

· 综述 ·

## 三维步态分析在髋膝关节置换术中的应用<sup>△</sup>

赵伟<sup>1</sup>, 苏鹏<sup>2</sup>, 张力<sup>3\*</sup>, 李剑<sup>4</sup>

(1. 潍坊医学院, 山东潍坊 261021; 2. 北京信息科技大学机电工程学院, 北京 100192; 3. 国家康复辅具研究中心附属康复医院骨二科, 北京 100176; 4. 国家康复辅具研究中心, 北京 100176)

**摘要:** 缓解髋膝关节炎终末期和部分严重关节创伤所致疼痛及恢复关节功能和步态, 人工关节置换术是目前较好的治疗方法之一, 但术后仍可能存在一定程度的疼痛和异常步态。三维步态分析系统作为具有全面、客观、高精度、高效率等优点的步态评估手段, 目前已广泛应用于神经系统和运动系统等相关的临床研究, 借助该系统可精准测量并分析髋膝关节置换术前后运动过程中的生物力学和运动学数据, 为诊疗和康复训练提供客观数据支持。简述三维步态分析在髋膝关节置换术及后期康复训练过程中的应用, 为三维步态分析系统在优化髋膝关节置换术前、术中和术后治疗方案的进一步应用提供借鉴。

**关键词:** 三维步态分析, 髋关节, 膝关节, 关节置换, 术后康复

**中图分类号:** R687.4      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1005-8478 (2022) 20-1863-05

**Application of three-dimensional gait analysis in hip and knee arthroplasty // ZHAO Wei<sup>1</sup>, SU Peng<sup>2</sup>, ZHANG Li<sup>3</sup>, LI Jian<sup>4</sup>.** 1. Weifang Medical College, Weifang 261021, China; 2. School of Electromechanical Engineering, Beijing Information Science and Technology University, Beijing 100192, China; 3. Affiliated Hospital, National Research Center for Rehabilitation Assistive Devices, Beijing 100176, China; 4. National Research Centre for Rehabilitation Assistive devices, Beijing 100176, China

**Abstract:** For relieving pain and restoring joint function and gait of end-stage hip and knee arthritis and partial severe joint trauma, joint arthroplasty is one of the most effective treatments currently, despite of the fact that the patients may still have pain and abnormal gait in some extent postoperatively. Three-dimensional gait analysis system is a set of gait evaluation tool with the advantages of comprehensiveness, objectivity, high accuracy, high efficiency, and is widely used in the clinical research related to the human nervous system and motor system. With the help of this system, it does accurately measure and analyze the biomechanical and kinematic data during the movement process before and after hip and knee arthroplasty, providing data support for diagnosis, treatment and rehabilitation training. This paper briefly summarizes the application of three-dimensional gait analysis system in hip and knee arthroplasty and following rehabilitation training, providing a reference for the further application of three-dimensional gait analysis system in optimizing the preoperative, intraoperative and postoperative treatment plan.

**Key words:** 3-dimensional gait analysis, hip, knee, arthroplasty, postoperative rehabilitation

步行是日常生活中最常见的运动方式, 步态则是在整个步行过程中所表现的姿态及做出的一系列重复肢体动作。整个步行过程中, 上肢、躯干、骨盆、下肢及全身关节和肌群的协同运动使身体保持平衡, 任何一个或多个部位出现异常步态都可能发生改变。下肢骨关节炎终末期及严重的关节创伤所致的疼痛和部分运动功能受限常可引起明显的步态异常, 对于治疗, 关节置换术仍是目前较好的治疗方法之一, 可有

效缓解关节疼痛并恢复关节功能和步态<sup>[1-3]</sup>。运用计算机辅助技术和红外线摄像技术的三维步态分析是目前分析步态数据的常用方法, 有助于部分运动系统疾病的诊断与监测, 协助医师制定治疗和康复训练计划<sup>[4]</sup>。鉴于上述研究背景, 主要围绕三维步态分析在下肢髋膝关节置换术中的应用展开简要综述。

### 1 步态及步态分析的发展历程

DOI:10.3977/j.issn.1005-8478.2022.20.08

**△基金项目:** 国家自然科学基金项目(编号:52005120;52005045);北京市自然科学基金-海淀原始创新联合基金资助项目(编号:19L2018);民政部康复领域重点实验室及工程技术研究资助项目(编号:120603020072);中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(编号:120603020080)

**作者简介:** 赵伟, 研究生, 研究方向: 骨外科, (电话)15833849190, (电子信箱)zhaoweilw@126.com

**\*通信作者:** 张力, (电话)13621341365, (电子信箱)zhangli@nrcrta.cn

### 1.1 步态和步态周期

步态是人类步行的行为特征，是人体神经系统、运动系统及心理活动的综合外在表现。根据生物力学和医学临床研究表明，每个人独特的行走方式受人体全部关节和肌肉联合作用的影响，性别、年龄、体型及职业因素不同的人所表现出的步态也有所差异<sup>[5, 6]</sup>。研究者对健康人正常步态共性与特性的研究可以为分析异常步态提供参考<sup>[7, 8]</sup>。

在行走过程中，一只脚从足跟离地跨出，到再次足跟着地的整个过程称为步态周期。整个步态周期根据 RAL 八分法分成了初始着地期、承重反应期、支撑相中期、支撑相末期、摆动前期、摆动相早期、摆动相中期和摆动相末期 8 个典型动作姿势位点<sup>[9]</sup>。这种步态分期方法有利于研究者按照步行周期发生的顺序对每个关节和部位进行分析，发现患者在步行中异常的步态和时相。

### 1.2 步态分析的发展历程

人类对步态的研究经历了漫长的过程，照相机等摄影技术以及计算机的出现使步态分析得到飞速的发展。1978 年在坦桑尼亚发现的 360 万年前的足印化石可以说是关于步态最早的非文字记录<sup>[10]</sup>。而最早关于步态的文字记录可追溯至古希腊亚里士多德 (Aristotle) 在《De Motu Animalium》中关于动物步态的描述。19 世纪韦伯 (Willhelm Eduard Weber) 及其他同时期科学家借助计时器、卷尺、望远镜等仪器开始对人类步态进行更科学的实验研究，并绘制出首个步态周期姿势位点图和地面反作用力垂直分量图等。随着摄影技术的不断发展，众多科学家开始借助摄像来记录并研究动物及人类行走时的运动学形态，从二维平面的单次拍摄记录步态到借助盖斯勒电子管、音叉和测力板等设备的早期三维步态分析为现代基于计算机技术的三维步态分析开创了历史先河<sup>[11-12]</sup>。目前使用的三维步态分析系统借助光学运动捕捉系统通过摄像机、闪光灯、LED 标记及计算机等设备的组合对步行运动时各个特定部位的标记体进行三维重建和数据处理。此类系统在国内外已广泛应用于临床领域，如意大利 BTS 系统、美国 Motion analysis 系统、英国 Vicon 系统、瑞典 Qualisys 系统等。

## 2 三维步态分析系统在髋关节置换术方面的应用

髋关节炎及髋关节创伤在中老年人中发病率极高，并且由于人口老龄化和肥胖病的流行，其发病率仍不断增加，绝大多数有症状的患者具有手术指征，

给患者和社会带来沉重的负担<sup>[13]</sup>。全髋关节置换术 (total hip arthroplasty, THA) 是 20 世纪的主要外科进展之一，可显著减轻严重髋关节创伤、髋关节退行性疾病及股骨头坏死等患者的疼痛症状，并可以改善运动功能和步态。三维步态分析在 THA 术式的选择、术后效果评估、术后下肢不等长的分析及指导后期康复训练等方面具有一定的意义。

### 2.1 三维步态分析对 THA 术式的评估

THA 手术入路分为前入路、外侧入路、后入路及其他改良术式，手术方式对 THA 后的步态运动学和动力学方面的影响一直引起人们的关注。Petis 等<sup>[14]</sup>对使用 3 种 THA 基本术式共 30 例患者进行术前及术后 6、12 周的三维步态分析，三组患者在步速、步幅等时间参数上并无明显差异，但在支撑相期外侧入路组的骨盆倾斜度高于后侧入路组，躯干倾斜度高于其他两组，而外旋程度相比其他两组较低，可见不同手术入路的术后效果在运动学和动力学方面上的确存在差异。有研究报道直接前方入路与前外侧入路术后 3 个月内步态的对比，两组在步幅、步长和矢状面髋关节活动度方面无差异，但步速和髋关节屈曲峰值直接前方入路组显著高于前外侧入路组<sup>[15]</sup>。而 Thaler 等<sup>[16]</sup>认为直接前方入路组的患者在步频、步长和步幅等方面恢复都较前外侧入路组患者好。王浩洋等<sup>[17]</sup>对比直接前侧入路和后外侧入路 THA 后步态分析数据后也认为直接前入路的手术方式可以获得更好的手术效果，这种术式基本不影响髋关节周围特别是后方的肌肉，更有利于术后步态的恢复。

### 2.2 对 THA 术后下肢不等长的分析

由于假体部分并非完全与人体结构相同、术中假体组件定位不准确及术后患者活动情况等多种因素不定，患者常会出现双侧下肢不等长，若差异过大会出现明显的异常步态。临床上通常根据患者疼痛或不适程度的主诉进行评估，但这种评估方法主观性较强，而目前三维步态分析系统可以对术后下肢不等长的评估更客观化。Sato 等<sup>[18]</sup>通过分析肌肉强度和步态认为下肢长度差异不超过 20 mm 时髋关节肌肉力量无明显异常，但差异超过 20 mm 时会出现髋关节屈曲肌力减弱，进而导致步态异常。杨勇等<sup>[19]</sup>使用三维步态分析系统对 THA 术后下肢不等长与患者下肢功能和步态的关系进行研究，认为当患肢延长超过 10 mm 对髋关节功能和步态就有一定影响。甚至部分学者认为下肢长度差异超过 5 mm 便会出现明显的异常步态<sup>[20]</sup>。但迄今为止，还没有针对下肢长度差异影响步态和生活质量的标准指标。

### 2.3 指导THA后康复训练

一般THA术后3~7d可进行康复训练,康复过程中可能会因为患侧髌关节的疼痛、肌力异常或不规范训练等原因出现比较明显的异常步态。三维步态分析系统监测患者步态有利于医师制定和改进康复训练方案,帮助患者更好地恢复步态。Colgan等<sup>[21]</sup>对THA术后患者早期的三维步态数据及髌部肌肉功能进行分析后,认为早期的术后康复计划重点应放在髌部伸肌力量的训练上。而赵红莉等<sup>[22]</sup>建议对于术后恢复期的患者应该加强训练术侧髌部肌肉力量,特别是髌屈肌、髌外展肌肌力的训练。另外有研究发现在支撑相期间患侧内收肌长度明显短于健侧,建议先通过肌肉能量技术恢复内收肌的长度,再结合髌外展肌和内收肌肌力的训练纠正异常步态<sup>[23]</sup>。近年来,机器人辅助步态训练逐渐进入临床,部分研究表明该方法对于辅助患有脑瘫、帕金森等神经系统疾病的患者恢复行走能力及改善步态具有一定的帮助<sup>[24-25]</sup>,有学者通过RAGT辅助THA术后的患者进行康复训练,并借助三维步态分析系统和肌电图进行分析发现,使用RAGT进行训练可明显改善THA患者的步态、髌关节功能及活动范围<sup>[26]</sup>。

## 3 三维步态分析系统在膝关节置换术方面的应用

### 3.1 膝关节置换术后评估

膝关节骨关节炎是一种以退行性病理改变为基础的疾病,典型KOA患者的步态变化主要包括步态周期长、步频低、步长短、步速慢<sup>[27]</sup>。除此之外KOA对其他关节如髌关节、踝关节也有一定的影响<sup>[28]</sup>。

全膝关节置换是膝骨关节炎末期最常见的治疗方法。有研究证明TKA可减轻疼痛、改善关节功能,但术后仍可能存在步态异常如:术侧单支撑相时间和总支撑相时间均减少而摆动相时间增加、步行过程中术侧膝关节屈曲峰值明显小于非术侧膝关节等<sup>[29-31]</sup>。McGinnis等<sup>[32]</sup>认为术后步态的异常可能与TKA术后膝关节僵硬程度有关,而且通过三维步态分析数据初步验证了这一观点。相对于TKA,膝关节单髌置换术后膝关节的僵硬程度可能较轻。Agarwal等<sup>[33]</sup>使用三维步态分析系统对13例TKA患者和14例UKA患者进行了步态分析,数据显示UKA后膝关节的活动度明显大于TKA的患者,尤其在支撑相阶段,UKA患者比TKA患者具有更大的膝关节伸展度。Friesenbichler等<sup>[34]</sup>评估了18例TKA和18例UKA患者6个月后的股四头肌力量数据、时间-步态

参数及患者自述的术后结局(疼痛、功能、僵硬等情况),认为UKA患者比TKA患者在短期内股四头肌力量和步态更好,并且患者自我感觉膝关节疼痛程度和僵硬程度更低。与TKA相比符合UKA适应证的患者术后出现步态异常和功能障碍情况可能会更少一些。

### 3.2 评估3D打印技术在人工膝关节置换术中的应用

膝关节置换术的成败在于是否能够重建下肢力线和旋转对线,较为精准的重建对假体稳定、耐久度以及患肢功能和步态的恢复至关重要<sup>[35]</sup>。传统关节置换的方式主要依靠经验丰富的术者、定位器械来判断力线及截骨角度,难免因个人因素出现力线和旋转轴线的误差。三维(3D)打印也称为“快速原型制作”,借助这项迅速发展的技术可以轻松制造出针对不同患者的解剖模型,便于进行截骨方案的设计并打印出个性化的截骨导板,保证术中定位、定量及精准的截骨,有助于提高截骨及置入物放置的精确度<sup>[36-38]</sup>。但目前有关其辅助膝关节置换术后效果的评估,以及与传统关节置换术后效果对比的相关研究比较少。孙茂淋等<sup>[39,40]</sup>应用Vicon三维步态捕捉系统对3D打印导板辅助TKA术后患者进行研究,发现利用个性化截骨技术的TKA患者在摆动相膝关节最大屈曲角度比标准TKA术后患者要大,其他步态参数无明显差异。而吴瑞等<sup>[41]</sup>的研究显示,除了摆动相膝关节最大屈曲角度有差异外,两组患者在步长、步速、支撑相膝关节最小屈曲角度、支撑相膝关节最大屈曲角度上也存在一定差异。三维步态分析系统测定的术后患者步态轨迹特点及其他客观数据也许可以作为评估3D打印技术辅助关节置换术效果的依据,有助于进一步提高和完善该项技术在关节置换甚至骨科中的应用。

## 4 三维步态分析在髌膝关节置换术中应用的局限性

临床上评估髌膝关节置换术术后效果通常采用X线、CT等影像学方法及各类功能学评分表。影像学方法可直观观察患者术前术后解剖结构和下肢力线的改变情况,而作为静态图像却无法反应患者运动功能的改善情况。相关评分表虽有较为全面的患者感受和运动功能评分结构,但来自患者和评估者的主观性太强。所以,静态性与主观性是传统评估方法中最主要的两大弊端,而三维步态分析系统生成的完整步态客观数据恰恰可以弥补上述缺陷,三者结合可使髌膝关节置换术术后效果的评估更加完善。但作为数字化与

智能化的检测工具, 三维步态分析系统在评估髌膝关节置换术应用中也存在其自身和某些客观因素的局限性, 主要有以下几方面: (1) 三维步态分析对测试场地及设备的要求较高, 目前患者步态数据需要进入配有红外摄像头、测力台、计算机等诸多仪器设备的三维步态分析实验室进行采集。高成本及随访的不便性成为限制该技术普及的主要原因; (2) 专业性强, 三维步态分析包含了关节动力学、运动学、肌电等数据, 量大并且复杂, 需要长期专业化培训人员解读分析报告, 单凭骨科医生难以做到精准分析; (3) 存在测试数据误差。一方面部分患有严重的髌、膝关节疾病的患者难以独立行走, 需借助外力或助行器完成步态分析测试, 另一方面该类患者也可能存在多关节或周围软组织的异常, 关节置换前后的测试数据难免存在较大误差。另外, 荧光标记点在软组织上的相对移位也是造成三维步态分析测试误差的主要原因之一; (4) 缺乏完善的数据库。目前国内还没有统一的数据指标作为髌膝关节置换指证及术后功能康复程度的参数标准, 仅局限参照国外数据资料, 难免因年龄、性别、体型、人种等因素的不同产生误差和偏倚。

综上所述, 三维步态分析系统提供的高精度步态和生物力学数据在评估髌膝关节置换术治疗效果以及制定个性化术后康复方案等方面有着显著的作用。在未来的研究过程中, 如何建立国内步态数据库, 制定各关节运动学及动力学相关参数界值是进一步提升三维步态分析系统在骨关节临床领域应用价值的关键。目前国内已有部分医院建立了专业的三维步态分析实验室, 随着智能化与设备微型化的发展趋势, 该技术有望在下肢骨关节置换领域普及化, 推动髌膝关节置换技术的优化与发展。

### 参考文献

- [1] Robinson PD, McEwan J, Adukuia V, et al. Osteoarthritis and arthroplasty of the hip and knee [J]. *Br J Hosp Med (Lond)*, 2018, 79 (4): 54-59.
- [2] 王正雷, 王海斌, 刘建辉, 等. 人工股骨头置换术治疗老年粉碎性股骨粗隆间骨折 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2020, 28 (12): 1143-1145.
- [3] Price AJ, Alvand A, Troelsen A, et al. Knee replacement [J]. *Lancet*, 2018, 392 (10158): 1672-1682.
- [4] Baker R, Esquenazi A, Benedetti MG, et al. Gait analysis: clinical facts [J]. *Eur J Phys Rehabil Med*, 2016, 52 (4): 560-574.
- [5] Jarchi D, Pope J, Lee TKM, et al. A review on accelerometry-based gait analysis and emerging clinical applications [J]. *IEEE Rev Biomed Eng*, 2018, 11 (1): 177-194.
- [6] Maktouf W, Durand S, Boyas S, et al. Interactions among obesity and age-related effects on the gait pattern and muscle activity across the ankle joint [J]. *Exp Gerontol*, 2020, 140: 111054.
- [7] Cruz-Jimenez M. Normal Changes in Gait and Mobility Problems in the Elderly [J]. *Phys Med Rehabil Clin N Am*, 2017, 28 (4): 713-725.
- [8] 黄萍, 钟慧敏, 陈博, 等. 正常青年人三维步态: 时空及运动学和运动力学参数分析 [J]. *中国组织工程研究*, 2015, 19 (24): 3882-3888.
- [9] Perry J, Burnfield JM. Gait analysis normal and pathological function [M]. 姜淑云, 译. 上海: 上海科学技术出版社, 2017: 2-11.
- [10] Raichlen DA, Gordon AD, Harcourt-Smith WE, et al. Laetoli footprints preserve earliest direct evidence of human-like bipedal biomechanics [J]. *PLoS One*, 2010, 5 (3): e9769.
- [11] Baker R. The history of gait analysis before the advent of modern computers [J]. *Gait Posture*, 2007, 26 (3): 331-342.
- [12] Paul JP. History and fundamentals of gait analysis [J]. *Biomed Mater Eng*, 1998, 8 (3-4): 123-135.
- [13] Hunter DJ, Bierma-Zeinstra S. Osteoarthritis [J]. *Lancet*, 2019, 393 (10182): 1745-1759.
- [14] Petis S, Howard J, Lanting B, et al. Comparing the anterior, posterior and lateral approach: gait analysis in total hip arthroplasty [J]. *Can J Surg*, 2018, 61 (1): 50-57.
- [15] Yoo JI, Cha YH, Kim KJ, et al. Gait analysis after total hip arthroplasty using direct anterior approach versus anterolateral approach: a systematic review and meta-analysis [J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2019, 20 (1): 63.
- [16] Thaler M, Lechner R, Putzer D, et al. Two-year gait analysis controls of the minimally invasive total hip arthroplasty by the direct anterior approach [J]. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2018, 58 (1): 34-38.
- [17] 王浩洋, 康鹏德, 聂涌, 等. 直接前路全髌关节置换后早期三维步态分析 [J]. *北京大学学报*, 2017, 49 (2): 196-200.
- [18] Sato H, Maezawa K, Gomi M, et al. Effect of femoral offset and limb length discrepancy on hip joint muscle strength and gait trajectory after total hip arthroplasty [J]. *Gait Posture*, 2020, 77 (2): 276-282.
- [19] 杨勇, 程涛, 张先龙, 等. 全髌关节置换术后下肢不等长对功能和步态的影响 [J]. *中华关节外科杂志*, 2013, 7 (1): 60-63.
- [20] Renkawitz T, Weber T, Dullien S, et al. Leg length and offset differences above 5mm after total hip arthroplasty are associated with altered gait kinematics [J]. *Gait Posture*, 201, 49 (1): 196-201.
- [21] Colgan G, Walsh M, Bennett D, et al. Gait analysis and hip extensor function early post total hip replacement [J]. *Orthopedics*, 2016, 13 (3): 171-176.
- [22] 赵江莉, 毛玉琰, 郭培慧, 等. 单侧全髌关节置换术后患者下肢三维运动学特征分析 [J]. *中国康复医学杂志*, 2013, 28 (10): 909-913.
- [23] Hu X, Zheng N, Hsu WC, et al. Adverse effects of total hip arthroplasty on the hip abductor and adductor muscle lengths and moment arms during gait [J]. *J Orthop Surg Res*, 2020, 15 (1): 315.
- [24] Fundarò C, Maestri R, Ferriero G, et al. Self-selected speed gait

- training in Parkinson's disease: robot-assisted gait training with virtual reality versus gait training on the ground [J]. *Eur J Phys Rehabil Med*, 2019, 55 (4): 456-462.
- [25] Kawasaki S, Ohata K, Yoshida T, et al. Gait improvements by assisting hip movements with the robot in children with cerebral palsy: a pilot randomized controlled trial [J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2020, 17 (1): 87.
- [26] Koseki K, Mutsuzaki H, Yoshikawa K, et al. Gait training using the Honda Walking Assistive Device® in a patient who underwent total hip arthroplasty: a single-subject study [J]. *Medicina (Kaunas)*, 2019, 55 (3): 69.
- [27] Sparkes V, Whatling GM, Biggs P, et al. Comparison of gait, functional activities, and patient-reported outcome measures in patients with knee osteoarthritis and healthy adults using 3D motion analysis and activity monitoring: an exploratory case-control analysis [J]. *Orthop Res Rev*, 2019, 11 (1): 129-140.
- [28] Ro DH, Lee J, Lee J, et al. Effects of knee osteoarthritis on hip and ankle gait mechanics [J]. *Adv Orthop*, 2019, 2019: 9757369.
- [29] Wang ZH, Wang JC, Zheng S, et al. Three-dimensional gait characteristics of patients after unilateral total knee arthroplasty [J]. *Medicine (Baltimore)*, 2021, 100 (34): e26968.
- [30] Wu X, Chu L, Xiao L, et al. Early spatiotemporal patterns and knee kinematics during level walking in individuals following total knee arthroplasty [J]. *Healthc Eng*, 2017, 2017: 7056469.
- [31] De Vroey H, Staes F, Vereecke E, et al. Lower extremity gait kinematics outcomes after knee replacement demonstrate arthroplasty-specific differences between unicompartmental and total knee arthroplasty: a pilot study [J]. *Gait Posture*, 2019, 73 (2): 299-304.
- [32] McGinnis K, Snyder-Mackler L, Flowers P, et al. Dynamic joint stiffness and co-contraction in subjects after total knee arthroplasty [J]. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2013, 28 (2): 205-210.
- [33] Agarwal A, Miller S, Hadden W, et al. Comparison of gait kinematics in total and unicompartmental knee replacement surgery [J]. *Ann R Coll Surg Engl*, 2019, 101 (6): 391-398.
- [34] Friesenbichler B, Item-Glatthorn JF, Wellauer V, et al. Short-term functional advantages after medial unicompartmental versus total knee arthroplasty [J]. *Knee*, 2018, 25 (4): 638-643.
- [35] Castelli CC, Falvo DA, Iapicca ML, et al. Rotational alignment of the femoral component in total knee arthroplasty [J]. *Ann Transl Med*, 2016, 4 (1): 4.
- [36] 陈坚锋, 冯宗权, 李知浩. 3D打印定位钉导板在全膝关节置换术中的应用 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2021, 29 (9): 852-855.
- [37] Lei PF, Su SL, Kong LY, et al. Mixed reality combined with three-dimensional printing technology in total hip arthroplasty: an updated review with a preliminary case presentation [J]. *Orthop Surg*, 2019, 11 (5): 914-920.
- [38] Vaishya R, Patralekh MK, Vaish A, et al. Publication trends and knowledge mapping in 3D printing in orthopaedics [J]. *J Clin Orthop Trauma*, 2018, 9 (3): 194-201.
- [39] 孙茂淋, 杨柳, 何锐, 等. 3D打印导板辅助人工全膝关节置换术后患者步态分析 [J]. *中国修复重建外科杂志*, 2019, 33 (8): 953-959.
- [40] Sun ML, Zhang Y, Peng Y, et al. Gait analysis after total knee arthroplasty assisted by 3D-printed personalized guide [J]. *Biomed Res Int*, 2020, 2020: 6485178.
- [41] 吴瑞, 顾飞, 庄禄昌, 等. 3D打印导板辅助人工全膝关节置换术后早期疗效及对患者步态和功能的影响 [J]. *国际医药卫生导报*, 2020, 26 (18): 2710-2713.

(收稿:2021-12-01 修回:2022-04-14)

(同行评议专家:王明明)

(本文编辑:宁桦)