

腰椎间盘突出症病人经椎间孔镜手术前后步态与 站立平衡稳定性研究 *

柯鹏辉 韩刘虎 胡 军 张荣宜 宋 阳 朱本藩 郭雨雨 王立奎[△]

(安徽医科大学第一附属医院疼痛科, 合肥 230022)

摘 要 目的: 探讨腰椎间盘突出症 (lumbar disc herniation, LDH) 病人经皮椎间孔镜腰椎间盘切除术 (percutaneous transforaminal endoscopic discectomy, PTED) 前后步态与站立平衡稳定性。**方法:** 选取 2020 年 8 月至 2021 年 8 月在我院疼痛科进行 PTED 的 LDH 病人 82 例; 另外招募 82 名没有影响平衡能力的神经和运动系统疾病的健康人作为健康对照组。采用日本骨科协会 (Japanese Orthopaedic Association, JOA) 腰背痛评价问卷评估病人术前及术后 1 年腰椎功能变化, 采用疼痛视觉模拟评分法 (visual analogue scale, VAS) 评估病人术前及术后 1 年疼痛状态。采用步态分析仪分析病人术前及术后行走步态及平衡稳定性, 并分析 VAS 评分和 JOA 腰椎评分分别与步态和稳定性参数的相关性。**结果:** LDH 组术后与术前的 VAS 评分和 JOA 腰椎评分、步速、步长、步频、单足支撑相比较差异有统计学意义 ($P < 0.05$), LDH 组术前与健康对照组的步速、步长、步频、单足支撑相比较差异有统计学意义 ($P < 0.05$), PTED 术后步频、单足支撑相与健康对照组比较差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 但步速、步长差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。术前、术后及健康对照组间足底压力中心 (center of pressure, COP) 路径长度、90% COP 包络面积差异均有统计学意义 ($P < 0.05$)。JOA 腰椎评分与步速 ($R^2 = 0.513, P < 0.05$) 和步长 ($R^2 = 0.602, P < 0.05$) 显著相关, 且与步频、单足支撑相、90% COP 包络面积相关 ($P < 0.05$), 与 COP 路径长度不相关。VAS 评分与步长 ($R^2 = 0.602, P < 0.05$) 显著相关, 且与步速、单足支撑相、90% COP 包络面积相关 ($P < 0.05$), 与步频、COP 路径长度不相关。**结论:** LDH 病人行 PTED 术后步态及平衡稳定性均有明显的改善, 但与正常人仍然有差别。JOA 腰椎评分和 VAS 评分可以反映 LDH 病人步态损伤但不能完全反映平衡能力。

关键词 步态分析; 平衡稳定性; 经皮椎间孔镜腰椎间盘切除术; 腰椎间盘突出症

Gait kinetics and postural balance before and after percutaneous transforaminal endoscopic discectomy in patients with lumbar disc herniation *

KE Penghui, HAN Liuhu, HU Jun, ZHANG Rongyi, SONG Yang, ZHU Benfan, GUO Yuyu, WANG Likui[△]

(Department of Pain Management, The First Affiliated Hospital of Anhui Medical University, Hefei 230022, China)

Abstract Objective: To investigate gait kinetics and postural balance in patients with lumbar disc herniation (LDH) before and after percutaneous transforaminal endoscopic discectomy (PTED). **Methods:** Eighty-two LDH patients who underwent PTED in our hospital from August 2020 to August 2021 were selected; In addition, 82 healthy people without neurological and motor system diseases that affect the balance ability were recruited as the control group. All LDH patients were evaluated with Japanese Orthopaedic Association (JOA) scoring systems before and 1 year after the PTED, and the degree of pain of the patients was evaluated by the visual analogue scale (VAS). Gait analysis system was used to analyze the gait and postural balance of patients before and one year after operation. The correlation of gait and postural balance parameters with VAS scores and JOA scores was analyzed respectively. **Results:** There were statistically significant differences in VAS score, JOA score, walking speed, step length, cadence and single-limb support phase between LDH patients before

* 基金项目: 国家自然科学基金 (81901086)

[△] 通信作者 王立奎 wlk9560@163.com



and after operation ($P < 0.05$), and there were statistically significant differences in walking speed, step length, cadence and single-limb support phase between PTED preoperative group and control group ($P < 0.05$). There were statistically significant differences in cadence and single-limb support phase between PTED postoperative group and control group ($P < 0.05$), but without statistically significant differences in walking speed and step length ($P > 0.05$). There were significant differences in center of pressure (COP) path length and 90% COP postural sway area between before and after operation and the control group ($P < 0.05$). JOA score was significantly correlated with speed ($R^2 = 0.513$, $P < 0.05$), step length ($R^2 = 0.602$, $P < 0.05$), cadence, single support duration, and 90% COP postural sway area ($P < 0.05$), but not with COP path length ($P > 0.05$). VAS score was significantly correlated with step length ($R^2 = 0.602$, $P < 0.05$), speed, single support duration, and 90% COP postural sway area ($P < 0.05$), but not with cadence and COP path length ($P > 0.05$). **Conclusion:** The gait and postural balance of LDH patients after PTED are improved obviously, but there are still differences between patients after operation and normal people. JOA and VAS scores can reflect the gait impairment of LDH patients, but cannot well reflect the postural balance.

Keywords gait analysis; postural balance; percutaneous transforaminal endoscopic discectomy; lumbar disc herniation

腰椎间盘突出症 (lumbar disc herniation, LDH) 是临床常见病, 门诊主诉腰腿痛的病人中, LDH 病人高达 36%^[1]。LDH 对神经根的机械性压迫和炎性刺激会导致放射痛和神经功能障碍, 从而引起步态的异常。目前经皮椎间孔镜腰椎间盘切除术 (percutaneous transforaminal endoscopic discectomy, PTED) 已经被广泛应用于脊柱病变, 其具有创伤小、恢复快、疗效肯定等优点^[2]。对于脊柱手术效果的评价广泛采用各种评分量表, 如日本骨科协会 (Japanese Orthopaedic Association, JOA) 腰背痛评价问卷、疼痛视觉模拟评分法 (visual analogue scale, VAS) 评分等。但此类量表容易受到病人主观意识、文化程度、心理状态的影响。病人的行走步态和平衡稳定性与病人的生活质量息息相关, 步态分析所提供的步态和稳定性参数为 LDH 病人的手术临床效果评价提供了客观依据。有文献报道 JOA 腰椎评分与步态之间存在显著相关性^[3], 肯定了步态在脊柱病变病人中的诊疗作用。平衡能力对于人体进行站立、行走和完成各种动作具有重要意义。脊柱在维持人体平衡方面起着重要作用, 腰椎间盘突出导致的双腿疼痛和肌肉力量减弱会影响平衡。近年来足底压力中心 (center of pressure, COP) 的运动已经被广泛用于评估人体的平衡稳定性^[4], 已有研究表明 COP 可以用来预测跌倒风险^[5]。LDH 病人存在独特的步态特征^[1]和平衡能力减弱^[6], 但目前尚无研究将步态分析和平衡稳定性用于 LDH 病人 PTED 术后的评价。本研究拟应用步态分析和平衡能力测试来评估椎间孔镜的手术效果, 并分析步态参数、稳定性参数与 JOA 腰椎评分和 VAS 评分的相关性。

方 法

1. 一般资料

本研究通过安徽医科大学第一附属医院伦理委员会审核 (伦理批号 PJ2022-12-38), 选取安徽医科大学第一附属医院疼痛科 2020 年 8 月至 2021 年 8 月收治的符合纳入标准的 LDH 病人 82 例; 另外招募 82 名无腰椎病变的健康人作为健康对照组。

纳入标准: ①符合腰椎间盘突出症诊断; ②保守治疗 3 个月以上无效; ③腰痛伴下肢疼痛但仍可独立行走; ④签署知情同意书。

排除标准: ①患有严重心血管等内科疾病; ②有神经性疾病或其他严重下肢疾病; ③患有前庭疾病或因视力原因等影响步行; ④患有其他疾病影响认知功能或步行姿势。

健康对照组纳入标准: 没有影响平衡能力的神经和运动系统疾病。

2. 治疗方法

(1) 手术方法: 病人取屈髋屈膝侧卧位, 腰下垫软枕固定于手术床上。术野常规消毒铺巾, 0.5% 利多卡因局部麻醉后由影像引导下循椎间孔入路将穿刺针进至椎间隙后缘, 正位片上穿刺针尖位于上关节突尖, 侧位片穿刺针尖位于上关节突前下缘, 予以注射 1% 利多卡因 10 ml, 置入导丝及导引杆, 给予三级套管及环锯行椎间孔成形至椎间孔, 置入工作套管并放置内镜, 内镜下应用剪刀及抓钳去除增生黄韧带, 暴露神经根, 摘除突出或脱出压迫神经根的髓核, 使用射频电极热凝进行分离电凝, 然后对纤维环进行热凝成形, 手术结束标准为神经根

血管充盈良好,搏动良好,直腿抬高试验神经根滑动距离 2 mm 以上,镜下观察视野内无出血,撤出工作套管,缝合切口。

(2) 术后处理:术后予以脱水和镇痛治疗 3 天,术后第 1 天腰围保护下下地活动,常规佩戴腰围 1 个月,3 个月内避免腰部扭转及负重。

3. 数据采集方法

采用意大利 BTS P-WALK 三维运动捕捉系统(足压版)评估和分析人体平衡及步态,BTS P-WALK 由多个带有压力传感器的测力板组成,可通过静态和动态的方式评估和分析足底压力和步态。测力板采集的数据由 G-STUDIO (Version 2.0) 软件进行处理,获得步态和稳定性参数。

(1) 步态测量:将压力平板平放在室内,压力平板头尾均铺设上延长走道,受试者以自己选择的正常速度走过测量走道。受试者习惯在走道上行走进行 2 次试验,只记录第 2 次试验数据。

(2) 静态平衡测试:人体的平衡能力依靠平衡三联及视觉、前庭觉和本体感觉^[7]。为了消除视觉对平衡能力的影响,所有受试者在闭眼状态下完成平衡能力测试。病人充分休息后站在测力板上,闭上眼睛,双手自然下垂,双脚平行放置,分开与髌部同宽。待受试者自觉稳定后开始记录稳定性参数(见图 1),测试时间为 30 s,所有测试均由同一名训练有素的人员进行,在试验期间,病人均未服用镇痛药或镇静药物。

4. 观察指标

记录 LDH 病人术前和术后 1 年 JOA 腰椎评分和 VAS 评分,并记录 LDH 病人术前术后以及健康

对照组的步态参数,包括步速、步长、步频、单足支撑相。稳定性参数包括受试者 COP 路径长度(COP path length)、90% COP 包络面积(90% COP postural sway area),见图 2。

COP 路径长度是指在 30 s 内 COP 摆动轨迹的长度,90% COP 包络面积是指包含摆动轨迹上 90% COP 的椭圆形面积。COP 路径长度和 90% COP 包络面积升高代表着身体平衡控制能力降低,平衡稳定性下降。

5. 统计学分析

将所有数据导入 SPSS 22.0 统计软件进行分析,计量资料以均数 ± 标准差 ($\bar{x} \pm SD$) 表示,采用 Shapiro-Wilk 检验对数据进行正态性检验。LDH 病人手术前后比较采用配对 t 检验,两组比较采用独立样本 t 检验。以 Pearson 相关性分析对步态参数、稳定性参数与 JOA 腰椎评分、VAS 评分进行相关性分析并进行线性拟合, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. 一般资料

LDH 组纳入男 47 例,女 35 例,平均年龄 (56.2 ± 13.4) 岁,平均体重指数 (body mass index, BMI) (24.5 ± 3.2) kg/m^2 。健康对照组纳入男 44 例,女 38 例,平均年龄 (58.1 ± 11.8) 岁,平均 BMI (22.8 ± 2.9) kg/m^2 。两组年龄、性别比例、BMI 等一般资料比较差异无统计学意义(见表 1),所有经过 PTED 治疗 LDH 病人在随访期间均未发生再突出。

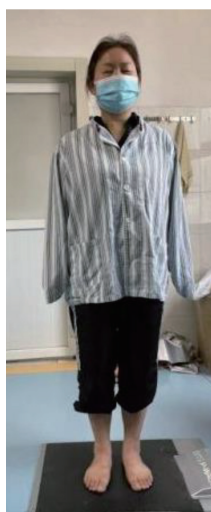


图 1 闭眼双足站立平衡试验
Fig. 1 Postural balance test with eyes closed

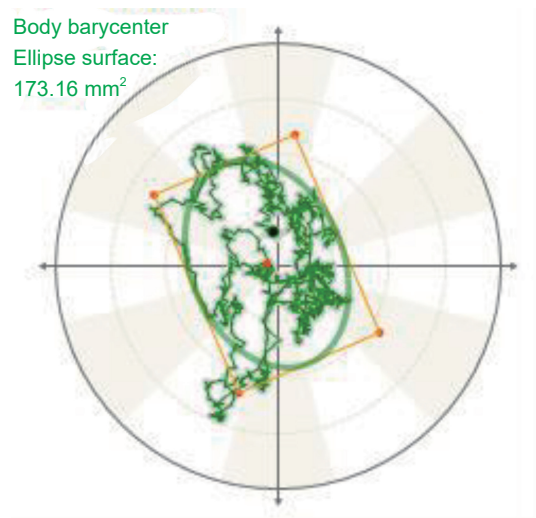


图 2 COP 移动轨迹图
Fig. 2 COP movement trajectory



2. VAS 评分、JOA 腰椎评分、步态和稳定性参数

LDH 组术后与术前的 VAS 评分、JOA 腰椎评分、步速、步长、步频、单足支撑相比较差异有统计学意义 ($P < 0.05$), LDH 组术前与健康对照组的步速、步长、步频、单足支撑相比较差异有统计学意义 ($P < 0.05$), LDH 病人 PTED 术后步频、单足支撑相与健康对照组差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 但步速、步长差异无统计学意义 (见表 2)。LDH 组术前术后和健康对照组间 COP 路径长度、90% COP 包络面积比较差异均有统计学意义 ($P < 0.05$, 见表 3)。

3. JOA 腰椎评分、VAS 评分与步态参数、稳定性参数的相关性分析

JOA 腰椎评分与步速 ($R^2 = 0.513$, $P < 0.05$) 和步长 ($R^2 = 0.602$, $P < 0.05$) 显著相关, 还与步频、单足支撑相、90% COP 包络面积相关 ($P < 0.05$), 与 COP 路径长度不相关 (见表 4)。

VAS 评分与步长 ($R^2 = 0.602$, $P < 0.05$) 显著相

关, 还与步速、单足支撑相、90% COP 包络面积相关 ($P < 0.05$), 与步频、COP 路径长度不相关 (见表 4)。

讨 论

LDH 病人经过 PTED 手术后 VAS 评分和 JOA 腰椎评分较术前有所改善, 这与既往研究结果一致^[8], 证实了椎间孔镜技术的疗效。LDH 病人步速、步频、步长均较正常人降低, 这与 Aurora 等^[9] 和郑陈帆等^[10] 的研究一致。Smith 等^[11] 的荟萃研究也提示了腰痛病人步态特征是步速慢、步长短。本研究 LDH 病人单足支撑相较正常人降低。Elbaz 等^[12] 对膝关节骨关节炎的研究表明, 单足支撑相与下肢疼痛相关, 病人会避免使用疼痛侧下肢着力, 减少单足支撑时间, 猜测本研究中 LDH 病人由于下肢疼痛减少了单足支撑相。

本研究 LDH 病人 PTED 术后 1 年步态参数较

表 1 两组受试者一般资料

Table 1 General condition of patients in two groups

组别 Group	例数 <i>n</i>	年龄 (岁) Age (Years)	性别 (男/女) Sex (Male/Female)	体重指数 (kg/m ²) BMI (kg/m ²)
腰椎间盘突出组 LDH group	82	56.2±13.4	47/35	24.5±3.2
对照组 Control group	82	58.1±11.8	44/38	23.8±2.9

表 2 两组受试者 VAS 评分、JOA 腰椎评分及步态运动学参数比较

Table 2 Comparison of VAS scores and JOA scores and gait of patients in two groups

组别 Group	VAS	JOA	步速 (m/s) Speed (m/s)	步频 (步/min) Cadence (steps/min)	步长 (m) Step length (m)	单足支撑相 (%) Single support duration (%)
术前 Pre-operation	6.0±1.6	11.3±2.8	0.71±0.18 [#]	83.65±5.80 [#]	0.51±0.08 [#]	36.89±3.89 [#]
术后 Post-operation	1.5±0.9*	26.8±3.5*	1.06±0.14*	107.03±7.70* [#]	0.57±0.09*	38.30±1.95* [#]
对照组 Control group (<i>n</i> = 82)	NA	NA	1.07±0.13	110.42±9.50	0.60±0.12	40.13±3.20

NA-不适; * $P < 0.05$, 与术前相比; [#] $P < 0.05$, 与对照组相比

* $P < 0.05$, compared with pre-operation; [#] $P < 0.05$, compared with group control.

表 3 两组受试者平衡稳定性比较

Table 3 Comparison of postural balance in two groups

组别 Group	COP 路径长度 (mm) COP path length (mm)	90% COP 包络面积 (mm ²) 90% COP postural sway area (mm ²)
术前 Pre-operation	599.91±138.12 [#]	270.12±146.67 [#]
术后 Post-operation	494.03±130.31* [#]	197.45±97.63* [#]
对照组 Control group (<i>n</i> = 82)	459.67±102.32	121.59±88.67

* $P < 0.05$, 与术前相比; [#] $P < 0.05$, 与对照组相比;

* $P < 0.05$, compared with pre-operation; [#] $P < 0.05$, compared with group control.



表 4 步态及平衡稳定性各参数和 JOA 腰椎评分、VAS 评分的相关性

Table 4 Correlation of gait and postural balance parameters with JOA scores and VAS scores

	JOA		VAS	
	R^2	P 值 P value	R^2	P 值 P value
步速 (m/s) Gait speed (m/s)	0.513	< 0.05	0.417	< 0.05
步频 (步/min) Cadence (steps/min)	0.178	0.016	0.098	0.218
步长 (m) Stride length (m)	0.602	< 0.05	0.589	< 0.05
单足支撑相 (%) Single support duration (%)	0.398	< 0.05	0.332	< 0.05
COP 路径长度 (mm) COP path length (mm)	0.089	0.267	0.027	0.671
90% COP 包络面积 (mm ²) 90% COP postural sway area (mm ²)	0.198	0.013	0.181	0.015

COP: 压力中心; R^2 代表决定系数

COP: center of pressure; R^2 refers to the coefficient of determination of the linear regression.

术前有明显改善,但步频与单足支撑相较正常人依旧有差异。我们认为手术解除神经根压迫后,病人神经功能逐步恢复,疼痛逐步缓解,所以行走步态有了明显改善,但仍未恢复至正常水平。Girardi 等^[13]对 55 例 LDH 导致足下垂的病人进行回顾性分析,平均随访时间 36 个月,发现 98% 病人术后踝关节背伸功能改善,但只有 71% 的病人肌力完全恢复。表明腰椎减压术后不是所有病人的肌力都能够完全恢复。Choi 等^[14]对 52 例行经皮内镜椎板间入路腰椎间盘突出切除术的病人进行 1.5 年的随访,发现其术后 1.5 年的 VAS 评分为 1.58,说明术后仍有一定程度疼痛残留。术后肌力的恢复不全和疼痛的残留可能是导致部分病人步态与正常人依旧存在差距的原因。

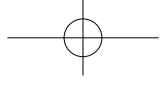
LDH 病人闭眼站立平衡稳定性较正常人差。这与既往的研究结果一致。李金萍等^[15]对 LDH 病人进行了斜面站立平衡稳定性测试,发现 LDH 病人 COP 面积增大,健肢体重比例增加,平衡稳定性减弱,跌倒风险增加。不仅在 LDH 病人,脊柱疾患病人均会存在平衡能力的下降。Sasaki 等^[16]的研究表明腰椎椎管狭窄病人在发生间歇性跛行后平衡稳定能力下降,病人容易向症状侧跌倒。Laird 等^[17]荟萃分析提示腰痛病人本体感觉减弱。闭眼时站立平衡的维持需要中枢系统整合来自前庭系统和本体感觉的信号,并根据这些信息来及时调整肌肉活动来维持平衡^[15]。突出的髓核压迫神经引起下肢感觉障碍,影响了本体感觉的传导,同时神经受压引起的肌力下降,使得人体不能对中枢的位置调整信息做出及时的反馈。腰椎间盘突出使人体平衡维持这一闭环控制系统的反馈过程和执行过程均受到影响,

导致人体平衡控制能力的下降。

本研究中 PTED 术后 1 年病人平衡能力较术前有了明显的改善,但依旧未恢复到正常人水平。Sipko 等^[18]的研究也提示了腰椎术后平衡稳定性的改善,并且在闭眼状态下的平衡稳定性改善大于睁眼状态,将这一改变归因于腰椎术后本体感觉的改善。我们考虑解除髓核对神经的压迫后本体感觉和肌力得到部分恢复,改善了病人的平衡能力。

本研究发现 JOA 腰椎评分与步速、步长相关性显著,与单足支撑相也有相关性,但没有步速步长那么显著,这与既往结论一致^[1-3],说明 JOA 腰椎评分能较为客观的反映病人的步行能力。在 JOA 腰椎评分表的 14 个项目中,有 6 个项目(腿痛兼/或麻刺痛、步态、运动障碍、直腿抬高试验、站立、行走)与下肢功能相关,占据了 29 分中的 14 分,因此 JOA 腰椎评分对步行能力的评估较为充分。VAS 评分与步长、步速、单足支撑相相关,但相关程度较 JOA 与步态参数间的相关性弱。Igawa 等^[19]的研究表明疼痛会影响 LDH 病人行走功能,证明两者之间存在相关性,但是 LDH 病人其步态特征不仅仅受到疼痛的影响,肌力、本体感觉等因素也参与其中。本研究发现 JOA 腰椎评分、VAS 评分与稳定性参数相关性不强,这与既往研究结果一致^[15]。JOA 腰椎评分表中没有评估 LDH 病人平衡能力的条目,这可能导致 JOA 腰椎评分表无法很好的评价病人的稳定性。因此,我们认为 JOA 腰椎评分系统应增加更多关于平衡功能的问题,以便 JOA 腰椎评分系统能够更有效地评估病人的姿势稳定性。

但本研究只关注了 PTED 术后 LDH 病人步态



和平衡能力的变化,未对这种变化的影响因素进行详细分析,有待今后进一步研究。本研究仅分析了JOA 腰椎评分和VAS 评分与步态和平衡能力之间的相关性。未来,可能需要考虑不同的评分系统(如SF-36 和ODI 评分等),以确定分数和步态参数之间的相关性。

利益冲突声明:作者声明本文无利益冲突。

参 考 文 献

- [1] 宋沙沙,石润琇,林磊同,等. 腰椎间盘突出症患者步态特征的研究[J]. 中国康复医学杂志, 2020, 35(3):306-312.
- [2] 张荣宜,朱本藩,赵家贵,等. 椎间孔镜手术中漂移法与骨钻椎间孔成形法放置工作套管的比较[J]. 中国疼痛医学杂志, 2022, 28(2):113-118.
- [3] Zheng CF, Liu YC, Hu YC, *et al.* Correlations of Japanese orthopaedic association scoring systems with gait parameters in patients with degenerative spinal diseases[J]. *Orthop Surg*, 2016, 8(4):447-453.
- [4] Doyle RJ, Hsiao-Weckslar ET, Ragan BG, *et al.* Generalizability of center of pressure measures of quiet standing[J]. *Gait Posture*, 2007, 25(2):166-171.
- [5] Song Z, Ou J, Shu L, *et al.* Fall risk assessment for the elderly based on weak foot features of wearable plantar pressure[J]. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*, 2022, 30:1060-1070.
- [6] 凌康,夏清,曹晓光,等. 腰椎间盘突出症患者静态平衡功能分析[J]. 中国康复理论与实践, 2016, 22(6):715-718.
- [7] 张丽,瓮长水,王秋华,等. 前庭感觉、本体感觉及视觉功能对老年人跌倒风险影响的因素分析[J]. 中国康复理论与实践, 2010, 16(1):16-18.
- [8] 栾静,王琦,吕丹,等. 经椎间孔入路脊柱内镜治疗老年腰椎间盘突出症的疗效分析[J]. 中国疼痛医学杂志, 2021, 27(10):750-756.
- [9] Aurora C, Inmaculada R, Manuel P, *et al.* A case-control study of the effects of chronic low back pain in spatiotemporal gait parameters[J]. *Sensors (Basel)*, 2021, 21(15):5247.
- [10] 郑陈帆,刘艳成,闫松华,等. 坐骨神经痛患者的步态特征[J]. 医用生物力学, 2016, 31(1):73-77.
- [11] Smith JA, Stabbert H, Bagwell JJ, *et al.* Do people with low back pain walk differently? A systematic review and meta-analysis[J]. *J Sport Health Sci*, 2022, 11(4):450-465.
- [12] Elbaz A, Mor A, Segal O, *et al.* Can single limb support objectively assess the functional severity of knee osteoarthritis[J]. *Knee*, 2012, 19(1):32-35.
- [13] Girardi FP, Cammisa FP Jr, Huang RC, *et al.* Improvement of preoperative foot drop after lumbar surgery[J]. *J Spinal Disord Tech*, 2002, 15(6):490-494.
- [14] Choi G, Lee SH, Raiturker PP, *et al.* Percutaneous endoscopic interlaminar discectomy for intracanalicular disc herniations at L₅-S₁ using a rigid working channel endoscope[J]. *Neurosurgery*, 2006, 58(1 Suppl):ONS59-68; discussion ONS59-68.
- [15] 李金萍,张杨,石润琇,等. 腰椎间盘突出症患者斜面站立平衡稳定性研究[J]. 中国康复医学杂志, 2019, 34(11):1292-1296.
- [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] Laird RA, Gilbert J, Kent P, *et al.* Comparing lumbo-pelvic kinematics in people with and without back pain: a systematic review and meta-analysis[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2014, 15:229.
- [18] Sipko T, Chantsoulis M, Kuczyński M. Postural control in patients with lumbar disc herniation in the early post-operative period[J]. *Eur Spine J*, 2010, 19(3):409-414.
- [19] Igawa T, Katsuhira J, Hosaka A, *et al.* Kinetic and kinematic variables affecting trunk flexion during level walking in patients with lumbar spinal stenosis[J]. *PLoS One*, 2018, 13(5):e0197228.