

总 主 编 周永昌 郭万学
分 册 主 编 陈思平

1

超声医师培训丛书

超声医学基础



人民军医出版社

PEOPLE'S MILITARY MEDICAL PRESS

中国大学数学基础
中国大学数学基础

中国大学数学基础

中国大学数学基础

中国大学数学基础

超声医师培训丛书

第一分册

超声医学基础

CHAOSHENG YIXUE JICHU

总主编 周永昌 郭万学

分册主编 陈思平

编者 (以姓氏笔画为序)

刁现芬	深圳大学生物医学工程系	讲师
刘维湘	深圳大学生物医学工程系	讲师
李腾龙	深圳大学生物医学工程实验室	高级工程师
余皓	深圳职业技术学院医疗电子系	讲师
汪天富	深圳大学生物医学工程系	教授
张新宇	深圳大学生物医学工程系	讲师
陆敏华	深圳大学生物医学工程系	讲师
陈思平	深圳大学	教授



人民军医出版社

PEOPLE'S MILITARY MEDICAL PRESS

北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

超声医学基础/陈思平主编. —北京: 人民军医出版社, 2009.11
(超声医师培训丛书)
ISBN 978-7-5091-3137-4

I. 超… II. 陈… III. ①超声波诊断②超声波治疗 IV. R445.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 199998 号

策划编辑: 郭 威 文字编辑: 周文英 责任审读: 余满松
出 版 人: 齐学进

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) 51927300-8037

网址: www.pmmp.com.cn

印刷: 京南印刷厂 装订: 桃园装订有限公司

开本: 787 mm × 1092 mm 1/16

印张: 18 字数: 413 千字

版、印次: 2009 年 11 月第 1 版第 1 次印刷

印数: 0001 ~ 2600

定价: 68.00 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

总主编 周永昌 郭万学

副主编 (按分册顺序排列)

陈思平 深圳大学 副校长 教授

华 扬 首都医科大学附属北京宣武医院 主任医师 教授

王宁利 首都医科大学附属北京同仁医院 副院长 教授

杨浣宜 中国医学科学院阜外心血管病医院 主任医师 教授

刘明瑜 河北医科大学第四医院 主任医师 教授

张 晶 解放军总医院第一附属医院 主任医师 教授

郭瑞军 首都医科大学附属北京朝阳医院 主任医师 教授

李泉水 深圳大学第一附属医院 主任医师 教授

王 燕 上海市第六人民医院 主任医师 教授

王志刚 重庆医科大学 教授

丛书前言

超声医学主要包括超声诊断学和超声治疗学，在我国开展已过半个世纪。根据文献记载，超声波疗法于1953年7月在北京军区总医院开始应用，当时使用的是西门子 Santor.B 治疗机。后逐渐在北京、东北和上海等地医院推广。1955年编有《超声波疗法讲义》，1957年有超声波疗法的文章发表。超声诊断于1958年12月在上海第六人民医院首先应用于临床，使用的是A型超声工业探伤仪，1959年开始有A、BP型超声诊断仪，上海超声医学应用研究小组于1960年7月内部出版超声诊断文集。1961年7月出版我国首部超声诊断专著《超声诊断学》。

随着科学技术的进步，超声医学随之迅速发展，超声生物学和剂量学研究更加深入，根据超声剂量不同对人体的作用截然不同的原理，利用反射、折射或透射机制，可开展各种诊断。超声剂量加大，则可引起组织细胞的功能性以至可逆性器质性反应，属于非创伤性超声波疗法；剂量再加大，则组织细胞发生非可逆性器质性的改变，例如粉碎细胞、裂断生物大分子和DNA链等；剂量再大可将组织细胞灼毁，例如高强度超声聚焦疗法，3~5s甚至瞬间使肿瘤细胞改变为凝固蛋白。最初超声治疗功率为 $0.7 \sim 3.0 \text{ W/cm}^2$ ，是非损伤性疗法，现在高强度聚焦超声的研究有突破性进展，可产生高温烧毁肿瘤细胞，被称为“超声刀”。

超声诊断更是发展迅速，在图像上从一维发展到二维、三维，更由静态三维、动态三维而到实时三维。超声影像从黑白发展到彩色。从宏观到超声显微镜，可诊断的疾病空前广泛，超声工作者队伍不断扩大，分工越发细致。

我们主编的《超声医学》一书于1989年问世以来，已出了5版，每版均经数次重印，第3版曾定为“全国超声医师上岗培训指定教材”，全书篇幅大，内容系统全面，可作为常备书使用。但对于年轻超声医师而言，部头过大，内容过深，阅读和

携带均有不便。他们急切需要内容精练，观点明确，且方便随身携带的适合初学者学习、实用性强的专题性的权威读物。在读者的鼓励和要求下，经我们二人协商，并与有关专家共同讨论，决定编写一套《超声医师培训丛书》。它以目前超声专业分工为依据，分为10个分册，其中6个分册是按照解剖部位分别撰写的，有《颅脑及外周血管超声》、《眼科超声》、《心血管超声》、《腹部超声》、《肌肉骨骼超声》和《浅表器官超声》，两个分册是按分科编写的，分别为《妇产科超声》和《儿科超声》，而由深圳大学副校长陈思平主编的《超声医学基础》是国内第一部系统阐述超声医学基础的读物，它的出版不仅为超声技师的临床工作提供帮助，而且为超声医学科研工作提供设备和技术层面的基础理论依据；而由重庆医科大学王志刚教授主编的《超声治疗》，涵盖了所有超声治疗的新技术，并对每项技术做了详尽的阐述，在近几年国内超声治疗迅速发展的今天意义深远。

以上丛书各分册主编，均为国内一流专家，但由于《丛书》为初版，难免有不足，请广大读者不吝赐教。

周永昌 郭万学

2009年4月

分册前言

随着医学超声事业的发展，超声诊断技术已普及到我国各基层医疗单位，超声医师队伍也在不断壮大。在进修医师培训和考核中，我们发现目前上岗的医学超声工作者绝大多数是从临床转为专业超声的，极少数是医学影像专业毕业的，对医学超声相关的物理学、声学、电子学、计算机等学科知识和各种医学超声仪器原理缺少基础知识培训，急需一本比较全面的超声医学基础培训教材。

《超声医学基础》是《超声医师培训丛书》第一分册，按照本丛书的写作大纲要求，考虑到在职医务人员的物理基础知识相对薄弱，在编写时尽量避免采用复杂的物理、数学公式，并减少数学推导。

本分册的内容分为10章，第1章是超声波物理基础，介绍声波的基本物理性质、超声波概念和特性、医学超声成像的基础，最后一节分析了超声伪像的成因。第2章介绍了超声的生物学效应，其中包括生物效应的作用机制、超声剂量与组织反应的关系。第3章是超声安全阈值，内容包括诊断超声声场特性和安全阈值、诊断超声安全相关的最新规范和标准及超声临床应用的安全指引，内容新且翔实。第4章是超声诊断原理及各科诊断技术基础，内容和难点较多，采用图文并茂的方式深入浅出介绍。第5章介绍了超声治疗原理和方法，包括超声治疗作用基础与机制、治疗超声的声场参数、超声治疗的方法。第6章介绍超声诊断仪，包括超声换能器原理、超声诊断仪的评价和操作。第7章介绍各种超声治疗仪。第8章介绍超声碎石。第9章是超声造影医学基础，主要包括超声造影剂简介、超声造影成像技术、应用基础，最后一节介绍了最新的分子影像学 and 靶向性微泡成像基础。第10章是超声介入医学基础。本分册附录超声医学术语、缩略语中英文对照，供全书统一使用。

本书编者均为著名院校毕业的生物医学工程博士、硕士，在编写本书时，他们不仅参考了各种国内外先进教材，并结合自身丰富的工作经验、教学经验，确保本书的编写质量。在此，对本书所引用的文献和教材资料的原作者表示衷心感谢，同时感谢医学顾问刘涛提出的宝贵修改意见和臧玲老师对书稿的校对。

由于我们的知识水平和专业能力的限制，书中存在的错漏之处，恳请使用这本教材的师生提出宝贵意见，也希望超声医学专业人士不吝赐教。

陈恩平

2009年4月29日

目 录

第 1 章 超声波物理基础	陆敏华 陈思平	1
第一节 概 述		1
第二节 声波的基本物理性质		2
第三节 超声波的功率和强度		8
第四节 超声波与物质间的相互作用		12
第五节 超声换能器原理		17
第六节 超声声束		21
第七节 超声分辨力		25
第八节 脉冲-回波成像		29
第九节 多普勒超声		32
第十节 超声伪像的成因		38
第 2 章 超声的生物学效应	陆敏华	44
第一节 超声生物效应的作用机制		44
第二节 对简单结构的效应		47
第三节 人体超声生物效应		48
第四节 临床安全原则		49
第 3 章 超声安全阈值	李腾龙	51
第一节 超声生物效应与临床安全性		51
第二节 诊断超声声场特性、表征安全参量及其阈值		56
第三节 诊断超声安全相关的规范和标准		63
第四节 超声临床应用安全指引		66
第 4 章 超声诊断原理及各科诊断技术基础	张新宇	78
第一节 A 型超声诊断法		78
第二节 M 型超声诊断法		80
第三节 B 型超声诊断法		85
第四节 多普勒频谱超声诊断法		88

第五节 彩色多普勒血流成像法	94
第六节 三维成像法	98
第七节 组织定征诊断法	102
第八节 谐波成像及其他诊断法	104
第九节 腔内超声技术	108
第十节 各科超声诊断法	111
第 5 章 超声治疗原理和方法	刘维湘 117
第一节 治疗超声的声场参数	117
第二节 人体各器官的超声剂量效应	118
第三节 超声治疗的适应证、禁忌证	121
第四节 常见超声治疗方法	121
第 6 章 超声诊断仪	余 皓 128
第一节 超声诊断仪的发展史	128
第二节 超声换能器	134
第三节 医学超声仪器概论	139
第四节 B 型超声诊断仪的基本原理	148
第五节 超声诊断仪的评价	157
第六节 超声设备的操作	162
第七节 多普勒超声	168
第八节 新型超声和多普勒成像技术	175
第 7 章 超声治疗仪	余 皓 182
第一节 超声波治疗概述	182
第二节 超声治疗仪	183
第三节 超声-电疗法	186
第四节 超声药物透入疗法	187
第五节 超声雾化吸入疗法	189
第六节 超声血管成形术	191
第七节 超声外科	193
第八节 高强度聚焦超声	196
第 8 章 超声碎石	刁现芬 206
第一节 概 述	206
第二节 超声碎石	207
第三节 气压弹道联合超声碎石	209

第四节 非接触性碎石	212
------------	-----

第 9 章 超声造影医学基础	汪天富	217
-----------------------	------------	------------

第一节 超声造影剂简介	217
第二节 超声造影成像技术	231
第三节 超声造影剂应用基础	236
第四节 分子影像学与靶向性微泡成像基础	241

第 10 章 超声介入医学基础	汪天富	250
------------------------	------------	------------

第一节 超声仪和穿刺探头	250
第二节 针具与导管	254
第三节 超声引导穿刺的技术原则	260
第四节 超声引导穿刺的基本操作程序	266

附录 A 诊断超声声场特性参量定义	268
-------------------	-----

附录 B 超声安全阈值相关的术语	270
------------------	-----

附录 C 超声医学术语中英文对照	271
------------------	-----

超声波物理基础

第一节 概 述

一、超声的本质

超声本质上是频率超出人耳听觉范围的机械波的能量形式。这个定义中包含了很多陌生的术语，在随后的内容中会对这些术语做逐个解释。“千里之行，始于足下”，让我们从第一步开始。

大家可能都在闹市中听到过警笛声。警笛产生的机械波（或者对空气分子的振动）能被人耳所感受到。令人惊奇的是，人的听觉系统能够感受到波长为千亿分之一米(m)，比一个原子的半径还小的振动。这些通过空气传播的振动，就是我们常说的声波，其频率在 $20 \sim 20\,000\text{ Hz}$ ，在人耳的听觉范围之内。Hz 读作赫(兹)，是频率的单位，表示 1 s 之内的振动次数。Hz 的 1 000 倍称为 kHz，读作千赫；kHz 的 1 000 倍称为 MHz，读作兆赫。但是，人耳对高频的反应能力不尽相同。50 岁以上的老年人多数只能听到 15 kHz 以内的声音，甚至只能听到 10 kHz 以内的声音。

有部分的交通噪声是人耳都听不到的，这些噪声的频率低于人耳听力的下限，只有专门的仪器才能发现，其频率低于 20 Hz，被称为次声波。

还有，当您的宠物突然嚎叫或者异常

兴奋的时候，您有没有尝试着去听狗哨的声音？1876 年 Galton 发明的狗哨，其声音频率超出人耳听觉范围，但是狗能听到。这些频率在 20 kHz 以上的声波就是超声波。人们熟知的蝙蝠，通过发射和接收超声波，可以避免障碍物，追踪、捕获飞行的昆虫。

诊断超声所用的超声频率多在 $1 \sim 20\text{ MHz}$ ，远高于狗哨。表 1-1-1 列出了声音根据频率的分段。

表 1-1-1 声音根据频率的分段

名称	频率范围 (Hz)
次声波	低于 20
可听声波	$20 \sim 20\,000$
超声波	高于 20 000
诊断超声	$1\,000\,000 \sim 20\,000\,000$

可能有不少人学习过 X 射线的物理基础。X 射线是一种波动现象，与超声波类似。但是，超声波从根本上有别于 X 射线、光波等电磁波，它是一种机械波。

二、超声技术发展史

X 射线自 1895 年被发现之后的一年内，

就被迅速用于医学诊断和治疗,超声的发展与其相反。1880年, Curie 兄弟首次发现了后来用于产生超声波的压电效应,但超声波直到20世纪60年代初期才被用于临床诊断。

(一) 超声的工业应用

1912年,超声波的首次应用是寻找沉没的泰坦尼克号,可惜没有成功。1916年, Langevin 研制出可用于水下通信和寻找物体的超声发射器,开创了应用超声探测技术的新阶段。第二次世界大战期间,美国军方研制出用于水下导航和定位的声呐(sound navigation and ranging, SONAR)。在此期间,随着复杂的声呐装置的研制成功,医学超声技术开始成长和发展,美国和英国都开始研制脉冲回波式超声装置,用于金属的探伤。

(二) 超声的医学应用

1937年,澳大利亚的 Dussik 设计了世界上第一台实用的超声成像仪。他将两个超声换能器面对面放置,试图用透射方法对颅脑成像。可惜,由于头骨导致超声的强烈衰减,证实这个方法是不可行的。

1949年,美国 Denver 大学的工程师 Howry 和 Bliss 利用海事声呐装置、示波器和石英换能器,集成了世界上第一台 B 超仪器。早期的声像图是将换能器和检测目标浸没在水中获得的。之后的10多年,制作换

能器的压电材料不断更新, B 超的采集装置也不断改进。到20世纪60年代后期, B 超图像已经可以通过在换能器前端加装弹性薄膜液囊,在人体皮肤上用矿物油作耦合剂,经一维直线扫描之后获得。此时的超声设备,已经可以用于检查腹部脏器情况,比如囊肿和肝脓肿等,并获取相对理想的超声图像。20世纪60年代,美国 Physionics 生产出了世界上第一台商用的接触式静态 B 型超声扫描仪。

自声呐到商用的医学超声仪器,超声技术发展缓慢,用了半个多世纪的时间。但是,超声的潜力和优越性一旦被发现,其技术发展和应用就会变得非常快而且速度惊人。近20年是超声新技术发展的另一个“黄金期”。彩色超声多普勒血流成像、组织谐波成像、组织多普勒成像、三维超声、超声弹性成像、超声造影剂成像等新技术不断涌现,为医学超声提供了更多、更先进的手段。

我国医学超声研究和应用始于20世纪50年代末,至今医学超声诊断技术应用已遍及全国,在现代诊断技术中占有重要地位。同时我国国产医学超声诊断设备也不断发展和创新,国产中档、普及型 B 超已可满足中小医院的临床应用,自80年代末我国第一台彩超在深圳(安科)诞生以来,我国医学超声技术不断发展,全数字彩超也相继推出,有相当部分医学超声学诊断产品已进入国际市场。

第二节 声波的基本物理性质

我们在日常生活中会遇见很多类型的波,比如以光速前进、不需要传播媒质的无线电波;月亮的重力作用引起的速度很慢的

海浪;人说话时由声带振动引起空气分子机械形变而产生的声波等。前者是电磁波,后者则是机械波。

一、电磁波

事实上,我们生活在电磁波的辐射场中。电磁波频谱包含了很多种射线,如伽玛射线、X 射线、紫外线、可见光、微波和无线电波等。这些不同类型的电磁波都以同一速度(即光速, $3 \times 10^8 \text{ m/s}$) 传播,不需要传播媒质。电磁波可以根据它们的能量、频率和波长来区分,比如 X 射线波长比微波的短,但能量高于微波。所有的电磁波都有共同的特征,即都是以光速传播的电或磁的能量束。

二、机械波

机械波是通过压强周期变化在弹性媒质如空气、水、软组织和固体中传播的一种能量。声波是一种机械波,它的传播需要媒质。假如把一个闹钟放在一个钟罩里边,闹钟的声音会随着钟罩内的空气被抽走而减弱。当钟罩内的空气稀薄到不足以传播声波时,闹钟的声音就彻底听不到了。然而光波却可以在透明的真空钟罩中传播,因为电磁波传播不需要媒质。

机械波中压强的变化会引起媒质中质点的位移,或者导致质点在它们的平衡位置附近振动。弹性媒质中各质点是通过弹性力相互联系着的。波就是通过质点前后振动并与相邻质点之间相互作用来向前传播的。不难想象,机械波从振源向外传播的是能量,媒质本身并不移动。

超声波就是一种机械波。超声波束可以理解成是媒质中质点的位移或者引起质点运动的人射压强。当质点到达离平衡位置最远的位移时,那个位置的能量为零;当质点在平衡位置时,那里的压强达到最大值。一个超声相控阵探头发射的最高峰值声压在软组织中引起的质点最大位移大概是 10^{-8} m , 这个位移大概是一个原子直径的 100 倍。

根据媒质中质点振动方向与波传播方向的关系,以及波在媒质中传播的部位,机械波可以分为纵波、横波、拉伸波、弯曲波、扭转波和表面波等多种。医学超声领域最常见的是纵波,一些新的成像技术中已开始涉及横波。

(一) 横波

在横波(transverse wave)中,质点的振动方向垂直于波的传播方向。图 1-2-1A 是横波的示意图。波长是指相邻波峰之间的距离。虽然电磁波不是机械波,但是如光波、X 射线、无线电波等也是横波。

(二) 纵波

在纵波(longitudinal wave)中,媒质中的质点运动方向与波的传播方向是平行的。如图 1-2-1B 所示,声波由高、低声压区组成。高声压区(压缩区)也称波峰,低声压区(稀疏区)也称波谷。波长定义为相邻压缩区或者稀疏区之间的距离。为方便起见,超声波经常表示为图 1-2-1A 中横波画法,但是从技术上说这样画是不正确的,因此,读者要牢记,超声声束实际上是由图 1-2-1B 中所示的纵波组成的。

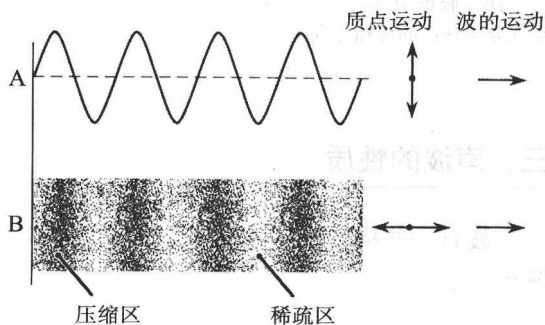


图 1-2-1 波的示意图

A. 横波; B. 纵波

让我们来看一下超声波的传播,假设媒质中各分子是以弹簧相连接的(图 1-2-2)。入射到第 1 个分子的超声波提供推力压缩第 1 个与第 2 个分子间的弹簧。这种压缩将依次传递到相邻分子对,直到分子运动因为摩擦而停滞,波的传播也停止下来。每当有波经过时,每个分子在它的平衡位置附近振动。在声学中,这种因原子振动而引起的随时间变化的声压常被用来描述声波特性。

(三) 表面波

有些波不能简单地归为纵波或者横波。这些波被称为表面波(surface wave)。表面波中的质点只能在支持这种波传播的媒质表面薄层中传播。

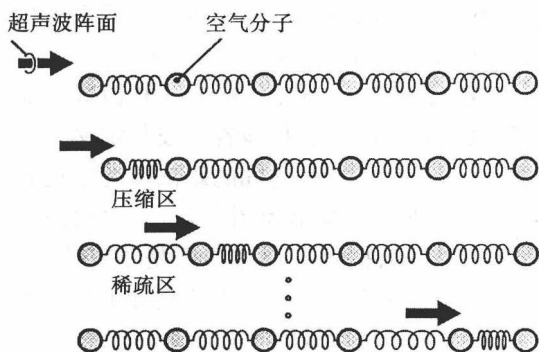


图 1-2-2 声波传播的模型

注:假设空气分子由弹簧连接,由于声波是纵波,空气分子在波的传播方向上前后振动

三、声波的性质

波有一些描述性的特质需要在下面分别解释一下。

(一) 波长

定义:声波的波长(wavelength)是指具有同样位移的相邻两点间的距离。

符号: λ (希腊字母 Lamda)。

单位:米(m)

利用横波的表示方法(图 1-2-3),波长可以表示为峰峰之间或者谷谷之间的距离,或者是一个由正到负的周期距离。记住波长是个长度,其标准单位是米(m)。1.5 MHz 的超声在软组织中的波长大约为 1 mm。

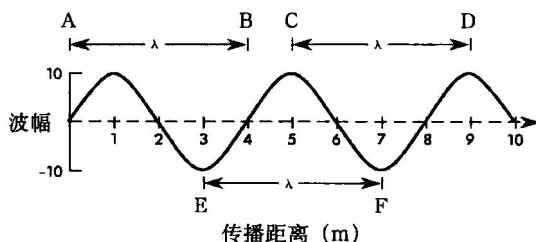


图 1-2-3 波长的物理含义

注:可以由正到负的周期距离 A-B 表示,也可由相邻波峰(C-D)或者波谷(E-F)表示

(二) 频率

定义:频率(frequency)是指在 1 s 内通过任意指定点的波的周期个数。

符号: f

单位:赫兹(Hz); $1 \text{ Hz} = 1 \text{ 个周期} / \text{s} = 1/\text{s}$

频率的单位是用声学领域早期的物理学家 Heintick Hertz 的名字命名的。如第一节所提到的,声波包括了可听声波,其频率范围在 0.02 ~ 20 kHz,而超声波是指频率在 20 kHz 以上的声波。诊断超声常用的频率在 1 ~ 20 MHz。用于成像的超声频率对图像的分辨力和穿透深度非常重要。本章第七节中会谈到轴向分辨力如何随频率增加而得到改善,而穿透深度则因频率升高而递减。

(三) 周期

定义:周期(period)是指弹性媒质质点完成一次全振动所需要的时间。

符号: T

单位:秒(s)

周期和频率成反比关系, 见公式 1-2-1:

$$T = 1/f \quad (1-2-1)$$

(四) 声速

定义: 声速 (velocity) 是指声波在媒质中传播的速度。

符号: c

单位: 米 / 秒 (m/s)

对所有电磁波而言, 波速等于光速 ($c = 3.0 \times 10^8$ m/s)。对超声波或其他声波而言, 声速取决于波传播的媒质。表 1-2-1 列出了超声在不同媒质中的传播速度。可以看到, 超声在空气中速度最慢, 而骨是生物材料中声速最快的。超声在软组织中的平均声速是 1 540 m/s。不同频率的声波在同一媒质中都以同一速度传播。也就是说, 1 MHz 和 10 MHz 的超声波在软组织中的声速都是 1 540 m/s。

(五) 波动公式

诊断超声中最重要的公式是波动公式

表 1-2-1 不同媒质中的声速 (m/s)

媒 质	声速
生物媒质	
空气	330
脂肪	1 450
水	1 540
软组织	1 540
血液	1 570
肌肉	1 585
头盖骨 (骨)	4 080
非生物媒质	
水银	1 450
蓖麻油	1 500
锆钛酸铅 (PZT)	4 000
钢	5 850

(wave equation), 关于其频率、波长和声速的关系, 其公式为:

$$c = f\lambda = \lambda/T \quad (1-2-2)$$

其中 c 是超声在媒质中的声速 (单位是 m/s), f 是超声波频率 (单位 Hz), λ 是波长 (单位 m)。

例 1-2-1: 假设超声换能器的工作频率是 2 MHz, 超声波在软组织中的波长是多少?

解: $c = f\lambda$, 因此, $\lambda = c/f = 1\,540\text{ ms}^{-1} \div (2 \times 10^6\text{ s}^{-1}) = 0.77 \times 10^{-3}\text{ m} = 0.77\text{ mm}$ 。

例 1-2-2: 假设诊断超声在换能器元件中的波长为 2 mm, 声速为 4 000 ms^{-1} 。求超声工作频率。

解: $c = f\lambda$, 因此, $f = c/\lambda = 4\,000\text{ ms}^{-1} \div (2 \times 10^{-3}\text{ m}) = 2 \times 10^6/\text{s} = 2\text{ MHz}$ 。

从以上两个例题中可以看出, 在不同的媒质中超声的传播速度是不同的, $c_{\text{石英}} = 4\,000\text{ m/s}$, 而 $c_{\text{软组织}} = 1\,540\text{ m/s}$ 。对 2 MHz 的超声来说, 在不同媒质中的波长也是不同的, $\lambda_{\text{石英}} = 2\text{ mm}$, 而 $\lambda_{\text{软组织}} = 0.77\text{ mm}$ 。可见, 同样频率的超声在速度快的媒质中波长较长。而在同样的媒质中, 比如软组织, 不同频率的超声的声速是一样的。因此根据波动方程, 在单一媒质中, 超声的频率和波长的乘积是个常数, 如果频率增加, 波长会减小。

(六) 密度和弹性模量

声速取决于媒质的密度 (density) 和弹性模量 (elastic modulus) 两个因素, 只知道其密度或弹性模量是无法预料其声速高低的。密度指单位体积内包含的物质质量, 单位是 kg/m^3 或 g/cm^3 , 这是理工医各界专业人员所熟知的。弹性模量虽不太为临床医生所熟悉, 但大家知道, 物体受到外力作用时会发生形变, 最明显的例子就是海绵受到压缩时会缩成小团, 橡皮筋受到拉力会长出几倍。但有些物体的形变, 比如玻璃的压缩,