

能量法在运动生物力学中的应用介绍

张秀丽¹, 霍杞江¹, 郑健民²

(1. 华南师范大学体育科学学院, 广东 广州 510631; 2. 中山大学北校区体育教研室, 广东 广州 510080)

摘 要:通过查阅大量文献资料,发现目前运动生物力学发展处于缓慢阶段且新的研究方法尚不完善。基于人体运动研究的复杂性,结合能量法的应用特点:简单性、整体性和广泛性,能量法在各相关学科领域取得的主要成果,指出能量法是目前运动生物力学的发展不可多得的方法之一。

关键词:能量法; 运动生物力学; 运动科学

中图分类号:G804.66 文献标识码:A 文章编号:1006-7116(2003)01-0053-03

Analysis to the application of the energy method to sports biomechanics

ZHANG Xiu-li¹, HUO Ji-jiang¹, ZHENG Jian-min²

(1. Institute of Physical Education, South China Normal University, Guangzhou 510631, China;

2. Department of Physical Education, Zhongshan University, Guangzhou 510080, China)

Abstract: Based on the developing actuality of sports biomechanics, the complexity of human body study and the characteristics of energy method, such as the simplicity, the universality etc. and the main results of the energy method on relative subjects, the author points out that the energy method is one of the best methods for sports biomechanics.

Key words: energy method; Sports biomechanics; sports science

运动生物力学在经过了了解剖学、生理学说与力学学说并存期和力学学说高速发展期后,进入了多种学说的相互融合期,从18届国际生物力学大会和第6届全国体育科学学会入选的论文来看,越来越多的研究者从动力学方面分析运动技术中肌骨系统的生物力学特性,其中有力的分析、有能量传递的研究、有功率器的研制。而我国动力学方面的研究,多限于力的分析,能量方面的研究很少^[1]。能量法不是新方法,但是比较适合生物体运动研究的方法,早在1985年就被 Word-Smith^[2]运用,且取得了较好的效果。在中国期刊网上以能量法为关键词的查询中有关能量法介绍和应用的研究很多,但竟然没有一篇是在运动生物力学领域的应用。目前运动生物力学的研究没有充分利用它,实为可惜。

1 能量法的应用特点

1.1 能量法简介

能量法目前尚未有一确切的定义,不同的领域有不同的内容。广义的说法是:能量法就是从能量的观点出发,根据能量守恒、功能关系等有关定律、定理,应用含有能量的关系式来分析、检验、判断、计算、解答问题的方法,它是物理学中极为重要的方法^[3],在物理学及工程学方面的应用较多,且取得了较大的进展,在生物学研究中也取得了一定的成果。

目前在运动生物力学领域,人们把研究与人体运动中能量分配、能量转换的一种力学结合生物学的研究方法统称为能量法。它研究的核心问题是运动中功和能的转换,从中分析运动的效率、技术的合理性^[4]。

1.2 能量法的特点

(1)能量法最大的特点就是简单。能量法的依据是物理学中的能量守恒及其相应的定理和规则,能量法不考虑运动中复杂的受力变化,以能量作为分析的关键,又因为能量是标量,相比较而言,在许多实际问题的研究中,所列方程的形式简捷,方程数目较少,运算简单,往往能收到事半功倍的效果。物理学方法是运动生物力学研究最基本最普遍的方法,但目前多数采用的是牛顿经典力学的方法,分析的是人体运动的运动学特征和参数,如运动的距离、速度、时间、加速度、角度、角速度、角加速度、受力及负荷等等。第1,这些参数的测量和计算相当复杂且误差较大,尤其对于活体的适用有一定的局限性;第2,牛顿经典力学的方法已被充分运用于运动生物力学各个角落,发挥了其应有的作用;第3,运动学特征和参数的分析只是物理学方法的一部分,而不是全部。在现有的研究中,牛顿经典力学方法已竭尽所能,而能量法在运动生物力学中的应用较少,也就是说,运动生物力学没有充分利用物理学研究方法。最初用能量法分析人体运

动的是 Llord, 而 Word-Smith 则是运用能量法的典范, 1985 年在 *Biomechanics J* 杂志上发表了运用能量平衡方程研究世界优秀男子运动员径赛项目的计算结果与实际奥运会纪录仅有 1% 误差, 最大误差只有 1.5%。而我国现在尚未见这方面的研究^[2]。

(2) 能量法是“跳出系统”看问题的研究方法。运动生物力学的孕育和萌芽都得益于生理学和解剖学的发展, 因此, 运动生物力学前期的研究方法多是生物实验和观察, 许多著名的研究成果都是由离体实验得来的, 比如人体惯性参数的测量(尸体法)、著名的希尔方程、肌肉收缩力量的测量等。但随着运动生物力学的发展, 人们越来越认识到生物体的复杂性, 尤其是人体的生物拒测性, 人体运动参数不可重复性和参数的随机分散特性, 这就要求测量手段和研究方法的制定尽量避免对人体的“伤害”和接触, 尽量从整体的角度出发, 经典力学的方法显然已力不从心。而能量法则克服了单纯从人体机械运动规律角度研究问题的缺陷, 更能反映人体的运动特征^[5-8]。

运动生物力学的研究方法基本上沿用物理学和生物学的研究方法, 如上所述, 对于活体研究, 牛顿经典力学方法的局限性和生物学方法的不充分性已明显成为学科发展的障碍。德国《体育科学辞典》定义: 运动生物力学是生物力学的分支学科, 从属于生物物理学。因此, 从学科属性上看, 运动生物力学主要是研究人体运动的生物力学规律的科学, 它首先研究人体内部运动器系运动和外部人体整体运动的力学特性; 其次研究人体内部运动器系运动和外部人体整体运动间的力学关系, 从而构成对人体运动行为生物力学规律的本质把握。目前, 我们的运动生物力学研究大多属于第一类研究, 且主要研究的也只是人体内部运动器系和外部人体整体的机械运动规律。将人的运动简化为机械运动来处理是有严格约定的, 虽然, 基于牛顿分析力学理论, 我们可以基本解决第一类研究, 然而牛顿分析力学理论对解决第二类研究并非理想。另一方面, 适用于机能解剖学、运动生理学和生物化学的生物学研究方法, 对于研究生物力学的人体运动是基本不适用的, 因为任何对人体故意的“伤害”都会引起心理或情绪上的影响, 即便是很细微的。唯有“跳出系统”的研究方法, 才适合于对人体运动的生物力学研究^[2]。而能量法就是其一^[5-8]。

(3) 能量法在运动生物力学的应用中具有广泛性。能量法在运动生物力学中广泛应用可以为运动技术的教学、训练以及运动器械和运动服装的改进和设计从另一个角度提供参考数据和指标。能量消耗是人体运动的根本, 最低能量原则是所有人体运动基本原则, 以能量法为主, 结合其他生理学的方法和系统论的思想, 可以使人体运动这个复杂的“黑箱”逐渐变为“灰箱”, 渐渐接近“白箱”。无论是医学上有关病理的研究, 还是体育运动中对运动技术的研究, 都不能脱离能量的研究。就体育运动来说, 不管是什么运动项目, 都可归为下列 3 种方式: 1) 人体自身各环节的相对运动, 由肌肉收缩产生张力完成(如人体在空中四肢相对躯干的运动); 2) 人体相对外部环境(空间)的运动, 这种运动的完成则需要

借助外力, 而在有目的有意识的体育运动中, 这个外力是外界对人体的反作用力, 即首先由肌肉产生的力施加于外界(如地面)后才能得到(如各种起跳动作); 3) 人体和器械一起运动, 或人体作用于器械使器械按一定的规律运动(如田径中的投掷动作)。完成这些体育运动, 不仅要消耗能量, 还要使能量成功地转移, 每个动作都有其动作规范要求和优秀评价指标, 能量最优原则就是评价指标之一, 衡量人体运动效率的能量代谢、功能代偿及运动经济性方面的研究, 能量法责无旁贷, 特别对于一些体能类项目, 运动中能量变化过程的研究是十分重要的。如果我们只考虑能量的变化, 运用物理学中机械能的计算方法结合生理学上有关能量的计算方法及有关知识, 再结合系统论的思想进行分析, 把几种方法融合在一起, 建立运动技术的方程式求解, 是能量法的基本思路。

2 能量法在其他学科的应用

目前国际上已十分重视能量法的理论和应用研究, 但总体来说, 该方法的应用尚处于起步阶段。此处仅列举与运动生物力学密切相关的研究成果。

2.1 能量法在运动生物力学中的基本应用

能量法在运动生物力学中的基本应用就是关于人体运动效率的概念及计算。对人体运动效率的计算争议较大, 目前, 下列方法被认为是较合理的。

在运动中, 人体不仅对外作功(外功), 肌肉本身也作功(内功), 因此, 人体运动效率的计算应是这样的:

$$\eta = (W_{\text{外}} + W_{\text{内}}) / (E_{\text{总}} - E_{\text{安}})$$

人体对外作的机械功运用物理学中的方法来求:

$$W_{\text{外}} = \Delta(mgh + \frac{1}{2}mv^2)$$

上式中 m 是人体的质量, g 为重力加速度, h 为身体质心的高度, v 为身体质心的速度, 肢体运动的内功可以借助高速摄影方法测定:

$$W_{\text{内}} = \Sigma \Delta(\frac{1}{2}m_i v_i^2 + \frac{1}{2}m_i k_i^2 \omega_i^2)$$

此式中 m_i 为身体各环节的质量, v_i 为身体各环节的线速度, k_i 为身体各环节的回转半径, ω_i 为环绕环节质心的角速度。 $W_{\text{总}}$ 即为内、外两部分机械功的绝对值的和, 如果考虑能量转移、肌肉弹性能贮存等因素, 则用威廉姆斯和卡瓦纳提出的一种方法:

$$W_{\text{总}} = \Sigma [\int M_i \omega_i I_i dt]$$

此处 M_i 为第 i 关节处的肌肉力矩; ω_i 为围绕环节质心的角速度, I_i 为围绕环节质心的转动惯量^[9], 此种方法从肌肉对跑技能的贡献上考虑更合适。具体应用哪一种方法还需实践进一步证明。

人体运动消耗的能量测定尚没有突破, 基本采用气体分析法, 测定单位时间内耗氧量和排出二氧化碳的量值间接计算出能量的数值^[9-10]。

2.2 能量法在材料力学方面的应用

能量法在材料力学方面的应用取得了丰硕成果, 如果能

把能量法在这方面的应用经验移植到运动生物力学领域,建立人体骨骼和肌肉的本构方程将是一大突破。在此介绍与运动生物力学密切相关的两种情况的建模。

第1,用能量法求解压杆的临界屈曲载荷在材料力学中已是较为简单的问题。通常选取满足约束条件的多项式或三角函数作为试探函数,只要取1~2项,就得到误差很小的能够满足工程精度要求的近似临界载荷^[11]。骨骼是人体的支架,尤其四肢骨在人体运动中的作用举足轻重,四肢骨在不同年龄阶段的特性不一样,其承受的屈曲载荷的临界值也不尽相同,对不同年龄阶段,不同性别的运动员四肢骨屈曲载荷、扭曲载荷、剪切载荷等临界值的确定对指导运动训练有一定的意义。

第2,能量法在粘、弹性材料方面的应用,给我们有很大的启示,Hill的肌肉三元素模型与描述粘弹性材料的Kelvin模型极其相似。肌肉的收缩是人体运动的源动力,因此,借助能量法在粘弹性材料成形方面的研究成果,可以对肌肉的收缩变形做进一步的研究的^[12]。

2.3 能量法在物理学基础理论研究上的应用

运动生物力学的基础理论研究,需要大胆的假设,积极地求证,能量法则是一切实可行的工具。从能量法在物理学基础理论研究上的应用可进一步看到能量法的简洁、实用。“因为单摆的摆角很小($\leq 5^\circ$),所以把单摆中小球的运动可近似看作是在平衡位置附近的变速直线运动。”这个命题在物理教学中都有一定的普遍性,然而,李泽钟运用能量法,简捷的几步推导却证明了这个命题是不合理的^[3]。由于生物体的复杂性,在运动生物力学的研究中有许多假设,当然,有相当一部分已证明是正确的,但也存在一些看似合理而实际不合理的假设,不妨也借助能量法来分析一下。比如,对乒乓球碰台过程的分析中,有人把乒乓球的自上而下的运动视为自由落体,我认为不妥,因为乒乓球是空心,下落过程中所受的空气阻力不能忽略,而正是由于空气的阻力才有球的旋转,才有弧圈球,运用能量法也不难求证这一点。

3 能量法于运动生物力学中应用的前景与展望

综观运动生物力学的发展现状,其基础理论的研究比较薄弱是一不争的事实,而方法学的研究就更少。作为一学科,运动生物力学也是一个大系统,若要取得稳定持续发展,其各子系统的研究需要协调发展。目前,运动生物力学的应用研究在体育运动的各个领域、各个方面相当充分,而基础理论研究的滞后特别是方法论研究的滞后制约了学科本身的发展。新的研究方法不一定是创造全新的方法,在某种意义上传统方法的有机结合更实用。能量法不仅适合运动生物力学且有其他方法没有的优点,再结合生理生化知识,系统方法论的思想将为运动生物力学开辟一块处女地。

从对18届国际运动生物力学大会和第6届体育科学学会论文的述评来看,我国运动生物力学的科研队伍已经壮大,科研水平有很大提高,但距世界水平还有较大的差距,我国还没有科研文章被国际性杂志《应用生物力学杂志》录用,要走出国门赶超世界水平,需要在基础研究方面努力,需要

引进数理方面的人才,需要加强合作,许多专家已意识到这一点,也正向这方面努力。华南师范大学体育学院最近引进了两位激光应用研究方面的博士专家,走在了其他兄弟院校的前面。如果每个相关部门领导都能尽量创造机会,促进合作,能量法在运动生物力学中的广泛应用将指日可待,运动生物力学科研水平的大幅度提高将会为期不远^[13]。

目前运动生物力学已深入到分子细胞层次,如果把能量法运用于此方面,也许会为运动生物力学的发展找到新的突破口;也可为进一步完善计算机仿真系统、专家评估系统提供理论依据,为运用神经网络技术开发运动技术分析的专家决策系统提供数据资料。

无论是大家已经认可和广泛应用的物理学方法,生物学方法和系统论方法,还是尚未成熟的生物控制论方法、神经网络技术方法等等,都是适合运动生物力学的研究方法。能量法是其中一种,且有它独特的优势,国际学术界早已注意能量法在运动生物力学中的应用,取得了很好的效果并在继续深入,而我国对此方法的运用还未展开。从能量法本身的特点考虑,为运动生物力学的发展前景着想,我们应对能量法给予重视,不可偏废。

参考文献:

- [1] 单大卯. 当今国际生物力学发展最新动态[J]. 体育科学, 2002, 22(2): 126-127.
- [2] 米卫国. 运动生物力学在田径运动中的应用及前景[J]. 体育科研, 2001(1): 36-37.
- [3] 李钟泽. 能量法在物理学中的应用[J]. 洛阳大学学报, 1995(4): 75-81.
- [4] 郑秀媛. 运动生物力学进展[M]. 北京: 国防工业出版社, 1998.
- [5] 潘慧炬. 运动生物力学学科体系的完备性[J]. 上海体育学院学报, 1999, 23(3): 38-43.
- [6] 李建设. 德国运动生物力学理论与方法学研究概述及思考[J]. 中国体育科技, 1999(1): 16-19.
- [7] 柏开祥. 从第27届奥运会看运动生物力学研究的新变化[J]. 武汉体育学院学报, 2001, 35(2): 88-91.
- [8] 严波涛. 运动技术分析研究发展历程考察和展望[J]. 西安体育学院学报, 2000, 17(2): 92-96.
- [9] 黄黎. 人体运动效率的概念及算法[J]. 北京体育师范学院学报, 1998, 10(1): 52-57.
- [10] 肖跃明. 浅谈气体法对运动中能量代谢特点的测定[J]. 体育科技, 1997(1-2): 62-63.
- [11] 署恒木. 自重作用下长管柱稳定性分析[J]. 青岛大学学报, 2000(2): 65.
- [12] 贾乃文. 瞬态与粘性效应下的材料成形能量法[J]. 应用基础与工程科学学报, 1999(1): 55-58.
- [13] 陆阿明. 国际运动生物力学的现状和发展趋势[J]. 南京体育学院学报, 1996, 10(2): 4-7.

[编辑:周威]