

WUSHU YUNDONG SHENGWU LIXUE



WUSHU

YUNDONGSHENGWULIXUE

武术

运动生物力学

马文海 主编



河南大学出版社
HENAN UNIVERSITY PRESS

WUSHU YUNDONG SHENGWU LIXUE

武术运动生物力学

主 编 马文海

副主编 张 婷 栗 丽

张 强 张铁钢

河南大学出版社

• 开封 •

图书在版编目(CIP)数据

武术运动生物力学/马文海主编. —开封:河南大学出版社,2010.8
ISBN 978-7-5649-0026-7

I. 武… II. 马… III. 武术—运动生物力学 IV. G852.014.6
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 124653 号

责任编辑 李 云 齐丹锋
责任校对 何 新
封面设计 马 龙

出 版	河南大学出版社	
	地址:河南省开封市明伦街 85 号	邮编:475001
	电话:0378-2825001(营销部)	网址:www.hupress.com
排 版	郑州市今日文教印制有限公司	
印 刷	河南新华印刷集团有限公司	
版 次	2010 年 8 月第 1 版	印 次 2010 年 8 月第 1 次印刷
开 本	787mm×1092mm 1/16	印 张 18.5
字 数	474 千字	定 价 38.00 元

(本书如有印装质量问题,请与河南大学出版社营销部联系调换)

内 容 简 介

中国武术作为一项体育运动,已推向世界。武术如果没有坚实的理论为基础,它的发展就不可能持续,所以,武术的发展需要有一系列的理论为其奠定基础。对武术基础理论的科学化、系统化研究成为一个亟待解决的问题。随着武术的发展,武术逐渐与其他学科融合,产生了一系列新的学科,武术运动生物力学就是其中之一。

本书根据武术人才的培养目标,在尽量反映本学科国内外现状的基础上撰写而成的。为了体现本学科的实验性和应用性特点,本书除了介绍武术运动生物力学基础知识理论外,还注重了测试手段和分析方法的理论与实践,其目的是提高武术专业人才的理论水平和实战能力。

本书共分 11 章,第 1 章绪论和第 2 章人体惯性参数及其测量,介绍武术运动生物力学的概况和人体运动的基本参数,是全书的准备部分;第 3 章至第 6 章,介绍武术运动中的运动学、动力学、平衡力学和转动力学等力学原理及研究方法,为分析研究武术动作技术提供坚实的理论基础;第 7 章人体运动系统的生物力学特性和第 8 章人体运动的基本形式,通过对构成人体的骨、肌腱、韧带、关节和肌肉的生物力学性质及人体的运动形式进行讲述,为分析武术动作技术提供硬件准备;第 9 章通过对新规则下典型的武术动作进行运动生物力学分析,以求解决实际问题;第 10 章至第 11 章讲述武术运动生物力学的测量方法和教学实验,注重提高读者的实际操作能力。

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 武术运动生物力学概述	(1)
第二节 武术运动生物力学与相关学科的关系	(4)
第二章 人体惯性参数及其测量	(6)
第一节 人体惯性参数概述	(6)
第二节 人体环节惯性参数的测量方法	(10)
第三节 人体转动惯量的测量原理与测量方法	(26)
第三章 武术运动中的运动学	(38)
第一节 人体的简化	(38)
第二节 武术运动中的运动学原理	(39)
第三节 武术运动的描述方法	(54)
第四章 武术运动中的动力学	(64)
第一节 武术运动中的力	(64)
第二节 牛顿运动定律及其在武术运动中的应用	(71)
第三节 动量定理及其在武术中的应用	(76)
第五章 武术运动中的转动力学	(86)
第一节 转动动作的力学原理	(86)
第二节 武术运动中转动动作的类型与转动惯量	(91)
第三节 动量矩定理及其在武术运动中的应用	(94)
第六章 武术运动中的平衡力学	(101)
第一节 人体平衡的力学原理	(101)
第二节 武术运动中人体平衡的稳定性	(110)
第三节 武术运动中人体平衡的破坏与恢复	(113)
第七章 人体运动系统生物力学	(116)
第一节 材料力学基础	(116)
第二节 骨的生物力学特性	(120)
第三节 关节软骨、韧带、肌腱的生物力学特性	(133)
第四节 人体关节力学	(139)
第五节 骨骼肌的生物力学特性	(145)
第八章 人体运动的基本形式	(169)
第一节 影响人体基本运动能力的因素	(169)
第二节 人体基本运动形式	(173)
第三节 人体基本运动原理	(176)

第九章 武术动作的生物力学分析	(186)
第一节 武术平衡动作“侧踢抱脚直立”运动生物力学分析.....	(187)
第二节 武术扫转动作“前扫腿 900°”运动生物力学分析	(190)
第三节 武术散打腿法动作“侧踹腿”运动生物力学分析.....	(195)
第四节 武术散打腿法动作“鞭腿”运动生物力学分析.....	(201)
第五节 武术太极拳跳跃动作“腾空飞脚向内转体 180°接提膝平衡”运动生物力学分析.....	(205)
第六节 武术跳跃动作“旋风脚 720°接跌叉”运动生物力学分析	(208)
第七节 武术跳跃动作“旋子转体 720°接跌叉”运动生物力学分析	(214)
第八节 武术杨式太极拳竞赛套路运动生物力学分析.....	(220)
第九节 武术运动中膝关节损伤的运动生物力学分析.....	(224)
第十章 武术运动生物力学的测量方法	(229)
第一节 武术运动生物力学的测量概述.....	(229)
第二节 运动学测量方法选编.....	(237)
第三节 动力学测量方法选编.....	(245)
第四节 生物学测量方法选编.....	(251)
第十一章 武术运动生物力学实验	(255)
第一节 实验概述.....	(255)
第二节 实验选编.....	(256)
附录	(267)
附录 I 中国成年人人体尺寸(GB 10000—88)	(267)
附录 II 矢量及其计算方法.....	(279)
参考文献	(285)
后记	(290)

第一章 绪 论

第一节 武术运动生物力学概述

一、武术运动生物力学的概念

武术是以技击为主要内容,以套路和格斗为主要运动形式,注重内外兼修的中国传统体育项目。武术是中华民族文化的瑰宝,但是,在几千年武术发展的过程中,由于时代的限制,科学技术不够发达,没有先进的实验和准确的理论支持,前辈武术家们没有条件对武术的拳理、拳法作科学的分析研究。因此,在练拳习武的过程中,广大优秀的武术先人们只能由感而发,将武术拳理拳法中的一些原理及规律以感性认识的方式记录下来,用以指导后人习练武术。

理论源于实践,理论反过来又能指导实践,使实践更好地发展。虽然中国武术作为一项体育运动,已走向世界,但如果没有坚实的理论为基础,它的发展就不可能持续。所以,武术的发展需要有一系列的理论为其奠定基础,对武术基础理论的科学化、系统化研究成为一个亟待解决的问题。随着武术的发展,武术逐渐与其他学科结合,产生了一些新学科,武术运动生物力学就是在此背景下产生的。

生物力学是研究生命体系统机械运动规律的科学。生物力学作为生物物理学的一个分支,是力学与生物学交叉、渗透、融合而成的一门边缘学科。它研究的内容非常广泛,涉及力学与生物学的所有问题,它是从力学的原理出发来研究复杂的生物体。由于研究的对象和领域不同,生物力学分为人类工程生物力学、劳动生物力学、整形生物力学、康复生物力学、医用生物力学、运动生物力学等。

运动生物力学是研究体育运动过程中人体及器械机械运动规律的科学,它是体育科学的重要组成部分。运动生物力学研究体育运动过程中人体所进行的各种动作,以及不同条件下人体产生运动和运动状态改变的力学和生物学原因。根据其研究对象的不同,运动生物力学又可分为田径运动生物力学、体操运动生物力学、游泳运动生物力学和武术运动生物力学等。

武术运动生物力学是以武术运动过程中的人体及运动器械为研究对象,对其运动规律进行研究的一门科学。武术运动生物力学以武术动作为核心,运用人体解剖学、人体生理学、运动生物力学的原理与方法,研究人体器系的生物力学规律,并根据影响人体运动的内部和外部条件寻求人体动作技术的合理性和最佳化以及训练手段的有效性,为发展武术运动能力提供理论依据。由此可见,武术运动生物力学是体育科学中的一门新兴边缘学科,是以人体解剖学、人体生理学、运动生物力学的理论与方法,研究人体运动器系的生物力学特性、武术动作的力学规律以及武术器械机械运动力学规律的科学。

二、武术运动中人体的机械运动

(一) 人体机械运动的表现形式

武术运动属于典型的机械运动,机械运动的表现形式有:人体某一部分相对于身体另一部分的空间、时间、位移,即人体局部肢体环节的运动,如原地推掌等;人体整体相对外界环境的空间、时间、位移,即人体的整体运动,如武术中的毬子空翻等;由人体局部位移而造成器械的空间位移,即人体带动武术器械的运动,如武术中的舞枪弄棒动作等。

(二) 人体机械运动的特点

第一,人体机械运动有很大的主动性和可变性,而不完全决定于外部条件。人体系统本身储备有能量,可不受外界影响而随时释放,并可转化为对外界做功。

第二,人体长时间连续工作或运动后,易疲劳,但经过休整可以完全恢复;而物体虽然可以长时间连续工作,一旦“疲劳”就不可能完全恢复。

第三,人体的大部分机械运动形式,尤其是武术技术动作都是后天自发或自觉地形成的。准确的语言文字描述在人体机械运动特别是在武术动作的形成、重建、巩固和自动化过程中起着极为重要的作用。

第四,大脑皮层控制、调节并有意识参与人体机械运动。如武术中讲究的“彼不动,我不动;彼微动,我先动”只有在大脑神经的支配下才能实现。

三、武术运动生物力学的研究任务

武术运动生物力学具体研究武术运动中各项动作技术的生物力学原理。它是理论性与实践性很强的一门应用科学,其主要任务是:

(一) 研究武术运动员或其他习练者身体结构和机能的生物力学特征

以运动生物力学的观点来研究运动器官系统、呼吸系统、循环系统和神经系统的结构及身体运动素质的力学特性,并依据不同年龄、性别、训练水平和心理特点来评价其运动能力和击打能力。在研究不同武术运动员的身体形态、机能和运动素质条件的同时,可以预测其运动潜力。它不仅为运动员寻求最佳的运动技术方案提供依据,也为早期选拔武术运动员提供必要的生物力学参数。

(二) 研究武术动作的规律

在武术训练中,理解动作技术原理是非常重要的,要使武术习练者懂得怎样做和为什么这样做,即不仅要知其然,还要知其所以然。对优秀运动员或习练者的动作技术进行生物力学研究,是以生物学和力学理论为基础的,通过对高水平的运动实践的检验来总结先进的动作技术原理,建立动作技术模式。这样,有利于推广先进技术,提高武术运动技术水平和训练效果。

(三) 研究武术动作的最佳化

武术运动生物力学结合武术运动员个人的身体形态、机能和运动素质等特点,研究适合个人的最佳的动作技术方案并进行技术诊断。通过对武英级高水平运动员或习练者的动作技术进行生物力学分析和技术诊断,可以总结出一般技术原理,发现合理的生物力学参数,提出改进动作技术的措施,探索和寻求最佳化的动作技术方案,以提高武术训练的科学性和竞技水平。

(四) 探索预防运动损伤和康复手段的力学依据

武术动作的攻防技击性是它的本质特征。在武术竞赛中虽然严格规定了禁击部位并佩戴

防护器具,以不伤害对方为原则,但在竞技比赛或表演中,运动损伤也时常发生。对人体结构、机能的生物力学研究和对动作技术的生物力学分析,能解释运动器官的形态结构与机能相一致的关系,使武术习练者知道,什么样的动作对健康无害,什么样的动作易引起机体损伤,为制定运动技术方案和选择训练手段提供依据。通过研究不同的动作对人体局部力量负荷的特点,可以找出产生运动损伤的受力原因和规律,从而采取相应的预防措施,同时也有助于选择伤后的康复手段。

(五) 为运动选材提供依据

通过研究优秀运动员武术动作技术的生物力学特征,提出完成动作时人体应具备的形态和功能素质条件。

四、武术运动生物力学的研究内容

武术运动生物力学是运动生物力学的一个分支,主要研究武术运动过程中人体及器械的生物力学规律,其研究内容主要体现在以下几个方面:

(一) 武术运动生物力学概论

主要阐述武术运动生物力学的概念,武术机械运动的特点,了解武术运动生物力学的研究任务和主要内容,了解武术运动生物力学与相关学科的关系等。

(二) 人体惯性参数及其测量

主要阐述人体惯性参数的概念、人体惯性参数的实测方法,阐述人体质心、人体转动惯量的测量原理与方法,明确建立人体惯性参数模型是模拟和定量研究人体运动规律的基础。

(三) 武术运动中的运动学

主要讲述人体运动的简化,人体运动中的参照系及坐标系;分析人体运动的时间特征、空间特征以及时空特征;阐述人体运动速度变化的规律及其在武术运动中的应用;分析人体及器械的抛体运动规律和人体转动运动的力学规律。

(四) 武术运动中的动力学

主要阐述人体运动状态变化的原因,人体内力、外力及其相互关系,阐述武术运动中常见的几种人体外力,牛顿运动定律及其在武术运动中的应用。阐述武术运动中各种打击、碰撞、鞭打等动作的生物力学原理及其应用。

(五) 武术运动中的转动力学

主要阐述武术运动中的转动轴的类型,转动的运动学参数和转动的力学条件;分析人体在支撑状态和腾空状态下的转动动作的力学原理以及转动动作在武术运动中的应用。

(六) 武术运动中的平衡力学

主要阐述武术运动中平衡动作的生物力学原理;研究人体处于平衡状态时各作用力之间的关系,武术动作中人体平衡的力学特点,人体局部和整体平衡的生物力学条件和生物力学分析。

(七) 人体运动器系的生物力学特性

主要阐述人体骨、关节软骨、韧带、肌腱、关节及骨骼肌的生物力学特性及在武术运动中骨、关节、肌肉的相互作用规律,分析人体运动动作结构与动作协同的构成与特点。

(八) 人体运动的基本形式

进行武术训练时,运动形式复杂而多样,但是人们发现复杂的运动方式都是以简单的不可再分解的基本运动为基础的,而把这些简单的不可再分解的运动形式称为人体的基本运动。

因此,分析研究人体上肢、下肢和躯干的基本运动,是分析研究武术运动的基础。

(九) 武术基本动作的生物力学

对武术新规则中具有典型性的武术动作,运用运动生物力学的原理与方法加以分析。作为一种量化的技术判断措施,对促进武术技术动作的整体发挥,进一步提高武术竞技的整体水平和全面健身的发展,得出有力的科学研究依据,为运动员进一步提高竞赛成绩及教练员们科学指导训练提供重要的参考依据。

(十) 武术运动生物力学的测量方法

武术运动生物力学测量的目的是测得能反映人体和运动器械的属性、特点和运动规律的生物力学信息资料,为武术学科的研究、教学、训练等提供客观依据。武术运动生物力学从运动学测量规范、动力学测量规范和生物学测量规范三个方面介绍武术动作的测量方法。

(十一) 武术运动生物力学教学实验

主要阐述武术运动生物力学教学实验的原理和方法,旨在培养习练者或学生动手和分析实际问题的能力。重点介绍常规的运动学参数和动力学参数及人体惯性参数的实验测量,使习练者学会实验设计、掌握测量技术和撰写实验报告,同时结合运动实践介绍一些简易、可操作性强的实验及方法。

第二节 武术运动生物力学与相关学科的关系

武术运动生物力学作为一门交叉的、新兴的边缘学科,是由运动解剖学、运动生理学以及运动生物力学在研究武术生物力学问题时相互交叉、渗透、融合发展起来的。因此,武术运动生物力学必然与这些学科之间存在着紧密的联系。

一、武术运动生物力学与运动解剖学的关系

武术运动生物力学研究人体的武术动作,必然涉及人体运动器官和系统的形态结构,特别是运动器系的形态结构与功能的统一性和相互制约性。人体的运动必然是以不损害人体的自身结构为前提的。

二、武术运动生物力学与运动生理学的关系

人体的任何活动都是在神经的支配下完成的,分析人体的武术动作时必然涉及肌肉活动的本体感受器、信息正负反馈和神经控制。这些都是人体运动动作过程中必不可少的条件,也是人体运动的重要特征。运动生理学的基本知识,是武术运动生物力学研究的主要理论依据之一。

三、武术运动生物力学与运动生物力学的关系

运动生物力学的研究对象是运动员,研究体育运动过程中人体及器械机械运动的规律。而武术动作本身就属于体育运动动作的范畴,因此运动生物力学的原理和研究方法是武术运动生物力学研究武术运动、分析武术动作的主要理论依据。

四、武术运动生物力学与武术专项理论的关系

武术运动生物力学的研究对象是武术运动状态下的人体或器械,其中绝大多数是武术运动员。由于人体活动特征和各项专项规则的特殊要求,人体的运动有着不同的条件和限制,因此要使武术运动生物力学的研究结果有真正的应用价值,就必须结合运动项目的技术理论和专项技术特点。

五、武术运动生物力学与电子技术的关系

武术运动生物力学的研究还涉及电子技术,尤其是计算机科学。计算机在武术运动生物力学研究的数据测试、处理和计算中起着极其重要的作用,它是武术运动生物力学的主要辅助研究手段。

第二章 人体惯性参数及其测量

武术运动生物力学的研究对象是习武之人以及与武术运动相关的器械、设备。人体是一个非常复杂的生物体,分析人体所能完成的各种武术动作,首先要了解人体本身的基本参数,如人体整体及环节的质量、质心位置、转动惯量和转动半径等,以此作为分析问题的依据。人体惯性参数是建立人体模型,进行技术诊断的基础参数,是人类工效学、人类学及人体科学研究的重要组成部分。例如,武术动作的影片解析,武术套路和散打动作的设计,武术器械和防护设备的研制等。

第一节 人体惯性参数概述

一、质量

质量是物体所含物质的多少,它是衡量平动物体惯性大小的量度,用以描述平动物体保持原有运动状态的能力。平动物体的惯性只与质量有关,与物体的运动状态无关。物体的质量越大,惯性就越大,反之,物体的质量越小,惯性就越小。

物体的质量与物体的运动速度有关,由爱因斯坦的相对论可知,物体的质量:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (2-1)$$

其中 m 是指物体的运动质量, m_0 是指物体静止时的质量, v 是指物体的实际运动速度, c 是指光速, $c = 3 \times 10^8$ 米/秒。

由公式 2-1 可以看出,物体运动的速度越大,物体的质量就越大。但由于武术运动中人体和器械的运动速度远小于光速,即 $\frac{v^2}{c^2} \approx 0$, 所以一般情况下,我们都可以认为人体和器械的质量为一恒量 m_0 , 其大小与人体或器械的运动状态无关。

质量是标量,只有大小,没有方向。在国际单位制中,质量的单位是千克(kg),常用的单位还有克(g)和吨(t)等。

二、人体的转动惯量

(一) 转动惯量的概念

平动物体具有惯性,其惯性的大小用物体的质量来量度。转动的物体同样具有惯性,在力学中,转动物体的惯性的用“转动惯量”来描述。

理论上,对于质量为 m 的质点,如果它与转轴的垂直距离为 r ,那么这个质点对该转轴的转动惯量为

$$I = mr^2 \quad (2-2)$$

公式 2-2 只能用来计算质点或者是可以视为质点的刚体的转动惯量,对于一般的刚体,不能直接用其求转动惯量。但一般物体可视为质点的集合,其转动惯量就等于所有质点对转轴的转动惯量的代数和(如图 2-1 所示)。

$$\begin{aligned} I &= m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + \cdots + m_i r_i^2 + \cdots + m_n r_n^2 \\ &= \sum_{i=1}^n m_i r_i^2 \end{aligned} \quad (2-3)$$

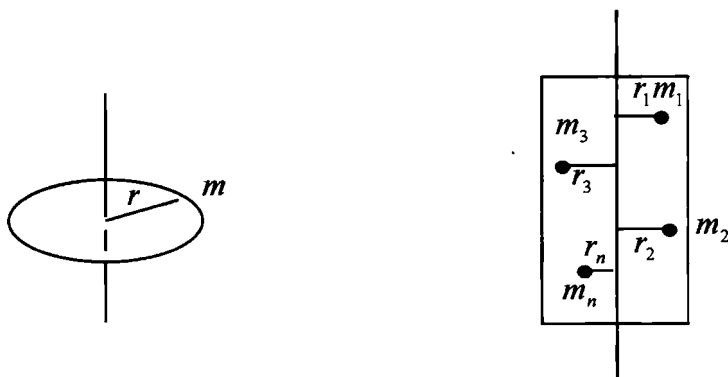


图 2-1

(二) 转动惯量的物理意义

转动惯量是度量转动物体惯性大小的物理量,用以描述转动物体保持原有运动状态的能力。物体的转动惯量越大,惯性就越大,反之,物体的转动惯量越小,惯性就越小。转动物体的惯性不仅与物体的质量有关,还与其转动半径有关。例如,同一运动员的上肢与下肢相比,上肢绕肩关节的转动比下肢绕髋关节的转动要容易得多。同样,转动着的上下肢相比,上肢容易制动,而下肢制动要费劲些,原因是下肢环节的转动惯量比上肢大。因为下肢的质量大,并且质量分布离转动轴较上肢远,而上肢相对于下肢质量小,且质量分布离转动轴较近,故转动惯量较下肢小。棍术中,手握棍的一端舞动时难度大,而手握棍的中间舞动时就容易得多,也是同样的道理。

(三) 转动惯量的计算方法

1. 定义法

对于质点和可以简化为质点的物体的转动惯量,可以用转动惯量的定义进行计算,即

$$I = mr^2 \quad (2-4)$$

其中 m 为质点的质量, r 为质点的转动半径。

2. 查表法

对一些形状规则的物体,其转动惯量可直接由“表 2-1”查出,不用计算,直接使用。

3. 叠加法

如果某物体是由 n 个物体组成的联合体,每个物体都同时绕 O 轴转动,由于转动惯量为标量,所以这一联合体对确定轴 O 的转动惯量 I_0 等于每个物体相对于转轴的转动惯量的代数和。这就是转动惯量的合成体定理,即

$$I = I_0 + I_1 + \cdots + I_n \quad (2-5)$$

4. 公式法

(1) 平行轴定理

刚体对某轴的转动惯量等于刚体对通过质心且与该轴平行轴的转动惯量加上刚体的质量与两平行轴间距离平方的乘积,这就是转动惯量的平行轴定理。若以 I_0 表示对 O 轴的转动惯量, I_c 表示过质心 C 轴的转动惯量, d 为两轴之间的距离,则平行轴定理表示为

$$I_0 = I_c + md^2 \quad (2-6)$$

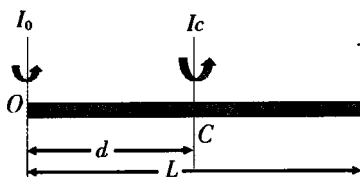


图 2-2

如图 2-2 所示,通过细棒的质心 C 并与其纵轴垂直的轴的转动惯量为 $\frac{1}{12}mL^2$ (见表 2-1),现将转动轴向左平移一段距离 d 至棒端 O 点,这时,棒对通过 O 点并与其纵轴垂直的轴的转动惯量为 I_0 ,则有

$$I_0 = I_c + md^2 = \frac{1}{12}mL^2 + \frac{1}{2}mL^2 = \frac{1}{3}mL^2 \quad (2-7)$$

这个结果与表 2-1 是一致的。

由此定理可知,只要知道物体绕某一轴的转动惯量,任何与此轴平行的其他轴的转动惯量均可求出。由此定理还可以看出,在所有相互平行的转动轴中,通过质心轴的转动惯量最小。

(2) 垂直轴定理

一个平面刚体薄板对于垂直于它的平面轴的转动惯量,等于绕平面内与垂直轴相交的任意两正交轴的转动惯量之和,称为垂直轴定理。即

$$I_z = I_x + I_y \quad (2-8)$$

图 3-3 为质量为 m , 长度为 a , 宽度为 b 的方形薄板,容易求得: $I_x = \frac{1}{12}mb^2$, $I_y = \frac{1}{12}ma^2$,

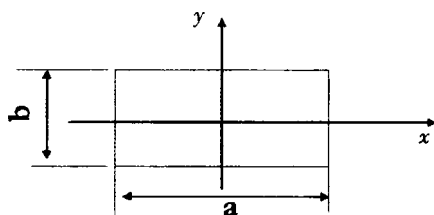


图 2-3

根据垂直轴定理可得:

$$I_z = I_x + I_y = \frac{1}{12}m(a^2 + b^2) \quad (2-9)$$

(四) 武术运动中人体转动惯量的特点

人体与刚体不同,刚体的质量分布恒定,人体的质量分布受血液循环、呼吸的影响,随着身体姿势的改变,人体转动惯量会发生相应的改变。正是由于人体转动惯量的这种可变性,人体可以根据不同的动作目的,调节身体姿势,以改变转动惯量,达到自我控制动作的目的。影响人体转动惯量大小的因素主要有人体各环节的质量、身体的形态(身高、胸围等)、身体姿势及

转轴的位置等,如图 2-4 所示。

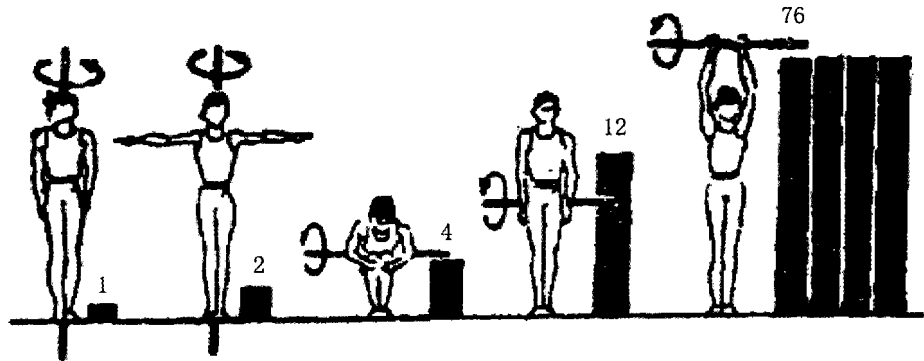


图 2-4

由于人体转动惯量的可变性,我们在利用转动惯量分析武术运动时,还不能够精确地进行定量分析,只能进行定性分析或粗略地定量分析,从理论上得出动作的合理性和可行性,从而在教学和训练实践中进行探索、验证。

表 2-1 几种特殊形状的统一刚体的转动惯量

物体质量为 m , 密度均匀	转动轴	转动惯量
细棒长度为 L	通过棒中心并与其垂直	$mL^2/12$
	通过棒的一端并与其垂直	$mL^2/3$
薄矩形板, 长 $2a$, 宽 $2b$	通过重心与平面平行、垂直	$ma^2/3; m(a^2+b^2)/3$
棱柱, 各边 $2a, 2b, 2c$	通过重心与 $2a$ 边平行	$m(b^2+c^2)/3$
棱形柱, 高 $2a$, 对角线 $2b, 2c$	通过柱的轴	$m(b^2+c^2)/b$
	通过重心 $2b$ 的对角线	$m(c^2+2a^2)/b$
薄圆板, 半径为 r	通过中心与板面垂直	$mr^2/2$
	通过直径	$mr^2/4$
圆台, 高 $2a$, 半径 r	通过圆台的轴	$mr^2/2$
	通过重心与轴垂直	$m(4a^2+3r^2)/12$
中空的圆台, 高 $2a$, 外径 R , 内径 r	通过圆台的轴	$m(R^2+r^2)/2$
	通过重心与轴垂直	$m\{4a^2+3(R^2+r^2)\}/12$
椭圆台, 高 $2a$, 切断面直径 $2b, 2c$	通过椭圆台的轴	$m(b^2+c^2)/4$
	通过重心与轴垂直	$m(3c^2+4a^2)/12$
球半径 r	通过球直径	$2mr^2/5$
中空的球, 内半径 r , 外半径 R	通过球直径	$2m(R^5+r^5)/5(R^3-r^3)$
回转椭圆体, 长径 $2a$, 短径 $2b$	通过长径	$2mb^2/5$
圆环平均半径 R , 截面半径 r	通过中心与环成直角	$m(4R^2+3r^2)/4$
	通过直径	$m(4R^2+5r^2)/8$
椭圆体直径的长度 $2a, 2b, 2c$	通过直径 $2a$	$m(b^2+c^2)/5$

注:摘自高等学校教材《运动生物力学》,高等教育出版社,1998 年 3 月第 1 版,第 79 页。

三、转动半径

物体或人体的总质量为 $m = \sum m_i$ ，物体或人体对转轴的转动惯量为 $I = \sum r_i^2 \Delta m_i$ ，通常把 I 记作 $I = mr_G^2$ ，式中 r_G 称为物体对该转轴的转动半径。这就是从该物体对转轴的旋转效应来看，物体质量好像集中在离轴距离为 r_G 的一个圆上。

第二节 人体环节惯性参数的测量方法

一、人体环节的划分

人体环节包括头、躯干、四肢等，由于这些环节在武术运动过程中相互间位置不断地调整和改变，这些调整和改变直接影响环节质心和人体质心的位置，因此确定环节划分方法就显得十分重要。

在教学影片解析中，为了使人体模型与人体结构功能相一致，在影片上确定关节点建立人体测量模型（输入人体环节参数的人体动作线图）时，必须将关节点确定在关节转动中心上。因此在划分人体环节和确定环节纵轴（长轴）时，武术运动生物力学的基本要求是：必须是环节两端与关节轴相接触，同时在练习过程中，环节质量恒定不变。

从目前的资料来看，德国、日本、苏联、美国及中国学者在对人体惯性参数进行研究的过程中，采用了两种不同的环节划分方法。一种是以传统尸体解剖法为依据，依据骨性标志把人体划分为若干环节（日本、苏联、中国），并以此确定环节长度（如扎齐奥尔斯基、松井，见表 2-2，图 2-4，图 2-5）；另一种环节划分的方法与人体结构功能相适应，分隔环节的切面通过关节转动中心，并将关节中心间的连线确定为环节长度（如布拉温与非舍尔，昌特勒，如图 2-6），也就是以解剖学的环节长度作为划分环节时的环节长度（1955 年丹普斯特对解剖学环节长度作过如下规定：在纵轴上连接相邻两个关节中心的直线之长；如果是末端环节，则是关节中心与环节质心之间的直线）。

表 2-2 国外人体惯性参数模型环节划分分界点

环 节	德 国		美 国		日 本		苏 联	
	近侧端	远侧端	近侧端	远侧端	近侧端	远侧端	近侧端	远侧端
头	—	—	头顶点	颅底部	头顶点	耳屏点	头顶点	颈椎点
颈	—	—	—	—	耳屏点	颈窝点	—	—
躯干	两肩关节 连线中点	两髋关节 连线中点	颅底点	会阴点	颈窝点	大转子顶 点	(上)颈 椎点(中) 胸骨下点 (下)脐 点	胸骨下点 脐点 髂前点

(续前表)

大腿	髋关节中心点	膝关节中心点	髋关节中心点	膝关节中心点	大转子顶点	胫骨点	髌前点	胫骨上点
小腿	膝关节中心点	踝关节中心点	膝关节中心点	足关节中心点	胫骨点	外踝点	胫骨上点	颈骨下点
足	跟点	趾尖点	跟点	趾尖点	外踝点	足底	颈骨下点	趾尖点
上臂	肩关节中心点	肘关节中心点	肩关节中心点	肘关节中心点	肩峰点	肱桡点	肩峰点	肱桡点
前臂	肘关节中心点	腕关节中心点	肘关节中心点	腕关节中心点	肱桡点	桡骨茎突点	肱桡点	桡骨茎突点
手	—	—	腕关节中心点	中指第一指骨突出点	桡骨茎突点	中指第一指骨突出点	桡骨茎突点	中指指尖点

(据李良标)

表 2-3 中国人体环节划分分界点(据国家技术监督局)

环 节	环节分界点		质心测量起点
	近侧端	远侧端	
头颈	头顶点	颈椎点	头顶点
上躯干	颈椎点	胸下点	颈椎点
下躯干	胸下点	会阴点	胸下点
上臂	肩峰点	桡骨点	桡骨点
前臂	桡骨点	桡骨茎突点	桡骨茎突点
手	桡骨茎突点	中指指尖点	中指指尖点
大腿	髌前上棘点	胫骨点	胫骨点
小腿	胫骨点	内踝点	内踝点
足	内踝点	足底	足底

注:颈椎点为第七颈椎棘突;胸下点为胸骨体下缘与正中矢状面交点;人体躯干可分为1块、2块或3块(1块中包括上、中、下躯干;2块将中、下躯干合二为一为下躯干)。

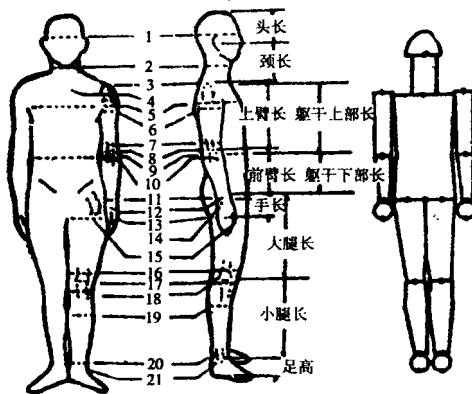


图 2-5 松井秀治资料

注:1. 头径;2. 颈;3. 肩峰;4. 胸骨上缘;5. 胸径;6. 上臂上端围;7. 上臂下端围;8. 肘关节;9. 前臂上端围;10. 腰最细部位径;11. 前臂下端围;12. 大转子;13. 中指根部;14. 桡骨茎突;15. 大腿上端围;16. 大腿下端围;17. 膝关节;18. 小腿上端围;19. 小腿最粗围;20. 小腿下端围;21. 踝关节。