、医学科技人才的培养及医疗卫生工作的进步起到推动和促进作用。《指导用书》各学科分册于2009年陆续出版。

目 录

第 1 章 超声诊断的物理基础	(1)
第一节 超声波的一般性质	(1)
第二节 超声波的基本物理量	(2)
第三节 超声波的传播	(6)
第四节 超声波的能量分布	(12)
第五节 超声波的分辨力	(12)
第六节 超声多普勒效应	(14)
第七节 人体血流动力学基本知识	(16)
第八节 超声的生物效应	(25)
第 2 章 多普勒超声及其临床应用	(30)
第一节 多普勒频谱及血流参数	(30)
第二节 多普勒效应影响因素	(31)
第三节 多普勒超声对血流的评价	(32)
第 3 章 超声诊断仪	(41)
第一节 超声诊断仪的类型、基本原理及结构	(41)
第二节 超声探头	(54)
第三节 超声仪器控制面板的操作和调节	(60)
第 4 章 超声临床诊断基础	(66)
第一节 超声检查适应证	(66)
第二节 超声检查方法	(67)
第三节 基本扫查断面和声像图方位识别	(69)
第四节 人体组织的回声表现	(70)
第五节 声像图的分析方法	(72)
第六节 超声伪像	(75)
第七节 超声诊断常用术语与报告书写	(79)
第 5 章 超声新技术	(83)
第一节 超声组织谐波成像	(83)
第二节 超声造影	(84)
第三节 三维超声成像	(94)
第四节 组织多普勒成像	(97)
第五节 超声弹性成像	(98)
第六节 其他新技术	(100)
第 6 章 心脏的解剖与生理	(103)

第一节	正常心脏及大血管的解剖概要	(103)
第二节	正常心脏及大血管的生理概要	(107)
第7章	心脏超声检查及其正常超声表现	(110)
第一节	超声检查技术	(110)
第二节	心脏功能测定	(113)
第8章	心脏瓣膜病	(119)
第一节	二尖瓣狭窄	(119)
第二节	二尖瓣关闭不全	(121)
第三节	二尖瓣脱垂	(123)
第四节	主动脉瓣狭窄	(124)
第五节	主动脉瓣关闭不全	(126)
第六节	主动脉瓣脱垂	(127)
第七节	三尖瓣狭窄	(128)
第八节	三尖瓣关闭不全	(129)
第九节	肺动脉瓣关闭不全	(130)
第十节	感染性心内膜炎	(131)
第十一节	心脏人工瓣	(134)
第9章	冠状动脉疾病	(138)
第一节	冠状动脉解剖概要	(138)
第二节	室壁节段和冠状动脉血供关系	(139)
第三节	冠状动脉疾病的病理和临床	(140)
第四节	冠心病的超声检查方法	(140)
第五节	冠心病的超声表现	(143)
第六节	超声检查在冠心病诊疗中的临床价值	(144)
第10章	主动脉疾病	(146)
第一节	主动脉夹层	(146)
第二节	主动脉缩窄	(147)
第11章	心肌病	(149)
第一节	扩张型心肌病	(149)
第二节	肥厚型心肌病	(150)
第三节	限制型心肌病	(152)
第四节	致心律失常型右心室心肌病	(152)
第五节	心肌致密化不全	(153)
第12章	心包疾病及心脏占位性疾病	(155)
第一节	心包积液	(155)
第二节	缩窄性心包炎	(156)
第三节	心包肿瘤	(157)
第四节	心脏肿瘤	(157)
第五节	心腔内血栓	(160)
第13章	先天性心脏病	(161)

第一节	先天性心脏病超声检查方法	(161)
第二节	房间隔缺损	(163)
第三节	室间隔缺损	(164)
第四节	动脉导管未闭	(166)
第五节	心内膜垫缺损	(167)
第六节	主动脉窦瘤破裂	(168)
第七节	主动脉口狭窄	(169)
第八节	先天性主动脉弓异常	(169)
第九节	主动脉-肺动脉间隔缺损	(171)
第十节	冠状动脉瘘	(172)
第十一节	肺静脉异位引流	(173)
第十二节	三尖瓣下移畸形与闭锁	(174)
第十三节	肺动脉闭锁	(175)
第十四节	三房心	(176)
第十五节	双腔右心室	(177)
第十六节	法洛四联症	(178)
第十七节	法洛三联症	(179)
第十八节	大动脉转位	(180)
第十九节	永存动脉干	(181)
第二十节	单心室	(182)
第二十一节	左心发育不良综合征	(183)
第二十二节	心脏位置异常	(184)
第 14 章	其他心脏疾病	(186)
第一节	心内膜弹力纤维增生症	(186)
第二节	高血压性心脏病	(187)
第三节	肺动脉栓塞	(189)
第四节	肺动脉高压	(190)
第 15 章	胸壁、胸膜腔和肺	(193)
第一节	解剖概要	(193)
第二节	超声检查技术	(194)
第三节	正常超声表现	(194)
第四节	胸壁疾病	(195)
第五节	胸膜疾病	(197)
第六节	肺部疾病	(198)
第 16 章	肝和脾	(202)
第一节	肝	(202)
第二节	脾	(211)
第 17 章	胆道和胰腺	(218)
第一节	胆道系统	(218)
第二节	胰腺	(226)

第 18 章 胃肠	(232)
第一节 解剖概要	(232)
第二节 超声检查技术	(233)
第三节 正常超声表现	(234)
第四节 胃溃疡	(235)
第五节 胃癌	(235)
第六节 胃间质瘤	(237)
第七节 胃息肉	(237)
第八节 十二指肠球部溃疡	(238)
第九节 肠道肿瘤	(238)
第十节 肠梗阻	(240)
第十一节 肠套叠	(241)
第十二节 急性阑尾炎	(241)
第 19 章 泌尿系统	(243)
第一节 解剖概要	(243)
第二节 超声检查技术	(246)
第三节 正常超声表现	(248)
第四节 肾疾病	(249)
第五节 输尿管疾病	(256)
第六节 膀胱疾病	(257)
第七节 前列腺疾病	(258)
第 20 章 腹膜后间隙及大血管、肾上腺	(262)
第一节 腹膜后间隙	(262)
第二节 肾上腺	(269)
第三节 腹膜后大血管	(274)
第 21 章 妇科	(282)
第一节 解剖与生理概要	(282)
第二节 超声检查技术	(284)
第三节 正常超声表现	(285)
第四节 子宫疾病	(287)
第五节 卵巢疾病	(296)
第六节 盆腔炎性疾病	(306)
第 22 章 产科	(308)
第一节 妊娠解剖及生理概要	(308)
第二节 超声检查技术	(309)
第三节 正常妊娠超声表现	(310)
第四节 异常妊娠超声表现	(312)
第五节 胎盘脐带异常	(321)
第六节 胎儿畸形	(325)
第七节 妊娠滋养细胞疾病	(339)

第 23 章 外周血管	(341)
第一节 颅脑血管	(341)
第二节 颈部血管	(346)
第三节 四肢动脉	(351)
第四节 四肢静脉	(358)
第 24 章 浅表器官	(368)
第一节 眼部	(368)
第二节 涎腺	(376)
第三节 甲状腺和甲状旁腺	(380)
第四节 乳腺	(386)
第五节 阴囊与阴茎	(396)
第六节 浅表淋巴结	(405)
第 25 章 肌肉骨骼系统	(409)
第一节 肌肉	(409)
第二节 肌腱	(412)
第三节 韧带	(415)
第四节 骨、软骨及关节疾病	(416)
第五节 与肌肉骨骼系统相关的常见软组织肿物	(420)
第 26 章 介入超声	(425)
第一节 介入超声技术概述	(425)
第二节 介入超声的技术原则	(426)
第三节 穿刺方法	(429)
第四节 超声引导穿刺组织学检查及细胞学检查	(429)
第五节 超声引导穿刺的腹部应用	(432)
第六节 肝恶性肿瘤的介入性治疗现状	(441)
第七节 胸部疾病介入性超声	(448)
第八节 浅表器官的超声引导下穿刺活检	(452)
第九节 介入性超声并发症和处理	(453)
附录 A 高级卫生专业技术资格考试大纲(超声医学专业——正高级)	(457)
附录 B 高级卫生专业技术资格考试大纲(超声医学专业——副高级)	(460)

第 1 章

超声诊断的物理基础

学习超声成像的物理基础犹如学习医学基础一样重要,是超声医学工作者不可缺少的一门基础课程。声学与病理学关系极为密切,可以说,有什么样的病理变化,就有什么样的声像图改变。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,超声多普勒效应,人体血流动力学基本知识及生物效应。

第一节 超声波的一般性质

一、超声波的概念

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的传播过程,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,如声波在空气中传播速度是 340m/s ,而电磁波在空气中传播的速度是 $3 \times 10^8 \text{ km/s}$ 。机械波与电磁波相同的地方,就是可按其频率分类,机械波分类,见表 1-1。

人们能听到的声音是有一定范围的, 16Hz 和 $2 \times 10^4 \text{ Hz}$ 是正常健康人能听到声音的极限频率, 16Hz 是人耳能听到的最小频率, $2 \times 10^4 \text{ Hz}$ 是人耳

能听到的最大频率,故把高于 $2 \times 10^4 \text{ Hz}$ 的声音称为“超声”(ultrasound wave)。医学上超声诊断所用频率范围为 $(1 \sim 40)\text{MHz}$ 。

超声波在自然界中是很常见的,蝙蝠和海豚是利用超声波的反射功能来判断物体远近的。现代超声医学也是利用超声波的反射性质进行超声医学诊断的。当发射超声波进入人体内,遇到组织器官会产生反射,收集反射波的影像,分析判断,即可了解组织器官的形态结构,进行超声医学诊断。

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。做机械振动的物体称为波源(wave source)。在超声成像过程中,探头的晶片做机械振动产生超声,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,形成了机械波。比如超声波,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

表 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	$(16 \sim 2) \times 10^4$	$2 \times 10^4 \sim 8$	$10^8 \sim 10^{10}$	$>10^{10}$

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,就称这种波为纵波(longitudinal wave)(图 1-1)。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,纵波可以在固体、液体、气体中传播。在医学超声成像中主要应用纵波,它通过激励电压迫使探头晶片做厚度方向振动,对人体组织施加压力或拉力而产生的。纵波在人体中传播时,使有的部位质点密集,有的部位质点稀疏,密集与稀疏交界的部位,产生的声压最大。

(二)根据波阵面的形态

从波源出发,声波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,波面是球面的波称为球面波(图 1-2)。

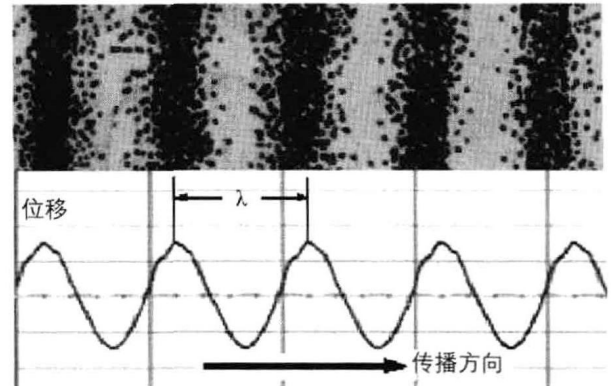


图 1-1 超声在人体中的传播方向

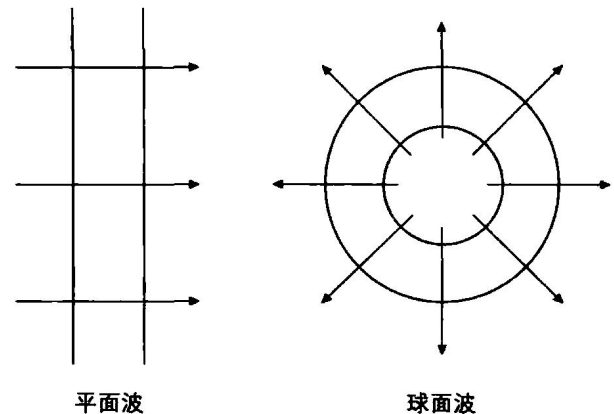


图 1-2 平面波及球面波

(三)根据发射超声的类型

发射超声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仪中使用;A 型、M 型、B 型及脉冲多普勒超声仪均采用脉冲波。

第二节 超声波的基本物理量

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:

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

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 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 Hz, $1\text{Hz} = 1/\text{s}$, $1\text{MHz} = 1\,000\,000\text{Hz}$ 。

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

$$\text{解: } \lambda = \frac{c}{f} = \frac{1\,560\,000\text{mm/s}}{3\,500\,000\text{Hz}} \approx 0.45\text{mm}$$

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以测量,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 1-2。

表 1-2 超声诊断有关的各种介质的声速

介质	声速(m/s)	介质	声速(m/s)
空气(0℃)	332	大脑	1 540
肺	333	胎盘	1 541
空气(15℃)	340	角膜	1 550
液状石蜡	1 420	肾	1 560
小脑	1 470	肌肉	1 568
羊水	1 474	肝	1 570
脂肪	1 476	血液	1 570
前房房水	1 495	巩膜	1 630
玻璃体	1 495	晶状体	1 641
体液	1 495.6	有机玻璃	2 720
胎体	1 505	颅骨	3 360
脑脊液	1 522	钢铁	5 800
生理盐水(37℃)	1 534	铝	6 400
软组织(平均值)	1 540		

表 1-3 常用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. 在不同的介质内传播时,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($c = 1\,540\text{m/s}$)、空气中($c = 340\text{m/s}$)及钢铁($c = 5\,800\text{m/s}$)中的波长为:

3MHz 的超声波在人体软组织中传播时,其波长

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{1\,540\,000\text{mm/s}}{3 \times 10^6\text{Hz}} \approx 0.5\text{mm}$$

3MHz 的超声波在空气中传播时,其波长

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{340\,000\text{mm/s}}{3 \times 10^6\text{Hz}} \approx 0.11\text{mm}$$

3MHz 的超声波在钢铁中传播时,其波长

从表 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),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,在同一介质里传播时声速都相同。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 1 476m/s。

2. 相同频率的超声波在不同的介质中的声速是不同的。例如:2MHz 超声波在颅骨中为 3 360m/s,在大脑组织中为 1 540m/s。

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

3MHz 的超声波在人体软组织中传播时,其波长

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{1\,540\,000\text{mm/s}}{3 \times 10^6\text{Hz}} \approx 0.5\text{mm}$$

5MHz 的超声波在人体软组织中传播时,其波长

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{1\,540\,000\text{mm/s}}{5 \times 10^6\text{Hz}} \approx 0.3\text{mm}$$

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频率与波长的关系,见表 1-3。

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{5\,800\,000\text{mm/s}}{3 \times 10^6\text{Hz}} \approx 1.9\text{mm}$$

5. 超声检查 人体软组织,通常采用超声波速度为 1 540m/s,所以超声波传播 1mm 组织所需的时间为 $0.649\mu\text{s} \left(\frac{1\text{mm}}{1\,540\,000\text{mm/s}} \right)$,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 $130\mu\text{s}$;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 1-3 所示。

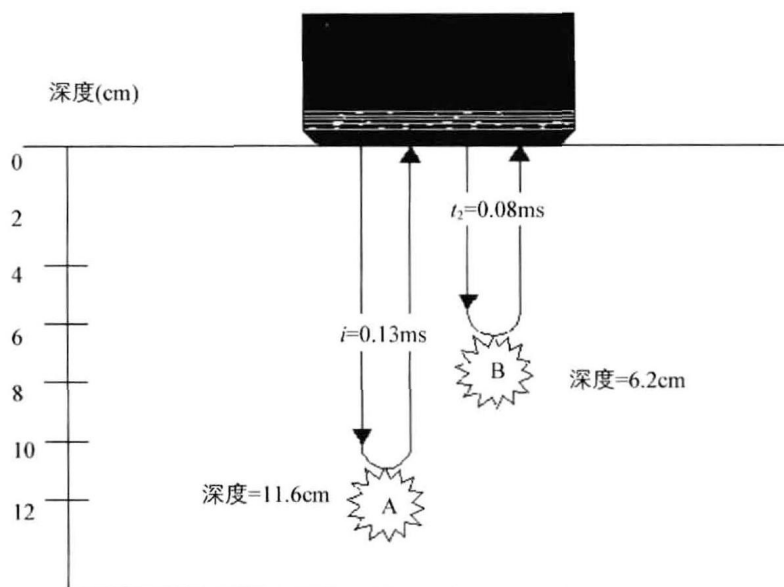


图 1-3 探测深度与所需时间

二、声压和声强

(一) 声压

对于平面波来说,超声波在介质中的传播,介质的质点密度疏密不均,导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。

$$P = \rho cv \quad (\text{式 1-2})$$

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 , $1\mu\text{bar} = 0.1\text{Pa}$), 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 $1\mu\text{bar}$,微风吹树叶声压约 $10^{-3}\mu\text{bar}$ 。

(二) 声强

超声波在单位时间内,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。

相对于平面波,声强为:

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

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。

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

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

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

$$P = \sqrt{2 \times 439 \times 1} = 29.6\text{nt} / \text{m}^2 = 296\mu\text{bar}$$

对于平面波而言,超声总功率(W)为超声强度(I)和超声通过某截面的面积(S)的乘积。

$$W = IS \quad (\text{式 1-4})$$

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。

三、声学特性阻抗

声学特性阻抗(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。

$$Z = \rho c \quad (\text{式 1-5})$$

声学特性阻抗 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