

DOI: 10.3969/j.issn.1005-8982.2020.23.008

文章编号: 1005-8982(2020)23-0036-06

综述

## 腰椎退行性疾病患者足底压力研究进展\*

梁明前, 王红

(暨南大学附属第一医院 康复科, 广东 广州 510630)

**摘要:** 对腰椎退行性疾病治疗或术后康复效果及预后的评估, 国内常常依据各类疼痛评分量表, 以及患者术后的转移能力、步行能力等来判断, 而国外则利用足底压力分析系统来获得患者的足底压力中心、各区域压力峰值、分布等足底压力参数, 通过与正常人的足底压力数据比较, 或者纵向比较患者数据, 从而判断术后的步态恢复及康复干预的疗效。

**关键词:** 腰椎退行性疾病; 足底压力; 步态

**中图分类号:** R681.5

**文献标识码:** A

## Research advance on plantar pressure analysis of degenerative lumbar diseases\*

Ming-qian Liang, Hong Wang

(Department of Rehabilitation Medicine, The First Affiliated Hospital of Jinan University, Guangzhou, Guangdong 510630, China)

**Abstract:** Domestic physicians determining the treatment and rehabilitation effect and prognosis evaluation of degenerative lumbar diseases after surgery are base on various pain-related rating scales and patient's postoperative metastatic ability, walking ability, etc. While in foreign countries, the plantar pressure analysis system is used to obtain the foot pressure parameters of the patient's plantar pressure center, max force and distribution in each region, and to compare the foot pressure data between patients and normal person, or to longitudinally analyze the patient's data, hence judging the efficacy of gait recovery and rehabilitation interventions in patient after surgery.

**Keywords:** degenerative lumbar disease; foot pressure; gaits

全球每年有 2.66 亿人 (3.63%) 罹患腰椎退行性疾病 (degenerative lumbar diseases, DLD), 包括腰椎滑脱症、腰椎间盘突出症 (lumbar disc herniation, LDH)、腰椎管狭窄症 (lumbar spinal stenosis, LSS) 等, 而低收入和中等收入国家的病例数是高收入国家的 4 倍<sup>[1]</sup>。该类疾病表现为不同程度的腰背疼痛、下肢放射痛、跛行, 严重者常需要手术治疗, 导致生活质量下降。足底压力分析系统可以获得该类患者的足底压力中心、各区域压力峰值、分布等足底压力参数, 通

过与正常人的足底压力数据比较, 或者纵向比较患者数据, 从而判断术后的步态恢复及康复干预的疗效。本文旨在通过综述 DLD 患者手术治疗后的足底压力研究最新进展, 进一步明确 DLD 的术后步态恢复机制, 为提高其术后康复干预效果提供理论基础。

### 1 DLD 患者的异常步态

DLD 的运动异常特点是步行功能障碍和姿势不稳定, 即使在静态的平衡中也普遍表现出较大的姿势

收稿日期: 2020-06-01

\* 基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助 (No: 21617486); 2018 年度省医学科研基金 (No: A2018242); 天河区科技计划项目 (医疗卫生专项) (No: 2018YT001)

[通信作者] 王红, E-mail: daxiaobaotwins@126.com

摇摆,尤其是前后方向的摇摆,似乎对平衡需求变化的适应性较差<sup>[2]</sup>。在生物力学上,由于踝关节周围区域的转动惯量较大,DLD患者常采用踝关节策略来保持较低的摆动幅度,从而稳定姿势;相反,当使用髋部策略时,上半身和下半身相对独立,患者上半身和下半身的转动惯量相对整体都有显著的降低,容易导致步态功能障碍<sup>[3]</sup>。

DLD在老年人中非常普遍,该类疾病可能由于椎管和神经根的压迫或椎体和小关节的退行性变化而导致腰椎的活动范围显著缩小、引起背部疼痛并放射到下肢,从而导致健侧足底压力不平衡、步行轨迹的变异程度大、步速减慢、步幅缩短等<sup>[1,4]</sup>。

许多老年人症状严重,持续恶化,日常生活明显受到限制,且通过常规保守治疗仍然无法解决,则需要通过手术治疗<sup>[5]</sup>。然而,更令人关注的是,术后患者仍有腰痛及姿势维持、步行功能障碍<sup>[6]</sup>,常需进行术后的专科康复治疗。目前DLD患者的疗效评估多采用主观性评价,如常用的视觉模拟评分法(visual analogue scale, VAS)、Oswestry功能障碍指数评分(Oswestry disability index, ODI)等。由于将生理、心理及行为本身作为混杂因素,结果不够客观精确,导致其在步态评估中的局限性<sup>[7]</sup>。相应的影像学检查虽然能较好地显示腰椎病变的形态学变化,却不能有效反映其功能障碍<sup>[8]</sup>。需要开发标准方法来评估腰背部疾病手术后的步态,以更准确地指导康复<sup>[9]</sup>。

足底压力是步态分析要素之一,是对步行时作用力与反作用力强度、方向、时间等因素的研究;而地面反作用力(ground reaction force, GRF)是步行动力学主要特征之一:正常步行时GRF呈双峰型,下肢承重能力降低或步行速度下降时,GRF双峰曲线降低或消失<sup>[10]</sup>。研究<sup>[11]</sup>发现,这类腰痛(low back pain, LBP)患者表现出姿势稳定性不足、足底压力分布异常。在行走时,由于腰腿疼痛和感觉减弱,可能表现出足底压力中心(center of pressure, COP)的摇摆路径在前后方向及内外侧不同程度地扩大,健侧COP呈非对称性分布,步速、步幅、步频和患侧支撑时间呈减少趋势<sup>[6,12]</sup>。另一方面,若躯体或足部相关部位出现病变,足底相关区域压力峰值及其分布则会发生变化,这种改变往往较临床症状、体征出现更早,有助于对疾病发展趋势作出及时推断,以便更好地对疾病进行康复介入和治疗<sup>[13]</sup>。足底压力分析研究<sup>[14]</sup>发现,上述患者的足底压力分布与正常人比较有差异,特征性的足底压力分布表明足底压力分析或许可以成为了解DLD

患者的一个合理的指标。

## 2 DLD患者的足底压力特征

一项研究<sup>[15]</sup>利用足底压力测量系统对32例下肢放射痛的腰椎间盘突出患者进行检测,分析受试者足底各区域受力时间及足底各区域压力峰值间的差异,发现疼痛明显放射到一侧下肢的LDH患者,健、患足足底各区域压力峰值与正常人比较,足底压力分布均呈现一定的特征性改变:患足第4、5跖骨及足跟外侧区域的压力峰值较健足明显降低,患侧足底各区域与地面接触时间百分比低于健侧和正常成人;ALEKSANDRA等<sup>[3]</sup>以50例LSS患者和48例对照为研究对象,通过对闭眼静站时平衡反应参数的定量分析,评价静态平衡,结果COP各方向的路径参数及偏移面积明显大于对照组;SASAKI等<sup>[16]</sup>研究32例女性LSS患者安静站立时的COP变化,结果表明,诱发神经源性间歇性跛行后COP总路径长度明显增加。MOK等<sup>[17]</sup>发现,LBP患者使用髋关节控制姿势的能力下降,转而踝关节策略占主导,将身体姿势摇摆限制在较小的区域和较低的运动速度。显然,与对照组比较,患者COP偏移的各参数值明显更大,提示DLD可能导致姿势控制的恶化,患者长期代偿性的行为模式可能会严重影响平衡系统。

目前提供的足底压力证据对研究DLD的步态模式很有用,该类患者在运动时会出现步态上的变化,可表现为足底压力的异常变化,部分学者将之称为“姿势代偿”。腰椎间盘突出压迫相关神经,引发严重的下腰痛,疼痛所致腰椎、骨盆空间位置异常及强迫姿势和肌肉张力升高又会额外产生局部疼痛,而患者为避免运动时产生疼痛,会采取不对称的姿势负荷模式<sup>[11,18]</sup>,错误的运动模式进一步导致软组织损伤及肌肉萎缩,加剧椎间盘退行性变,最终形成恶性循环<sup>[11]</sup>。根据这一变化,更能强调腰背部肌肉的训练以及加强下肢运动的必要性,对患者的足底压力分布进行定量评估,可以为DLD的康复评估提供可靠的参考方案<sup>[12]</sup>。

由此可见,在评估该类患者时,足底压力非对称性的负荷模式可能反映全身性或局部性下肢病变,并且是椎间盘病变严重程度的“风向标”,能有效预测恶化风险及评估康复的治疗效果<sup>[12,19]</sup>。

## 3 DLD患者术后的足底压力特征

### 3.1 术后足底压力分布的变异性减少

PAO等<sup>[20]</sup>的研究表明腰椎下段椎间盘病变患者

术后下肢负荷存在差异, 经过短期的康复干预后下肢负荷明显改善, COP 轨迹的面积及变异性不断减少, 健患侧趋于平衡。另一项研究<sup>[21]</sup>则发现单侧下肢疼痛的 LSS 老年患者的步态模式变异性明显大于正常人, 且减压术后随访证实随着 ODI 评分、6 min 步行试验分级提高, 步态的变异性不断减少, 对称性趋稳。TOOSIZADEH 等<sup>[9]</sup>检索 LSS 患者减压术后步态变化相关研究, 表明狭窄减压治疗后追踪患者行走的对称性、平稳性和规律性、躯干摆动得到改善, 足部压力冲量减少, 术后随访 1 年, 步态变异性明显减少, 且较术前更加接近健康人的步态变异性数据, 表明足底压力测量的相关参数可以成为术后长期随访的可靠指标。

长期以来腰背部疼痛、患肢的放射痛及错误的代偿姿势, 导致躯干失协调、患肢承重能力受损<sup>[10]</sup>。尽管僵化的行为模式在手术治疗后会有所改善, 但仍可能会在较长一段时间内干扰平衡系统的正确反应<sup>[22]</sup>。对 DLD 患者双侧足底压力的动态检测, 发现健、患侧肢体的足底压力参数的变化均有一定的规律性可寻, 通过比较术前、术后动态压力各项参数的变化规律, 可从生物力学角度分析和评定治疗效果<sup>[21]</sup>。因此, 严重的腰椎间盘突出疾病确实导致机体平衡障碍、足底压力变异性升高等情况, 通过手术改变腰椎的生物力学关系, 或许可以减少姿势平衡和足部负荷的干扰<sup>[23]</sup>。另外, 术后的康复干预过程, 足底压力分布特征不断变化<sup>[21]</sup>, 基于这些信息, 可通过改变鞋类、足矫形器、锻炼方案和负重限制来不断完善患者的康复管理方案, 这种“定制式”策略非常符合术后患者的步态康复需求<sup>[24]</sup>。因此, DLD 患者在术后应该主动参与康复治疗, 包括训练平衡、协调和神经肌肉控制<sup>[22]</sup>。

### 3.2 术后双足 COP 对称性逐步改善

一项荟萃分析表明, 平衡运动干预训练显著缩短动态下的 COP 总摇摆路径长度和前后路径、内外侧路径长度。双足站立测试同样显示平衡运动干预后总的和前后摇摆路径长度的缩短<sup>[12]</sup>。另外, 一项研究报道 48 例经皮椎间孔镜术后患者进行躯干肌的针对性运动康复, 并追踪患者的步态数据, 发现康复运动组与对照组的左右支撑相比值较术前增大, 且术后半年康复运动组的左右支撑相比值更接近 1。COP 摇摆路径的缩短及对称性的趋稳提示术后结合康复训练后姿势控制的稳定性增强, 双足间达到相对平衡状态, 证实评估步态的对称性来进行术后的康复追踪实用性更强<sup>[25]</sup>。

因此, 术后的长期随访也需要类似足底压力分析这种便捷、高效的跟踪仪器, 不断反馈患者的步态信息, 从而完善康复策略, 精准锻炼局部受损部位<sup>[19]</sup>。

然而, 值得注意的是, 由于早前的研究缺乏对 LDH 患者术后早期姿势平衡和足底压力不对称的探索, SIPKO 等<sup>[23]</sup>收集 40 例 LDH 患者手术前后 3 d 的足压数据, 发现术后疼痛侧和非疼痛侧压力负荷的明显不对称性程度较术前无差异, 且非疼痛侧的足部负荷更大; 并得出术后短期并没有改变足底压力分布的不对称性的结论。在 BOUCHE 等<sup>[26]</sup>的研究中, 与对照组比较, 椎间盘突出患者在手术治疗后维持姿势平衡的能力仍然不足。根据 LEINONEN 等<sup>[27]</sup>认为患者姿势控制和本体感觉均受损, 手术治疗提高本体感觉, 却没有即刻提高姿势控制能力。但是值得肯定的是, 手术后, 该受试者迅速获得良好的条件, 以利用重新建立的本体感受功能。因此, 如果不是因为保留了不正确的代偿性运动模式和缺乏靶向治疗来帮助巩固正确的运动模式, 应该在术后几个月体现正常的姿势稳定性<sup>[19, 28]</sup>。

实际上, 术后需要针对性的平衡姿势训练以及一定的恢复周期, 足底压力分析通过反映术后的姿势平衡控制问题, 可以更好地反馈到后期的评估与康复训练当中<sup>[12]</sup>。这种术后对患者足底压力的即时检测与前面所述的“姿势代偿”理论相呼应, 即手术的确改变了腰椎的生物力学关系, 从而减少对姿势平衡和足部负荷的干扰, 然而术前代偿性的不对称姿势控制模式在术后短期的延续效应(疼痛未完全缓解, 腰骶部本体感受处于恢复阶段, 骨盆、腰椎的空间位置异常等所致)<sup>[23]</sup>, 决定 DLD 患者姿势控制需要更多时间来恢复<sup>[29]</sup>。

### 3.3 术后 COP 轨迹的各方向振幅减少

一项评估<sup>[11]</sup>严重症状的 LDH 患者闭眼状态下的 COP 平均振幅、矢状面 COP 平均振幅和最大振幅均较健康成人高, 具有统计学意义, 表明 DLD 患者的姿势控制能力下降。且多项研究<sup>[11, 30-31]</sup>均发现该类患者的矢状面 COP 振幅受显著影响。不难理解, 腰背部的疼痛往往会使躯体倾向于用踝关节维持平衡的策略以降低髋关节的转动惯量对躯干的直接影响, COP 轨迹扩大的原因可能是使用髋关节策略维持平衡的能力有限<sup>[11]</sup>, 踝关节具有更大的运动自由度, 从而使矢状位的运动方向增高更明显<sup>[31]</sup>。

一项纵向研究<sup>[5]</sup>招募 LDH 老年人 70 例和健康

老年人 30 例,采用前后方向的 COP 均方根值 (RMS) 对所有参与者进行平衡控制评估。试验组在术前 (基线)、术后 3 个月、6 个月和 12 个月进行评估,手术后 VAS、ODI 评分明显改善,术后 COP 的均方根值较基线明显减小,尤其是术后 6 个月和 12 个月,但仍明显大于健康对照组。表明 LDH 患者术后平衡控制、疼痛和功能活动均有改善。然而,从术后 6 个月到 12 个月,腰椎间盘突出症患者的平衡控制仍然不如年龄匹配的健康成年人稳定。因此,DLI 患者在腰椎手术后需要进行康复干预,包括步态评估和术后步态训练<sup>[12]</sup>。

研究分析<sup>[22]</sup>均表明,平衡运动干预后检测 DLD 患者在闭眼及睁眼的情况下,总摇摆路径长度/速度和前后方向的摇摆路径长度/速度明显缩短或下降。尽管在评估和测量方面存在一定的差异,但可以确定的是,平衡运动训练使得传出神经肌肉和感觉输入功能改善,进而将姿势摇摆限制在较小的区域及较稳定的轨迹,随之减少对姿势矫正的需求,证实适当的康复训练对控制姿势的有效性。

#### 3.4 COP 与腰椎动力学及骨盆运动的关系

临床研究者越来越侧重于脊柱、骨盆及下肢的量化参数和空间三维变化特征的研究,进一步探讨 DLD 发生的原因和客观量化的临床疗效评价方法<sup>[32]</sup>。人在腰痛时会出现防卫性的反射,为增加自身的稳定性,人在步行时可能出现代偿性的姿势改变,从而造成腰椎曲度与骨盆、下肢姿势关系的改变<sup>[33]</sup>。因此通过测量 DLD 患者动力学步态参数、步行时空参数、步态模式来检测其运动性能改善<sup>[9]</sup>。

SOLOMONOW-AVNON 等<sup>[33]</sup>构建 COP 与腰椎动力学间的线性混合效应模型,证实 COP 是冠状位和矢状位腰椎力矩参数的显著预测因子,所有矢状位及冠状位的脊柱、骨盆的运动学和动力学以及躯干相关肌肉的运动都可受到 COP 轨迹、GRF 2 处峰值的影响。腰椎力矩可以直接指示腰椎承受的负荷,因此可以通过 COP 位移来确定需要控制的参数<sup>[34]</sup>。

一项研究<sup>[35]</sup>通过对腰椎管狭窄减压术后经过 2 周平衡干预训练的患者步行中椎旁肌肉、股外侧肌的检测发现:①术前患者在症状诱发性步行后胸角 (躯干前屈程度)、骨盆前倾角明显增大,而减压术后患者症状诱发性步行前后的胸角 (躯干前屈程度)、骨盆前倾角均较术前变小;②椎旁肌肉激活减少,股外侧肌激活增加,与患者的术后步速增加有很好的相关性。这可能是由于 LSS 患者躯干前屈增大,黄韧带得

到伸展使得椎管变宽<sup>[36]</sup>,行走时躯干前屈是 LSS 患者的一种适应性的姿势调整,手术后椎旁肌肉激活减少,反映躯干直立状态的恢复;股外侧肌肉激活增加,对应步频、步速和膝关节角度也增大,步态的变化与上述变化产生良好的对应关系。TAKAHASHI 等<sup>[37]</sup>检测 LSS 患者行走时硬膜外压 (82.8 mmHg) 明显高于正常受试者 (34.2 mmHg),而 LSS 患者腰椎屈曲度增大时硬膜外压降低至 36.8 mmHg。因此,脊柱俯屈程度可以反映 LSS 患者的硬膜外压力,从而判断腰椎管狭窄的严重程度。

另外一项脊柱融合术后长达 6 个月的随访研究<sup>[8]</sup>表明,在步态的立姿阶段,患者的生活质量得到改善,无痛步行距离、步行速度、步长和最大髋部伸展量均有所增加。术后骨盆前倾和脊柱前倾度逐步降低,并与 VAS 评分、ODI 评分呈正相关。然而,脊柱融合手术在提高了椎体稳定性的同时,也失去部分椎体阶段的功能及限制躯干矢状面的屈曲。可以看到,详细的足底压力和躯干 ROM 评估有助于医护人员对腰椎手术影响日常生活活动的进一步认识,并可能帮助临床医生预测和避免出现其他问题。

DLD 术后腰痛及姿势维持、步行功能障碍未能即刻改善,常需进行术后的专科康复治疗<sup>[6, 38]</sup>。显然,如果不了解姿势损伤的原因,就很难制订一个有效的康复方案来纠正平衡缺陷。以上研究表明,DLD 术后足底压力分布变异性、COP 对称性、COP 轨迹的各方面振幅的减少以及对腰椎动力学及骨盆运动的量化反应,证实各种足底压力分析参数可用于检测与神经紊乱和肌肉骨骼相关的步态障碍。但不同诊断的患者可能存在相似的姿势损伤,导致足底压力变化相似。具有相同病理特征的患者也可能因为姿势损伤的不一致性,会出现不同的足底压力分析结果<sup>[20]</sup>,未来的研究应朝此方向努力。最后值得注意的是,针对 DLD 患者的生物力学测试不应取代全面的临床检查,而应作为辅助性的补充检测手段<sup>[4]</sup>。

#### 参 考 文 献:

- [1] RAVINDRA V M, SENGLAUB S S, RATTANI A, et al. Degenerative lumbar spine disease: estimating global incidence and worldwide volume[J]. *Global Spine Journal*, 2018, 8(8): 784-794.
- [2] LIN Y, NIU C, NIKKHOO M, et al. Postural stability and trunk muscle responses to the static and perturbed balance tasks in individuals with and without symptomatic degenerative lumbar disease[J]. *Gait & Posture*, 2018, 64: 159-164.

- [3] ALEKSANDRA T, JUSTYNA D G, ZBIGNIEW T, et al. A comparative analysis of static balance between patients with lumbar spinal canal stenosis and asymptomatic participants[J]. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 2014, 37(9): 696-701.
- [4] STIEF F, MEURER A, WIENAND J, et al. Effect of lumbar spinal fusion surgery on the association of self-report measures with objective measures of physical function[J]. *Gait & Posture*, 2018, 61: 7-12.
- [5] WONG W J, LAI D M, WANG S F, et al. Changes of balance control in individuals with lumbar degenerative spine disease after lumbar surgery: a longitudinal study[J]. *Spine J*, 2019, 19(7): 1210-1220.
- [6] PRZYSADA G, GUZIK A, ROSAK-MATUSZEWSKA I, et al. Posture control in patients with herniated nucleus pulposus in cervical and lumbosacral spine subjected to operative treatment[J]. *J Back Musculoskelet Rehabil*, 2018, 31(5): 795-802.
- [7] SHAHVARPOUR A, GAGNON D, PREUSS R, et al. Trunk postural balance and low back pain: reliability and relationship with clinical changes following a lumbar stabilization exercise program[J]. *Gait & Posture*, 2018, 61: 375-381.
- [8] STIEF F, MEURER A, WIENAND J, et al. Has a mono- or bisegmental lumbar spinal fusion surgery an influence on self-assessed quality of life, trunk range of motion, and gait performance[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2015, 40(11): e618-e626.
- [9] TOOSIZADEH N, YEN T C, HOWE C, et al. Gait behaviors as an objective surgical outcome in low back disorders: a systematic review[J]. *Clinical Biomechanics*, 2015, 30(6): 528-536.
- [10] 励建安, 孟殿怀. 步态分析的临床应用[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2006(7): 500-503.
- [11] TRUSZCZYŃSKA A, DOBRZYŃSKA M, TRZASKOMA Z, et al. Assessment of postural stability in patients with lumbar spine chronic disc disease[J]. *Acta Bioeng Biomech*, 2016, 18(4): 71-77.
- [12] LOW D C, WALSH G S, ARKESTEIJN M. Effectiveness of exercise interventions to improve postural control in older adults: a systematic review and meta-analyses of centre of pressure measurements[J]. *Sports Medicine*, 2017, 47(1): 101-112.
- [13] KUWAHARA W, DEIE M, FUJITA N, et al. Characteristics of thoracic and lumbar movements during gait in lumbar spinal stenosis patients before and after decompression surgery[J]. *Clinical Biomechanics*, 2016, 40: 45-51.
- [14] MENZ H B, DUFOUR A B, RISKOWSKI J L, et al. Foot posture, foot function and low back pain: the framingham foot study[J]. *Rheumatology*, 2013, 52(12): 2275-2282.
- [15] 曹娟娟, 夏清, 曹晓光. 腰椎间盘突出症患者的足底压力分布研究[J]. *中国康复*, 2015, 30(1): 27-30.
- [16] SASAKI K, SENDA M, KATAYAMA Y, et al. Characteristics of postural sway during quiet standing before and after the occurrence of neurogenic intermittent claudication in female patients with degenerative lumbar spinal canal stenosis[J]. *J Phys Ther Sci*, 2013, 25(6): 675-678.
- [17] MOK N W, BRAUER S G, HODGES P W. Hip strategy for balance control in quiet standing is reduced in people with low back pain[J]. *Spine*, 2004, 29(6): e107-e112.
- [18] SANTOS F G, CARMO C M, FRACINI A C, et al. Chronic low back pain in women: muscle activation during task performance[J]. *J Phys Ther Sci*, 2013, 25(12): 1569-1573.
- [19] JANSSENS L J L, BRUMAGNE S B S, CLAEYS K C K, et al. Proprioceptive use and sit-to-stand-to-sit after lumbar microdiscectomy: the effect of surgical approach and early physiotherapy[J]. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2016, 32: 40-48.
- [20] PAO J L, YANG R S, HSIAO C H, et al. Trunk control ability after minimally invasive lumbar fusion surgery during the early postoperative phase[J]. *J Phys Ther Sci*, 2014, 26(8): 1165-1171.
- [21] BYRNES S K, NÜESCH C, LOSKE S, et al. Inertial sensor-based gait and attractor analysis as clinical measurement tool: functionality and sensitivity in healthy subjects and patients with symptomatic lumbar spinal stenosis[J]. *Front Physiol*, 2018, 9: 1095.
- [22] TRUSZCZYŃSKA A, DRZAŁ-GRABIEC J, TRZASKOMA Z, et al. Static balance after surgical decompression of lumbar spinal canal stenosis[J]. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*, 2015, 28(4): 865-871.
- [23] SIPKO T, CHANTSOULIS-SUPINSKA M, ZMUDA M, et al. Postural balance in the early post-operative period in patients with intervertebral disk disease following surgery[J]. *Ortop Traumatol Rehabil*, 2008, 10(3): 226-237.
- [24] ORLIN M N, MCPOIL T G. Plantar pressure assessment[J]. *Physical Therapy*, 2000, 80(4): 399-409.
- [25] 钟毓贤, 丁宇, 刘金玉, 等. 腰椎经皮椎间孔镜围手术期运动康复和步态分析的临床研究[J]. *中国骨伤*, 2018, 31(4): 311-316.
- [26] BOUCHE K, STEVENS V, CAMBIER D, et al. Comparison of postural control in unilateral stance between healthy controls and lumbar discectomy patients with and without pain[J]. *Eur Spine J*, 2006, 15(4): 423-432.
- [27] LEINONEN V, KANKAANPÄÄ M, LUUKKONEN M, et al. Lumbar paraspinal muscle function, perception of lumbar position, and postural control in disc herniation-related back pain[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2003, 28(8): 842-848.
- [28] SIPKO T, CHANTSOULIS M, KUCZYŃSKI M. Postural control in patients with lumbar disc herniation in the early postoperative period[J]. *European Spine Journal*, 2010, 19(3): 409-414.
- [29] OBA H, TAKAHASHI J, TSUTSUMIMOTO T, et al. Predictors of improvement in low back pain after lumbar decompression surgery: prospective study of 140 patients[J]. *Journal of Orthopaedic Science*, 2017, 22(4): 641-646.
- [30] BRUMAGNE S, JANSSENS L, JANSSENS E, et al. Altered postural control in anticipation of postural instability in persons with recurrent low back pain[J]. *Gait & Posture*, 2008, 28(4): 657-662.
- [31] MOCHIZUKI L, DUARTE M, AMADIO A C, et al. Changes in postural sway and its fractions in conditions of postural instability[J]. *Journal of Applied Biomechanics*, 2006, 22(1): 51-60.

- [32] SOLOMONOW-AVNON D, HERMAN A, GIWNEWER U, et al. Trunk kinematic, kinetic, and neuro-muscular response to foot center of pressure translation along the medio-lateral foot axis during gait[J]. *Journal of Biomechanics*, 2019, 86: 141-148.
- [33] SOLOMONOW-AVNON D, LEVIN D, ELBOIM-GABYZON M, et al. Neuromuscular response of hip-spanning and low back muscles to medio-lateral foot center of pressure manipulation during gait[J]. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 2016, 28: 53-60.
- [34] GOTO T, SAKAI T, ENISHI T, et al. Changes of posture and muscle activities in the trunk and legs during walking in patients with lumbar spinal stenosis after decompression surgery. a preliminary report[J]. *Gait & Posture*, 2017, 51: 149-152.
- [35] KOSAKA H, SAIRYO K, BIYANI A, et al. Pathomechanism of loss of elasticity and hypertrophy of lumbar ligamentum flavum in elderly patients with lumbar spinal canal stenosis[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2007, 32(25): 2805-2811.
- [36] TAKAHASHI K, KAGECHIKA K, TAKINO T, et al. Changes in epidural pressure during walking in patients with lumbar spinal stenosis[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 1995, 20(24): 2746-2749.
- [37] PALMIERI R M, INGERSOLL C D, STONE M B, et al. Center-of-pressure parameters used in the assessment of postural control[J]. *Journal of Sport Rehabilitation*, 2002(1): 51-66.

(张西倩 编辑)

本文引用格式: 梁明前, 王红. 腰椎退行性疾病患者足底压力研究进展 [J]. *中国现代医学杂志*, 2020, 30(23): 36-41.