

力学与奥林匹克体育运动

邓林红¹⁾

(重庆大学生物工程学院, 重庆 430030)



邓林红, 男, 1960 年生, 四川夹江县人. 少年时曾接受系统的武术训练, 在省级武术比赛中获得过优异成绩, 由此成对体育运动的热爱. 1978~1982 年在重庆大学攻读机械工程. 1983~1986 年师从我国生物力学创始人之一、原重庆大学校长吴云鹏教授攻读生物力学与生物流变学, 并以优异成绩获得硕士学位后留校任教, 从事生物力学科研与教学工作. 1990 年获中英友好奖学金资助, 被派往英国留学, 在国际著名生物力学专家、英国斯特拉斯克莱德大学生物工程系主任, 约瑟夫·巴本尼尔教授指导下研究血液流变学, 获得博士学位. 2000~2007 年先后在加拿大达豪斯大学、美国哈佛大学等国际著名学府从事细胞生物力学科学研究. 2007 年, 作为高水平引进人才担

任重庆大学“国家 985 计划”生物流变学与基因调控新技术研究院院长, 重庆大学生物工程教授、博士生导师, 国家一级重点学科——重庆大学生物医学工程学科带头人, 并当选为教育部“长江学者”特聘教授. 近 5 年来, 在细胞骨架动力学, 细胞对机械刺激的响应等方面取得了杰出的成就, 在 *Nature*(自然), *Nature Materials*(自然·材料) 等国际一流学术杂志上发表了一系列高水平的研究论文, 获得国际实验生物学联合会平滑肌研究青年科学家奖, *Science Watch*(科学观察) 快速突破论文等, 成为当前国际生物力学界最为活跃的青年科学家之一.

摘要 围绕力学与奥林匹克体育运动这一主题, 通过若干实例, 简要介绍力学与奥林匹克运动体育的渊源、贡献和当前发展趋势, 使读者对力学与奥林匹克运动体育的关系有一个概貌性的认识, 从而为进一步深入探索有关专题提供基本的思路.

关键词 力学, 体育, 奥林匹克体育运动

ON MECHANICS AND OLYMPIC SPORTS

DENG Linhong¹⁾

(Bioengineering College of Chongqing University, Chongqing 430030, China)

Abstract This article will adhere to the subject of association of mechanics with sports in Olympic Games, and give a concise description, with illustrations of a few examples, of the common origin of mechanics and Olympic Games, the past and future contributions of mechanics to the advancement of sports in Olympic Games. Thus the readers will have a bird's-eye view of the relationship between mechanics and sports in Olympic Games, which will provide the foundation for further exploration of relevant details regarding mechanics in any specific sport in Olympic Games.

Key words mechanics, sports, Olympic Games

本文于 2008-06-08 收到.

1) E-mail: denglh@cqu.edu.cn

引言

2008年8月8日,第29届夏季奥林匹克运动会将在中国的首都——北京拉开帷幕.这是中华民族梦想了百年的伟大时刻.届时,众多的力学科技工作者和爱好者,特别是《力学与实践》的忠实读者一定也会和无数的国人一样,与全世界热心观众一起倾心欣赏一场荟萃东西方古老文明特色的体育盛事.当您热盼着在北京奥运会期间充分地享受那似箭的短跑、绝美的入水、磅礴的灌篮、精妙的射门所带来的兴奋与快乐,为运动员们挑战自我极限一次又一次努力所感动时,您是否了解同样发源于古希腊的力学与奥林匹克体育运动之间的关系?

事实上,力学与奥林匹克体育运动有着与生俱来的密不可分的关系.奥林匹克体育运动追求“更高、更快、更强”的宗旨就是人类不断对自身摆脱各种外力束缚能力的挑战,并通过这种挑战表达人类对自由和进步的追求精神.而力学正是一门研究物体在力的作用下的运动规律的科学.因此,力学存在于一切体育运动之中,贯穿于每一项体育运动的始末.任何体育项目在追求“更高、更快、更强”的目标中每前进一小步,都要依赖于对相关力学问题的深入理解.尤其是在人类各项运动能力都已接近生理极限和科学技术高度发展的今天,“科技奥运”更是进一步提高和发展体育运动水平的必由之路,而通过严谨的科学研究所获得的力学知识则正是这条必由之路的基石.

由于力学在所有体育运动项目中都有广泛深入的应用,其中涉及的科学问题和学科领域都非常复杂.因此,详细介绍力学在特定运动项目中的应用问题将不是本文的目的,有兴趣的读者可以阅读有关专题的专门论文和论著.本文将围绕力学与奥林匹克体育运动这一主题,通过若干实例,简要介绍力学与奥林匹克体育运动的渊源、贡献和当前发展趋势,使读者对力学与奥林匹克体育运动的关系有一个概貌性的认识,从而为进一步深入探索有关专题的详细内容提供基本的思路.

1 共同的起源

公元前8世纪古希腊人聚集在奥林匹亚山头第一次以体育竞技的形式,向世人展示参与者对自我体能的挑战,表达出人类对克服自然界外力束缚,追求自由的强烈愿望和精神,人类历史上从此有了奥林匹克运动会(奥运会).从古希腊第一届古代奥运

会到即将在北京举行的第29届现代夏季奥运会,历史绵延了两千多年,奥运会的发展也经历了跌宕起伏的演进进程,然而,奥运会竞技场上运动员们运用自身体力与大自然中的外力进行较量的战斗主题始终不变,从而成为了今天奥林匹克体育运动追求“更高、更快、更强”的精神宗旨.直到今天,许多现代奥运会的项目还依然保持着从古希腊时代传下来的传统运动形式(图1).这其中的原因,除了这些运动形式本身具有的强烈美感外,更重要的恐怕还在于人类对于自身体能极限的挑战具有永无止境的欲望.

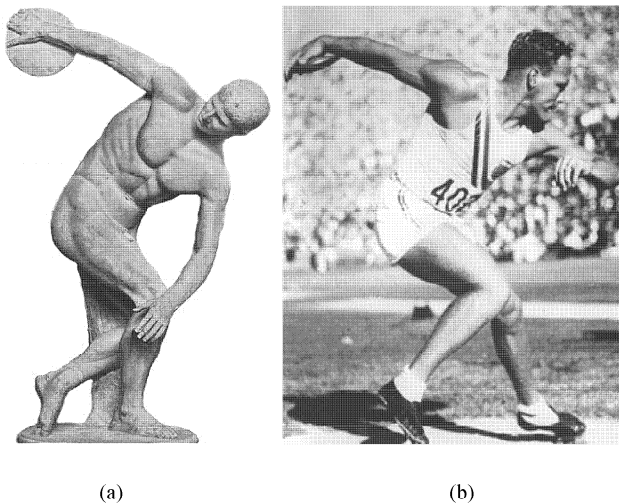


图1 古希腊(a)与现代铁饼投掷运动员(b)保持着几乎完全一致的运动形式

古代和早期的运动员,仅能凭借主观体验积累的经验与单纯的体力拼搏来提高运动成绩,从而不断向新的体能极限挑战.然而,随着人类各项运动成绩越来越趋近于人体的生理极限,运动员们要想在与大自然力的较量中每前进一小步都变得越来越难.这就要越来越多地借助于人类对于力学,及其对人体运动过程作用的认识来帮助指导运动员的训练,改进运动技术等.可以确定的说:今天的奥运体育运动竞争已经不再局限于运动员在赛场上的努力,还包括很多幕后新科技,尤其是力学科学的运用.

力学是研究通常尺寸的物体在受力下的形变,以及运动规律的一门自然科学,它不仅是物理学、天文学和许多工程学的基础,也是奥林匹克体育运动中挑战“更高、更快、更强”极限的最基本依据.和奥运会一样,力学也是发源于古希腊的人类文明之花.虽然在古希腊前后,世界各地的人类在早期的生产活动和对自然现象的观察中,学会了在建筑、

灌溉等劳动中使用杠杆、斜面、汲水等器具，逐渐积累起对物体受力情况的认识。然而古希腊的阿基米德对杠杆平衡、物体重心位置、物体在水中受到的浮力等作了系统研究，确定它们的基本规律，初步奠定了静力学即平衡理论的基础。古希腊的赫拉克里特、勃拉图等也对自然界物体的运动规律进行了深入地研究，有过重要的论述。古希腊人关于物体运动规律的研究传统直接催生了后来欧洲文艺复兴时期经典力学的诞生。

一千多年前的文艺复兴时期，意大利人伽利略沿着古希腊人系统求证的思辨传统，在实验研究和理论分析的基础上，最早阐明了自由落体运动的规律，提出加速度的概念。后来牛顿在继承和发展伽利略、开普勒等前人的研究成果的基础上，提出了物体运动三定律，从而与伽利略一起奠定了动力学的基础。法国人欧拉则进一步把牛顿运动定律用于刚体和理想流体的运动方程，开创了连续介质力学的先河。纳维、柯西、泊松、斯托克斯等人则在运动定律和物性定律这两者的结合方面做出了杰出贡献，建立了弹性力学和流体力学的基本方程，使得力学成为一门独立的现代学科。力学科学的静力学、运动学和动力学三部分，提供了奥林匹克体育运动所需要的全部理论基础。而力学在人体生理学和人体运动学中的应用则派生出生物力学和运动生物力学等直接服务于体育运动领域的现代力学新分支。

2 奥林匹克体育运动中的力学原理

人们在从事体育运动时，身体各部位的相互作用或身体及四肢与其它物体的相互作用都是由于力的作用。因此，正确运用力学原理，深入认识运动过程中人体和 / 或相关运动器材的受力情况，并在此基础上实现对受力情况的最佳反应成为了一切奥林匹克体育运动的最高指导原则。比如，短跑选手在跑动过程中，其前进的动力来自于地面反作用力的水平分力，因此提高短跑速度的关键之一就是如何使运动员保持脚下受力的水平分力最大；篮球投篮的命中率决定于投篮的位置、力量、球的飞行弧度以及球的旋转情况，所以提高投篮命中率的关键之一就是使运动员能正确判断投篮的距离，使用正确的力量和角度投篮。总之，力学基本原理的应用已成为设计、优化和检验竞技性体育项目的运动技术动作的合理性及完整性的基本依据。而竞技体育中涉及的力学原理主要是动力学原理和流体力学原理。

2.1 体育运动中的动力学原理

竞技体育中的动力学原理主要是力学基本守恒定律。比如猫在下落过程中，在翻转前半身的同时后半身作相反方向的圆锥运动，从而保持其身体“动量矩”的守恒。这一原理在人类体育运动中的典型应用包括跳远运动员在起跳后的空中飞行过程中向下挥臂从而能使双足抬高以提高运动成绩；跳水运动员利用四肢和身体的协调动作实现对空中姿势和翻转速度的控制，从而达到完美入水；花样滑冰运动员利用肢体的伸缩实现自身从缓慢转动到疾速转动；体操运动员在腾空中利用肢体动作实现令人眼花缭乱的精彩表演。简单地悬挂在单杠上的运动员可视为一个复摆，但依靠收腹、屈臂和鞭打的联合动作可使稳定的平衡状态变得不稳定，产生一种振幅越来越大的被称为振浪的摆动，这是一种典型的自激振动。运动员根据自身摆动的位置控制肢体动作可实现对摆动的控制。

人的行走和跑动是复杂的运动，它靠人体与地面的摩擦力实现，其稳定性是一个动态过程。向前踏地时摩擦力向后、向后蹬地时摩擦力向前，恰可满足稳定性要求。在地面上围绕支撑足作幅度与摩擦系数成正比的椭圆，人体重心的投影必须保持在椭圆域内才能保证实现稳定行走。要使行走连续进行，两足的椭圆域应连通，这意味着跨步的大小受到限制。与地面间的摩擦系数小，则椭圆小，步距小，这能够解释为什么冰面上不能奔跑；与地面间的摩擦系数大，则椭圆大，步距大，这告诉我们，要使运动员跑得快，应设法增大运动员鞋底与地面的摩擦力。

对跳高（或跳远）运动员来说，最大跳跃高度（或最大跳远距离）是衡量跳跃质量的指标。要提高离地速度，除采用助跑以最大限度地获得起跳前的动能之外，还必须大力蹬地以获得沿特定方向的最大起始速度。

又如帆船比赛中，在遇到逆风情况下，通过随时随地有效地控制船身和风帆的角度，就可以使帆船“顶”风破浪，高速前进。如图 2 所示，当一股强劲的头风从正前方吹来时，运动员顺势将船头和帆面拨到两个不同的方向上，以避免和逆风正向接触，让它斜向吹到风帆的一侧。 OO' 为船的前进方向， AB 为风帆，与 OO' 成 α 角，风力 F 与 AB 成 β 角。这时作用在帆上的风力可等效地分解为 F' 和 F'' 。

显然， F'' 对帆船的前进几乎没有影响，而垂直于帆面的分力 F' 却为帆船提供了前进的动力。因为 F' 又可分解成沿 OO' 方向的分力 F_1 和垂直于 OO'

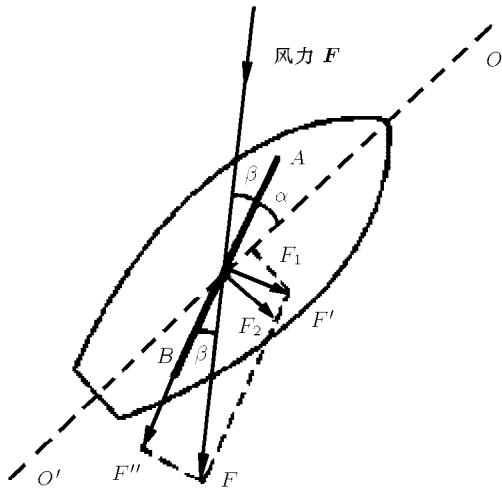
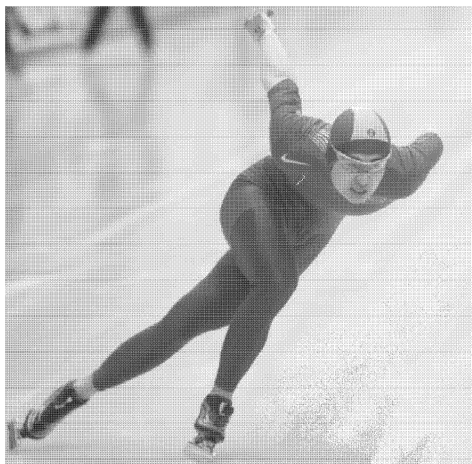


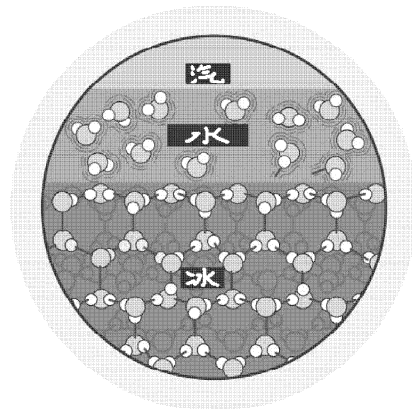
图 2 帆船“顶”风前进的力学原理

方向的分力 F_2 。横向推船的分力 F_2 被这个方向上的水对船的阻力平衡掉了，分力 F_1 就成了船前进的动力，且 $F_1 = F' \sin(\alpha) = F \sin(\alpha) \sin(\beta)$ 。

运动生物力学研究中先进科技手段的运用有时会揭示一些令人意想不到的现象，使我们更好地理解有关运动的奥秘。例如，速滑运动员在冰上的高速滑行，一方面取决于运动员出色的身体力学控制，另一方面当然也只有几乎无摩擦的冰面才可能(图 3(a))。常识认为湿滑的冰面是由于冰刀的压力融化了冰面表层很薄的一层冰晶，从而形成一层水润滑层。但这个解释实际上是错误的。美国的科学家应用电子折射对冰面进行研究，发现即使在 -240°C 下，冰的最表面的单层分子并不是凝固的晶体，而是在快速振荡，从而形成一层像水一样的“似水”层。在此基础上提高温度会有更多的分子层加入这个“似水”层。因此，当我们在冰上滑行时，脚下的冰面可能有 20 层“似水”层，形成“湿滑”的冰面(图 3(b))。



(a)



(b)

图 3 速滑运动员根据人体力学控制姿态 (a) 和脚下冰面层的结构 (b)

而这只是自然形成的表面结构，与我们施加在冰面上的压力完全无关^[1]。因此，速滑运动员没有必要刻意将力量来下压脚下的冰刀，而应尽量在水平方向用力。

2.2 体育运动中的流体力学原理

竞技体育运动项目如球类、游泳、标枪、铁饼和赛艇等运动中，人体或运动器械都在空气或水中运动，它们与空气和水等流体之间存在密切的相互作用。运动中产生的升力、阻力、推力等都直接影响着人体或运动器械的速度、精确度和稳定性等。因此，对这些力学问题掌握的程度和相关力学原理的应用得当程度，对运动成绩的提高和运动器械的改进具有重要的指导作用，也直接决定了竞技运动比赛的成绩。

人体或物体在运动中所受到的流体的作用主要有浮力、推进力和阻力。根据阿基米德定律，任何悬浮在空气和水中的物体都受到浮力的作用，其大小等于物体所排开的流体的重量。推进力主要包含升力和推力。前者产生于物体特定的外形及其与流体间的某种特定的相对运动，例如游泳中手掌的划水、铁饼和标枪在空气中的飞行，乃至球的旋转前进。游泳中所获得的升力可提高游泳速度，铁饼和标枪在空气中升力可延长其留空时间从而提高飞行距离。后者又可分为前推力和侧推力，前推力是通过人体的某一部分与流体的相互作用而获得的流体对人体的反作用力，如游泳中运动员利用划水、打水和蹬夹水等推动自身前进等。侧推力则是利用物体在旋转前进中由于其两侧相对于空气的运动速度的不同而获得的空气的附加横向推力，这种横向推

力可赋予物体奇妙的运动轨迹,如球类比赛中的“曲线球”、“香蕉球”、“旋转球”、“弧圈球”等.如果在物体的前进过程中,物体自身的旋转轴平行于运动速度方向,则具有使物体的旋转轴方向保持不变和增加物体运动稳定性的作用,在射击运动中由枪膛中的来复线造成的子弹绕自身轴线的旋转就是这个道理.人体或物体在运动时与周围介质,空气或水发生摩擦,形成阻碍运动的阻力.要想提高运动成绩,除了着眼于提高升力和推力外,还要尽量减小阻力.阻力按作用机理可分为摩擦阻力、压差阻力和兴波阻力等.摩擦阻力产生于流体的黏滞性,其大小与物体的表面质量和被流体浸润的面积大小以及物体相对于流体的运动速度密切相关.压差阻力产生于人体或物体在流体中运动时由于流动时流束变形以及涡旋的出现等原因,在物体的前方和后方产生压强差所引起的阻力,它与物体的形状、运动姿态和物体相对于流体的运动速度密切相关.兴波阻力和碎波阻力指与在造波和形成自由液面的过程中所消耗的能量对应的阻力,它是游泳运动中的一个重要的阻力成分.摩擦阻力和压差阻力与流体的密度、黏性以及物体相对于流体的运动速度密切相关,在高雷诺数下,这些阻力将随运动速度的增加急剧增加.

流体中运动物体的动力稳定性也是运动项目必须考虑的重要的流体力学原理之一.例如标枪在空中飞行时,受到重力和空气阻力的作用,空气作用于标枪的合力作用点(压力中心)位置随着标枪在空中的运动情况而变化.计算表明,当标枪的轴线方向和运动方向间的夹角大于 15° 的时候,压力中心的位置才趋向稳定,这个计算对于标枪的制作和投掷技术是非常重要的.

3 力学对铸就奥运辉煌的贡献

由于力学在竞技体育中扮演的重要作用,现代奥林匹克体育运动中采用现代科技手段,巧妙运用力学原理提高运动成绩、铸就奥林匹克辉煌的例子屡见不鲜,而且将继续作为奥运体育中的重要部分,保持其主流地位.以下介绍几个典型例子,说明力学对铸就奥运辉煌的重要贡献.

3.1 运用力学原理优化运动姿势

背越式跳高是一个最为典型的借助力学原理改变了一下运动姿势就创造新纪录的例子.与在此之前运动员通常采用的其他跳高姿势相比,背越式跳

高自然地利用了人体高度与弹跳的关系,只要脚有足够的力量和借助跑步的飞跃,人头能先越过去的地方,全身也能飞跃过去.这个符合人体力学和人体工程学原理的创新姿势使人类跳高的纪录,在此后的20多年间上升了17cm,达2.41m.另一个典型例子是游泳姿势的改变对于游泳速度的提高.在早期的游泳竞赛中,运动员主要采用的是侧泳姿势.而在1912年的斯德哥尔摩奥运会上,来自夏威夷的美国选手杜克·卡哈纳莫库首次采用了自由泳,结果将100m泳的世界纪录整整提高了5s.这个成绩令人难以置信,赛后裁判将其游泳的距离反复测算了4遍才承认成绩有效.自此,自由泳也在全球普及开来.

排球发球中颇有攻击力的飘球发球技术是力学原理在竞技体育中的巧妙运用.它利用对球心击打,使球产生局部变形、形成不均匀内压.球在内外压差作用下随之发生动力弹性回复引发球表面振动并与空气相互作用,这一过程受多种因素共同作用的影响,具有极大的不确定性,从而造成排球在空中形成难以判断的飘忽运动路线,接球方在极短的时间内难以准确判断应对,故具有很强的攻击性.

在高台滑雪跳跃比赛时,腾空时间为4~6s,最大速度可达35~45m/s.从流体力学原理来看,要取得最远的跳跃距离,就必须通过提高升阻比以获得运动的水平速度分量与留空时间的最优组合.日本的流体力学家谷一郎教授利用风洞试验研究高台滑雪跳跃运动的技术要领后发现,当运动员把双手紧贴在身体的两侧,让上身和滑雪板跟地面保持平行的时候,可获得最大的升阻比从而获得最远的跳跃距离.1956年冬奥会上,芬兰运动员瓦里宁首次采用了这种姿势,夺得了冠军.

3.2 通过生物力学研究优化训练方法、开发人体运动潜能

在科学技术高度发达的今天,力学在竞技体育中的应用已不再是简单的受力分析和运动姿势的优化,更多的通过十分复杂和精密的生物力学研究优化运动训练方法,从而达到充分激发运动员的身体潜能,创造优异的竞赛成绩.科学家通过调查发现,人体还有许多潜在的力量可以发掘,如在人类骨骼的承受能力上,股关节承受力是体重的34倍,膝关节是56倍,小腿骨能承受700kg的力,扭曲的负荷力是300kg,而人类目前还远未将它们充分发挥出来.40年前的运动员只能将自身潜力发挥到80%,现在的

运动员借助目前所有的高科技训练手段和生物力学知识有可能将自身身体潜能发挥到 90%。另外 10% 的身体潜能的开发有待于运动生物力学等多学科的进一步发展。

例如奥林匹克运动中竞技举重的比赛中,虽然肌肉的力量往往是取胜的关键因素,然而仅仅依靠力量并不能保证取胜。因为运动员的成败除了取决于力的大小,还取决于科学合理的技术动作,所以掌握符合人体结构和运动生物力学原理的技术动作就成为运动员平时训练中的重点之一。现在科研人员利用摄像机从不同的方位将运动员的整套动作拍摄下来,将这些图形输入计算机后用专门的软件进行分析处理,得到运动员的三维模型。利用这种模型对运动员的技术动作进行分析,可以得到各种形象的棍图和数据曲线来反映运动员的动作结构。从棍图中可以直观地看到运动员的重心运动情况,根据这些数据教练员可以科学合理地训练运动员在举杠铃的过程中,尽量使杠铃的运动方向接近垂直方向,从而比较省力地举起杠铃,同时通过加强肌肉的爆发力训练,使杠铃上举的速度加快,在最短的时间内发挥出最大的肌肉力量的潜力。

以前苏联为代表的俄罗斯和东欧流派生物力学研究在人体运动机能潜力的开发上作了大量工作,为俄罗斯和东欧地区在奥林匹克竞技体育竞赛中取得的辉煌成绩作出了杰出的贡献,尤其是以下的一些研究值得注意。俄罗斯流派生物力学的科学研究中广泛应用张力动力描记法和综合肌力测定法。在这个阶段之前,生物力学研究主要是通过肌电仪和动力测力台对运动员动作的外部特征进行测量和分析的基础上获得结果。但是动作的外在特性不仅仅是由外部环境条件所决定的,同时在很大程度上取决于运动动作的内部情况即肌肉活动。通过大量的运动生物力学实验研究,俄罗斯学者提出了“人工监控环境”的观点,其实质在于:动作强度越大,神经肌肉器官越有可能表现出统一系统的特性,据此可以推测出每一块肌肉在高度紧张和干扰因素作用下可能出现的反应,以此找到克服负面影响的方法,为有效完成运动动作提供了可能。运用这一研究成果,俄罗斯学者研制出了一系列训练器和训练综合设备,使运动员有可能借助仪器设备的帮助建立反馈系统,根据外部环境条件的变化及时修正自己的运动动作。这些仪器,例如在游泳训练中所使用的训练器,它可保持所需要的游泳速度,以及可以完善和加强更加有效起跑的训练器等,在运动训练中

得到实际应用并取得极好的效果。

东欧流派在运动生物力学研究中大量使用数学模型的方法,对运动员在比赛条件下的实际动作进行研究,随后对所得到的材料进行加工处理,确定动作构成体系的基础参数,并建立数学模型。运用这一研究方法,对近几届奥林匹克运动会跳远项目奖牌获得者跳远技术的运动生物力学特性进行分析研究并从中分离出基础参数,建立数学模型并进行分析,揭示出所分离出参数间相互联系的特性,据此创造了一个新的跳远技术模式“二跳式”。东欧流派生物力学研究的另一特色是采用稳定性描记法研究运动员身体的机能状况,根据身体垂直状态协调性指标分析训练及比赛负荷承受能力以及用于专业定向及选材。

1976 年蒙特利尔奥运会前,美国当时的奥委会生物力学部主任埃里尔博士发明了一套系统,应用电子计算机和物理学基本原理帮助运动员提高运动成绩。奥运会开幕前几个月,埃里尔分析和研究了铁饼投掷运动员威尔金斯的情况。威尔斯当时成绩是 66m,离世界纪录还差 3m。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,膝盖都要像弹簧似地动一下,这使他失掉了一部分应该传到铁饼上的力。模拟推论表明这部分力可以将其成绩提高 3m。为此,为威尔斯设计制作了矫形器刹住膝盖,果然使他在 1976 年奥运会上以 70.86m 的成绩创造了新的世界纪录。但这一训练方法当时尚未广泛应用。直到美国队在 1976 年蒙特利尔奥运会上失利后,美国才于 1981 年开始了广泛地以尖端科学技术提高运动员竞技能力的活动,将数百万美元投资于各种科学设备建立专门训练中心,对奥运选手集中进行科学训练,主要是利用生物力学方法,从运动学的角度对运动员技术动作进行分析与评价,研究肌肉的运动技巧,提出改进技术的建议及措施,这一措施收到了显著的效果。如参加 1984 年洛杉矶奥运会的 597 名美国运动员中,至少有 50% 的运动员接受过这一训练,其中 47% 的金牌获得者,46% 的银牌获得者和 63% 的铜牌获得者接受过相应训练。

3.3 运用力学原理优化运动器材和器具以提高运动成绩

运用运动生物力学的原理改进和设计运动器械,也有很大进展。美国航空科学家对投掷标枪的动作做了动力学研究,采用 5 个非线性动力学微分

方程描述标枪的飞行过程,并得到了数值解.结果表明,以1972年奥运会纪录为例,只要改变标枪的投掷角,并在现行规则允许范围内将标枪的压力中心从现在的25.7cm前移到距中心0.8cm处,就可以把1972年的纪录提高16.61m.根据这个研究结果,近年来标枪的压力中心前移了,结果投掷距离比1972年提高了9m左右.美国科学家还对世界各地跑鞋的性能进行了研究,对其冲击承受力、柔韧性和耐穿性等进行了实验,集中各地跑鞋优点,研制成了“生物力学跑鞋”.

例如,1998年英国运动员在英联邦运动会上首次使用有“第二皮肤”和“鲨鱼皮”之称的泳装,这种泳装不仅利用了运动力学原理,还利用了仿生学原理,模仿了鲨鱼的皮肤,能够更有效地使运动员身体周围的水流走,从而减少阻力,使运动员的成绩得以很大提高.

英国的Speedo公司通过研究鲨鱼游泳的生物力学发明了所谓的“快皮”泳衣.这种泳衣模仿鲨鱼的皮肤结构,在它的表面有一系列类似鲨鱼皮上细小的鳍状结构的凹槽,这些凹槽可以在游泳者周围产生微小的漩涡,从而减小了水中的表面阻力.快皮II代更进一步根据游泳者的体形、性别和泳姿,在泳衣的不同部位使用不同类型和质地的材料.在表面阻力最大的部位(如:胸部和臀部)使用了粗糙的材料,而在水流较慢的部位,如腿的内侧,则使用了更为光滑的材料.快皮面料还有一种被称为“超级弹性”的成分,能有效地减少肌肉的震荡.根据Speedo公司的数据,快皮II代泳衣与普通泳衣相比可以减少4%的表面阻力.2004年雅典奥运会上,美国的菲尔普斯穿着这种新式泳衣获得了4×100m混合泳的金牌^[2].

类似的技术也可用在如自行车等追求高速的运动中.两个拥有相同力量、身材和技术的自行车运动员都以65km/h的速度进行比赛,最后的成绩会因为他们所用自行车空气动力学性质的不同而相差百分之几秒,约相当于自行车轮半圈的差距.英国自行车队拥有目前全世界最先进的自行车.这种自行车由大量碳纤维材料制成,并使用了有限元分析技术来预测自行车的张力和变形.这样设计者就可以根据这些数据最大程度地优化自行车的重量和强度.设计者们还使用计算流体力学模拟了自行车周围的复杂空气流.英国自行车队采用该自行车在雅典奥运会中获得了2枚个人金牌及1项团体银牌.

撑竿跳的历史上最初用沉重、没有弹性、容易折

断的木杆,跳出来的成绩只能达到3m左右.1930年使用不易折断的金属杆使运动员可以提高握杆点,加快助跑速度,成绩便突破到4.80m.1948年由于材料力学与新型材料结合的突破,创造出了重量更轻、弹性更强的玻璃纤维杆,人类的撑竿跳成绩一下子突破6m极限.

4 机遇与挑战

北京成功申办奥运会和此次奥运会“科技奥运”战略的确定,为我国科技工作者,特别是有关运动生物力学的科研人员带来了极大的机遇和挑战.奥运会历来就是演练最新体育科技的“靶场”,北京奥运会更是展示和检验我国有关体育运动的科技能力,特别是运动生物力学科研能力的历史性大舞台.

运动生物力学在我国还是相当年轻的一门科学.1958年,我国才成立了国家体育科学研究所运动生物力学研究室,并开始在一些体育院校开设运动生物力学课程.直到1980年才成立中国体育科学学会和中国运动生物力学学会.但是,我国广大体育科技工作者不畏艰难,勤奋努力,在较短的时间里,使我国运动生物力学的科研水平产生了突飞猛进的进步,形成了自己的特色,为我国竞技体育水平的迅猛提高和在奥运会上取得辉煌的成绩作出了杰出的贡献.

1976年以来,我国自主研发了游泳速度遥测仪、激光计时仪、标枪光电测速仪、三位测力仪和连续闪光机等一系列测试仪器,为定量研究运动生物力学创造了条件.大多数仪器由国家出资研究开发,并在国家运动队中应用和完善.比如国家体育总局科研所开发的举重动作图像快速反馈及杠铃轨迹自动识别系统,应用于国家举重队的训练实践中.悉尼奥运会前,队里的部分重点队员接受了此系统的测量分析.快速现场反馈系统通过拍摄队员训练画面,利用分析软件把采集到的动作画面进行分析对比,或者根据教练的需求用精准的数字、精细的线路图以及一些数字技术手段把训练画面做成棍图、曲线图、三维动画图等,从多角度观测、对比动作的规律,数字化地分析和指导队员的技术训练情况.这为我国举重队在悉尼奥运会上取得优异成绩提供了技术保障.另外,我国许多项目的优秀运动员都经常到国家体育总局科研所进行承受运动训练负荷的诊断与监测,其诊断和监测结果成为教练员制定训练计划、确定训练负荷以及进行营养补给等各项工作必备的重要参数.

运动生物力学还为运动员选材提供了依据。1975年起,我国运动生物力学工作者就开始了对各项目运动员的身材研究,通过对各项运动中运动员身体的力学分析,验证不同项目对不同体形的要求,从而设计出更加适合中国运动员的运动姿势和技术,比如更加适合中国短跑运动员的起跑技术。

另一个辉煌的例子是围绕刘翔的科研工作。刘翔以12秒91平世界纪录的成绩在雅典奥运会男子110m栏决赛中称雄后,世界在惊叹刘翔的同时,也将惊奇的目光投向了长久以来默默耕耘的中国体育科研人员。围绕刘翔展开的科研攻关与服务,探索出了一种科研人员与运动实践紧密结合、为运动实践服务的工作模式。国家体育总局科研所为刘翔成立了一个由4至5人组成的科研小组,完全专注于完善刘翔的运动技术。利用先进的科技手段,科研人员将刘翔在比赛过程中髋部、手臂的动作、每个过栏运动轨迹都进行精细的数据分析,从而对刘翔改进技术动作起到了积极辅助作用。雅典奥运会时,科研人员通过电视录像“做文章”。男子110m栏半决赛结束后,留守后方的科研人员即通过分析得出,半决赛成绩力拔头筹的法国选手杜库里是利用个人出色的冲刺能力脱颖而出的,而刘翔的栏间距节奏、频率非常科学,尚有提高成绩的潜力,况且他在冲刺阶段还有所保留,于是又提出了相应的对策研究,为刘翔在决赛中最后胜出获得金牌作出了贡献^[4]。

生物力学研究除了在提高竞技体育运动水平方面具有重要意义外,还在运动创伤和康复方面发挥重要作用。在美国,生物力学是骨科与运动创伤医生、体疗康复师、教练员和运动训练员的必修课程之一,它与运动医学及康复医学密切相关,如同生理学、病理学、生物化学等医学基础学科,对临床一样重要。生物力学对运动创伤的意义,不仅表现在创伤的发生、发展、诊断、治疗,更与康复及愈后诸方面密切相关。我国生物力学研究在骨骼、关节、肌肉韧带等运动系统领域最为活跃,尤其在运动医学以及体育运动的影响方面取得了令人瞩目的成就。在运动医学和竞技体育领域,生物力学的研究主要描述骨、关节、肌肉、韧带的力学性质,揭示骨与软组织在不同损伤力的作用下,组织破坏的力学机制,提出运动伤病防治和康复的方法与建议,延长运动寿命,促进奥林匹克运动事业的健康发展等方面起到积极的保障作用。

近来全球运动创伤持续增长。调查表明,运动创伤已成为工业化国家创伤的重要组成部分。在我国

发达地区也已见到这种趋势。上海地区运动创伤发生率近年来就逐年攀升,提醒我们重视运动创伤,开展运动创伤生物力学研究,也正是更有效预防和治疗运动伤病的客观需求。生物力学对骨折与骨愈合力学特性、膝关节十字韧带损伤、髌股关节疾病、侧副韧带损伤和关节持续被动运动理论的研究比较深入,但对其他组织结构力学性质的了解还很不够。过去,大多只研究组织的准静态,很少知道组织在体或动态状况下的力学响应与运动学变化。除了研究肌肉与骨骼系统急性损伤机理外,运动医学领域生物力学的研究范围还在扩大,还涉足研究运动锻炼对过度使用性损伤和慢性退行性病变这两大医学难题的影响,认识其发生机制、预防和治疗措施。对组织过度使用性损伤的研究,并联系力学环境和组织重建及愈合过程之间的关系,以确定长期从事重复性运动的允许极限,对预防腰背痛和骨关节炎将作出较大贡献。

人体运动创伤的预测、评价和防治,主要运用变形体生物力学,包括生物材料力学、生物结构力学、计算力学、断裂力学、黏弹性力学、损伤力学等边缘学科,侧重研究肌肉骨骼系统的生物力学特性。骨骼、关节、肌肉、韧带运动损伤的发生,绝大部分与异常力学因素有关。运动实践中还要考虑应力速度与结构损伤的关系。高速暴力主要损伤骨骼,慢速应力则多损伤软硬结合处的组织结构。作用于膝关节的前后暴力和扭转暴力造成交叉韧带损伤,侧方暴力造成侧副韧带损伤。下肢的过度使用和应力集中造成各种疲劳性骨折。急性的跟腱断裂往往与足踝特殊发力角度、跟腱应力过大有关;对足跟疼痛和跟腱末端病,如果改变鞋形与鞋底力学结构,增加足跟缓冲,可能会达到治愈和防止再伤的目的。而肌肉的损伤往往在肌肉疲劳、张力过高或弹性应变下降时发生。关节的高应力或低应力状态都会造成关节内软骨的退行性改变。髌股关节疾病常与髌股对位对线不良、股四头肌Q角异常、高位髌骨或低位髌骨、胫骨扭转畸形等因素有关。

肌肉与骨骼系统的许多治疗方法实际上是力学方法,因而其治疗效果也可用力学手段来评价。许多伤病,在很大程度上,是由力学原因引起的,对运动的力学研究也许能使我们对它们有更多的了解,从而可能预防和阻止伤病的发生与发展。等长、等张和等速肌力训练和测试方面的研究,为提高肌肉训练效果,加快运动损伤后的康复提供了更多更有效的手段。

展望未来, 在整个体育运动领域, 生物力学的研究具有极大潜力和发展前景, 并有可能对社会的健康福利作出更大贡献. 例如关节炎这种影响老年人的慢性退行性疾病, 总是引起运动状态的异常. 对这些运动状态的评价, 并将它与骨关节炎的治疗相联系, 就能提高疗效, 改善病人生活质量. 纵观新世纪在生物力学领域的研究课题, 可概括为 5 大方面: (1) 系统地研究与确定运动对人体各种组织和细胞的力学影响程度, 并运用于运动实践, 以进行科学的锻炼与训练, 这对指导全民健身运动和竞技体育运动的完善, 将具有十分重要的作用. (2) 从预防运动损伤的观点出发, 对各种体育 / 娱乐活动进行生物力学分析, 找出致伤因素, 并设计出相应预防与治疗措施. (3) 提供有针对性的系统的力学方法, 确立临床中损伤程度及治疗效果的客观评价体系. (4) 提高与完善生物力学模拟技术, “量体裁衣”, 根据个体解剖力学的缺陷或不足, 设计矫形护具或外科手术, 以更有效地治疗运动伤病, 并对每个患者可能的结果作出预测. (5) 建立在不同运动

中不造成损伤所能承受的载荷极限指标体系. 从应用角度看, 真正需要开发的是一种用以验证运动优化技术的程序. 运动优化技术就是为各个特定对象根据个体解剖和生理特点确定运动负荷的量和动作方式, 以使运动损伤的风险降至最低, 而动作发挥最理想, 并达到最佳运动成绩.

致谢 感谢重庆大学彭向和教授及其研究小组的研究生, 以及作者的研究生余纪民、王雅姝等为本文写作提供宝贵的资料.

参 考 文 献

- 1 Hutchinson Alex. The science behind Olympics. *Popular Mechanics*, February Issue, 2006
- 2 Curtis David, Currie Matt. Olympic gold medals and physics. *Physics Today*, 04 Sept., 2004
- 3 忻鼎亮. 运动生物力学研究方法的发展和展望. 体育科研, 2006, 27(6): 78~80 (Xin Dingliang. Development of the researches on sports biomechanics. *Sport Science Research*, 2006, 27(6): 78~80 (in Chinese))
- 4 汪世祯译. 运用高科技手段催生奥运冠军. 山东体育科技, 2007, 29(2): 96

~~~~~  
(上接第 14 页)

## 参 考 文 献

- 1 李建设等. 运动生物力学研究进展与展望. 浙江体育科学, 1999, 2
- 2 洪嘉振. 人体运动生物力学计算机仿真研究. 生物力学的研究与应用, 389
- 3 王清等. 运动生物力学学科发展研究报告. 中国体育科学学会, 2007, 10
- 4 王清 (主编). 我国优秀运动员竞技能力状态诊断和监测系统的研究与建立. 北京: 人民体育出版社, 2004
- 5 吴焕群, 张晓蓬等. 乒坛竞技科学诊断. 中国乒乓球协会科研委员会, 1996
- 6 吴焕群, 张晓蓬, 秦志锋. 中国乒乓球竞技制胜规律的科学研究与创新实践. 国家体育总局体育科学研究所, 2004
- 7 李汀, 李爱东, 苑廷刚等. 刘翔备战 2004 年奥运会的科研攻关与科技服务. 国家体育总局体育科学研究所, 2004
- 8 郑秀媛等. 现代运动生物力学. 北京: 国防工业出版社, 2002
- 9 李建设等. 运动鞋的生物力学研究. 第 11 届全国运动生物力学交流大会论文汇编, 2006. 30
- 10 忻鼎亮, 刘大雄等. 投掷运动力学原理的研究. 体育科学, 2005.7
- 11 郝卫亚. 专项体育运动的计算机模拟与仿真. 第 11 届全国运动生物力学交流大会论文汇编, 2006, 10 ~13
- 12 刘延柱. 运动生物力学中的力学模型问题. 力学与实践, 1983, 5(3)
- 13 忻鼎亮. 运动生物力学. 上海: 东华大学出版社, 2002
- 14 王清等. 运动生物力学在竞技体育中的应用. 第七届全国体育科学报告大会运动生物力学专题主报告, 2004
- 15 弗拉基米尔 M 扎齐奥尔斯基. 运动生物力学. 北京: 人民体育出版社, 2004
- 16 柏开祥等. 帆板最佳航线的设计与实现. 第 11 届全国运动生物力学交流大会论文汇编, 2006, 129
- 17 Hanavan EP. A mathematical model of the human body. AD608463, 1964
- 18 Kane TR. Experimental investigation of astronaut maneuvering scheme. *Biomechanics J*, 1972, (5)
- 19 Wittenburg J. Dynamics of Systems of Rigid Bodies. Teubner BG, Stuttgart, 1977
- 20 Hazte H. Optimization of human motion. *Biomechanic*, IV 1973
- 21 Lloyd BB. Energetics of running. An analysis of world records. *Sci*, 1966
- 22 Ward-Smith AJ. A mathematical theory of running based on the first Law of Thermodynamics and its application to the performance of world-class. *Biomechanics J*, 1985, 5: 337~349