

医用物理学



人民衛生出版社

医 用 物 理 学

劉普和 吳幸生 合 編

人 民 衛 生 出 版 社

一 九 五 九 年 · 北 京

內 容 提 要

本书有重点地、理論結合实际地把力学、电学、光学、分子物理学和原子物理学中与医学有关的諸問題作了系統的論述例如大气压的生理作用、人体能量守恒問題、耳和听觉学說、眼的光学系統、生物电动势、神經傳导的生物物理問題、X射綫物理学以及医学中的放射性同位素等。此外，对于广泛在医学領域中应用的物理方法和重要仪器，如高频疗法、倫琴射綫疗法、显微镜、旋光計、心电描記器等也有論及。本书可作为医学院校学生和一般医师的参考书籍。

医 用 物 理 学

開本 850X1168/32 印張 17 插頁 4 字數 464 千字

刘普和 吳幸生 合編

人 民 衛 生 出 版 社 出 版

(北京書刊出版業營業許可證出字第〇四六號)

• 北京崇文區錢子胡同三十六號 •

北京西四印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行 • 各地新华书店經售

統一書號：14048·2004

定 價：2.80 元

1959年8月第1版一第1次印刷

1959年11月第1版一第2次印刷

(北京版) 印數：4,501-7,500

前 言

物理学作为医学的基础,虽应为医学准备一些具体知識,但其更重要的任务是要使学生对整个物质世界中的物理现象有一个全面的、統一的了解。物理学的内容是丰富的,因之在有限的学时内应着重闡明物理原理,至于这些原理在医学上具体而深入的应用就只能大略提及,有时还不得不从略。然而,医学生对物理学原理在医学上的实际应用无疑是感兴趣的。当然,学生对于物理学的实际应用有一定程度的了解是会加强他們学习物理原理的信心的,使他們在这一方面的要求得到一些滿足是我們編写这本参考书的主要动机之一。

其次,在文化革命和技术革命的高潮中,有些临床医务工作人员由于实际工作的需要,想补一补物理基础;而医学院用的物理学課本由于結合医学实际少,不够細致深入,不切合他們的要求,因而苦于无书可参考。这本参考书的編写是希望能稍許滿足他們在这一方面的要求。

任何在生物体内所发生的生物过程,都不可避免地要和其組織中所发生的物理或化学过程相联系,因之,說物理学是医学的基础也是恰如其分的。物理学和医学的联系极其广泛,不可能作全面的介紹,只能重点地說明某些物理原理在医学上的具体应用。例如,大气压的生理作用、人体能量守恒的問題、耳和听觉学說、眼的光学系統、生物电动势、神經傳导的生物物理問題、医学中的放射性同位素等。但在此应着重指出,尽管活机体服从物理規律,但作用于它的是更复杂的規律。由于物理規律是根据无机物推导出来的,因之只能相对地、有条件地、近似地应用于有机体。若以为物理規律能直接說明生物現象,那就大錯特錯了。

此外,在医学實踐中也广泛地用到物理方法和物理仪器。例如,高频疗法、倫琴射綫疗法、显微鏡、旋光計等。当然,要能有效地使用这些方法和仪器,就应通曉其原理,也只有在掌握了原理之后,才能熟练地使用这些方法和仪器,因之医学仪器的介紹也是本

，书内容之一。

为了使问题的实质突出，本书一般不用微积分，只要有代数、几何的基础就行，并尽量少用数学；叙述尽可能做到浅显易懂，说明希望能一气呵成；因之对较长或较深的数学推导或资料则编入附注或附录。本书分大小两种字体，小字的内容较深或较专门，一年级医学生可略而不看，也不会影响对全文的了解。再者，为了读者能看书中任一章而不致牵涉到其他章的内容，叙述就得从一般知识出发，逐步深入，有时还免不了和其他章中内容少许重复。总之，上述一些作法是为了读者能更好地了解问题的本质。

编者为了满足医学生和医务工作者的需要，冒昧地编写了这本参考书；虽然尽了主观上最大的努力，但由于所涉及的问题极其广泛，又为业务水平所限，因而不完善甚至错误的地方无疑会存在的，我们诚恳地希望读者随时提出批评和指正。

本书大部分承中国科学院生理生化研究所范世藩同志审阅，并提出许多宝贵意见，特此致谢。

编者 1959年2月

目 錄

第一章 骨骼、肌肉和杠杆	1
1. 固体的形变(1) 2. 骨的成份和力学性质(4) 3. 肌肉的成份和力学性质(7) 4. 人体中的杠杆作用(11) 5. 头、手、脚、胸、背、腿等处的杠杆作用(15)	
第二章 医学中的加速度问题	19
1. 惯性力(19) 2. 航空医学中的加速度(20) 3. 离心机原理(24) 4. 离心机显微镜(28)	
第三章 血流动力学	29
1. 理想液体的流动(29) 2. 粘滞液体的流动(32) 3. 不均匀液体(血液)的流动(37) 4. 血液循环(38) 5. 心脏做功(40) 6. 大动脉管壁的弹性(42) 7. 血流速度和血压(42) 8. 动脉压(44) 9. 静脉压(45) 10. 血压的量度(46)	
附录: 泊肃叶公式的推导	48
第四章 大气压强对人体的作用	49
1. 气体分子运动论(49) 2. 大气压强和呼吸(54) 3. 高压气对人体的作用(56) 4. 低压气对人体的作用(62) 5. 气压和医疗(65)	
第五章 液体的表面现象	66
1. 表面张力(66) 2. 拉普拉斯公式(69) 3. 液体的表面能(71) 4. 血球的表面能(73) 5. 吞噬作用(76) 6. 气体栓塞(76)	
第六章 渗透压与半透膜	78
1. 渗透和渗透压(78) 2. 渗透压的来源(80) 3. 渗透压的量度(84) 4. 董南平衡和渗透压(86) 5. 生物膜的渗透性(89) 6. 渗透压和体液交换(89)	
第七章 人体的能量转换和热之平衡	90
1. 概述(90) 2. 人体内能量的转换和守恒(91) 3. 体温的恒定(94) 4. 人体内的传热机制(94) 5. 人体的散热(96) 6. 夹感温度和湿度(103)	
第八章 人体电阻和触电	106
1. 电流的主要物理效应(106) 2. 人体电阻(108) 3. 人体导电(111)	

4. 触电問題(112)	
第九章 直流和脉冲电疗原理	115
1. 直流电疗法(115) 2. 直流电水浴(119) 3. 电解去毛法(120)	
4. 离子透入法(121) 5. 脉冲电流(124) 6. 脉冲电流发生器(126)	
7. 脉冲电流的应用(128) 8. 静电疗法(131)	
第十章 高频电疗的物理原理	134
1. 緒論(134) 2. 高频振荡发生器(134) 3. 透热疗法和电外科(139)	
4. 感应热疗法(143) 5. 电场热疗法(149) 6. 达松伐耳氏电疗	
法(155) 7. 結語(157)	
附录: 交流电路	158
第十一章 生物电势	166
1. 无极化电极(167) 2. 毫伏特計(169) 3. 电动势的渗透理論(172)	
4. 膜电动势(174) 5. 相界电动势(176) 6. 扩散电动势(176) 7. 氧	
化-还原电动势(179) 8. 流动电动势(180) 9. 电魚(182)	
第十二章 心电和心电图描記机	183
1. 引言(183) 2. 电偶极子(184) 3. 人体电场問題(188) 4. 心动	
电流的产生(189) 5. 心电图的各种导程(191) 6. 心电图淺釋(198)	
7. 心电图描記机(200) 8. 心电矢量图(203)	
附录一: 克希霍夫定律	204
附录二: 电子管放大器的原理	206
第十三章 脑电波与脑电波描記机	209
1. 引言(209) 2. 脑电波形淺釋(210) 3. 脑电波的来源(211) 4. 脑	
电波描記机(213) 5. 单极导程与双极导程(217) 6. 伪差(220)	
第十四章 神經傳导的生物物理問題	221
1. 神經細胞的結構(221) 2. 神經兴奋的引起(222) 3. 有关神經	
兴奋的一些事实(225) 4. 兴奋学說(226) 5. 神經冲动和电势变	
化(229) 6. 神經冲动的特征(231) 7. 电势变化的来由(236) 8. 神	
經冲动的傳导机制(238)	
附录: 阴极射线示波器	242
第十五章 耳和听觉学說	246
1. 声波(246) 2. 人耳結構(250) 3. 中耳放大作用(255) 4. 听觉	
学說(258) 5. 声强和响度(262) 6. 音調与頻率(267)	
第十六章 叩診和听診的物理基础	268

1.叩診的物理基础(268)	2.听診和体内声音(271)	3.听診器的作用(272)
第十七章 超声波及其应用		275
1.什么是超声波(275)	2.产生超声波的方法(276)	3.超声波的性质(283)
4.超声波的应用(287)		
第十八章 眼的光学系統		291
1.球面的反射与折射(291)	2.球面透鏡和柱面透鏡(296)	3.眼的結構(301)
4.眼的反射現象(302)	5.眼的折射現象(303)	6.眼的光覺(308)
7.眼的色覺(312)	8.眼的形覺和分辨本領(312)	9.双眼視覺和立体感(316)
10.对运动的感觉(317)	11.視幻覺(317)	12.眼的折射缺点及其补救方法(319)
13.眼鏡类型的簡易鉴定(327)		
附录: 三对基点作图法		328
第十九章 光学显微镜的放大率与分辨本領		330
1.放大鏡的造象与放大率(330)	2.显微镜的造象与放大率(333)	
3.物鏡(336)	4.光闌(349)	5.目鏡(353)
6.聚光器(357)	7.光的波动性和显微镜造象的关系(358)	8.紫外綫显微镜(362)
9.荧光显微镜(363)	10.紅外綫显微镜(364)	11.暗視野显微镜(364)
12.双筒显微镜(366)		
附录一: 显微镜放大率的推导		367
附录二: 显微镜的分辨本領		368
附录三: 全消球差透鏡		370
第二十章 几种專門显微镜的原理		372
偏光显微镜(372)		
1.关于偏光光学的知識(372)	2.偏光显微镜的原理(373)	3.干涉图案(374)
4.偏光显微镜的应用(375)		
位相显微镜(376)		
5.关于光的衍射現象(376)	6.位相显微镜的原理(378)	7.位相显微镜的部件(381)
8.位相显微镜的校直(383)		
干涉显微镜(384)		
9.干涉显微镜的光学系統(384)	10.干涉显微镜的原理(385)	
11.干涉显微镜的应用(388)		
电子显微镜(389)		
12.电子枪(390)	13.静电透鏡(390)	14.电磁透鏡(393)
15.电		

子显微镜的构造(396)	16. 电磁透镜的象差(398)	17. 电子显微镜的应用范围(398)
第二十一章 紫外綫与紅外綫		399
1. 光学的一些基本知識(399)		
2. 紫外綫与紅外綫的生理作用(401)		
3. 紫外光譜和紅外光譜(407)		
4. 紫外綫和紅外綫在照相上的应用(409)		
5. 紫外綫与紅外綫的光源(410)		
6. 結語(413)		
第二十二章 色觉学說簡介		413
1. 概論(413)		
2. 一些有关色觉的知識(415)		
3. 楊-黑姆霍茲的三色学說(416)		
4. 亥林的四色說(418)		
5. 賴佛的进化說(419)		
6. 色觉学說的展望(420)		
附录: 色度学		420
第二十三章 医学中的几种光学仪器		424
1. 檢眼鏡(425)		
2. 內窺鏡(426)		
3. 比色計(429)		
4. 旋光計(432)		
第二十四章 X射綫的发生和吸收		437
1. X射綫管(437)		
2. 电源和整流电路(440)		
3. X射綫的发生(444)		
4. X射綫的吸收(448)		
5. X射綫的量、强度和剂量(458)		
6. X射綫的質和貫穿本領(463)		
7. X射綫的熒光透視(467)		
8. X射綫照相(469)		
9. X射綫治疗的組織剂量(473)		
10. X射綫对有生命物質精微結構的分析(479)		
11. X射綫的防护(480)		
附录: 康普頓效应		481
第二十五章 医学中的放射性同位素		482
1. 放射現象的發現(482)		
2. 射綫的本質(483)		
3. 放射过程的規律(484)		
4. 放射系(489)		
5. 人为放射性現象(493)		
6. 射綫与物質的作用(495)		
7. 射綫的生物作用(510)		
8. 放射性同位素应用的原理与方法(514)		
9. 放射性同位素在医学上的应用(522)		
10. 射綫的防护(528)		
附录一: 放射性蜕变定律		531
附录二: 放射源的剂量率		532
主要参考文献		533

第一章 骨骼、肌肉和杠杆

1. 固体的形变

固体在外力作用下将发生形变，即改变其形状和大小。外力撤除后能够恢复其形状和大小的叫弹性体。能够完全复原的叫完全弹性体，完全不能复原的叫完全非弹性体。多数固体在某一限度内是近似完全弹性的，超过这一限度就不能完全复原了，这限度叫弹性限度。显然，弹性形变将随作用力的方向而不同，现讨论伸长和切变这两种较简单的形变。

(一)伸长形变：设图 1-1 所示为一均匀杆，其长为 L ，截面积

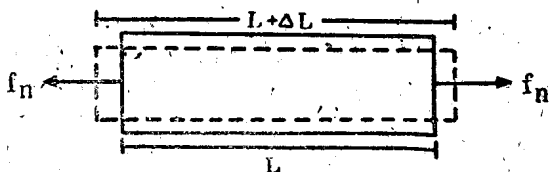


图 1-1

为 S ，在施于其两端的张力 f_n 的作用下，杆伸长 ΔL 。显然，杆越长，则伸长得越多。由此可见，能够表示杆之形变特征的不是杆之伸长 (ΔL) 的绝对值，而是单位长度的伸长 $\frac{\Delta L}{L}$ ， $\frac{\Delta L}{L}$ 叫应变。再者杆越粗，则所施之张力应越大，才能产生同样的应变。由此可见，确定应变大小的不是力 f_n ，而是单位面积上的力 $\frac{f_n}{S}$ ， $\frac{f_n}{S}$ 叫应力 (f_n 与 S 垂直)。虎克经过多次的实验，得出如下的定律：在弹性限度内，应力与应变成正比。由此可写出：

$$\frac{f_n}{S} = Y \cdot \frac{\Delta L}{L} \quad (1-1)$$

式中 Y 是比例常数，叫杨氏模量，其大小决定于物体的材料 (表 1-1)。此式虽由伸长导出，但也适用于杆之压缩，只要注意 f_n ，此时表示压缩力，而 ΔL 表示缩短就可以了。若所加外力超过弹性

限度，則外力撤除后，物体就不能形变。例如，用大于弹性限度的力拉物体，物体的长度将大于原来的长度。如果继续增大拉力，物体能被拉断，物体断裂时的应力

这种形变叫受范性形变。当外力停止后，物体仍保持这种形变，物体就可

表 1-1

物 质	弹性限度	极限强度
铝	10^8	15×10^8
白铜	15×10^8	$35-60 \times 10^8$
铁	18×10^8	$30-3.7 \times 10^8$
钢	$1-21 \times 10^8$	$34-41 \times 10^8$
腱(人)	—	$6.2-6.4 \times 10^8$
肌(人)	—	$0.55-0.4 \times 10^8$
骨(伸长)	—	$9-12 \times 10^8$
骨(压缩)	—	$3-10 \times 10^8$

(二) 剪切形变
种叫做
沿其
切变
有
面

均匀杆的伸长和压缩，現再討論另一种形变，即剪切形变。如图 1-2 所示，一个立方体的底面固定不动，当外力撤除后，立方体就立即恢复原状。应特別注意的是外力作用于頂面，并与頂面垂直。图 1-3 是立方体在剪切力作用下的形变，其底面固定不动，頂面发生位移 ΔX ，其形变角为 θ 。应力是 $\frac{f}{S}$ ，S 是頂面面积。至于应变則不能用

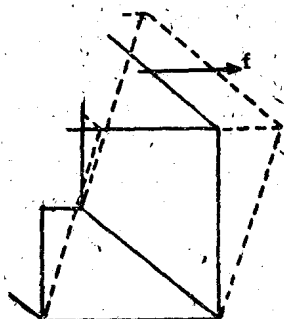


图 1-2

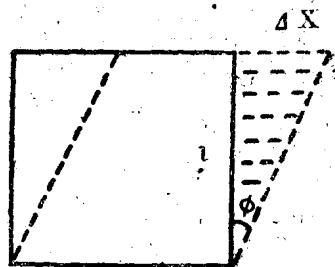


图 1-3

ΔX 的绝对值来表示, 因为若将立方体分为若干层, 则每一层向右移动的距离不等, 底面一层未动, 顶面动得最多, 其他各层的移动在二者之间如图 1-3 中虚线所示。尽管每一层向右移动的绝对值不等, 但各层的倾斜角却是一样, 因之可用切变角 φ 来表示应变。在一般情况下, φ 的值很小, 因之可用下式表示:

$$\varphi = \frac{\Delta X}{l}$$

式中 l 是立方体边长。我们知道虎克定律也适用于切变, 因之可写出下式:

$$\frac{f}{S} = n\varphi = n \frac{\Delta X}{l} \quad (1-2)$$

式中 n 是比例常数, 叫刚性模量, 其大小只与物体的材料有关。

(三)形变的说明: 我们知道, 真正的固体是晶体, 组成晶体的粒子(分子原子或离子)按一定秩序排列。各粒子间存在着斥力和引力。由于斥力随距离的变化快, 因之当两粒子间的距离小时, 二者的合力表现为斥力; 当距离大时则表现为引力。以此为基础, 我们就能说明形变了。当金属杆被牵引伸长时, 其中各粒子间的距离将随之增大, 这样在各粒子间就出现了引力以抵抗外加张力。当二者相等, 杆就不再伸长。当张力停止作用后, 则引力使杆收缩, 至恢复原状为止。反之, 当金属杆被压缩时, 其中各粒子间的距离将随之缩短, 这样一来, 在各粒子间就出现了斥力以抵抗压力。当二者相等时, 杆就不再缩短。当压力停止作用后, 则斥力使杆伸

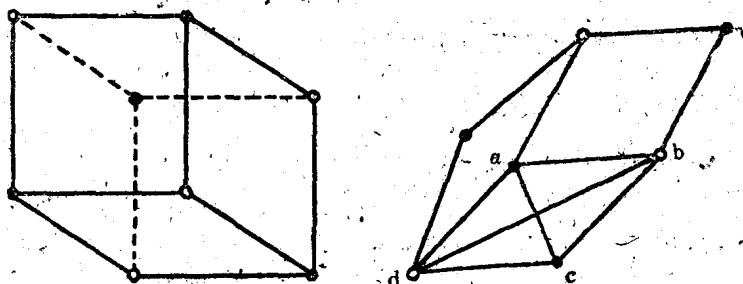


图 1-4

长,直至恢复原状为止。至于切变,則可用图 1-4 的岩盐立方晶系來說明。图中●表示鈉离子,○表示氯离子。左边是沒有受到切力时的情况。在受到切力作用后,立方体变成了斜方体(图 1-4, 右), 对角綫 ac 縮短了, 对角綫 bd 則伸长了。結果是在离子 a 和 c 之間出現了斥力, 而离子 b 和 d 之間則出現了引力。这些力有使晶体恢复原形的趋势, 这就是彈性切变发生的原因。

2. 骨的成分和力学性質

骨骼是身体的支柱及运动裝置的被动部分。骨并不重, 但能承受很大的各种形式的应力。骨主要由骨胶原、骨粘蛋白等有机物和磷酸鈣、碳酸鈣等无机物組成。前者組成網状物, 后者則填充在其內外, 正象鋼筋水泥結構一样。如将新鮮骨浸在盐酸中, 則骨中矿物盐就会溶解, 剩下的只有有机物。經過这样处理后的骨, 和橡皮一样, 可以随意弯曲, 甚至打結。若将骨放到火中去燒, 把有机物燒掉了, 剩下的就只有无机物, 此时骨仍可保持原形, 但极脆弱。由此可見, 骨中有机物和鋼筋一样, 使骨具有彈性, 矿物盐則和水泥一样, 使骨具有堅固性。

小孩骨内有机物較成年人的多, 有些骨結構含有軟骨, 然后随年齡的增长而逐漸骨化。这类軟骨对小孩起着保护作用, 因小孩容易跌跤, 一般跌跤的結果只是軟骨暂时变形而不是骨折。老年导致骨中有机物的退化, 因之老年人骨中无机物較多, 較硬但脆弱, 容易发生骨折。

骨因其功能和地位的不同而有各种不同的形状和大小。从力学的观点来看, 比較值得注意的是軟骨和管状骨。管状骨的两头和有些关节内有軟骨, 其作用是使兩骨間的接触更加密切。此外脊柱是椎骨和軟骨垫組成的, 后者使脊柱具有柔韌性, 使它在人跳跃及跑步时具有彈簧与緩冲震动的能力, 以减免大脑受到震动, 因之軟骨在此起着彈簧作用。沒有軟骨, 則大脑极易震坏, 甚至步行也得小心翼翼, 由此可見軟骨的重要性。还应附帶指出, 由于軟骨是可压縮的, 因之人在傍晚时的身高每每比清晨的要矮一点。

四肢的大多数骨如股骨、肱骨、胫骨等, 都是管状骨。試以股骨为例來說明其构造。股骨中部是圓管状的骨干, 兩头有肥大的

末端，叫做髓。骨干的腔壁和髓外面，由骨密質組成。髓的骨密質下有比較粗松的骨松質，松質由粗細不同的骨小梁構成，骨小梁是按一定嚴密次序排列着的（圖 1-5）。怎樣從力學觀點來說明這些

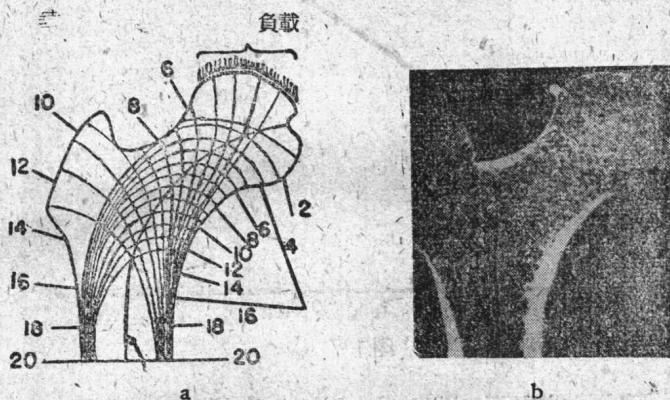


圖 1-5：縱綫是骨小梁組成的壓力綫，橫綫為其組成的張力綫。

情況呢？(1)我們知道，管狀骨如股骨、脛骨等的主要作用是擔負重量。由於骨是通過兩端傳遞壓強的，而骨與骨的接觸不可能每點都密合，所以，為了保證兩端所承受的壓強和骨干的一樣，兩端就應較中部肥大些。任何建築的支柱都是兩頭粗，也是這個道理。

(2)圖 1-6 示一橫梁在負荷下的彎曲情況。由圖可見，上層縮短，下層伸長，中層未變；在上層出現斥力，在下層出現引力，中層沒有力的作用，可見負荷對中層並不起作用，因而是可有可無的。若將它挖出，既不會影響負載，又節省了材料，管狀骨中空以及自行車的支架由管構成，就是利用這個道理。

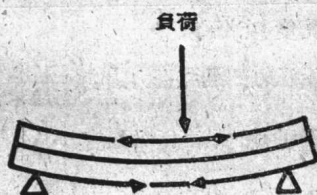


圖 1-6

在壓力作用下產生的形變是否服從虎克定律呢？有人用股骨做過實驗，結果如圖 1-7 曲綫所示。由圖可見，股骨在相當大的範圍內近似地服從虎克定律。在生物物質中，骨的這種性質是比較特殊的。當然，骨除受到壓力外，還可受到張力、切變力等。現將以人之脛骨作試驗樣品所得出的結果列於表 1-2。為了便於比較，還

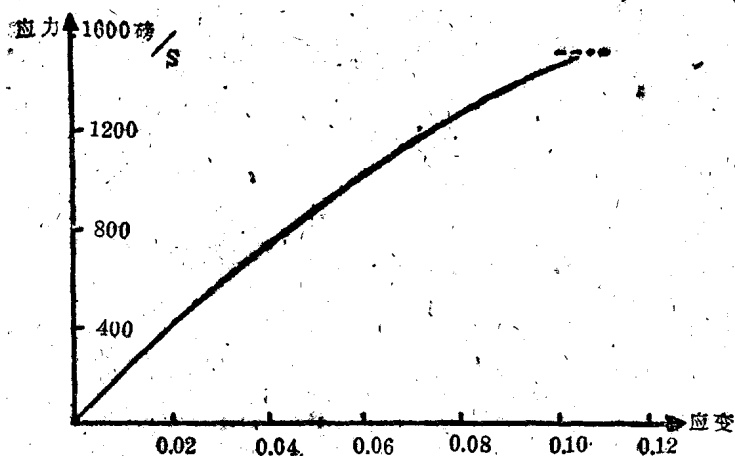


图 1-7

同时列出了鋼、花崗石、洋松等的相应数值。显而易见，骨作为人体的建筑材料是合乎理想的。它相当輕，而在各种規格上仅次于鋼，并且相差也不太；但比花崗石和洋松則好得多。(4)由表可見，

表 1-2

	鋼	骨	花崗石	洋松
密度(克/厘米 ³)	7.8	1.92—1.99	2.6	0.63
沿縱軸的最高張力强度($\frac{\text{千克重}}{\text{厘米}^2}$)	4240	930—1200	50	64.5
沿縱軸的最高压力强度($\frac{\text{千克重}}{\text{厘米}^2}$)	4240	1270—2100	1350	424
平行縱軸切变强度($\frac{\text{千克重}}{\text{厘米}^2}$)	—	505	—	—
垂直縱軸切变强度($\frac{\text{千克重}}{\text{厘米}^2}$)	3510	1190	141	106

骨对縱向压縮的抵抗最强，这一事实表現在骨小梁的严密排列秩序上，即骨小梁的方向和最大压縮力的方向一致，另一些則和張力的方向一致，承受压力的骨小梁所排成的曲綫和承受張力的骨小梁所排成的曲綫是互相垂直的(參看图 1-5a)。这样的結構使得骨能用最少的骨質材料而得到最大的堅韌性。用干涉显微鏡能显示

是和骨軸平行的，用这事实就能說明为什么
此横向的小（表 1-2）。这和一把筷子順着筷子容
折断就要困难得多的道理一样。还应指出，冲力和
所引起的張力分布虽然一样，但效果不一样，二者相
在骨中所引起的变化較大，也就是骨对冲力的抵抗較

过骨的力学性質之后，应着重指出：尽管骨的构造和
力学的要求，但切不可认为力学的要求就是骨之构造和
一决定因素。骨的发生和生长还受人体整个发展的影

肌肉的成分和力学性質

肌肉有平滑肌、心脏肌、橫紋肌三种，其中作为人体强而有力
的器官的是橫紋肌。我們四肢、头頸及軀干的肌肉都是橫紋
肌。橫紋肌的单位是肌纖維，每一肌肉有好多肌纖維，多則肥大，
少則瘦小。肌纖維外有薄膜，叫肌膜，內有肌漿及肌小纖維。肌漿
滿于肌小纖維四周，肌小纖維呈橫紋，因而叫橫紋肌。橫紋肌一
含有大量运动单位，每一运动单位由或多或少的肌纖維組成。

肌肉作为一种器官，其机能是收縮。当它受到刺激时就出現
張力。至于肌肉实际上是否縮短，則决定于阻力的大小。如果肌
肉縮短，則將使其附着之骨运动作正功。此时阻力的大小未变，因
之把这种收縮叫做等張收縮（其实阻力不变的情况是很稀少的）。
当肌肉所生張力不足以克服阻力时，它將保持原来长度，对外不作
功，这种收縮叫等长收縮。此外，一肌肉可能使出全部力量，但不
仅不縮短反而伸长。例如，用手臂提一件力不胜任的重物，此时重
物当然会下降，那么肌肉作的就是負功，因力与位移的方向相反，
这种收縮叫伸长收縮。討論肌肉收縮时，还应指出一很重要的事
实：它不同于彈簧，肌肉收縮后不能自动地伸长，要加外力才能伸
长。因之某一肌肉的收縮只能完成某項动作，例如，手臂的弯曲；
与之相反的动作（手臂的伸直），該肌肉就无能为力，得靠另一肌肉
或肌群来完成。肌肉在外力作用下能伸长，但肌肉的伸长是否服
从虎克定律呢？有人用蛙的腓腸肌做过实验，得到图 1-8 所示的

曲线。由图可见，伸长并不与外力成正比，即不服从虎克定律。而是外力越来越大时，伸长的增加率就越来越小。

(一)肌肉收缩做功：物理学中有关功的定义也适用于肌肉，即功等于位移方向的分力和着力点位移的乘积。这里的力是指肌肉的张力，位移指肌肉的收缩。我们知道，人体肌肉有强有弱，那是因为运动单位配置不同的原故。图 1-9 中示三种不同的配置，小人代表运动单位。若要有较大的伸缩，则运动单位串联的多，肌肉就细而长；左图是纤维并行的长肌（缝匠肌），此时的

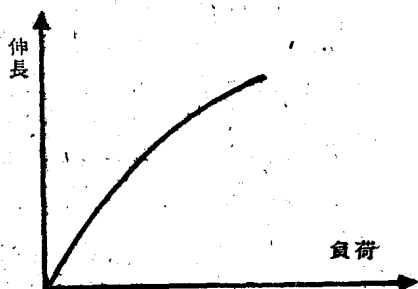


图 1-8

图 1-9 中示三种不同的配置，小人代表运动单位。若要有较大的伸缩，则运动单位串联的多，肌肉就细而长；左图是纤维并行的长肌（缝匠肌），此时的

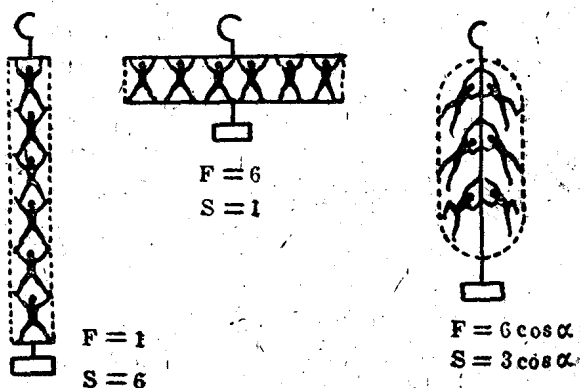


图 1-9

张力 F 为 1，而收缩 S 为 6（设每一运动单位的力为 1，收缩也为 1）。若要有较大的张力，则运动单位并联的多，肌肉就短而粗。中图是纤维并行的短肌，此时张力 F 为 6，而收缩 S 为 1。右图是羽状肌（腓骨肌），其运动单位斜行穿插于腱中。这种肌可能很长，但和短肌一样仍能产生很大张力和很小位移，此时的张力 F 为 $6 \cos \alpha$ ，而收缩 S 为 $3 \cos \alpha$ 。以上说明，不同肌肉可能强弱不同。