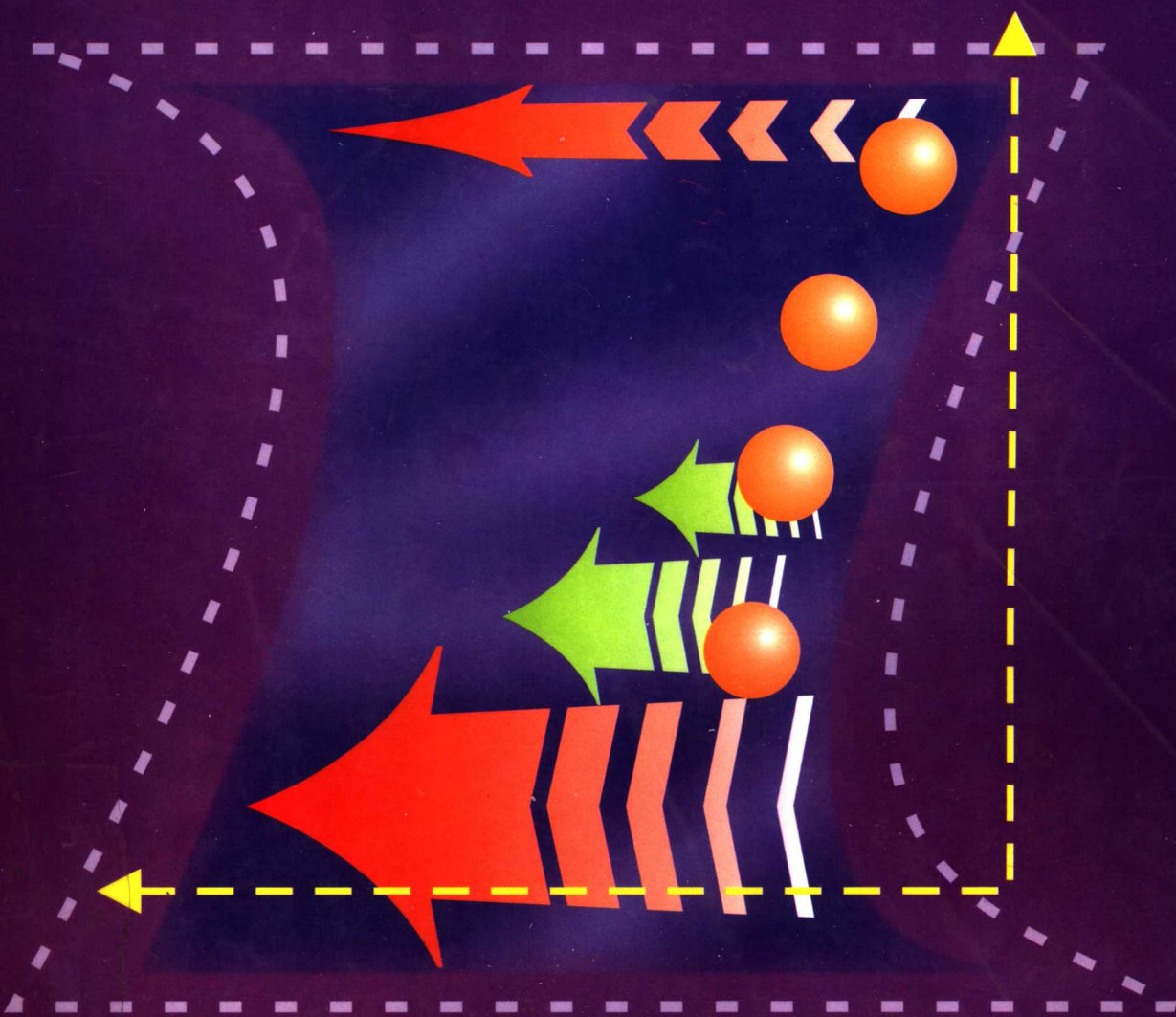


医学基础系列教材

YIYONGWULIXUE

医用物理学

潘传芳 尹玲 主编



科学出版社

医学基础系列教材

医用物理学

潘传芳 尹玲 主编

科学出版社

2001

内 容 简 介

本书是根据五年制医学本科学生学习的需要编写的。全书共十六章，内容分别为：物体的弹性，流体的运动，振动和波动，液体的表面现象，热力学基础，电磁学基础，几何光学，量子物理基础，X射线，原子核物理，模拟电路基础知识，数字电路基础知识，生物医用传感器，生物医学信息测量，生物医学信息的记录与显示，电子技术在生物医学控制中的应用。

本书力求简练、易懂，注重基本原理的阐述和应用，省去了一些繁复的推导过程，可供医学本科生使用，亦可作临床医生和医学基础研究工作者的参考书。

医学基础系列教材

医用物理学

潘传芳 尹玲 主编

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码：100717

湖北京山金美印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经售

*

2001年6月第一版 开本：787×1092 1/16

2001年6月第一次印刷 印张：17 3/4

印数：1—8 000 字数：427 000

ISBN 7-03-009275-9/R·686

定价：19.80元

(如有印装质量问题，我社负责调换〈北燕〉)

前 言

目前医科院校五年制本科临床医学物理教育现状是对三基（基础理论、基本知识和基本技能）的要求必须达到，对新技术的涉及应尽可能的多，而教学时数却受到很大限制。针对这种情况，我们编写了本教材。

本教材遵从卫生部临床医学专业医用物理学教学大纲的要求，仍以三基为主要内容，根据医学教育的需要，增加了联系医学实际的内容，删掉了许多与中学重复的内容，并对章节进行了较大调整。同时，根据医用电子仪器日益增多的实际，将电子技术基础的内容按医学生所需要和所能接受的编排结构纳入了本教材，并且简单介绍了电子技术在医学领域的应用原则和实例。

本书共分十六章。前十章为医用物理学部分，后六章为电子技术及其医学应用部分。第一、二、四、七、十一、十三、十四、十六章由潘传芳同志编写，第三、十二章由李利华同志编写，第五、九、十章由尹玲同志编写，第六、八、十四章由艾志伟同志编写。全书由潘传芳、尹玲同志统稿，最后由潘传芳同志整理审定。

安静同志为本书绘制了部分插图，在此表示感谢！

本书成书尚属仓促，加之编写水平有限，书中不妥之处在所难免，恳请读者予以批评指正。

编 者

2000年10月

目 录

前言	
绪论	(1)
第一章 物体的弹性	(3)
1.1 应变和应力	(3)
1.1.1 应变	(3)
1.1.2 应力	(4)
1.2 弹性模量	(4)
1.3 弯曲和扭转	(5)
1.3.1 弯曲	(5)
1.3.2 扭转	(6)
1.4 拉普拉斯公式	(6)
1.5 生物组织的弹性	(7)
1.5.1 骨骼的弹性	(7)
1.5.2 血管的弹性	(8)
习题一	(8)
第二章 流体的运动	(10)
2.1 理想流体的稳定流动	(10)
2.1.1 理想流体	(10)
2.1.2 稳定流动	(10)
2.1.3 连续性方程	(11)
2.2 伯努利方程及其应用	(11)
2.2.1 伯努利方程	(11)
2.2.2 伯努利方程的应用	(12)
2.3 实际流体的运动	(14)
2.3.1 牛顿黏性定律	(14)
2.3.2 泊肃叶公式	(15)
2.3.3 湍流与雷诺数	(16)
2.3.4 斯托克斯定律	(17)
2.4 血液的流动	(17)
2.4.1 心脏做功	(17)
2.4.2 血压	(18)
2.4.3 外周阻力与流率分配	(19)
2.4.4 血液的非牛顿流动特性	(19)
习题二	(20)
第三章 振动和波动	(22)
3.1 简谐振动	(22)

3.1.1	谐振动方程	(22)
3.1.2	谐振动的特征量	(23)
3.1.3	谐振动的矢量图示法	(25)
3.1.4	谐振动的能量	(25)
3.2	谐振动的合成	(26)
3.2.1	同方向、同频率谐振动的合成	(26)
3.2.2	同方向不同频率谐振动的合成	(27)
3.2.3	频谱分析	(28)
3.3	简谐波	(29)
3.3.1	波动的基本概念	(29)
3.3.2	平面简谐波的波动方程	(30)
3.3.3	波的能量与强度	(32)
3.3.4	惠更斯原理	(33)
3.3.5	波的干涉	(33)
3.4	声波	(36)
3.4.1	声压和声强	(36)
3.4.2	声强级与响度级	(36)
3.4.3	多普勒效应	(37)
3.4.4	超声波及其医学应用	(38)
3.5	光波	(40)
3.5.1	光的干涉	(40)
3.5.2	光的衍射	(43)
3.5.3	光的偏振	(47)
	习题三	(50)
第四章	液体的表面现象	(52)
4.1	表面张力和表面能	(52)
4.1.1	表面张力	(52)
4.1.2	表面能	(53)
4.2	弯曲液面的附加压强	(54)
4.3	毛细现象	(55)
4.3.1	接触角	(55)
4.3.2	毛细现象	(55)
4.3.3	气体栓塞	(56)
4.4	表面活性物质和表面吸附	(56)
	习题四	(57)
第五章	热力学基础	(58)
5.1	热力学的基本概念	(58)
5.1.1	热力学系统	(58)
5.1.2	热力学过程	(59)
5.1.3	内能、热量和功	(59)
5.2	热力学第一定律	(60)
5.2.1	热力学第一定律	(60)

5.2.2	热力学第一定律对理想气体的应用	(61)
5.2.3	人体的能量交换	(63)
5.3	热力学第二定律	(64)
5.3.1	可逆过程与不可逆过程	(65)
5.3.2	卡诺循环	(65)
5.3.3	热力学第二定律	(66)
5.3.4	热力学第二定律的统计意义	(67)
5.4	熵	(68)
5.4.1	克劳修斯不等式	(68)
5.4.2	熵	(69)
5.4.3	熵增加原理	(70)
5.5	热力学第二定律和生命系统	(71)
	习题五	(71)
第六章	电磁学基础	(73)
6.1	电场强度	(73)
6.1.1	电荷与库仑定律	(73)
6.1.2	电场强度	(73)
6.1.3	电场线与电通量	(75)
6.1.4	高斯定理及其应用	(76)
6.2	电势	(78)
6.2.1	电场力作功	(78)
6.2.2	电势	(79)
6.2.3	电偶极子和电偶层的电势	(80)
6.3	生物电	(82)
6.3.1	心电	(82)
6.3.2	脑电与肌电	(83)
6.4	生物膜电位	(84)
6.4.1	能斯特方程	(84)
6.4.2	静息电位	(85)
6.4.3	电泳	(85)
6.5	稳恒磁场	(86)
6.5.1	磁场的基本概念	(86)
6.5.2	毕奥-萨伐尔定律及其应用	(87)
6.5.3	安培环路定理	(89)
6.6	磁场对电流的作用	(90)
6.6.1	磁场对运动电荷的作用——洛伦兹力	(90)
6.6.2	磁场对载流导线的作用——安培力	(91)
6.6.3	磁场对载流平面线圈的作用	(92)
6.7	物质的磁性和生物磁场	(93)
6.7.1	物质的磁性	(93)
6.7.2	生物磁场	(94)
6.7.3	磁场的生物效应和磁技术在医学方面的应用	(95)
	习题六	(96)

第七章 几何光学	(97)
7.1 球面折射	(97)
7.1.1 单球面折射	(97)
7.1.2 共轴球面系统	(98)
7.2 透镜	(99)
7.2.1 薄透镜	(99)
7.2.2 薄透镜的组合	(100)
7.2.3 厚透镜	(100)
7.2.4 圆柱透镜	(101)
7.2.5 透镜的像差	(102)
7.3 眼睛的光学系统	(103)
7.3.1 眼睛的光学结构	(103)
7.3.2 眼睛的调节	(104)
7.3.3 散光眼及其矫正	(104)
7.3.4 眼的分辨本领和视力	(105)
7.4 医学常用光学仪器	(105)
7.4.1 放大镜	(105)
7.4.2 普通光学显微镜	(106)
7.4.3 纤维光束内窥镜	(108)
7.4.4 特殊光学显微镜	(109)
习题七	(110)
第八章 量子物理基础	(111)
8.1 热辐射和普朗克量子假设	(111)
8.1.1 基尔霍夫辐射定律	(111)
8.1.2 黑体辐射定律	(112)
8.1.3 普朗克量子假设	(113)
8.2 光子理论	(114)
8.2.1 光电效应的实验规律	(114)
8.2.2 爱因斯坦的光子理论	(115)
8.2.3 光子的质量和能量	(115)
8.2.4 康普顿效应	(116)
8.3 微观粒子的波粒二象性	(117)
8.3.1 德布罗意物质波	(117)
8.3.2 电子衍射和电子显微镜	(118)
8.3.3 德布罗意波的统计解释	(119)
8.3.4 不确定性原理	(119)
8.4 薛定谔方程	(120)
8.4.1 波函数及其物理意义	(120)
8.4.2 薛定谔方程	(121)
8.4.3 势阱和势垒中的粒子	(122)
8.5 玻尔的氢原子理论	(124)
8.5.1 氢原子光谱	(124)
8.5.2 玻尔的氢原子理论	(125)

8.6 原子光谱与分子光谱	(127)
8.6.1 原子光谱	(127)
8.6.2 分子光谱	(128)
8.7 荧光和拉曼散射	(129)
8.7.1 荧光	(129)
8.7.2 拉曼散射	(130)
8.8 激光	(131)
8.8.1 激光的特性	(131)
8.8.2 激光的产生原理	(131)
8.8.3 激光的医学应用	(132)
习题八	(133)
第九章 X 射线	(134)
9.1 X 射线的发生	(134)
9.2 X 射线的强度和硬度	(135)
9.2.1 X 射线的强度	(135)
9.2.2 X 射线的硬度	(135)
9.3 X 射线谱	(136)
9.3.1 连续 X 射线谱	(136)
9.3.2 标识 X 射线谱	(137)
9.4 X 射线的基本性质	(138)
9.4.1 X 射线的一般性质	(138)
9.4.2 X 射线的波动性	(138)
9.4.3 物质对 X 射线的吸收	(139)
9.5 X 射线的医学应用	(141)
9.5.1 X 射线诊断	(141)
9.5.2 X 射线治疗	(141)
习题九	(141)
第十章 原子核物理	(143)
10.1 原子核的基本性质	(143)
10.1.1 原子核的组成	(143)
10.1.2 原子核的结合能	(144)
10.1.3 核力	(145)
10.2 原子核的衰变	(146)
10.2.1 核衰变种类	(146)
10.2.2 核衰变规律	(150)
10.2.3 放射性强度	(151)
10.2.4 放射平衡	(152)
10.3 射线与物质的相互作用	(153)
10.3.1 带电粒子和物质的相互作用	(153)
10.3.2 中子与物质的相互作用	(156)
10.4 辐射剂量和辐射防护	(157)
10.4.1 辐射剂量	(157)

10.4.2 辐射防护	(158)
10.5 放射性核素在医学上的应用	(159)
10.5.1 示踪原子的应用	(159)
10.5.2 治疗应用	(160)
习题十	(160)
第十一章 模拟电路基础知识	(161)
11.1 半导体器件	(161)
11.1.1 半导体的导电特性	(161)
11.1.2 半导体二极管	(162)
11.1.3 半导体三极管	(164)
11.1.4 场效应管	(167)
11.2 基本放大电路	(169)
11.2.1 共射极放大电路的组成	(169)
11.2.2 放大电路的工作原理	(169)
11.2.3 放大电路的主要性能指标	(170)
11.2.4 放大电路的分析方法	(171)
11.2.5 分压式偏置电路	(173)
11.3 场效应管放大器	(174)
11.4 多级放大器	(175)
11.4.1 多级放大器的级间耦合方式	(175)
11.4.2 多级放大器的性能指标	(175)
11.5 负反馈放大器	(176)
11.5.1 反馈的基本概念	(176)
11.5.2 负反馈对放大器性能的影响	(177)
11.5.3 负反馈放大器的特例——射极输出器	(178)
11.6 直流放大器	(179)
11.6.1 直接耦合放大器	(179)
11.6.2 差分放大器	(180)
11.7 集成运算放大器	(182)
11.7.1 运算放大器的结构与特性	(182)
11.7.2 运算放大器组成的基本电路	(183)
11.7.3 运算放大器在信号运算与处理方面的应用	(185)
11.8 信号发生器	(187)
11.8.1 正弦波振荡器	(187)
11.8.2 脉冲发生器	(192)
习题十一	(194)
第十二章 数字电路基础知识	(196)
12.1 逻辑门电路	(196)
12.1.1 数字电路概述	(196)
12.1.2 基本逻辑门	(196)
12.1.3 复合逻辑门	(197)
12.2 逻辑代数及其应用	(198)

12.2.1	逻辑代数的基本规律	(198)
12.2.2	逻辑函数的代数化简法	(199)
12.2.3	逻辑函数的卡诺图化简法	(200)
12.3	组合逻辑电路的分析与设计	(203)
12.3.1	组合逻辑电路的分析方法	(203)
12.3.2	组合逻辑电路的设计	(204)
12.4	触发器	(209)
12.4.1	基本 RS 触发器	(209)
12.4.2	钟控 RS 触发器	(210)
12.4.3	JK 触发器	(211)
12.4.4	D 触发器	(212)
12.4.5	T 和 T' 触发器	(213)
12.4.6	不同类型触发器间的相互转换	(213)
12.5	基本数字部件	(214)
12.5.1	寄存器	(214)
12.5.2	计数器	(216)
12.5.3	数/模转换器与模/数转换器	(219)
	习题十二	(221)
第十三章	生物医用传感器	(223)
13.1	生物医学用电极	(223)
13.1.1	医用电极的基本特性	(223)
13.1.2	几种常用医用电极	(225)
13.2	生物医用换能器	(228)
13.2.1	医用换能器的分类和要求	(228)
13.2.2	医用换能器介绍	(229)
13.3	生物传感器	(232)
13.3.1	生物传感器的基础电极	(232)
13.3.2	酶传感器	(233)
13.3.3	微生物传感器	(234)
13.3.4	免疫传感器	(234)
13.3.5	药物传感器	(235)
第十四章	生物医学信息测量	(236)
14.1	生物信息的特性及测量要求	(236)
14.1.1	生物信息的特性	(236)
14.1.2	生物信息测量的特殊性	(237)
14.2	测量中的干扰及其抑制	(238)
14.2.1	干扰的来源及耦合途径	(238)
14.2.2	抑制干扰的措施	(240)
14.3	噪声及其降低的措施	(243)
14.3.1	噪声的来源	(243)
14.3.2	降低噪声的措施	(244)
14.4	微弱信号的检测方法	(245)
14.4.1	微弱信号检测方法概述	(245)

14.4.2	叠加平均法	(246)
14.4.3	相关检测法	(246)
14.4.4	自适应噪声抵消技术	(248)
第十五章	生物医学信号显示和记录	(250)
15.1	生物医学信号显示和记录概述	(250)
15.2	记忆示波器	(250)
15.3	数字显示装置	(252)
15.3.1	液晶数字显示	(252)
15.3.2	半导体数字显示	(253)
15.4	笔式记录装置	(253)
15.4.1	描笔偏转式记录器	(253)
15.4.2	自动平衡式记录器	(255)
15.4.3	多道生理记录仪	(256)
15.5	磁带记录器	(258)
15.5.1	磁带记录器的基本构成及工作原理	(258)
15.5.2	模拟式磁带记录器	(258)
15.5.3	数字式磁带记录器	(260)
第十六章	电子技术在生物医学控制中的应用	(261)
16.1	生物医学控制系统概述	(261)
16.1.1	生物医学控制系统的构成	(261)
16.1.2	生物医学控制系统的要求	(262)
16.2	生物医学电子控制系统应用	(262)
16.2.1	人工心脏起搏器	(262)
16.2.2	心脏除颤器	(264)
16.2.3	排尿反射的控制	(264)
16.3	人工智能器官中的电子控制	(265)
16.3.1	人工肺	(265)
16.3.2	人工肾	(266)
16.3.3	智能型人工假肢	(267)
16.3.4	智能机器人	(268)

绪 论

0.1 物理学研究对象和研究方法

我们周围所有的客观实在都是物质,一切物质都在永不停息地运动着,宇宙间一切现象都是物质运动的表现.物质运动的形式是极其多样的,它包括机械运动、变化、生长、相互作用等.各种形式的物质运动之间都有着密切的内在联系,相互依存而本质上相互区别.它们既服从普遍规律,又有自己独特的规律.自然科学的分门别类就是根据其所研究对象的特殊性而区分的.

物理学是以认识物质的基本属性,研究物质运动的基本规律为对象的.物理学研究的是物质运动最基本最普遍的形式:机械运动、分子热运动、电磁运动、原子内部的运动等等.物理学研究的运动形式,普遍存在于其他高级的、复杂的物质运动形式之中.因此,物理学所研究的规律,具有最基本、最普遍的意义,使得物理学知识成为研究其他自然科学所不可缺少的基础.在自然科学尚未分类的古代,物理学实质上就是全部的自然科学.随着人类知识的发展,出现许多自然科学分支,例如天文学、化学等等,并都陆续独立成为一门学科.另一方面,由于近代科学的迅速发展和相互渗透,分科也越来越细,又出现许多和物理学直接有关的“边缘科学”,例如化学物理学、生物物理学、天体物理学等.物理学上的每一个重大发现都极大地推动了其他自然科学的发展,促进生产技术发生根本性的变革.由于物理学所研究的规律具有很大的普遍性,它与哲学的关系也就显得更为密切.物理学中许多重大发现,如相对论的时空观、物质二象性、基本粒子相互转化等,为辩证唯物主义的世界观提供了有力的证据.

各门科学,包括物理学在内,它们的基本任务都是确定某些现象和另一些现象之间的关系,其研究方法都是遵循“实践—理论—实践”的认识法则.具体地说,物理学的研究方法包括观察、实验、提出假说、建立理论各个环节.观察和实验中所获得的大量资料是理论的依据,理论通常从几条比较简单的基本原理出发,说明一定范围内的各种现象;并且还能在一定程度上预言未知现象的存在,指导进一步的新实践.理论建立后将继续受到实践的考验,如果发现新的实验事实与理论有矛盾,就将使理论得到修正和发展,甚至放弃原有理论,而建立更能反映客观实际的新理论.

0.2 物理学与生物科学及医学的关系

现代科学技术发展的趋向,是由定性向定量、由分立向综合、由阐明低级运动形态的规律向阐明高级运动形态的规律过渡.医学是以人体为对象的生命科学,生命现象属于物质的高级运动形态.随着近代物理学的迅速发展,人类对生命现象认识的逐步深入,生物科学和医学已从宏观形态的研究进入微观机制的探讨,从细胞水平的研究上升到分子水平的研究,并日益将其理论建立在精确的物理科学基础之上.任何生命过程都是和物理过程密切联系的.揭示生命现象的物理本质,诸如能量转换途径、相互作用力的类型、机体内的控制和调节、疾病发生机

理、物理因素对机体的作用等等,都必须应用有关的物理规律.大量事实表明,物理学的每一次理论突破都为医学科学的深入研究开辟了新的思路和途径,物理学在生物科学和医学领域中的应用已更为广阔的深入.例如,核物理的成就,促成了核医学的建立和发展;生物物理学的进展,对阐明生命现象的本质做出了新的巨大贡献.

另一方面,物理学所提供的技术和方法已广泛应用于生物科学和医学的研究与临床实践,并不断更新.例如,光学显微镜、各种电图机、X射线透视照相、放射性同位素技术等医学上的贡献已是人们所熟知的.而现代电子显微镜与光学显微镜相比,分辨本领提高了千倍,成为研究细胞内超微结构的有效工具.电子计算机X射线断层扫描术与通常应用的X射线检查术相比,其灵敏度提高了百倍,而且无须注射造影剂.各种光纤内窥镜已逐步取代刚性导管内窥镜,不仅减轻了病人的痛苦,而且提高了疾病的诊断率.物理治疗除常规的热疗、电疗、光疗、放疗等方法外,还用到低温冷冻、激光等手段.电子技术的发展使得精确获取各种生物信息成为现实,对生物机能的控制、修复、补偿、替代解决了传统医疗方法不能解决的问题.电子计算机不仅应用于研究人体生理和病理过程中的各种控制调节,探讨人脑的学习、记忆、联想等功能,而且用于辅助诊断、自动监护、远程会诊以及医院管理等方面.多媒体技术的出现极大地丰富了医学研究与临床诊断的内容.

物理学科在理论上和技术上的新成就不断为生物科学和医学的发展提供理论基础及技术方法.反过来,生物科学和医学的发展又不断地向物理科学提出新的问题.二者互相促进,关系日益密切.总之,物理学与生物科学和医学的关系,大体上可以归结为两个主要方面:

一、物理学知识是了解生命现象不可缺少的基础.

二、物理学的方法和技术为生物科学和医学的研究、临床实践开辟了新的途径.

在高等医学院校所开设的物理学是一门基础课程,其主要任务是给学生提供系统的物理学知识,为学习医学其他基础课和专业知识准备必要的基础.物理学的学习内容并不直接讨论和解决医疗实践中所遇到的具体问题,而是为解决这些问题提供必要的条件.医学研究在不断深入,物理学也在不断取得进展.正确地认识物理学与医学的关系,是学好这门课程的关键之一.因此,学生一方面要学好本教材所讲授的内容,另一方面还要努力扩大知识领域,注意医学物理学的新发展,成为符合时代要求的医学工作者,更好地为我国新时期的现代化建设作出贡献.

第一章 物体的弹性

物体在受到外力作用时,不但它的运动状态可能会发生变化,它的形状和大小也可能发生改变.在一般情况下,当外力撤去后,物体的形状和大小可以恢复到原状,物体的这种性质叫做弹性.研究生物组织的弹性及其所涉及的力学现象在生物医学领域具有重要的意义.本章将介绍有关物体弹性的基本知识.

1.1 应变和应力

1.1.1 应变

物体在外力作用下所发生的形状和大小的改变,叫做形变.形变不超过某一限度,外力撤去后物体能完全恢复原状.形变的程度常以相对形变定量表示,叫做应变或胁变.下面将依次讨论几种简单的形变,即张应变、切应变和体应变.在讨论中,物体被看成均匀连续体,整个物体处于力的平衡状态.

1. 张应变 物体两端受到一对张力(或压力)拉伸(或压缩)时的长度变化叫做张变或长变.设一正柱体原长为 l_0 ,在大小相等、方向相反、作用线重合的一对张力 f 作用下,长度增加为 $l_0 + \Delta l$,如图 1-1 所示.长度的增量 Δl 和原长 l_0 的比值叫做该物体的张应变,以符号 ϵ 表示,即

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (1-1)$$

当物体被压缩时, Δl 为负,应变为负值,即为压应变.

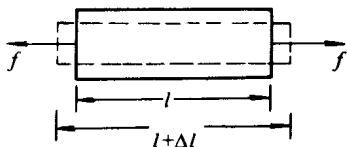


图 1-1 张应变

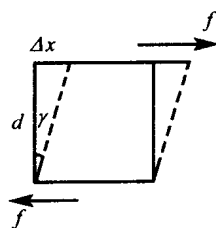


图 1-2 切应变

2. 切应变 如图 1-2 所示,物体在一对剪切力的作用下所产生的形变叫切变或剪变.所谓剪切力是指大小相等、方向相反而作用线不重合的一对力.设一长方体在剪切力作用下,其上下底面相对位移 Δx ,则二底面垂直距离 d 与 Δx 的比值叫做物体的切应变,以 γ 表示,即

$$\gamma = \frac{\Delta x}{d} = \tan \gamma \quad (1-2)$$

物体发生切应变时,只是形状变化而没有体积的变化.

3. 体应变 当物体各部分在各个方向上受到同样压强时,其体积缩小而形状将保持与原形相似,这是单纯的容变或体变.体积增量 ΔV 与原体积 V_0 的比值叫做物体的体应变,以符号 θ 表示,即

$$\theta = \frac{\Delta V}{V_0} \quad (1-3)$$

流体的形状随容器而定,它们没有形状变化的弹性,只有容积变化的弹性,但固体则两种弹性都有.

1.1.2 应力

物体处于形变状态时,由于组成物体的微观粒子间相对位置发生变化,物体内部各个相邻宏观部分之间存在着相互作用的弹性力,而使物体具有恢复原状的趋势.单位面积上的弹性力称为应力或压强.形变中的物体,其内部处在应力状态之中.

1. 张应力 设截面积为 S 的均匀杆受到张力 F 作用处于拉伸状态.若在杆的任意处想象地作一横截面,由于以此截面为界的两段各自处于平衡,可知这两段必定通过截面彼此以张力 F 相作用.横截面单位面积上的张力 F/S 叫做张应力,以 σ 表示,即

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (1-4)$$

张应力与横截面正交,在杆中处处存在.若求某一点的张应力,则式(1-4)应改为

$$\sigma = \frac{dF}{dS} \quad (1-4a)$$

若杆处于压缩状态,则杆中处处存在压应力,压力 F 与压应力 F/S 均以负值表示.

2. 切应力 当长方体发生切变时,若在物体任意处作平行于底面的截面,则截面两边的部分将以切于截面的力 F 相互作用.单位面积上的切力 F/S 叫做切应力,以 τ 表示

$$\tau = \frac{F}{S} \quad (1-5)$$

或

$$\tau = \frac{dF}{dS} \quad (1-5a)$$

3. 体应力 物体受到来自各个方向的均匀压强时,体内各个方向的截面上都存在同样大小的压应力,亦即具有同样的压强,所以体应力可以压强 P 表示.

在国际单位制中,应力的单位是牛·米⁻²(N·m⁻²).

1.2 弹性模量

物体发生应变乃受力所致,应力则反映其受力大小,因此,应变与应力之间存在着一定的关系.

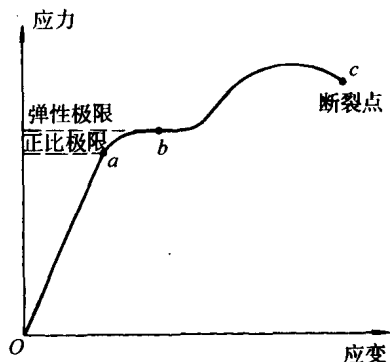


图 1-3 应变与应力曲线

对于不同材料,应力与应变之间的函数关系不同,但有其共性.图 1-3 表示一个典型的应力-应变曲线.曲线上 a 点为正比极限.不超过正比极限时,应力与应变成正比,这一规律叫做胡克定律. b 点为弹性极限.不超过弹性极限,外力撤去后,物体仍能复原;超过弹性极限,将出现永久形变,即所谓塑性形变. c 点叫断裂点.断裂点的应力叫做材料的抗张强度.材料被压缩时,断裂点的应力叫做抗压强度.

在正比极限范围内,应力与应变的比值,叫做材料

的弹性模量,其单位与应力单位相同.基于三种应变,材料的弹性模量有三个.

1. 杨氏模量 在长变情形下,在正比极限范围内,张应力与张应变(或压应力与压应变)之比称为杨氏模量,以 Y 表示

$$Y = \frac{F/S}{\Delta l/l_0} \quad (1-6)$$

2. 切变模量 在切变情形下,在一定的弹性范围内,切应力与切应变的比值称为切变模量,以 G 表示

$$G = \frac{F/S}{\Delta x/d} = F/S\gamma \quad (1-7)$$

3. 体变模量 在体变情形,在材料的弹性范围内,压强与体应变之比称为体变模量,以 B 表示

$$B = \frac{-P}{\theta} = -\frac{P}{\Delta V/V_0} \quad (1-8)$$

式中负号表示物体体积缩小时压强是增加的.表 1-1 列出了几种材料的三种弹性模量.

表 1-1 一些常见材料的杨氏模量、切变模量和体变模量

物 质	杨氏模量(10^9N/m^2)	切变模量(10^9N/m^2)	体变模量(10^9N/m^2)
铝	70	25	70
铜	110	40	120
铁	190	50	80
钢	200	80	150
玻璃、熔石英	70	30	36
木材	10	10	—
密质骨	16(拉伸)	10	—
	9(压缩)		

1.3 弯曲和扭转

1.3.1 弯曲

弯曲是常见的力学现象,是工程技术与医学骨科研究的重要内容.如图 1-4 所示,设有一矩形截面的横梁,在其中部加一定大小的垂直外力 F ,横梁即可发生弯曲.分析横梁的应力时,若把它分成若干层,可以发现各层的应变是不同的,因此各层的应力也是不同的.其中有一个中间层,没有发生应变,中间层的上面各层都被压缩,越在上层压应变越大,相应的压应力也越大;而在中间层下面的各层都被拉伸,最下层的张应变最大,张应力也最大.当外力作用使横梁的最大张应力超过其抗张强度或最大压应力超过其最大抗压强度时,横梁就有可能出现断裂.不过事实上材料弯曲断裂的极限应力大于它的抗张强度或抗压强度,这是因为各层之间是相连的.

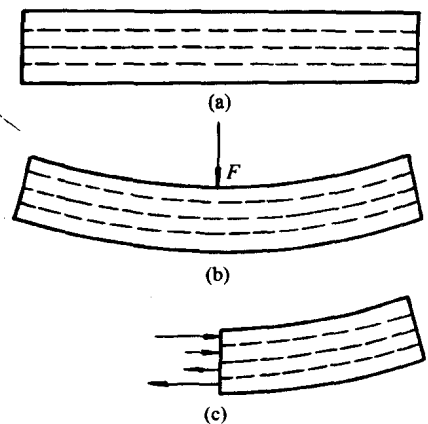


图 1-4 弯曲