

步态运动学及动力学的研究方法☆

宋雅伟, 孙文, 寇恒静

Research methods of gait kinematics and kinetics

Song Ya-wei, Sun Wen, Kou Heng-jing

Abstract

BACKGROUND: Kinematics studies the movement of the objects using a method of geometry, with strength and quality not taken into consideration; Kinetics major studies the force of people acting on objects and its relationship with the movement of objects.

OBJECTIVE: Through an introduction to kinematics and kinetics research equipment, this study was aimed to lead to the current status of kinematics and kinetics, to provide for experimental basis for the research of new equipment and gait experiments.

METHODS: Taking "gait, kinetics, kinematics" in English for the search terms, Pubmed database (1999-01/2009-06) was retrieved. Taking "gait, kinematics, kinetics" in Chinese for the search terms, CNKI database (1999-01/2009-06) was searched. Literatures were limited to English and Chinese languages. The kinematics and kinetics research equipment regarding the gait were included, while other kinematics and kinetics experiments were excluded, also outdated and repetitive researches were excluded.

RESULTS AND CONCLUSION: Totally 2 367 literature were obtained from the computer screen, and 33 documents of them were involved for analysis according to the inclusion and exclusion criteria. In case of gait analysis method, at home and abroad scholars have carried out extensive studies although the content are quite different, they used identical instruments and methods in the testing of gait, in spite of photography or video recording were applied to calculate and measure kinematic parameters, the force platform was all used to record kinetic parameters. Also there are a small number of studies using the distribution of plantar pressure to measure more precise foot-ground pressure distribution, and then proceed to a comprehensive statistical analysis. Kinetics and kinematics gait analysis is applied not only in rehabilitation medicine, but also widely in athletics sports and the related footwear manufactures, the commonly used method is the plane fixed-point photograph and force platform analysis.

Department of Human Sports Science, Nanjing Institute of Physical Education, Nanjing 210014, Jiangsu Province, China

Song Ya-wei☆, Doctor, Associate professor, Department of Human Sports Science, Nanjing Institute of Physical Education, Nanjing 210014, Jiangsu Province, China syw0008@163.com

Received: 2009-07-23
Accepted: 2009-09-31

Song YW, Sun W, Kou HJ. Research methods of gait kinematics and kinetics. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu yu Linchuang Kangfu. 2010;14(2): 321-324. [http://www.crter.cn http://en.zglckf.com]

摘要

背景: 运动学运用几何学的方法来研究物体的运动, 通常不考虑力和质量等因素的影响; 动力学主要研究人作用于物体的力与物体运动的关系。

目的: 通过对运动学及动力学研究设备的介绍, 引出运动学及动力学的研究现状, 为以后人们对新设备的研究与新的步态研究实验提供依据。

方法: 以 gait, kinetics, kinematics 为检索词, 检索 Pubmed 数据库(1999-01/2009-06)。以步态, 运动学, 动力学为检索词, 检索 CNKI 数据库(1999-01/2009-06)。文献检索语种限制为英文和中文。纳入有关步态的运动、动力学研究设备, 排除其他运动学、动力学研究实验, 排除较为陈旧, 重复性研究。

结果与结论: 计算机初检得到 2367 篇文献, 根据纳入排除标准, 对 33 篇文献进行分析。在步态分析方法上, 国内外已经进行了多方面的研究, 内容虽各有不同, 但就对步态的测试方面, 使用的仪器和方法几乎一致, 即使用摄影或摄像记录和计算测量运动学参数, 使用测力台记录动力学参数, 也有少数使用足底压力分布器测量更精确的足-地压力分布规律, 然后进行综合的统计分析等。动力学及运动学步态分析的应用不仅在康复医疗上, 而且现正广泛运用到竞技体育和与之相关的鞋类制作, 常用的方法是平面定点摄像及测力台分析。

关键词: 步态; 运动学; 动力学; 综述文献

doi:10.3969/j.issn.1673-8225.2010.02.031

宋雅伟, 孙文, 寇恒静. 步态运动学及动力学的研究方法[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2009, 13(2):321-324. [http://www.crter.org http://cn.zglckf.com]

南京体育学院
运动人体科学系, 江苏
省南京市
210014

宋雅伟☆, 男, 1970年生, 江苏省连云港市人, 汉族, 2009年上海体育学院运动科学学院毕业, 博士, 副教授, 主要从事解剖学和运动生物力学方面的研究。
syw0008@163.com

中图分类号:R318
文献标识码:A
文章编号:1673-8225
(2010)02-00321-04

收稿日期: 2009-07-23
修回日期: 2009-09-31
(20090623014/
WJY · Y)

0 背景

运动学是理论力学的一个分支学科, 它是运用几何学的方法来研究物体的运动, 通常不考虑力和质量等因素的影响; 动力学也是理论力学的一个分支学科, 它主要研究作用于物体的力与物体运动的关系。步态是人类步行的行为特征。步行是人类生存的基础, 是人类与其他动物区别的关键特征之一。正常步行并不需

要思考, 然而步行的控制十分复杂, 包括中枢命令, 身体平衡和协调控制, 涉及足、踝、膝、髌、躯干、颈、肩、臂的肌肉和关节协同运动, 任何环节的失调都可能影响步态的稳定性。

因此, 从步态的运动学与动力学的研究中就要急切探求一些患者与正常人的步态与足底压力有什么不同? 女人穿高跟鞋或者怀孕时的步态与足底压力又有什么不同? 现在对于这些步态与足底压力的研究分别有哪些设备与方法? 文章就以上问题进行综述。

1 目的

通过全方位的检索, 文章详细总结了运动学及动力学的研究方法, 通过对运动学及动力学研究设备的介绍, 引出运动学及动力学的研究现状, 通过总结与概述为以后人们对新设备的研究与新的步态研究实验提供依据。

2 资料和方法

纳入与排除标准:

设计类型: 临床研究。

研究对象: 与正常、偏瘫步态相关的运动学、动力学研究方法、设备。

干预类型: 纳入有关步态的运动、动力学研究设备, 排除其他运动学、动力学研究实验, 排除较为陈旧, 重复性研究。

结局测量指标: ①运动学研究方法、研究设备现状。

②动力学研究方法、研究设备现状。

检索策略: 以 gait, kinetics, kinematics 为检索词, 检索 Pubmed 数据库(1999-01/2009-06)。以步态, 运动学, 动力学为检索词, 检索 CNKI 数据库(1999-01/2009-06)。

文献检索语种限制为英文和中文。

资料提取与文献质量评价: 由第二、第三作者分别仔细阅读所获文献文题、摘要、全文, 以确定符合纳入标准的文献, 并交叉核对, 如有分歧, 则通过讨论或由第一作者协助解决。

3 结果

3.1 文献检索结果及质量评价 计算机初检得到 2 367 篇文章, 中文 1 882 篇, 英文 575 篇。阅读标题和摘要进行初筛, 排除因研究目的与此文无关的 1 907 篇, 内容重复性的研究 279 篇, Meta 分析 181 篇, 共保留 33 篇文章进行综述, 其中运动学的 9 篇, 动力学的 24 篇。

3.2 文献证据综合提炼

运动学研究方法:

研究设备现状: ①足印法: 是步态分析最早期和简易的方法之一。在足底涂上墨汁, 在步行通道(一般为 4~6 m)铺上白纸。受试者走过白纸, 留下足迹, 便可以测量距离。也可以在黑色通道上均匀撒上白色粉末, 让受试者赤足通过通道, 留下足迹, 即可测得步长, 步宽等数据。②平面定点摄像技术: 运动学分析首先要对运动对象进行拍摄。目前均采用录像机或高速录像机, 拍摄结果可直接进入电脑, 利用图像解析软件将录像片段

解析为一帧一帧的图像, 再将这些图像输入运动解析软件中, 按场解析, 采集每幅图像的关节点或特征点的二维坐标。采集完成后, 对原始数据进行平滑。根据任一肢体环节两端点上的解剖标志点的坐标数据, 可以很容易地算出该环节的空间绝对角度, 根据两个相邻环节的角度, 可容易地算出关节角度。根据位移数据, 采用有限差分法计算, 便可求得速度和加速度^[1]。另外, 对人体各环节进行隔离受力分析, 根据牛顿定律及单个物体的动量定理列出运动方程, 采取从肢体远侧关节开始逐步计算至近侧关节的运算步骤, 求得所有关节的反作用力及合肌力矩^[2]。③三维分析系统: 以红外线高速摄影机为主的立体三维动作分析系统通过光电位置敏感器件构成特殊的红外光点摄像机, 它具有位置光电转换功能, 能直接记录并解算出运动特征点的位置坐标信息。

一台摄像机只能给出运动物体在像平面上二维坐标投影面上的信息, 在更多情况下, 需要确定运动对象的空间三维位置坐标。为此要采用立体摄影原理, 通过直接线性变换 DLT 法, 可获得运动物点的空间三维坐标^[3]。

获得三维坐标后, 运动学分析和动力学分析的原理与平面运动解析软件的原理相似, 也是利用坐标求得角度和速度, 利用逆向动力学方法求得动力学指标。

国内外研究现状: 国内较早从事步态研究的戴克戎等^[4]早在 1982 年就做了相关研究。他们采用电影摄影方法, 对 77 例男、女青年平地常速行走时的步长、步相和髋、膝、踝关节在矢状面上的活动情况进行了分析研究, 测得有关数据并绘出上述关节在步态周期中的角度-时间曲线和角度-角度曲线, 讨论了这些数据的实用价值和临床意义。

1988 年, 赵吉凤等^[5]进行微机步态分析系统的研制, 并使用该系统对 41 名正常人平地行走时足一地接触力的三维分析, 获取了一组正常参数和曲线, 并对其形成规律和年龄影响进行了观察讨论; 1997 年, 北京体育大学运动生物力学教研室以 139 例 35~75 岁普通中老年人及 10 例 20~22 岁的青年人为受试者, 对中老年人步态指标与衰老关系进行研究^[6]; 1999 年, 上海体育学院的孙锐等^[7]对上海市杨浦区 50 名年龄为 60~80 岁的健康男性、女性老年人进行了室内常速行走的侧面电影拍摄, 并使用三维测力台同步记录足一地接触力, 对其进行步态分析。

许光旭等^[8]根据力和时间的双重因素, 进行步态动力学的定量分析, 用多维 kistler 测力台对患者和正常人进行比较测试, 分别计算出他们的三维地面支撑反力及其冲量积分值, 得出患侧/健侧在 Z 方向的一组积分百分比(IR2), 并与他们的 Fugl-meyer 运动功能评分、下肢评分、平衡评分、barthel 指数进行相关分析。周有礼等^[9]三度空间动态分析系统及测力台对妊娠妇女步态进

行运动学及动力学分析, 利用欧拉角与牛顿-欧拉方程式, 依逆向动力学推算求出下肢各关节角度、受力与受力矩, 实验结果显示, 孕妇的髌关节、膝关节与踝关节的最大屈曲角度较无怀孕经历女性增加, 在下肢关节力矩方面, 最大差异在于孕妇脚跟着地后的髌关节伸展力矩增加, 膝关节屈曲力矩减少, 踝关节屈曲力矩减少。

动力学研究方法:

研究设备现状: 人类于 20 世纪初期开始对步态产生兴趣, 1938 年第一块测力板被用来探讨猫的步态以来, 足底压力分布测试系统发展迅速^[10]。目前, 具有世界先进水平的代表性的产品有: 瑞士奇石乐(KISTLER)公司产的测力板; 德国 Novel 公司产的 Pedar 鞋垫式足底压力测试系统; 德国 ADAM 测力板; 德国 Zebris 测力板; 鞋垫式足底压力测试系统; 美国 Tekscan 公司产的测力板及 F-Scan 鞋垫式足底压力测试系统; 美国的 AMTI 生物力学测力板系统等。目前, 研究足底压力的测试系统, 根据其测量基本原理, 可大致分为以下几类: 足印技术、直接形象化技术、力板测试技术、多负载单元测试技术和压力鞋与鞋垫测试技术^[11]。

①测力平台: 步行时人体 GRF 可以通过测力平台测试, 分析力的大小、方向和时间。测力平台一般平行设置在步行通道的中间, 可以平行或前后放置, 保证连续记录一个步行周期的压力。测力平台测定身体运动时的垂直力和剪力。垂直力是体重施加给测力平台的垂直应力, 而剪力是肢体行进时产生的前后/左右方向的力与运动学参数结合可以分析内力与肌肉、肌腱、韧带和关节所产生的力矩。

②足底压力分布测力板: 采用压力分布测力板, 或者鞋垫式测力垫直接插入到受试者鞋内, 测定站立或步行时足底受力分布及重心移动的静态或动态变化情况, 根据测试结果可以对受试者步态进行分析, 还可以帮助设计合适的矫形鞋。

国内外研究现状: 足底压力分布测量已在临床医学、康复医学、生物力学、体育训练、工业和人机工程等方面广泛应用, 体现了其极大的应用价值。

临床医学应用: Perttunen 等^[12]对严重胫骨骨折, 伴有大面积软组织损伤手术后, 步态的对称性进行了评估分析。Meyring 等^[13]对偏瘫患者的动态足底压力进行了测试, 并与正常人对比, 探讨了评价偏瘫患者步态的客观、量化及可再现的标准。Nieuwboer 等^[14]对帕金森病患者的步态中的足底压力进行了对比测试, 探讨了足底压力分布情形。Perry 等^[15]对糖尿病患者的足底压力进行了分析, 指出糖尿病患者的峰值足底压力出现在同一区域, 但不是同时出现, 二者有一时间差。Gravante 等^[16]利用测力台, 对肥胖的年轻人和相应正常人的足底压力进行了对比测量, 指出虽然压力中心并未因肥胖而改变, 肥胖患者足底的接触面积和足底压力会大大升

高。Caselli 等^[17]使用 F-Scan Mat 系统对糖尿病患者的足底压力进行了对比测量, 除足底压力升高可以预测糖尿病患者的足部神经性溃疡, 还发现了足底压力前后比例的升高可以预测脚的溃疡。Dowling 等^[18]通过青春期的 13 名肥胖儿童与 13 名正常儿童进行了对比研究, 对肥胖对足的结构和足底压力分布进行了探讨。Nyska 等^[19]对糖尿病患者的足底压力进行了测试, 并通过体质量进行了标准化处理, 消除了体质量对结果的影响。张伟等^[20-21]对拇外翻患者进行了静态足底压力测定, 并对单侧先天性髌关节脱位患者的动态足底压力进行了测定和分析。李长有等^[22]对类风湿性关节炎患者足底板的生物力学进行了测定; 吴汶澜^[23]对膝下截肢患者的动态站立平衡进行分析; Miyazaki^[24]曾对骨性关节炎患者手术后, 使用不同拐杖的情况进行了对比分析。

生物力学应用: 吴剑等^[25]对青年女性穿高跟鞋平地行走时步态的生物力学进行了研究, 指出青少年女性穿跟高在 6.5 cm 以上的高跟鞋行走时, 足底第一趾关节最大受力值是青少年女性穿球鞋行走时该点最大受力值的 4 倍, 是青少年女性穿中跟鞋和松糕鞋行走是该点最大受力值的 2 倍; 朱晓兰^[26]利用三维测力台, 对 127 名正常老年人的步态能力进行了研究, 初步建立了老年人步态特征评价系统; 汤荣光^[27]利用 Musgrave Footprint 软件控制测力板, 对正常人的足底静态和动态压力分布进行了测定; Elftman 和 Stott 对扁平足的纵弓进行了探讨; Elftman 和 Caragna 用测力板得出了正常和异常步态期间患者重心的移动轨迹, 研究了长跑运动员的足损伤机制; Maquet 从生物力学的角度对膝关节的受力情形, 进行了分析^[11]; Kellis^[28]对学龄前儿童在赤足状态下, 站立、行走和跳跃情形下的足底压力分布进行了测定; Nurse 等^[29]利用冰作为介质, 使足部感觉发生变化, 对足底压力和肌肉活动的影响进行了研究。

足底压力的分布早已被用于鞋的研制与开发、辅助改良鞋的设计和矫形鞋的设计、鞋垫的设计与开发、脚支撑的研制与开发、优化相关设计等诸多方面。Brizuela 等^[30]对足球鞋的鞋底生物力学设计进行了研究, 指出鞋底有 15 凸和 14 凸起的, 在提高成绩和预防受伤方面, 不如 13 凸起的效果好; Mueller 等^[31]对糖尿病和截肢患者穿着六种不同鞋子的效果进行了研究, 研制了能够降低峰值压力的鞋具; Shorten^[32]将足底压力分布数据应用于运动鞋设计中去; Yamada^[33]初步对鞋和鞋垫材料降低糖尿病患者足底压力的有效性进行了研究。

体育训练中的应用: 有研究指出, 人体改善足部穿着可以降低足部伤害, 同时也有助于改进足部受力的模型; 扁平足和弓形足在足部的压力分布情形, 与正常足不同, 在跑步时容易受到伤害; 弓形足、正常足和扁平足, 若足部各区如足压分布均匀, 可以降低运动伤害, 而足压平均的定义为最大压力和最小压力的范围越小

越好; 向子元指出如在足部某一部位, 承受过大压力时, 即易产生过度使用伤害。

4 结论

在步态分析方法上, 国内外已经进行了多方面的研究, 内容虽各有不同, 但就对步态的测试方面, 使用的仪器和方法几乎一致, 即使用摄影或摄像记录和计算测量运动学参数, 使用测力台记录动力学参数, 也有少数使用足底压力分布器测量更精确的足-地压力分布规律, 然后进行综合的统计分析等。

综上所述, 文章通过对动力学运动学研究方法的介绍, 综合各种应用结果, 为以后的康复医疗提供依据。

5 参考文献

[1] 钱竞光, 宋雅伟, 叶强, 等. 步行动作的生物力学原理及其步态分析[J]. 南京体育学院学报:自然科学版, 2006, 5(4):1-7.

[2] 施宝兴, 魏文仪. 逆向动力学计算方法及提高计算精度的探讨[J]. 南京体育学院学报:自然科学版, 2003, 2(2):6-12.

[3] 维·温特, 刘志诚, 译. 人体运动生物力学[M]. 北京:人民体育出版社, 1990.

[4] 戴克戎, 汤荣光. 平地常速行走时的步态观察[J]. 中国生物医学工程学报, 1982, 11(1):18-21.

[5] 赵吉凤, 刘永斌. 脊髓不完全损伤患者的步态分析[J]. 中国康复医学杂志, 1999, 11(1):31-32.

[6] Eric Eils, Corinna Kupelwieser. Pressure distribution in inlineskating straights with different[EB/OL]. Speeds. <http://www.isbs98.uni-konstanz.de>.

[7] 孙锐, 杨晓光, 朴建华. 气体代谢法及其典型设备K4b2在能量代谢测量中的应用[J]. 中国食品卫生杂志, 2005, 17(5):445-448.

[8] 许光旭, 王彤, 王翔, 等. 偏瘫不对称步态的生物力学研究[J]. 中国康复医学杂志, 1995, 10(3):97.

[9] 周有礼, 周伯禧, 游家源, 等. 妊娠妇女步态的动力学分析[J]. 医用生物力学, 2001, 16(2):65-69.

[10] McPoil TG, Cornwall MW. Effect of insole material on force and plantar pressures during walking. J Am Podiatr Med Assoc. 1992; 82(8):412-416.

[11] 戴克戎, 徐乃明, 汤荣光, 等. S9-1型步态分析系统的研制和平地行走时足-地接触能力的三维分析[J]. 生物力学, 1986, 5(1):24.

[12] Perttunen JR, Nieminen H, Tukiainen E, et al. Asymmetry of gait after free flap reconstruction of severe tibial fractures with extensive soft-tissue damage. Scand J Plast Reconstr Surg Hand Surg. 2000;34(3):237-243.

[13] Meyring S, Diehl RR, Milani TL, et al. Dynamic plantar pressure distribution measurements in hemiparetic patients. Clin Biomech (Bristol, Avon). 1997;12(1):60-65.

[14] Nieuwboer A, De Weerd W, Dom R, et al. Plantar force distribution in Parkinsonian gait: a comparison between patients and age-matched control subjects. Scand J Rehabil Med. 1999; 31(3):185-192.

[15] Perry JE, Hall JO, Davis BL. Simultaneous measurement of plantar pressure and shear forces in diabetic individuals. Gait Posture. 2002;15(1):101-107.

[16] Gravante G, Russo G, Pomara F, et al. Comparison of ground reaction forces between obese and control young adults during quiet standing on a baropodometric platform. Clin Biomech (Bristol, Avon). 2003;18(8):780-782.

[17] Caselli A, Pham H, Giurini JM, et al. The forefoot-to-rearfoot plantar pressure ratio is increased in severe diabetic neuropathy and can predict foot ulceration. Diabetes Care. 2002;25(6):1066-1071.

[18] Dowling AM, Steele JR, Baur LA. Does obesity influence foot structure and plantar pressure patterns in prepubescent children? Int J Obes Relat Metab Disord. 2001;25(6):845-852.

[19] Nyska M. The effect of the shoe on foot pressures. Emed Scientific Meeting Proceedings, 1992.

[20] 张伟, 黄耀添, 王军. 拇外翻病人的静、动态前足底压力测定[J]. 武警医学院学报, 10(2):128-130.

[21] 张伟. 单侧先天性髋关节脱位病人的动态足地压力测定初步分析[J]. 医用生物力学, 1998, 13(4).

[22] 李长有, 范广宇, 井上明生, 等. 足底板对类风湿关节炎患者足底压的影响[J]. 中国医科大学学报, 2000, 29(1):36-37.

[23] 吴汉澜. 膝下截肢患者动态站立平衡分析[R]. 辅英科技大学补助专题研究计划成果报告, 1992.

[24] Miyazaki S. Quantification of gait abnormalities on the basis of continuous indices and visual rating. Medical & Biological Engineering & Computing, 1984.

[25] 吴剑, 李建设. 青年女性着高跟鞋平地行走时步态的生物力学研究[J]. 上海体育科研, 2003, 24(3):9-11.

[26] 朱晓兰. 老年人步态特征的分析及其评价系统的初步建立[D]. 北京:北京体育大学, 2006:201-203.

[27] 汤荣光. 正常人足底静态和动态压力分布的测定[J]. 中国生物医学工程学报, 1994, 13(2):175-177.

[28] Kellis E. Plantar pressure distribution during barefoot standing, walking and landing in preschool boys. Gait Posture. 2001; 14(2):92-97.

[29] Nurse MA, Nigg BM. The effect of changes in foot sensation on plantar pressure and muscle activity. Clin Biomech (Bristol, Avon). 2001;16(9):719-727.

[30] Brizuela G. Biomechanical design of football boots: effect of studs on performance and injury[EB/OL]. Prevention. <http://www.ilfb.tuwien.ac.at>.

[31] Mueller MJ. Effect of six types of footwear on pear plantar pressures in patients with diabetes and transmetatarsal amputation. Fifth Emed User Meeting Proceedings, 1996.

[32] Shorten M. Application of plantar pressure distribution data to athletic footwear design. Emed Scientific Meeting Conference Proceedings, 1991.

[33] Yamada W. The effectiveness of footwear and insoles materials in reducing plantar pressures in diabetics—a pilot study. Emed Scientific Meeting Proceedings, 1992.

关于作者: 第一作者构思本综述, 第二作者分析并解析相关数据, 经 4 次修改, 第二作者对本文负责, 第三作者审核。

利益冲突: 无利益冲突。

伦理批准: 没有与相关伦理道德冲突的内容。

此问题的已知信息: 步态分析可分为以下几个过程:

- ① 动作分析: 确定每个关节动作的大小和时值。
- ② 测力板试验: 确定下肢承受所经受的负荷变化。
- ③ 动态肌电图: 确定肌肉活动在步态周期中的发生时间和相对强度。
- ④ 能量消耗测量: 确定肌肉活动在步态周期中发生的能耗。

本综述增加的新信息: 步态分析的应用不仅在康复医疗方面, 现在也广泛地运用到竞技体育和与之相关的鞋类制作上。