

教育部推荐教材 ● 西南区体育教材教法研究会教材编审委员会审订



运动生物力学

主 编 罗建新 杨庆辞 刘子东
副主编 宋和胜 罗曦娟
王建中 肖树新

JIAOYUBU TUIJIAN JIAOCAI

YUNDOGN SHENGWU
LIXUE



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

教育部推荐教材

西南区体育教材教法研究会教材编审委员会审订

运动生物力学

主 编 罗建新 杨庆辞 刘子东

副主编 宋和胜 罗曦娟 王建中 肖树新

参 编 王亚琼 张梦阳 李 黔 雷 斌 李成林



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

目录

Contents

第一章 运动生物力学概论	(1)
第一节 运动生物力学的学科定义与发展简史	(1)
一、运动生物力学的学科定义	(2)
二、人体机械运动的基本运动形式	(4)
三、运动生物力学的发展简史	(5)
第二节 运动生物力学研究的内容和任务	(11)
一、运动生物力学研究的内容	(11)
二、运动生物力学研究的任务	(14)
第三节 运动生物力学研究的特征与发展趋势	(16)
一、运动生物力学研究简介	(16)
二、运动生物力学研究的基本特征	(18)
三、运动生物力学研究的发展趋势	(19)
第二章 人体及器械运动的运动学	(21)
第一节 人体及器械运动模型的建立与应用	(22)
一、人体及器械运动模型的定义	(22)
二、人体及器械运动模型的建立与应用	(22)
第二节 人体及器械运动学的基础理论	(25)
一、运动的相对性、参照系和坐标系	(25)
二、人体或器械运动的基本形式	(29)
三、人体或器械运动速度及速度变化的基本规律	(34)
四、速度的合成与分解	(38)
第三节 人体及器械斜抛运动的总体规律	(41)
一、物体斜抛运动的基本原理	(41)
二、影响斜抛运动远度的运动学因素	(45)
三、影响跳跃运动高度的运动学因素	(47)
第四节 运动学量的基本特征	(47)
一、运动学量的瞬时性	(48)
二、运动学量的矢量性	(48)

第一章 运动生物力学概论



学习提示

运动生物力学是研究体育运动中人体及器械运动特征与力学规律的科学,它奠基于力学、生理学和机能解剖学等体育科学学科的理论基础之上,是力学、生物学理论与人体运动科学相互结合、相互渗透所形成的一门综合性科学。运动训练、体育教育专业的学生了解、学习、掌握运动生物力学学科理论,是为应用其理论知识与方法去分析与研究体育运动中人体动作技术的基本规律与动作技术特征,探究与建立动作技术原理,形成正确的动作技术概念,用运动生物力学的理论与方法指导我们所从事的体育教学与训练实践,寻求体育教学与训练的最佳途径与模式。

本章主要阐述运动生物力学的学科定义;运动生物力学的发展简史;运动生物力学研究的内容和任务;运动生物力学研究的特征以及运动生物力学研究的发展趋势。

重点:

运动生物力学的学科定义;运动生物力学研究的任务和运动生物力学研究的基本特征。

难点:

理解、掌握运动过程中人体与刚体机械运动的共性与特殊性,明确学习与研究运动生物力学的任务。

第一节 运动生物力学的学科定义与发展简史

“物质存在的形式是运动”,自然界所有的物质都处于不断的运动之中,就其运动规律而言,从简单的机械运动到复杂的复合运动,从微小的分子运动到宇宙中所发生的天体运动,物体的运动状态都处于不断变化的过程之中。

生物学是研究有生命体生命现象及其运动规律的科学,其研究的主要内容是:生物体的形态与结构、局部环节机能及整体机能、机体各环节之间的

第二节 运动生物力学研究的内容和任务

运动生物力学研究的价值与实用性体现在以下两个方面:

一方面,随着体育运动不断发展与普及,体育教学与运动训练水平的不断提高,体育运动的社会价值不断地受到全世界越来越多的民众所认可,体育运动发展的需求决定了运动生物力学研究必须为现代高速发展的体育运动技术提供坚实的理论基础和强有力的方法保障。

另一方面,随着现代科学技术的高速发展,体育科学理论在运动实践中的不断修正与完善,新的科研技术、新的科研仪器、新的科研方法不断应用于体育教学与运动训练实践,新的体育科学理论与方法为系统地、全方位地研究体育运动动作技术的生物力学问题提供了可能,运动生物力学研究对提高运动训练水平和创造优异的运动竞赛成绩提供了现代的科学的研究手段与方法,对体育教学与运动训练实践具有极为重要的实用价值和实际指导意义。

一、运动生物力学研究的内容

运动生物力学研究的内容相当广泛。目前国际上运动生物力学已在应用研究、基础研究和理论研究三个不同方面展开研究工作。运动生物力学作为体育学院的专业基础理论课程,由于受教学时数的限制,本课程教学的基本内容包括下列各章节的内容:

(一)运动生物力学概论

运动生物力学概论部分阐明了运动生物力学学科的定义、学科的基础,运动生物力学发展简史及其研究的任务和基本内容,现代运动生物力学研究方法的基本特征与运动生物力学研究的发展趋势。使学生了解运动生物力学学科理论对体育教学与运动训练实践的重要意义,明确学习运动生物力学课程的目的、任务。学习、掌握和应用其理论知识与方法去研究与分析体育运动中人体动作技术的基本规律与动作技术特征,探究与建立动作技术原理,形成正确的动作技术概念,用运动生物力学的理论与方法指导我们所从事的体育教学与训练实践,寻求体育教学与训练的最佳途径与模式。

(二)人体及器械运动的运动学

人体及器械运动的运动学阐述了人体运动的运动学、人体运动的静力学、人体运动的动力学、人体运动的转动力学和人体运动的流体力学研究涉及的基本概念、基本原理及其与体育运动技术动作的联系与应用。

人体及器械运动的运动学是采用运动学的基本理论与方法,研究体育运动中人体与器械运动时空特征的科学。它是根据牛顿力学的运动学概念与原

理,研究人体或器械运动过程的动作结构、运动形式、运动状态及其变化的基本规律。其主要内容包括人体与器械运动在空间上所显现的变化特征,如身体姿势、重心运动轨迹、运动形式及动作的结构;在时间上所显现的变化特征,如速度、加速度、速率、角速度、角加速度基本概念以及影响人体及器械运动高度和远度的运动学因素等。

(三) 人体及器械运动的动力学

人体及器械运动的动力学是研究构成体育运动中人体与器械运动状态及其变化原因的科学。人体及器械运动的动力学根据牛顿力学的基本理论与方法, 阐述牛顿力学的动力学原理在体育运动中的应用, 研究运动中人体内力、外力作用及其相互关系, 探讨形成体育运动中人体及器械运动的空间、时间状态变化的根本原因。

人体及器械运动的动力学研究的主要内容包括牛顿运动三大定律的基本概念、原理及牛顿运动定律在体育运动中的应用范围、原则和方法等。形成人体运动的动力学因素主要有力、力矩、冲量、动量,研究人体运动的动力学所涉及的主要原理有动量定理、冲量定理及动量守恒定理等。

(四) 人体及器械运动的转动力学

人体运动的转动力学是应用转动力学的基本理论与方法,研究体育运动过程中人体转动动作的类别和特性,人体及器械转动力学的基本概念、原理及其在体育运动中的应用,人体及器械运动的转动力学是研究构成体育运动中人体与器械转动状态及其变化原因的科学。其主要内容包括人体转动动作的类别,人体与器械转动角速度、角加速度及人体转动惯量变化规律,运动过程中各关节角度、角位移、角速度、角加速度、转动惯量与所受力矩、冲量矩的关系等;人体运动的转动力学研究所涉及的主要原理有转动定理、动量矩定理、动量矩守恒定理及转动动作技术的基本特征和作用等。

人体运动的转动力学分析与研究运动过程中人体转动动作中力矩作用的规律,研究力矩、动量矩对人体或对器械运动的作用效应,分析力矩作用下人体或器械运动状态变化的基本规律,结合人体转动动作的特点阐述动力学原理在体育运动中的应用途径与方法。

(五) 人体及器械运动的静力学

人体运动的静力学是采用静力学基本理论与方法研究体育运动过程中人体静力性动作的类别、特性,人体及器械运动静力学的基本概念、静力学原理及其在体育运动中的应用。人体运动的静力学研究人体及器械运动的平衡状态、构成平衡的力学条件和保持平衡动作的基本规律,其研究的主要内容包括人体与器械运动的平衡,如平衡动作的类别与特征、构成平衡动作的力

学条件、在运动中如何保持平衡的稳定性等。

人体运动的静力学研究所涉及的主要原理有牛顿的惯性定律、两力平衡定理及动量守恒定理,动量矩守恒定理及平衡动作的运动技术原理。人体运动的静力学分析与研究运动过程中人体平衡动作中力或力矩作用的规律,研究力、力矩等对人体平衡动作的作用效应,分析力或力矩作用下人体静平衡、动平衡动作的基本结构与规律,结合人体平衡动作的特点阐述静力学原理在体育运动中的应用。

(六)体育运动中的流体力学

体育运动中的流体力学是根据流体力学的基本理论结合人体及器械运动的特点,论述在流体中的人体与器械运动状态变化原因及其与流体之间相互作用的基本规律。

人体及器械运动的流体力学采用定量与定性研究的方法,对在流体中人体及器械运动状态及其变化原因进行深入的探讨。研究的主要内容是体育运动中流体力学的基本概念、原理及人体与器械在流体中运动的基本特征。如流体性质、流线、流速、浮力、压力、压强、流体阻力、流体升力等基本概念和流体运动的连续性原理和伯努利定律在体育运动中的应用。

人体及器械运动的流体力学根据其基本理论结合人体及器械运动的特点,从运动生物力学角度分析和研究流体中力的传递、平衡,流体力学效应,以及在流体中运动时增大动力、克服和减小流体阻力的技巧。研究人体及器械在流体中如何利用流体的特性进行运动,探讨掌握合理运动的基本规律。

(七)骨骼、肌肉的力学特性及人体基本活动的生物力学

骨骼、肌肉的力学特性及人体基本活动的生物力学部分阐述了人体骨骼、肌肉结构的材料特性和人体运动过程中肌肉收缩张力与运动负荷的力学特性;根据人体运动基本动作的结构所进行的人体基本活动类别、人体基本活动的动作结构特征、形成动作的运动生物力学机制及其动作技术特点等;骨骼、肌肉的力学特性及人体基本活动的生物力学研究涉及的基本概念主要包括骨骼的结构强度和韧度、骨骼弹性和形变、骨杠杆原理、肌肉收缩的生物力学模型、主动张力、被动张力、肌肉收缩的生物力学特性与人体运动等。

(八)运动生物力学研究方法和人体运动数据的测量技术

运动生物力学研究方法和人体运动数据的测量技术从系统的观点出发,将力学、生物学测试方法与体育运动理论与方法相互渗透与融合,应用系统方法研究人体运动的因果关系,应用系统论、信息论的基本观点,采用现代科学技术对人体及器械运动参数进行测量、采集和整理,为研究人体及器械运动的技术结构、动作技术原理、改进和优化动作技术提供参考、分析的确

与研究,提供运动生物力学参数,预测其运动的潜力和确定运动训练发展方向,为早期选拔各专项运动员提供必要的理论依据和方法。

(二)研究动作技术的生物力学原理,建立动作技术教学与训练的基本模式,提高体育教学质量和运动训练水平

根据运动训练实践需求应用运动生物力学理论与方法研究各项动作技术,在体育教学、运动训练实践经验与体育科学原理的紧密结合中,不断地修正、完善动作技术原理,建立动作技术模式来指导体育教学与运动训练实践,优化体育教学和运动训练过程,提高体育教学质量和运动训练水平。例如运动生物力学研究过程中侧重对优秀运动员比赛动作技术进行运动生物力学参数测试与研究,以生物学和力学理论、方法为基础,结合体育运动的特点和规律,总结动作技术的基本特征,不断确立与完善动作技术原理,建立运动技术模式。再如在体育教学和运动训练过程中了解、掌握、应用动作技术原理,层次分明、清楚讲解与分析动作技术,对优化体育教学和运动训练过程具有十分重要的意义,“教什么、怎样教、怎样学、如何指导学生学习 and 掌握动作技术,形成较强的运动技能”,是优化体育教学和运动训练过程的关键环节。明确体育教学和运动训练内容、方法、手段,有利于推广先进的教学和训练模式,提高运动技术教学效果和训练水平。

(三)研究动作技术诊断的理论与方法,根据运动员的身体形态、机能和运动素质等的特点制定最佳化动作技术模式方案

结合运动员个人的身体形态、机能和运动素质等的特点,根据运动员现有的动作技术状态,进行动作技术诊断和研究适合个人的最佳动作技术方案。对高水平运动员的动作技术进行生物力学参数测试与分析,总结出其具有共性特点的技术,并针对其动作技术状况根据动作技术原理参照合理的动作技术模式进行比较、鉴别与分析,进行动作技术诊断,总结各个运动员动作技术特点和存在问题,提出改进动作技术的方法与手段,根据运动员的身体条件、训练水平,结合该项运动的发展趋势,研究与制定其最佳化动作技术模式和技术训练方案,提高教学和训练的科学性。

(四)根据人体运动的生物力学特性,结合人体运动的基本规律,探索预防运动创伤和康复手段的力学依据与训练方案

在运动生物力学研究工作中,根据人体运动的生物力学特性,结合体育运动教学与训练的基本规律,通过对人体结构和机能的生物学、力学研究和对运动动作的技术分析,充分揭示运动器官形态结构与机能相协调一致的关系,在体育教学与运动训练中寻求和选择科学合理的方法、手段,应用合适的运动量与运动强度进行体育教学与运动训练的实施,对预防运动创伤,制

定运动损伤后机体运动机能康复训练方案等具有重要作用和意义。

体育教师、教练员了解、掌握人体结构和机能的生物学、力学特征,结合体育教学与运动训练规律研究不同的技术动作对人体局部与整体生理、心理负荷的特点,了解产生运动创伤的生物力学原因和规律,采取科学、合理与安全的预防措施,能够在最大程度上减小运动创伤发生的可能性,同时也可以依据康复训练的理论、方法实施机体受伤后的康复训练方案。

(五)根据运动竞赛、体育教学和运动训练的需要,研究设计科研仪器,改进和设计运动器材与场地设施

在人体的运动实践中,由于构成人体整体的运动状态变化必须有人体内力和外力相互作用。人体的整体位移或器械物体的运动,必须是人体与外界物体(运动场地、跑道或器械等设施)相互作用才能形成。因此,运动场地、跑道或器械等设施的质量和力学性能与运动状态及其结果有着直接的必然联系。如铁饼、标枪的空气动力学性能,运动场地、设施的结构特性,运动器械的物理性能等。

在竞赛规则允许的范围内,从生物力学的观点出发,根据运动竞赛、体育教学和运动训练的需要,研究设计科研仪器,改进和设计运动场地、器材与设施,提出运动场地、器材的最佳化标准与性能,为充分发挥人体的运动能力,创造优异的运动成绩和有效地促进身体健康发展、增强人体的体质提供良好的外源性生物力学条件。

第三节 运动生物力学研究的特征与发展趋势

现代科学技术高速发展与社会政治、经济、体育运动的发展,极大地促进了体育科学的发展。自然科学技术、社会科学理论的发展与当代体育竞技、体育健身、体育娱乐运动的实践需要,为现代运动生物力学研究奠定了深厚的物质基础和理论基础,提供了更为科学的研究手段与方法,为运动训练、健身运动与体育科学的完美结合提供了更为广泛的研究领域。现代奥林匹克运动的金牌是科学的产物,这个理念已成为运动生物力学研究成果的真实写照。先进的科研设施与研究方法,高层次的哲学思维与辩证理念,运用于运动生物力学研究领域,必然极大地推动现代运动生物力学研究水平的发展。

一、运动生物力学研究简介

现代运动生物力学的研究方法主要分为原始资料数据的采集整理与资料数据的分析方法两大类,两类研究方法相互交叉、互为补充,为达到运动生物力学研究的目的而形成有机的统一体系。

(一)运动生物力学原始资料数据的采集整理

运动生物力学原始资料数据的采集整理包括对人体及器械运动参数的测量方法、资料数据的整理及分析方法两种。

对人体及器械运动学参数的测量方法有三个方面的,即运动学特征参数测量、动力学特征参数测量和生物学特征参数测量。

1. 运动学特征参数测量

运动学特征参数测量主要是针对体育运动中人体及器械运动的时间、空间特征进行测量,通常采用光电测量仪器进行测定,如全自动电子计时器、红外线测速仪、雷达遥控测速器、位移传感器。光学、电学测量,录像、高速摄影、三维立体摄影、关节角度动态测量等。

2. 动力学特征参数测量

动力学特征参数测量主要是针对体育运动中人体及器械运动的时空特征进行测量,通常采用测力设备进行测定,如对人体及器械运动动力学参数的静态动力学测量方法、环节及整体重心测量、环节及整体转动惯量测量、平衡动作的力学测量等。动态动力学测量方法有三维测力台测量、空间飞行器压力传感测量、流体力学的“风洞”实验测量、撞击实验测量等。

3. 生物学特征参数测量

对人体及器械运动生物学特征参数测量有两个方面,一是对骨骼的生物力学性能测量:如骨骼抗拉、抗压和抗折强度测量和骨骼韧度测量等;二是肌肉生物力学性能测量:如肌肉的主动张力与被动张力测量、肌肉收缩过程中生物力学的性能测量等。

(二)运动生物力学资料数据的分析方法

运动生物力学资料数据的分析方法采用现代多学科交叉的各种方式进行,如通过文献资料法的查阅、收集、访谈与调查,获得引文资料、历史数据资料、实地资料等,通过对有关文献资料进行处理,如通过应用统计、摘录、录像资料解析的方法,应用系统分析法、信息论方法、数字模型法、图片解析法、因素分析法、计算机数字仿真法、运动方程、数理统计法等对人体及器械运动状态进行定量分析,并在定量分析的基础上,应用比较研究法、归纳总结法、演绎法、逻辑学方法、词义研究法等研究与探讨体育运动中人体及器械机械运动的基本规律,从而得到对提高体育教学与运动训练具有重要实用价值与作用的定性结论。

社会科学的高度发展,使运动生物力学的研究方法形成多学科交叉渗透的综合性研究体系,在现代运动生物力学的研究实践中,通过对数据的采集、整理与分析方法的不断改进与创新,通过多学科研究方法的交叉与互补,将

二、运动生物力学研究的基本特征

20 世纪 80 年代初以美国运动生物力学专家艾里尔博士所进行的运动生物力学研究,用计算机数字仿真技术对于威尔金森投掷铁饼、奥尔布里顿投掷铅球的技术诊断,及其寻求最佳化动作技术方案,融合了现代自然科学多学科交叉、渗透的先进技术与现代社会科学研究方法的精髓,奠定了科学化训练理论与实践相结合的坚实基础。

高速摄影技术和电子计算机技术应用于运动生物力学的研究,使体育动作技术时空特征能得到更为精细、准确的再现与反映。三维测力分析系统可对形成动作技术的动力学参数进行准确的测量与数据处理,现代电子计算机技术(运动录像、影片解析系统,图像动态采集器、数据处理分析软件技术等)可以在较短的时间内对动作技术进行运动学、动力学特征的统计、计算、整理与分析。

现代运动生物力学研究结论精细、准确,对动作技术诊断、改进技术动作的措施和设计最佳化动作技术方案具有较强的科学性和实用性。现代运动生物力学研究采用电子、光学、数字测量技术的方法与手段,结合社会科学的研究方法对体育过程中人体的运动规律进行广泛深入的研究。

现代运动生物力学研究的周期短,结论快速准确,对运动训练实践具有现实的指导意义。其研究的可行性强、对设计创新体育高难度动作具有预计性,对防止运动伤害事故的发生具有良好的作用,尤其是“高、难、新”的技术动作设计与实践中结合了电子、数字技术,极大地提高了实现高难度动作的成功率,在很大的程度上减少了运动训练过程中伤害事故的发生。此外,采用电子模拟技术对动作技术的诊断,改建与再造都具有广泛的适应性和实用性,对动作技术的教学和运动训练具有重要的指导作用。

现代运动生物力学应用实验研究与辩证思维分析相结合的方法,对体育运动中人体及器械的运动学特征、动力学特征、生物学特征的研究,是运动生物力学研究的基本方法。实验研究的对象是运动过程中的人体及器械,通过现代的运动生物力学科研仪器设备监测、采集与处理人体运动的运动生物力学基本参数。辩证思维分析研究则是以经典力学、生物学理论为基础,采用定量与定性分析相结合的方法分析人体及器械运动的基本规律。

现代运动生物力学研究方法就是其实验研究与辩证思维分析有机结合方式,自然科学技术的高速发展为运动生物力学研究提供了极为科学的研究手段,社会科学的逐渐完善为运动生物力学研究提供了极为重要的思维分析方法,实验研究与辩证思维分析相结合是现代运动生物力学研究方法的核心。

三、运动生物力学研究的发展趋势

现代运动生物力学研究既要适应日益激烈的竞技体育运动竞赛需求,也为实施大众健身计划提供充实的理论依据和科学手段,在此历史背景下,现代运动生物力学研究体现出以下几方面的发展趋势:

基础理论的研究更加深入和细化,从人体运动的宏观特性研究到动作技术的微细结构研究,从整体动作的运动学、动力学特性研究发展到更加微细的局部分子水平研究,是现代运动生物力学研究发展的一个大趋势。

基础理论的研究与应用理论的研究齐头并进,互相整合,运动生物力学研究与运动训练实践紧密结合,动作技术的研究方法与手段更加科学化与现代化,新科学仪器不断应用于动作技术的研究,追求动作技术结构的最佳化动作效应,采用电子计算机数字技术使动作技术的研究方法与手段更加科学化与现代化,研究的速度更快,研究的结果更为精细和准确。

运动技术动作研究从定性研究向定量研究发展,形成定量研究与定性研究的有机结合,应用哲学的思维辩证与逻辑推理方法,对运动生物力学学科理论与方法进行逐步修正与完善,使其研究具有完善的研究机构和充实的理论基础,并逐步向系统化、信息化、实用化、科学化方向发展。

>>> 复习与思考

1. 基本概念:运动生物力学;机械运动;运动技术原理;最佳动作技术
2. 简述运动生物力学的学科定义及其与生物力学的学科关系。
3. 简答体育运动中人体机械运动的基本形式及其构成的原因。

4. 在运动生物力学的发展中,历史上有哪些具有典型代表意义的人物及事例?

5. 简述运动生物力学研究的任务。
6. 简述运动生物力学研究方法的分类与类别。
7. 简述体育科学中运动生物力学研究的基本特征。
8. 现代运动生物力学研究具有哪些方面的发展趋势?

第二章 人体及器械运动的运动学



学习提示

人体及器械运动的运动学是研究体育运动中人体与器械运动时空特征的科学。它是根据牛顿力学的基本理论与方法,研究人体及器械运动过程的动作结构、运动形式、运动状态及其变化的基本规律。本章主要阐述人体及器械运动的基本概念;运动学原理;对人体及器械运动的空间特征与时间特征以及影响人体及器械运动的运动学因素进行深入地探讨和论述。

通过本章的学习,使我们了解、掌握与应用人体及器械运动学的基本理论与方法,分析与掌握体育运动中人体动作技术结构及其基本规律,建立正确的动作技术概念,应用运动学的基本理论与方法指导我们所从事的体育教学与运动训练实践,提高体育教学与训练的质量。

重点:人体及器械运动的运动学基本规律;动作技术时空特征的描记方法;影响人体及器械运动高度和远度的运动学因素。

难点:理解、掌握运动过程中人体及器械运动的速度及速度变化的基本规律,运用运动学的基本理论与方法阐述人体及器械运动结构的时空特征与规律。

人体及器械运动的运动学是研究体育运动中人体与器械运动空间特征、时间特征及时空特征的科学。人体及器械运动的运动学是根据牛顿力学的基本理论与方法,阐述人体或器械的运动形式、动作结构、运动状态变化的规律及其空间状态的几何位置随时间而变化的关系。

人体及器械运动的运动学是对人体及器械运动的定量描述,是以人体及器械运动的几何性质为研究的主要内容。人体或器械运动的几何性质,是指其运动的空间几何位置随时间而变化的规律性,研究人体或器械在空间的运动状态及其位置随时间变化的规律,依据人体或器械运动的形态、轨迹、速度和加速度变化的运动学参数,采用运动学的理论、方法对人体及器械运动进行非接触性的测量与研究,对我们在体育教学与训练实践中对人体及器械运动状态变化规律的分析 and 应用,具有极其重要的指导意义和实用价值。

$$\begin{aligned}
 S_2 + S_3 &= v_0^2 \sin \alpha \cdot \cos \alpha + v_0 \sin \alpha \sqrt{v_0^2 \sin^2 \alpha + 2gh} / g \\
 &= 10^2 \times \sin \alpha 40^\circ \cdot \cos 40^\circ + 10 \times \cos 40^\circ \sqrt{10^2 \times (\sin \alpha 40^\circ)^2 + 2 \times 9.8 \times 2 / 9.8} \\
 &\approx 12.038(\text{m}) \quad (2-15)
 \end{aligned}$$

$$S_{\text{总}} = S_1 + S_2 + S_3 = 0.80 + 12.038 \approx 12.83(\text{m}) \quad (2-16)$$

用以上公式即可计算得到运动员投掷铅球出手点比落地点高的器械飞行远度。

例 2: 在田径运动会跳远比赛中, 通过摄影测量已知运动员起跳腾起的初速度速度 $v_0 = 11 \text{ m/s}$, 腾起角为 $\alpha = 17.8^\circ$, 运动员起跳离地瞬间, 身体重心垂线距起跳板前沿的水平距离 $S_1 = 0.80 \text{ m}$, 起跳离地瞬间身体重心高度至落地瞬间高度的落差为 $h = 0.49 \text{ m}$, 落地的最近痕迹在身体重心轨迹的延伸线上, 如果忽略空气阻力不计运动员跳远的成绩从理论计算的角度上分析应为多少米?

运动员跳跃远度的理论成绩为 $S_{\text{总}}$, 其中包括运动员起跳离地瞬间身体重心垂线至起跳板前沿的水平距离, 起跳离地后人体重心在 H 水平面的腾空距离 S_2 , 身体重心点 D' 下落过程的水平距离 S_3 (即: D' 点身体重心垂线至落地点的水平距离), 上述运动学量可以通过摄影测量获得。

即: 运动员跳跃的远度 $S_{\text{总}} = S_1 + S_2 + S_3$

解: 设腾空远度为 $S_2 + S_3$, 则:

$$\begin{aligned}
 S_2 + S_3 &= v_0^2 \sin \alpha \cdot \cos \alpha + v_0 \cos \alpha \sqrt{v_0^2 \sin^2 \alpha + 2gh} / g \\
 &= 9.8^2 \times \sin \alpha 17.8^\circ \cdot \cos 17.8^\circ + \\
 &\quad 9.8 \times \cos 17.8^\circ \sqrt{10^2 \times (\sin \alpha 17.8^\circ)^2 + 2 \times 9.8 \times 2 / 9.8} \\
 &\approx 7.16(\text{m})
 \end{aligned}$$

设运动员跳跃远度的理论成绩为 $S_{\text{总}}$, 则:

$$S_{\text{总}} = S_1 + S_2 + S_3 = 0.80 + 7.16 \approx 7.96(\text{m})$$

2. 抛射点低于落点的抛体运动

抛射点低于落点的斜抛运动由于运动的抛射点低于落点, 存在物体在空中飞行的时间因抛射点与落点的高度差大小而变化, 其飞行远度的计算相对较复杂。篮球运动的投篮, 属于典型的抛点低于落点的斜抛运动, 篮球运动的投篮运动动作是在竞技攻防中的随机性动作技术, 由于研究的核心是以投篮的准确为主, 因而在此处不作深入探讨。

二、影响斜抛运动远度的运动学因素

(一) 出手初速度对投掷器械飞行远度的影响

根据物体斜抛运动的总体规律 $S = T \cdot v_0 \cos \alpha = v_0^2 \sin 2\alpha / g$, 投掷器械飞

与运动实践中,强调运动学量的矢量性特征,对分析与描述人体动作技术结构或器械运动的运动规律具有重要的实用价值和实践意义。

三、运动学量的相对性

在牛顿力学的方法理论体系中,大多数的研究都是应用参照系对物体的相对运动进行探讨与描述,研究所涉及的位移、速度、加速度物体运动状态及其变化等都是建立在相对运动的范畴之内,因而运动生物力学对于人体动作技术结构或器械运动的运动学特征描述,都是在选定的参照系条件下所得到的结论。研究所涉及的运动学参量,都具有相对运动的基本特征。动体在运动状态上的变化,无论是处于静止或物体空间位置的变化、形变、运动的方向变化等,还是物体位置随时间变化的性质都可概括为相对性变化。运动学量的这一特性,称为运动学量的相对性特征。

如在研究在行驶的车厢中走动的人体运动速度时,我们根据选用惯性参照系和非惯性参照系进行描述其运动速度时,可以得到人体与地面(惯性参照系)、人体与车厢(非惯性参照系)两类不同运动速度的运动学参量。再如人体的动作研究中,要描述机体的局部动作或整体动作技术结构特征时,选定不同参照物所组成的惯性参照系或非惯性参照系作为参考标准,所获得的参数结果与结论是不同的。

四、运动学量的独立性特征

运动学量是描述与分析物体运动特征与规律的物理学参量,在人体动作技术结构或器械运动规律的运动学研究中,为了便于分析人体或器械的基本规律,根据物体在空间运动的独立性原理,由于物体在空间运动时,在各个方向的运动都保持自己的独立性质。分析发生在三维空间的人体运动,可应用OX、OY、OZ三维立体坐标系进行整体三维空间运动学参量描述和分别进行平面二维空间运动学参量描述。分析发生在二维空间的人体运动,可采用OX、OY平面坐标系进行二维空间的参量描述。即为了使研究简便易行,依据独立性原理,可以将运动状态与过程进行分解研究或将运动状态与过程进行合成研究,从而更清晰地描述与分析人体或器械运动的运动学特征。

如在研究跳远运动员起跳的腾起初速度时,我们根据已知的腾起初速度、腾起角因素,将该运动员起跳的腾起初速度按既定研究条件分解为腾起初速度的水平分量(水平速度)、垂直分量(垂直速度)进行分析与描述,从而形成运动员起跳动作技术的时空特征。这一应用实例是建立在运动的独立性原理基础之上,研究中应用的速度的水平分量、垂直分量的运动学量就具有运动的独立性特征。

移运动的必需条件。

二、体育运动中的外力

体育运动中影响人体运动的外力主要是重力、摩擦力和弹性力三大类别，并包含由重力、摩擦力和弹性力所综合形成的压力、支撑反作用力和空气升力、空气阻力等。

(一)重力

重力是指在地球环境中地心(地球中心)对自然界物体的引力，在地球上的所有物都受到重力的作用。重力是一种非接触力，是地球所有物体所受地球引力的矢量力，在地球上的物体的质量为 m ，则物体受到的重力为：

$$W = mg \quad (3-1)$$

式中， g 为重力加速度，式(3-1)表明，物体所受重力的大小与其自身质量成正比，其重力加速度 g 在地球上的不同地点、不同纬度和不同海拔高度则各不相同。不同纬度的重力加速度不同，其规律是在赤道纬度上重力加速度值较小，为 9.78 m/s^2 ，在南极、北极纬度上，重力加速度值较大，为 9.83 m/s^2 ，在其他地区，物体的重力加速度值介于赤道纬度与南极、北极纬度两数值之间。

同一物体的重力加速度在不同的纬度和不同的海拔高度其数值大小都不相同，重力加速度与海拔高度有关，海拔高度越高，地心引力越小则重力加速度值越小。例如，1968年在墨西哥高原举行的第19届奥运会，有相当一批跳跃项目的成绩均被显著提高，其中尤以美国运动员比蒙 8.90 m 的跳远成绩最为惊人。这些成绩的取得与墨西哥高原的重力加速度较小有一定的关系。重力加速度值随地球纬度变化是由于与地球自转有关的惯性离心力所引起的，随着地球纬度的增大，重力加速度值也相应增大。质量为 1 mg 的物体在纬度为 45° ，海拔高度为 0 时，重力加速度值为 9.8 m/s^2 。

地球的同一地点(同一纬度、同一海拔高度条件下)重力加速度值处于恒定，重力的方向始终指向地心。

重力的大小通常也称为重量的大小，如人体站立在磅秤上称量体重时其重力等于重量。重量和质量是两个完全不同的物理概念，重量是物体所受地球引力的大小，是物体产生加速度的原因，其大小随物体所处位置的变化而变化。质量是物体所含物质的多少，是物体本身的属性，是物体惯性大小的量度，是标量，质量的大小不随物体所处位置的变化而变化。

在体育运动中人体重力的作用点为人体重心，其方向垂直向下指向地心，人体重心是人体各环节所受重力的合力作用。以此类推与细分，人体各局部环节所受重力的作用点称为环节重心，如上臂环节重心、前臂环节重心、大