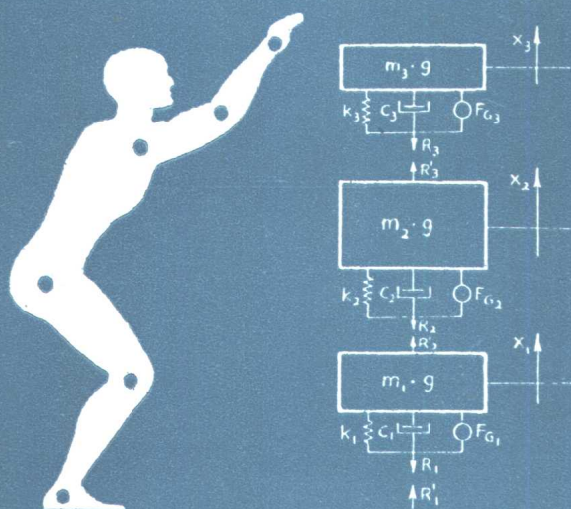


运动生物力学

译文集 I

时学黄 郑季瑗 等 编译
冯莲丽 钱雪英



清华大学出版社

运动生物力学

译文集 (一)

时学黄 郑秀瑗
冯莲丽 钱雪英 等编译

清华大学出版社

内 容 提 要

本书选择了国际生物力学学会第五、六、七届学术会议论文集有关运动生物力学的基本概念与研究方法、跑、跳、投掷以及体操、球类、自行车等各项运动的生物力学分析的文章四十四篇,反映了国外运动生物力学的进展情况、研究方法和最近研究成果。可供体育学院师生、体育科学研究人员,教练员以及广大运动员学习参考。

运 动 生 物 力 学 译 文 集 I

时学黄 郑秀媛 等编译

清华大学出版社出版

北京 清华园

北京海淀区印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本: 787×1092 1/16 印张: 11 1/4 字数: 284千字

1985年2月第1版 1985年2月第1次印刷

印数: 00001~5000

统一书号: 15235·152 定价: 2.20元

前 言

生物力学是一门新兴学科。近年来发展迅速。许多国家已将生物力学列为大学必修的基础课程，并设立了生物力学博士及硕士学位。

生物力学可以分为医学生物力学及运动生物力学两大类。前者有力地推动假肢与康复等学科的发展，后者对于体育和竞技运动在理论上具有重要的指导意义。尤其自六十年代以来，由于高速摄影及计算机技术与传统的分析方法相结合，对运动员的各种动作已可进行定量分析，并与最优化动作进行比较。由测力台与肌电描绘仪等测得之动力学数据可与用光电管速度计、加速度计及用图片分析仪分析高速影片中所测得的运动学数据结合进行分析。这些都为运动生物力学的科学研究开辟了新天地。可以预期运动生物力学在不久的将来将取得更大的进展。

目前，各主要工业发达国家，在训练各自的奥运会代表队时，已将运动员，教练员及科技人员三位一体地结合在一起，从而取得了更好的运动成绩，这个经验值得注意和借鉴。这里所指的科技人员至少包括医学、生物力学、生物化学、电子学、计算机、心理学等方面的专家和研究工作者。

近几年生物力学在我国已引起许多单位的重视，因此我们摘译了国际生物力学学会论文集的部分运动生物力学论文。希望能对有关科研人员、教练员及广大的运动员了解国际情况有所帮助。此次译出的论文重点是研究方法和测试技术，因此将直接论述研究方法的文章放在卷首。此外在第二篇文章中，作者全面介绍了运动生物力学在加拿大的发展过程及其在高等教育中的反映，其中有很多经验是值得我们学习的。多数论文是关于田径运动的，对于许多问题的结论是作者个人见解、观点各有不同是正常现象。例如对于前滚翻跳远技术，此次译文中就有两篇，译者的目的是推荐其研究方法，这些方法不仅可用于常规姿式跳远，也可用于其它运动项目。

国际生物力学学会的学术会议每两年举行一次，迄今已开八届。每次会后出版论文集（A）、（B）两卷，（A）卷内容为医学生物力学，（B）卷则为运动生物力学。此次译文摘译自第五届（1975，芬兰），第六届（1977，丹麦），第七届（1979，波兰）的V—B，VI—B及VII—B三卷论文集。我们将继续翻译其他各届会议的论文。

本文集的出版得到北京体育科学学会（筹）及北京市体育科学研究所的大力支持。翻译过程得到北京师范体育学院秦正光同志及北京体育学院李良标同志大力协助，校阅了部分译稿，提出了宝贵意见，仅在此表示感谢。清华大学力学教研组孙汝劼，钱振东，杨学忠和陈季筠等同志也参加了一些翻译工作。限于水平，错误在所难免，请读者批评指正。

译者

1983.8.1

442.33/06

目 录

一、基本概念与研究方法

- 1.1 运动生物力学方法学的进展..... M.Miyashita (1)
- 1.2 生物力学订入加拿大大学体育运动教学大纲的重要原因
..... R.M.Kardas,G.B.Thompson (6)
- 1.3 成功动作最优化的生物力学特点.....H.Hatze (9)
- 1.4 完成基本人体动作时, 极限因素的鉴定
..... J.G.Hay,B.D.Wilson, J.Dapena (13)
- 1.5 肢体合成速度作规律性变化时, 人体下肢的动力学关系
..... R.F.Zernicke, E.M.Roberts (17)
- 1.6 伸展腿所产生的力..... N.Yamashita, M.Kumamoto (21)
- 1.7 运动员身体质量的分布.....Y.N.Tichonov (24)
- 1.8 关于新式测力台的研究..... T.Matake (28)
- 1.9 在经受冲击时, 运动员的支撑—运动系统发生变化的生物力学特征
..... A.A.Vain (33)

二、跑

- 2.1 短跑起跑的运动学和动力学特征.....W.Baumann (36)
- 2.2 测定步幅和步频对短跑成绩影响的实例..... R.Ballreich (40)
- 2.3 百米短跑前进速度变化的分析
.....Y.Murase, T.Hoshikawa, N.Yasuda, Y.Ikegami, H.Matsui (43)
- 2.4 有经验的运动员10—14岁男孩短跑的运动学分析
.....T.Ruchlewicz,W.Tworzydło, A.Jurczak, Z.Włochynski (48)
- 2.5 同卵孪生子短跑的生物力学分析
.....Y.Murase, T.Hoshikawa, Y.Amano, Y.Ikegami, H.Matsui (52)
- 2.6 不同发育阶段的人和杰出短跑运动员作交替动作的速度的规律
..... P.F.Radford,A.R.M.Upton (56)
- 2.7 女子短跑的生物力学参数
.....V.K.Balsevich, A.F.Artjushenko, V.N.Lusgin (60)
- 2.8 中距离跨栏和障碍赛跨栏技术的生物力学分析
..... D.A.Kanfmann, G.Piotrowski (63)
- 2.9 长距离跑的时间和动力因素..... B.Roy (67)
- 2.10 年轻长跑运动员平地跑所作的机械功及其机械效率
.....M.Kaneko, A.Itô, T.Fuchimoto, J.Toyooka (71)
- 2.11 世界级女子马拉松运动员之比赛效率..... R.J.Gregor,D.Kirkendall (76)
- 2.12 跑的输出机械功率
.....T.Fukunaga, A.Matsuo, K.Yuasa, H.Fujimatsu, K.Asahina (80)

- 2.13 影响跑速的力学因素..... P.Luhtanen, P.V.Komi... (84)
- 2.14 缺氧训练时的最大功率和机械效率

.....I.Wojcieszak, M.Puchow, R.Zdanowicz,
G. Mickiewicz, J. Bucka, E. Michael, E.Burke (88)

三、跳

- 3.1 两种跳高姿势的生物力学特性..... J.Dessureault, M.A.Lafortune (92)
- 3.2 跳高起跳的动力特性及某些训练..... A.Pedotti, R. Rodano (96)
- 3.3 跳远起跳的动力学与运动学..... C.Bosco, P.Luhtanen, P.V.Komi (101)
- 3.4 有关女子纵跳的运动学和动力学..... D.I.Miller, D.J.East (105)
- 3.5 纵跳时水平冲量的变化..... P.Tveit (109)
- 3.6 纵跳的多参数研究..... M.Desipre's (113)
- 3.7 前空翻跳远的分析..... M.R.kamey (118)
- 3.8 研究复杂运动技巧的计算机技术: 在普通跳远和前空翻跳远中的应用
.....R.Mann, M.Adrian, H.Sorensen (121)
- 3.9 跳项比赛中肌肉结构和收缩力测试之间的关系
..... J.Tihanyi, P.Apor, G.FeRete (125)

四、投掷

- 4.1 特设条件下铁饼投掷动作的节奏和速度特征及其变化
..... I.P.Ratov, E.S.Boiko, O.V.Byvshev, G.I.Popov (128)
- 4.2 标枪投掷之生物力学分析
..... Y.Ikegami, M.Miura, H.Matsui, I.Hashimoto (130)
- 4.3 铅球投掷的动力学和运动学因素..... J.Dessureault (133)
- 4.4 用非习惯手投球时身体各环节对球速的作用
..... T.Hoshikawa, S.Toyoshima (138)

五、其它运动

- 5.1 行走的生物力学分析..... A.Matsuo, T.Fukunaga, H.Fujimatsu (143)
- 5.2 步态的计算机自动分析
..... A.Morecki, J.Olszewski,
K. Jaworek, R. B. McGhee, S.H.Koozckanani, C. N. Burnett. (147)
- 5.3 使用同步多项记录系统进行步态分析
..... R.Suzuki, T.Norimatsu, G.Chiba (151)
- 5.4 排球扣球的生物力学分析..... J.Samson, B.Roy (154)
- 5.5 排球扣球动作的肌电图及电影摄影术研究
..... H.Oka, T.Okamoto, M.kumamoto (157)
- 5.6 踢球的能量效率
..... T.Asmi, H.Tögari,
T. kikuchi, N.Adachi, K. Yamamoto, K. Kitagawa, Y.Sano (161)
- 5.7 骑自行车时下肢的运动学模拟 K.S.Nordeen, P.R.Cavanagh (164)
- 5.8 体操中后手翻与后空翻起跳力的比较..... A.H.Payne, P.Barker (169)

一、基本概念与研究方法

1.1 运动生物力学方法学的进展

M. Miyashita

日本 东京 东京大学

Plagenhoef (1971) 指出: 将解剖学数据、力学原理、数据采集设备和计算机结合起来, 能够获得比以往任何时候更具体、更精确的有关人体动作的数据。此外, 学习和改进动作的研究, 应将神经功能与肌肉功能的数据加入上述四个因素之中。

五个因素中, 解剖学数据如人体各部分的长度、重量及形状等; 力学概念如速度、加速度、力及功等已为人们所熟知。另一方面, 许多生理学家正在不断努力研究神经与肌肉的功能, 包括从组织化学和生物化学角度研究中枢神经系统按不同量级控制各肌肉收缩性能的机理。加之, 数据采集设备和计算机的近代发展, 已使人们能够更精确地记录和分析人体运动。

本文拟从方法学的观点研究各种体育运动。为此将体育运动的生物力学简要组成表示如图1。动作是大多数运动的基本要素。成绩决定于动作, 而动作只能通过力产生。作用在人体上的力有两种, 一种是肌肉收缩产生的正力, 另一种是由重量、体积、形状及速度引起的负力。正力是完全受控制的, 而负力则根据各项运动的特殊目的, 只能通过神经系统部分地加以控制。

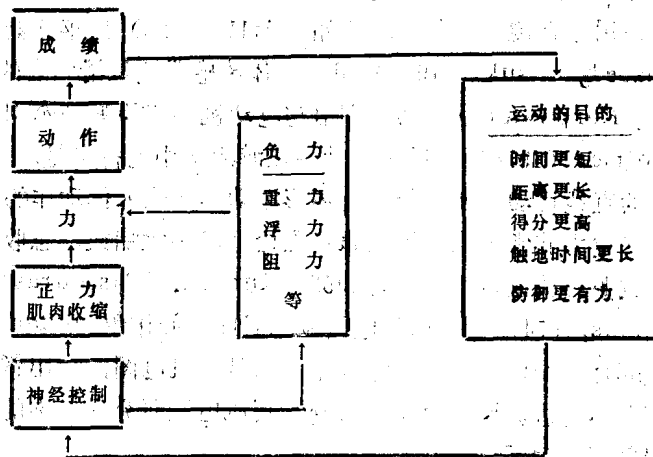


图 1.1-1 体育运动的生物力学简要组成

生物力学史初期, 多数研究人员仅研究某一分支。在实践中, 首先测量的是行进型运动的速度。Furusawa等(1928)用电磁线圈系统及Ikai(1968)用光敏镭光电管测量跑速。Karpovich用旋转圆筒式Natograph(1930)、用磁带式Natograph(1970)以及Miyashita用光电管(1971)测量游泳速度。与之类似, 用光敏场测量球速(Nelson等, 1966, Toyo-

shima与Miyashita, 1973)。

自从Muybridge (1901) 发表其名著《人体动作图形》一书后, 许多研究人员试图用移动式摄影机分析人体动作。Hellebrandt (1961) 观察了不同年龄儿童跳跃情况。Broer (1966) 指出, 在进行篮球掷球、网球抽球及击球三种不同动作时, 基本的身体动作极为相似。电影摄影方法已用以对各项体育运动姿势进行研究, 如棒球击球 (Race, 1961; Watkins, 1963)、撑杆跳高 (Fletcher, Lewis, 及 Wilkie, 1960; Steben, 1970) 和滑雪跳跃 (Komi, Nelson及 Pulli, 1974) 等。

应用电阻式测角计描绘动作姿势亦甚有效, Gollnick与Karpovich (1964) 使用电阻式测角计记录了动作时及进行某些田径运动时各关节的转动。

根据身体或其某一部分位置的变化可以间接地测定力, 即利用摄影方法不仅可研究各种动作的细节, 并可研究运动时产生的力。Fenn (1930), Caragna, Saibene与Margaria (1964) 试测跑步时一次跨步期间身体各部分速度的变化, Miyashita (1974) 曾试测游泳运动员蛙泳时腰部标志点的水平位移。他们根据速度变化估算跑步和游泳时所作的功及产生的功率。藉助于新型间歇式高速可动电影机、高感光度胶片及现代图片解析系统, 这类研究将日益普及。

许多研究工作者对力进行直接测量。为了测量和估算步行、跑与跳时脚与地面之间的作用力, 曾采用气动式、机械式和电动式记录方法 (Drillis 1958)。最近Payne (1974) 设计了一种测力平台, 能够测量所有六个分量 (沿垂直和两个水平方向的力, 及围绕此三个轴的力矩)。Cureton (1930) 利用弹簧秤测量用脚踢的推进力。Mosterd与Jongbloed (1964) 用弹簧, Magel (1970) 用电测力传感器在系绳游泳情况下测量四种比赛姿势的推进力。Witlmann (1974) 在滑雪橇和标准固定装置之间安放一个应变片式力传感器, 以测定高山滑雪时所产生的合力。也有人采用加速度计测量滑雪时力对身体的影响。(Neukomm与Nigg 1974)。由于这些力传感器的最新发展使力的测定更为精确和方便。

各种类型的测力计被用于直接测量负力。例如, Hill (1928) 用平衡器测量作用于跑步者的空气阻力, Watanabe与Ohtsuki (1975) 用半导体传感器测量滑雪者的空气阻力, 以上两试验均在风洞内进行。Karpovich (1933) 利用与电动机相连的弹簧牵引游泳者, 测量水阻力与速度的关系。Holmer (1974) 则用应变计法在游泳槽中进行测量。

由于关节能将肌肉的直线运动转变成肢体的环形运动, 影响人体动作的正力瞬息改变。这种构造功能使运动时测定力非常困难。但据报告无论是静态收缩或动态收缩, 肌肉电位变化与力之间均存在直线或曲线关系 (Lippold, 1952; Kuroda, Klissouras与Milsum 1970; Bigland-Ritchie与Woods, 1974)。即可用肌电图显示肌肉瞬间作用力 (Rau与Vredenburg, 1973)。Ikai, Ishii与Miyashita (1964) 记录了游泳时的肌电图, 指出臂部和躯干的伸肌比屈肌更有力地收缩使身体前进。Kitzman (1964) 用肌电图研究了肌肉的动作电位与棒球的击球棒挥动不同位置之间的关系。

为了将以上研究成果更有效地应用于体育运动, 必须从其它方面研究人体动作。为此, 必须综合利用多种方法。例如, Murray等 (1967) 将高速摄影与传感器联用, 测定跳跃时动作与力的关系。Clarys等 (1974) 将摄影机与肌电图结合, 研究自由泳时动作和正力的关系。此外, 由于遥测技术的发展, 不用导线即可测量肌肉的肌电活动、各关节的转动以及身体各部分的加速度。综合应用各种方法研究体育运动的趋势看来正在迅速增长。

由于数据采集设备和计算机的发展,不久必可同时从几个方面分析人体动作。换言之,因为近年来生物力学中的方法学日趋成熟,所以能比过去更定量、更系统化分析各项体育运动。

随着研究的数量增加,运动生物力学知识可望有用于改进各种运动的教学法。Hay (1973) 还说明“生物力学原理能够有效地提高熟练运动员的成绩”。然而,如何掌握熟练技术,问题很多,且甚为复杂。尽管运动生物力学应遵循的方向仍不确定(Nelson, 1973),但它必可为解决上述大量而复杂的问题作出贡献。为此目的,在生物力学领域中除力学方面外,必须注意生物方面。如前所述,力学研究所需的各种仪器系统和研究方法已发展得相当完善,而另一方面影响成绩的有机组织变量却仍未弄清,因为这些变量主要取决于神经与肌肉的功能。所以必须重视有关神经与肌肉功能的机理的研究成果,同时发展专门的方法学。上述工作最终必将使运动生物力学发展成一门跨学科的应用科学。

参 考 文 献

- Bigland-Ritchie, B. and J.J. Woods. 1974. Integrated EMG and oxygen uptake during dynamic contractions of human muscles. *J. Appl. physiol.* 36(4): 475—479.
- Broer, M.R. 1966. *Efficiency of Human Movement* (2nd Ed.). W.B. Saunders, Philadelphia.
- Cavagna, G.A., F.P. Saibene, and R. Margaria. 1964. External work in running. *J. Appl. Physiol.* 19(2): 249—256.
- Clarys, J.P.J., Jiskoot H. Rukin, and P.J. Brouwer. 1974. Total resistance, in water, and its relation to body form. In: R.C. Nelson and C.A. Morchous, (eds), *Biomechanics IV*, pp. 187—196, University Park Press, Baltimore.
- Cureton, T.K. 1930. Mechanics and kinesiology of the crawl flutter kick. *Res. Quart.* 1: 87—121.
- Drillis, R. 1958. Objective recording and biomechanics of pathological gait. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 74: 86—109.
- Fenn, W.O. 1930. Frictional and kinetic factors in the work of sprint running. *Am. J. Physiol.* 2: 583—611.
- Fletcher, J.G., H.E. Lewis, and D.R. Wilkie. 1960. Human power output: The mechanics of pole vaulting. *Ergonomics* 3: 30—34.
- Furusawa, K., A.V. Hill, and J.L. Parkinson. 1928. The dynamics of sprint running. *Roy. Soc. Proc. B* 102: 29—42.
- Collnick, P.D., and P.V. Karpovich. 1964. Electrogoniometric study of locomotion and of some athletic movements. *Res. Quart.* 35: 357—369.
- Hay, J.G. 1973. *The Biomechanics of Sports Techniques*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- Hellebrandt, F.A. 1961. Physiological analysis of basic motor skills. *Am. J. Phys. Med.* 40: 14—25.
- Hill, A.V. 1928. The air-resistance to a runner. *Proc. Roy. Soc. B.* 102: 300—385.

- Holmer, I. 1974. Physiology of Swimming Man. *Acta Physiol. Scand. Suppl.* 407.
- Ikai, M., K. Ishii, and M. Miyashita. 1964. An electromyographic study of swimming. *Res. J. Phys. Ed.* 7:47—54.
- Ikai, M. 1968. Biomechanics of spring running with respect to the speed curve. In: J. Wartenweiler and E. Joki (eds.), *Biomechanics II*, pp. 232—290. S. Karger, Basel.
- Karpovich, P. V. 1930. Swimming speed analyzed. *Sci. Amer.* 142:224—225.
- Karpovich, P. V. 1933. Water resistance in swimming. *Res. Quart.* 4:21—28.
- Karpovich, P. V., and G. P. Karpovich. 1970. Magnetic tape natography. *Res. Quart.* 41: 119—122.
- Kitzman, E. W. 1934. Electromyographic study of batting swing. *Res. Quart.* 35:166—178.
- Komi, P. V., R. C. Nelson, and M. Pulli. 1974. Biomechanics of ski jumping. *Studies in Sport, Physical Education and Health. University of Jyväskylä Report No. 5.*
- Kuroda, E., V. klissouras, and J. H. Milsum. 1970. Electrical and metabolic activities and fatigue in human isometric contraction. *J. Appl. Physiol.* 29(3): 353—367.
- Lippold, O. C. J. 1952. The relation between integrated action potentials in a human muscle and its isometric tension. *J. Physiol. (London)* 117:492—499.
- Magel, J. R. 1970. Propelling force measured during tethered swimming in the four competitive swimming styles. *Res. Quart.* 41:68—74.
- Miyashita, M. 1971. An analysis of fluctuations of swimming speed. L. Lewille and J. P. Clary's (eds.), *First International Symposium on Biomechanics in Swimming*, pp. 53—53. University Libre de Bruxelles, Brussels.
- Miyashita, M. 1974. Method of calculating mechanical power in swimming the breast stroke. *Res. Quart.* 45:128—137.
- Mosterd, W. L., and J. Jongbloed. 1964. Analysis of highly trained swimmers. *Int. Z. angew. Physiol. einschli. Arbeitsphysiol.* 20:288—293.
- Murray, M. P., A. Seireg, and R. C. Scholz. 1967. Center of gravity, center of pressure and supportive forces during human activities. *J. Appl. Physiol.* 23 (6):831—833.
- Muybridge, E. 1901. *The Human Figure in Motion*. Dover, New York, reprinted 1955.
- Nelson, R. C., G. Larson, C. Crawford, and D. Brose. 1966. Development of a ball velocity measuring device. *Res. Quart.* 37:150—155.
- Nelson, R. C. 1973. Biomechanics of sport. In: S. Cerquiglini, A. Venerando, and J. Wartenweiler (eds.), *Biomechanics III*, pp. 336—341. S. Karger, Basel.

- Neukomm, P.A., and B.Nigg. 1974. A telemetry system for the measurement, transmission, and registration of biomechanical and physiological data applied to skiing. In: R.C. Nelson and C.A. Morehouse (eds.), Biomechanics IV, pp. 231—235. University Park Press, Baltimore.
- Payne, A.H. 1974. A force platform system for biomechanics research in sport. In: R.C. Nelson and C.A. Morehouse (eds.), Biomechanics IV, PP. 502—509. University park Press, Baltimore.
- Plagenhoef, S. 1971. Patterns of Human Motion. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- Race, D.E. 1961. Cinematographic and mechanical analysis of the external movements involved in hitting a baseball effectively. Res. Quart. 34: 394—404.
- Rau, G., and J. Vredenburg. 1973. EMG-force relationship during voluntary static contractions (M. Biceps). In: S. Cerquiglini, A. Venerando, and J. Wartenweiler (eds), Biomechanics III, PP: 270—274. s. Karger Basel. Steben, R. E. 1970. A cinematographic study of selective factors in the pole vault. Res. Quart. 41: 95—104.
- Toyoshima, S., and M. Miyashita. 1973. Force-velocity relation in throwing. Res. Quart. 44: 86—95.
- Watanabe, K., and T. Ohtsuki. 1975. Postural Changes and aerodynamic forces in alpine skiing (in preparation).
- Watkins, D.L. 1963. Motion pictures as an aid in correcting baseball batting faults. Res. Quart. 34: 228—233.
- Wittmann, G. 1974. Biomechanical research on release bindings in alpine skiing. In: R.C. Nelson and C.A. Morehouse (eds), Biomechanics IV, pp. 243—249. University Park Press, Baltimore.

1.2 生物力学订入加拿大大学体育 运动教学大纲的重要原因

R. M. Kardas

勃莱顿 勃莱顿大学

G. B. Thompson

弗莱德列克顿 新勃伦斯维克大学

作为一门包含丰富知识的学科,生物力学已为体育教育工作者以外的科研人员研究了多年。Rasch和Burke (1971) 以及其他普遍认为生物力学是由称为运动医学的更广泛的领域中派生出来的。Miller和Nelson (1973) 指出,早在50年代初期,它就作为科学研究的重要领域出现在包括空间科学、功能解剖学、自动安全装置、矫形外科手术、生物医学工程、身体健康恢复、工业心理学、航空、医药、运动和体育等各学科之中。

尽管总的来说,生物力学对人的运动科学,特别是对体育运动的重要性,人们的认识在不断提高,但显然过去并未决定在加拿大体育运动方面发展这门科学。

最近,作者承担了一项重点研究,即追溯生物力学的发展,并努力为加拿大体育运动中最近出现的生物力学新动态作出详细说明。我们参照加拿大各大学1940—1979年体育、运动医学和(或)人类遗传学大纲的历史发展,考查了生物力学的详细年表。本文限于简短地描述一下最初阶段所采用之研究方法,鉴定对加拿大生物力学发展起重要影响的主要因素和关键人物,并试对加拿大大学体育教学中本学科现行教学大纲作一简单介绍。

方法步骤

为了找出使生物力学出现在加拿大体育运动的主要影响,并将其分类和作出评价,本文采用历史的方法进行研究,这样可以立即看清各种外部的和内在的影响:(a) 外部影响是指超出加拿大体育大纲以外的涉及国家和国际因素的影响。(b) 内部影响则直接涉及加拿大体育教学大纲的自然成长、正在变化中的体育概念(即学科、专业、其它争论等等)以及生物力学作为一门科学的自然成长和发展。

在对加拿大20所大学的24名担任生物力学教学和(或)科研的教授所调研之详细资料进行分析后,作者对文献资料的原本及其复制品进行了详细的研究。

重点放在1940—1979年的资料上,这一起始时间略早于第一份加拿大大学正式的体育教学大纲的制订时间。凡文献中与生物力学一词有关的参考资料出现的次数及日期,有关参考书出版的日期及数量,以及全部或部分专门刊载该学科的课本、文章、未出版的硕士论文、会议和通讯谈话等均保有记录。凡有相当数量生物力学内容的参考书重版次数间隔时间也都予以记录。

渥太华的加拿大国立图书馆按法律规定,保藏了1953年以来所有加拿大的出版物,使我们有可能彻底检查目前正开设体育、运动医学和人类动力学以及其它课程的35所大学的教学年历。生物力学课程以及所有1940—1976年加拿大学生的硕士、博士论文的篇数和来源,全部记录在案。

1976年在魁北克市召开的国际体育活动科学会议的生物力学小组的全体参加者都接触了

有关的国际性人物，这对加拿大生物力学的发展会产生重大影响。加拿大参加这次会议以及所有以前的国际生物力学会议和专题讨论会的人数，都尽可能予以记录。

然后将这份材料按年份排列分为三个时期：1940年以前，1940—1966年以及1966年至今，以此作为分析重大的国内外影响、人物、出版物、课程和研究进展的骨架。

发现

除了1963年G.M. Elliott在阿尔贝塔 (Alberta) 大学开设“力学”课外，1966年以前加拿大大学体育、运动医学或人体动力学大纲中很难找到生物力学。Nelson (1971) 曾报导，晚至1967年，在加拿大大学中尚无任何专门致力于生物力学的研究计划。但十年后，大学的教学计划中很少有不包括一门必修或选修的生物力学课程的。此外，有大量的研究生课程和大纲，许多大学拥有尖端检测仪器、设备齐全的实验室并正在进行涉及所有生物力学的主要分支的研究计划。

1979年提出教学计划的35所大学，实际上现在都提出开设大学本科的生物力学基础课。其中14所并为那些准备进一步攻读生物力学研究生专业的高年级学生开设第二门更深入的生物力学课。22所设置体育专业的大学中，16所可以取得生物力学专业的硕士学位，其中有3所大学可以取得体育博士学位，3所中的两所可以专攻生物力学博士专业。阿尔贝塔大学在加拿大首先创设了博士研究生学位，Comoxwealth在1975年及Simon Fraser在1976年分别提出了它们的博士生计划。

1976年的调查指出，生物力学专家正在加拿大13所大学对这一学科的所有重要领域进行积极的研究。

正如所料，根据各方面资料分析，重要的外部影响包括：(a) 近来专门杂志和课本中研究和创作的不断增加。(b) 60年代中期“学科-同行”的辩论以及领导者广泛发表的谈话，这些领导者如Franklin Henry, Arthur Daniels和James Counsilman等等。(c) 1967年起美国大学中研究生高级课程和生物力学研究的快速发展。它吸引了越来越多的加拿大学生，其中大多数回国在大学中建立实验室制订研究计划。(d) 国际生物力学的专家讨论会、会议、专题讨论会的推动，加上国际生物力学学会的建立(1973)。在该学会中，越来越多的加拿大学者得以与学科领导人以及国际上的学者接触。(e) 北美已意识到东、西欧国家为训练国际水平运动员日益重视强大的科学基地。(f) 适用于生物力学各研究领域的检测仪器、设备之发展和改进。(g) 此外，正如Nelson (1972) 所指出的，运动心理学自1950年以来的发展，在体育专业内部，为科学领域的专门化研究提供了一个鲜明的榜样，对生物力学的发展产生了强烈的影响。

内部影响，对加拿大体育教学计划中的生物力学以及有关课程之快速发展具有重大影响者，包括：(a) 各项政府法案和法令，如1939年的自治领一省青年训练法；1941年的国家身体健康法；以及1961年的健康和业余运动法。(b) 1951年在多伦多和渥太华召开的全国各大学体育负责人会议，制订了大纲说明书和指导原则。(c) 1966年体育运动常设委员会的推荐介绍。最为重要的可能是(d) 英国的 Geoffrey Dyson 的特殊影响。他通过在加拿大军队1962—1969年任全军田径教练，无数次横跨加拿大的演讲旅行以及他的运动力学课本，几乎一手促成大学的体育教师将力学用于体育运动的强烈兴趣。加拿大学者和其它有关生物力学工作者的来信，一致强调Dyson在加拿大生物力学史上的重要性。(e) 1967年加拿大运动科学研究所 (CASS/ACSS) 和加拿大教练协会的建立。(f) 新的大学生与研究生大纲和课程

激增, 适应潮流的崭新大纲的出现创造了一种竞争气氛。(g) 为了提高加拿大在国际比赛中的成绩, 联邦政府扩大了所承担的义务。(h) 60年代初期交错学科研究计划的发展遍及全国, 例如U.N.B.的生物工程研究所为运动医学肌电图以及其它机能解剖学领域提供科研方便和专门技术知识。

结论

作者认为对出现“学科中学科”起决定作用的有效模型已得到发展。我们所用的研究方法描述了复杂的变量, 将它们相互参照后, 突出了使生物力学订入加拿大体育教学大纲中的重大原因和关键人物。

显然, 从收集到的资料看, 生物力学订入加拿大体育、运动医学和(或)人体动力学大纲之中是对该领域国际发展状况折衷反应的结果, 并正在迅速成为体育运动方面的主要科研领域。

参考文献

- Kardas, R. M. 1979. The historical emergence of biomechanics within physical education programs in Canadian universities. M. P. E. Thesis. University of New Brunswick (Contains 695 primary and 22 secondary sources.)
- Miller, D. I., and R. C. Nelson 1973. Biomechanics of Sport. A Research Approach Lea & Febiger, Philadelphia.
- Nelson, R. C. 1971. Biomechanics of sport: Emerging discipline. paper presented at the Third International Seminar on Biomechanics Rome, Italy. September.
- Nelson, R. C. 1972. The new world of biomechanics of sport. Paper presented at the Seventy-fifth Annual Convention of the National College physical Education Association for Men New Orleans, Louisiana January.
- Rasch, P. L., and R. K. Burke. 1971. Kinesiology and Applied Anatomy 4th ed. Lea & Febiger, Philadelphia.

1.3 成功动作最优化的生物力学特点

H. Hatze

南非·比勒陀利亚 国家数理科学研究协会

发现人体动作最优化方法是生物力学研究的重要目的之一。对于特定的人和性能指标(如时间、消耗的总能量等),经常需要寻求一种运动方式能使考虑的性能指标最小(或最大)。例如,可望预言:一个人的走路动作,如何能使在某一距离内消耗的总能量最少。这个特殊问题近年来已引起人们很大注意。(参看Beckett和Chang, 1968; Morrison, 1970; 以及Zarrugh, Todd, 和Ralston, 1974) 1971年Chow和Jacobson令人瞩目的研究也是由此引起的,它可能是对人体运动状态施行最佳控制的第一次尝试。然而,Chow和Jacobson所使用的控制没有与实际生理控制、运动神经元的复原及兴奋频率的变化相联系,而且,他们所用模型的理论预言还未经实验证实。

为了研究最优化问题,作者选定另一种动作,其执行动作的时间最短。考虑图1.3.1所示情况,一位男性受试者(23岁,身高1.82米,体重87公斤),左腿单腿站立,同时用皮带将骨盆固定在钢架上;右脚,穿一只10公斤重量的特制鞋。附加的10公斤重量用于减慢过快动作。踝固定成 90° ,右腿可以在弯曲平面中自由动作。

要求受试者带重物W(系在他的靴上)去踢一个放在适当位置的靶子(图1.3.2),使动作进行的时间



图1.3.1 用于观察活体系统的实验装置

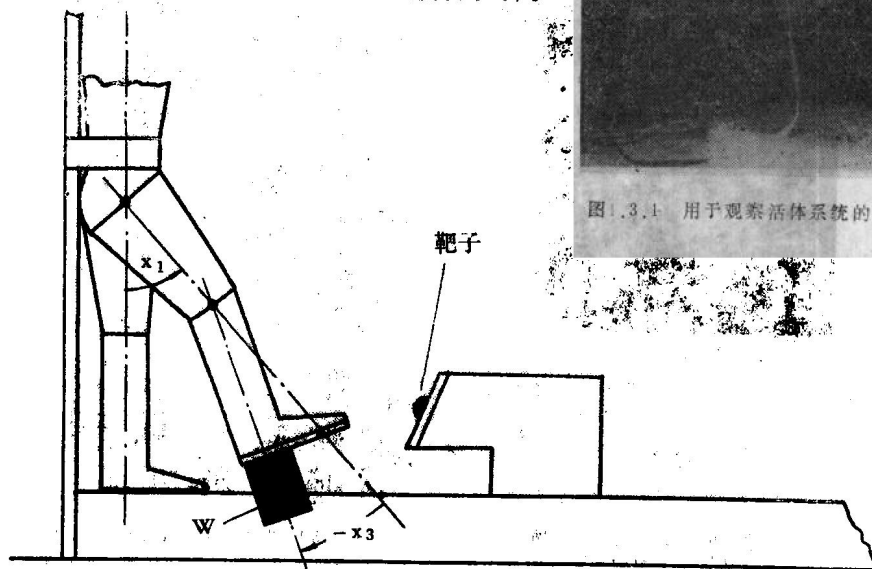


图1.3.2 靶子和研究对象右腿位置简图。髋关节夹角用 X_1 表示,膝关节夹角用 X_3 表示。字母W代表系在受试者鞋上的10公斤质量。

尽可能短。动作开始时腿自然下垂，即全部腿肌放松。靶子如此放置：使脚开始与之接触时，腿必须伸直（膝部角度为0.05弧度，角速度为零）臀部与垂直方向的夹角为0.8弧度。

本研究项目的目的是通过对所研究的肌肉骨骼连接系统的数学模型进行分析，预测时间最优化动作的所有细部，然后对活体系统进行测量，以验证预测结果。数学模型的连接机构部分基于作者过去的工作（Hatze, 1973），肌肉机构部分通过改进最近发表的骨骼肌肉控制模型而得（Hatze, 1974a）。结果表明，所研究的肌肉骨骼连接系统可用十九个一阶非线性微分方程描述，这组方程包含了五个肌肉群的控制参量。使用特殊方法确定出现在方程中的关于受试者某些特性的常数。其中一些方法是新颖的，并在本研究项目的实施过程中有了发展。例如，设计了一套新方法在现场对转动惯量、质心位置及物体各部分的阻尼系数进行同步测量。本法得到了具有高度可再现性的准确结果（Hatze, 1975）。所有使用的方法、模型的细节描述及最优化程序（该程序已在IBM360/50型数字计算机上进行实算），可在Hatze (1974b) 和Hatze (1976b) 中找到。

最优化出人意料地成功。不仅预期动作的最优性能可以通过对活体系统（即，研究对象的腿）的测量确凿证明，而且模拟还产生了其它具有深刻生物力学意义的结果。此外，在短期内训练受试者完成近似最优化动作是可能的。最后这一项有关最优化的问题正是本文重点。

方法

可观察到的受试者腿部的运动由髋关节夹角 x_1 和膝关节夹角 x_3 的时间函数 $x_1(t)$ 及 $x_3(t)$ 确定（这些夹角如图1.3.2所示）。在活体系统上，函数 $x_1(t)$ 和 $x_3(t)$ 由等距离置于相应关节间的电子测角器进行测量（参阅图1.3.1）。输出信号显示在双束存储示波器上，然后用示波器摄影机拍摄。数学优选法所预言的动作通过计算机打印绘图得到。图1.3.3表示在活体系统上所观察到的动作及预测的最优动作。

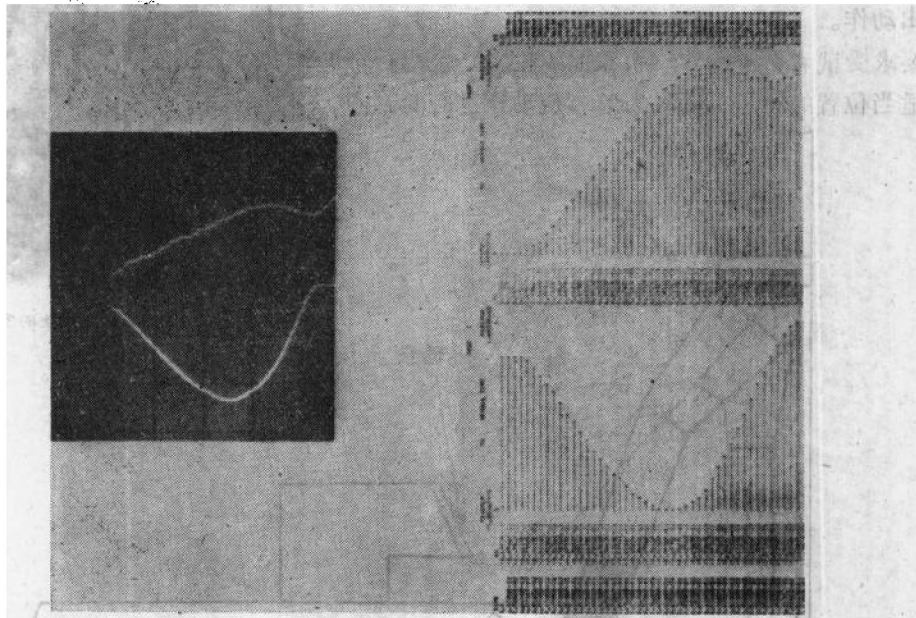


图1.3.3 左，由荧光屏摄制的照片表示髋关节夹角轨迹 x_1 （上图）和膝关节夹角轨迹 x_3 （下图）。这是在活体系统上观察到的近似最优动作曲线，水平坐标单位为0.1秒/分度，垂直坐标单位为0.5弧度/分度。右，由计算机打印绘图显示的预测最优状态函数 $x_1(t)$ （上部曲线） $x_3(t)$ （下部曲线）。

有一种新方法 (Halta, 1976a) 能简要描述任何复杂生物系统的运动, 现用此法将观察到的生物系统动作和预测的最优动作进行比较。原则上, 这组函数 $\{x_1(t); x_2(t) \mid 0 \leq t \leq \tau\}$, 可以变换成富里叶表达式, τ 是动作的完成时刻。整个系统的动作 Ω 可写成矩阵积:

$$\Omega = [C_{ij}] \left[\cos \frac{2\pi j l}{(2l+1)\tau} t \right], \quad i=1,2, j=0, \dots, l, \quad (1)$$

对这里的实际问题, 令 $l=23$ 是合适的, 对最短时间 $\tau_{opt} = 0.46$ 秒所给的采样时间间隔为 0.02 秒。

为了比较两个动作 Ω_r 和 Ω_{opt} , 定义一个标准差分函数 Δ :

$$\Delta(r) = \|\Omega_r - \Omega_{opt}\| = \frac{1}{1+l} \sum_{i=1}^n \sum_{j=0}^l \frac{|C_{r,ij} - C_{opt,ij}|}{|C_{opt,io}|} + \frac{|\tau_r - \tau_{opt}|}{\tau_{opt}}, \quad (2)$$

此处第 r 次运动的完成时间 τ_r 是由终端条件 $X_1(\tau_r) = 0.8$ 弧度, $X_2(\tau_r) = 0.06$ 弧度和 $X_3(\tau_r) = 0$ 弧度/秒决定的。显然, 当 Ω_r 趋向于 Ω_{opt} , 即两个运动变为全同时, $\Delta(r)$ 收敛于零。

结果

这里只讨论动作最优化问题中可训练性方面最有意义的成果之一。在活体系统上的实验开始时, 计算机优选系统事先已算出结果, 但不为受试者所知。在头两星期内, 受试者总共完成 120 次踢足动作 (每天踢 20 次, 每星期踢三天), 只告诉他每踢一次所费时间。经过最初自然适应过程后, 开始训练他作最佳动作, 反复为他放映显示最佳动作及最佳动作与其本人动作吻合程度的电影。观察到的人体动作与预期最佳动作的吻合程度可用 (2) 式所定义的函数 $\Delta(r)$ 来量度, 如图 1.3.4 所示。

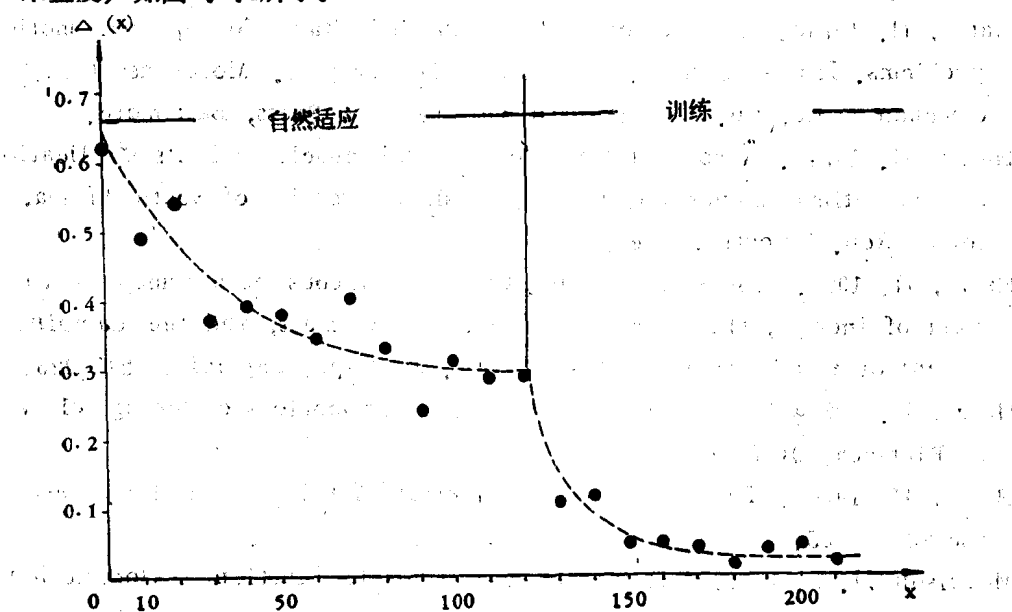


图 1.3.4 标准差函数 $\Delta(x)$ 表明观察到的第 x 次重复动作 Ω_x 与预计最佳动作 Ω_{opt} 间的吻合程度, $\Delta(x)$ 值小表明观察到的人体动作与最佳动作接近。图中只标出了每隔 10 次所对应的值。