

运动人体科学

足底压力测量技术在生物力学研究中的应用与进展

李建设,王立平

(宁波大学体育学院,浙江 宁波 315211)

摘要:足底压力测量是步态分析、临床足疾诊疗和运动鞋设计等领域最重要的应用技术,也是生物力学研究的得力工具。综述了该技术在“足(鞋)-地界面”和“足-鞋界面”最新的应用研究进展,提出了足底压力测量技术在临床生物力学、人类功效学和运动生物力学等领域可能的应用和可望的前景。

关键词:生物力学;足底压力测量;压力分布;步态分析

中图分类号:G804.61 **文献标识码:**B **文章编号:**1007-3612(2005)02-0191-03

Application and Advances of Sole Pressure Measurement in Biomechanical Research

LI Jian she, WANG Li ping

(College of Physical Education, Ningbo University, Ningbo 315211, Zhejiang China)

Abstract: Sole pressure measurement (SPM) is one of the most important application technique in gait analysis, Clinical foot-pain treatment and footwear design et al fields and has become a powerful tool for biomechanical research. This paper is a symposium of the latest applied research advances on 'foot or shoe to ground' and 'sole to shoe' bounds for SPM Technique. The probable application and expectant prospect of SPM in clinical biomechanics, Ergonomics and sports biomechanics et al fields are also presented.

Key words: sole pressure measurement; pressure distribution; biomechanics; gait analysis

足底压力测量作为当今步态研究、足疾诊断和运动鞋设计等领域的支撑技术,其发展历程足印技术(Pedography)、足底压力扫描技术(sole barograph)、力板(Force Plate)与测力台技术(Force Platform)、压力鞋与鞋垫技术(In-shoe plantar)^[1]。足印技术依据人足在石膏、橡胶等易变形物质上留下的足印或痕迹,对足底的压力及分布做出定性判断。足底压力扫描技术则是在一块玻璃的两端安置光源,玻璃上放置橡胶弹性垫,当足踩上弹性垫后,由于光在玻璃内全反射,受压的弹性垫即可在玻璃下产生一清晰的足印象,由于影像的光强度与压力成正比,据此定性分析足底压力及分布。力板与测力台、压力鞋和鞋垫则是在换能器、传感器基础上发展起来的足底压力测量系统。力板与测力台可以准确测量足或鞋底压力及分布,但无法评定“足-鞋界面”的受力情况^[2]。由于力板与测力台的面积较小,通常只能测量人体站立或一个单步的压力参数。压力鞋与鞋垫则是将传感器安置在鞋或鞋垫中,由于鞋或鞋垫与足底贴服,可以测量“足-鞋界面”压力的连续参数,并进行实时监测和反馈。目前,在生物力学研究中运用最广泛的是比利时 F-Scan 测力鞋垫和德国 Novel Emed 测力板和 Pedar 测力鞋垫,在步态分析、足疾诊疗、运动鞋设计等领域的应用具有先进性。

1 “步态分析”研究中的应用及进展

近 20 年来,随着新型传感技术和计算机技术的进步,足底压力测量在生物力学步态研究中日显其重要地位。足底压

力测量技术,尤其是压力分布测量技术自 1882 年英国人 Beely 率先研究以来^[3],真正对步态进行系统的动力学研究和临床研究则始于 20 世纪 50 年代,现已成为生物力学代表性的研究方向,1997 年第 16 届国际生物力学大会,有关步态研究的论文已占论文总数的 3/4^[4]。近年来,在步态与姿态^[5](Gait & Posture)、人类工程学^[6](Ergonomics)、临床生物力学^[7](Clinical Biomechanics)、生物力学杂志^[8](Journal of Biomechanics)等国际学术刊物发表了大量步态研究的论文,这些论文大多涉及足底压力及分布的测量分析。

我国从 20 世纪 80 年代开始了对步态的动力学研究,较有代表性的研究成果有:戴克戎等对人体行走的步态观察^[9]、步态分析和临床研究^[10];庞伯友等对正常人平地行走时足底三维力的测量与分析^[11];洪友廉等对少年儿童背负书包状态下行走的步态分析^[12];赵芳等对中老年人步态指标与衰老关系的研究^[13];伍颢等对健康老年人常速行走的步态分析^[14]等。然而,上述步态分析的动力学测量还基本处在足印、力板和测力台技术水平,足底压力分布测量的应用研究不足,对步态的力学特征分析还远不充分。

2 “临床足疾”研究中的应用及进展

正常人的足底压力分布有一定的规律,足部畸形或功能障碍将破坏足底压力的正常分布^[15]。Minns R. J 等对类风湿性关节炎跖痛病人与正常人的足底压力测量分析后指出^[16],在静态站立时,足的最大压力分布无明显差别,但在行走时,正

投稿日期:2004-05-17

基金项目:宁波大学人才基金项目(2001)。

作者简介:李建设(1957-),男,山东邹城人,教授,研究方向生物力学研究方法与测量技术。

常足在趾离地前的最大压力多集中在前足中部,而病足在趾离地前的最大压力多集中在前足外侧。Lord M 等的研究表明^[17],糖尿病合并神经损伤时,前支撑足的压力峰值增大,当足溃疡时,前支撑足压力分布异常增大。R.J. Abboud 等对 29 名糖尿病患者和 22 名健康人的足底压力对比研究后发现^[18],糖尿病人步行时足底着地加压时间显著大于正常人($P < 0.003$),步态周期延长。Stoke LAF 在对跗外翻者的足底压力研究中指出^[19],患者足内侧四趾的最大压力峰值显著减小,跗趾外翻角度与足底压力偏差相关。洪水淙对病理性足外翻及其手术治疗的生物力学研究表明^[20],正常人前足跖骨头区,以第一跖骨头区负重最大,外侧四个跖骨头区负重依次减小,而跗外翻病人的第二跖骨区成为前足的主要负重区,第一跖骨区成为次要负重区。王志彬等对足弓垫减轻足跟损伤后疼痛的机理进行了研究^[21],发现足弓垫可以改变足底压力分布,使足底压力的 57.1% 集中在足弓垫下,有利于增加足弓的支撑力,缓解跖腱膜的牵引力,减轻足跟的负重,从而减轻足跟疼痛。

足底压力测量不仅可以对足疾进行诊断分析,而且可以比较准确地判定足部手术效果。刘金祥等应用自行研制的足底压力分布视频图像测试系统,对先天性马蹄内翻足平衡矫正畸形的手术疗效作了临床及足底压力的综合评价^[22],临床疗效优良者的足底静态压力分布正常,而动态足底压力表明,病足第一跖骨头和跟趾部的压力峰值减小,全足着地时间延长,足跟离地时间缩短,跗趾部位的压力-时间积分减小,表明应用此手术矫正先天性马蹄内翻足,不仅足的形态及功能可获得满意的效果,而且足的生物力学指标基本接近正常。

足底压力测量技术对足部疾病的诊断和治疗已比较成熟,一些常见的足部畸形,如马蹄足、高弓足、扁平足等,其足底压力分布均有其规律性的特征^[22]。足底压力测量技术的应用,促进了临床生物力学的发展,在临床生物力学领域,步态分析是诊断病因及评价康复的重要手段,并能有效地鉴定假肢的安装质量和帮助肢残人步行。足底压力测量对假肢设计和假肢鉴定也有积极的作用,通过对足结构和足底压力、步态特征的研究,设计出最适合病人步行的假肢,并可对着假肢行走者的步态压力进行研究,以检测、修正和完善假肢的功能。Axel H 等对置假肢者的步态研究后指出^[23],从足底压力研究中获得的信息与数据,对掌握假肢在解剖学和生物力学意义上的足底负荷特征带来帮助,有利于假肢设计的科学性。

3 “运动与鞋”研究中的应用及进展

Grundy M 等的研究发现^[24],在裸足状态下正常行走时,人体足前掌负重与足后跟负重没有明显差别,但足前掌负重时间明显长于足后跟负重时间,他们还发现,随着鞋底硬度的增加,足前掌的承重功能明显减弱。Sato H 等通过对高跟鞋、运动鞋、平跟鞋的对比研究发现^[25],增加鞋后跟的高度,将导致步幅减小等一系列力学指标的变化。Joanne R. E. 等通过对 30 位 18~30 岁穿不同高跟鞋的女性正常行走步态的足底压力研究后指出^[26],女性穿高跟鞋行走时,支撑期足前掌的负重时间延长,但这种变化似乎与鞋跟高度没有直接的联系。当鞋后跟高度超过 3.12 cm 时,足后跟的负重时间开始缩短,与裸足状态下第五跖骨端峰值压强相比,随着鞋跟的增粗增大,第五跖骨端的压强明显降低。跟骨中部的压强峰值在裸足状态下最早出现,并随后跟的增高而延迟出现。Joanne R. E.

等的研究结论是,鞋跟高度和粗细对足底压力分布具有重要影响,因此,鞋跟设计是鞋设计中不容忽视的重要因素。

Gastwirth B. W 通过对运动鞋与高跟鞋,deLateur B. J 通过平跟鞋与高跟鞋^[27],Schwartz R. P 通过裸足与高跟鞋的对比研究后,均发现并指出,鞋后跟高度是导致足底压力及其分布产生变化的主要原因,而这恰恰容易被鞋设计时所忽略。Chang-Min Lee 等的研究也得出了类似的结论。足底压力测量在“足-鞋”领域的研究,对揭示足病的成因和机制,指导人们健康穿鞋,鞋的健康设计和制鞋工业带来了技术支持。世界著名的运动鞋品牌,如 Nike,Adidas 等都有专门的生物力学研究机构,在设计、开发专项运动鞋和个性化运动鞋时进行运动学、动力学和形态学的测试。Nike 公司运动研究实验室创始人 Frederick 博士领导的足履生物力学研究曾获奥林匹克奖。国际运动医学会主席 Kai-Ming Chan 教授在 2004 香港“藉科学技术之力,促鞋新产品开发”工作坊“鞋设计与运动医学”作了专题报告,指出目前市场上的健身鞋(垫)的设计和开发几乎都离不开足底压力测量。

吴剑等对青少年女性着高跟鞋、松糕鞋步态进行了足底压力三点分布测量和影象测量^[28],揭示了高跟鞋步态的主要特征为:步幅小、步速慢、周期长、重心起伏大、单支撑时相缩短,足底第一跖趾关节最大受力显著增大。王立平等对青年女性裸足、平跟鞋、中跟鞋和高跟鞋步态进行了全足底压力分布、表面肌电和影象测量^[29]。研究发现:穿高跟鞋行走时足前掌受力明显增加,足跟受力减小;足底受力面积随鞋跟的增高而减小,鞋跟高度对足前区和足中区受力面积影响较大;足前掌内侧跖骨区和大拇趾区的受力随鞋跟增高而增大,而外侧跖骨区明显减小,足底压力中心前移,位移距离明显缩短;步频明显降低,支撑时间增加,步态周期和双肢负重时间随鞋跟增高而增加。陆毅琛等对穿运动鞋时足底压力的分布测量,揭示了现代运动鞋缓冲振动的基本力学特征。

4 足底压力测量技术的应用展望

足底压力测量作为当今步态研究中最先进的技术,可在诸多领域得到广泛应用,并可望取得卓越效果。

临床生物力学领域:为特殊人群(如孕妇、老年、小儿麻痹症患者等)和临床足疾患者的足底压力测量和步态特征分析提供技术支持;为足疾的功能康复、疗效评定和手术鉴定提供客观评价;足底压力测量在临床生物力学上的深入研究,可望在帕金森综合症、偏瘫症、糖尿病等患者的步态研究中取得更大进步。

人类功效学领域:通过“足-鞋界面”的足底压力及分布和“鞋-地界面”的鞋底压力及分布特征的研究,揭示鞋底硬度、鞋跟高度、鞋体结构等因素对足健康的影响,指导人们健康穿鞋。并为足疾和假肢患者的“个性化”康复鞋(垫)或“健体鞋”的设计和制造提供符合人类功效学原理的依据和标准。

运动生物力学领域:足底压力及分布测量将开辟运动生物力学新的研究领域,为各类平衡动作、支撑动作、起跳和落地动作的动力学测量与评价,提供新方法和新技术。结合足扫描技术,可望为不同项目的运动鞋设计和优秀运动员的“个性化”运动鞋设计提供可靠依据。

参考文献:

[1] Lord M. Foot Pressurement A review of methodology. J Biomed. Eng.

- 1981,3:91.
- [2] Cavanagh PR, Hewitt JRJE, et al. In - shoe plantar pressure measurement (a review). *Foot*, 1985,2:185 - 194.
- [3] Murray MP. Gait as a total pattern of movement. *Am, J Phys Med*, 1967, 46:290.
- [4] 郑秀媛,等. 现代运动生物力学[M]. 北京:国防工业出版社, 2002. 10.
- [5] Bontrager, Ernest. L. Boyb, Lara. A., Heino, Jacklyn. G., Mulroy, Sara. J., Perry Jacquelin. (1997). Determination of Novel Pedar Masks using Harris Mat Imprints. *Gait & Posture*, 5(2), 167 - 168.
- [6] Martin, P. E., & Nelson, R. c. The effect of carried load on the walking patterns of men and women. *Ergonomics*, 1986, 29(10), 1191 - 1202.
- [7] Sue Barnett, James L. Cunningham, Steven West. A Comparison of vertical force and temporal parameters produced by an in - shoe pressure measuring system and a force platform. *Clinical Biomechanics*. 2001, 16. 353 - 357.
- [8] Eric Eils, Stefan Nolte, Markus Tewes, et al. Modified pressure distribution patterns in walking following reduction plantar sensation. *Journal of Biomechanics*. 2002, 35. 1307 - 1313.
- [9] 戴克戎. 平地行走时的步态观察[J]. 中国医学工程学报, 1982(1): 15.
- [10] 戴克戎. 步态分析及其应用[J]. 中国骨科杂志, 1991, 11: 207.
- [11] 庞伯友, 吴其常. 中国正常成人平地行走时足底持重点三维力测定[J]. 生物医学工程学报, 1990, 7(4): 289.
- [12] Hong, Y., Li J. X., Wong, A. S. K. & Robinson, P. D.. Weight of schoolbags and the metabolic strain created in children. *Journal of Human Movement Studies*, 1998, 35. 187 - 200.
- [13] 赵芳. 中老年人步态指标与衰老关系的研究[J]. 体育科学, 1998(6): 28.
- [14] 伍颢. 健康老年人常速行走的步态分析[J]. 上海体育学院学报, 2000(5): 52 - 55.
- [15] 张伟. 足底压力分析在足部疾病中的应用[J]. 中国矫形外科杂志, 1998, (3): 257 - 258.
- [16] Minns R.J., Craxford AD. Pressure Under the Forefoot in Rheumatoid Arthritis. *Clinical orthopedics and Related Research*, 1984, 187:235.
- [17] Lord M, Reynolds DP, Hughes JR. Foot pressure measurement: A review of clinical findings. *J. Biomed. Eng.*, 1986, 8:283.
- [18] R.J. Abboud, D. I. Rowly, R. W. Newton, Low limb muscle dysfunction may contribute to foot ulceration in diabetic patients. *Clinical Biomechanics*. 2000. 15:37 - 45.
- [19] Stoke LAF, Hullon WE, Evans MF. Effects of hallux valgus and Keller's operation on the load - bearing function of the foot during walking. *Acta Orthopaedica Belgica*, 1975, 41:695.
- [20] 洪水淙. 外翻病理足及其手术方案的生物力学探讨[J]. 中国生物力学医学工程学报, 1988, 7(2): 86.
- [21] 王志彬, 王小同, 师宜键, 等. 足弓垫的生力学效应[J]. 中国运动学杂志, 1988, 5(2): 71.
- [22] 刘金祥, 王军, 黄耀添. 先天性马蹄内翻足术后远期足底压力分析[J]. 中华小儿外科杂志, 1996, 17(2): 112.
- [23] Axel Hillmann, Dieter Rosenbaum, Winfried Winkelmann, Plantar and dorsal foot loading measurements in patients after rotationplasty. *Clinical Biomechanics* 2000, 15:359 - 364.
- [24] Grundy M, Blackburn T P A, McLeish R D.. An investigation of the centers of pressure under the foot while walking. *J Bone Joint Surg*, 1975, 57. 98 - 103.
- [25] Sato H, Sako H, Mukae H, Sata A, Takahashi T. Gait patterns of young Japanese women. *J Hum Ergol* 1991, 20. 85 - 88.
- [26] Joanne R. Eisenhardt et al, Changes in temporal gait characteristics and pressure distribution for bare feet versus various heel heights [J] *Gait & Posture* 1996(4): 280 - 286.
- [27] deLateur BJ, Gacon R M, Questad K, Kó M, Lehmann J F. Footwear and posture: compensatory strategies for heel height. *Am J Phys Med Rehabil* 1991, 70. 246 - 254.
- [28] 吴剑, 李建设. 青少年女性穿不同鞋行走时步态的动力学分析[J]. 北京体育大学学报, 2004, 27(4): 486 - 488.
- [29] 王立平, 李建设. 足底压力测量技术的发展现状与应用研究[J]. 浙江体育科学, 2004, 26(1): 40 - 43.

(上接第 185 页)

俗话说:“喝口陈沟水,也会翘翘腿”,这无疑是开发陈家沟饮食业的天然广告词。焦作地区的四大怀药也是发展太极食品与保健品的优良资源;陈氏太极拳祖传的疗伤、增功的药物,更是开发太极产品的宝贵历史遗产。这些时机和优势为打造太极拳的品牌产品,奠定了良好的坚实基础。品牌产品的产生,首先可以带来可观的经济效益,扩大太极产业的市场空间;其次还可以带动其他太极产业的发展,进一步推动太极产业规模化、产业化、工业化的发展。

3.9 塑造一代太极功夫明星,发挥明星效应,推动太极文化和产业发展 明星的号召力、凝聚力和宣传力能给太极文化的推广和产业发展产生巨大的推动作用,一代太极功夫巨星的成功塑造,会给太极文化的推广和产业的发展创造出巨大的无形资产,让其成为太极文化和产业的形象代言人,用明星的效用来推动太极文化和产业的发展。

明星级的形象代言人,不仅能发展太极文化和产业,而且还能吸引众多的投资人和合作伙伴,拓宽筹资融资渠道,营造多层次、立体化的市场,进一步扩大太极产业的规模和效应。

4 结 论

太极文化的推广及其产业化发展要抓住机遇,更新观念,认清太极文化的推广和产业发展的内外在规律,处理好它

与经济、地域、人群、社会环境、文化氛围等诸多因素的关系,切实做好知识产权的保护工作。由普及、提高入手,首先进行高水平太极拳人才的培养,深化太极拳文化理论的研究,组建国际性太极拳组织,使太极拳沿着正确的国际化道路发展。在太极拳推广和普及的基础上,发展太极拳产业,以联盟制集团化经营为主要模式,尝试走职业化的道路,大力发展旅游业和体育用品产业,塑造自己的品牌产业和发挥明星效益,从而使太极拳产业沿着规范化、规模化、产业化的方向发展。

参考文献:

- [1] 鲍明晓. 体育产业——新的经济增长点[M]. 北京:人民体育出版社, 2000.
- [2] 河南省体育局武术管理中心. 河南省太极拳发展规划[R]. 2002.
- [3] 何玫. 保卫太极拳[J]. 中华武术, 2001(6).
- [4] 陈正雷. 二十一世纪太极拳发展会议[Z]. 陈正雷太极网.
- [5] 侯明廷. 武术馆校遍地开花 千亿市场鱼龙混杂[N]. 济南:齐鲁晚报, 2001, 10, 26.
- [6] 李素莉. 温县走上“太极产业路”[N]. 大河报, 2002 - 9 - 13.
- [7] 李敦厚. 我国体育产业现状与前景[R]. 北京:国家体育总局, 2003.
- [8] 温县人民政府. 中国温县国际太极拳年会资料汇编[R]. 温县, 1992.
- [9] 康戈武. 文化瑰宝、健身益友——太极发展概略[N]. 人民日报, 2001, 2, 10, 14, 16.