

运动生物力学高级教程

◎ 金季春 主编



北京体育大学出版社

运动生物力学高级教程

金季春 主编

北京体育大学出版社

责任编辑 秦德斌
审稿编辑 鲁 牧
责任校对 黄 强
责任印制 陈 莎

图书在版编目(CIP)数据

运动生物力学高级教程/金季春主编. - 北京:北京体育大学出版社,2007.9
ISBN 978-7-81100-814-2

I. 运… II. 金… III. 运动生物力学-高等学校-教材 IV. G804.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 134850 号

运动生物力学高级教程 金季春 主编

出 版 北京体育大学出版社
地 址 北京海淀区中关村北大街
网 址 www.bsup.cn
邮 编 100084
发 行 新华书店总店北京发行所经销
印 刷 北京市昌平阳坊精工印刷厂
开 本 850×1168 毫米 1/16
印 张 31

2007 年 9 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1500 册

定 价 63.00 元

(本书因装订质量不合格本社发行部负责调换)

序

自2001年6月从领导岗位上退下来,我把全部的时间和精力放在了我所喜爱的学科和培养學生上。当过校长,深知多几门强的学科,多几个能揽瓷器活的实验室,多几位能培养奥运冠军、能为国家献计献策、能在体育科学高峰上攀登的名师、名家、名教练,对一个学校是多么重要。缺了这些,决策机构、宏观管理再有能耐也会是事倍功半的。

5年的努力使我看到了自己与脱离了15年的学科差距有多大。这15年运动生物力学发展是如此之快,以至我这个科班出身的“专家”都感到诧异了。为此,我加倍努力,阅读了大量的文献资料,除了平时及时向我的学生介绍一些新材料、新知识、新动态外,我也在不断地思索如何把这门学科的框架结构理出来,为我的学生指出一条比较清晰的发展之路。

首先,运动生物力学应该重视人体运动的研究。扎齐奥尔斯基的两本博士生教材——《人体运动的运动学》和《人体运动的动力学》——把研究人体运动放到了显要的地位,这也是本教材用了三章篇幅来介绍人体运动的原因。人体运动应该是运动生物力学的核心内容,其中有许多是人体运动所固有的规律的。例如,工程师确定一个物体位置所用的参考系方法与人的神经系统确定身体结构空间位置所用的参考系方法是不同的;环—链系统以及末端效应器和所包含的各个关节力矩之间的比例关系等等。

其次,运动生物力学是因分析动作技术需要而产生、发展起来。当前,已经历了定性分析、定量分析和及时反馈、预测分析和最佳化阶段,正在向着利用运动员的运动信息对运动员的动作技术训练过程进行监控的方向发展。所以,记录运动学数据的图像自动化识别技术成了众多学者攻关的目标。而动力学数据以其容易数字化的本质正在日益受到重视和发展。第五章为总结这部分内容而写(这一章是由我的学生、副教授刘开博士写的)。

第三是应用,按体育运动中的运动形式归类介绍一些基本力学原理和知识,便于学生分门别类地学习和应用力学知识。第六章、第七章、第八章三章就是这么安排的。原本还想写一章振动,由于这本教材已拖了一年了,不好再拖了,只好搁下了。第一章绪论有些内容看起来好像是与运动生物力学无关,例如,几个基本哲学观点。但是,我的经验告诉我,太深入到某一个具体学科中,而不常常跳出来从各个方面的联系上来看本学科的问题,尤其是从哲学的高度来看,往往会陷入死胡同而影响解决问题,甚至会犯错误。希望这个绪论不被大家认为是多余的。

运动生物力学当前还有两个活跃的发展方向，一是创伤力学及运动损伤预防，二是体育工程学。这两个方向虽然在本书中有些涉及，但未列专章论述。这次不写，以后再论。

本书名为《运动生物力学高级教程》，是为运动人体学专业的研究生所写的，当然，也可作为生物医学工程、人机工效学、劳动生物力学、骨伤科医师等相关专业人员的参考书。

书到用时才觉少，虽然我是认真地、用心地写这本书，但是，限于水平，错误、漏洞之处在所难免。盼有识之士不吝指教，以便下次改正。

这本书最终能得以付稿，我的妻子、高级工程师唐树霞付出了很多辛劳，几乎全部书稿的电子版录入，扫描插图、多次校对到编目成书，拿出一本齐、清、全的书稿交出版社，都是她一手操劳，没有她的贡献，恐难有此书。

目 录

第一章 绪 论	(1)
第一节 运动生物力学在体育和体育科学中的地位及作用	(1)
一、动作技术分析和最优化	(1)
二、设计和改进训练方法及手段	(2)
三、预防运动损伤	(3)
四、探索人体运动规律	(4)
五、设计和改进运动器材及设备	(5)
第二节 学习运动生物力学的几个基本哲学观点	(7)
一、真理是有一定适用范围的	(7)
二、物质世界是分层次的	(10)
三、时间和空间	(11)
第三节 运动生物力学发展的历史及趋势	(12)
一、运动生物力学发展历史	(12)
二、运动生物力学的现状和发展趋势	(21)
第二章 人体运动环节参数	(25)
第一节 人体运动环节参数	(25)
一、人体运动环节参数	(25)
二、研究人体运动环节参数的一个新思路	(42)
第二节 人体运动环节比例和身体姿态	(45)
一、人体运动环节	(45)
二、身体各环节的比例及对运动成绩的影响	(47)
三、姿态及其影响	(50)
第三节 标度及其应用	(52)
一、标度因子	(52)
二、无量纲积群	(56)

三、 π 理论	(60)
四、三种模型及其适用范围	(60)
五、几个实例	(68)
第三章 关节及其运动	(82)
第一节 二环节运动链位置分析	(82)
一、环节、运动副和运动链	(82)
二、环节自由度和运动链活动度	(83)
三、环节运动链位置分析	(87)
第二节 二环节链运动分析	(112)
一、二环节链平面(二维)运动分析	(112)
二、二环节链平面动力学分析	(120)
三、二环节链三维(空间)运动分析	(123)
第三节 三环节运动链分析	(126)
一、平面运动	(126)
二、三维运动分析	(137)
三、三环节链的动力学分析	(139)
第四章 肌肉及其运动	(151)
第一节 肌肉的力学基础	(151)
一、肌肉的基本结构	(151)
二、肌肉的力学基础	(159)
三、应用举例	(166)
第二节 肌肉离心作用在运动训练中的作用	(168)
一、活体肌肉作用的定义	(168)
二、肌肉离心作用的力学特征	(169)
三、肌肉离心作用对运动员成绩的影响	(171)
四、肌肉离心作用的生理学代价	(176)
五、肌肉作用的拉长—缩短周期: Stretch - Shortening Cycle (SSC)	(179)
第三节 力量和爆发力训练的生物力学基础	(184)
一、基本概念	(185)
二、力量和力量训练的专门性	(186)

三、力量训练方法的生物力学基础	(189)
四、实践应用的考虑	(192)
五、弹簧式反弹训练 plyometric training	(197)
第四节 肌肉力量测量和评估	(200)
一、肌肉力量 muscle Strength 的定义	(200)
二、肌肉力量的分类	(200)
三、肌肉力量的测量	(205)
第五节 柔 韧	(212)
一、柔韧的定义	(212)
二、柔韧的分类和专门化	(212)
三、软组织的力学性质	(214)
四、柔韧训练的益处	(221)
五、柔韧的测量和评价	(224)
六、增进柔韧的方法	(224)
第五章 体育动作技术分析	(234)
第一节 动作技术分析的层次	(234)
一、动作技术分析的层次	(234)
二、动作技术分析的层次	(235)
第二节 主观分析:定性分析	(239)
一、定性分析中的模型	(240)
二、定性分析的观察模型	(240)
三、定性分析的四项任务	(243)
第三节 客观分析:定量分析	(247)
一、数据收集和处理的作用	(247)
二、定量分析指标	(249)
三、定量分析过程	(250)
第四节 模 型	(252)
一、一个故事	(252)
二、关于模型的一般说明	(253)
三、力系统分析	(257)

四、确定系统	(261)
五、不确定的系统	(269)
第五节 模 拟	(274)
一、微分方程	(275)
二、数值解方法	(276)
三、力学系统的运动方程	(276)
四、使用肌肉—骨骼模型的模拟	(277)
五、外力的模拟	(279)
六、最优化研究	(280)
七、作为一种科学工具的模拟	(281)
第六章 行进运动	(286)
第一节 周期频率和周期长度对周期性行进速度的贡献	(286)
一、周期性行进运动的定义	(286)
二、周期频率、周期长度和行进速度	(286)
三、最佳步频 CR 和最佳步长 CL	(288)
第二节 参考系和运动	(291)
一、坐标系转换	(291)
二、位移、速度和加速度	(294)
三、走和跑	(303)
第三节 运动中的力和牛顿运动定律	(305)
一、力的定义和测量	(305)
二、运动中常见的力	(310)
三、牛顿运动定律	(324)
第四节 动量守恒和碰撞	(331)
一、动量和冲量	(331)
二、动量守恒	(333)
三、碰 撞	(334)
第五节 功——能方法	(343)
一、功、能的基本概念	(343)
二、功——能关系	(349)

三、机械能守恒定律	(350)
第七章 抛物体运动	(367)
第一节 只考虑重力作用下的抛物体运动	(367)
一、重 力	(367)
二、只考虑重力作用的抛物体的运动方程式	(368)
三、抛出点与落地点(碰撞点)在同一水平面的抛物体运动	(369)
四、抛出点与碰撞点不在同一水平面的抛物体运动	(370)
五、在一个斜面上抛出的抛物体运动	(373)
六、包络抛物线	(374)
第二节 考虑重力、阻力和升力的抛物体运动	(375)
一、雷诺数	(376)
二、阻 力	(377)
三、运动方程式	(379)
四、升力对抛物线轨迹的影响	(381)
五、旋转对抛物线轨迹的影响	(383)
第三节 体育运动中的抛物体	(391)
一、阻力对重力比	(391)
二、篮 球	(392)
三、网球和乒乓球	(393)
四、羽毛球	(393)
五、高尔夫球	(393)
六、板球 cricket	(394)
七、棒 球	(395)
八、足 球	(395)
九、标 枪	(395)
十、铁饼、飞盘和飞圈	(396)
十一、跳远、跳高和跳台滑雪	(396)
第四节 改善抛物体的初始条件	(397)
一、获得抛物体的最大远度	(398)
二、获得抛物体的最大高度	(400)

三、要求精度的抛物体	(401)
四、抛物体的旋转	(401)
第八章 角运动	(405)
第一节 角运动的基本特征和概念	(405)
一、角位移、角速度和角加速度	(405)
二、力矩和角运动惯性	(415)
三、角动量和角动量守恒定律	(422)
第二节 回转运动	(429)
一、陀螺和回转仪	(429)
二、进 动	(432)
三、章 动	(434)
第三节 摆 动	(435)
一、摆的运动特征	(435)
二、复 摆	(438)
三、体育运动中的摆动	(440)
附录1 矢量基础	(445)
附录2 矩阵基础	(448)
附录3 电子学基础	(450)
附录4 常见术语	(459)

第一章 绪论

生物力学 Biomechanics 是应用力学的原理和方法来研究生物系统的结构和功能,运动生物力学是生物力学的一个分支,重点是研究人体运动器系的结构和功能,特别是与体育动作分析、运动训练、设计和改进运动器材、装备和设施、预防运动伤害等有关的一门新兴学科,是体育科学的重要组成部分。本章第一节介绍运动生物力学在体育和体育科学中的地位及应用,以期说明,作为一名合格的体育工作者,运动生物力学的知识、理论和方法是必须具备的工作基础。运动生物力学在体育和体育科学中具有重要的地位和作用。第二节讲学习运动生物力学时应该确立的几个基本哲学观点,这对于正确对待和处理一些实际问题是有指导意义的。第三节简述运动生物力学发展的历史。“以史为镜知兴亡”,从历史足迹中可以连贯思路,少走弯路,更好地走向未来。

第一节 运动生物力学在体育和体育科学中的地位及作用

体育的宗旨和功能都是通过具体体育动作作为手段来实现的,从历史上的模仿动物动作来锻炼身体(例如,我国三国时期的华佗创编的“五禽戏”)到根据人体解剖学、生理学来创编体育动作(例如瑞典体操的编操原则),以及现代高水平运动员技术动作的个体化、合理化、最优化和安全化的学习、诊断、分析、纠正和提高,对人体运动规律的认识经历了一个历史发展的过程。作为一个体育工作者,无论你是学校体育老师、运动队的教练员、群众体育指导员,还是体育用品制造商、队医和骨伤科医生、体育行政管理人员等,都应该不同程度地了解 and 掌握作为实现体育宗旨和功能的手段——体育动作的有关知识。因此,运动生物力学和运动解剖学、运动生

理学、运动医学等一起组成了体育和体育科学的基础学科。

一、动作技术分析和最优化

运动生物力学是生物力学的一个分支,是适应体育运动的需要而产生的,因此,运动生物力学的根本任务是对体育动作进行分析、诊断和改进,逐步达到最优化,以期更好地实现体育的宗旨和发挥体育的功能。

(一) 体育动作分析的层次

运动生物力学对体育动作的分析可以分为三个层次:主观分析(又叫定性分析);客观分析(又叫定量分析)以及预测分析(包括模型和模拟,仿真和最优化)。这部分内容详见第五章。

(二) 体育动作分析的原则

对体育动作分析和诊断的原则有三条,即效率、效果和安全原则。

1. 效率 (efficiency)

效率是从机械原理中引用来的,一种机械(原动机或工作机等)在工作时的输出能量与输入能量之比叫这个机械的效率,即:

$$f = \frac{\text{输出能量}}{\text{输入能量}} \times 100\%$$

我们利用效率的概念来分析和评价动作时,对上述公式会有些改变,例如,用消耗1升氧所做的功来表示动作效率,在具体运动中,也会有许多具体表达方式,例如, Gaesser 和 Brooks (1975) 把自行车的骑行效率归结为4种表达形式:①总效率:总的机械输出功率除以总的能量消耗。②净效率:所做的功除以净能量消耗(总能耗减去安静状态时的能量消耗)。③工作效率:所做的功除以无载荷骑行时的能耗。④增量效率(delta效率):输出功率变化除以能量变化。总之,效率是分析和评价动作的重要标准和

原则, 运动员可以用许多方法完成动作, 什么是好的或正确的, 效率是一条重要的标准。效率高(做功大, 耗能小)的动作技术是好的或正确的。

2. 效果 (effect)

效果是动作所获得的结果和成绩。体育运动各个项目的动作目标是不同的, 有的是为了获得最大的距离(例如跳高、跳远、投掷等); 有的是为了用最短时间通过一定距离(例如各种距离的跑、自行车、划船、赛艇等); 有的是为了克服最大阻力(例如举重、力量举); 有的是为了准确地击中目标(射箭、射击、篮球、足球等); 有的是为了战胜对手(摔跤、跆拳道、橄榄球等); 有的则是为了改进自己身体的某些结构和功能, 例如健美(增加肌肉块), 有氧体操、慢跑、长走、太极拳等(改善内脏器官, 心血管呼吸系统等功能), 不胜枚举。因此, 在分析和评价动作时要根据效果原则, 例如, 跳高的目的是为了获得最大高度, 因此, 在比较剪式、俯卧式和背越式等动作技术时, 根据在同样起跳速度和角度的条件下, 身体能越过的横杆的高度越高, 技术越好。(图 1-1)

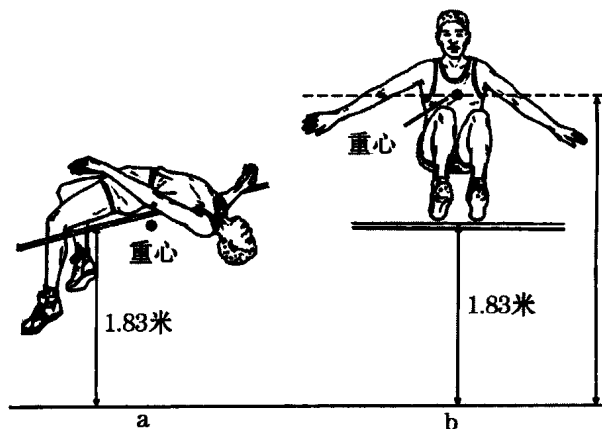


图 1-1 不同的跳高技术越过的高度不同

3. 安全性原则

安全性原则是分析和评价体育动作技术的很重要的一条原则, 在分析和评价动作的效率和效果时, 必须同时评价其对运动员的安全性, 容易引起运动员损伤的技术是不好或不正确的技术, 应该避免。安全性原则在设计、改进和研制各种

运动器械时更加重要。搞体育工程 (Engineering of Sports) 的人必须牢记不能“削足适履”, 而应“量体裁衣”。无论是竞技比赛的器械还是康复健身的设施, 都要有安全保证。安全性原则不仅指预防身体运动器系的伤害, 而且包括预防内脏器系、心血管和呼吸系统, 以及神经系统等的伤害。

达到效率、效果和安全性原则要求的动作才是正确和最佳的动作。正确的和最佳的动作才会达到良好的目的。所以, 运动生物力学在提高竞技体育成绩方面具有重要作用, 在提高全民健身和学校体育的效果方面也具有不可替代的作用。

二、设计和改进训练方法及手段

随着运动生物力学的发展, 人们对动作技术的认识日益深刻, 不仅提出了许多新的技术概念和方法, 而且也为设计和改进训练方法和手段提供了知识基础并做出贡献。最明显的是随着运动生物力学对短跑的动作技术的深入研究, 对短跑的技术概念进行了革新, 进而设计和改进了训练方法。

对短跑技术认识的提高主要集中在以下几个方面:

(一) 从功能原理认识到摆动腿的运动是提高跑速的重要环节, 身体一旦跑起来, 要保持身体做匀速运动, 并不需要做功, 但是, 每当一只脚着地时, 这只脚暂时地变为静止, 而运动员的身体其余部分则继续向前运动, 当这只脚离地向前摆动时, 这条腿就必须向前加速, 跟上并超过身体后, 又要减速并着地。因此, 实际上是在腿肌肉作用下, 腿的动作从 0 变到 $\frac{1}{2}m_i v^2$, 又从 $\frac{1}{2}m_i v^2$ 变到 0。周而复始, 直到跑完全程, 做功的是摆动腿的肌肉 F_m 。设 F_m 收缩的距离为 d 时, 它所做的功是 $W = F_m d$, 根据功能定理, 有:

$$F_m d = \frac{1}{2}m_i v^2$$

$$\text{或} \quad v^2 = \frac{2F_m d}{m_i} \quad (1-1)$$

这里的 m_i 是摆动腿的质量, v 是身体的跑速。从 1-1 式可以看出, 跑速主要取决于摆动

腿的肌肉力量,同时又与摆动腿的质量 m_i 成反比,跑的主要努力在于使腿不断地加速和减速时需做的功。轮子的优越性在于它在车子开动起来后,不必频繁地加速和减速。

根据上面的认识,使摆动腿向前加速和减速着地的肌群主要是髂腰肌(大腿前摆)和臀大肌(大腿制动),把训练主要放在这两群肌肉上不仅为运动提供了动力,而且这两群肌肉的发达,所增加的质量也不是加在大腿上,而是加在躯干上,这样不会使 1-1 式中的 m_i 变大,进而影响跑速。

过去认为跑的动作主要是支撑腿的“蹬地”,因此,把训练重点放在发展股四头肌和股后肌群上,这样,随着训练会同时增加大腿的重量,根据 1-1 式进而影响跑速,所以,“后蹬”技术被淘汰了,为增强股四头肌力量而采用的深蹲起的一些训练手段也随之淘汰了。

(二) 肌肉力学已经证明,向心收缩(作用)的力量最小,等长收缩(作用)的力量较大,而离心收缩(作用)的力量最大(见第四章),同时表明,当肌肉已被激活时拉长它,需要更大的力。这种预先激活拉长会使肌肉增加正功输出,在拉伸后瞬间完成的爆发力式向心收缩中,关节输出的正功率的峰值要增加好几倍(Vau Ingen Schensall 等人,1985; Prilutsky 等人,1992)。但是,这种拉伸——收缩之间转换的时间不能过长,太长了就会使动作变为两部分:一部分是落地缓冲,另一部分相当于原地起跳。对于跑来说,这个转换时间不能长于 170 毫秒(Gorge Blough Dintiman, 1998)。根据这种认识,跑的支撑腿从着地到离地的支撑时间短比较好。这一点已为世界级优秀选手的支撑时比其它选手的短得多所证实。因此,支撑腿的“后蹬”概念为“撑地”概念所替代。支撑腿应该像弹簧那样起“撑地”反弹作用,不应该是着地缓冲再来后蹬。在对跑动作这种认识的指导下,训练方法和手段也得到了改进,即最近兴起的弹簧式反弹 Plyometric 训练法(有人译为超等长训练法)。

(三) 由于人体是一个多环节运动链,因此,上部运动环节的运动会对支撑面产生一种动

支撑反作用力。当人体站在一个支撑面——如磅秤——上不动时,支撑面的反作用力叫静支撑反作用力,大小等于压在支撑面上人体的重量。当上部运动环节(如两臂)向着支撑面作加速运动时,动支撑反作用力要减小(如落地缓冲时,二臂和上体向着支撑面做加速运动),当上部运动环节背离支撑面做加速运动时,动支撑反作用力要增加(如原地纵跳起跳时摆动臂向上摆动)。动支撑反作用力 $F_m = m_i a_i$, m_i 是做加速运动的环节 i 的重量。 a_i 是环节 i 的加速度。跑步时摆动臂动作对支撑腿产生动支撑反作用力的作用。这样,一种摆动臂负重训练法以其简易、有效,而且把力量和速度训练与正常的跑的技术结构结合起来的优点正为运动训练实践所应用。

从上述例子说明,运动生物力学在设计和改进训练方法和手段中有重要的作用。

三、预防运动损伤

运动损伤是与体育和运动的目的、宗旨背道而驰的,应该防止其发生。但是,运动损伤无论在竞技体育还是在全民健身、娱乐体育中又是经常发生的。因此,预防运动损伤是全体体育工作者的不可推卸的责任和义务,运动生物力学也不例外。

预防运动损伤及伤后的治疗康复需要多学科的配合,包括运动解剖学、运动生理学、运动医学、运动心理学、矫正外科学和康复技术等等。而运动生物力学在损伤产生的原因及改进预防措施和康复手段等方面可以发挥独特的作用。

(一) 改进技术,减少损伤机会

网球、棒球运动员由于不恰当的击球技术(如在偏离打击中心的点上击球,握拍过紧等)会造成腕部、特别是肘部损伤。跨栏运动员和跑运动员由于技术不当引起股后肌群撕伤;体操运动员由于跳马推手技术不当而造成落地损伤;由于腰部动作错误在单杠或高低杠等上造成腰部损伤等。这些损伤均可通过运动生物力学分析和诊断,改进技术,做到减少损伤机会的。

(二) 改进器材和装备,减少损伤机会

通过压力分布鞋垫分析运动员的步态和跑步

动作,改进鞋垫吸收运动员与地面碰撞时的冲击能量,使峰值压力减少,进而减少损伤机会,已经取得了令人满意的效果。

滑雪和滑冰运动员经常发生膝关节频繁地受到巨大扭矩的情况。通过改进滑冰鞋(如克拉克冰鞋)可使膝关节扭矩减小,从而减少损伤的机会。

(三) 研制各种防护器材,减少损伤机会

最突出的是头盔的研制和改进,使赛车、摩托车、汽车拉力赛、跆拳道等运动员的头颈损伤机会减少。头盔不仅让头有一个外围保护,而且头盔的重心位置是一个极重要的参数。好的头盔不会使头有新的负担,甚至造成新的损伤。

在一些激烈对抗的项目中,如美国橄榄球,防护设备是必须的,好的防护器材不仅减少运动员损伤的机会,而且不影响正常的运动技术发挥。这就需要运动生物力学的研究。

(四) 帮助损伤诊断,提高治疗效果

根据力作用的规律,对损伤的原因、病症及程度等的诊断会更准确、更及时,有助于提高治疗效果。虽然损伤的机制是复杂的,但是机械力的作用是重要的方面。运动生物力学的知识、理论和方法对提高治疗效果起着重要的作用。例如,骨科医生常用的抗阻力试验法,需要有确定动作原动肌的环节受力分析法的知识;治疗运动员损伤常用的牵引法,需要有力的分解与合成的知识,以便准确地控制牵引的方向和重量的大小。(图1-2)

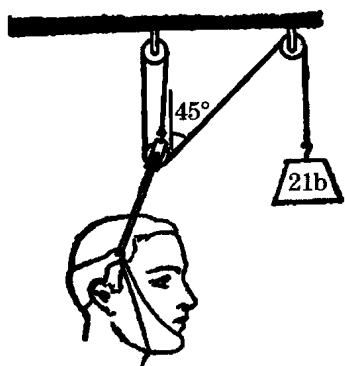


图1-2 头部牵引的力的分解

(五) 设计、改进康复手段和方法

最突出的是等动(速)训练仪在康复医学中的应用,为防止在康复过程中再次受伤,严格控制康复动作中的阻力大小是极其重要的,等动训练器可以解决这个问题,在实践中起到很好的效果。

由于运动损伤的部位不同、程度不同,因此,必须设计各种有针对性的康复动作和方法,运动生物力学在这方面发挥了很好的作用。在选择阻力的类型、大小方面,在选择正常的关节的训练范围方面,在选择训练器材方面,在选择正确的关节运动方面等,运动生物力学都可以对康复医生提供帮助。

四、探索人体运动规律

21世纪是生命科学的世纪,而地球上生命之最是人类,人类对客观世界的认识远比对人体自身的结构、功能和运动规律的认识要广大的多、深刻得多。因此,探索人体运动规律和人体生命奥秘是21世纪的重大课题,运动生物力学在研究人体基本运动形式方面是可以有所作为的。

(一) 人体运动环节参数

现在已经把人体看作是以骨为基础的肢体环节,通过关节连结起来的多环节运动链。作为研究人体多环节运动链运动的基础:各环节的质量、质心位置及转动惯量,一直是运动生物力学的研究内容。从19世纪德国科学家布拉温和菲舍尔开始的尸体研究,到扎齐奥尔斯基和我国清华大学郑秀瑗教授进行的活体研究,运动生物力学界不懈地进行着探索,一直未停。现在,虽然在实验研究基础上,建立了数套根据人体测量估算人体各环节参数的回归方程和模型,并且已经在解析仪的动作图片分析和各种运动分析的数学模型上应用,但是,无论在样本量、像测量体重那样可以随时进行个体化测量以及从“切割”环节到“运动环节”测量等方面,都有待运动生物力学去深入研究。人体运动环节参数不仅在体育动作分析,而且在航天航空、汽车工业及人机工效学方面都具有重要的基础作用。

（二）肌肉力学

肌肉是人体中能把化学能转化为机械能，并通过骨和关节对外部环境产生力的作用的器官。在人体运动中起能源作用。它历来是运动生物力学的重要研究对象，运动生物力学研究肌肉主要围绕着肌肉力学进行，并且在3个层次上展开工作：肌肉本身发力的机制→肌肉力转化为关节力矩→关节力矩转化为运动链末端效应器的对外部环境作用的力。在第一个层次上运动生物力学家是与解剖学、生理学（生物化学、电生理学）和运动医学的专家们共同工作的，在分子水平、肌原纤维水平，肌纤维水平和肌——腱复合体水平上探索肌力产生的机制和形式。在第二和第三个层次上则是以运动生物力学为主结合运动解剖学在展开工作的，其研究成果已广泛应用在改进体育动作技术，提高力量和速度等训练效果，改进汽车座椅和仪表位置、运动器材、设施以及劳动保护等方面。

（三）运动控制和反馈

从牛顿力学角度看，直立的人体是一个不稳定的系统，在复杂的体育动作中，人体是如何实现动作的准确性、协调性和稳定性的？运动生物力学开始与运动生理学、运动心理学协作，对人体运动的控制与反馈的研究做出贡献，特别是发现了中枢神经系统在运动控制和反馈中使用了与工程师在研究工程问题时使用的不同的坐标系（Zatsiorsky, 1998）。对运动控制和反馈的研究会进一步促使通过体育手段和方法来增强神经系统，就像体育动作增强运动器系、内脏器系、心血管和呼吸器系一样，在一个强壮的神经系统上进行数学物理、程序设计、哲学、逻辑、语言文字、音乐美术等等的智育训练，其效果当然要比在一个衰弱的神经系统上进行这些智育训练的好，据此对学校体育体制、内容和方法的改革，才会真正获得德智体全面发展的结果。运动生物力学在这方面会起主要的作用。

（四）生物学特征

人们曾用一个比喻来说明无机界力学和生物力学之间的区别：走路越多，鞋底越薄，脚底越厚。运动生物力学在研究人体运动时，不能不涉

及人体的生物学特征。不同体形、不同人种、不同性别、不同年龄在运动和力的表现方面的特征，不能不涉及人体对训练的适应问题，其研究成果将会对运动员选材、训练、康复等起作用。

随着残奥会、特奥会的发展，残疾人体育活动越来越普及，运动生物力学在促进残疾人体育健康、安全、有效地发展方面也会起积极作用。

总之，运动生物力学是体育科学的基础和重要的组成部分，在体育和体育科学中起着不可替代的作用。随着其研究领域的不断拓宽和深入，它的作用也会越来越大。

五、设计和改进运动器材及设备

运动器材、体育装备和设施是与体育运动的发展紧密联系在一起的，几乎每一个运动项目和活动都要求一定的器材、装备和设施。即使像在院子里踢毽子、跳绳这样简单的活动，也有毽子、绳子这样的器材。现代体育运动对器材、设备提出了更高的要求，例如现在国际自行车比赛使用的竞技自行车，与人们日常生活中使用的自行车相比，重量更轻、流线型更好（因而显著地减小了风的阻力），内部摩擦力更小，在完成同样的骑自行车任务时，运动员的能量消耗更小，这些改进和提高，是与运动生物力学的研究和应用分不开的。

（一）体育用品市场与体育工程学

随着后工业化时代的来临，以衣、食、住、行物质生活作为基础的大众市场会逐渐走向饱和。应该预先考虑、设计和制定适应空闲时间增多（今后空闲时间几乎要占人生的1/3时间）和休闲生活活动机的工业发展政策。这是日本经济企划厅国际工贸部（MITI）和劳动部在上世纪80年代末组织的一项调查结论（表1-1），他们发表的一篇调查报告《从体育市场观点看日本体育工业基本政策》（Yoshiyuki Matsuda, 1988）中，进一步把促进体育消费，开拓体育用品市场作为上述工业发展政策的一个重要部分（图1-3）。另外，根据国际体育工程协会上世纪末所作的调查，全世界每年的体育用品市场约为800亿美元（A. J. Subic & S. J. Haake, 2000）。西方发达国家和日本都已对这一不断扩大的市场

看好，例如，日本 1989 年就在国际工贸部建立了体育工业研究局，人员来自体育工业、研究所、学院以及制定促进体育工业计划的有关人
 士，任务是研究体育在休闲工业中的地位和作用。具体目标是：

表 1-1 休闲市场的变化和现状（兆日元）

	1986	份 额	1987	份 额	1988	份 额	增长率	
							87/86	88/87
总 计	516060	100.0	540590	100.0	588850	100.0	4.8	8.9
运动项目合计	35210	7.0	38430	7.1	42120	7.2	9.1	9.6
球类运动器材	3000	0.6	3230	0.6	3430	0.6	7.7	6.2
登山和海上运动器材	3530	0.7	3710	0.7	3890	0.7	5.1	4.9
多功能运动器材	5020	1.0	5500	1.0	5830	1.0	9.6	6.0
运动服装	4450	0.9	4550	0.8	4710	0.8	2.2	3.5
学校运动设备	18360	3.6	20470	3.8	23290	4.0	11.5	13.8
运动管理费	850	0.2	970	0.2	970	0.2	14.1	0.0

资料来源：日本公共关系部“关于人民生活的民意调查”，1988 年 10 月

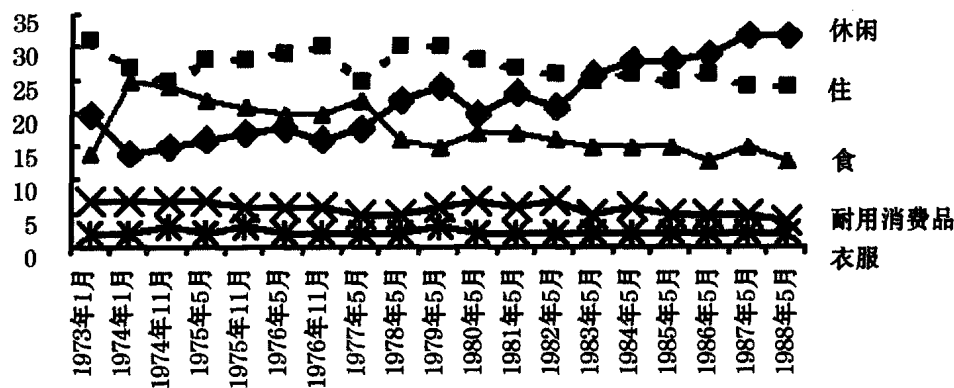


图 1-3 未来生活消费重点的变化

资料来源：日本公共关系部“关于人民生活的民意调查”，1988 年 10 月

1. 产生一个现代体育服务系统。
2. 为了体育工业的未来，建立一个远大目标和运作原则。
3. 发展体育管理体系的方向。
4. 培养体育工业人才。
5. 在一个城市或地区筹建体育环境（如设施和装备）的计划。
6. 发展体育仪器和建筑。

国际工贸部呼吁在师范大学和体育学院中建立新的系和学院，把体育与高技术工业（如计算机，材料科学和生物技术等）结合起来，促进科学研究和人才培养。

国际上已把这门学科称之为体育工程学（Engineering of Sports）。运动生物力学是其重要的交叉学科，或者说，体育工程学是运动生物力学的一个重要的发展领域。