

卫生部规划教材

全国医学高等专科学校教材

供临床医学专业用

第
4
版

医学物理学

主 编 潘志达

副主编 邱松耀



人民卫生出版社

全国医学高等专科学校教材

供临床医学专业用

医学物理学

第 4 版

主 编 潘志达

副主编 邱松耀

编 者 (以姓氏笔画为序)

阮 萍 (桂 林 医 学 院)

邱松耀 (白求恩军医学院)

赵 慧 (安徽医学高等专科学校)

柴 英 (大连医科大学)

高建武 (张家口医学院)

潘志达 (大连医科大学)

人民卫生出版社

图书在版编目(CIP)数据

医学物理学/潘志达主编. —4 版. —北京:
人民卫生出版社, 2003

ISBN 7-117-05842-0

I. 医… II. 潘… III. 医用物理学 IV. R312

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 109829 号

本书内封采用黑色水印防伪标识印制。请予识别。

医学物理学

(第 4 版)

主 编: 潘 志 达

出版发行: 人民卫生出版社 (中继线 67616688)

地 址: (100078) 北京市丰台区方庄芳群园 3 区 3 号楼

网 址: [http://www. pmph. com](http://www.pmph.com)

E - mail: [pmph @ pmph. com](mailto:pmph@pmph.com)

印 刷: 北京市安泰印刷厂

经 销: 新华书店

开 本: 850 × 1168 1/16 印张: 11. 25

字 数: 265 千字

版 次: 1981 年 7 月第 1 版 2003 年 12 月第 4 版第 27 次印刷

标准书号: ISBN 7-117-05842-0/R · 5843

定 价: 15.00 元

著作权所有, 请勿擅自用本书制作各类出版物, 违者必究

(凡属质量问题请与本社发行部联系退换)

临床医学专科第五轮教材修订说明

为适应我国医学专科教育改革和基层卫生工作改革发展的需要，经卫生部临床医学专科教材评审委员会审议，卫生部教材办公室决定 2003 年开始进行临床医学专科第五轮教材的修订编写工作。此次修订以《中国医学教育改革和发展纲要》为指导思想，强调“三基”、“五性”、“三特定”原则，注重体现《面向 21 世纪教育振兴行动计划》培养高素质人才的要求。

此次修订将《人体解剖学》、《组织学和胚胎学》合并为《人体解剖学和组织胚胎学》；将《医学微生物学和免疫学》、《人体寄生虫学》合并为《病原生物学和免疫学》；将《医学遗传学基础》更名为《细胞生物学和医学遗传学》。新增加《急诊医学》、《康复医学》、《医学文献检索》3 种。

全套教材共 23 种：

- | | |
|-----------------------|-------------|
| 1. 《医学物理学》第 4 版 | 主 编 潘志达 |
| | 副主编 邱松耀 |
| 2. 《医学化学》第 5 版 | 主 编 谢吉民 |
| | 副主编 张华杰 |
| 3. 《人体解剖学和组织胚胎学》第 5 版 | 主 编 窦肇华 |
| | 副主编 吴建清 闫家阁 |
| 4. 《生理学》第 5 版 | 主 编 刘玲爱 |
| | 副主编 白 波 张 敏 |
| 5. 《生物化学》第 5 版 | 主 编 潘文干 |
| | 副主编 程牛亮 李 洪 |
| 6. 《病原生物学和免疫学》第 5 版 | 主 编 陈兴保 |
| | 副主编 张进顺 台凡银 |
| 7. 《病理学》第 5 版 | 主 编 和瑞芝 |
| | 副主编 王家富 陈命家 |
| 8. 《药理学》第 5 版 | 主 编 张丹参 |
| | 副主编 于肯明 王建刚 |
| 9. 《细胞生物学和医学遗传学》第 3 版 | 主 编 张忠寿 |
| | 副主编 刘金杰 |
| 10. 《预防医学》第 3 版 | 主 编 黄吉武 |
| | 副主编 桑瑞兰 |
| 11. 《诊断学》第 5 版 | 主 编 邓长生 |
| | 副主编 符晓华 李伟扬 |

- | | |
|-------------------|-------------|
| 12. 《内科学》第5版 | 主 编 马家骥 |
| | 副主编 刘远厚 王庸晋 |
| 13. 《外科学》第5版 | 主 编 梁力建 |
| | 副主编 林建华 廖 斌 |
| 14. 《妇产科学》第5版 | 主 编 王泽华 |
| | 副主编 程丽坤 孙丽君 |
| 15. 《儿科学》第5版 | 主 编 汪 翼 |
| | 副主编 郭学鹏 |
| 16. 《传染病学》第3版 | 主 编 刘应麟 |
| | 副主编 彭凤英 |
| 17. 《眼耳鼻喉口腔科学》第5版 | 主 编 王斌全 |
| | 副主编 龚树生 |
| 18. 《皮肤性病学》第5版 | 主 编 张信江 |
| | 副主编 魏志平 |
| 19. 《中医学》第3版 | 主 编 陈友香 |
| | 副主编 王道瑞 |
| 20. 《医学心理学》第2版 | 主 编 马存根 |
| | 副主编 周郁秋 |
| 21. 《急诊医学》 | 主 编 黄显凯 |
| | 副主编 张兴毅 |
| 22. 《康复医学》 | 主 编 王前新 姜贵云 |
| 23. 《医学文献检索》 | 主 编 姚果源 |
| | 副主编 吴效普 |

临床医学专科第三届教材评审委员会

主任委员 涂明华

副主任委员 唐建武

委员 (以姓氏笔画为序)

王斌全 王家富 马家骥 马存根 刘远厚 许化溪
涂心明 龚芳泽 梁晓俐 詹乐恒 潘文干

秘 书 高君励

前 言

本书是根据卫生部教材办公室的决定,经全国医学高等专科学校临床医学专业教材评审委员会的审议,按临床医学专业(三年制)培养目标的要求,在第三版教材的基础之上,作了较大幅度的调整、充实后编写而成,同时将书名更改为《医学物理学》。

第4版教材的编写宗旨是:①对第三版教材的一些内容进行改革,以适应新形势下的教学需要;②按培养目标(基层医生)的特定要求,使学生在掌握物理学的基础理论、基本知识、基本技能的基础之上,突出物理学的理论对生命现象的解释,物理学的技术在医学诊断、治疗中的应用;③尽可能地体现教材的思想性、先进性、科学性、启发性、适用性,在教材中力求体现辩证唯物论的认识论,强化物理学的思想、概念和方法,介绍较新的研究成果及进展,使整本教材既保持相对完整的物理学体系,又有针对性地联系医学实际。

本书与第三版教材相比,增加了“人体力学”和“医学影像的物理学基础”两章,重点讲述的内容分别是:骨和肌肉的力学性质,介绍人体静力学和人体动力学的相关内容;结合现代医学发展的需要,介绍超声诊断仪、X-CT、MRI 三大医学影像的物理学原理。同时本书还将“电场与电路”一章改写成“人体的生物电场和磁场”并将“直流电及其医学应用”单列一章。删除了第三版中“生物信号检测”的内容。此外,全书在内容在深度上也有一定程度的提高。本书使用的物理量的单位、名称、符号均按《中华人民共和国国家标准-量和单位》(GB3100~3102-93)进行了修订。书后增加了索引和参考文献。

本书在编写过程中得到了大连医科大学、桂林医学院、安徽医学高等专科学校的关心和大力支持,在此表示衷心谢意!

由于编者的水平所限,错误和不妥之处在所难免,恳请同行和使用本书的广大师生批评指正。

编 者

2003 年 9 月

目 录

绪论	1
一、什么是医学物理学	1
二、医学物理学的研究对象和方法	1
三、医学物理学与物理学及医学的关系	2
第一章 人体力学	3
第一节 肌肉和骨骼的力学性质	3
一、肌肉的力学性质	3
二、骨骼的力学性质	5
第二节 人体静力学	6
一、物体平衡条件	6
二、杠杆作用	6
三、作用在髋关节和脊柱上的力	9
第三节 人体动力学	11
一、人体的动力学特征	11
二、人体的运动	12
第四节 临床力学器械	13
习题一	14
第二章 波动和声波	16
第一节 波的产生与传播	16
一、波的产生	16
二、波的传播	17
三、波动方程	18
四、惠更斯原理	19
第二节 声波	20
一、声速	20
二、声压和声强	21
三、听觉区域声强级和响度级	22
第三节 多普勒效应	24
一、多普勒效应的表达式	24
二、超声多普勒血流仪	26

第四节 超声波	27
一、超声波的产生与传播	27
二、超声波的性质	27
三、超声波的生物效应	28
四、超声的安全剂量	29
习题二	29
第三章 液体的流动	31
第一节 理想液体的稳定流动	31
一、理想液体	31
二、稳定流动	31
三、连续性方程	32
第二节 伯努利方程及其应用	33
一、伯努利方程	33
二、伯努利方程的应用	35
第三节 实际液体的流动	36
一、牛顿黏滞定律	36
二、实际液体的伯努利方程	38
三、泊肃叶定律	39
四、湍流、雷诺数	40
第四节 血液的流变	41
一、血液的非牛顿性与表观黏度	41
二、影响血液黏度的因素	42
三、血液流变学的应用与进展	44
习题三	45
第四章 液体的表面现象	47
第一节 表面张力和表面能	47
第二节 弯曲液面的附加压强	49
第三节 血管与心脏的跨壁压	50
第四节 气体栓塞现象	52
一、润湿现象	52
二、毛细现象	52
三、气体栓塞	54
第五节 肺泡的表面张力	54
一、表面活性物质	54
二、肺泡的表面张力	55
习题四	56

第五章 人体的生物电场和磁场	57
第一节 电偶极子及电偶极层的电场	57
一、电偶极子的电势	57
二、电偶极层的电势	58
第二节 膜电位和神经传导	59
一、能斯特方程式	59
二、动作电位	61
三、神经传导	61
第三节 心电的向量原理	62
一、心肌细胞的除极与复极	62
二、空间心电图向量环与平面心电图向量环	63
第四节 心电图的描记原理	64
一、心电导联	64
二、心电图的形成原理与描记	66
第五节 人体的生物磁场	67
一、磁场、磁感应强度	67
二、人体中的生物磁信号	68
三、生物磁场的测定	68
四、磁诊断技术和磁场疗法	69
习题五	70
第六章 直流电及其在医学中的应用	72
第一节 基尔霍夫定律	72
一、基尔霍夫第一定律	72
二、基尔霍夫第二定律	73
三、基尔霍夫定律的应用	74
第二节 电容器的充电和放电过程	75
一、电容器的充电过程	75
二、电容器的放电过程	76
第三节 神经纤维的电缆方程	77
第四节 直流电在医学中的应用	78
一、直流电对机体的作用	78
二、电泳	80
三、电疗	80
第五节 超导及其医学应用	81
一、超导体的电学性质	82
二、超导体的磁学性质	82
三、超导在医学上的应用	82

习题六	82
第七章 光的波动性	84
第一节 光的干涉	84
一、相干光源	84
二、杨氏双缝干涉	85
第二节 光的衍射	86
一、单缝衍射	86
二、圆孔衍射	88
三、光栅衍射	88
第三节 光的偏振	89
一、自然光和偏振光	89
二、起偏和检偏	90
第四节 旋光性	91
第五节 光的吸收	93
一、朗伯-比尔定律	93
二、光电比色计原理	94
第六节 光的生物效应	94
一、紫外线	95
二、红外线	95
习题七	95
第八章 几何光学	97
第一节 球面折射与透镜	97
一、球面折射	97
二、透镜	100
第二节 眼屈光	104
一、眼的光学结构	104
二、眼的屈光系统	105
三、眼的屈光不正及其矫正	106
第三节 放大镜与显微镜	108
一、放大镜	108
二、光学显微镜	109
三、电子显微镜	111
第四节 玻璃纤维内镜	113
一、全反射	113
二、光纤	113
三、医用内镜	114

习题八	115
第九章 激光及其医学应用	117
第一节 激光的基本原理和特性	117
一、原子能级	117
二、光辐射及其三种基本形式	118
三、激光的产生	120
四、激光的特性	121
第二节 激光的生物作用机制和医学应用	122
一、激光的生物作用机制	122
二、激光的医学应用	124
三、激光安全性问题	125
第三节 医用激光器	125
一、红宝石激光器	126
二、氦-氖激光器	126
三、二氧化碳激光器	126
四、准分子激光器	127
习题九	127
第十章 X 射线	128
第一节 X 射线的性质	128
一、X 射线的本质	128
二、X 射线的基本性质	129
第二节 X 射线的产生及其强度和硬度	129
一、X 射线的产生装置	129
二、X 射线产生的物理机制	131
三、X 射线的强度和硬度	133
第三节 X 射线的吸收	134
一、单色 X 射线的吸收规律	134
二、质量吸收系数和质量厚度	135
三、吸收系数与波长和原子序数的关系	135
第四节 X 射线在医学上的应用	136
一、X 射线诊断	136
二、X 射线治疗	137
习题十	138
第十一章 核医学基础	139
第一节 原子核的结构	139

一、原子核的组成	139
二、质量亏损和结合能	140
第二节 核衰变类型和衰变规律	141
一、 α 衰变	141
二、 β 衰变	141
三、 γ 跃迁和内转换	142
四、衰变规律	142
五、放射性活度	144
第三节 射线的剂量与防护	144
一、照射量	144
二、吸收剂量	145
三、剂量当量	145
四、辐射的防护	146
习题十一	146
第十二章 医学影像的物理学基础	147
第一节 超声诊断	147
一、超声脉冲回波成像原理	147
二、超声波探测的分辨本领	148
三、A 型超声诊断仪的原理与应用	149
四、B 型超声诊断仪的原理与应用	150
五、M 型超声诊断仪的原理与应用	151
六、超声多普勒诊断仪的原理与应用	152
第二节 X-CT	152
一、CT 装置	153
二、CT 成像的物理基础	153
第三节 磁共振成像	155
一、原子核的自旋与磁矩	156
二、自旋核在稳恒磁场中的能级分裂	157
三、磁共振	158
四、磁共振成像的基本原理	158
习题十二	160
参考文献	161
附录 常用物理常数	162
索引	163

绪 论

医学物理学是医学高等专科学校学生必修的一门基础课。但是,什么是医学物理学,它所研究的对象和方法以及与医学间的关系如何,是我们必须首先要搞清楚的。

一、什么是医学物理学

医学物理学有两方面的含义,其一是指用物理学的理论阐释人体在健康和疾病时的功能,这一点在很大程度上与生理学及病理生理学的研究相关;其二则是物理学应用于医学实践,包括力、热、声、光、电、磁、激光、超声、辐射等在医学中的应用,这些又属于生物医学工程的研究范畴。那么,究竟什么是医学物理学呢?我们可以这样来概括:医学物理学是医学和物理学两大学科的结合,是生物医学工程的基础,是用物理学的理论解释生命过程中的生理及病理现象,把物理学的技术应用于医学实践的一门边缘学科。

二、医学物理学的研究对象和方法

我们知道,自然界是由运动着的物质组成的,没有运动的物质和没有物质的运动都是不存在的。大到宏观物体,如天体的运行;小到微观物质,如分子、原子的运动以及生物体的代谢过程都是物质运动的例子。这些运动形式虽然各不相同,多种多样,例如机械运动、分子热运动、电磁运动、原子和原子核内的运动等等,但它们既服从共同的普遍规律,又各自有其独特的规律,而物理学就是研究物质运动的普遍性质和基本规律的科学。医学研究的是生物机体的正常生命活动规律以及患病机体的某些特殊现象,在自然现象中属于较复杂较高级的物质运动形式。它除了遵循自身特有的高级、复杂的物质运动规律外,还必须遵从物质的基本运动规律。因此,从研究物质运动的普遍性和规律性这一角度看,我们说医学物理学的研究对象包含在物理学的研究对象之内。

学习医学物理学,除了要掌握生命活动过程中物质运动的各种规律外,还应假说或假设以及理论总结。而观察和实验是研究医学物理学的基础,是接触外界事物的第一步,是研究的开始。例如,1895年德国乌茨堡大学物理学家伦琴(W. K. Rontgen)在研究阴极射线时偶然发现了一种新的未知射线,即X射线。几天后,伦琴利用X射线照射了他夫人的手掌,拍摄了世界上第一张X射线照片。进一步的观察和实验证明了X射线是电磁波家族中的一员,波长很短,具有贯穿固体的能力。自然科学的很多规律是通过实验发现的,其理论是通过实验的反复验证而总结出来的,医学物理学的研究方法也是如此。实验是用人为主的方法使自然界中的某些现象重现,再反复细致的观察研究,获得大量的资料,经过人们的分析、概括、综合和推理等过程,最终导致定律的建立理论的产生。从上面的论述,我们可以说医学物理学的研究方法是理论和实践的结合与统一,是辩证唯物论的认识法则。

三、医学物理学与物理学及医学的关系

随着科学技术的不断进步以及人类对生命现象认识的逐渐深化,生命科学已经从宏观形态的研究进入到微观机制的探讨,从细胞水平提高到分子水平,从定性分析提高到定量分析。生物物理学的发展对阐明生命现象的本质已经做出了贡献,它从理论上和实验上都无可争辩地说明了物理学与医学及生物学之间的内在联系。物理学的发展已经历了三次大的突破,而每次突破都促进了医学的发展,生命科学研究和医疗实践中都越来越广泛地采用物理学的技术和方法。让我们回顾一下历史。十七八世纪,由于牛顿力学的建立和热力学及光学的发展,科学家发明了温度计、压强计、显微镜等仪器,之后这些仪器就在医学中得到广泛应用并弥补了医学检测手段的不足。到了19世纪,在法拉第-麦克斯韦电磁理论的推动下,人类进入了应用电能的时代。这期间对医学发展促进较大的两件事是X射线的发现并很快地在医学上应用;其次是1889年沃勒(Waller)提出的心脏电偶极子模型,为心电图的记录提供了理论基础。20世纪以来,由于相对论和量子力学的建立,人们对原子、原子核结构的认识日益加深,在此基础上人们实现了原子核能和人工放射性同位素的利用。由于量子力学微观理论的成果,又直接促进了磁共振、激光等新技术的发展,这些成果已成为医生们诊断和治疗的得力帮手。20世纪70年代以后,由于电子计算机技术的飞速发展和日臻成熟,使这一技术在医学领域内得以大显身手,除了X-CT、ECT、MRI、PET这样的大型设备之外,尚有微型计算机控制的某些人工器官亦在临床上应用,这些都强有力地促进了医学科学的现代化。

综上所述,我们不难看出物理学与医学之间的紧密关系。可以这样说,无论是从学科理论的内在联系上看,还是从物理学及其分支学科的发展而促进医学发展的角度上看,或者从基础医学、临床医学经常提出新的课题,要求用物理学的理论和技术协同加以解决的方面看,物理学和医学两学科之间总是相互依存,相互促进,协调发展的。总之,医学物理学的发展离不开物理学与医学的结合。物理学的成就促进了医学的发展和进步,同时也促使医学物理学这门边缘学科的逐渐成熟,这就是医学物理学与物理学及医学的关系。

(潘志达)

第一章 人体力学

用力学的观点、方法和理论研究生物体的力学性质及其运动规律的科学叫做生物力学。人体力学属于生物力学的研究范畴。有关人体力学的研究推动了解剖学、组织学和生理学的发展,使人们对生命现象的认识逐步加深;澄清了一些疾病的病理机制,并可为这些疾病的治疗提供指导。从宏观上讲,人体力学是以力学的观点研究人体的脏器、肌肉、骨骼、关节等部位的结构和功能;从微观上讲,人体力学是研究生物大分子、生物聚合物、细胞、组织等的力学性质。本章我们首先介绍肌肉和骨骼的力学性质,在此基础上讨论人体静力学和人体动力学的一些问题。

第一节 肌肉和骨骼的力学性质

一、肌肉的力学性质

肌肉是运动系统的动力部分,在神经系统的支配下,肌肉收缩,牵引骨骼产生运动。肌肉是怎样收缩的,它收缩时所产生的张力和收缩量、收缩速度之间的关系,肌肉收缩做功等问题都很重要,下面我们就予以一一讨论。

(一) 肌肉的结构和功能

肌纤维是肌肉的主要组成部分。肌纤维的直径为 $10\mu\text{m} \sim 60\mu\text{m}$,它由直径为 $1\mu\text{m}$ 左右的许多肌原纤维组成,肌原纤维又由直径为 $0.01\mu\text{m}$ 左右,由肌凝蛋白组成的粗丝和直径为 $0.004\mu\text{m}$ 左右,由肌纤维蛋白组成的细丝构成。粗丝和细丝之间的相对滑行使肌肉发生伸长和收缩。肌原纤维发生伸缩的基本单元是肌节,肌节的长度是变化的,充分缩短时长约 $1.5\mu\text{m}$,放松时为 $2.0\mu\text{m} \sim 2.5\mu\text{m}$ 。实验证明,肌肉的活动部分是肌凝蛋白和肌纤蛋白,主要能源是 ATP。当两者同时在 ATP 溶液中存在时可发生收缩,而松弛则是 M-B 因子的作用。因此,肌肉的功能是将化学能转变成机械能。

(二) 肌肉的张力和其长度的关系

人体的肌肉可分为骨骼肌、平滑肌、心肌三种,它们的组织要素相同,收缩的生物化学机制也基本一样,但结构、功能及力学性质有一定差异。由于骨骼肌可随意收缩,所以目前关于肌肉力学性质的研究大部分属于骨骼肌。而心肌、平滑肌的收缩由于受机体自主控制,研究难度较大,

所以涉及较少。

肌肉收缩时产生的张力变化主要依靠肌节内部结构的变化,其肌节长度-张力曲线如图 1-1 所示。由图可见当肌节处于放松长度 $2\mu\text{m}$ 左右时,张力最大;当肌节长度达到 $3.6\mu\text{m}$ 后,张力变为零。肌纤维具有主动收缩性,肌纤维及其周围的结缔组织还可被动承载,因此整块肌肉伸缩时总张力应为主动张力与被动张力之和,如图 1-2 所示。图中曲线 C 表示肌纤维收缩时长度变化-主动张力变化的关系;曲线 A 表示肌纤维被动承载时的长度变化-被动张力变化的关系;曲线 B 是曲线 C 与曲线 A 之和,表示总张力。就肌原纤维来说,其长度为 $1.7 L_0$ (L_0 是肌肉原长)时,粗丝和细丝完全无结合,则张力为零;随着肌肉长度的缩短,粗丝和细丝结合变多,张力逐渐变大,到全部结合时,张力达到最大值 P_0 (曲线 C 的顶点);当张力达到最大,肌肉再缩短时,由于细丝叠合后粗丝皱褶,张力则逐渐变小,当长度等于 $0.5 L_0$ 时,张力为零。

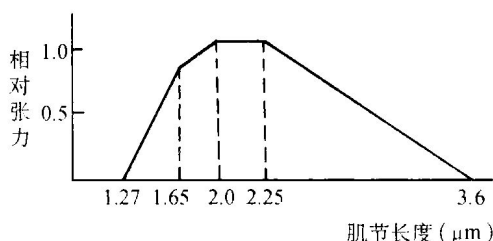


图 1-1 肌肉长度——张力曲线

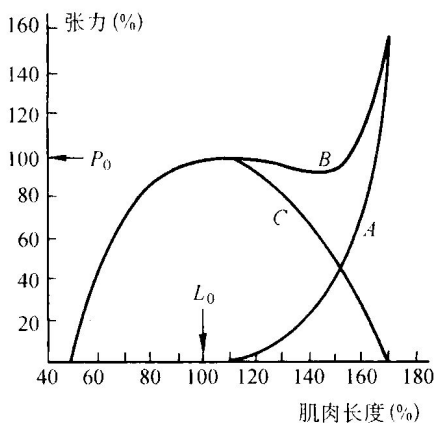


图 1-2 肌肉长度——张力关系曲线

(三) 肌肉张力和收缩速度的关系

关于肌肉收缩做功和产生热量的问题,希尔(Hill)做过大量的实验研究。肌肉收缩时所消耗的能量 E 用于两部分,一部分是做机械功,它等于负荷 P 与收缩距离 x 的乘积;另一部分是产生收缩热量 Q ,它等于 ax ,即 Q 与收缩距离成正比。 a 是比例常数,具有力的量纲,它等于肌肉收缩单位长度时所产生的热量。需要指出的是,对不同肌肉 a 值都一样, a 和负荷大小无关,但和肌肉的横截面积成正比,和温度有关。由上述可得

$$E = Px + ax = (P + a)x \quad (1-1)$$

对上式求导数,得

$$\frac{dE}{dt} = (P + a) \frac{dx}{dt} = (P + a)v \quad (1-2)$$

实验得出,当肌肉收缩时所消耗能量 E 的时间变化率 $\frac{dE}{dt}$ 随负荷减小而增大,且与肌肉所能提起的最大负荷 P_0 和实际负荷 P 之差成正比,设比例系数为 b (具有速度的量纲),则

$$\frac{dE}{dt} = b(P_0 - P) \quad (1-3)$$

由式(1-2) (并注意式中 $\frac{dx}{dt} = v$) 和式(1-3)可得

$$(P + a)v = b(P_0 - P) \quad (1-4)$$

将式(1-4)改写为

$$(P + a)(v + b) = (P_0 + a)b \quad (1-5)$$

式(1-5)是希尔最早提出的关于肌肉收缩的基本方程式,称为希尔方程式。它指出肌肉的收缩速度 v 随负荷 P 的增大而呈双曲线式地下降。

二、骨骼的力学性质

人体的骨骼系统是人体的支架,从力学的观点来看,它起着对抗重力、维持体形、完成运动和保护内脏等重要作用。因作用不同,骨的形态也不同,一般可分为长骨、短骨、扁骨和不规则骨。这里我们只讨论长骨的力学性质。

(一) 长骨的力学性质

长骨呈中空管状,多位于四肢,如股骨、胫骨、肱骨等。图 1-3 给出了三种湿润密质骨应力和应变的关系。由图可见当应变 $\frac{\Delta l}{l} < 0.5\%$ 时应力和应变有直线关系,即服从虎克定律,属于弹性体;当应变 $\frac{\Delta l}{l} > 0.5\%$ 时直线逐渐变成曲线,这说明增加应力所产生的应变比弹性体大得多;随着应力继续增加,当应变 $\frac{\Delta l}{l} = 1.5\%$ 左右时曲线会突然停止,这相应于骨断裂。骨断裂时的应力称为极限抗张强度。随着年龄的增大极限抗张强度的值有所下降,70 岁以上的老人与 20 岁 ~ 30 岁的人相比其值可下降 25% 左右,使骨变硬,这是老年人易发生骨折的原因之一。

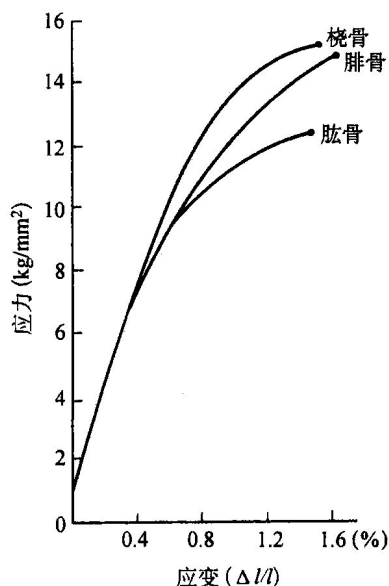


图 1-3 成人湿润密质骨
应力-应变曲线

(二) 骨骼的受力形式

人体的骨骼受不同方式的力或力矩作用时会有不同的力学反应,骨骼的变形、破坏与其受力方式有关。人体骨骼的受力形式可根据外力或外力矩的方向,分为拉伸、压缩、弯曲、剪切、扭转及复合载荷六种。

1. 拉伸 拉伸是指自骨的表面向外施加的载荷。如人体进行悬垂动作。骨骼在较大载荷作用下可伸长并变细,载荷增加到一定程度时可发生骨断裂。临床上拉伸所致骨断裂多见于松质骨,骨断裂的机制主要是骨单位间结合线的分离和骨单位的脱离。

2. 压缩 压缩是指加于骨表面大小相等、方向相反的载荷,如举重。骨骼最经常承受的是压缩载荷,压缩载荷能够刺激骨的生长,促进骨折愈合,较大压缩载荷作用可使骨缩短并变粗,骨组织在压缩载荷作用下破坏的表现主要是骨单位的斜行劈裂。

3. 弯曲 弯曲是指骨骼受到使其轴线发生弯曲的载荷作用。受到弯曲作用的骨,在其中性对称轴的凹侧受压

缩载荷作用,凸侧受拉伸载荷作用。对于成年人,骨骼破裂始于拉伸侧,这是因为成人骨骼的抗拉能力比抗压能力差。未成年人则首先自压缩侧破裂。

4. 剪切 剪切是指载荷施加方向与骨骼横截面平行。人骨骼所能承受的剪切载荷远低于拉伸和压缩载荷。

5. 扭转 扭转是指载荷(扭矩作用)加于骨骼并使其沿轴线产生扭曲。常见于人体或局部肢体作旋转时,此时骨骼受到绕纵轴的两个反方向的力矩作用。扭转载荷使骨骼横截面上每一点均承受剪切应力作用,切应力的大小与该点到中性轴的距离成正比。骨骼的抗扭转能力最小,