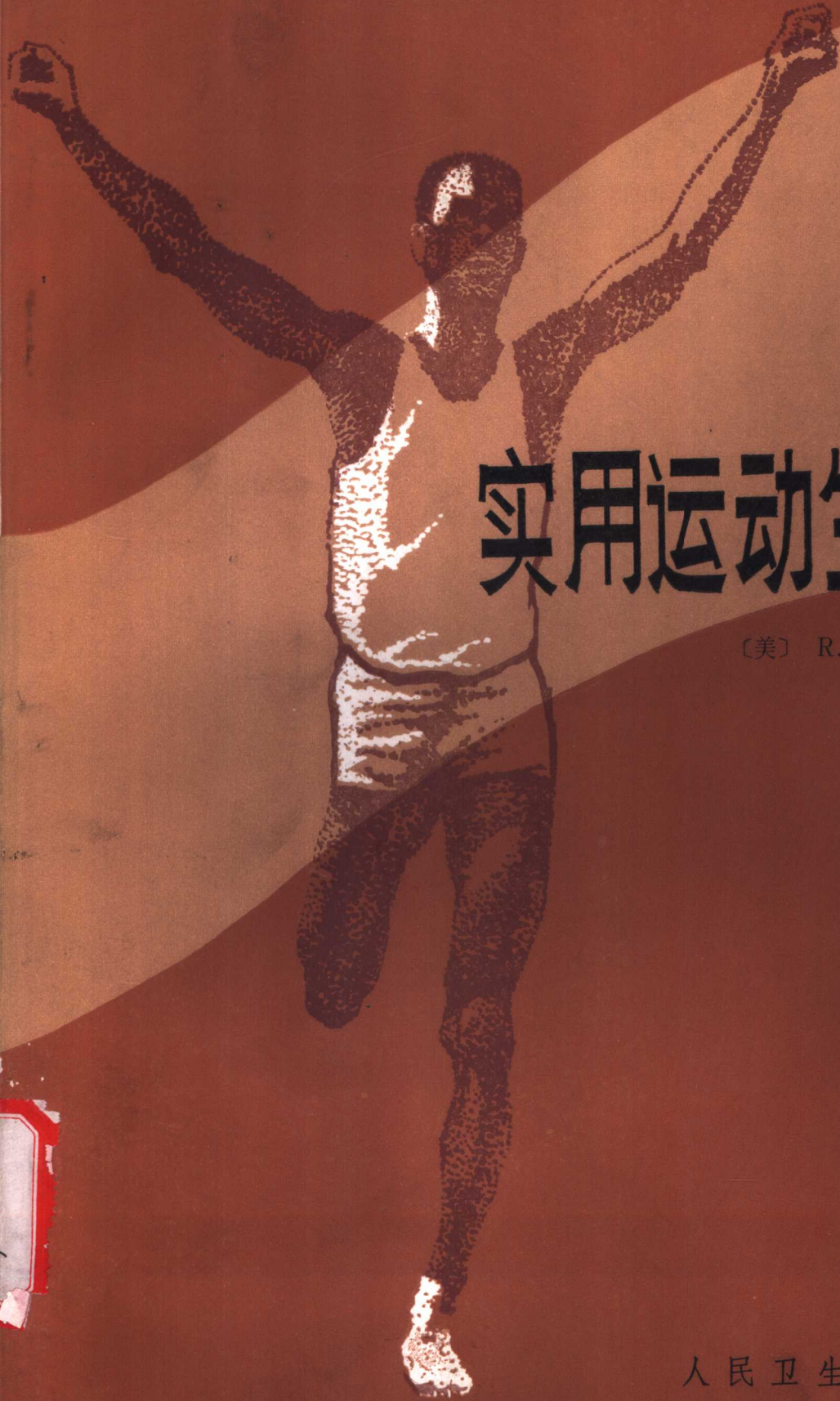




实用运动生理学

〔美〕 R. A. 伯 杰 著

人民卫生出版社

内 容 简 介

本书介绍了运动和劳动时,人体一些重要器官、系统的结构和机能的变化及其活动的相互联系。作者根据运动生理学的基本理论紧密联系实际,提出了对运动员的训练原则和对身体素质的评定。全书共分7章,即(1)劳动和运动时骨骼肌的结构、机能和力量;(2)肌肉耐力与能量;(3)肌肉活动的控制;(4)劳动和运动中的心脏;(5)劳动和运动中的循环系统;(6)劳动和运动中的呼吸系统;(7)反映生理机能的身体素质评定。可供体育工作者、运动员和教练员、医学和生物学有关专业的师生参考。

Richard A. Berger

APPLIED EXERCISE PHYSIOLOGY

Lea & Febiger Philadelphia 1982

实用运动生理学

〔美〕 R. A. 伯杰 著

周 石 周 安 周佳音 译校

人民卫生出版社出版

(北京市崇文区天坛西里10号)

北京顺义寺上印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米16开本 15.4印张 340千字

1985年4月第1版 1985年4月第1版第1次印刷

印数: 00,001—9,300

统一书号: 14048·4911 定价: 3.20元

〔科技新书目 89—62〕

译 者 序

《实用运动生理学》是由美国坦普尔大学体育系生物力学研究室的运动生理学R. A. 伯杰教授编著的。鉴于国内有关这方面的中文书籍甚少，而需求的读者很多，因而促使我们翻译了这本书。

这本书属于基础运动生理学一类的参考书。它的特点是，内容较新颖，重点突出，理论结合实际，文字通俗易懂。在每章结尾都以训练原则的方式对该章加以概括讨论，并且附有较新的文献以资参考。本书的前三章主要介绍了骨骼肌在运动中的各种机能和变化，如肌肉的机能和力量、耐力和能量供应，以及神经系统对肌肉活动的控制。第四至六章则着重介绍在运动中心血管系统和呼吸系统所发生的生理变化，以适应人体在运动中的需要。最后一章则试图从运动生理学的角度来探讨对身体素质的评定和提高运动成绩的可能措施。书中有少数内容与国内的传统生理学概念不一样，我们未做更动。

本书系由北京体育学院周石讲师、北京师范大学周安同志参加翻译，北京医学院周佳音副教授翻译了部分内容并负责审校。在译校过程中，国家体委科研所张丽同志和北京体育学院有关专家对书中的一些专用术语和名词提出了宝贵意见，特此表示谢意。

限于译者的业务水平和经验不足，译误之处在所难免，恳请读者批评指正。

译 者

1983年11月于北京

原 序

人体在各生理系统的相互作用下完成各种生理机能。它们之间的相互依赖关系好比一个交响乐队，不同的器官系统就象是各种乐器，高位脑中枢就象是乐队指挥。有些乐章和乐谱需要整个乐队合奏；有时则需要以一件或两件乐器的演奏为主。但整个演奏的节拍和旋律都离不开乐队指挥的带领。

本书重点是介绍体内的某些特殊的“乐器”和它们在“乐谱”中的独特作用。这些比作乐器的器官系统包括骨骼肌、神经系统、心血管系统和呼吸系统。不同的体力活动和运动构成了不同的“乐谱”。实现运动的发起者是高位脑中枢，它协调和控制着参与运动的器官系统。就象乐队指挥必须了解各种乐器的性能一样，运动员也应该知道自己的各器官系统在运动时的能力。

然而，这本书的目的不仅仅是专门为运动员写的，同时也包括他（她）们的教练和从事保健的工作者。本书主要的读者对象是体育工作者、运动员的教练员、理疗师、疗养院的医师和医生。为了重点介绍运动中生理系统的变化及训练对它们的影响，¹我在这方面做了专门的论述。对受运动影响较大的器官系统，本书还介绍了它们在运动时和安静时的结构和机能变化。书中内容都是比较基础的知识，学生并不一定非得有很深的生理学知识才能看懂。当然学过一些解剖学和生理学基础课程对于理解各个器官系统总的相互依存的关系会有很大裨益，尽管这些内容不一定与运动有直接的关系。

书中主要涉及的器官系统有骨骼肌、心脏和循环系统、神经系统和呼吸系统。每个系统都写成一章，使学生能够集中了解它们的独特特点。但是，各章内容同时也有互相重叠之处，以便说明各系统之间的相互关系。在每章结尾都有一节介绍增进或改变运动能力的原则。这些原则都是从生理学、特别是从运动生理学的专门研究中收集而来的。

本书最后一章则将各个器官系统联系在一起，着重阐明它们在竞赛和运动中的相互影响。书中还提出了身体素质的模式，帮助那些对分析整体活动有兴趣的人能更容易地理解人体各个组成部分的作用。最终使人们能更有效地和更确切地估价和评定身体的素质。

Richard A. Berger

(周佳音 译)

目 录

第一章 劳动和运动时骨骼肌的结构、机能和力量	1
骨骼肌的大体结构和机能	1
肌肉收缩	8
运动单位的动员	12
影响肌肉力量的因素	13
决定力量的因素	16
重负荷运动对肌肉、骨骼、韧带和软骨的影响	21
肌肉力量与运动速度	23
超负荷原则与肌肉力量	27
等长性、异力性和等力性训练	31
训练原则	37
第二章 肌肉耐力与能量	39
运动中的能量	39
糖类、脂肪和蛋白质的代谢	40
运动中的代谢	42
代谢的激素调节	48
运动的能量消耗	54
营养与运动	58
肌纤维中的能量	63
局部肌肉耐力	66
训练原则	67
第三章 肌肉活动的控制	69
神经元	69
突触	71
中枢神经系统	75
脑	76
脊髓	80
外周神经系统	81
训练和比赛中的运动能力	99
训练原则	104
第四章 劳动和运动中的心脏	107
心脏的结构和机能	107
心脏冲动的传导	111
安静和工作时心脏的活动	114
心输出量的调节	117
心脏的能量供应	126
运动时的心脏	127
训练原则	135

第五章 劳动和运动中的循环系统	136
血液	136
水和电解质的生理机能	136
循环系统	139
小动脉中血流的控制	145
体循环动脉血压的调节	146
安静时和运动时的血压	149
运动中血液的分配和血量	151
循环在体温控制中的作用	152
运动和劳动中的热量	154
训练原则	160
第六章 劳动和运动中的呼吸系统	162
呼吸系统的解剖	162
肺内气体的交换	163
肺泡通气	166
肺通气	167
肺内气体交换	170
血液中的氧运输到组织	175
呼吸的控制	177
大气压力和运动能力	181
吸氧与运动能力	187
训练原则	188
第七章 反映生理机能的身体素质评定	189
身体素质的组成成分	189
身体素质的模式	191
与各种身体素质成分有关的生理机制	193
身体素质成分的测定	196
身材大小和结构与身体素质成分和运动项目的关系	203
身体素质的评定	205
身体素质成分在运动项目中的重要性	207
运动训练的安排	211
参考文献	214

第 一 章

劳动和运动时骨骼肌的结构、机能和力量

人体的全部运动都是由肌肉牵动骨骼发生的。肌肉具有能够在短时间内产生很大的力量，或者在长时间内保持一定力量的能力，这是由于肌肉能根据需要而改变其能量的消耗。一块正在工作的肌肉所产生的能量可比安静水平增加50倍。但是，要保持这种高度的产能水平，就必须使肌肉组织利用氧的增加与身体排出热和二氧化碳的增加达到相应的平衡。在劳动或运动中身体发生各种反应的目的，就是为了保持肌细胞中的化学和物理平衡。对保持细胞平衡特别重要的器官有：肺——供氧并排出二氧化碳；心脏——将氧合的血液和营养物质泵到全身；血管——将血液运输到所有组织。而使这些器官发挥机能作用所需要的力量都是由肌肉组织提供的。体内肌组织有三种：平滑肌、心肌和骨骼肌。这些组织的机能（生理学的）、结构（组织学的）、部位（解剖学的）和神经支配（神经学的）各自不同。本章主要探讨在劳动和运动中骨骼肌的活动。

骨骼肌的大体结构和机能

骨骼肌约占体重的40~45%。肌组织的细胞称为肌纤维，呈圆柱形，直径10~100 μ m，长度可达30厘米或更长。每条纤维包绕着薄而坚韧、有弹性的膜，称为肌纤维膜。肌纤维膜下有许多细胞核。细胞核是所有细胞都含有的原生质的中央团块，由调节细胞代谢和机能的复杂蛋白质组成。肌纤维膜紧包着细胞质。细胞质即核外的原生质。贴在肌膜外面的结缔组织称为肌内膜（图1-1）。大量的肌纤维并在一起形成肌束，肌束外面又包有一层结缔组织，称为肌束膜。这些肌束再合并在一起，由肌外膜所包绕。后者就构成了一块块的肌肉，例如二头肌或三角肌等。

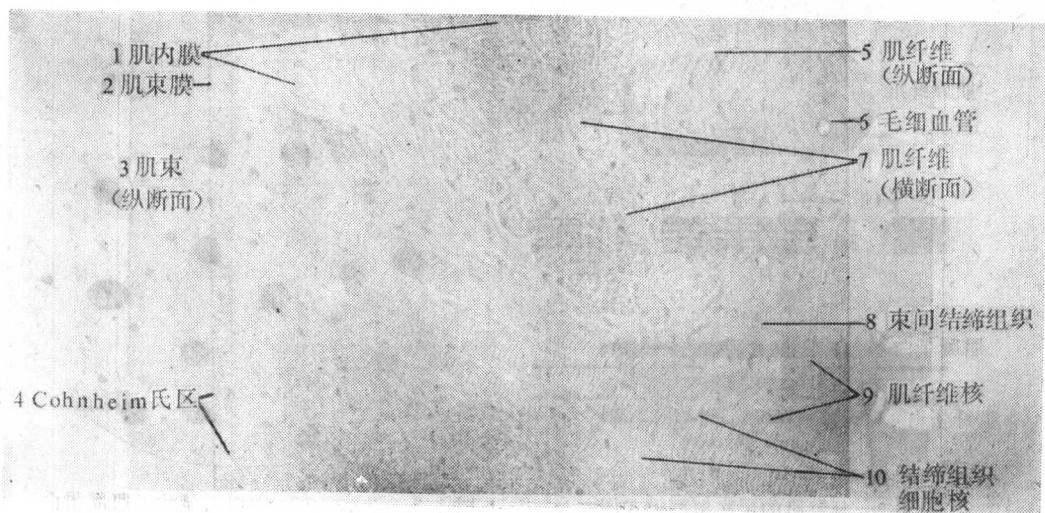


图 1-1 肌纤维及其组成

在细胞的肌浆中有一些叫做肌原纤维的细丝，每条肌纤维中有几百到几千根不等。肌原纤维的直径约 $1\sim 2\mu\text{m}$ ，纵贯肌纤维全长，占肌纤维体积的 80% 左右。肌原纤维是肌纤维中的可收缩成份。

肌原纤维

在电子显微镜下观察，可见肌原纤维上从头至尾都有由明带和暗带交替出现而形成的横纹。这些带由两种蛋白丝构成：称作肌纤蛋白的细丝和称作肌凝蛋白的粗丝。两种肌丝的重叠部份形成了暗带，而明带仅是肌纤蛋白丝形成的。这种结构可参看图 1-2。图中从一块骨骼肌一直解剖分离到肌原纤维。注意暗带上标着“各向异性”，或 A；明带上标着“各向同性”，或 I。在每段 I 带的中部有一个较致密的部份，即所谓 Z 线。两个 Z 线之间的部份称为一个肌节。静息时肌节的中部，也就是 A 带的中部，有一个较明亮的部份叫 H 区。明带和暗带的出现是两种肌丝纵向排列情况不同造成的。粗丝位于 A 带，细丝占居 I 带和 A 带的一部份。两种肌丝的重叠形成了暗带，而明带仅含有细丝。这些肌丝实际上是些杆状的蛋白：粗丝是肌凝蛋白，细丝是肌纤蛋白。图 1-3 是肌原纤维的横切面，表明了一根肌凝蛋白丝与六根肌纤蛋白丝之间的关系，它们形成了六角形。而每根肌纤蛋白丝又参与另一些肌凝蛋白丝周围的六角形。

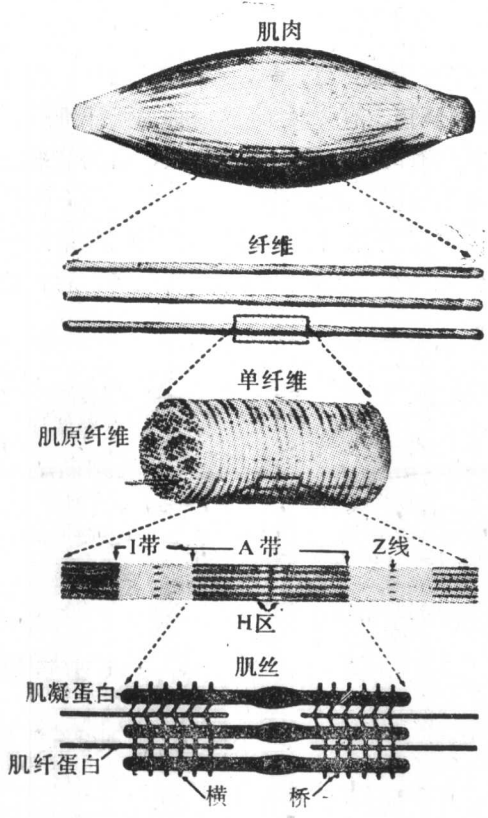


图 1-2 骨骼肌的层次解剖模式图

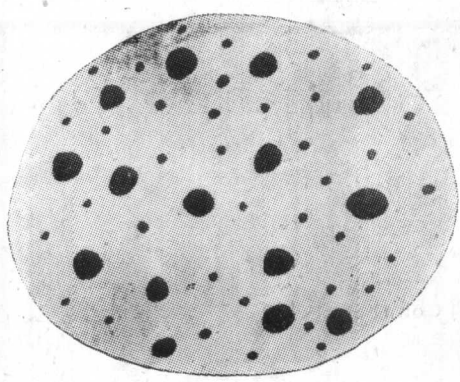


图 1-3 肌原纤维的横切面显示出肌凝蛋白丝与肌纤蛋白丝之间的六角形关系

肌浆

肌纤维的原生质称为肌浆。实际上，所有生命物质都是由原生质构成的。它们组合成显微镜下所见的颗粒（细胞），组成人体结构。每种细胞都有自己独特的结构，与它们在体内的机能作用有关。但各种细胞的原生质也有一些共同的特性：

1. 组成特殊形状和大小不同的单位。
2. 具有依靠各种化学活动维持或增加原生质并且使能量从一种形式转变为另一种形式的功能。
3. 能够移动。
4. 对外来刺激发生反应。
5. 靠体积和数量的增加而生长。
6. 有再生的能力。
7. 能适应外部环境的变化。

肌细胞的原生质，即肌浆，含有完成肌肉机能所需的各种结构。肌细胞含有大量肌原纤维，这对收缩是必不可少的。另外，肌细胞还含有大量的线粒体，在其中发生化学反应以产生三磷酸腺苷（ATP），这是所有肌肉收缩的能量来源。肌浆中还有其它一些重要的物质，如钾、镁、磷酸盐和蛋白酶等。

肌质网和T小管系统

细胞在维持其生命和机能的过程中需要有各种物质的输入和排出。进行这些转运活动有两套结构系统：横小管系统和肌质网。横小管系统，或称T系统，是肌膜深度凹陷到肌纤维内部形成的。物质通过这一系统转运到肌质网。肌质网是一些与肌原纤维平行排列的细管道，并可互相融合形成包绕肌原纤维的囊（图1-4）。为收缩提供能源的营养物质可从细胞外液经过这些小管道转运到肌原纤维内。当细胞经一系列化学反应利用了这些营养物质后，所产生的废物又经肌质网和T小管排放到细胞周围的液体中。肌质网小管和T小管系统还将电流从肌膜传到纤维内部，以触发肌肉收缩。

收缩机制

当肌纤维长度变短时，A带长度保持不变，而I带缩短。这是肌纤维蛋白丝相对滑动的结果（图1-5）。在最大收缩时，Z线可触到A带，肌丝在H区会有轻度的卷摺。肌原纤维中肌纤维蛋白丝和肌凝蛋白丝的滑动可以用收缩的交错对插或棘齿学说（interdigitation or ratchet theory of contraction）来解释。这种学说认为，肌凝蛋白丝的从杆部伸出并与肌纤维蛋白丝接触的原生质部份，向着A带中心部移动，同时使肌纤维蛋白丝随着一起移动（图1-6）。用电子显微镜观察完整的肌节所得的结果给这一学说以有力的支持。这一最早提出的学说，试图解释肌凝蛋白丝的向外伸出部份或横桥的运动。推测在静息状态下，肌凝蛋白丝的横桥上结合有分解时会放出能量的ATP，ATP的负电荷受到肌纤维蛋白丝上同性电荷的排斥，结果两种肌丝保持相互分离的状态。然而，当肌膜传来兴奋波，并经肌质网和T小管传到肌原纤维内部的时候，情况就改变了。此时钙离子从肌质网中释放出来，并与横桥上的ATP相结合，中和了它们的负电荷。之后肌

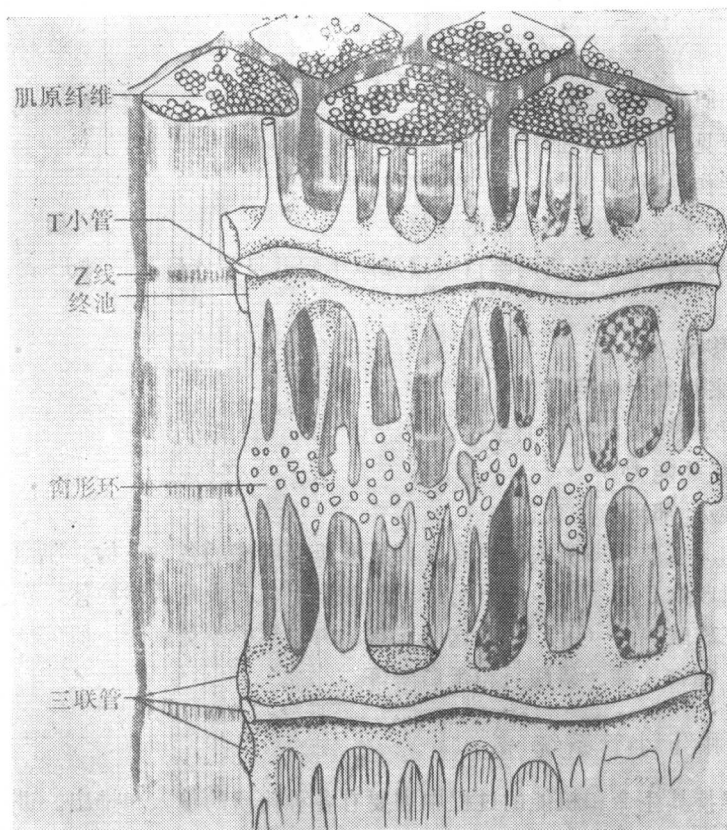


图 1-4 单根骨骼肌纤维中肌质网与T小管系统之间的关系

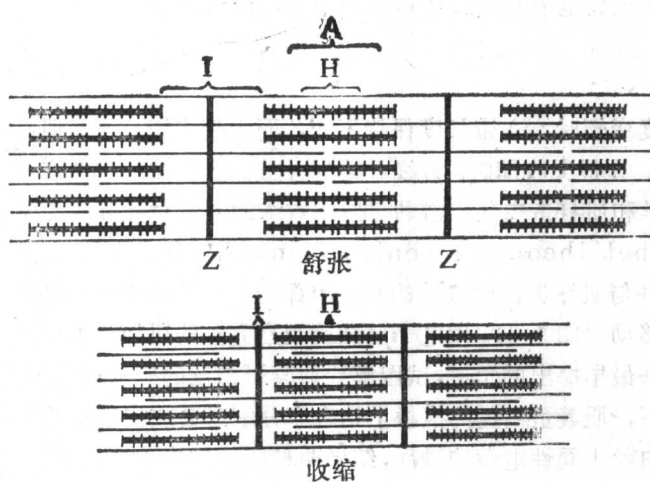


图 1-5 骨骼肌和心肌收缩时肌纤蛋白丝的滑动

凝蛋白与肌纤蛋白相接触，由于肌凝蛋白丝的杆部带有负电荷，横桥就被吸引并朝杆部的方向弯曲。当横桥折向杆部时，其上的 ATP 与杆上的酶接触，使 ATP 分解成二磷酸腺苷 (ADP) 并释放出能量。结果肌凝蛋白横桥又带上了负电荷，于是与肌纤蛋白丝分离。几乎同时，从其它来源产生的能量使 ADP 又形成 ATP。如果兴奋波不断使钙离子释放出来，这种循环就不断重复。肌凝蛋白丝的横桥并不能同时都对肌纤蛋白丝发生作用。当一些横桥拉动肌纤蛋白丝时，另一些可能刚完成活动处于静息位置，以准备下一次活动。横桥与肌纤蛋白间持续的不同步的活动就产生了平滑的肌肉收缩。

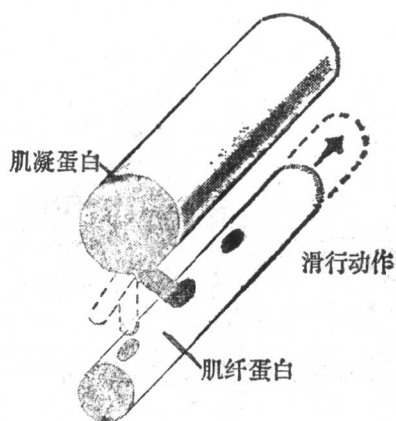


图 1-6 肌凝蛋白丝的横桥与肌纤蛋白丝交错对插引起肌肉缩短

腱

几乎所有的横纹肌都是经由腱固定在骨骼上。腱是一种致密的、由白色纤维状物质构成的结缔组织。纤维贯穿腱的全长并汇集成小束，称为腱束。腱束又合成更大的束，由叫做腱鞘的结缔组织包在一起。束间存在有腱细胞。腱中有血管、淋巴管和神经分布。腱的纤维附着在肌纤维膜上。腱有很大的强度，它们比肌肉甚至比骨更不容易被撕裂。

肌肉的血液供应

剧烈运动时，流经骨骼肌的血量可增加到安静时的 20 倍。此时所有的肌毛细血管（血液与组织间发生物质交换的极小血管）都开放，（安静时仅开放 10 %）。但是由于肌肉收缩，血流并不稳定。由于血管所受到的压力不同，在两次收缩之间血流增加，而在收缩期中血流减少。在收缩结束后的一两分钟内，血流仍保持较高水平，之后逐渐减少。

工作肌的血流量显著增加是对肌肉中微动脉（连接毛细血管的血管）局部作用的结果。显然，肌组织中和其周围液体中含氧量的下降能经某些途径刺激肌束膜中的微动脉，使其舒张。同时，其它一些血管舒张物质也在肌收缩时释放出来。运动时通常发生的动脉血压升高，也会引起血流增加。

到肌肉的血流也受神经的调节。甚至在血管受到局部舒张调节之前，大脑运动皮质发起肌肉活动的同时就已兴奋了支配工作肌的舒血管神经纤维，使其血管舒张。因此，在肌肉活动开始时就相应的增加额外血流。

肌肉的神经支配

每条肌纤维都受神经支配，但许多肌纤维是受同一个神经细胞或称神经元支配的。神经纤维膜看起来与肌纤维膜是连续的（图 1-7）。在肌纤维上，神经分枝的末梢包埋在肌纤维膜下的肌浆中。每条肌纤维可以接受一个以上神经元的刺激，但大多数肌纤维仅

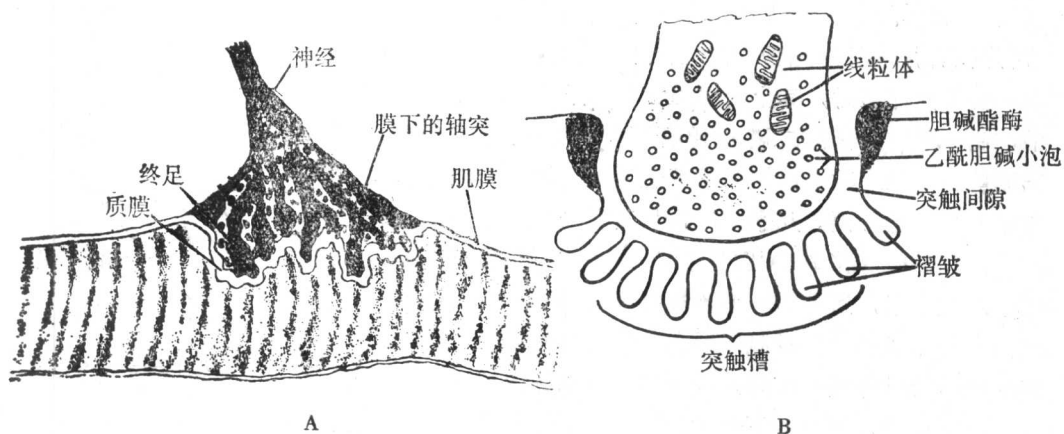


图 1-7 A、神经肌肉接点 B、肌纤维膜附近的终足

受一条神经纤维的刺激。每个位于脊髓前角的神经细胞体发出一根神经纤维，或称轴突，一直延伸到它所支配的肌肉。每根轴突又分成数个至 150 个以上的分枝。每个分枝终止在一条肌纤维上。

运动单位

神经元的轴突及其所支配的全部肌纤维称为一个运动单位（图 1-8）。同一个运动单位中的肌纤维并不是一根挨一根地排列在一起的，而是分散在整块肌肉中。并且，由于支配它们的神经纤维分枝的长短不同，当运动神经受刺激时，在整块肌肉中的很大范围内肌纤维的收缩是不同步的。同一块肌肉（如二头肌、三头肌）中的各运动单位也是不同步活动的，因为它们兴奋的时间不同。

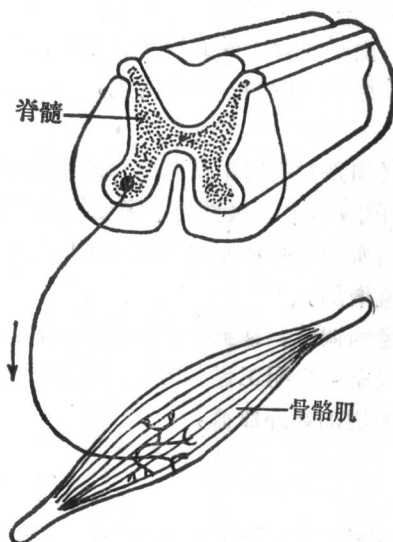


图 1-8 运动单位是由运动神经元及其所支配的肌纤维组成

冲动沿肌纤维的传导

肌肉首先必须受到刺激,然后才能将能量释放出来引起收缩。肌纤维的刺激是由沿运动神经传到肌肉的电化学冲动提供的。在神经纤维与肌纤维的接头处(称为神经肌接头或终板),神经纤维传来的电化学冲动引起一种叫作乙酰胆碱的化学物质释放出来(图 1-7)。终板陷入肌纤维但并不穿透肌膜。陷入的部位叫作突触槽。终板的许多神经分叉,叫作终足,紧贴着肌纤维膜(见图 1-7B)。终足内含有线粒体和包含着乙酰胆碱的小泡。神经冲动引起乙酰胆碱从这些小泡内释放到终足与肌纤维膜之间的突触间隙中。当乙酰胆碱释放到突触间隙后,在约 2 毫秒内,储存在突触槽边缘上的胆碱酯酶就将乙酰胆碱破坏。这样肌纤维的兴奋过程就停止,以便纤维能“自我恢复”,准备迎接下一次冲动。

肌纤维或神经纤维膜内外之间的电位叫作动作电位,它与电流的形成有关。当肌纤维膜或神经纤维膜允许正和负离子透过它们的时候,电冲动就沿着它们传播开来。冲动经由 T-小管和肌质网传到肌纤维内部,然后钙离子释放引起肌原纤维的收缩。

在肌纤维膜和神经纤维膜两侧引起动作电位的电解质是钠、钾和不能扩散而带负电荷的离子。静息时,大量带正电荷的钠离子位于肌细胞和神经细胞的外面,而细胞内面则有相对较少的带正电荷的钾离子和大量的负离子,结果就产生了 85 毫伏左右的膜电位。当刺激引起膜的通透性发生变化时,钠离子进入肌纤维而钾离子透出细胞的移动就使得电化学冲动沿着肌纤维传播开来。在此后很短暂的时间内,膜不再具有通透性,正负离子的平衡又回到原先的静息状态。冲动传导过程的发生有两个时相,称为去极化和复极化,如图 1-9 所示。

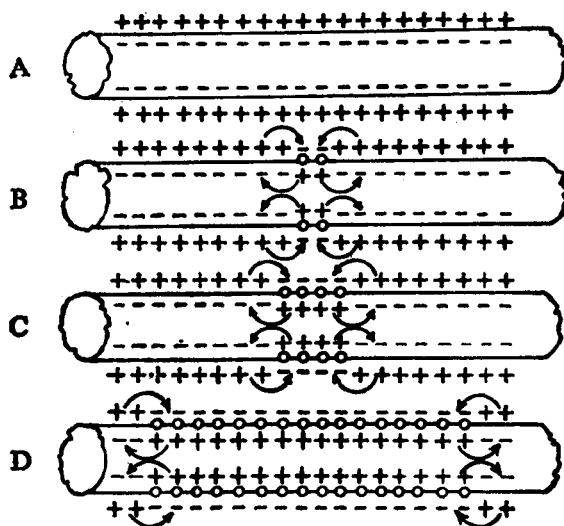


图 1-9 传导纤维上冲动的传播

图 1-9 A 表示在细胞静息状态下,膜外比膜内相对有较多的正离子。当细胞正中部位发生兴奋时,如图 1-9B 所示,该处膜的通透性增加,允许钠离子流入,钾离子流出。这时的电流称为去极化阶段,见图 1-9C 和 D。冲动过后,正负离子立刻朝相反的方向

移动，重新回到正常静息电位水平。这一阶段称做复极化。在复极化过程中，冲动不能沿着该处的膜传播。

冲动沿肌肉和神经细胞传导的速度是不同的。在肌肉中冲动约以每秒 5 米的速度传播，但在神经纤维中因纤维直径不同而有差别。在细小的神经纤维中，传导速度可低至每秒 0.5 米，但在最大的纤维中可达每秒 130 米。

肌肉收缩

肌纤维收缩时，肌原纤维内的肌纤蛋白丝和肌凝蛋白丝相对滑动（见图 1-5 和图 1-6）。尽管在收缩时纤维发生了这种反应，但整块肌肉的长度可以发生也可以不发生变化。用来区别三种肌肉收缩形式的术语是：向心的、等长的和离心的。在完成工作或对抗地心引力对身体的作用时，这几种收缩同时或按顺序地发生。

向心肌肉收缩

肌肉长度发生缩短的收缩称为向心收缩。二头肌屈肘或三头肌伸肘时都发生向心收缩。收缩使肌肉起止点互相靠近因而引起运动。有时这种收缩又称做等张性的、动力性的或时相性的收缩。

向心收缩基本上有两种，它们的区别在于在关节活动范围内参加收缩的肌纤维数目的多少。等力性收缩时，参与活动的肌纤维数目自始至终基本保持不变。在异力性收缩时，参与活动的肌纤维数目在关节移动范围中的某一点达到最大，而在其它关节角度时都小于此值。“等力性”（isodynamic）和“异力性”（allodynamic）两个术语来源于希腊字，“iso”含义为“相等”，“allo”含义为“不等”。用它们来形容动力性（或向心）收缩中肌纤维参与活动的程度。做最大等力性收缩时，肌肉力量在所有关节角度都达到其收缩能力的 100%，而做最大异力性收缩时，收缩能力仅在某一角度才能发挥出 100% 的力量，其它角度下都小于此值。

异力性收缩 当以异力性收缩克服重力垂直举起一副杠铃时，随着关节角度的变化，需要肌肉用力的程度也不同。在运动范围内需要用力最大的一点称为“顶点”。这种影响是因举起重量时关节杠杆率发生变化而产生的。出现“顶点”主要是因为在此关节角度下杠杆率最差。另一种异力性收缩是在做弧线运动举起杠铃时发生的，例如做肘关节屈的动作。在这种情况下，“顶点”主要取决于负荷移动方向与地心引力之间的关系，而不是杠杆率。

当在垂直方向上举起一定的负荷时，由于在关节移动范围内杠杆率有差别，并且肌肉长度发生变化，因此“顶点”是比较显著的。杠杆率在某些关节角度更为不利，加上肌肉缩短损失一部分力量，两种影响综合起来便产生了“顶点”。因为关节杠杆率会发生变化，所以每个关节有不同的力量变化特点。例如，以深蹲或屈肘运动时所测定的最大力量对照不同关节角度做图，所得曲线与图 1-10 中的情况相似。

假如关节或轴心不动，以弧线运动举起负荷时，只有当地心引力与旋转臂成 90° 角的时候，肌肉才能发挥出最大力量。换句话说，在旋转运动时，“顶点”总是出现在地心引力与旋转臂成 90° 的那个关节角度。杠杆率和肌肉长度这两个在垂直运动中决定“顶点”的因素，在旋转运动中却是微不足道的。只有当施力方向与地心引力成直线时，发

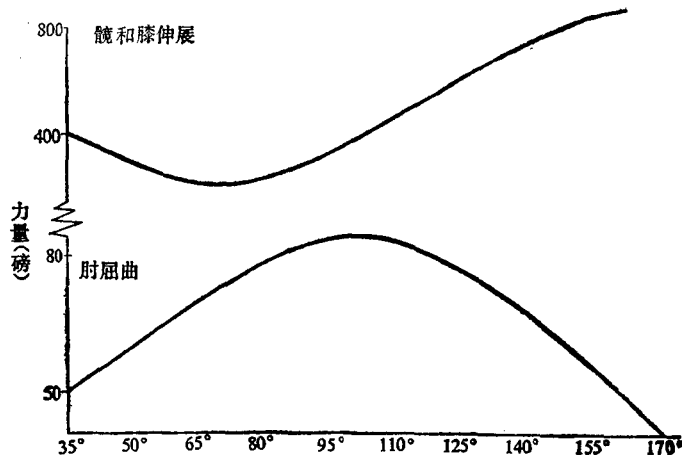


图 1-10 肘屈和腕、膝伸的力量曲线，曲线之间并没有显示出相对应的关系

挥出的力量才会等于物体的实际重量。

等力性收缩 做等力性收缩的肌肉，在各种关节角度下不论是以 100% 还是 50% 的力量收缩，都应保持相同的力量水平，为此必须精确地调节负荷，能在不利的关节角度下使负荷减轻，而在有利的角度下加大负荷。等力性收缩基本上可以通过两种不同的肌肉负荷来实现：等动负荷和调节阻力负荷。

提供稳定速度或等动运动的仪器，根据对收缩肌施加阻力的方法可以分为不同的两类。第一类器械包括一个圆柱形的筒，一条绳子缠绕在筒内的滑轮上，绳子与滑轮的接触改变而产生不同的阻力。还有一种是利用电机的原理产生阻力。阻力可以变化以调节运动的速度。

第二类器械是将负重与杠杆率结合起来做某种形式的等力收缩。比如，有一种器械的杠杆率是可以变化的，在杠杆率最有利的关节角度下阻力比较大，而在杠杆率不利的关节角度下阻力就变小。为了理解这一概念，应该先理解杠杆系统的公式：

$$R \times RA = F \times FA$$

其中 R 是阻力或负荷，RA 是阻力臂 R 到 A 的长度，A 是支点，F 是力，FA 是力臂 F 到 A 的长度。情况如图 1-11 所示，要举起负荷 (R) 所需的力 (F) 取决于阻力臂 (RA) 的长度。要举起同样 300 磅的负荷，阻力臂越长所需要的力越大。调节阻力器械就是根据这种原理设计的，使运动负荷能随着关节角度造成的收缩力量变化而改变。当阻力和力臂保持不变时，仪器可以改变其阻力臂，而力来自收缩的肌肉。

图 1-12 是个例子，说明在伸腕和膝关节的运动中怎样通过改变阻力臂，使腿部肌肉产生最大收缩。图中仅示出了膝关节在 35°、62° 和 175° 时的三种情况。假定某人有一 160 磅的一次性最大力量 (1-RM)，在膝关节角度为 35°、62° 和 175° 时，腕和膝的力量应与图 1-12 中的力量曲线相一致，分别为 270 磅、160 磅和 600 磅。如果 3 英尺的力臂和 400 磅的负荷保持不变，就需要改变阻力臂才能达到相应的力量水平。请注意在每种关节角度下，负荷是如何前后移动以适应或调节力量水平的。膝关节角度从 35° 变为

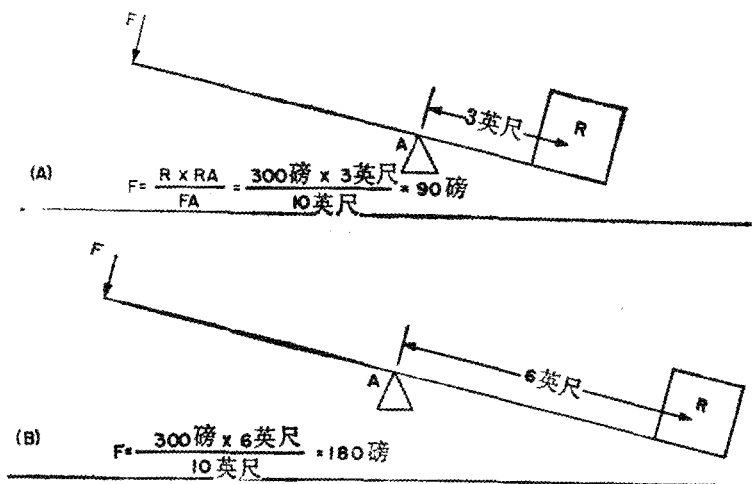


图 1-11 举起了 300 磅的负荷 (R)，当阻力臂 (RA) 从 3 英尺 (A) 变为 6 英尺 (B) 时，力量 (F) 从 90 磅增加到 180 磅，增加 100%

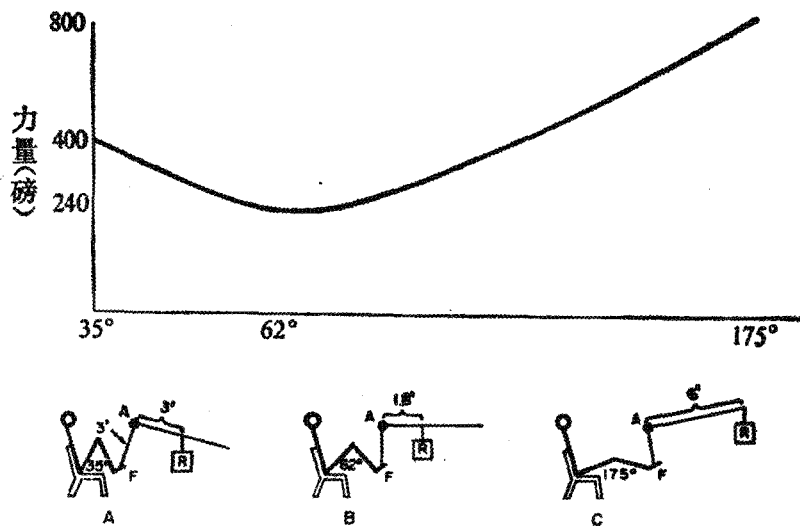


图 1-12 与阻力臂 (RA) 变化相应的髌和膝伸力量曲线的变化 最大力量为 (a)，在膝关节角度 35° 时达 400 磅；(b)，62° 时为 240 磅；(c)，175° 时为 800 磅。力臂 (FA) 和阻力 (R) 都没有变化，分别为 3 英尺和 400 磅。RA 的变化是，35° 时 3 英尺、62° 时 1.8 英尺、175° 时 6 英尺，使收缩的肌肉能在整个关节角度范围内发挥出相近的力量。R 是与阻力臂呈 90° 的 400 磅的拉力

62° 时，力量下降，负荷 (R) 就移向支点 (A)，以适应这种条件。当关节角度大于 60° 后，负荷就远离支点，以适应力量水平的增加。总之，力量增加，阻力臂就加长；力量减小，阻力臂就缩短。

离心肌肉收缩

跑、投掷和跳跃都是向心收缩的结果。无论在什么情况下，只要做正功，就要靠向心收缩。这种收缩力量是运动员成绩的决定性因素。然而，要完成协调的、有目的性的运动，还必须有另外一种收缩。

要做向心收缩，身体应该有一个合适的位置，这就需要这块肌肉做另外一种收缩。因为肌肉在向心收缩之前先要被拉长，一定会有一种拉长的收缩。肌肉在拉长的情况下收缩称为离心收缩。主要依靠大腿前面股四头肌完成的蹲起练习就需要这两种收缩都发挥作用。屈膝时，四头肌在收缩的同时又被伸长，以控制重力对身体的作用。这种离心收缩使身下蹲到所需位置以后，四头肌又开始向心收缩，使身体站起来回到原来位置。在所有跳跃和投掷运动中都或多或少包括这两种收缩。离心收缩还有防止关节损伤的作用。当从高台跳到地面上的时候，脚先着地，通过反射活动使四头肌和臀大肌产生离心收缩，因而减缓了身体的下落。如果不发生离心收缩，腿就会直接折迭起来造成损伤。当然，如果下落的力量太大，即使是离心收缩也支持不住，肌肉和/或肌肉周围的组织及关节还是有受伤的危险。

即使向心和离心收缩都正常地发生了，但没有第三种收缩还是不可能进行正常的运动。

等长的肌肉收缩

等长收缩时肌肉的总长度不变，它既不伸长也不缩短。当其它关节在离心和向心收缩的调节下发生运动时，等长收缩使某些关节对抗重力而保持在一定位置。要保持一定的体位，肌肉就必须做等长收缩，固定骨骼。做蹲起动作时，肩带和躯干的肌肉发生等长收缩以保证躯干的垂直姿势；同时腿部和臀部肌肉则做向心收缩。当坐下时，也发生同样的等长收缩，但腿和臀部肌肉在做离心收缩。在更复杂的运动中，身体姿势不断发生变化，因此肌肉收缩也以等长、向心和离心的形式不断发生变化。

向心、离心和等长收缩的力量水平

肌肉最大收缩时产生的张力决定于收缩的类型和缩短的速度。三种类型的收缩与运动速度的关系见图 1-13。离心收缩可以产生最大的力量，大大超过等长和向心收缩。离心收缩产生的力量约比向心收缩大 50%，比等长收缩大 25% 左右。

在离心和向心收缩中，力量都随运动速度而发生变化。但在这两种收缩中变化的类型却不一样。向心收缩中，收缩速度较低时力量较大，而离心收缩中随着收缩速度的增加，开始时力量有所增大随后却下降^[2]。三类收缩中随速度变化而产生力量差别的原因还不清楚，尽管认为问题可能出在肌纤维白丝与肌凝蛋白丝之间的连接上。显然，肌丝间的关系，即它们是如何连接、固定和松开的，是寻找答案的线索。

在许多运动和工作都有举起和放下负重的动作。显然，离心性地放下负重要比向心性地举起负重容易些。肩扛杠铃下蹲就是个很好的例子。以稳定速度离心性地使杠铃降低总是比站起来容易。这种影响符合肌肉工作时产生的生理反应。离心收缩时耗氧少^[3]，耗能也少^[4,5]，举起同样的负荷，参与工作的肌纤维也比向心收缩时少^[6]。