

体育系通用教材

运动生物力学



体育院、系教材编审委员会

《运动生物力学》编写组 编

体育系通用教材

运动生物力学

体育院、系教材编审委员会

《运动生物力学》编写组 编

人民体育出版社

体育系通用教材

运动生物力学

体育院、系教材编审委员会
《运动生物力学》编写组编

人民体育出版社出版

九台县印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 16开 410千字 $17\frac{4}{16}$ 印张

1982年6月第1版 1982年6月第1次印刷

印数：1-18,500册

统一书号：7015·2019 定价：1.80元

[限国内发行]

编 者 的 话

一九八〇年我们受国家体委科教司的委托，在全国体育院系教材编审委员会的领导下，编写了这部运动生物力学试用教材。在编写教材之前，听取了兄弟院校部分专业教师的意见和建议。在编写过程中，参考了兄弟院校的有关教材及国外的一些新教材。书中大部分材料编选自北京体育学院原有的运动生物力学教材。本书主要由卢德明、李良标、苏品同志编写，其中运动素质生物力学一节特邀吴忠贯同志编写。本书可作为体育院校和师范院校体育专业的教学用书。

本书内容如全部讲授，所需学时比一九八〇年全国体育学院院长会议所拟定的时数可能多一些。教师使用本书时可按具体情况加以适当取舍。

由于编写时间仓促，在内容的取舍衔接和符号使用上难免有不妥的地方。另外，插图也比较粗糙。尤其是尚未经过教学实践的检验，书中存在问题一定会很多，恳请使用本教材的同志批评指正。

编 者

一九八一年九月于北京体育学院

目 录

第一章 绪 论

运动生物力学概述	1	运动生物力学的发展简史	2
运动生物力学的任务和内容	1	运动生物力学的应用	4

第二章 运动生物力学的基础力学

第一节 人体运动的运动学	7	四、体育运动中的转动问题	52
一、运动及其相对性	7	(一) 角量	52
二、直线运动的速度和加 速度	9	(二) 力矩	54
(一) 直线运动速度	9	(三) 转动定律及转动惯量	57
(二) 直线运动的加速度	11	(四) 角动量定理	63
(三) 速度和加速度矢量、矢量的 合成和分解	15	(五) 角动量守恒定律及其应用	64
三、曲线运动	18	(六) 人体腾空时转动的机制	65
(一) 曲线运动中的瞬时速度 矢量	18	(七) 摆动	68
(二) 曲线运动中的瞬时加速度 矢量	19	五、体育运动中的功和能	70
(三) 切向加速度和法向加速度	20	(一) 功和功率	70
(四) 抛射体运动	22	(二) 能	72
第二节 人体运动的动力学	26	(三) 功能原理、能量转化和 守恒定律	74
一、力与运动	26	(四) 功和能在体育中的应用	75
(一) 力的概念	26	第三节 人体运动的静力学	79
(二) 牛顿第一定律及其应用	27	一、人体平衡概述	79
(三) 牛顿第二定律及其应用	28	(一) 平衡的种类	79
(四) 牛顿第三定律及其应用	30	(二) 人体平衡的条件	81
二、体育运动中的力、受力图	30	二、人体运动中的静力姿势的 类型	83
(一) 人体外力和内力概述	30	(一) 静力姿势分类	83
(二) 人体外力	32	(二) 上支撑时的平衡	83
(三) 人体内力	39	(三) 下支撑时的平衡	83
(四) 受力图	40	第四节 体育运动中的流体 力学	84
三、动量定理、动量守恒定律 及其应用	43	一、静止流体中的压力和 浮力	84
(一) 动量定理及其应用	43	(一) 压强	84
(二) 动量守恒定律及其应用	46	(二) 浮力定律	86
(三) 碰撞问题	47	二、伯努利定律及连续原理	88
		(一) 流体的连续原理	88

(二) 伯努利定律——流动流体中的 压强	88	运动的影响	98
三、流体阻力及游泳的动力	90	(一) 流体对人体运动的影响	98
(一) 流体阻力	90	(二) 空气对投掷器械运动的 作用	100
(二) 游泳的动力	97	(三) 空气对球体运动的作用	102
四、流体对人体及体育器械			

第三章 人体结构机能的力学特性

第一节 骨、韧带力学	106	一、骨杠杆的概念及种类	126
一、骨力学	106	二、骨杠杆平衡及加速的条件	127
(一) 骨骼的成分与性能—— 弹性与坚硬性	106	三、杠杆的功用	128
(二) 管状骨的材料力学特性	107	四、上肢肌杠杆臂长度及 其应用	131
(三) 骨在一定范围内服从 虎克定律	107	第五节 呼吸、血液循环和神经系 统在完成动作时的某些力 学特征	132
(四) 骨骼强度	107	一、胸式、腹式呼吸及用力时的 憋气动作	132
(五) 机械应力对骨结构的影响	108	二、手倒立时的血液循环 情况	134
(六) 骨骼受力形式	109	三、做单杠大回环时的血液循环 情况	134
二、韧带的强度	111	四、神经系统在完成动作时的某 些特征	134
第二节 肌肉力学	112	第六节 人体整体动作的基本 形式	139
一、肌肉结构力学	112	一、上肢的整体动作	139
(一) 肌肉结构的力学模型	112	(一) 推	139
(二) 肌肉结构力学模型的性能	113	(二) 拉	141
二、肌肉收缩力学	114	(三) 鞭打	142
(一) 肌肉收缩种类	114	二、下肢的整体动作	144
(二) 肌肉收缩的力学特征	115	(一) 缓冲与蹬离地面动作	144
三、肌肉收缩的功、功率 及能量	118	(二) 鞭打	146
(一) 肌肉收缩的功	118	三、全身整体动作	147
(二) 肌肉收缩的功率	119	(一) 摆动	147
(三) 肌肉收缩时能量、机械 效率	120	(二) 躯干的扭转	150
四、肌肉收缩的机械效应	121	(三) 身体处于腾空状态时整体运动 的特点	150
(一) 肌肉拉力及其结果	121	第七节 运动素质生物力学	152
(二) 肌肉在不同收缩形式时 拉力的大小	122	一、运动素质总论	152
(三) 肌肉工作形式的多样性	124	(一) 测不准原理	152
第三节 身体环节的连结	124		
一、人体运动偶及运动链	124		
二、运动的约束及自由度	125		
第四节 运动链中的骨杠杆 原理	126		

(二) 相关原理	153	(二) 速度素质	163
(三) 相对原理	155	(三) 耐力素质	166
二、运动素质各论	157	(四) 柔韧性素质	171
(一) 力量素质	159		

第四章 运动生物力学的研究方法

第一节 记录动作的方法——拍摄		时间	192
电影及绘制人体运动		四、计算身体重心的水平速度和	
简图	175	垂直速度	193
一、拍摄电影技术图片应注意的		五、时间——速度计算尺的使用	
事项	175	方法	194
(一) 电影机镜头所对的位置	175	第四节 速度和加速度图象的绘制	
(二) 拍摄距离	175	方法	196
(三) 取景范围	175	一、绘制的原理	196
(四) 设置参考体和比例尺	175	二、具体绘制步骤	198
二、洗印、放大运动技术		第五节 计算人体腾起角和腾起初	
图片	176	速度	199
三、确定技术图片上人体的关节		一、利用电影技术图片计算腾起	
中心点	177	角、腾起初速度	203
四、连接各关节中心点绘制人体		二、腾起角和腾起初速度计算尺	
运动简图	178	的使用方法	203
第二节 计算人体重心	180	第六节 两种线解图的使用	
一、人体重心的概念	180	方法	204
二、人体重心移动规律	181	一、检验推铅球的角度和初速度	
三、计算人体重心的方法	183	的线解图使用法	204
(一) 用分析法计算人体重心	183	二、检验投掷链球的角度和初速	
(二) 用平衡台法计测人体重心	186	度的线解图使用法	205
(三) 用图解法测定人体重心	187	第七节 人体转动惯量的测定	206
第三节 运动时间和速度的		一、	206
测定	191	二、数据	207
一、秒表计时法	191	三、举例	212
二、专门记时器记时	191		
三、利用电影图片计算运动			

第五章 动作技术的生物力学分析

第一节 动作技术的生物力学分析		四、分析整理过的材料	217
方案	215	五、总结评定与建议	218
一、确定分析的目的任务	215	第二节 步行与竞走	218
二、确定研究方法，选择测试手		一、步行	218
段	215	(一) 步行活动的结构	219
三、整理测试所得的材料数据	217	(二) 躯干及两臂的伴随活动	220

二、竞走.....	220	二、踏蹬曲线变化的基本特点.....	243
(一) 单支撑.....	220	(一) 关于“有效冲量”问题.....	243
(二) 双支撑.....	221	(二) 助跑双脚起跳踏蹬曲线的特点.....	243
第三节 跑.....	221	(三) 原地起跳踏蹬曲线的特点.....	244
一、跑的动作过程.....	221	(四) 助跑单脚起跳踏蹬曲线的特点.....	244
二、腾空时期的分析.....	222	三、助跑双脚起跳踏蹬曲线基本类型的分析比较.....	244
三、支撑阶段的分析.....	223	四、原地弹跳能力与助跑踏跳曲线的关系.....	245
四、全身协调动作配合的意义.....	226	五、“优秀组”与“较差组”的比较.....	246
第四节 跳.....	228	六、运动技术特点与弹跳的关系.....	247
一、助跑.....	228	第九节 向前大回环.....	249
二、踏跳.....	229	一、铁棒和人体消极摆动的实验.....	249
三、摆动与蹬地动作的配合.....	232	二、积极上摆时身体姿势的变化.....	249
第五节 投掷.....	232	三、身体各点的轨迹.....	250
一、基本力学原理.....	232	四、重心半径和肩、腰角度的变化关系.....	250
二、助跑.....	233	五、身体各部位及重心的角速度.....	250
三、投掷.....	233	六、回环时的离心力.....	251
第六节 游泳——划臂推进力是如何产生的.....	236	第十节 对男子跳马侧翻类、手翻类型动作踏跳的研究.....	252
一、直线推水的理论.....	236	表 1—表 9	
二、曲线划水的作用.....	236	附：{ 运动生物力学教学大纲	
三、升力理论的提出.....	237	主要参考文献	
第七节 篮球.....	238		
一、投篮方法的分析.....	238		
二、关于擦板投篮和空心投篮问题.....	239		
第八节 排球扣球起跳技术的特点.....	242		
一、踏蹬曲线的基本结构.....	242		
(一) 助跑双脚起跳的踏蹬曲线.....	243		
(二) 原地起跳的踏蹬曲线.....	242		

第一章 绪 论

运动生物力学概述

体育科学是一门新兴的边缘性科学，随着现代体育运动的迅速发展，体育科学本身也产生了一些新学科，运动生物力学就是其中之一。

生物力学是研究活体系统机械运动规律的科学。

运动生物力学是生物力学的一个分支，它是研究体育运动技术力学规律的科学。

运动生物力学把对体育动作技术的研究课题，赋予生物学和力学的观点及方法，使复杂的体育动作技术奠基于最基本的生物学及力学的规律之上，同生物学、力学互相结合，互相交融。并以数学力学、生物学及体育技术原理的形式加以定量描述。教练员、运动员可依据所测定的生物力学参数来制定训练计划，改进动作技术。

运动生物力学在学科的名称上尚不统一。例如，在中国叫做运动生物力学，也叫做人体运动力学。在美国叫做运动技术的生物力学，也叫做运动生物力学。日本叫做身体运动学。苏联叫做运动生物力学等等。1973年8月30日国际生物力学协会成立。在第四届国际生物力学会议上决定采用生物力学作为学科名称以来，把本学科称为运动生物力学的国家渐多起来。

运动生物力学的任务和内容

运动生物力学是理论性和实践性很强的一门应用科学，担负着以下几项任务：

一、研究运动员身体结构和机能的力学特性。运动生物力学以生物力学的观点来研究运动器系、呼吸、消化、血液循环系统及神经系统的结构、运动素质的力学特性，并考虑年龄和性别的特点，训练水平的影响等等。换句话说，就是研究运动员自身的特点和能力。

二、确立运动技术原理。运动生物力学的研究，是以生物学和力学理论为基础，以科学实践为途径，受运动训练的实践所检验的。通过对各项运动技术的生物力学研究，提出必要的参数，塑造出标准运动技术的模式，使教练员和运动员明确什么样的动作是正确的运动技术，什么样的动作是错误的运动技术。明确了运动技术的原理，便可通过一定的手段对运动员进行技术诊断，找出技术改进措施，寻求最佳运动技术，以提高训练的科学性。

三、改进和设计运动器械。人体本身的运动效果和人体对器械的作用效果如何，固然跟运动技术是否合理有关，也跟运动器械是否具备良好的运动性能有关。从运动生物力学观点出发，把人体运动技术和运动器械的力学性能结合起来考虑，提出运动器械最

佳化的标准，可以改进旧的运动器械和设计新的运动器械。

四、防治运动创伤。对人体运动器官的力学研究和对运动技术的生物力学分析，能揭示人体各部位运动器官的形态结构与机能之间的具体联系，使人们知道什么运动对健康无妨，什么运动容易损伤，从而可以正确地编制和选择训练手段，预防损伤。也有助于伤后进行功能恢复的锻炼。

五、为选材提供有关参数。研究各项运动技术的生物力学特征，提出有关参数，可以从运动生物力学方面了解各专项运动员应具备的形态、机能和素质条件，供选拔运动员参考。

运动生物力学包括以下几方面内容：

一、绪论。它将阐明什么是运动生物力学，运动生物力学的任务和包括的内容，使学生明确体育专业的学生为什么要学习运动生物力学。运动生物力学的发展简史也在绪论中讲述，以便使学生了解运动生物力学学科的去、现在和将来，激发学生为发展我国的运动生物力学而贡献力量。

二、运动生物力学的基础力学。前已述及运动生物力学是以生物学和力学理论为基础的，所以，分别介绍用运动学方法分析人体的运动，研究人体位置变化和时间的关系，也就是从空间和时间的观点来描述人体的运动是十分重要的。而研究人体运动状态发生变化的原因及其规律是用动力学方法分析人体的运动。人体静力学主要是研究人体从事体育活动时的平衡问题。人们从事的各项体育运动，都是在流体中进行的，在运动中流体将给予人体和运动器械以一定的作用和影响，在分析体育练习时，这种作用和影响一般是不能忽略的，因此必须学习流体力学的某些理论。上述仅作为运动生物力学的基础力学知识讲授。

三、人体结构机能的力学特性。主要讲授骨、关节韧带的力学。骨骼的强度，骨骼的受力形式。肌肉的力学性质，肌肉结构的力学模型及性能，肌肉收缩的力学特征。肌肉收缩的功、功率及能量。肌肉收缩的机械效率。身体环节的连结。身体环节的骨杠杆原理。复杠杆。上肢肌杠杆臂长度及其应用。运动素质的生物力学等。

四、运动生物力学的研究方法。主要讲授拍摄技术动作照片时应注意的问题。测定人体重心位置。绘制人体重心轨迹的方法。速度和加速度图象的绘制方法等。

五、动作技术的生物力学分析。主要讲授运动技术的生物力学分析方案并举例分析一些基本动作技术。

运动生物力学是一门应用科学，它必须紧密结合体育实践为体育教学和运动训练服务。因此，经常对优秀运动员的运动技术进行定量地研究，探讨各项运动技术的原理、最佳运动技术和标志，指出动作的要领和训练的途径是运动生物力学的重要内容。

运动生物力学的发展简史

有材料记载，早在十五世纪意大利的伟大科学家列奥纳尔德·达·芬奇就对人体运动发生了浓厚的兴趣。他用人的尸体研究解剖学，并首次提出了人体服从于力学定律的观点。十七世纪，意大利的医生阿尔芳索·鲍列里写成了《论动物运动》一书。书中发表了运用杠杆定律测定人体重心位置的实验材料。他还把人体和动物的位移运动，根据同

周围环境相互作用的方式(如蹬离地面、蹬离物体、向支点引体等)进行了分类。十九世纪,德国生理学家维·维伯尔和埃·维伯尔兄弟发表了对人的基本位移形式——走的研究。苏联的解剖学家彼·弗·列斯加夫特在探讨人体运动器官的形态和机能之间的关系方面作了大量工作,写了《理论解剖学基础》和《身体运动理论》等著作。

萌芽时期的运动生物力学基本上没有和解剖学分开,多是应用尸体解剖材料分析人体运动,阐述动作的原理。

照像机的发明,对于研究体育动作起了巨大作用,人们可以利用照片测定和计算必要的的数据。随后,电影机的出现不仅能使所研究的动作重复再现,还可以通过电影图片算出人体重心、速度和加速度等数据。测力平台、肌电仪和电子计算机的问世及应用,深化了运动生物力学的研究。可以说,运动生物力学真正成为一门独立的学科还是本世纪的事。特别是60年代以后,由于电子工业的发展,为运动生物力学的研究提供了新的手段,进一步迈开了开拓这一学科领域的步伐,有力地指导了运动实践,越发显示出它的生命力和广阔的前途。目前,美国、东德、西德、苏联、瑞士、芬兰、捷克、日本和加拿大等国家都十分重视运动生物力学的研究工作,许多国家体育院校都开设运动生物力学课程。一些国家运动成绩大幅度地提高,与他们重视包括运动生物力学在内的科学研究是分不开的。

近二十年来运动生物力学的国际学术交流活动相当频繁。1967年在瑞士的苏黎世召开了第一届国际生物力学讨论会,此后每隔两年召开一次国际生物力学讨论会,至今已召开八次会议。1973年在美国宾夕法尼亚大学举行第四届国际生物力学讨论会上成立了国际生物力学协会。它的成员包括解剖学家、生理学家、工程力学家、矫形外科学家、康复医疗学家、运动学家等,相当广泛。

目前,国际上运动生物力学已在三个不同的方向上同时开展研究工作。即:应用研究、基础研究和理论研究。它们各有侧重,又互相联系,形成了一个完整的运动生物力学研究体系。

一、应用研究。它的主要任务是用生物力学的方法,具体解决体育实践中存在的有关问题(如技术、训练、运动创伤、恢复等),直接为提高运动成绩服务。

二、基础研究。它是以人的简单的基本运动(如站立、走步、跑、跳等)及影响这些动作的因素为主要的研究目标。在这类研究中,是通过对力(包括内力及外力)、速度、加速度等参数的研究及与人体功能结构特性的关系来揭示人体运动的基本规律。它是深入了解人体复杂运动的基础工作,可为深入研究运动技术提供重要的依据。

三、理论研究。它是以揭示复杂的人体运动的基本原因为主攻目标的。这方面的工作虽然刚刚开始,但由于生物力学的研究若没有理论研究作为基础,许多重大课题将不可能得到深入的解决,所以它颇受人们重视并发展很快。目前已涉及的工作有:肌肉的收缩原理、神经肌肉控制、人体结构的生物力学特性、人体运动时能量变换的热力学规律、以及将人体的运动动作“数学模型化”,以利于用电子计算机进行分析,并在严格控制条件下加以模拟等。今后,这一方向的研究工作将会得到更大的发展,并有可能为人类预示更加复杂有效的技术动作。

运动生物力学在我国还相当年轻,基础非常薄弱,专业工作者也很少。中华人民共和国成立之前,一些体育工作者曾作过这一学科的理论建设工作,一些师范院校体育系科开设过《人体机动学》。当时吴蕴瑞先生为师范院校的体育系科讲授过《运动学》。由于

那时整个体育事业都很落后，体育方面的科学研究工作少得可怜，运动生物力学不可能得到系统的建树。中华人民共和国成立以后，随着体育事业发展的需要，自1958年起陆续在体育学院设课。国家体委体育科学研究所又成立了本学科的研究机构。体育理论工作者和运动实践家发表了一些专著和论文，开辟了运动生物力学的科学园地。1976年以来，尤其是全国科学大会以后，体育科技工作者在运动生物力学的研究方面取得了许多新的成果。研制了游泳速度遥测仪、激光计时仪、标枪光电测速仪、三维测力仪和连续闪光机等测试仪器，为定量研究工作创造了条件。1979年、1980年中华全国体育总会先后邀请了国际上有名的生物力学专家来我国讲学，交流了学术经验，对推动我国运动生物力学的发展有一定影响。1980年12月成立中国体育科学学会的同时，成立了中国运动生物力学学会，举行了学术报告会。

科学的发展固然依靠实践的需要，也依靠方法上的进步。随着体育事业发展的需要，随着新的研究方法的出现和专业队伍的壮大，运动生物力学在我国必将迅速地向前发展，赶上世界先进水平。

运动生物力学的应用

运动生物力学已成为体育教师和教练员必修的专业基础理论科目之一。它的科学成果，不仅反映在运动生物力学专著上，也反映在各专项运动的教材中，用一般原理武装体育教师和教练员，提高教学和训练质量。

运动生物力学最突出的应用之点，就是用实验手段为提高运动成绩服务。有人说，奥林匹克水平运动员是科学的产物，这一点也不夸张。目前各项运动成绩都达到了高超的水平，每项世界纪录的刷新，都靠科学的力量来帮助，或者说是科学训练的结果。国内外学者在应用运动生物力学提高运动成绩上作了许多工作，成果非常显著。例如，我国的运动生物力学工作者在60年代初期曾对我国的优秀短跑运动员的技术动作做了较详细的研究，曾发表《男子百米起跑技术分析》、《百米起跑三十米速度的发挥》、《百米起跑的蹬力》等学术论文，并根据中国短跑运动员的身体结构形态特点探索了最佳的起跑姿势，对提高短跑成绩起了积极的作用。近年来有人采用应变测力原理配合电影摄影，研究了单臂向后大回环的技术原理，指出过渡到单臂大回环的前一个双臂大回环，角速度不宜过快，撒开一只手的位置在杠上垂线后 20° — 30° 较适宜。下摆至杠上垂线后 54° 左右、上摆至杠上垂线前 37° 左右，为“无重量”时相，是发挥转体、换握的好时机。还有人对跳马踏跳动作作了研究，指出踏跳时下肢各关节的运动幅度、下肢的原动肌、踏跳力量和时间等，使人明确了完成这一动作所需的技术要求和素质条件。如此等等，不胜枚举。

在国外，日本学者通过探讨运动技术的年龄特征，发现不同项目和不同年龄的运动员训练的重点环节也不同。例如，跳远运动主要是由助跑、踏跳和空中姿势三个环节组成的。从这三个环节对运动成绩的影响来看，儿童助跑占10%，踏跳占90%；少年助跑占45%，踏跳占45%，空中姿势占10%；优秀运动员助跑占45%，踏跳占20%，空中姿势占35%。明确这些，训练时就能抓住重点，而不致平均对待。近年来学者们开始注意从能量消耗的观点评价运动技术的好坏。以5000米为例，两名运动员最大吸

氧量相同，跑时身体姿势不同，一个人身体重心上下起伏较大，另一个人起伏较小，相差4厘米。前者用3215步跑完全程，后者用2825步跑完全程。前者能量消耗是后者的1.8倍，所以运动成绩不如后者好。这样研究问题对提高运动成绩很有帮助。特别值得介绍的是，美国奥委会生物力学部主任吉·艾里尔博士创建了一个实验室。在实验室里，艾里尔博士发明了一套信息系统。他应用电子计算机和物理学的基本原理为提高运动成绩服务。艾里尔研究小组用10000格/秒的超高速摄影机拍摄运动员的动作，在实验室里借助一个连接电子计算机的电子探针，对影片图像逐个进行解析。探针所触到的每个点的坐标被自动记录下来。然后用一条单线勾出的运动图像便出现在与信息系统相连接的荧光屏上。由于掌握了影片的拍摄频率和每个点在每时每刻的坐标，电子计算机便可轻而易举地算出身体各个部位的移动情况和加速度。再根据国家航空和宇宙空间管理局所提供的关于人体各部比例关系的资料，还能测出运动员四肢发挥的力量。

艾里尔的研究工作是卓有成效的。1976年在蒙特利尔奥运会上获得金牌的美国铁饼运动员麦克·威尔金斯就是一例。运动会开幕前几个月，艾里尔分析和研究了威尔金斯的情况。当时他的成绩是66米，离69米的世界纪录还相差很远。艾里尔通过计算威尔金斯四肢各部用力情况和分析他的投掷动作图解，发现他在铁饼出手之前不但没有刹住膝盖，反而像弹簧似地动了一下。只这一动，就使他失掉了一部分本应传到铁饼上去的力。于是，艾里尔在计算机上模拟出一个假设膝盖不动的威尔金斯，证明他还可以把成绩提高3米。三天以后，由于威尔金斯用矫形器刹住了膝盖，一下子竟以70.86米的成绩刷新了世界纪录。

另一个美国铅球运动员特里·奥尔布里顿也犯有类似毛病。艾里尔在分析了他的动作之后，建议他在推出铅球之前，膝盖不要弯屈，以保障把最大的用力传到臀部。艾里尔预言，如果奥尔布里顿能克服这个缺点，就可能成为世界冠军。一个月以后，他的预言果然得到了证实。艾里尔的研究成果是异常惊人的。为了准备参加1984年奥运会，美国奥委会已决定把美国参加奥运会的运动队委托给艾里尔进行研究和训练。

应用运动生物力学改进和设计运动器械也有很大的进展。例如美国航空科学博士宋载镇对投掷标枪动作做了动力学研究。他用五个非线性动力学微分方程描述了标枪的飞行过程，提出了数值解。并以1972年奥运会纪录为例，说明只要改变一下标枪的投掷角和在现行规则允许的范围内，使标枪的压力中心从现在的25.7厘米前移到距重心0.8厘米，就可把1972年的纪录提高16.61米。这个理论性的探索，使人们对通过改进运动器械来提高运动成绩发生了浓厚的兴趣。美国宾夕法尼亚大学生物力学实验室研究了跑鞋的性能，对跑鞋进行了承受撞击力实验、柔韧性实验和耐穿性实验。集中了世界各地跑鞋的优点，制成了“生物力学跑鞋”。

在防治运动损伤方面，运动生物力学有独到之处。有人从运动形式和损伤关系的角度作了大量的研究工作，知道了各类运动在什么情况下可能导致什么样的损伤，既能使医生对各种损伤可以作出正确的诊断，又能使运动员有目的地预防。

为选材提供了依据。1975年我国运动生物力学工作者对参加第三届全国运动会的体操、武术、游泳、举重、足球、乒乓球、羽毛球、篮球、排球、自行车和田径运动员的身体形态结构特征作了较全面的研究，求得了身体各部分的比例，概括了各项运动员的体型。还有人世界优秀田径运动员的身材特点进行了力学分析，指出优秀运动员的身材特点是由于田径各项目的不同性质、不同技术特点，以及不同训练情况等因素决定

的。优秀运动员所表现出来的身材特点，也具有运动生物力学方面的意义。在选材、训练或培养一个优秀运动员时，只有遵循运动生物力学的科学规律，才能取得预期的效果。这些研究成果，已被引起重视，应用于选材。

第二章 运动生物力学的基础力学

第一节 人体运动的运动学

人体在从事体育运动时其动作形式是千变万化的，各种动作形式差别的特征，称为运动学特征，包括运动的空间、时间、速度、加速度等方面。空间特征表明运动发生在什么地方和运动路程的几何形状，即表征“运动形式”这一概念。时间、速度、加速度的特征对揭示人体运动的性质是比较重要的。用运动学方法分析人体运动，主要是研究人体位置变化和时间的关系，也就是从空间和时间的观点来描述人体的运动。

一、运动及其相对性

自然界的一切物质都永恒地运动着、变化着。物质运动的形式是多种多样的。物体之间或者同一物体各部分之间相对位置的变化称为机械运动，它是自然界中最简单、最普遍的一种运动形式。各种机械运动都是相对的，如果我们在考察某一物体的时候而又不注意与其他物体的相互位置的关系，那就无从判别这物体是否在运动，假设自然界中只有一个物体，那么这一个物体运动与否是无法决定的。

当我们认为某一物体在运动，那一定是对另一物体而说的，此时，后者被当做静止不动的。这个被当做静止不动的物体或物体群就构成一个参考体或参照系。同一物体相对于不同的参照系，它的运动情况是不同的。例如，运动员在跑步、跳跃或者摆臂、踢腿时，他此时在运动。但是，当他坐在高速前进的汽车上，尽管车速比跑步快得多，但相对于车厢来说，他没有运动。如果他相对于地面，却是在运动。这说明选择的参考体不同，将得出运动员“运动”或“未运动”的不同结论。

一般的用“某物体相对于另一物体发生位置的改变”作为力学上“运动”的定义，即运动的实质决定于物体与另一物体位置的相互关系。

值得注意的是，当我们研究物体的运动时，当做静止不动的物体实际上都在运动着。在自然界中是找不出一个绝对静止不动的物体的，所有的物体都在运动，所有的静止都是相对的。

判定人体运动的参考体及坐标系：所有的运动，包括运动的特殊情况——静止，都是相对而言的。由于我们讨论的是人体的运动，因而就必须指明人体运动是相对于哪一物体发生的。在多数情况下，判断人体运动是以地球为标准的。因此，设置在地面上的跑道、起跑器、跳高架、横杆、体操器械、游泳池壁等都可作为判断人体运动的标志物。这些标志物体叫做“参考体”。

由于运动项目的不同和练习动作形式的不同，人体在空间的运动幅度、方位是经常不断地变化的。因而为了准确地判断人体运动的特征，在确定参考体的同时，还需要确

定参考方向。人体的运动是在三度的立体空间进行的，参考体常选用一个能表示三度方位变化的立体直角坐标系。直角坐标系的原点，随着运动需要可以确定在空间的不同位置上。在研究人体整体的运动时，通常将直角坐标系的原点安放在起点；在有固定支撑点的体操练习中，可将原点安放在器械的支撑握点；而在人体运动过程中，为了研究人体个别部分运动方向、幅度的变化情况，坐标原点也可安放在相邻关节上或总重心上。

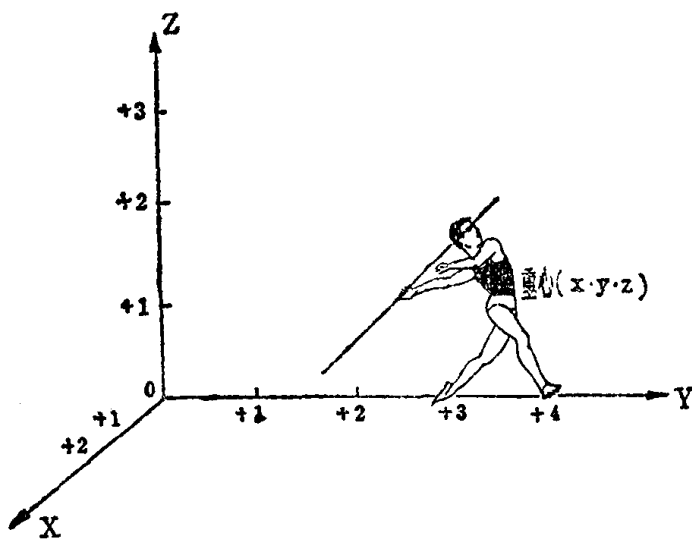


图 2-1 表示人体总重心在立体直角坐标系中的位置

对于参考体的选择，由于分析研究的目的和运动项目不同而有区别。为了便于说明身体相对于地面或运动器械的空间位置的变化，可以选用固定于地面或器械上某一位置的“静坐标系”。在分析某些项目的动作形式结构时，有的选用与人体运动方向相同，具有一定速度的“动坐标系”。

在研究体育动作时，比较常用的坐标系有以下几种：

1. 选用地面或安放于地面的标志物(如标竿、运动器械等)作为人体运动的参考体。
2. 选择运动员身体重心或某一关节(如髋关节、肩关节等)为原点，随着身体运动而移动位置的动坐标系。
3. 以运动员运动速度的平均值为定速的水平移动坐标系。

参考体的选用是根据不同运动项目、不同研究任务而确定的。对一个完整的动作进行分析时，常选用第一种坐标系，例如研究跑、跳等动作的运动轨迹；为了研究运动动作某一瞬间或阶段的局部特征，也就是研究分析身体某个部位运动规律特点，常采用第二种坐标系，如研究投掷运动项目；研究各种距离跑、游泳、自行车等运动项目，有的选用第三种坐标系。

由于选用的坐标系的不同，在整理分析有关运动数据时，必须考虑到坐标变换问题。人体在三度空间所进行的复杂活动，当我们记录他的运动形式特征时，往往只能在一个平面上归结为两度空间(如电影图片)，也就是用平面坐标系 oxy 来研究人体的运动。为了更精确地研究人体在三度空间的运动，可以同时用两个平面坐标系 oxz 或 oyz 记录其运动形式特征(如用两架电影机从相互垂直的方位同步同相拍摄动作照片)，然后合并到一个立体直角坐标系 $oxyz$ 中去。

关于坐标变换问题在解析几何学中归结为两种情形：其一是改变坐标原点而不改变

两轴的方向，上述三种坐标系属于这一类。其二是改变两轴的方向而不改变坐标原点，在研究有固定支撑点的器械体操动作中，有时用这一类坐标变换。

人体运动形式的运动学分类：

通过对各类体育动作的观察，人体整体或人体的某个部分运动形式的特点大体可分为三种类型：一种是平动，即人体各部分沿运动方向作平行移动，滑冰、滑雪的滑行动作可近似地视为人体整体的平动。显然，平动的运动轨迹可以是直线，也可以是曲线。另一种是转动，即人体各部分沿某一中心点或转轴旋转，如单杠的回环动作，投掷铁饼的旋转动作，花样滑冰的原地旋转动作等，就人体整体来说可算作转动。摆臂、摆腿动作就臂和腿来说也可算是它们绕相应关节的转动。一般的体育动作单纯属于平动或转动的很少见，大多是既有平动又有转动的“复合运动”，不少动作是人体四肢以关节为轴的多次转动而最终构成平动的运动形式，如走和跑主要是下肢各环节以髋、膝、踝关节为轴的多级转动形成，其次是上肢的配合动作(图 2-2)。

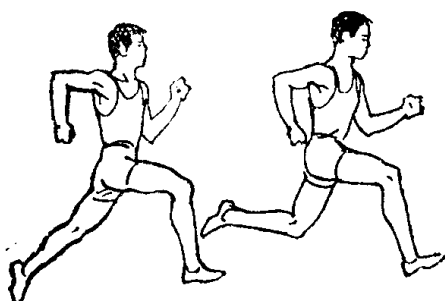


图 2-2 跑步动作中转动和平动

在体育动作中关于运动形式的描述一般可分为三种情况：对人体整体运动形式的描述；对人体个别部分运动形式的描述；对人控制的运动器械的运动形式的描述。

二、直线运动的速度和加速度

物体的运动有快有慢，人体的运动也有快有慢。例如在田径运动场上优秀短跑运动员和初学者在百米跑道上练习，两人跑的距离同是一百米，但到达终点所用的时间不相同。优秀短跑运动员跑得快；初学者跑得慢。但优秀运动员快到什么程度，初学者又慢到什么程度，一般很难作出准确的回答。实践也告诉我们，各种物体运动的快慢千差万别，同一物体运动的快慢也经常在变化。下面我们来讨论如何表示物体运动的快慢问题。

(一) 直线运动速度

人体运动所经过的路程和所用的时间之比，是人体运动的速度。速度是表示物体运动的快慢程度的物理量。为着说明速度的概念，先从物体做匀速直线运动谈起。物体做直线运动时，在任意相等的时间内所经过的路程相等，这种运动就是匀速直线运动。物体做匀速直线运动时，它所经过的路程和所经过的时间成正比，其比值是不随时间而改变的。物体运动的快慢程度，必须通过路程和时间的比值即速度来表示。

以一定速度运动着的人或其他物体，运动的时间、速度、位移三者之间的关系可以用图象的形式表示出来。例如以每秒 8 米的速度赛跑的运动员，其速度、时间、位移的