

田径运动 生物力学

许耀球 编著
姚天白



北京航空航天大学出版社

田径运动生物力学

许耀球 姚天白 编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

《田径运动生物力学》是一本通俗的体育专业书籍。

书中内容共分五章。第一章论述了运动生物力学在田径运动中的应用。第二章常用的力学基础知识。第三章走和跑运动技术的生物力学分析。第四章跳跃运动技术的生物力学分析。第五章投掷运动技术的生物力学分析。第六章介绍运动生物力学的测试研究方法和计量单位。

书中附有优秀运动员的技术图和大量的技术数据。

本书能帮助读者了解和掌握田径运动技术要领和怎样才能跑得快、跳得高、投得远。体育教师在教学中如何应用力学知识讲解技术要领,教练员在训练中如何分析运动员技术上的优缺点,更快地提高运动成绩。

内容通俗易懂,既适合具有中学以上文化程度的青少年运动员学习,又可作为体育学院学生学习田径课程和运动生物力学课程的辅助教材,也是体育教师、教练员的业务参考书。

田径运动生物力学

TIANJING YUNDONG SHENGWU LI XUE

许耀球 编著
姚天白

责任编辑 陶慧文

北京航空航天大学出版社出版

新华书店总店科技发行所发行 各地新华书店经销

昌平马池口印刷厂印装

787×1092 1/32 印张: 11 字数: 253千字

1990年5月第一版 1990年5月第一次印刷 印数: 3000册

ISBN 7-81012-171-5/G·010 定价: 2.35元

前 言

运动生物力学是一门新兴的体育科学。由于研究方法和仪器设备的改进，特别是体育运动水平不断提高。近几十年来，运动生物力学得到飞速的发展。

运动生物力学是研究人体运动技术的科学，所以它是一门实用性很强的学科，对提高运动成绩起着极其重要的作用。美国的奥林匹克生物力学测试中心，汉城奥运会生物力学测试中心，第六届全运会生物力学测试队的卓越贡献就是鲜明的例证。人们要科学地进行锻炼，提高运动成绩，必须应用运动生物力学的理论进行“科学指导”。

随着科学技术和本学科的飞速发展，运动生物力学将会出现新的分支——田径运动生物力学，竞技体操生物力学、游泳运动生物力学等。

《田径运动生物力学》一书，是把数学、力学知识和运动生物力学的研究方法应用于田径运动，是一种尝试，希望起到抛砖引玉的作用。

书中第一章、第二章、第三章、第五章由许耀球同志编写，第四章、第六章由姚天白同志编写。

在编写本书时我们参考了许多田径运动、运动生物力学专著、公开和未公开发表的田径运动、运动生物力学方面的论文。

编写过程中得到清华大学王英杰教授、北京科技大学徐

7 毅教授、浙江体育科学研究所吴忠贯研究员、华东师范大学王天佩教授的指导，也得到李建设、潘慧炬、潘云霞、许慧等同志很大的帮助，在此一并表示感谢。

由于生命科学和人体运动的复杂性，并鉴于作者的经验水平所限，书中肯定会存在不少缺点和错误，敬请读者批评指正。

目 录

第一章 绪 论

- 第一节 运动生物力学概述…………… (1)
- 第二节 运动生物力学在田径运动中的应用…………… (3)
- 第三节 田径运动技术的静力学分析…………… (5)
- 第四节 田径运动技术的运动学分析…………… (7)
- 第五节 田径运动技术的动力学分析…………… (10)
- 第六节 田径运动技术的生物力学研究方法…………… (11)

第二章 常用的力学基础知识

- 第一节 几种力的分析…………… (18)
- 第二节 田径运动的位移、角位移、速度、角速度、
加速度、角加速度…………… (28)
- 第三节 运动的迭加原理、人体和投掷器械斜抛运动的
力学规律…………… (40)
- 第四节 点的合成运动…………… (48)
- 第五节 动力学基本定律在田径运动中的应用…………… (56)
- 第六节 动力学普遍定理在田径运动中的应用…………… (62)

第三章 走跑运动技术的生物力学分析

- 第一节 竞走技术的生物力学分析…………… (73)
- 第二节 短距离跑技术的生物力学分析…………… (85)
- 第三节 中、长距离跑技术的生物力学分析…………… (110)
- 第四节 跨栏跑技术的生物力学分析…………… (131)

第四章 跳跃运动技术的生物力学分析

- 第一节 跳高技术的生物力学分析…………… (160)
- 第二节 撑竿跳高技术的生物力学分析…………… (178)

第三节	跳远技术的生物力学分析·····	(206)
第四节	三级跳远技术的生物力学分析·····	(226)
第五章	投掷运动技术的生物力学分析	
第一节	推铅球技术的生物力学分析·····	(243)
第二节	投掷铁饼技术的生物力学分析·····	(258)
第三节	投掷标枪技术的生物力学分析·····	(274)
第四节	投掷链球技术的生物力学分析·····	(298)
第六章	运动生物力学测试方法与计量单位	
第一节	运动生物力学测试研究方法概述·····	(311)
第二节	人体重心测定的有关数据与力学计量单位·····	(338)

第一章 绪 论

第一节 运动生物力学概述

一、运动生物力学的概念

运动生物力学是研究人类所从事的体育运动技术力学规律的一门新兴的边缘科学。它应用力学、数学、解剖学、生理学以及体育运动技术理论来研究各项运动技术的特点和规律。所以它是广大体育教师、教练员、运动员必须掌握的一门基础理论科学。

运动生物力学是从力学中发展而来的。

力学是一门古老的学科，是研究物体机械运动的一门科学。力学的产生和发展的过程是人类对物体机械运动认识深化的过程，是人们通过长期的生产实践和无数次的科学实验而形成的。

随着科学技术的发展和实践的需要，在原有的各经典学科基础上，逐步发展和形成了跨越原有学科范畴，研究范围涉及多门学科的交叉科学，边缘科学。生物力学就是一门由生物学、物理学结合发展而来的新兴科学。

生物力学是从力学的原理出发研究复杂的生物体。它已超出了传统的学科界限，是力学、数学、生物学包括电子学、工程学等学科相互渗透的学科。在生物力学中又逐步形成了研究人体运动技术的运动生物力学。

力学知识在体育理论上点滴的运用可以追溯到很久以

前。在古希腊被称为“运动学之父”的亚里士多德第一次分析了走步的全过程。

由于人体的结构和功能以及生命现象的复杂性，人们对于人体结构和功能的认识有一个逐步完善的过程。加上对于人体结构和功能认识的发展史上存在着两种世界观的斗争。有人认为人体运动和生命现象是非物理的，超物理的，是不受力学规律的制约或超力学规律的。这种对于人体运动力学的神秘和机械论的观点阻碍了人体运动力学的发展。

人体的结构和功能在进化的过程中时刻受到自然界中各种力的制约，形成了适合自身生存的结构、形态和功能。

如呼吸运动、血液循环运动是按流体力学的某些规律进行的，骨骼的形态和骨小梁的排列是符合力学原理的，肌肉收缩牵引骨骼绕关节的转动是符合杠杆原理的。

甚至细胞分子之间和分子内部都存在力的相互作用，分子生物力学就是研究这些内容。

运动生物力学作为一门新兴的专门学科，还是近几十年发展起来的。几十年来学者们对这门学科的命名和研究内容上也不完全统一。美国原来叫“人体运动学”，后改称“运动生物力学”。苏联早期曾称这门学科为“动力解剖学”。后改称为“运动生物力学”。日本称“身体运动学”。有些国家叫“人体运动力学”和“人体运动分析”。现在世界上统一使用“运动生物力学”的名称。(Sport Biomechanics)

二、运动生物力学的研究内容

运动生物力学是研究人体运动的科学。直接为提高运动成绩和增强体质服务。由于运动生物力学是一门新兴的学科，尚未形成本学科力学理论体系，因而要加强基础理论的研究。基础理论研究促进各项体育运动力学研究。通过

各项运动的力学研究丰富和完善本学科的理论体系。

运动生物力学的研究内容主要有：

(一) 基础理论研究。通过基础理论研究，总结运动生物力学中带普遍性、规律性的理论。包括运动生物力学的定理、公理等。

(二) 人体运动器系力学特性的研究，更好地揭示和掌握人体运动器系的力学特性，更科学有效地进行各项运动技术的生物力学研究。以及为防止运动创伤等提供理论依据。

(三) 各项运动技术的生物力学研究。揭示运动技术实质，验证动作技术的科学性、先进性和合理性。为探索和创新动作，为最优化的训练方案，最有效的训练手段，包括选材和预测运动成绩的未来提供理论依据。

(四) 研究运动器械的力学特性。对跑道、运动鞋、撑竿、投掷器械的力学特性的研究特别是随着材料科学技术的发展，改进和研制各种新型器械直接为提高运动技术服务。

(五) 运动生物力学研究方法和测试手段的研究。

科学技术的飞速发展，尤其是电子技术的日新月异，不断为运动生物力学研究提供新技术、新手段。因而必须重视方法学的研究。

各项体育运动成绩不断提高，运动技术的不断更新，为运动生物力学的研究和发展开辟了广阔的前景；运动生物力学的发展又促进了各项体育运动攀登新的高峰。

第二节 运动生物力学在田径运动中的应用

田径运动生物力学就是应用运动生物力学的理论和方法来研究田径运动的技术原理和各项运动技术。

人们从事田径运动都必须遵循力学的客观规律。任何一项田径技术都是在外力的作用下完成的。

如跑步时腿向后下方用力蹬地，腿部的肌肉力量作用在地面上，地面同时给人体以反作用力，这个力对身体来说就是外力，正是这种外力推动身体向前运动。

人体的运动必须符合力学规律，但又不能千篇一律地去套用力学公式，人体具有物所具有的属性但又不同于物体，人体是有生命运动的有机体，人与人之间存在生理上和心理上的个体差异，因而必须根据人体的生物学特征具体分析研究，这些就是运动生物力学所要研究和解决的问题。

通过对田径运动中的跑、跳、投动作的生物力学分析，就会了解哪些动作是正确的，是符合力学原理的，哪些动作是错误的，是违背力学原理的。

体育教师运用运动生物力学知识对运动技术进行生物力学分析，能加深对教材的理解，在教学中结合力学知识来讲解动作要领能收到事半功倍的教学效果。特别是给大学、中学的学生上体育课，他们具有一定的物理力学知识，既能帮助学生加深对田径技术要领的理解和掌握，又能丰富和巩固学生的力学知识。

过去长期的运动训练工作中，教练员们运用视觉手段和凭经验的传统训练方法，这种训练方法对教授运动技术和提高运动成绩是非常宝贵的，不可缺少的。但在现今各项运动技术水平趋于极限，又非极限的高水平情况下，传统的训练方法有很大的局限性，已不能适应运动技术的发展和水平的提高，如果在训练工作中借助于迅速发展起来的现代科学技术，运用先进的测试、分析手段取得科学的理论依据，对指导运动训练和提高运动成绩是非常重要的。

国外许多科学技术先进的国家同时又是体育发达的国家，就是因为他们把各项科学技术成果及时应用于体育领域。在许多报导中提到奥运会等世界大赛的金牌之争也是科学技术之争，是科学家之争。当然在运动场上科学技术代替不了运动员的拼搏，但事实已充分证明科学技术与现代体育运动技术有着不可分割的关系。

在田径运动的教学和训练中，经常需要应用运动生物力学的理论知识和它的分析方法，如应用生物力学知识讲解运动技术要领，绘制运动技术力学分析图和力学模型教具等，对运动技术进行生物力学分析以及田径运动技术最优化的研究，对新技术的科学论证、设计和建立运动技术的数学模型等。

在科学迅猛发展的今天，教练员只有掌握有关的科学知识，运用科学的训练方法，才能迅速提高运动员的运动技术水平。运动员懂得力学知识，就能更好地理解 and 掌握动作要领，明确改进技术的方法并有效的提高运动成绩。

第三节 田径运动技术的静力学分析

田径运动技术的静力学分析，是研究人体在静止状态下，身体平衡的条件、肌肉工作的条件，身体受哪些外力和力系之间的关系等。

人体处于静止状态下在力学上必须符合两个条件，即合外力等于零，合外力矩等于零。由下列平衡方程来表示：

$$\Sigma F = 0 \quad (1-1)$$

$$\Sigma M = 0 \quad (1-2)$$

ΣF 表示外力的总和， ΣM 表示外力矩的总和。

对公式 (1-1)，(1-2)，如果只满足 (1-1) 式的条件，身体就产生转动，转动的方向和主力矩方向一致；只满足 (1-2) 式的条件，身体就开始平移运动，运动方向和主力矩方向一致。田径运动中的起跑动作同时符合以上两个条件。

在力学上平衡的种类有随机平衡，稳定平衡和不稳定平衡三种。

随机平衡的特点是物体处于任何位置都能保持平衡。物体的位置改变时重心既不升高又不降低，始终保持在一个水平面上，支撑反作用力始终通过物体的重心。

稳定平衡的特点是物体从平衡位置开始运动，无论怎样运动，重心总是随之升高，产生恢复原来平衡状态的力矩。

不稳定平衡的特点是物体从平衡位置开始倾斜到一定程度，重心随之下降，产生破坏平衡状态的力矩，此力矩随物体继续倾斜而增大。田径运动中起跑动作是属于不稳定平衡。

人体静止状态下肌肉作静力性工作，只改变肌肉的张力而不改变肌肉收缩的长度，这时需要研究如何减少肌肉能量的消耗，怎样储备肌肉生理势能并更快地将其转换成动能。

做起跑动作时身体受到的外力，只有地球的引力，即人体的重力和地面的托力即静力支撑反作用力，向下的重力和向上的支撑反作用力之和为零，它们对于任何一点的力矩之和也为零。起跑动作的“各就位”和“预备”动作重力分布是不一样的，“各就位”时是五点支撑，两手、两脚和后腿的膝盖，“预备”时是四点，两手和两脚，力量的大小也不一样。

在田径运动技术中，只有起跑（蹲踞式起跑和站立式起

跑)动作需要应用静力学知识进行分析研究。起跑动作是人体由静止状态转变为运动状态的准备动作,这个准备动作能帮助人体迅速实现运动状态的转变。特别是在短距离项目的比赛中起跑动作占有很重要的位置。对于一个短跑运动员来说,在比赛中能提高百分之一秒的成绩都是很重要的,因而就需要我们学会应用静力学知识对起跑技术进行生物力学的分析和研究。

第四节 田径运动技术的运动学分析

田径运动技术的运动学分析就是研究运动员的身体或各环节的运动状态的变化,利用各种测试方法测出运动员身体或各环节的速度、加速度、角速度、角加速度等各种运动学参数,研究它们的规律。

在田径运动中,除了起跑动作(站立式起跑、蹲踞式起跑)以外,所有的项目进行运动生物力学分析时,都要运用运动学方面的原理,分析运动员身体和投掷器械的运动特征和运动状态的改变以及它们的规律等。

如径赛中的60米、100米、100米栏、110米栏运动员的身体是作直线的位移运动;200米以上项目运动员的身体除了作直线(直道)运动外,还要作曲线(弯道)运动。田赛中跳高、撑竿跳高的项目,运动员身体要腾越一定的高度,即作上抛运动;跳远、三级跳远项目,运动员身体要腾越一定的远度,即作斜抛运动,为了腾越得越高越远,腾越前运动员必须助跑,助跑时身体作直线运动,个别项目如背越式跳高,运动员作曲线运动。投掷项目是为了把投掷器械投得更远,推铅球、投标枪助跑时身体主要作直线运动,投铁饼和

链球时身体主要作旋转及水平直线移动的复合运动。投掷器械都作斜抛运动。由于器械形状的不同，飞行的轨迹也各异，铅球和链球飞行轨迹的曲率半径较大、铁饼和标枪飞行轨迹的曲率半径较小，趋于平直。

除了研究田径项目运动形式特征外，还要研究运动员身体和投掷器械运动状态变化的特点。可以利用跑表、光电计时仪以及高速摄影、录相等方法，测出运动员身体和投掷器械的速度、加速度；身体转动时的角速度、角加速度、线速度、切向加速度和法向加速度。

人体是由头、躯干、臂、手、腿、脚等环节组成的整体。整体的运动是由环节的运动来实现的。因而只研究身体的运动形式、速度、加速度是不够的，还要研究头、躯干、臂、手、腿、脚的运动形式，速度、加速度以及它们的变化规律。例如百米赛跑时，运动员的身体是作直线运动，躯干部分作转动，即右肩与左髋，左肩与右髋作相向运动，两臂（左右上臂和左右前臂）两腿（左右大腿和左右小腿），绕环节的近侧关节转动；即前臂绕肘关节转动，上臂绕肩关节转动，小腿绕膝关节转动，大腿绕髋关节转动。除了研究绕近侧关节转动，测出它们的角位移、角速度、角加速度外，还要研究相对于地面的运动形式和测出相对于地面的速度、加速度。

根据人体形态的解剖特点，在任何田径运动项目中臂、手、腿、脚相对于身体的运动都是转动，相对于地面的运动都是曲线运动。

由于人体形态和田径运动项目的复杂性，在研究中要描述身体或身体各部份在运动过程中的详细情况是很困难的。在生物力学研究中，根据研究任务和性质的不同，突出解决

主要矛盾，可以有条件地把人体和人体环节简化成一个点，这个点在力学上称谓质点。

所谓质点，就是把被研究的物体假设成没有大小和形状，只有一定质量的几何点。仍用上述运动员跑百米的例子，我们只研究运动员在跑道上移动的路程和时间的关系，就可以把身体看作是一个点，只研究一个点的速度、加速度，而不考虑身体的大小和形状。研究身体各部份的运动，同样可以把身体任何环节简化成一个点，而不考虑它的大小和形状。

通常在生物力学研究中，是把身体的重心点的运动代表身体的运动；环节的重心点的运动代表环节的运动。把人体或人体环节简化成点以后，研究时问题就大大的简化了。

在某些项目中，身体既作直线运动又作旋转运动，这时可以把直线运动和旋转运动分开研究。例如投掷铁饼和链球时，可以把身体的转动和沿投掷方向上直线运动分开研究，这样研究问题就简便多了。

研究转动时要考虑到人体和一般物体的转动是不一样的，任何物体转动时，物体上任何点的角速度都是一样的，而人体转动时，身体每一部份的角速度不一定是一样的。特别是投掷项目中的旋转动作，要求身体一部份比其它部份旋转得快些，角速度大些。投掷铁饼和链球时的旋转动作，髋关节的角速度要大于肩关节的角速度，这就是人们所说的“超越器械”体育术语的物理学含意。

对任何一个运动项目，只要运动状态发生改变，就能测出或计算出它的速度和加速度，每一项运动过程中速度、加速度的改变必须符合力学的客观规律。因而我们可以根据力学原理分析，哪些技术是正确的，是科学的，哪些技术是错

误的，是违背科学道理的。也可以用国内外优秀运动员的速度、加速度数据对比，在对比中发现运动员技术上的优缺点，找出提高运动成绩的途径。

第五节 田径运动技术的动力学分析

田径运动的动力学分析，是研究运动员运动状态改变的原因，测出各种力的大小、方向及变化情况，并研究它们的规律。

从事田径运动各项运动的运动员，身体都处在运动状态之中，运动的速度不断地变化。根据力学理论，任何物体产生运动或运动速度发生变化，都是在力的作用下实现的。如铅球、铁饼等投掷器械在空中飞行，是运动员的力量作用在投掷器械上的缘故。运动员的身体由静止到运动，运动速度发生改变，都是力量作用的结果。如运动员跑步时，腿的力量向后下方蹬出，地面同时产生一个向前上方的力，推动身体向前运动。

我们可以用测力台测出运动员的后蹬腿向后下方蹬地力量的大小。

在田径技术的动力学分析中只测出力量的大小是不够的，还必须测出或计算出用力的方向和随时间变化的情况。只有测出用力的大小、方向，时间和变化情况才能分析出运动技术的优缺点。如跳高运动员的跳高技术，就必须测出或计算出踏跳力量的大小，踏跳角度的大小，踏跳腿用力的时间及踏跳力量的变化情况等。

推动身体运动的力在许多情况下，不是一个力作用的结果，而是两个或两个以上的力作用的结果。如运动员跑步