

冠军的技术

——各项运动的生物力学分析

人民体育出版社

冠军的技术

——各项运动的生物力学分析

金季春	李诚志	邹亮畴	
林建英	于冰	洪友廉	译
杨向阳	吕维加	史际平	
李诚志	金季春	林建英	校

人民体育出版社

冠军的技术
——各项运动的生物力学分析

金季春 李诚志 等译

李诚志 金季春 等校

人民体育出版社出版

联华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

•

787×1092毫米 32开本12印张 220千字

1990年9月第1版 1990年9月第1次印刷

印数：1—1.700册

•

定价：7.80元

ISBN7-5009-0216-6/G·204

责任编辑：卢峰

译者前言

近年来，作为体育科学领域中的一门新兴学科——运动生物力学得到了迅速的发展。由于它对改进运动技术，提高运动成绩有直接的贡献，因此深受广大教练员及运动员的欢迎。

为介绍国外运动生物力学工作者近年来的研究成果，我们特从第二届和第三届国际运动生物力学讨论会的论文及“国际运动生物力学杂志”（23届奥运会专集）中选择了若干篇研究报告，供国内同行、教练员及教师参考。在文章的选择上，主要考虑的是研究成果的实用性，并着重选择了与田径、体操、游泳、举重等项目有关的文章。

由于我们的水平有限，译文难免有不妥之处及错误，真诚地希望读者能予以批评指正。

目 录

第 一 篇	运动生物力学的发展	1
第 二 篇	为教练员应用的基础生物力学	11
第 三 篇	生物力学研究人员与教练员之间 的交流	24
第 四 篇	奥运会男子200米赛跑的运动学 分析	31
第 五 篇	优秀短跑运动员的运动学特点	47
第 六 篇	奥运会女子100米栏的运动学分析	60
第 七 篇	对优秀女马拉松选手技术的生物 力学分析	74
第 八 篇	竞走的运动学	100
第 九 篇	优秀少年竞走运动员的生物力学 分析	112
第 十 篇	利用生物力学影片分析指导撑竿 跳技术	118
第 十一 篇	跳远时由助跑到起跳的转换技术	125
第 十二 篇	优秀跳高运动员的生物力学分析	141
第 十三 篇	三级跳远技术	147
第 十四 篇	奥运会标枪运动员的生物力学分析	165
第 十五 篇	奥运会铁饼运动员的运动学分析	183

第十六篇	优秀标枪运动员的运动学分析·····	195
第十七篇	奥林匹克举重运动员技术的生物力学简析·····	202
第十八篇	举重过程中压力中心的移动·····	216
第十九篇	女子体操运动员的人体测量学特征·····	231
第二十篇	奥运会女子体操选手跳马的生物力学研究·····	251
第二十一篇	奥运会男子跳马的运动学分析·····	267
第二十二篇	男子跳马前空翻一周半动作起跳阶段与腾空阶段的关系·····	288
第二十三篇	单杠大回环中身体重心运动的比较·····	303
第二十四篇	高低杠腾身后回环成倒立的技术分析·····	313
第二十五篇	高低杠分腿屈体后回环成手倒立动作的生物力学分析·····	326
第二十六篇	手与前臂划水所产生的升力和阻力对自由泳推进力的积极作用·····	348
第二十七篇	仰泳转身后手臂运动分析·····	357
第二十八篇	男子竞技游泳的时间特性分析·····	360
第二十九篇	用录像分析系统对花样游泳支持性划水技术的初探·····	370

第一篇 运动生物力学的发展

D. 米勒

回顾近10~15年以来运动生物力学的发展过程，可以看到不同时期曾有过不同的研究重点（在一段时间内，研究工作高度集中在某一方面）。最初是仪器设备，如摄像机、测力台、计算机等。然后是研究方法，如三维分析、模拟、数据平滑、数据实时采集等。再以后是信息传递技术，如角-角图、计算机绘制杆图、矢量图等。直到七十年代后期，仍没有人对这门学科本身做出多少贡献。从这段时间发表论文的数量和深度都反映了这一事实。今天，借助于适宜的仪器、研究方法、信息传送技术及在科学家的不懈努力下，我们可使运动生物力学的研究比以往更有意义。

跑步——运动生物力学

研究的晴雨表

1977年我在美国生物力学学会成立大会上讲过类似的问题。生物力学的现状如何？它将如何发展？当时我选择了跑步作为运动生物力学发展的晴雨表。今天仍有足够的理由做这一选择。这是由于人们对跑步进行科学研究的历史最悠

久，受这一研究成果影响的人数众多以及曾经从事这一领域研究的生物力学工作者较多等缘故所致。因此导致了跑的研究在运动生物力学中的研究经费最充裕，研究数据最丰富，研究报告和论文也最多。同时，各种已有的仪器和研究方法都已被应用到这一研究领域中来，以回答从纯理论到纯应用中存在的各种疑难问题。我们还需与其它体育学科共同解决跑步创伤的问题。因此要与在这一领域工作的生物力学研究人员、医学界、商业和工业界人士进行有关应用方面的合作。基于这些事实，任何人都不会否认跑步生物力学是运动生物力学研究的一个真实缩影。

我在为美国生物力学学会所做的综述中曾指出，我们对一个复步中的各种时间关系和直线运动学已有相当的了解。

表 1 跑步生物力学领域1977年以来发表论文分类表

类	子 类		
跑 步 者	男 子 女 子 儿 童 残 疾 人	慢 跑 者 长 跑 者 优秀运动员 马拉松运动员	
跑步环境、 条件	平地跑 跑台跑 固定速度 比 赛	斜坡跑 疲劳状态下 训练过程中	弯道跑 直道跑 加速跑 实验室

续表

类	子 类
分析对象	时间与步幅特征 关节运动学 功——能——功率 效 率 地面反作用力 肌肉活动及合力矩
仪 器 及 研究方法	三维分析 肌 电 图 电影摄影技术 压力传感器 测 力 台 跑 台 模 拟

对环节之间的角运动学的了解也在增加。某些研究工作涉及了地面反作用力的施力过程和它所导致的肌肉力矩。当时，分析几乎完全局限在矢状面内。

六年后的今天，我有机会再一次考察跑步生物力学的某些进展。自1977年以来的大多数出版物都可以归到表1中的某一类。看过文后较详尽的参考文献目录，我们不禁感叹六

年来运动生物力学这一领域研究成果之丰富。这也反映了这一领域的生命力。要集中讨论跑步生物力学的某一方面，还必须再使我们的论题范围窄一些。我们可以选择地—鞋—脚的接合这一论题来代表这一领域的进展。

跑的机理

对跑步机理的研究起源于一些现在已经过时了的问题，如：跑步者的脚是怎样和地面接触的；借助于测力台和压力传感器来了解着地时各种力的性质和分配；用不同角度的摄像机更好地观察脚与地面接触的过程。现在则正向建立重复负荷冲击下肌肉骨骼模型方向发展。其研究成果在跑鞋设计和防止运动创伤等方面都有应用。但是不管你是否同意我的观点，我认为这些成果已直接用于跑步技术的改进方面。同时它对减少过度疲劳、创伤的潜在效果也将使从周末慢跑者到奥运会选手各种跑步者的训练运动量受到影响。

跑步者的脚是怎样与地面接触的

是脚跟先着地，还是前脚掌先着地，然后后脚掌再着地？抑或只是前脚掌着地，还是全脚着地？其回答看来是：“以上说法都是对的。”

在早期，人们曾经认为运动员要么只是前脚掌着地，要么就是脚跟先着地。1964年，奈特（Nett）打破了这种偏见。他以每秒64帧的速度拍摄了从100米到马拉松各种不同距离优秀运动员脚的落地过程。他发现运动员总是用脚外缘着地的。后来许多人重复这一实验，对这一结果均无异议（如Cavanagh与Lafortune, 1980; Payne, 1983; Plagen-

hoef, 1979, 1980; Roche, 1972), 奈特进一步还发现脚的第一落点与跑动速度有关。在100米和200米比赛中, 第一落点是脚掌前部, 奈特称为主动落点或动态落点。跑400米时第一落点略向后移一些。800米, 落地时脚几乎是平的(蹠落点)。而在比1500米更远的距离, 第一落点在脚跟与跖骨之间(被动落点或静态落点)。不管第一落点在什么位置, 奈特相信脚跟在地过程中的某一时刻总要着地的。而第一落点的类型与能量守恒定律有关。

在以后的几年里, 人们接受了奈特的观点, 认为第一落点是与跑动速度相联系的。从慢跑向疾跑过渡时, 第一落点从脚跟向前脚掌移动。然而进一步的研究却表明这一思想未免过于简单化了。有人证明奈特的结论在某些场合下是正确的(如Plagenhoef, 1979, 1980), 但也有人观察到不同运动员在同一速度下有不同的第一落点(Cavanagh与Lafortune, 1980; Payne, 1983)。还有一些观察结果表明有些运动员在以不同速度跑动时第一落点位置不变(Hamill等人, 1983; Mason, 1980; Roche, 1972)。这些研究成果不仅来自装在跑道侧面的, 拍摄速度从25帧/秒到500帧/秒的摄影机, 而且来自测力台的压力中心输出结果。

Cavanagh按压力中心轨迹起始点在脚掌上所处的不同位置把运动员分为三类: 前脚掌型、中脚掌型、后脚掌型。压力中心是地面反作用力的作用点, 不能把它和第一落点的概念相混淆。但是可以假设压力中心在前脚掌与后脚掌的位置与第一落点的位置基本对应。而中脚掌型则对应脚掌中部的第一落点或是全脚掌同时着地。

着地过程中脚所受力的性质

近年来,测力台已广泛地用来测量着地过程中地面的反作用力。它提供三维数据,测量工作也比摄影法简单,但它也存在一些缺点。由于它通常体积较小,我们必须注意它记录的是不是一个完整的着地过程。有时测力台必须安放在限定的实验点上,这大大限制了跑动速度。此外,在测力台的设计和安装时产生的背景噪声的影响也较大。为了消除这一噪声的影响,必须设置一个触发阈值。我们发现,只要将这一阈值从50牛顿降到16牛顿,着地时间就要增加几乎20毫秒。将力对体重标准化,时间对着地周期标准化,可以解决不同运动员之间的比较问题。在过去的六年中,尽管有这样那样的限制,这种动力学方法仍提供了大量着地过程中地面反作用力的数据。在这些数据的基础上,我们可以进行观察、分析并得出某些结论。

抛开一些细小的差异,到目前为止报道的垂向地面的反作用力可分为两类。第一类没有明显的峰值,似乎与前脚掌和中脚掌型相联系。第二类有两个峰值,已被证明是后脚掌型所特有(Cavanagh与Lafortune, 1980; Hamill等人, 1983; Payne, 1983)。有时可以将这两个峰值归为冲力和推力的极大值。Nigg等人于1981年将其定义为被动峰(高频)和主动峰(低频)。他们认为第一峰值(被动峰)受肌肉系统的控制很少。理由是肌肉活动与力的产生之间有30毫秒左右的延迟。这一说法似乎有理,但却不能解释肌电信号结果,这些结果表明腿的肌肉在着地以前就有活动。

Cavanagh和Lafortune于1981年将这种双峰模型与中脚

掌型联系起来。Payne (1983) 和Hamill等人 (1983) 的数据表明它与前脚掌型也有联系。从逻辑上推论, 力的峰值既有垂直分量也有水平分量, 垂直分量的初始峰值对应两个制动峰值中的第一个。

地面反作用力的最小分量是侧向力。它可以是向内 (指向身体) 或向外 (指向体外)。它是各研究者之间及研究者本人不同时期意见最不一致的力。把向内的力看成是正的或负的决定于是左脚还是右脚着地, 还决定于跑动方向。一定要把这些因素综合考虑。迄今发表的论文很少能清楚地区分向内的力和向外的力。

现在已经基本了解了在着地过程中地面反作用力的类型及它是跑动速度的函数 (Hamill等人, 1983; Roy, 1981, 1982)。接下去自然要把曲线上的特性参数与实际跑动过程联系起来。地面垂向反作用力的大小无疑反映了着地时打击力的衰减程度, 但是把曲线上的关键点与脚的位置联系起来的努力却不很成功。由于地面反作用力决定了身体重心的加速度, 它受鞋与其它因素的影响是很小的 (如Bates等人, 1981, 1983; Hamill等人, 1983; Norman, 1980)。第二个问题是从记录的力函数曲线得到位置的变化。这需要做一个二重积分。

着 地 过 程

因为不能得到地面反作用力与脚的位置之间令人满意的联系, 我们不得不回过头来直接分析脚的运动学。为了更清楚地观察脚的复杂运动, 一般用一个放在运动员和踏板后面的摄像机。这就使一串脚步都出现在同一视场中。Bates 首

先使用这种这种后视摄像机。如果再用一面镜子在同一幅图像上提供第二个观察角度，这种安放位置是很好

的。

用这种方法拍摄的图片显示出足跟骨相对胫骨轴线有运动。这就解释了踏地过程中通过脚掌的外翻延长与地面接触时间并分散地面反作用力从而减少地面冲力的机理。脚的外翻是一个复杂的三维运动，它包括踝关节后屈，前脚掌外展和足跟骨外翻。由于在这一过程中足跟骨相对于胫骨轴线的运动与踝关节的后屈和前脚掌的外展是有关系的，对它的观察也提供了后两者的信息（Cdarke等人，1983）。

Plagenhoef 1980年指出跑速越高，地面反作用力越大（Roy 1981年和Hamill等人1983年的研究都证明了这一点），从而也就需要吸收更多的冲力。由此他推论：运动员跑的越快，在着地初期脚的内翻越明显以增加外翻的潜力。一般来说，脚刚着地时是处于内翻位置的（即脚外缘先着地），然后脚外翻蹬地，至极限位置又开始内翻，为下一次着地做准备。根据Bates等人1979年的研究成果，在这两个运动周期中的动作顺序为：

1.外翻：

- 1)脚以内翻的位置接触地面；
- 2)足跟骨从内翻位置向外翻位置运动，经过胫骨轴线；
- 3)在着地周期的30~45%时间内达到外翻极限位置（膝关节的最大弯屈与这一位置紧密联系）。

2.内翻：

- 1)紧接着外翻极限位置，大约在着地周期的50%时踝关节达到最大后屈；
- 2)足跟骨从外翻位置向内翻位置运动，再一次经过胫骨

轴线，

3) 脚趾离地，着地过程结束。

一定的外翻是必须的，也是大家所希望的。但是过量外翻将导致受伤。尽管数据不够丰富，还是可以说过度外翻与足、踝、膝、髌关节的受伤有关。这就提出了一个问题，怎样控制或改进外翻的程度和速度呢？Clarke, Frederick 和 Hamill 1983年在“运动中的医学和科学”一书中发表的权威性论文讨论了鞋跟高度、锥度以及鞋底中部的硬度对前脚掌外翻控制的影响。经过精心研究他们发现：最大外翻发生在后跟无锥度，鞋底中部为软底的情况下。当鞋跟锥度为 30° ，鞋底中部为硬底时外翻最小。其研究则提出了与降低内转伸展有关的软硬矫正理论（Bates等人，1979；Rogers与Levenau，1982）。

目前和今后的研究方向

我们可以对跑步生物力学再做一些评论，同时它所提供的成果能使我们进一步展望运动生物力学的发展前景，可以说过去和今天是打开明天之门的金钥匙。在以后十年中我们不能奢望完全改变研究方向。我们能做的只是继续发展和扩大已有的研究成果。

无论对跑步生物力学还是运动生物力学的其它领域，我们都致力于回答下列问题：

(1) 怎样发生的？在许多领域中我们正处在把大量研究成果用一种有意义的方式统一起来的时刻。我们已经摆脱了只具有少量孤立的彼此不相关的结果的阶段，正在从纯粹描述事物发生过程的阶段向致力于研究这些过程的功能和医学

意义的方向发展。

(2) 为什么发生？对这一问题为了得到与理论相统一的结果还有许多工作要做。但是我们已经比过去更多更深入地致力于下一个问题了。

(3) 如何改进技术、设备或运动要求从而提高运动员的运动水平和减少创伤和（或）减轻受伤程度。

杨向阳译 李诚志校

第二篇 为教练员应用的 基础生物力学

安妮·爱德华特

在过去的十年中，“生物力学”一词已经广为美国公众所知，特别是广为教练员和运动员所熟悉。在大多数人的眼中，生物力学一词代表了一门神奇的学科，它在计算机的帮助下可在电视屏幕上画出棍图，并解释某个运动技术的错误，找出改进技术的关键。那些关于生物力学研究的发展的激动人心的宣传，总是使人们希望大多数生物力学家不但可以轻而易举地采集到数据，而且可以毫不费力地立即对运动技术做出诊断和分析，并提出改进意见。我认为，我们的任务是让人们，特别是教练员和运动员知道生物力学这门正在迅速发展的学科的作用，同时让他们知道它的局限性。

虽然运动生物力学家们目前都在广泛而经常地进行着对运动技术中的错误的鉴别工作，通常叫做技术诊断，但我还是认为对运动技术中错误的鉴别是一个值得注意的问题。在讨论这一问题时，我可能是更多地提出问题而不是直接做出解释。

什么是运动技术中的错误？在某一项运动技术中，如果出现了错误，你是否确信你能辨别出这个错误？你以什么为