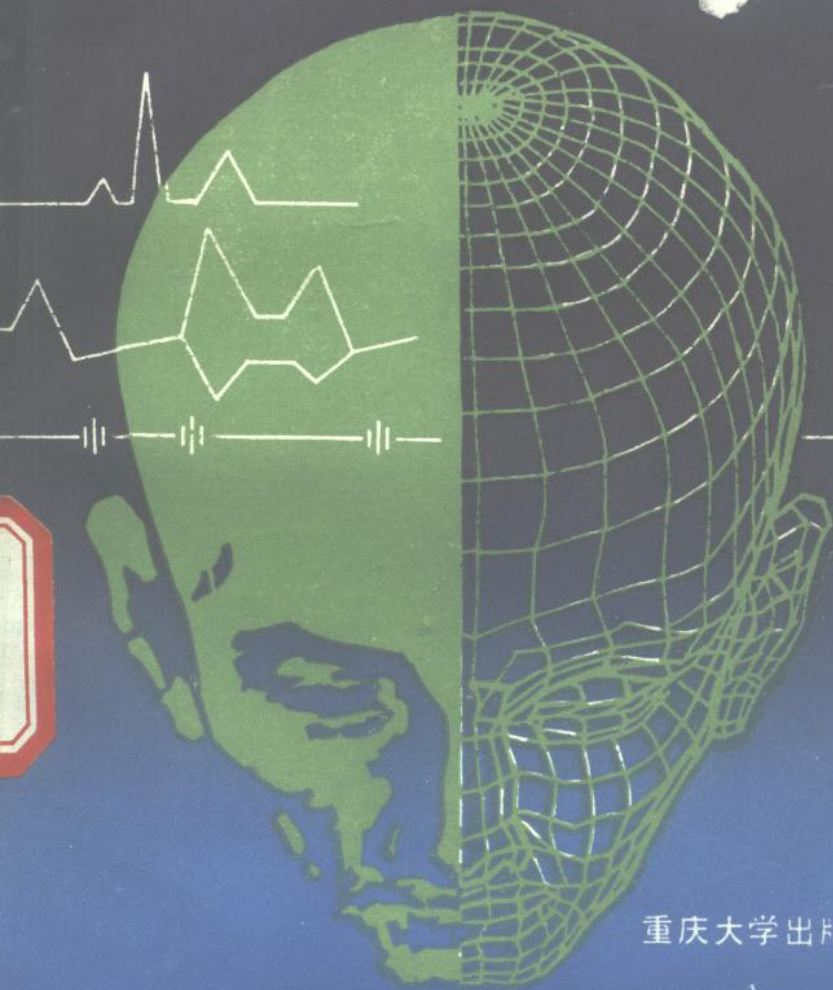


现代 物理与临床

傅昌余 刘明懿 唐建民 编著



重庆大学出版社

现代物理与临床医学

傅昌余
刘明懿 编著
唐建民

重庆大学出版社

内 容 简 介

本书主要介绍超声波、电子显微镜、激光、激光全息、X射线CT、数字减影血管造影、核磁共振、放射性核素等的基础理论及其在临床医学上的应用，并简介了与上述理论有关的常用医疗仪器的基本结构和原理。

本书可供医学院校作选修课教材，也可供广大医务工作者和医学基础课教师作参考书。

现代物理与临床医学

傅昌余 刘明懿 唐建民 编著
责任编辑：曾令维

重庆大学出版社出版发行
新华书店经销
四川省隆昌县印刷厂印刷

*

开本：787×1092 1/32 印张：7.125 字数：154千
1990年4月第1版 1990年4月第1次印刷

印数：1—

标准书号：ISBN 7-5624-0324-4 定价：1.44元
R·9

前 言

七十年代以后，物理学的理论和方法应用于临床医学有了迅速的发展，为适应这一形势的需要，我们选择了人们关心的一些课题编写成《现代物理与临床医学》一书。本书内容包括超声波、电子显微镜、激光、激光全息、X射线与数字减影血管造影、X射线CT、核磁共振、放射性核素等基本原理及其在临床医学上的应用。

本书是在阐述物理学基本理论的前提下，重点讲述物理方法在临床诊断和治疗中的应用及其仪器的使用原理，能加强物理学理论与医学的联系，提高对临床医学的全面认识。

本书第一、二、七、八章的物理基础部分由傅昌余编写；第八章的临床应用部分由刘明懿编写；第三、四章及五、六章的物理基础部分由唐建民编写；第五、六、七章的临床应用部分由许新复编写；第二章的医学应用部分由施同舟编写；第一章的临床应用部分由张令仪编写。全书由傅昌余统稿。

由于编者水平有限和时间仓促，本书可能存在不少错误和缺点，敬请读者予以批评指正，以便今后不断改进。

编 者

1989. 9

目 录

第一章 超声波的物理基础及其在临床上的应用

§1-1 超声波的物理基础.....	(1)
一、超声波的基本知识.....	(1)
二、波传播的方程式及波的能量 ...	(3)
三、声波.....	(5)
四、超声波的发生 ...	(18)
五、超声波诊断仪及其工作原理	(21)
六、超声波治疗机	(28)
§1-2 超声波在临床上的应用.....	(29)
一、超声诊断.....	(29)
二、超声治疗.....	(39)

第二章 电子显微镜的基本原理及其在医学上的应用

§2-1 电子显微镜的基本原理.....	(42)
一、显微镜的分辨本领和放大倍数.....	(42)
二、电子显微镜的主要结构和成像原理	(45)
§2-2 电子显微镜的医学应用.....	(52)
一、电子显微镜推动了医学的发展.....	(53)

二、电子显微镜在临床医学中的实际应用	(55)
三、电子显微镜是医学研究的重要工具	(57)

第三章 激光的基本原理及其在医学上的应用

§3-1 激光的特性和原理	(63)
一、激光的特性	(63)
二、激光产生的原理	(67)
三、医用激光器	(74)
§3-2 激光的生物效应	(81)
一、热效应	(82)
二、压力效应	(84)
三、光化效应	(85)
四、电磁效应	(86)
五、弱激光的刺激作用	(86)
§3-3 激光在医学上的应用	(89)
一、激光在临床上的主要应用	(89)
二、激光在医学研究中的主要应用	(103)
三、激光防护	(113)

第四章 全息术简介

§4-1 全息图的形成——物光波前的全息记录	(121)
§4-2 物光波前再现	(123)
§4-3 光学全息术在医学上的应用	(126)

第五章 X射线及数字减影血管造影

§5-1 X射线	(131)
一、X射线的一般性质	(132)
二、X射线的发生	(132)
三、X射线的强度和硬度	(134)
四、X射线的吸收规律	(135)
§5-2 数字减影血管造影(DSA)的基本工作原理及其在临床上的应用	(138)
一、DSA的基本工作原理	(139)
二、DSA的临床应用	(140)
三、DSA的优点和缺点	(142)

第六章 电子计算机断层(CT)扫描的基本原理及其在临床上的应用

§6-1 CT扫描的基本原理	(144)
一、X射线断层照相术	(144)
二、CT扫描	(145)
§6-2 CT在临床上的应用	(150)
一、CT机的结构和工作原理	(150)
二、CT的临床应用	(154)

第七章 核磁共振的基本原理及其在临床上的应用

§7-1 核磁共振的基本原理	(158)
一、核磁共振的基本原理	(158)

二、核磁共振成像的特点	(166)
§7-2 核磁共振成像的临床应用	(166)

第八章 放射性核素基础及其在临床上的应用

§8-1 放射性核素基础	(171)
一、核素与核衰变	(171)
二、放射性核素的来源	(182)
三、带电粒子与物质的相互作用	(183)
四、 γ 射线与物质的相互作用	(184)
五、中子与物质的相互作用	(185)
六、辐射量与单位	(185)
§8-2 放射性核素在临床上的应用	(185)
一、核医学的组成	(187)
二、几种常用核探测仪器简介	(189)
三、临床核素检查的基本原理	(198)
四、临床常用放射性核素检查	(201)
五、放射性核素治疗	(212)

主要参考文献

第一章 超声波的物理基础及其 在临床上的应用

§1-1 超声波的物理基础

一、超声波的基本知识

声振动频率在20000Hz以上、人耳不能听见的声波称为超声波。

1917年法国科学家首次发明了水下超声定位器，成功地发射了超声波。40年代初，K.T.Dassik最早使用连续式A型超声仪探查颅脑疾病。50年代初，各国学者利用A型脉冲式超声诊断仪探查多种疾病获得初步成就。同时开始研究超声切面成像，应用B型超声诊断仪观察人体脏器超声切面图，后来经过不断改进，70年代用于临床。由于超声成像技术的迅速发展，使超声诊断成为现今医学上主要影像诊断法之一。下面先介绍声波的基本特性。

1. 波速

物体在一定位置附近作来回重复的周期性的运动称为振动。振动在弹性媒质中的传播就形成波。当激发振动的波源在弹性媒质中使一个质点振动时，由于质点与质点间存在着弹性力，周围质点也会跟着振动。质点的振动方向与波的传播方向一致的波叫纵波。质点的振动方向与波的传播方向互

相垂直的波叫横波。一弹性媒质，能否传播纵波或横波，与传波媒质的弹性有关，具有容变弹性的物质如气体，只能传播纵波；具有切变弹性的物质，既能传播横波，也能传播纵波，如金属固体。

波传播的速度决定于媒质的弹性模量和密度。理论证明，在气体和液体中，纵波传播的速度为

$$C = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad (1-1)$$

式中 B 是媒质的容变弹性模量， ρ 是媒质的密度。

在固体中，横波和纵波传播的速度为

$$C = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (\text{横波}) \quad (1-2)$$

$$C = \sqrt{\frac{Y}{\rho}} \quad (\text{纵波}) \quad (1-3)$$

式中 G 和 Y 分别为媒质的切变弹性模量和杨氏弹性模量。

2. 声速

根据分子物理学和热力学可推出气体中的声波速度为

$$C = \sqrt{\frac{\gamma p}{\rho}} \quad (1-4)$$

式中 γ 是气体的定压比热容与定容比热容的比值， p 是气体的压强， ρ 是空气的密度。

如空气的 $\gamma = 1.4$ ，在标准状况下的声速为

$$C = \sqrt{\frac{1.4 \times 1.013 \times 10^5}{1.293}} = 331 (\text{m/s})$$

几种气体、液体和固体的声速见表1-1。

表1-1

几种物质中的声速 (20°C)

物 质	声 速 (ms^{-1})	物 质	声 速 (ms^{-1})
空 气	343	脑	1505~1515
水	1450	肾 肝	1553~1559
蓖麻油	1530	肌 肉	1575~1585
钢	5000	骨	3360~3380
松 木	3320		

由上表可知, 声速以在固体中最高, 液体中次之, 气体中最低。由于人体大部分组织属于软组织, 其声速与水相近。骨骼中的声速比软组织快 2~3 倍。因生物组织的弹性常数难于测量, 故声速的最可靠数值是对他们作直接测量。

二、波传播的方程式及波的能量

1. 波传播的方程式

设在均匀媒质中有一波源在原点 O 作谐振动, 波动沿 x 轴正向传播, 波速为 C 。波线上各个质点的平衡位置用 x 表示, 质点振动的位移用 y 表示, 那么, 质点在 O 点任一时刻 t 的振动方程为

$$y = A \cos \omega t \quad (1-5)$$

式中 A 表振幅, ω 表圆频率, y 表振动质点在 t 时刻的位移。当振动由 O 点传播到波线上另一点 B 时, 设 B 与 O 的距离为 x , 质点 B 将以相同的振幅和频率重复 O 点的振动, 故 B 点在任意一时刻 t 的位移为

$$y = A \cos \omega \left(t - \frac{x}{C} \right) \quad (1-6)$$

上式称为平面简谐波的波动方程。它表示传播媒质中距原点 O 为 x 的一点 B 在任一时刻 t 的位移。

2. 波的能量

波的传播是能量的传播。设有一列简谐波在密度为 ρ 的弹性媒质中沿 x 轴传播时，其波动方程为

$$y = A \cos \omega \left(t - \frac{x}{C} \right)$$

取媒质中某一体积元 ΔV ，其质量为 Δm ，则波传播至该体积元时其振动动能为

$$E_k = \frac{1}{2} (\Delta m) v^2$$

而 v 为质点的振动速度，将波动方程对 t 求导数得

$$v = \frac{dy}{dt} = -A\omega \sin \omega \left(t - \frac{x}{C} \right)$$

$$\text{故 } E_k = \frac{1}{2} (\rho \Delta V) A^2 \omega^2 \sin^2 \omega \left(t - \frac{x}{C} \right) \quad (1-7)$$

同时体积元因发生形变而具有势能，经证明，体积元 ΔV 的势能为

$$E_p = \frac{1}{2} (\rho \Delta V) A^2 \omega^2 \sin^2 \omega \left(t - \frac{x}{C} \right) \quad (1-8)$$

体积元的总能量应为

$$E_{\text{总}} = E_k + E_p = \rho A^2 \omega^2 (\Delta V) \sin^2 \omega \left(t - \frac{x}{C} \right) \quad (1-9)$$

可见, 体积元的总能量是时间的周期函数, 其值在0和幅值 $\rho A^2 \omega^2 (\Delta V)$ 之间变化。

3. 波的强度

在波传播的媒质中, 媒质单位体积内的波动能量称为波的能量密度。故波的能量密度 E 为

$$E = E_{\text{总}} / \Delta V = \rho A^2 \omega^2 \sin^2 \omega \left(t - \frac{x}{C} \right)$$

能量密度在一周期内的平均值为

$$\begin{aligned} \overline{E} &= \rho A^2 \omega^2 \frac{1}{T} \int_0^T \sin^2 \omega \left(t - \frac{x}{C} \right) dt \\ &= \frac{1}{2} \rho A^2 \omega^2 \end{aligned} \quad (1-10)$$

单位时间内通过媒质中某面积的能量, 称为通过该面积的波的能量流。设在媒质中, 取面积 S 垂直于波速 C , 如图 1-1 所示, 则在单位时间内通过 S 面的平均能流为

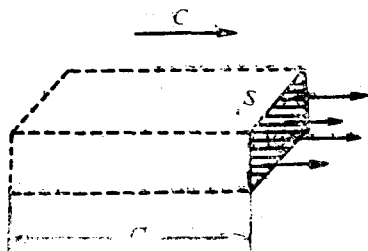


图1-1 能流

$$P = \overline{E} CS$$

通过垂直于波的传播方向单位面积的平均能流称为波的强度。即

$$I = \overline{E} C = \frac{1}{2} \rho C A^2 \omega^2 \quad (1-11)$$

三、声 波

1. 声波的强度和强度级

单位时间内垂直通过声波传播方向单位面积的能量称为声波的强度简称声强。根据波的强度知，声强可用下式表示

$$I = \frac{1}{2} \rho C A^2 \omega^2$$

可见，声强与频率的平方、振幅的平方、媒质的密度及声波速度成正比。声强的单位为瓦/米² ($W \cdot m^{-2}$)。

声波在单位时间内垂直通过传播方向总面积的能量称为声功率，即

$$P = I \cdot S = \frac{1}{2} \rho C A^2 \omega^2 \cdot S \quad (1-12)$$

声功率的单位为瓦 (W)。

人耳能感觉的声强范围与声波频率有关，频率为1000Hz的声波，人耳能感觉的最低可闻声强为 $10^{-12} W \cdot m^{-2}$ ，最高可忍受的声强为 $1 W \cdot m^{-2}$ ，二者相差 10^{12} 倍。如分为 10^{12} 个等级，人耳无法由弱到强分辨出来，故采用对数标度。技术上常以1000Hz、能引起听觉的最弱声强 $I_0 = 10^{-12} W \cdot m^{-2}$ 为测定声强的标准。某一声强 I 与 I_0 比值的常用对数称为声强 I 的声强级 L ，即

$$L = \lg \frac{I}{I_0} \quad (B) \quad (1-13)$$

声强级的单位为贝尔 (B)，由于贝尔太大，常采用贝尔的 $\frac{1}{10}$ 即分贝尔 (dB) 为单位，因此

$$L = 10 \lg \frac{I}{I_0} \quad (dB) \quad (1-14)$$

从上式可知，由于采用对数坐标，已将频率为1000Hz声波的声强范围分为12个等级，声强每增加10倍，强度增加一级。

级。

2. 声压和声压级

声波在媒质中是以纵波的形式传播。声波通过媒质时，可使媒质产生时而密集时而稀疏的周期性变化，从而引起媒质内部的压强作相应的变化。媒质中某处有声波传播时和没有声波传播时的压强差叫该处的声压。

设一声源（发纯音）发出的声波，在一细长弹性棒中传播。长度为 dx 的体积元、在弹性压强 p 的作用下，伸长（或压缩）量为 dy ，则

$$p = Y \frac{dy}{dx}$$

Y 为杨氏弹性模量。由波动方程

$$y = A \cos \omega \left(t - \frac{x}{C} \right)$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{A\omega}{C} \sin \omega \left(t - \frac{x}{C} \right)$$

故

$$p = Y \cdot \frac{A\omega}{C} \sin \omega \left(t - \frac{x}{C} \right)$$

又由式（1-3）知 $C = \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$, $Y = \rho C^2$

$$p = \rho C A \omega \sin \omega \left(t - \frac{x}{C} \right) \quad (1-15)$$

式中 $p_m = \rho C A \omega$ 表示压强的最大变化量，称为声压幅值。按正弦规律变化的交流电有效值与最大值之间的关系，我们把 $p_m / \sqrt{2}$ 称为有效声压，简称声压 p 。

声压的单位为牛顿/米² ($\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$)。当媒质一定时,因声速 C 和密度 ρ 为常数,故声压与振幅 A 和圆频率 ω 成正比。

为了比较两个声压的大小,常用声压级来描述。声压级 L_p 是用某个声压 p_1 与参考声压 p_0 的比的分贝数来表示,即

$$L_p = 20 \lg \frac{p_1}{p_0} \quad (\text{dB}) \quad (1-16)$$

3. 声阻

由波动方程 $y = A \cos \omega(t - \frac{x}{C})$ 知,质点振动速度为

$$v = \frac{dy}{dt} = -\omega A \sin \omega(t - \frac{x}{C})$$

由此可知,质点振动速度的幅值 $v_m = \omega A$ 。由 $p_m = \rho C \omega A$ 知,在同一声压下,如 ρC 值愈大,速度幅值 ωA 就愈小,反之亦然。和电路相比,将声压比拟为电压,速度比拟为电流, ρC 比拟为电阻称声阻,用 Z 表示,故

$$Z = \frac{p}{v} = \frac{p_m}{v_m} = \frac{\rho C \omega A}{\omega A} = \rho C \quad (1-17)$$

可见,声阻的大小与媒质的密度和声速有关,它表征媒质的声学特征,是声学中一个重要的物理量。声阻的单位为牛顿·秒/米³ ($\text{N} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-3}$)或千克/米²·秒 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)。

4. 声波的反射和折射

声波在传播过程中,遇到两种媒质的分界面时,将发生反射和折射。如图 1-2 所示。设声波沿着与法线(垂直于分界面)成 θ 角的方向入射,则一部分声波由分界面反射回原媒质中,另一部分声波通过分界面折射至第二媒质中,入射

表1-2

几种物质的声阻值

物 质	密 度 ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	声 阻 ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$)
空 气	1.29(0°C)	4.23×10^2
	1.21(20°C)	4.16×10^2
水	988.2	1.48×10^6
脂 肪	976	1.36×10^6
血 液	1055	1.66×10^6
肌 肉	1040	1.53×10^6
肝	1050	1.65×10^6
密 质 骨	1700	6.12×10^6

线与法线的交角为 θ ，设折射线与法线的交角为 θ_2 。

由波动理论知 $\theta = \theta_1$

(1-18)

$$\frac{\sin \theta}{\sin \theta_2} = \frac{C_1}{C_2} = n \quad (1-19)$$

C_1 、 C_2 分别为声波在媒质 1 和 2 中的声速， n 为声波的折射率。声速愈大，折 射 角 愈 大。声波在水中的速度大于空气中的速度，故声波由空气进入水中时是向外折射的。

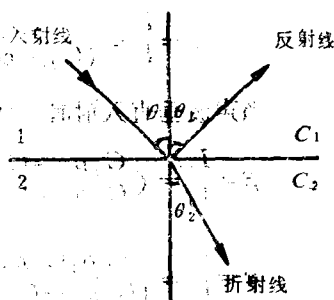


图1-2 波的反射和折射

设声波无衰减地传播，那么，在分界面上反射的声波能量与进入第二媒质声波能量之和应等于入射声波的能量。因