

综 述

步态分析技术在膝骨关节炎应用研究进展

刘 丹 唐占英 杨强玲 林 婕 胡志俊

(上海中医药大学附属龙华医院康复医学科,上海,200030)

摘要 国际上,针对膝骨关节炎(Knee Osteoarthritis,KOA)患者进行步态分析并没有形成共识的最佳方法。尽管缺乏这些方面的标准化,这始终表明,根据疾病的不同阶段,骨关节炎患者可能表现出不同的步态参数。本文通过文献检索的方式汇总了相关文献,总结并回顾了近几年来关于衡量骨关节炎特征的研究,以及步态参数的变异性对于发病率的高低的影响。文献检索结果包含七项关于对照运动学参数研究,九项针对动力学参数以及四项针对EMG分析方面的研究、六项针对步态分析治疗效果的研究。

关键词 步态分析;膝关节骨性关节炎;表面肌电图

Study Progress on Gait Analysis Technology in the Application on Knee Osteoarthritis

Liu Dan, Tang Zhanying, Yang Qiangling, Lin Jie, Hu Zhijun

(Institute of Spine, Longhua Hospital affiliated to Shanghai University of Traditional Chinese Medicine, Shanghai 200030, China)

Abstract Objective: Internationally, there was no consensus on the best approach for gait analysis in patients with osteoarthritis (OA) of the knee. Although there is lack of standardization, it is consistently demonstrated that osteoarthritis patients may exhibit different gait parameters according to the disease stage. **Methods:** This summary reviews recent studies that have been undertaken to explore the manner for measure the characteristic on osteoarthritis, and clarify how the variability of gait parameters is influenced by the morbidity of KOA. **Results:** Twenty two studies were included, among which six were contrapose kinematics parameter, six were contrapose kinetic parameter, four were EMG analysis, and six were about the gait analysis in treatment effect. **Conclusion:** 3DGA as a new biological mechanics analysis method has widely used in the study of many diseases. Based on the uncertainty of the pathogenic mechanism of KOA, diagnosis and treatment are lack of a quantitative criteria of absolute authority. This will not benefit the systematic KOA diagnosis as well as the quantity of severity of its definition.

Key Words Gait analysis Osteoarthritis of Knee; Dynamic electromyography

中图分类号:R684.3 文献标识码:A doi:10.3969/j.issn.1673-7202.2015.06.036

膝关节骨性关节炎(Knee Osteoarthritis, KOA)是膝关节的一种慢性退行性疾病,是以关节软骨细胞、细胞外基质、软骨下骨等合成与分解代谢失衡,关节软骨损坏为特征的一个复杂的、多元化疾病。目前,在流行病学研究中没有普遍共识的“黄金标准”来识别典型骨关节炎。尽管缺乏标准化,但是KOA的患病率伴随年龄增长呈正相关,并且疾病主要累及髋关节和膝关节这两个点已经在基于人群的实验中被广泛的显示。骨关节炎的病因学是一个复杂的过程,针对其病因的临床和基础研究是国际上研究的热点。研究认为广泛系统性因素,遗传因素,生物力学因素和环境因素都对其发展有一定的影响^[1]。其中影响KOA进展的生物力学因素包括肌肉力量变化、下肢力线异常、体重增加等。KOA发

病后,关节内及其周围生物力学环境即发生明显改变,同时下肢运动出现异常。针对异常的运动状态尤其是步态进行分析是在宏观上把握KOA病情以及治疗情况的重要手段,并成为当前相关研究的热门。步态分析(Gait Analysis, GA)主要针对下肢的运动和受力情况进行动态的量化分析。在下肢运动障碍的分析领域,GA的重要性正在不断增加。作为临床评估的补充以及有助于提高治疗效果的工具,GA有益于做出有效的临床决策^[2]。本文就GA技术在KOA临床与基础中的应用进行综述。

1 步态分析

步态分析是对于人类的行走状态运用力学原理、解剖学原理、生理学知识进行对比分析的一种研究方法。对于步态定量的分析是通过专门设计的机

械获得客观的数据,并对其进行分析^[3]。三维运动学参数测量现已常用于临床步态分析并为测量步态研究和临床实践提供关键的指标。三维运动学参数测量系统主要由四部分组成:运动捕捉系统、测力台、肌电遥测系统以及计算机处理系统^[4]。三维运动学参数测量系统代替传统足印分析法成为 GA 的主流趋势。

1.1 运动学分析主要研究肢体行走过程中时间的变化规律以及关节角度参数 测量时在肢体关节处固定感光标记。以摄像机获取行走时标志运动轨迹得到关节运动角度。利用内在轴线和欧拉旋转角度来描述行走过程中关节三维运动^[5]。其运动学参数通常包括人体重心分析、廓清机制、步行时间-空间以及肢体的阶段性运动。Michael D 进行了一项有关 KOA 患者步态的研究。实验中使用了步态分析方法分析 KOA 患者与正常对照组,发现 KOA 患者的步态参数相比正常人有明显改变,包括、步速减慢、步幅变短、跨步时间延长^[6]。一项 Maezawa Y 等人做进行的研究针对 24 个颈部受压颈椎病体现痉挛步态的患者进行三维步态分析。在跖屈脚踝摆动期之外患者表现出站立位相膝关节伸展过度,并表现出行走速度和步长显著降低,站立相持续时间延长和单一的摆动相持续时间减少以及步长增加^[7]。三维步态分析可以提供详细的、定量的数据以评估障碍步态。在 Patrick JH 的一项研究中针对脊髓不完全损伤运用三维步态分析。三维步态分析通过对于关节运动角度的测量和关节受压,力矩和力量的计算指导我们针对步态差异做有加明显的认识。实验证明步态分析通过指导外科手术和其他治疗方法已经彻底改变了针对脑瘫儿童痉挛状态的观测^[8]。Farrokhi 等^[9]在一项实验中针对膝骨关节炎患者与正常人进行对照研究,患病组 14 例以及对照组 12 例,通过步态分析手段进行检查,其结果显示足跟着地时 KOA 患者的膝关节屈曲角度相对于常人要小。患病组踝关节在支撑期最大跖屈与背屈角度均明显小于正常对照组。

1.2 动力学分析包括运动过程压力分析和负荷分析 其研究对象主要是作用力-反作用力强度、方向以及时间等因素。步行动力学的特征有地面反作用力、剪力、力矩。此外 Mercurio 设计了利用鞋内置感受器检测足底不同部位压力的方法^[10]。一些生物力学变量与 KOA 有高度联系,尤其是膝关节内收力矩。有关膝关节内收力矩的测量,Heather S. Linley 在实验中用一条线连接骨盆两个参考点的

中点和肩峰中点,这条线被投射到实验室额状面和骨盆额状面。骨盆倾斜作为盆腔和实验室协调系统之间的夹角也进同样在额状面被测量。研究结果针对关节弯曲运动提供定量数据来指导临床评估^[11]。Mündermann 在研究中强调,行走过程中通过膝关节内收力矩可以估计负载力转移至内侧和外侧隔间的分布。外部膝关节内收力矩的增大可以显示内侧间隔相对外侧而言承受了更大的负载。Golightly 认为生物力学变量一定程度上受先天性发育异常影响^[12]。此外 Thorstensson 认为肌肉力量的减少也是重要的生物力学诱因^[13]。还有另一个有关骨关节炎的生物力学因素是膝关节的频繁重复使用。Felson 在弗雷明汉骨关节炎实验中从事需要反复膝盖弯曲职业的人相比不从事相关职业的人来说患有 KOA 的风险高两倍^[14]。Englund 在研究中认为生活早期关节损伤是骨关节炎发生的一个重要诱因,曾患有前交叉韧带或膝盖软骨半月板撕裂的人群经步态分析生物力学变量改变明显。研究证明其 KOA 风险明显增高^[15]。

1.3 动态肌电图的研究 动态肌电图的研究是在步行的同时检测肌肉活动,可以是表面肌电图分析也可以是深部肌电图分析。用于检测步行时肌肉活动与步态的关系。表浅肌肉一般采用表面电极,置放于与相邻肌肉距离最远并且接近肌腹的部位,可以采用植入式线电极。Agostini 在其研究中提出表面肌电图可以做到无创伤性研究肌肉活动并在肌肉运动的同时评价肌肉活动的时间和强度^[16]。由于表面肌电图主要根据肌肉生物电活动获得,是时间序列信号。多个运动单位活动时产生的电变化在时间和空间上相互叠加,经过处理后方可用于评价分析。表面肌电图分析分为线性分析和非线性分析。线性分析主要针对时间维度和频率维度两方面分析。在时间维度上反映肌电曲线变化特征的评价指标主要有积分肌电(IEMG)、均方根振幅(RMS)、平均振幅(MA)等。频率分析指标主要有平均功率分析(MPF)、中值频率(MF)。小步变换分析法作为表面肌电信号分析的有力工具是一种把时间和频率结合起来的非线性分析方法。

2 KOA 步态参数的变化

关于 KOA 不同程度的患者,GA 提供了重要的信息。Kiss, R. M 的研究显示步态参数的变化受 KOA 严重性的影响^[17]。这就使得 GA 在 KOA 的严重程度上有十分明显的界定作用。众多研究表明 KOA 在运动学和动力学参数上都有明显改

变^[18-20]。说明运动力学指标在 KOA 的损伤后有明确的改变,这有利于 KOA 诊断的数据化和规范化。

2.1 运动学参数的改变 临床上 KOA 患者其外观步态有明显改变:Chen, C. P 在一项针对不同年龄 KOA 患者步态参数改变的研究中指出:患者的步速、步长以及步频均有减小,患侧膝关节活动度明显减小、其减小的幅度与 KOA 的严重程度有关^[21]。关节所承受的机械负荷对关节软骨的性能有显著的影响。姿势与可视化步态的变化例如膝关节屈曲幅度减小和步行速度减慢在 KOA 中度严重模型中表现明显。Arokoski 的研究认为这里改变同时也关系到其他一些与疾病晚期相关的伴随性变化,比如年龄、疼痛、肥胖和关节僵硬^[22]。Astephen, J. L. 的一项研究中指出步态措施之间的相互关系和步态周期支撑相所占时间可以为洞察骨关节炎的病理的机械机制提供依据。同时,实验结果还显示额平面负荷与对线的改变以及步态周期中负重相增加是膝骨关节炎的特征步态模式^[23]。Tanaka, K 所进行的一项研究评估了三组不同人群行走过程中躯干倾斜角度。这三组分别为:单侧膝关节 OA, 双侧膝关节 OA 以及健康受试者。这项研究表明,双侧膝关节 OA 患者相对于正常健康组和单侧膝 OA 患者表现出不同的特征^[24]。

2.2 动力学参数的改变 Mündermann 的研究认为基于以往一直以来的实验结果,膝关节内收力矩在 KOA 患者与健康对照组之间有明显变化,但在对于不同严重程度的 KOA 之间没有明确的区别^[25]。Hurwitz 在一项研究中表明髌内收力矩的减小与 KOA 疾病进展有密切联系^[26]。更有研究者针对膝关节横向平面动力学进行量化研究。Andriacchi 以及 Landry 的研究认为膝关节横向平面力学变化使我们能初步了解不同级别的负荷加载于关节软骨受力区域造成退行性病变^[27-28]。

2.3 肌电图的变化 Hubley - Kozey CL 针对严重 KOA 患者表面肌电图数据进行研究。五十一名受试者为全膝关节置换手术后一周。受试者沿着一条 6 米人行道在自然步速下行走。同时对其七块肌肉进行表面肌电数据记录。捕获的肌电数据包括振幅和肌电图波形突变的形态特征。研究结果指出在步行过程的站立相和摆动相,腓肠肌内外侧头协同激活,股四头肌维持激活以减少膝内侧负荷,同时增强站立相膝关节稳定^[29]。McCarthy, C. J 等在一项研究中利用等速测试仪和肌电图针对 KOA 患者进行步态分析。研究认为 KOA 患者股四头肌肌力下降,

同时肌耐力也有所下降^[30]。Fransen, M. 通过步态分析针对 KOA 进行一项大型研究(该实验选取 113 例 KOA 患者以及 131 例对照组)。实验发现 KOA 患者股四头肌肌力下降的同时腘绳肌肌力也有所下降^[31]。

3 步态分析在 KOA 中的应用

3.1 轻中度 KOA 的步态分析 Lim 在一项研究专门针对 KOA 患者经过物理疗法后的步态参数^[32]。所研究 KOA 患者一般经历 12 周的理疗治疗项目。研究中针对患者在治疗后股四头肌和肌腱力量增加的观察可以解释对于治疗后患者临床状态明显改善的临床评价。在针对增强力量的锻炼后 KOA 患者步态生物力学参数的研究上 Lim, B. W 运用膝关节内收肌力矩峰值作为生物力学结果来衡量物理疗法的效果^[33]。研究者认为股四头肌力量加强锻炼项目之后,膝内收肌力矩峰值没有显著变化。虽然膝内收肌力矩在 KOA 进展过程中作为一个生物力学指标被广泛接受,但这并不一定意味着加强力量练习是无效的。Turcot 在有关于力量锻炼作用于其他的步态参数方面进行了研究^[34]。

3.2 步态分析在重度 KOA 康复评估中的应用 国际上针对严重 KOA 一般采取关节置换手术的方法治疗。利用三维步态参数分析系统针对术后情况进行步态分析越来越多的被人们应用。Sagawa Jr, Y 的一项研究旨在进一步识别临床和步态生物力学参数的关联,研究针对九十例严重 KOA 患者,以及 26 例健康个体组成的对照组。实验通过髌关节膝关节踝关节成角在全肢射线照相法对膝关节畸形进行评估。同时还运用力矩分析系统和踏力板进行了全身步态分析。在这项研究中显示胸腔倾斜与膝内收肌力矩与有关。针对严重的膝 OA 患者实验观察到胸腔倾斜高与膝内收肌力矩高有紧密联系。研究还指出除胸腔倾斜之外其他因素在减少膝关节内收力矩方面也有影响^[35]。N. Logoluso 的一项研究评估并比较了携带铰接膝盖垫片的患者与正常对照人群以及对对照肢体的步态参数。运动学数据显示相比对照组而言携带铰接膝盖垫片的患者平均步态速度降低 70%, 术后膝盖力矩减少的范围是 59%, 但是地面反应力仅略有降低,膝盖正面和侧面力矩的影响接近零或等于零^[36]。Eric Dugan 进行了研究关于双室膝关节置换后水平行走时膝关节的力量和力学指标^[37]。研究对最大等速离心膝盖扩展强度进行了评价。水平行走时进行了多维运动学和动力学分析。相比非手术肢体和对照组肢体而言手术膝盖表

现出更少的峰值扭矩和初始外展力矩,未累及的肢体在推进力上相对于手术肢体和对照组肢体而言,膝关节的活动度更小而膝关节伸肌力矩更大,行走过程中对于手术组未累及组和对照组而言,其他典型的膝关节力学指标没有明显不同。双侧膝关节置换术后患者表现出良好的正面膝关节平台力学参数并且能够产生相同级别的膝关节伸肌力矩。

3.3 步态分析在传统中医治疗方面的应用 姜淑云等^[38]对 17 例(32 膝)膝骨关节炎患者用理筋手法结合股四头肌、胫前肌等膝关节周围肌群的功能锻炼,以 4 周为 1 个疗程。观察 KOA 患者治疗前后按 WOMAC 评分量表积分值、步态参数值的变化。结果发现治疗后 WOMAC 评分量表 3 项积分均有改善的明显,患者的步长、步速、步幅水平均有所提高,且 Q 角的改变比较差异也有统计学意义($P < 0.05$)。说明推拿理筋手法结合功能锻炼对于膝骨关节炎患者临床症状及步态参数有显著的改善。查建林等^[39]应用三维红外步态分析仪器,分析了 81 例 KOA 患者在理筋手法以及功能锻炼干预前后的平衡功能与步态效率变化情况,(其中男性 36 例,女性 45 例)。研究结果显示理筋手法功能训练组患者在步长、步速、双支撑相等指标治疗后均得到明显改善。

4 讨论

三维步态分析作为一种新兴的生物力学分析手段已经在针对诸多疾病的研究上被广泛应用。现代步态分析系统利用生物力学的原理、通过已掌握的人体解剖学及生理学结构和功能等方面的知识,对人体步行时的步态参数(运动学参数、动力学参数、肌电参数、能量参数等)进行比较分析^[40]。基于 KOA 致病机理的不确定性,他的诊断和治疗都缺乏一个绝对权威的量化标准。GA 应用于 KOA 的研究在当前医学与生物力学研究方面是一个热点。但是对于 KOA 的发生以及不同程度损伤的界定上都没有一个统一的可遵循的生物力学参数改变指标。这将不利于对 KOA 诊断的系统化以及对其严重程度的量化界定。KOA 的治疗方案有很多种。针对不同严重程度的治疗方案以及治疗效果有诸多研究。众多的研究结果缺乏一个统一的量化指标来客观的评价不同方案治疗效果的差异。这些都是有待于我们在将后研究过程中加以完善的工作。

参考文献

[1] Woolf A D, Erwin J, March L. The need to address the burden of musculoskeletal conditions[J]. B Ra & Rarh:lnal Rhmaology,2012(2):

183 - 224.

- [2] Leardini A,Biagi F,Merlo A,et al. Multi - segment trunk kinematics during locomotion and elementary exercises[J]. Clinical Biomechanics,2011(6):562 - 571.
- [3] Bugana F,BenedettiM G,Casadio G,et al. Estimation of spatial - temporal gait parameters in level walking based on a single accelerometer: Validation on normal subjects by standard gait analysis[J]. Computer methods and programs in biomedicine,2012,108(1),129 - 137.
- [4] McDermott A,BolgerC,Keating L,et al. Reliability of three - dimensional gait analysis in cervical spondylotic myelopathy[J]. Gait & posture,2010,32(4),552 - 558.
- [5] Pavgi K,Kadaba N. From Stadiums To Shuttle Diplomacy:Qatar's Emergence as a Regional Diplomatic Power[J]. Exchange;The Journal of Public Diplomacy,2012.
- [6] LewekMD,ScholzJ,Rudolph KS,et al. Stride - to - stride variability of knee motion in patients with knee osteoarthritis[J]. Gait & posture,2006,23(4):505 - 511.
- [7] Maezawa Y,UchidaK,BabaH. Gait analysis of spastic walking in patients with cervical compressive myelopathy[J]. Journal of orthopaedic science,2001,6(5):378 - 384.
- [8] Patrick JH. The case for gait analysis as part of the management of incomplete spinal cord injury[J]. Spinal cord,2003,41(9):479 - 482.
- [9] S F,S T,AB G,et al. Are the kinematics of the knee joint altered during the loading response phase of gait in individuals with concurrent knee osteoarthritis and complaints of joint instability? A dynamic stereo X - ray study[J]. Clin Biomech (Bristol,Avon),2012(4):384 - 389.
- [10] Lai K W,Mercurio M G. Medical and surgical approaches to vulvar intraepithelial neoplasia[J]. Drmaolog Hray,2010,23(5):477 - 484.
- [11] EsolaMA,McClurePW,FitzgeraldGK,er al. Analysis of lumbar spine and hip motion during forward bending in subjects with and without a history of low back pain[J]. Spine,1996,21(1):71 - 78.
- [12] Golightly Y M,Allen K D,Helmick C G,et al. Symptoms of the knee and hip in individuals with and without limb length inequality[J]. Osteoarthritis and Cartilage,2009,17(5):596 - 600.
- [13] Thorstensson C A,Petersson I F,Jacobsson L T H,et al. Reduced functional performance in the lower extremity predicted radiographic knee osteoarthritis five years later[J]. Annals of the rheumatic diseases,2004,63(4):402 - 407.
- [14] Felson DT. The epidemiology of knee osteoarthritis:results from the Framingham Osteoarthritis Study[J]. In Seminars in arthritis and rheumatism,1990,20(3):42 - 50.
- [15] Englund M,LohmanderL S. Risk factors for symptomatic knee osteoarthritis fifteen to twenty-two years after meniscectomy[J]. Arthritis & Rheumatism,2004,50(9),2811 - 2819.
- [16] AgostiniV,Nascimbeni A,GaffuriA,et al. Normative EMG activation patterns of school - age children during gait[J]. Gait & posture,2011,32(3):285 - 289.
- [17] KissRM. Effect of severity of knee osteoarthritis on the variability of gait parameters[J]. Journal of Electromyography and Kinesiology,2011,21(5):695 - 703.

- [18] Al – Zahrani K S, Bakheit AMO. A study of the gait characteristics of patients with chronic osteoarthritis of the knee[J]. Disability & Rehabilitation, 2002, 24(5): 275 – 280.
- [19] Fallah Yakhani HR, Bafghi H A, Meijer OG, et al. Stability and variability of knee kinematics during gait in knee osteoarthritis before and after replacement surgery[J]. Clinical biomechanics, 2010, 25(3): 230 – 236.
- [20] Zeni Jr JA, Higginson JS. Differences in gait parameters between healthy subjects and persons with moderate and severe knee osteoarthritis; a result of altered walking speed? [J]. Clinical biomechanics (Bristol, Avon), 2009, 24(4): 372.
- [21] Chen CP, Chen MJ, Pei YC, et al. Sagittal plane loading response during gait in different age groups and in people with knee osteoarthritis[J]. American journal of physical medicine & rehabilitation, 2003, 82(4): 307 – 312.
- [22] Arokoski JP A, Jurvelin JS, Väänänen U, et al. Normal and pathological adaptations of articular cartilage to joint loading[J]. Scandinavian journal of medicine & science in sports, 2000, 10(4): 186 – 198.
- [23] Astephen JL, Deluzio KJ. Changes in frontal plane dynamics and the loading response phase of the gait cycle are characteristic of severe knee osteoarthritis application of a multidimensional analysis technique[J]. Clinical biomechanics, 2005, 20(2): 209 – 217.
- [24] Tanaka K, Miyashita K, Urabe Y, et al. Characteristics of trunk lean motion during walking in patients with symptomatic knee osteoarthritis[J]. The Knee, 2005, 15(2): 134 – 138.
- [25] Dyrby CO, Andriacchi TP. Secondary gait changes in patients with medial compartment knee osteoarthritis; increased load at the ankle, knee, and hip during walking[J]. Arthritis & Rheumatism, 2005, 52(9): 2835 – 2844.
- [26] Chang A, Hayes K, Dunlop D, et al. Hip abduction moment and protection against medial tibiofemoral osteoarthritis progression[J]. Arthritis & Rheumatism, 2005, 52(11): 3515 – 3519.
- [27] Andriacchi TP, M driacchi A. The role of ambulatory mechanics in the initiation and progression of knee osteoarthritis[J]. Current opinion in rheumatology, 2006, 18(5): 514 – 518.
- [28] Landry S C, McKean K A, Hubley – Kozey CL, et al. Knee biomechanics of moderate OA patients measured during gait at a self – selected and fast walking speed[J]. Journal of biomechanics, 2007, 40(8): 1754 – 1761.
- [29] Hubley – Kozey C, Deluzio K., Dunbar M. Muscle co – activation patterns during walking in those with severe knee osteoarthritis[J]. Clinical Biomechanics, 2008, 23(1): 71 – 80.
- [30] McCarthy C J, Callaghan M J, Oldham J A. The reliability of isometric strength and fatigue measures in patients with knee osteoarthritis[J]. Manual therapy, 2008, 13(2): 159 – 164.
- [31] Sophie Coleman 1, N Kathryn Briffal, Graeme Carroll, et al. A randomised controlled trial of a self – management education program for osteoarthritis of the knee delivered by health care professionals[J]. Arthritis Research & Therapy, 2012, 14: R21.
- [32] Gaudreault N, Mezghani N, Turcot K, et al. Effects of physiotherapy treatment on knee osteoarthritis gait data using principal component analysis[J]. Clinical Biomechanics, 2011, 26(3): 284 – 291.
- [33] Lim BW, Hinman RS, Wrigley TV, Sharma L, et al. Does knee malalignment mediate the effects of quadriceps strengthening on knee adduction moment, pain, and function in medial knee osteoarthritis? A randomized controlled trial[J]. Arthritis Care & Research, 2008, 59(7): 943 – 951.
- [34] Turcot K, Aissaoui R., Boivin K, et al. The responsiveness of three – dimensional knee accelerations used as an estimation of knee instability and loading transmission during gait in osteoarthritis patient's follow – up[J]. Osteoarthritis and Cartilage, 2009, 17(2): 213 – 219.
- [35] Sagawa Jr Y, Armand S, Lubbeke A, et al. Associations between gait and clinical parameters in patients with severe knee osteoarthritis: A multiple correspondence analysis[J]. Clinical Biomechanics, 2013, 28(3): 299 – 305.
- [36] Logoluso N, Champlon C, Melegati G, Dell'Oro F, et al. Gait analysis in patients with a preformed articulated knee spacer[J]. The Knee, 2011, 19(4): 370 – 2.
- [37] Wang H, Dugan E, Frame J, et al. Gait analysis after bi – compartmental knee replacement[J]. Clinical Biomechanics, 2009, 24(9): 751 – 754.
- [38] 姜淑云, 褚立希, 查建林. 理筋手法结合功能训练治疗膝骨关节炎的步态特征研究[J]. 中国康复医学杂志, 2011, 26(11): 1056 – 1059.
- [39] 查建林, 杨松滨. 理筋手法结合功能锻炼对膝骨性关节炎患者步态的改善作用[J]. 上海中医药杂志, 2011, 45(2): 35 – 37.
- [40] 李勇, 龚利. 步态分析在膝骨性关节炎中的应用[J]. 中医报, 2013, 28(4): 598 – 600.

(2014 – 08 – 08 收稿 责任编辑: 张文婷)