



运动

生物力学基础

YUNDONG SHENGWU LIXUE JICHU

◎王军 著



中国地质大学出版社有限责任公司
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE YOUXIAN ZEREN GONGSI

三、肌肉工作的分类·····	(26)
四、肌肉工作的力学特征·····	(27)
五、肌肉力量发挥的解剖生理学因素·····	(37)
第三节 体育运动中呼吸和血液循环的特点·····	(40)
一、体育运动中的呼吸特点·····	(40)
二、体育运动中血液循环的特点·····	(41)
第三章 运动学·····	(43)
第一节 运动的概念·····	(43)
第二节 运动的分类·····	(45)
第三节 匀变速直线运动·····	(50)
一、匀变速直线运动的基本公式·····	(50)
二、竖直上抛和自由落体运动·····	(52)
第四节 斜抛运动·····	(56)
一、运动独立性原理·····	(57)
二、抛出点与落地点在同一水平上的抛物线远度和高度·····	(57)
三、抛出点和落地点不在同一水平上的抛物线远度·····	(61)
第五节 圆周运动·····	(63)
第四章 静力学·····	(65)
第一节 力·····	(65)
一、什么是力·····	(65)
二、力的大小·····	(65)
三、力的方向和作用点·····	(66)
第二节 力的合成与分解·····	(67)
一、力的合成·····	(67)
二、力的分解·····	(73)

第一章 概述

体育是一门科学。种类繁多的体育项目,都是通过身体的相应活动去完成,完成任何一项体育运动的过程,都有着严密和固有的规律性。运动生物力学同其他的科学一样,有着自己的特定任务和目的。它是用来帮助我们揭示运动的规律,预见训练成果和提高运动成绩的一门新兴学科。

第一节 运动解剖学的定位术语

在生活和体育运动中,人体都是一个活体,人体的各部(或各器官)的位置关系常常在变动。

为了描述准确起见,方便读者听懂、看懂,对于人体描述要有一个统一的标准,这里借助运动解剖学中的运动解剖学定位术语——人体解剖学姿势、解剖学方位术语、人体的基本切面(或平面)和人体的基本轴的知识。

一、人体解剖学姿势

人体解剖学姿势(即人体标准姿势):身体直立,头部正直,两眼平视前方,两上肢下垂于躯干两侧,手掌向前,两足并拢,足尖向前。和立正姿势相比,解剖学姿势有两点区别:一是手掌向前,二是两足并拢,足尖向前。其他与立正姿势相同。

二、解剖学方位术语

上:靠近头顶部的称为上。

下:靠近脚底的称为下。

前:靠近腹侧的称为前。

后:靠近背侧的称为后。

内(即内侧):靠近正中面(线)的称为内。

外(即外侧):远离正中面(线)的称为外。

浅:靠近体表(或器官外表)者为浅。

深:远离体表(或器官外表)者为深。

近端:四肢靠近头或躯干部分的称为近端。

远端:四肢远离头或躯干部分的称为远端。

挠侧:指前臂的外侧。

尺侧:指前臂的内侧。

腓侧:指小腿的外侧。

胫侧:指小腿的内侧。

人体的解剖学姿势与方位术语见图 1-1。

三、人体的基本切面(或平面)

人体的基本切面,也叫人体的基本平面,有矢状面、额状面和水平面,它们互相垂直。

矢状面:将直立人体切成左、右两部分,与地面垂直的一切切面叫矢状面。将直立人体平均切成左、右两半(理论上的两等份),与地面垂直的切面叫正中面,它是矢状面的一个特殊切面,实际就是正中矢状面(只能切一次)。

额状面:将直立人体切成前、后两部分,与地面垂直的一切切面叫额状面。

水平面:将直立人体切成上、下两部分,与地面平行的一切切面

鲍曼教授主持科隆体育学院的“生物力学”实验室,巴尔莱希教授主持法兰克福大学“生物力学”实验室,每个实验室都由 15 人组成,这是前西德的两个最大的“生物力学”实验室。此外,弗莱堡大学体育科学研究所“生物力学”实验室,也是一个较大的实验室。这三个实验室都有现代化的实验仪器,运用电子计算机处理各种数据,理论分析水平也比较高。

科隆体院“生物力学”研究所负责人是鲍曼教授。他本人是物理力学博士,又学过矫形外科,他是国际“生物力学”学会的成员,在几届国际“生物力学”会上作过报告。全实验室有 7 名研究人员,其中有生理专业 3 人,体育和数学专业 2 人,物理学家和工程师 2 人。此外,有 8 人负责照相、电影、加工、分析、整理资料、电子机械技术和秘书等工作。

法兰克福大学巴尔莱希教授领导的实验室,也是由 15 人组成。正式研究人员共 7 人,巴尔莱希是学体育和数理的。另外,有物理专业 2 人,电子技术员 1 人,电子计算机专业 1 人(负责程序编排和数据处理)。学体育兼数理专业 3 人。此外,有 8 人是实验室的辅助人员,根据研究人员的要求,参与运算、统计、制图和实验室等技术工作。

德国体育科学研究工作中,非常重视“运动生物力学”的研究,他们把“生物力学”归到“运动学”范畴。科隆体育学院盖有一栋 11 层的大楼,是“运动医学”、“运动生理”、“运动生物力学”以及“运动生物化学”的研究中心。鲍曼实验室的面积占有 900 平方米。

我们国家在 1959 年第一届全运会后,北京、上海、沈阳、武汉、西安、成都、天津、南京等体育学院,先后开设了这门课。其后为总结分析我国体育运动落后项目,不断提高田径中百米、跳高的水平,广大教练员和运动员进行了大量的工作,北京体育科研所生物力学组的有关同志,共同进行了调查研究我国男子短跑、三级跳远和跳高的技术,对于这些项目的成绩提高起了很大的作用。

我国体育院(系)“运动生物力学”课,目前有以下几种情况:有的定为必修课;有的作为选修课;有的只进行专题讲座;有的目前还未开设。

对于我国的“运动生物力学”发展情况,可以这样说,“运动生物力学”专业建立早,发展慢。这个学科 20 世纪 70 年代在世界上其他国家发展非常迅速,但我们却停下来了,这使得我们这个专业当前与世界相比,差距极大,要赶上和超过世界先进水平,必须付出极大的努力才行。教育部已明确规定,运动生物力学是体育院、系学生的必修的专业基础理论课程。我国体育院(校)已拥有相关的教学研究室、运动生物力学实验室,一支运动生物力学的教师队伍和科研队伍已形成。

不管怎么说,运动生物力学仍然是一门新兴的年轻科学。20 世纪 40 年代,当时由于战后伤员的增加,需要制造很多假肢,另一方面,工业大发展、人类工程出现及交通事故的增多,使得运动生物力学迅速发展。更重要的是 20 世纪 60 年代,科学技术的大发展,尤其是电子计算机的出现,大大促进了运动生物力学的发展。

三、运动生物力学的研究方法

借助于一定的方法,对人体运动的规律进行研究,是一项创造性的工作。根据研究的目的、任务和对象的不同,每个研究者都应当从实际出发,通过有关单位互相协作,共同研制测试仪器,运用一定的方法,找出体育教学和训练中存在的各种问题,以便制订出比较完善的教学方案和训练计划,寻求不断改进技术的途径,促进技术水平的不断提高。一般来说,在研究人体运动中的任何一个项目时,大体上从以下三方面进行:一是收集材料(即记录动作特征);二是整理记录的材料;三是进行生物力学分析,并作出具有指导意义的结论。

1. 记录动作特征的方法

能够记录各种动作一切特征的万能记录方法是不存在的,因一

种记录方法都只能记下动作的某些特征,而且有一定的范围。因此,必须采用各种不同的记录方法,这样做,可以互补不足,使收集的材料比较全面,有利于对动作进行全面的生物力学分析。具体记录动作特征的方法如下。

(1)观察法。借助双眼对动作进行观察的方法,即是观察法。它是一个最简便的方法,运用极其广泛。用这种方法可以直接感知整个动作和动作的性质。其实,在观看电影中的动作时,如果不重放、不减低放映速度、不停格的话,实际上同单纯观察一样。

在以下场合往往采用观察法:①裁判员评判动作完成的质量(评判得分);②确定记录下来的生物力学特征(即完成动作的平稳性、紧张性、协调性以及动作节奏等);③对完成动作过程中,一般心理学因素(轻巧从容、注意力集中、目的明确、果断勇敢、精力分散以及草率从事等)的鉴定。

虽然观察法有以上优点,但仅靠它来研究人体的运动,则是很不完善的。因为人眼来不及在极短的时间内(十分之几秒或百分之几秒)观察到每个动作的细节,也不能准确地观察出复杂动作的顺序和协调配合,单纯用视力观察之后,不能留下任何的客观记录材料;同一个动作,如果好几个观测者同时观察,可能发生很大的主观误差。

不管使用何种方法记录动作特征,观察法都是必需的,而且一定要把观察的结果记入研究记录之中。

观察质量的高低,取决于观察者的素养、观察地点的选择、观察对象确定的准确性以及材料的登记方法等。

(2)直接测定和记录动作的特征。用这类方法一般可以记录动作的空间、时间以及力的许多特征。这里也包括动作的最终效果的记录,如距离、时间及用力(跳跃的远度、铁饼飞行的距离,跑完和游完全程的时间以及举起杠铃的重量等),这些材料对于评判完成动作的一般效果,是不可缺少的。

另外,这里也包括一系列涉及动作的各个局部特征的测量,如跑

时的步长、泳游中划水的频率、跳跃助跑的节奏、跑程中的速度以及起跑时的蹬地力量等。

测量中,可用简单的器具,如皮尺、秒表等;也可用设计的各种专门仪器,直接记录动作的特征,如起跑时两足蹬离起跑器的力量可通过动力起跑描记器或我国华东电子仪器厂制造的 Y6D—3A 型动态电阻应变仪测量起跑。目前,世界上不少国家采用三维测力台测定推手、蹬跳力。

这些仪器的优点,在于它可以记下十分准确的动作特征。它不仅可以在实验条件中使用,而且在许多比赛场合下也可以使用。它的缺点是在使用这些仪器之前,需要较长时间的准备才能进行测量,还有许多比赛场合下暂不能使用。

(3)摄影法(光学仪器法)。用摄影法记录动作特征的优点是,在表明整个动作的外貌时,能够确定一系列运动特征。在大多数情况下,摄影记录动作特征并不影响在自然条件下比赛时的动作。

摄影法记录动作特征,可用照相机、电影法以及录像法,照相机能研究身体各部分在瞬间的相互位置(姿势),从而能确定身体各点的空间坐标和关节角度;电影法也能获得照相机所获得的材料,不仅如此,它可提供更有利于视力的观察条件:如重放、慢放以及停格等;录像法目前在世界各国应用极其广泛。

(4)遥测法记录动作特征。遥测技术在滑雪比赛中已使用。把电阻感应片贴在滑雪杖上,发射机放在运动员身上,测撑地力量。

此外还有肌电测量、心电测量、脑电测量,这些一般局限在实验里完成。有的国家已开始运用电子技术(电子计算机)模拟了腿的动作,由于电子技术的迅速发展,可以预见将来记录动作特征的方法会越来越多,并越来越准确。

2. 整理记录动作特征的材料

收集的大量资料有的是无用的,没有条理性,不便于对动作进行生物力学分析。因此需要对收集的材料进行整理。其目的在于·使

第二章 人体运动的解剖生理学 基础及其力学特征

第一节 骨和关节的力学特征

一、骨的力学特征

人体的骨骼系统是由 206 块长、短、扁以及不规则的骨骼构成，每一块骨骼都可以理解为身体该部分坚实的轴柱。这就是说，它不仅是运动器官的力学支柱，同时也是一切器官和组织的力学支柱。

从整体骨骼系统去考虑，骨的作用有以下五点。

(1)支持作用。在体育运动中，骨的负荷有压缩负荷、弯曲负荷、拉长负荷和扭转负荷等。压缩负荷常见于身体的垂直姿势中，这时的负荷一方面来自自身的体重(即重力)，另一方面来自外部的负荷；弯曲负荷通常是在骨起杠杆作用时出现；拉长负荷在身体悬垂时或两臂下垂提拉重物时出现；扭转负荷常见于转动中(表 2-1、表 2-2)。

从表 2-1 和表 2-2 中，可以看出人骨的弹性硬度并不小，安全强度是很大的，但在体育运动中，仍能发生运动损伤，严重的可造成骨折。这是因为人体在运动中的负荷从性质上来说，可分为两大类：即静力性负荷和动力性负荷。静力性负荷是当身体处于静止状态的负荷，这种负荷往往较小，其量稳定不变，这种情况一般来说是不容易造成骨折的。可是动力性负荷则不同，由于人体在运动中(加速运

(3)关节韧带的多少与强弱:关节韧带少而弱,则关节运动幅度大;反之则小。

(4)关节周围肌肉的伸展性和弹性好坏:一般来说,肌肉的伸展性和弹性良好者,则关节运动幅度大。

(5)年龄、性别、运动项目和训练水平对运动幅度也有影响:少年儿童比成人大,女子比男子大,训练水平高者比低者大。

此外,在每次训练和比赛之前,做好充分的准备活动,对于增大关节的运动幅度是有着重要意义的。

为了对人体的关节运动幅度有较深入的理解,下面列出有关关节的运动幅度(表 2-3 至表 2-11)。

表 2-3 头颈部关节运动幅度

前屈	后伸	侧屈	回旋	说明
60°	70°	40°	70°	1. 以颈椎为基础, C ₃ ~S R 的运动幅度为最大 2. 颈部的椎间盘较厚

表 2-4 脊柱的运动幅度

运动部位	前屈	后伸	侧屈	回旋	合成运动 (屈伸回旋)
胸椎	90°	45°	100°	40°	60°
腰椎	23°	90°	35°	50°	40°

表 2-5 肩关节的运动幅度

前屈	后伸	外展	回旋
110°~120°	60°	固定肩胛骨 100°~120°	90°
		不固定肩胛骨 130°~150°	

须坐在离转轴较远的地方,即利用加长力臂而达到省力的目的。“小小称砣压千斤”就是利用加长力臂的原理。

虽然,在人体杠杆中肌拉力的力臂一般都很短,但仍然可以通过一系列的方法增大。例如通过籽骨增大力臂,人体中最大的籽骨是髌骨,它增大了股四头肌的力臂;有的通过骨的特殊形态增大了肌肉拉力力臂,例如通过股骨颈增大了臀中肌的力臂。据研究,股骨颈原来是股骨的弯曲部分,大转子、小转子是附加上去的,是由臀中、小肌(止于大转子)和髂腰肌(止于小转子)拉出来的,有了大转子、小转子,就增加了臀中、小肌和髂腰肌的力臂。

研究证明,运动多、肌肉发达的人,骨上的结节、粗隆就明显。所以通过锻炼,肌肉的起止处的形态结构发生相应的变化,增大了肌肉的力臂,改善了肌肉发力的条件。

骨的形态也会影响肌肉的力臂。例如,髓关节外展肌(臀中肌等)的力臂同股骨颈的长度,股骨颈和股骨干之间的角度有关(图 2-2)。

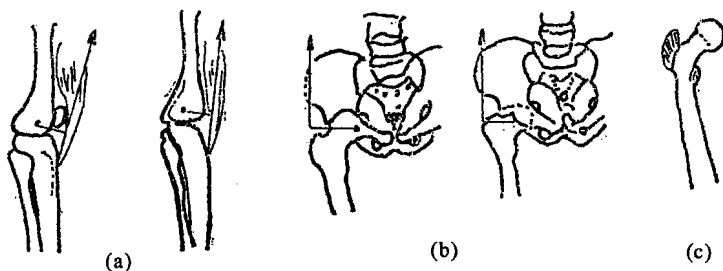


图 2-2 人体中几种增大臂力的情况

(a) 髌骨增大股四头肌的力臂;(b) 骨头颈增大臀中肌的力臂;(c) 小转子是拉出来的

缩短阻力臂的效果同增大力臂的效果一样省力。例如在举重时提杠铃,杠铃应贴近身体向上,这样阻力臂小,省力(图 2-3)。

必须共同紧张来固定肩胛骨。至于复杂的动作肌群参加的更多,而且配合更要协调一致。根据肌肉在完成动作中所起的作用不同,可分为原动肌、对抗肌、固定肌和中和肌。

(1)原动肌。直接完成动作的肌群叫原动肌。例如负重双臂弯举的动作(肘关节屈),肱肌、肱二头肌、肱桡肌和旋前圆肌等都是“弯举”动作的原动肌。其中起主要作用的肌肉叫主动肌,如“弯举”动作中的肱肌和肱二头肌。在动作中起次要作用的肌肉叫次动肌(或叫副动肌),如“弯举”动作中的肱桡肌和旋前圆肌。

(2)对抗肌。与原动肌作用相反的肌群叫对抗肌。例如“弯举”动作中,肱三头肌和肘肌是对抗肌。由于神经系统图的交互神经支配作用,当原动肌收缩时,多数情况下,对抗肌应自然放松,这是协助动作完成的极其重要的一环。因此,在形成运动技能的“泛化阶段中”,首先不要着重要求动作的正确性,因为在学习新动作的开始,往往害怕、紧张,对抗肌不能很好地放松,这时的动作既费力又僵硬,甚至不能完成。在某些剧烈地运动中,对抗肌除了协调放松之外,在运动的结束时,应当适当收缩,以避免关节结构发生损伤。

(3)固定肌。在完成某动作过程中,为了更好地使原动肌发挥力量,这时原动肌的定点处必须相对固定,对固定相应部位的肌群叫固定肌(或叫稳定肌),固定肌是两群相对抗的肌肉。例如“弯举”动作中,为了使肱骨在肩关节处固定,这时上臂的屈肌和伸肌共同收缩,因此,它们都是固定肌。

(4)中和肌。有时两块原动肌有一个共同作用,但其第二个作用是相互对抗的。例如斜方肌可以使肩脚骨后缩和上回旋;菱形肌可以使肩脚骨后缩和下回旋。因此,在“扩胸”运动中,当它们一起收缩的时候,一方面共同作为肩脚骨后缩的原动肌。而它们使肩脚骨的上、下回旋动作的作用相互中和了,所以称为中和肌(以前使用的“协同肌”,有的指中和肌,有的指固定肌,有的指副动肌,颇为混乱,因此这里不用“协同肌”的术语)。

肌肉的协作关系,并非固定不变,当动作发生改变,而其协作关系也要发生变化。例如屈腕动作中,屈肌和伸肌是对抗关系;当手外展和内收时,这时腕关节矢状轴内侧的屈肌和伸肌同外侧的屈肌和伸肌却成了对抗关系。

三、肌肉工作的分类

肌肉的工作分为两类:即动力性工作和静力性工作。

1. 动力性工作(即功能性紧张)

肌肉工作时,不断地改变肌肉拉力强度和方向,从而能完成机械工作,这叫动力性工作。在人体运动中,这种工作多见。动力性工作又分为两种:向心工作(克制工作或积极工作)和离心工作(退让工作或消极工作)。

(1)向心工作(克制工作)。当肌肉收缩时,其起止点互相接近,以缩短来克服阻力(或阻力矩)的工作,叫向心工作。例如,“负重弯举”动作中,肱肌和肱二头肌等都是完成向心工作。这时肌肉外在表现是变的短、粗和发硬。具体来讲有三种情况:一是肌肉的止点向起点靠近;二是肌肉的起点向止点靠近;三是起、止点同时相互靠近。

(2)离心工作(退让工作)。当肌肉收缩时如果阻力比肌肉力量强,这时肌肉的起止点互相远离而退让,这叫离心工作。肌肉的外在表现是细长,仍然发硬。例如,做完“负重弯举”动作之后,前臂的徐徐伸直,这时肱肌和肱二头肌等完成离心工作。

具体来讲也有三种情况:一是肌肉的止点远离起点;二是肌肉的起点远离止点;三是肌肉的起、止点同时相互远离。

从向心工作和离心工作两者比较,向心工作较离心工作难。尤其在肌肉的爆发式收缩过程中更难。

2. 静力性工作(即支撑性肌紧张)

当身体或身体的一部分维持某种姿势不动,这时相应的肌肉长度几乎不变,这时工作叫静力性工作。肌肉的外在表现发硬(因为静

止用力)。静力性工作又分为以下三种。

(1)支持工作。当整个身体(或一部分)处于水平状态(或倾斜状态),从而形成了重力矩,这时相应肌肉的拉力矩与重力矩相等而平衡,肌肉的这种工作叫支持工作。例如,“双杠直角支撑”动作中,两下肢并拢与躯干成 90° 角,这时髋关节的屈肌(髂腰肌、股直肌等)则完成支持工作。

(2)加固工作。当身体处于上支撑情况下,由于身体各环节的重力企图拉离上位支点,这时相应关节周围的肌肉工作即是加固工作。例如“引体向上”动作的悬垂姿势中,肘关节等周围的肌肉(肱肌、肱二头肌和肱三头肌等)即完成加固工作。

(3)固定工作。当上位环节的重量(可加上负荷)压在下位环节上,这时关节周围肌肉的工作是固定工作。例如,举起杠铃不动时,腕关节、肘关节周围的肌肉工作即是固定工作。

将肌肉静力性工作分为以上三种情况是有条件的。这样分的目的,是为了确定肌肉拉力在维持静力姿势中所起的作用。这三种肌肉工作的情况是支持工作紧张性最大;固定工作的紧张性最小。在完成静力姿势动作中,以支持工作最为重要。

四、肌肉工作的力学特征

1. 单关节肌和多关节肌

肌肉根据跨过关节的多少分为单关节肌和多关节肌。只跨过一个关节的肌肉,叫单关节肌,如肱肌等;跨过两个或两个以上关节的肌肉,叫多关节肌,如肱二头肌、指深屈肌等。在活动中,多关节肌较容易出现“多关节肌的主动不足”(或叫“原动肌功能性主动不足”)和“多关节肌的被动不足”(或叫“对抗肌功能性被动不足”)。

所谓“多关节肌的主动不足”即指多关节肌在工作时,以其力量充分作用于一个关节以后,再不能作用第二个关节的现象。例如,指屈肌收缩时,以其力量充分作用于屈指之后,而再不能屈腕,这是因

作的完成。

2. 肌肉拉力的分解

为了进一步了解肌肉拉力对骨杠杆的作用,必须对肌肉拉力进行分解研究。每根肌纤维在紧张时,都具有一定的拉力,凡是不和运动环节纵轴成正交的肌肉拉力,都可以分解为两个或三个互成正交的分力。然后根据这些分力的方向,决定运动环节能作何种运动。肌肉拉力分解有以下两种。

(1)肌肉拉力在基本平面内的分解。当肌肉拉力处于某一个基本平面(即矢状面、额状面和水平面)内时,可将肌肉拉力分解为两个互相垂直的分力:一个沿着骨的纵轴方向作用,大多数情况下是沿着骨指向关节中心,起加固关节的作用,故叫加固分力(即法向分力)。这个分力不使骨产生运动,仅使骨在关节处同另一骨互相压紧。所以,肌肉是使关节稳固,避免受伤的一个重要因素。肌肉拉力的另一个分力与加固分力垂直,叫转动分力(或切向分力),是使骨产生转动的力,肌肉在完成一个动作时的力量,就是指这个分力(图 2-8)。

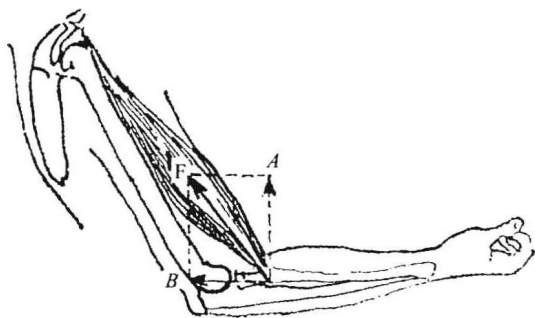


图 2-8 肱二头肌拉力的分解

F —肌肉拉力; A —转动分力; B —加固分力

(2)肌肉拉力不在一个基本平面内的分解。当肌肉拉力不在一个基本平面内时,或是肌肉位于三个基本平面之间的某一个位置时,

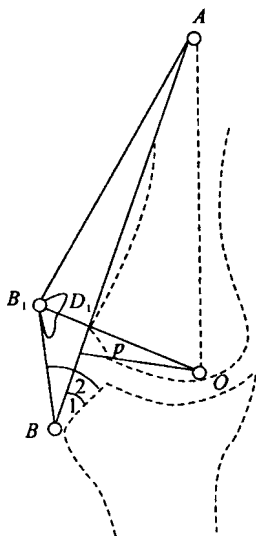


图 2-12 籽骨增大力臂

力角取决于肌拉力方向。

一般肌肉拉力角很小,不利于发挥力量,但可以借助于抵止处的骨突起(结节、粗隆等)或埋在肌腱内的籽骨来增大拉力角,从而相应地增大力臂,显然,力矩也随之增大。以股四头肌腱内的髌骨为例说明(图 2-12)。O 是膝关节,AB 是假设无髌骨的股四头肌腱。肌肉拉力角为 $\angle 1$,力臂为 OD;线 AB₁B 为腱内有髌骨的股四头肌,肌肉拉力角增大为 $\angle 2$,力臂增大为 OD₁。由此可见,股四头肌腱内的髌骨增大了肌肉的拉力角和力臂,最终目的是增大了力矩。

(3) 杠杆臂、力臂和拉力力矩 杠杆臂是力点和支点之间的距离。而力臂则是支点到力的作用线的距离。力臂的数值等于杠杆臂与拉力角的正弦乘积。一块肌肉的杠杆臂长度是不变的,但不同的肌肉,其杠杆臂的长度也不相等。如果,两块肌肉的拉力角相等,杠杆臂越

长,则力臂越大。当杠杆臂相等拉力角越接近 90° ,则力臂越接近最大值。在人体中,杠杆臂长与拉力角接近 90° 的现象往往不同时存在。例如,肱二头肌的拉力角可为 $10^\circ\sim 160^\circ$,但其杠杆臂极短;肱桡肌的杠杆臂很长,但其拉力角仅 10° 左右;而腹直肌、腹内外斜肌的情况则不同,它们具有相对于脊柱的很大的杠杆臂,常常与杠杆(胸廓)成接近 90° 角,在这种情况下,杠杆臂长而肌肉拉力角也大,因而便于肌肉发挥力量,至于脊柱的伸肌杠杆臂小,拉力角也小,它们发挥力量就不利(图 2-13)。

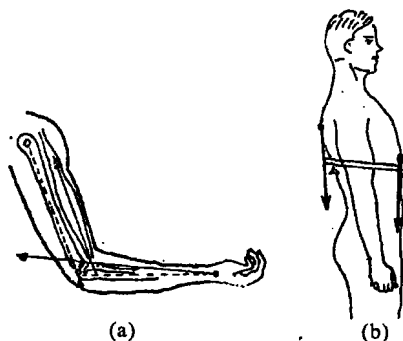


图 2-13 肌力发挥的力学条件

(a) 肌力所发挥力学条件相对较难;(b) 肌力所发挥力学条件相对较易

肌肉拉力的效应,可从它的拉力矩大小来分析,力矩 = 力 \times 力臂,力的大小取决于一系列的解剖生理学因素。

力臂的长短又取决于肌肉拉力角的大小和杠杆臂的长短。

6. 肌肉收缩过程中所产生的变化

(1) 肌肉拉力两个分力比值的变化。人体中肌肉拉力角一般小于 45° ,在肌肉收缩过程中,拉力角逐渐增大,当肌肉总拉力不变时,则在收缩过程中,两个分力的比值不断地变化。当拉力角小于 45° 时,转动分力小于加固分力;当拉力角等于 45° 时,则两分力相等;当