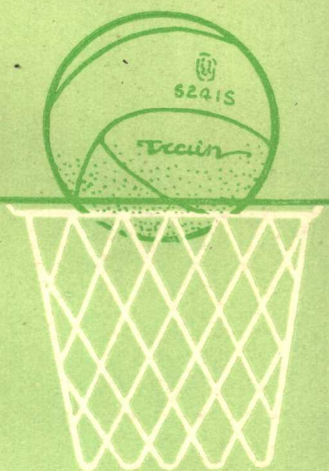


人体运动力学



人民体育出版社

人体运动力学

郑亦华 叶永延 编著

人民体育出版社



人体运动力学
郑亦华 叶永延 编著

人民体育出版社出版
新华书店北京发行所发行
广西桂林漓江印刷厂印刷

787×1092毫米1/32 100千字 4 24/32印张

1981年4月第1版 1981年4月第1次印刷

印数1—20,000册

统一书号：7015·1929 定价：0.51元

封面设计：鲍岳廷 责任编辑：骆勤方



前 言

《人体运动力学》是运用力学的观点，分析研究人体结构和运动规律，使人体运动更加科学，更加合理。认真运用人体运动力学于体育运动实践，对提高教学、训练的水平将会产生良好的效果。

本书是作者在多年教学、科研过程中不断总结和积累材料的基础上写成的。

为了帮助理解，附有一些插图，并对人体运动的某些动作实例进行计算，便于读者在运动训练和体育教学中参考和运用。但由于人体结构和机能的复杂性，用计算的方法远不能反映出人体运动的规律，只是从一个方面说明一点问题而已。

《人体运动力学》在国内还是一门新兴的科学，本书只能作为一种初试，错误和缺点一定难免，欢迎读者批评指正。

编写中引用了某些作者实验数据，写成后，苏品同志提出了不少宝贵意见；曾锋同志帮助逐一审阅，在此一并表示衷心的感谢。

郑亦华、叶永延一九七五年写于南京体院；
于一九七九年十月定稿

目 录

第一章 运动器官系统力学	1
第一节 骨的力学特性.....	2
第二节 软骨、韧带的特性.....	8
第三节 关节的构造特点及活动.....	13
第四节 肌肉的特性.....	17
第五节 肌肉力.....	19
第六节 骨、关节和肌肉的杠杆活动.....	33
第七节 肌肉活动的协同与对抗.....	35
第二章 人体的运动和速度	37
第一节 运动与静止.....	37
第二节 质点运动与人体运动.....	39
第三节 匀速直线运动.....	41
第四节 变速直线运动.....	47
第五节 匀变速直线运动.....	48
第三章 人体运动和力	52
第一节 惯性——保持运动状态的特性.....	52
第二节 力——运动状态变化的原因.....	55
第三节 外力和内力.....	58
第四节 肌肉拉力——人体的内力.....	58
第五节 人体的外力.....	63
第六节 惯性力.....	69
第七节 动量、冲量及动量守恒定律.....	70
第四章 人体的平衡	76



第一节	人体重心	76
第二节	人体局部平衡	82
第三节	人体整体平衡	88
第四节	人体肢体或整体平衡时的代偿运动	96
第五节	人体整体平衡时其它器官系统的作用	98
第五章	人体转动力学	99
第一节	圆周运动与转动	99
第二节	关节的转动	101
第三节	人体整体的转动	107
第四节	转动惯量	111
第五节	转动的力学定律	113
第六章	流体力学	117
第一节	游泳的水力学原理	117
第二节	空气阻力	126
第七章	斜抛物体的运动	129
第一节	斜抛物体运动的规律	129
第二节	投掷时器械的斜抛运动	132
第三节	跳跃时人体的斜抛运动	135
第八章	人体运动的功和能	137
第一节	功	137
第二节	功率	140
第三节	能	142
第四节	能的转换和能量守恒	145



人体是由运动器官系统、呼吸系统、心血管系统、神经系统等若干个器官系统所组成的统一整体。人体运动是在神经系统特别是在大脑皮层的指挥和调节下，各器官系统协调配合，由运动器官系统来完成的。并在人体内力和各种外力的相互作用下，实现人体局部或整体的运动。

人体运动力学是研究人体运动器官系统力学以及人体在局部运动或整体运动时，各种力相互作用下，人体在时间和空间中的变化规律。并将这些规律运用于体育实践。

第一章 运动器官系统力学

人体运动器官系统是由骨、关节和肌肉组成的。由骨和关节组成的骨骼是人体支持和运动的被动部分，在运动中起杠杆作用。肌肉的收缩是引起人体运动的主动部分。它通过骨围绕关节运动，完成各种复杂的动作。只是“由于劳动，由于与日新月异的动作相适应，由于这样所引起的肌肉、韧带以及在更长时间内引起的骨骼的特别发展遗传下来，而且由于这些遗传下来的灵巧性以愈来愈新的方式运用于新的愈来愈复杂的动作……”（恩格斯：《劳动在从猿到人转变过程中的作用》）。因此，人体骨、关节、肌肉都是劳动的产物，它们是在适应机能要求的过程中，逐渐发展成为一定的形态结构，而一定的形态结构又能完成相应的机能。



第一节 骨的力学特性

人体共有 206 块骨，由骨、关节连结起来所组成的骨骼构成了人体的支架和基本外形(图 1)。骨骼能保护内脏器官



图 1 人体骨骼

(如胸廓保护心脏、肺)，还能保护脑(如颅骨)，骨骼还可被肌肉附着，在肌肉收缩时作为运动的杠杆，骨本身并不重，但它

不仅能支持人体局部重量和全身体重，而且还能配合肌肉完成各种体育动作。

一、骨的化学成分和力

1. 骨的化学成分及特性

在骨的成分中水占 50%，其它物质占 50%。其它物质包括有机物(骨胶元、骨粘蛋白等)和无机物[磷酸钙($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$)、碳酸钙(CaCO_3)等]。有机物如同钢筋，无机物如同水泥，它们交合结构而成，好象钢筋水泥的建筑物一样。这些成分是使骨具有应力的物质基础。因此，骨具有较大的弹性和坚固性。在运动中骨能在一定范围内经受各种力的作用。

2. 骨的应力

骨具有上述的物质构造的基础，在力的作用下，它能承受负荷，并对负荷进行“回答”反应。运动中外加负荷主要有：

压缩负荷：有两个相向的力作用于骨上(图 2-A)，一般

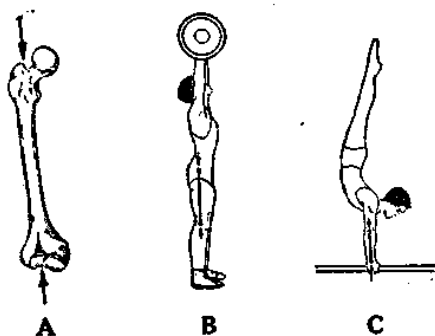


图 2 压缩负荷

说产生压缩负荷的情况是身体支撑于地面，如站立负荷(图 2-B)，也可支撑于器械上，如在双杠上做手倒立(图 2-C)。骨的压缩负荷每平方毫米为 12.56—16.85 公斤。髌骨的最大压缩负荷可达 192 公斤，肱骨为 600 公斤，股骨为 756 公斤。

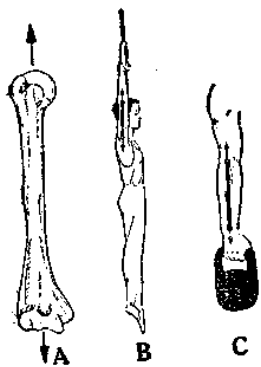


图 3 拉长负荷

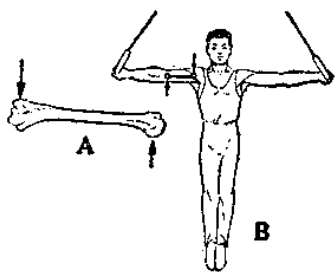


图 4 弯曲负荷



拉长负荷：两个方向相反的力作用于骨上(图3-A)，一般是身体支撑点在上部，如各种悬垂(图3-B)，也可以呈分离状态，如手提重物时(图3-C)。

弯曲负荷：两个不在一条直线上的相向力作用于骨上(图4-A)，肌肉力和阻力作用于骨杠杆上(图4-B)，使骨有发生弯曲的可能。

扭转负荷：两个不同方向，又不一条直线上的力作用于骨上(图5-A)，如投掷铁饼旋转时，腿部骨所承受的负荷(图5-B)。

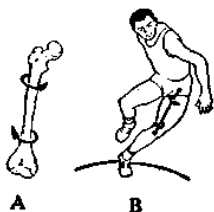


图5 扭转负荷

骨的压力大小取决于负荷值以及不同的负荷状态。如60公斤体重的运动员举起100公斤的杠铃时，运动员小腿骨将受到100多公斤的压缩负荷。又如，60公斤体重的跳高运动员在经助跑最后踏跳时，可受到来自地面几百公斤的力的作用。骨承受这样大的力而没有

被折断，原因之一就在于骨具有应力反应。人体胫骨所受压缩负荷可达1500多公斤。

二、骨的形态构造与力学

机能和形态是对立统一的。人体的骨由于各自机能的不同形态差异极大。就拿头颅骨来说吧，它象现代化的薄壳屋顶，特别是头颅骨的前部额骨，由内外两层密质和中间层骨松质组成。骨松质又呈交叉状排列，如同薄壳屋顶的钢架，板障颅骨外层尤为光滑；在颅骨外面还覆盖着一层极坚韧的纤维层帽状腱膜保护着，如同帽子一样紧贴颅骨(图6)。这

样的形态结构使颅骨抗外力时构成一个整体，成为既牢固又有弹性、能经受很大压力和冲力的外壳，它有利保护大脑。足球运动员在一次比赛或训练课中能用前额积极主动去顶球几次到几十次，甚至更多，也不会导致脑震荡。当然人体头颅骨有这种特定的保护结构，并不是说头颅骨的所有部分都是这样，例如在头颅骨的颞部和枕后部就没有帽状腱膜，如果在肌肉放松情况下，尤其颈部肌肉放松情况下，被快速飞来的球击中这些部位，也会导致头晕等症状出现，甚至于损伤脑部组织。因此我们只见到足球运动员用前额顶球，而没有用头后部顶球的。跳跃运动员落地时腿部骨也能经受几百公斤的力，除了骨干的构造致密有受力的特性外，还与骨内构造排列有关。以股骨为例说明，骨的外层为骨膜(起造骨作用)，骨膜包围骨质。骨质外层为骨密质，内层两端为骨松质(图7)，骨松质以骨小梁形式出现，排列十分有规律(图8)。这种有规律的排列是与骨所受的压力及肌肉张力的方向



图6 颅骨额状切面(模式图)

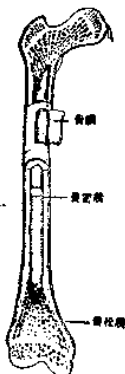


图7 骨的构造(额状切面)

一致。长骨两端粗大，中部较细，有利于减小骨端压强(垂直作用至1平方厘米面积上的力与该面积之比称压强。压强=



压力/受力面积，单位为1公斤重/平方厘米)。压强与受力的面积成反比，压力相等情况下，受力面积愈大，压强愈小。人体股骨远端与胫骨的近端相连接处面积就较大些(图9)，

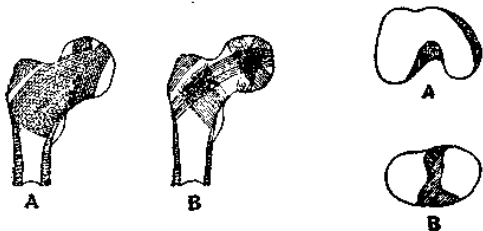


图8 骨松质的构造
A 骨小梁排列模式图
B 骨小梁排列线条图

图9 两骨接触面
A 股骨远端，B 胫骨近端

就能大大减小运动中力自上而下或自下而上传递时压强。实验证明胫骨的压力强度和张力强度都可超过花岗石(表一)。

表一 胫骨与花岗石的张力强度与压力强度比较

实 验 物 密 度 强 度	胫 骨	花 岗 石
密 度	1.92-1.99	2.6
沿纵轴的最高张力强度 (kg重/cm ²)	930-1200	50
沿纵轴的最高压力强度 (kg重/cm ²)	1270-2100	1350

骨小梁的排列并不是固定不变的，它是随着劳动活动、特别是运动训练而改变，使之更适应某项运动的机能要求。



有人把跟骨骨小梁排列分为若干个线系(图 10-A)。对经过二年训练的跳跃运动员和赛跑运动员跟骨骨小梁进行研究(图 10-B), 发现有的线系平均数目增加, 有的线系减少, 有的变化不明显(表二)。

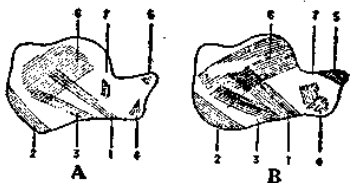


图 10 跟骨小梁线系分布
A 一般人 B 运动员

这说明跟骨线系的变化与这些运动员相应的肌肉机能发展有直接关系。

表二 运动训练与跟骨结构的关系

跟线骨系及肌肉	跳高运动员		跳远运动员		赛跑运动员	
	起跳腿	摆动腿	起跳腿	摆动腿	起跳腿	摆动腿
腓长屈肌线系 1	+1.1	+0.9	+1.0	—	+1.9	+1.0
小腿三头肌线系 2	+1.5	+0.5	—	0.2	—	+0.4
腓侧诸肌线系 3	+0.5	+0.9	+1.4	+0.4	—	-0.4
支撑负荷前部线系 5	—	+0.4	-0.2	+0.8	+0.3	+0.3
支撑负荷后部线系 6	—	+0.7	-1.4	+0.8	-0.1	+0.5
支撑负荷中部线系 7	-0.8	+0.6	-0.4	+0.8	+0.1	—
足的长伸肌线系 8	+0.2	+0.6	+1.2	+1.4	—	+0.3

人体骨骼的形态结构不是一成不变的，特别是在长期的体育锻炼和劳动的影响下，人体骨骼的形态结构也发生着一定的变化。我们曾对不同水平的男体操运动员掌骨长度进行研究，发现男子体操运动员掌骨长度比一般男性要长 0.5~1.5 厘米。有人对我国田径、举重运动员的肱骨和股骨进行了研究，发现举重组肱骨骨体横径、骨体内侧壁厚度、外侧壁厚度等都大于田径组(表三)，田径组运动员的大腿长度显著地长于举重组。还有人对我国跳跃运动员与一般大学生的

表三 肱骨X线检查所见平均数值(单位毫米)

组别	人数	项 目			
		骨体壁横径	骨体内侧壁厚度	骨体外侧壁厚度	解剖颈部密质厚度
举重组(静力)	30	27	6.5	8.4	3.5
田径组(动力)	22	25	5.9	5.9	2.0

第一、第二、第三跗骨进行比较，发现运动员组跗骨壁厚度都大于一般大学生组相应的骨壁。这些科学研究说明了长期从事体育锻炼对骨有着良好的影响，改变着骨的形态结构，使之更适应机能的要求，而一定的机能活动又会促进骨的形态结构良好地发展和增强。

第二节 软骨、韧带特性

软骨和韧带可组成关节及其辅助结构，在人体活动时，它们除了共同能起缓冲作用外，各自还有其特定的作用。

一、软骨的特性及作用

先从关节面上覆盖的软骨讲起。每个关节面上都有软骨，它能承受力，并在受力时发生形变，失去力时又能逐渐恢复原状，这就是软骨的弹性。这种弹性特点也与关节面上实际分布有一定规律的弹力线有关(图11)，较大的弹力经常出现在关节活动的方向上，而在那儿关节压力是集成的，张力线经常从最大压力点放射发出。

人体脊柱各椎骨之间也有软骨存在，它与另一弹性物体(髓核)一起组成椎间盘(图12-A)，以增加脊柱活动的弹性。人体运动、劳动或在其他负荷情况下，椎间盘都会发生形

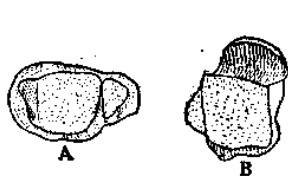


图 11 两骨接触面上的弹力线
A 小腿骨远端(下面)
B 距骨上端

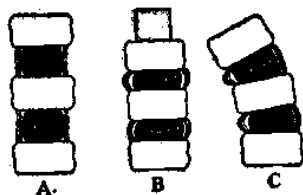


图 12 椎体连接及受力后的变化(模式图)
A 正常位、B 垂直受力、C 向一侧运动

变。垂直负荷时，椎间盘向两侧形变(图12-B)；若向一侧活动或负荷时，椎间盘向相反方向形变(图12-C)。经一天运动、劳动后，椎间盘压缩，脊柱变短，通过晚间休息，逐渐恢复。一般晨间测量身高与晚间测量相差约2—3厘米。因此，对人体身高的测量以早晨进行为宜。

二、韧带的特性及作用

韧带是由坚韧和有弹性的纤维组成，一般都分布关节附近，起稳定和加固关节的作用。关节周围由于韧带的包绕，也会影响关节运动的幅度。例如：用“中立位 0 度法”测量腕关节后伸运动幅度，一般有 2—5° 的误差，但自动运动超伸 10—15° (图 13)，就是因为腕关节前方有腕韧带限制的缘

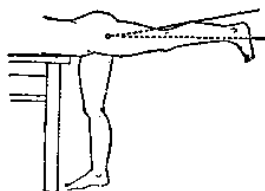


图 13 腕关节后伸范围



图 14 影响腕关节后伸的韧带

故(图 14)。位于足底的长韧带能使足维持一定的弓形，称足弓。足弓是由足部若干个骨和许多足部关节、韧带等构成和维持的。由于关节面上的软骨和韧带都具有一定弹性，因而足弓能承受较大的负荷并且有良好的弹性以适应人类活动的需要。当足弓负荷时，韧带被拉长，弓形变小；失去负荷时，足弓逐渐恢复原状，因此足弓能缓冲外力的震动，起保护大脑脊髓和内脏的作用。必须指出，维护足弓的主要因素首先是足部的肌肉。

我们往往看到有些人足底较平，弓形较小，一般就称扁平足。最简单地了解扁平足的方法是足的印迹法(将足底涂上颜色，并将足迹印于纸上，然后测量出足印有关部分的比



例)。图 15 中若 AB 与 BC 的比例为 2:1 为正常足弓；若为 1:1 则为轻度扁平足，若为 1:2 以上则为扁平足。扁平足有两种，一种是结构性扁平足，这种扁平足的患者其足的弹性较小，在正常时间站立、行走等活动后会出现脚痛、腿痛等症状，通过体育锻炼可以逐步纠正或代偿。另一种是功能性扁平足，主要是由于长期负荷而造成的。



图 15 足印及有关部位比例

足弓的高低对运动究竟有无影响呢？是不是足弓高，弹跳就高？足弓低，弹跳就低呢？从机械性拱形负荷来说，足弓高，当然既轻巧也有利承受更大的负荷；足弓低，拱形结构小，承受负荷就小一些。人的足弓与机械性拱形结构有类同之处，但它是一种有生命的结构，正如上面所说的，足的弓形是靠下肢某些肌肉和韧带维持的，与机械拱形有区别。另外，运动中的负荷大多是动态负荷。譬如，弹跳就是一种动态负荷。弹跳的高低主要决定于下肢肌的收缩力和收缩速度。有人测定我国不同训练水平排球运动员的纵足弓和弹跳高度，发现足弓的高度与弹跳高度不一定成正比的关系。如：不同训练水平男运动员纵跳高度(厘米)分别为 88.5、87.3、86.1、84.6，而足弓指数(足弓指数 = $\frac{\text{足弓高}}{\text{足长}} \times 100$)

分别为 24.5、26.4、25.4、26.3。不同训练水平的女运动员纵跳高度(厘米)分别为 87.7、64.5、64.8、60.8，足弓指数分别为 24.5、25.1、25.9、25.3，二者几乎成相反关系。我们对运动员和中学生进行了测量，发现运动员扁平足发生率占 11.3%，中学生占 8.16%；扁平足男运动员纵跳高度为 69.2 厘米，中学生为 46.6 厘米，而正常足男运动员纵跳高度为