

运动生物力学讲义

沈阳体育学院教务处

一九八二年一月

运动生物力学讲义

于兴文 编著

沈阳体育学院教务处

一九八二年一月

目 录

绪 论	1
一 什么是生物力学、生物力学发展概况	1
二 运动生物力学主要研究的领域	8
三 运动生物力学的应用	8
四 近年来国际生物力学发展的特点	3
五 我国生物力学研究情况及其现状	4
第一章 运动生物力学的某些生物学知识	6
第一节 骨的物理特性	6
第二节 骨杠杆	7
第三节 肌肉收缩的种类及影响肌肉收缩速度的因素	10
第四节 呼吸、血液循环和神经系统在完成动作时的某些力学特征	12
一 胸式、腹式呼吸及用力时憋气动作	12
二 手倒立时的血液循环情况	14
三 做单杠大回环时的血液循环情况	14
四 神经系统在完成动作时的某些特征	14
第二章 运动生物力学的基础力学知识	20
第一节 人体运动学	21
一 运动的概念	21
二 匀速直线运动	22
三 变速直线运动	24
四 匀变速直线运动 加速度	25
五 重力加速度	27
六 任意直线运动的加速度	28
七 速度矢量和加速度矢量	28
八 曲线运动	31
九 曲线运动的加速度	38

十	圆周运动的角位移、平均角速度、角速度、 平均角加速度、即时角加速度.....	41
第二节	刚体运动学.....	45
一	角速度和角加速度.....	45
二	角速度矢量.....	47
第三节	人体运动的动力学.....	50
一	牛顿第一定律.....	50
二	牛顿第二定律 力和质量.....	51
三	摩擦力.....	53
四	动量、力的冲量.....	56
五	力、质量的单位.....	58
六	牛顿第三定律、动量守恒原理.....	59
七	球的碰撞.....	62
八	非惯性坐标系中的惯性力.....	68
九	刚体的转动、力矩和转动惯量.....	75
十	动量矩.....	80
十一	体育运动中的功和能.....	92
第四节	人体运动的静力学.....	103
一	平衡的分类.....	103
二	稳度及影响稳度的因素.....	105
三	人体的平衡特征.....	107
第五节	人体运动的流体力学.....	108
一	流体的某些性质.....	108
二	流体力学在体育中的应用.....	117
三	流体对投掷器械的影响.....	122
第三章	运动生物力学研究方法.....	125
第一节	拍摄和洗印动作技术图片应注意的问题.....	126
第二节	重心的概念及确定人体重心的方法（实验法）.....	130
第三节	确定身体重心位置的方法（力矩合成法）.....	134
第四节	速度和加速度图象绘制方法.....	138
第五节	确定人体重心位置的参考资料.....	144

(一) 井松秀治求人体重心数据及方法(力矩合成图解法)	144
(二) 人体重心的简单计算方法	148
(三) 人体重心测量板	150
(四) 詹姆斯·赫测定人体重心数据	153
第六节 测定运动的速度和加速度, 作用力及肌力	154
第七节 肌电图及换能器的实际应用	156
第八节 无线电摇测的利用	163
第九节 心电图	165
第十节 计算人体腾起角和腾起初速度	165
第十一节 关节角度及身体同支点所成角度的测量	166
第四章 运动技术的生物力学的分析	168
第一节 运动技术的生物力学分析参考方案	168
一 记录动作	168
二 画受力图及动力学问题分析注意事项	169
三 总结评定建议	169
第二节 跑的生物力学分析	169
第三节 撑竿跳高的生物力学分析	174
第四节 对体操动作进行运动生物力学分析时应注意几个问题	180
第五节 手倒立	187
第六节 直臂水平支撑	190
第七节 十字悬垂(十字支撑)	192
第八节 单杠向前大回环	194
第九节 关于空翻转体生物力学分析的看法	195
第十节 对体操动作落地稳定性的生物力学分析	201
第十一节 游泳技术生物力学简要分析	204
主要参考文献	217

绪 论

一、什么是生物力学，生物力学发展的概况

生物力学是体育科学的基础科学。美国的生物力学专家认为，生物力学就是人们试图了解生命的科学。西德生物力学专家包曼认为，对于生物力学来说，力学是基础，生理解剖是条件，它是研究人体运动的科学。

美国生物力学主要研究下面的内容：

- 1、定量生理学、生物材料力学、骨骼肌肉、组织血液，
- 2、心血管、瓣膜、心脏更换、手术损伤，
- 3、人工材料的移置，
- 4、矫型外科、假肢的制作，
- 5、劳动保护、冲击力生物力学、人体的冲击加速度和力，
- 6、微生物运动特征，
- 7、医学生物力学，
- 8、运动生物力学。

日本生物力学分为六类：

- 1、一般生物力学，
- 2、人类工程学，
- 3、医学生物力学，
- 4、运动生物力学，
- 5、康复生物力学，
- 6、生物力学的研究方法。

实际上一般的生物力学应该分为：

- 1、理论生物力学，主要从理论力学的角度来研究生物力学的分类；
- 2、应用生物力学。

理论生物力学应包括：生物材料力学（骨骼的特性、应变能力、活动应力的分配）、心血管的流体力学、热力学、受力结构功能关系。

应用生物力学主要包括：医学生物力学、人类工程学、运动生物力学。其中医用生物力学主要研究人造组织器官的制造问题，人体的合成材料，制造假肢的依据。新的人造器官，为医学诊断提供理论的依据。人类工程学主要包括：人怎样进行体力劳动才能

最省力，更适合劳动，使劳动者更舒服，更有效。已经达到机械化了，如何进一步提高效率。它的基本任务，是使机械如何适应人的结构功能。如美国设计的枪支，枪托如何适应人的需要，电动刮须刀怎样适应人的下巴，航空设计座舱怎样适应人的姿势等。运动生物力学是生物力学的一个分支。它是研究人体内力同外力的相互作用，及在其相互影响下，人体功能变化的科学。

生物力学的发展从四十年代开始，日本松井秀治认为战后伤员的出现，假肢、假手的制作，导致生物力学的发展。也有人认为，是由德国和俄国的人类工程学首先发展所引起的。美国交通事故多，为了保证交通安全而研究生物力学。

六十年代为生物力学的准备阶段。由于人体的运动复杂，不采用更好的研究手段和方法解决不了，便开始从事手段和方法的研究。另外，缺乏综合性实验室，同时也缺乏高级的生物力学的研究人员。六十年代后，设备、方法及研究人员都准备好了，七十年代迅速发展。一九七三年世界生物力学协会主席、美国生物力学专家尼尔逊讲：运动生物力学已经成熟，对体育发展有促进。因此运动生物力学本身是实验性的科学。这个准备阶段美国经历了十多年。

运动生物力学主要是改进运动技术，制定合适的技术标准，训练手段的选择，运动员的选才及对运动训练的恢复提出依据。如奥委会生物力学部主任艾里尔博士，对荷兰跳高运动员拉迪——维拉特过竿技术进行分析，发现了由于过竿时腿伸早了，使后背下降而碰竿。当技术改进后，成绩有提高。一九七六年当时奥运会铁饼冠军威尔金斯成绩66米，离当时最高纪录相差3米，经艾里尔研究，发现他在铁饼出手前，膝不但没有刹住，反而弹簧式的动了一下，使铁饼在出手前所受的力受到了损失。经模拟电子试验，膝不动，可提高3米。三天以后，威尔金斯用矫形器刹住膝盖，成绩达到70.86米，比预计成绩提高了1.86米。对美国的铅球运动员特里·奥尔的技术进行了分析，在铅球出手前不使膝盖弯曲，便于以最大的力通过臂部作用于球，这样成绩可提高，达到冠军水平。对美国的标枪运动员比尔·斯米特技术进行了分析，由于他在出手前，髋重心下降，损失了力量。当纠正了动作以后，成绩提高到92米。对跳高运动员的选才问题也进行了分析。踏跳力量可达到体重的8倍，但发现，提高起跳力量不如前伸上摆的腿产生的速度传到起跳腿的力量大，因此他得出结论：跳高运动员的选才在于两腿伸展反应速度是非常重要的。在同样的时间里，腿长上身短的运动员取胜的可能性大。他通过生物力学的分析，对运动成绩的极限问题提出了自己的预见。他说：100米运动员（男子）可达9"6，跳远运动员（男子）可达8.96米，铁饼、标枪可达100米（男子），跳高可达到2.50米（男子）。可见运动生物力学是体育科学的基础。

西德在世界上运动水平名列前茅，这同他们生物力学的发展高度有关。在他们国内流传着这样一句话：提高运动成绩找包曼（运动生物力学专家），运动创伤恢复找赫尔曼。美国至一九七三年先后建立了八所实验室。苏联在莫斯科全苏体育科研所，中央体育学院集中搞运动生物力学的研究。西德、东德、英国、意大利、瑞典，丹麦也取得一定成果。

目前以美国水平最高，他们正着手在南加利福尼亚州特拉布科康荣地区建立综合研究中心。日本发展较快，他们非常重视国际交往，第六届在丹麦举行的生物力学会议他

们派七十五人参加。积极热心的是芬兰。瑞士的生物力学仪器设备发展得快。苏联、东德在方法学方面发展也是很快的。

二、运动生物力学主要的研究领域

(一) 应用研究

解决优秀运动员的训练提高问题,选才问题,技术提高问题。

(二) 基础研究

人体运动的简单研究,走、跑、举重物。影响人的活动的因素,在外力作用下产生速度、加速度,运动的基本规律。

(三) 理论研究

为了揭示人体复杂运动的各种原因的基础,搞生物力学必须重视理论研究,包括:肌肉神经控制,肌肉收缩机制,热能的变换,能量守恒,热力学规律,数学模型化。虽然发展得慢,但为预示更加复杂的动作,创新高难动作发挥更大的作用。

三、运动生物力学的应用

(一) 为运动训练提供理论基础。通过对运动技术的分析研究,提出各种运动技术的参数。对运动技术的结构的研究,从而提出改进技术的手段,找出完成一些更新,更有效的动作的可能性,对创新动作提供线索。

(二) 为科学选才服务。运动的主体是人,为各项目的运动员的选才提出依据。游泳运动员要考虑阻力,被动阻力,运动员的外形提出理论的依据。

(三) 对运动器械的改进提出依据,研究人同器械,同场地的关系。

(四) 运动机能的恢复,为创伤的恢复,采用运动活动的手段,加速治疗失常的运动机能使之恢复。

四、近年来,国际生物力学发展的特点

(一) 国际性生物力学学术交流相当频繁,某些国家国内交流也十分可观。

一九六七年联合国国际委员会在瑞士苏黎世召开生物力学第一次讨论会。

一九六九年在荷兰,一九七一年在意大利的罗马,一九七三年在美国的宾夕法尼亚,一九七五年在荷兰赫尔辛基,一九七七年在丹麦哥本哈根,一九七九年在波兰的华沙,一九八一年在日本的名古屋。这些讨论属于综合性生物力学的讨论会。内容广泛,代表了那一阶段的国际生物力学发展的情况。

一九七三年正式成立了国际生物力学协会,主席由美国的尼尔逊担任。一九八一年第八届国际生物力学讨论会后,主席由日本的松井秀治担任。

一九七七年十月美国第一次召开生物力学讨论会。日本每两年一次生物力学讨论会,每次二百~三百人参加。苏联定期讨论会情况不详。国际上不断召开专项和地方性的讨论会。

（二）现代仪器设备发展很快，促进生物力学的发展。

1、高速摄影机（100—10000格/秒）
2、影片解析装置（日本莱克）、（美国尼尔逊是投影坐式），西德包曼实验室同日本一致。

3、电子计算机，除数据处理外，可直接作为实验的手段。

4、多导肌电图仪，生物遥测装置。

5、测力台。

（三）十分注意方法学的研究

日本松井三十年来取得一定成绩都是方法学上的突破，方法不解决得不到准确的数据。

1、三维空间的测试法。

2、多指标的综合研究法。外力、内力，生理生化等提供更多的信息。

3、最佳化法，最高值不一定是最佳值，技术动作最好的最合理的技术结构的参数为最佳值。最高值加起来要有对抗作用。

4、研究领域不断扩大。游泳、体操、划船、柔道、网球、棒球、高尔夫球，运动技术电子计算机模拟。整体运动发展到肌肉的组织化学，平面研究到立体研究，单一指标到综合指标，随着其他科学的发展推动生物力学更快的发展。

综上所述，运动生物力学是在体育科学迅速发展产生的一门综合新兴科学。世界竞技运动已经发展到很高的水平，为了进一步提高成绩，必须重视生物力学的研究。运动生物力学研究的水平，也反映了一个国家体育运动水平和科研水平。

所以运动生物力学是利用力学、人体解剖学、生理学、运动技术原理综合地研究运动技术的一门科学。它成为多项运动技术改进，创新，提高的理论基础。

总之，随着现代化科学技术的发展，为运动生物力学的发展开辟了广阔的前景，这门新兴的科学一定得到迅速的发展。

五、我国生物力学研究的情况及其现状

我国解放前的体育事业是十分落后的，体育方面的科研工作更是可怜。当时有的高等院校体育系科讲过“运动学”。解放后，我国群众性体育运动得到发展，体育运动的技术水平也有一定的提高。为了适应体育科学的发展，全国体育院校相继研究了运动生物力学，并开了讲座及选修课。相继成立了研究室，并对苏联东斯考依的运动生物力学进行研究。从60年至63年北京体育科研所生物力学研究室及一些体育学院在生物力学研究方法上进行了研究，并且在仪器设备上作了一些准备工作，并相继编写了讲义。但很快“文化大革命”的到来，使这一工作停了下来。六十年代，世界先进国已进入电子时代，我们在运动生物力学的研究方法、人才、仪器的准备阶段被耽误了，我们是落后了。

运动生物力学对于我国来说还是一门新的科学，基础差，人员也缺乏，但是从粉碎林彪、“四人帮”以后，全国人民在伟大的中国共产党领导下，为实现四个现代化，对科技事业十分重视，召开了全国科技大会。尽管我们的经济比较落后，但国家对运动生

物力学这门新兴科学十分重视，相继派出科研人员到先进国家进行学习，先后请了世界生物力学协会主席尼尔逊博士，日本松井秀治教授，西德生物力学专家包曼到我国讲学。在请先进国家的专家讲学同时，还在艰苦奋斗，自力更生的基础上引进先进生物力学科研设备。这些措施，为我国的生物力学研究的开展，创造了良好的条件。

为了更好地进行国内、国际上的学术交流，在全国体育总会的下面成立了运动生物力学协会。相继于一九八〇年十二月与一九八一年十月举行两届生物力学学术论文报告会。同时对运动生物力学进行了广泛的讨论，对运动生物力学的教学工作，科研工作及国内外的学术交流等都进行了探讨。我们在看到自己的优势，长处的同时，也应看到我们的弱点和不足，要赶上世界先进水平我们还须努力作战。我们相信，随着我国体育科学技术的发展，运动生物力学在我国也将会提高到相当的水平。

第一章

运动生物力学的某些生物学知识

人体是一个有生命的整体，并不同于一般的刚体（运动物体的形状，大小不发生变化），但在分析人体运动时，往往把人体的形态比拟为一个刚体来对待。人体不同于质点，但在分析人体运动时，（跑的过程中分析速度分配）往往作为质点来对待。甚至在分析运动规律，即空间，时间概念时，只分析人体的重心运动规律，研究重心轨迹，找出速度，加速度变化曲线。所以在分析人体运动时，按情况需要把环节的重心及整体重心作为质点对待。

人体的运动是复杂的，是在中枢神经系统支配下的多环节的有机体活动，是同外界环境一系列物理的、生理的、生化的、心理因素条件而变化着，而且是多指标同时产生的。因此迫使我们在分析动作时，把对待刚体、质点的一系列非生命的公式拿来硬行应用往往会出现片面性的问题，应持谨慎态度。但是合理地利用了客观规律，掌握力学原理，恰当地说明问题和解决问题，才合乎我们研究运动生物力学的目的。

在具体的分析问题，在观察运动的形态，受力问题，一定要看什么参考系统之内，所取的坐标是属于惯性系统还是非惯性系统，而在不同的系统之内结论得来的依据是截然不同的，更不能拿来硬套。

所以我们在进行生物力学的研究过程中，既要遵从力学的原理，又要结合生物学的特点，而在分析人体运动形态时首先应遵循生物学的规律。

第一节 骨的物理特性

骨骼系统是人体的支架，使人体保持一定的形状和一定的姿势。它还使内脏器官有一定的支持点，使血液循环系统保持定向循环，使神经系统传导及时，使人体同外界环境形成稳定的支撑点。从运动生物力学的角度，骨骼在人体内形成传递和抵抗各种外力的作用。

由于骨的化学成分，力学结构，使它具有对外界的负荷能力，包括压缩负荷，弯曲负荷，扭转负荷，拉长负荷。

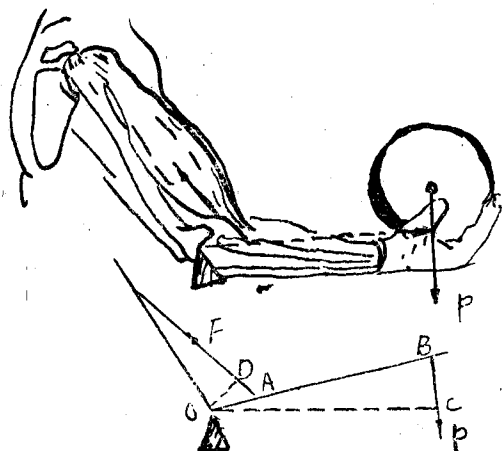
股骨能支持750公斤，胫骨支持815公斤（男）。因此，骨的承受压缩的能力是很强的。但骨骼的扭转和弯曲负荷对压缩负荷相差很大，其中弯曲负荷近似压缩负荷的 $1/2$ ，

扭转负荷是压缩负荷的1/10。因此扭转负荷同弯曲负荷容易出现骨折。

如投标枪时，手在肩外侧经过，这个错误动作往往是造成肱骨扭转性骨折的原因。因为这时胸大肌的作用力使肱骨上端产生顺时针方向的扭转力矩，标枪的阻力（惯性力），使肱骨下端产生逆时针方向的扭转力矩。这两个力矩对肱骨来说是一个扭转力。缺乏锻炼加上错误动作，就有可能出现这一类损伤。如果在最后用力作投掷动作时，肘高抬，使手在肩的上面通过，则胸大肌的拉力及标枪的阻力对肱骨来说，主要是弯曲负荷，此时肱骨的相对强度就大，不易产生骨折。

第二节 骨 杠 杆

一个硬棒在外力作用下，绕定点转动叫杠杆。在人体中，骨在肌肉拉力作用下绕关节轴转动叫骨杠杆。在骨杠杆中关节轴为支点，肌肉的止点为力点，外力作用点为阻力点。支点至肌力的垂直距离为动力臂，肌肉的拉力与动力臂的积为动力矩。支点至外力作用点的距离为阻力臂。外力同阻力臂的积为阻力矩。如（图一）。



（图一）

$$F \cdot OD = P \cdot OC$$

即 动力矩等于阻力矩。

在杠杆的分类中有三种：

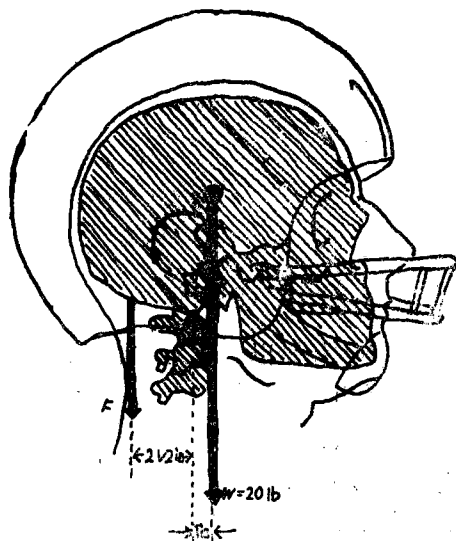
一、支点在力点同阻力点之间为

平衡杠杆。

头骨与颈椎的连结，寰枕关节为支点（寰椎上关节凹，枕骨髁组成），头的重心在关节前，所以阻力点（重力点）在支点前，颈部背侧肌的起点是力点在支点后面。其中 $OA > OB$ 。用较小的肌力可维持平衡，但由于阻力臂 $<$ 力臂，因此点头比仰头更灵活，如（图二）。

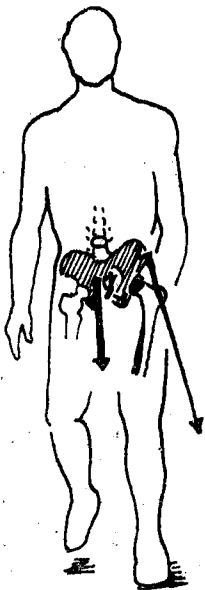
同样，髋关节（髌臼，股骨头）也组成平衡杠杆，为第一类杠杆（图三）。

二、阻力点同力点在支点的同侧，阻力点靠近支点 $OB < OA$ 为省力杠杆。也称第二类杠杆。如（图四），以脚尖站立为省力杠杆，跖趾关节为支点，体重通过小腿骨加于踝关节

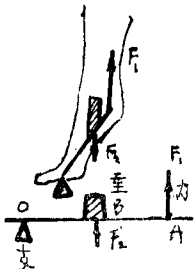


（图二）

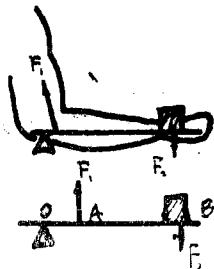
处为阻力点(重力点),腓肠肌拉力作用于跟骨结节为力点。足长的人比足短的人占便宜。



(图三)

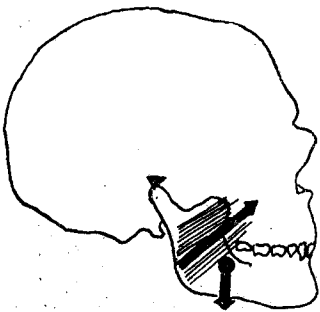


(图四)



(图五)

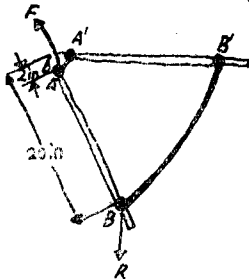
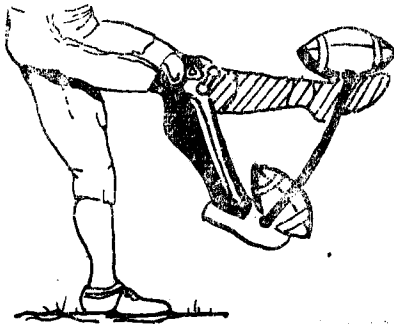
三、阻力点同力点在支点的同侧，力点靠近支点， $OA < OB$ ，为速度杠杆，也称第三类杠杆。如(图五)肘关节为支点，屈肘肌群的施力点为力点，阻力的作用点(手)为阻力点(重力点)，因阻力臂大于力臂，因此必须用大的肌肉力量(拉力)克服外力，维持平衡是费力的。但这类杠杆移动快，肌肉收缩很小的距离，便使手移动很大的距离，而且手移动的速度比屈肌止点移动的速度快得多。在人体中速度杠杆较多，头骨的下颌关节同咬肌，同下颌骨组成速度杠杆如(图六)。同时，人体四肢关节多属于速度杠杆，动力臂短而阻力臂长，如膝关节为支点，组成速度杠杆如(图七)。利用



(图六)

股直肌的髌韧带以髌骨为支点进行踢球动作。如举起伸直的腿，力点是股骨的小转子，动力臂很短，需髂腰肌产生很大的收缩力才能产生举腿的动作，因为阻力臂很长。但是可以获得很大的幅度同速度。

人体的骨杠杆可分为三类如(图八)，但实际上人体的活动是复合运动。因此，在人体运动时是一个复合杠杆的表现形态。



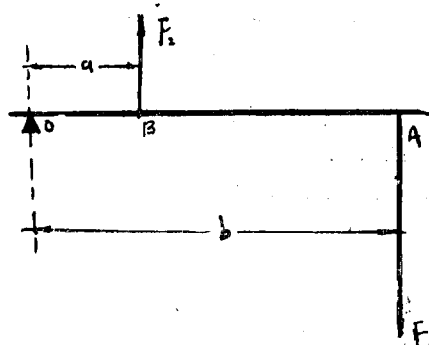
(图七)

在分析骨杠杆肌肉拉力及力矩平衡时一定考虑肌肉的拉力角问题，因为随着肌肉的

功 能		
±增加速度		增加力量
	第-种	
	第=种	
	第≠种	

力臂 < 阻力臂 力臂 = 阻力臂 力臂 > 阻力臂

(图八)



(图九)

收缩，肌肉拉力角不断的变化，直接影响到力矩的大小。当骨杠杆的力矩为 M ，合力矩 $\Sigma M = 0$ 时，则骨杠杆处于平衡状态如

(图九)。a为力臂，b为阻力臂，则当合力矩，即 $\Sigma M = F_2 a + F_1 b = 0$ 骨杠杆平衡，当肌力同力臂成 α 角，则力 $F_2 = F_0 \sin \alpha$ 如(图十)。则合力矩 $\Sigma M = F_0 a \sin \alpha + F_1 b$ 。

当 F_0 一定，当 $\alpha = 90^\circ$ 时， F_2 最大。

当阻力臂 $F_1 b = M_1$ 一定时， $F_0 = \frac{F_2}{\sin \alpha}$ ，

即 F_0 的杠杆臂a一定(肌肉用力点一定)，要求 F_2 一定，当合力矩 $\Sigma M = 0$ ，这样使 F_0 。

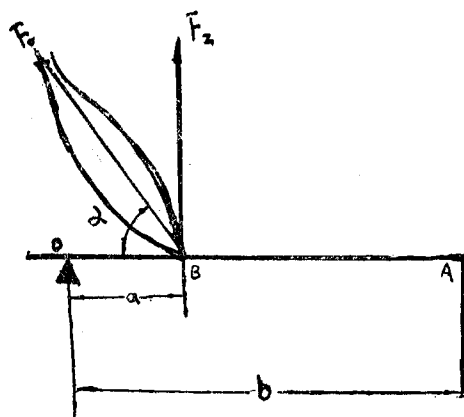
(肌力)随肌肉拉力角 α 而变化。当 $\alpha = 0^\circ$ ，则 F_0 最大。 $\alpha = 90^\circ$ ， $F_0 = F_2$ 最小。

所以，当外力矩一定的情况下，肌肉的拉力随拉力角 α 的变化而变化。

例1 $\alpha = 60^\circ$

$F_1 = 200^*$

$a = 2''$



(图十)

$b = 10''$

求：肌力 F_0 。

解： $F_0 a \sin 60^\circ = F_1 b$

$$\text{则 } F_0 = \frac{200^* \times 10''}{2 \times \frac{\sqrt{3}}{2}} = 116.9^*$$

例2 当 $\alpha = 30^\circ$

$F_1 = 200^*$

$a = 2''$

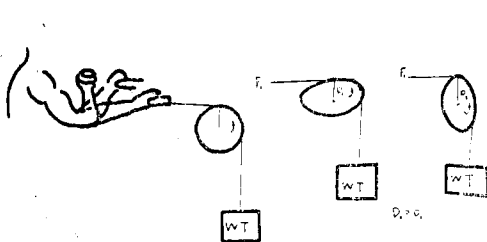
$$b = 10''$$

求：肌力 F_0 。

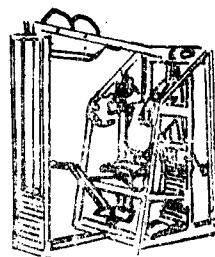
解：根据 $\Sigma M = 0$ 时平衡：

$$F_0 = \frac{200 \times 10''}{2'' \times \frac{1}{2}} = 2000 \times$$

根据肌肉拉力角不同，而在实际训练力量时始终使肌肉张力保持恒值，而制成等动拉力器。原理如（图十一）。



（图十一）



（图十二）

当外力矩一定时，拉力角 α 逐渐增大，则肌力 F_0 可以很小而维持同外力矩平衡，因而肌肉的拉力自然变小。为了始终使肌力维持一定的张力强度而制成等动拉力器械。利用椭圆圆盘，由于外力不变，正如 α 角变大时，圆盘的拉力臂最短，使阻力矩变大，而增大肌肉张力。当肌力角 γ 变小时，使圆盘拉力臂最大，相应阻力矩减小而使肌力变小，这样维持肌肉的张力为恒值，利用这一原理进行臂同腿的过载超负荷等动练习。根据这个原理，美国游泳教练保·伯根采用了鸚鵡螺循环练习器（图十二），对运动员进行严格的力量、柔韧训练，使美国游泳女队东山再起。

第三节 肌肉收缩的种类及影响肌肉收缩速度的因素

肌肉收缩对骨产生收缩力，使骨牵引关节活动。

人体肌肉的收缩力用肌电图及测力计进行测定。绝对力量（每平方厘米生理横断面的张力）6—11公斤/厘米²，女的为男的80%，据日本松井秀治讲，人体从小进行系统力量训练，肌肉的绝对力量是不增加的。

普通步行时小腿三头肌施加的力约为体重的4倍，在跑步时，腓肠肌所施的力为跑步者体重的6倍。所以在运动中不慎跟腱断裂者不在少数。据估计臀肌可施加658公斤的力。

所谓肌肉收缩产生的力（或叫张力）有几种不同的形式，其中主要的有：

1、等张收缩：收缩的肌肉缩短而产生运动，这种收缩也叫克制性工作。例如，跑步

中，腿的肌肉收缩，为克制性工作，肌肉对外做功。

2、等长收缩：收缩的肌肉并不缩短，这种收缩也叫静力性工作，消耗生理功，而对外不做功。它所产生的力对外起固定作用。

3、退让收缩：肌肉收缩被拉长，这种收缩的力小于负荷的力，肌肉虽积极收缩但仍然被拉长，这种肌肉的收缩也叫退让性工作。

一些缓冲动作都是以肌肉的退让形式实现的。如跳高的起跳，首先股四头肌被拉长做退让性工作。当缓冲到一定阶段后，这时伸肌群的收缩力大于对它作用的外力，肌肉的收缩变为缩短，由退让收缩变为等张收缩，从而进行克制性工作。

体操的各种下法的稳定性在比赛中是十分重要的。腿部肌肉为了缓冲一直是退让性收缩是不行的，在一定程度上需马上转入克制性工作，以保证肌体维持平衡。

而实际上退让性收缩肌肉对外做负功。

所以在体育运动中，由于运动项目本身是复杂的，肌肉的收缩机制也决不是简单的。不是单一的，而是经常更换的，协同肌与对抗肌群相互转换，在肌电图中可以清楚地看到。在不同类型的收缩时，退让收缩之后表现张力最大。如踏跳动作，跳高跳远，地面同脚的相互作用力可达到600公斤以上。但伸膝肌群总是以退让的收缩形式（被拉长）进行事先收缩，然后克制性工作收缩，肌体做功完成动作。

肌肉收缩的速度可快可慢，有的动作如举重的推举，肌肉在大的负荷下收缩的速度是很慢的，持续用力发挥最大力量，对外做功较大。但毕竟时间长，肌体内部所消耗的功率小。相反，举重运动员在抓举的一瞬，需肌肉快速收缩，消耗的功率较大，在很短的时间内对外做功。这种情况下，肌体内中枢神经系统处于良好的机能状态（运动员感到竞技状态良好），大脑皮层相应的中枢就能产生强而集中的兴奋过程，皮层细胞向活动的肌肉发放一致的高频率的冲动信号，而运动肌肉在很短的时间内完成收缩机制，对外产生很大力量，一个是支撑本身产生加速度，同时使受力的另外物体产生加速度。这种高频率的冲动便在肌电中表现出来。这种肌肉的收缩，出现在极短的时间内，收缩的速度特别快。肌肉内部在很短的时间内进行了一整套的生物化学的“爆炸性”反应，同时放出很大的能量，使肌肉对外做很大的功率。这种巨大功率根据能量转化原理由体内的化学能转化而来，对外完成了物理功。这种肌肉快速收缩表现出来的力叫爆发力。

比如跳马的踏跳，跳远的踏板，跳马的第二腾空推手，棒球运动员的击球等这些都是爆发力的表现。

人体之所以能在肌肉的收缩中产生爆发力，要看不同人的肌纤维的成份。但是，肌肉的收缩还要看白肌同红肌的组成的比例，关键是影响肌肉收缩的机制原因是什么。肌肉本身产生多大的化学能，而化学功率如何，而表现出肌肉收缩的张力——爆发力，而爆发力对外界或肌体本身做功，由于时间短暂而功率很大。但是，爆发力同肌肉的化学功率同体外的物理功率是两个截然不同的概念，二者的量纲同量值都是不同的。但是爆发力同功率是正相关的关系。

为了提高肌肉的张力，在肌肉收缩前适当的拉长则产生肌肉的收缩力量就大，或者在收缩前肌肉的突然被拉紧而肌肉张力提高。这一现象对提高肌肉的力量也很重要，它是由于刺激向中枢传递，引起中枢神经系统发出一股附加的冲动而实现的。

例如，在开始做投掷动作之前，迅速地挺肩动作（即超越器械），使得投掷动作的肌肉突然被拉紧，从而提高了投掷动作开始的力量，这就是肌肉牵张反射机制的实际运用。

但是肌肉的收缩在生理范围内，肌肉收缩时所产生的力量与其收缩前的初长度有关系，但是在收缩前适当的拉长肌肉，张量会增大，但过度拉长肌肉力量反而会降低，能产生最大力量和最大缩短的初长度称为最适宜初长度。

肌肉收缩前的予加负荷能提高肌肉的张力，从而也能增加肌肉收缩的力量。

为了提高肌肉收缩的速度，在肌肉温度提高 2°C 时，可增快20%的收缩速度，从而提高肌肉的收缩功能。一般在充分做准备活动之后也会取得好的效果。另外主动肌对抗肌的协调配合，会减小主动肌的收缩所遇到的阻力。

为了提高肌肉的收缩速度，首先加强肌肉力量的水平，这也是爆发力产生的基础。

第四节 呼吸、血液循环和神经系统在完成动作时的某些力学特征

一、胸式、腹式呼吸及用力时的憋气动作

呼吸过程由吸气动作和呼气动作构成。其中吸气是积极的过程，而呼气则是比较极的。

吸气时由于肋的运动和膈肌的收缩，胸腔左右，前后，垂直三个相互正交的直径都增大，肋骨的运动是由固有呼吸肌的工作而产生的。固有的呼吸肌是在中枢神经系统的影响下使其收缩。固有呼吸肌除膈肌外，尚有肋间内、外肌，提肋肌，后上锯肌及后下锯肌。

当固有呼吸肌收缩时，肋是围绕着与肋颈方向一致的轴而旋转的。在此动作中肋前端（肋软骨部）由于弹性而扭曲，能使肋上升并前移，结果前后径增大。此外，当肋前端上提，肋体上抬时，左右径也随之增大，这是因为肋的弯曲部向外侧移动所引起的。

由于膈肌变平，下方诸肋角下降，故垂直直径也增大。因为胸腔各径增大，其容积亦随着增加，肺便自由地扩张，肺泡内压力下降，则大气压力高于肺泡的气压，使空气自由地进入肺内。

当全吸时，肺表面接触胸腔壁，此时肺泡内的压力与大气压力平衡。

从开始呼气的最初一瞬间起，胸腔壁塌陷对肺施加压力，因此肺泡内的压力高于大气压力，则呼气开始。

在安静的状态下，呼气是消极进行的，此时膈肌在腹内压增高的影响下而松弛，其顶上移。同时，肋由于其本身的重量而下降，肋前端（肋软骨部）由扭曲的状态还原，这样胸腔各径均减小。在较深呼吸时，固有呼吸肌（胸横肌）参加工作。

在体育锻炼中，人体对氧的需要量增加，为了满足这种需要，首先就要增加呼吸的