

基于术中C臂X光图像骨性标识 的椎间孔镜手术路径构建

张翼翔¹, 梁原浩², 杨文龙³, 李国强³, 吴文庆³, 刘垒³

(1. 山东第二医科大学中医学院, 山东 潍坊 261053; 2. 烟台幼儿师范高等专科学校公共服务系, 山东 烟台 265600;
3. 山东第一医科大学第一附属医院疼痛科, 山东 济南 250014)

摘要: **目的** 通过分析腰椎薄层CT图像, 归纳椎间孔镜侧路穿刺定位的规律; 依据术中C臂X光骨性标识构建椎间孔镜手术路径, 应用于临床验证其安全性及有效性。 **方法** ①选取山东第一医科大学第一附属医院2022年1月至2024年5月收治的30例腰椎间盘突出症(lumbar disc herniation, LDH)患者腰椎薄层CT图像, 通过影像解剖研究, 探究椎间孔镜侧路穿刺规律, 确立术中C臂X光图像上骨性标记交叉线定点穿刺方法, 构建安全有效的椎间孔镜穿刺路径。②选取2023年5月至2024年5月我院收治的行孔镜手术LDH患者80例, 按随机数字表法分为交叉点定位法组($n=40$)和体表定位法组($n=40$)。所有患者均行侧路椎间孔镜手术治疗, 手术均由具备熟练操作脊柱内镜手术的高年资医师按照随机分配原则进行。分析两组临床疗效、术中各指标及术后并发症等。 **结果** 交叉点定位法组总有效率高于体表定位法组, 两组差异有统计学意义($P<0.05$); 一次穿刺成功率交叉点定位法组97.5%, 体表定位法组80%, 两组差异有统计学意义($P<0.05$); 建立工作通道时间交叉点定位法组(16.32 ± 3.97)min, 体表定位法组(26.32 ± 5.93)min, 两组差异有统计学意义($P<0.05$); 平均透视次数交叉点定位法组(8.93 ± 2.12)次, 体表定位法组(17.53 ± 2.73)次, 两组差异有统计学意义($P<0.001$); 术中透视辐射剂量交叉点定位法组为(10.27 ± 5.72)mGy, 体表定位法组为(17.16 ± 4.27)mGy, 两组差异有统计学意义($P<0.01$); 交叉点定位法组术后疼痛视觉模拟评分、Oswestry功能障碍指数较体表定位法组下降明显($P<0.05$); 两组均未发生严重并发症。 **结论** 交叉点定位法相比既往穿刺定位方法优势显著, 为椎间孔镜手术提供一种安全且有效、精准易标识、简便易掌握的穿刺定位方法。

关键词: 手术路径构建; 椎间孔镜手术; 影像解剖; 骨性标识; C臂X光

中图分类号: R615

文献标志码: A

Construction of a transforaminal endoscopic surgical path based on bone landmarks in intraoperative C-arm X-ray radiographs

ZHANG Yixiang¹, LIANG Yuanhao², YANG Wenlong³, LI Guoqiang³, WU Wenqing³, LIU Lei³

(1. College of Traditional Chinese Medicine, Shandong Second Medical University, Weifang 261053, Shandong, China;

2. Department of Public Service, Yantai Preschool Teachers College, Yantai 265600, Shandong, China;

3. Department of Pain Medicine, The First Affiliated Hospital of Shandong First Medical University, Jinan 250014, Shandong, China)

Abstract: Objective To summarise the rules of lateral puncture positioning for the intervertebral foramen endoscopy by analyzing thin-slice CT images of the lumbar spine and to construct a surgical path for intervertebral foramen endoscopy based on the intraoperative C-arm X-ray bone landmarks, so as to apply it to clinical verification of its safety and efficacy. **Methods** ① Thirty patients with lumbar disc herniation (LDH) admitted to The First Affiliated Hospital of Shandong First Medical University from January 2022 to May 2024 were selected for lumbar thin-layer CT imaging. The rules of lateral puncture of intervertebral foramen endoscopy were explored through imaging anatomy research, and the method of fixed-point puncture of the cross line of bone landmarks on intraoperative C-arm X-ray imaging was

收稿日期: 2024-11-06

基金项目: 山东省重点研发计划(2022CXGX020510); 齐鲁医派中医学术流派传承项目(鲁卫函[2022]93号); 2020年度齐鲁卫生与健康领军人才培养工程项目(鲁卫人才字[2020]3号); 2024第一批山东省体卫融合示范项目(鲁体办字[2023]28号)

通信作者: 刘垒. E-mail: fort0825@sina.com

established to construct a safe and effective puncture path of intervertebral foramen endoscopy. ② Eighty patients with LDH who underwent intervertebral foramen endoscopy surgery in our hospital from May 2023 to May 2024 were selected and divided into the cross-point positioning method group ($n=40$) and the surface positioning method group ($n=40$) according to the random number table method. All patients underwent lateral foraminal endoscopic surgery, and the surgery was performed by senior physicians experienced in spinal endoscopic surgery according to the principle of random allocation. The clinical efficacy, intraoperative parameters and postoperative complications of the two groups were observed and analysed. **Results** The overall efficacy rate of the observation group was higher than that of the control group, and the difference between the two groups was statistically significant ($P<0.05$). The single puncture success rate was 97.5% in the cross-point positioning method group and 80% in the surface positioning method group, and the difference between the two groups was statistically significant ($P<0.05$). The time to establish the working channel was (16.32 ± 3.97) min in the cross-point positioning method group and (26.32 ± 5.93) min in the surface positioning method group, and the difference between the two groups was statistically significant ($P<0.05$). The mean number of fluoroscopy times was 8.93 ± 2.12 in the cross-point positioning method group and 17.53 ± 2.73 in the surface positioning method group, with a statistically significant difference between the two groups ($P<0.001$). The intraoperative fluoroscopic radiation dose in the cross-point positioning method group was (10.27 ± 5.72) mGy, while that in the cross-point positioning method group was (17.16 ± 4.27) mGy, with a significant difference between the two groups ($P<0.01$). The postoperative VAS score and ODI scores in the cross-point positioning method group were significantly lower than those in the surface positioning method group ($P<0.05$). There was no serious complications occurred in either group. **Conclusion** The cross-point positioning method has significant advantages over the previous puncture positioning method, and provides a safe, effective, accurate, easy-to-mark, simple and easy-to-learn puncture positioning method for transforaminal endoscopic lumbar discectomy.

Keywords: Surgical pathway construction; Transforaminal endoscopic lumbar discectomy; Imaging anatomy; Bony landmarks; C-arm X-ray

经皮椎间孔镜下椎间盘切除术(percutaneous transforaminal endoscopic discectomy, PTED)是一种治疗腰椎间盘突出症(lumbar disc herniation, LDH)的有效方法,具有创伤小、出血少、恢复快、疗效确切等优点,近年在临床广泛应用^[1]。但该手术存在初学者学习曲线陡峭、医源性辐射伤害大等问题^[2-3],主要原因系由皮肤穿刺点定位不准、穿刺路径不规范所致。目前的穿刺点定位方法依据皮肤旁开距离确定,缺少参数化、精准化和个体化,尤其对一些特殊体型患者增加了组织损伤的可能^[4-5]。本文基于术中C臂X光影像解剖研究,探讨椎间孔镜皮肤穿刺点和突出物靶点的联系,建立置入工作套管的量化和科学路径及规律。

1 资料与方法

1.1 临床资料

1.1.1 一般资料

选取2023年5月至2024年5月山东第一医科大学第一附属医院疼痛科收治的行椎间孔镜手术治疗患者80例,其中男44例,女36例,29~79岁,平均(48.25 ± 12.20)岁。按随机数字表法分为交叉线

定位法组($n=40$)和体表定位法组($n=40$)。交叉点定位法组男21例,女19例,29~70岁,平均(48.33 ± 13.68)岁;病程1~7个月,平均(4.03 ± 2.53)个月,病变节段L3~4 11例、L4~5 19例、L5/S1 10例。体表定位法组男23例,女17例,38~79岁,平均(48.08 ± 12.46)岁;病程1~8个月,平均(4.01 ± 2.57)个月,病变节段L3~4 9例、L4~5 20例、L5/S1 11例。本研究所有患者均已签署知情同意书,本研究经过山东第一医科大学第一附属医院医院伦理委员会批准[2025伦审字(S022)号]。

1.1.2 纳入标准与排除标准

纳入标准:①患者均满足参考文献[6]中的诊断标准;②临床表现有不同程度的腰痛及坐骨神经痛现象;③薄层CT下的全腰椎扫描验证有椎间等关节的相关病变;④腰部活动受限;⑤经保守治疗无效者。排除标准:①严重内脏病变、精神疾病发作状态患者;②有严重血液疾病、皮肤疾病患者;③排除腰椎骨折等疾病患者;④过敏体质及不愿意配合本研究治疗的患者。

1.1.3 资料与设备

调取2022年1月至2024年5月我院影像中心30例LDH患者腰椎薄层全轮廓影像资料;GE Lightspeed 128层螺旋CT机(美国GE公司)、Neusoft

影像学软件;C型臂X光机;Maxmore椎间孔镜手术系统;记号笔、直尺、玻璃纸、皮肤定位金属标识等。

1.2 方法

由医院影像归档和通信系统 (picture archiving and communication system, PACS) 调取 30 例 LDH 患者腰椎薄层全轮廓影像资料, 并利用 Neusoft 影像学软件进行 CT 重建, 通过以上患者的腰椎 CT 薄层横断面、矢状面、3D 图像, 研究穿刺路径的规律, 测定基于 C 臂 X 光骨性标识皮肤穿刺点的体表投影, 由此构建皮肤旁开距离线、穿刺角度线, 两线交叉点即为皮肤穿刺点。

1.2.1 皮肤旁开距离线的构建

自 CT 突出横断面上沿棘突后缘水平延申至皮肤的点, 该点与脊柱后正中线的体表距离即为皮肤旁开距离线。其构建依据如图 1 所示: CT 横断面上, 设定 O 点为穿刺靶点所在位置, 沿棘突后缘作一水平延申至皮肤上的点定为 A 点, 同时设定 A 点偏外处为 B 点、偏内处为 C 点, 分别连线形成 AO、BO、CO 三条线段。由图 1 可见, AO 线相对于 CO 线可以最大程度保护上关节突; AO 线相对于 BO 线较大程度的避免进入腹腔而引起脏器损伤的可

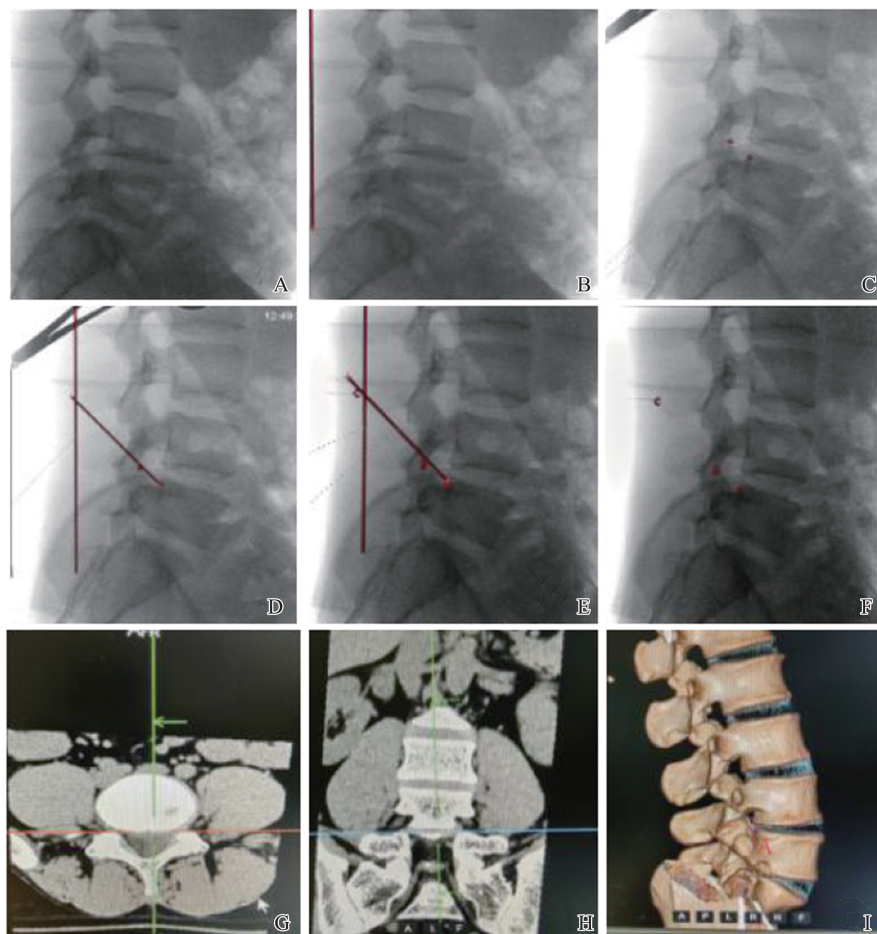
能。即穿刺点 A 点偏内侧易损伤小关节, A 点偏腹侧易损伤腹腔脏器。



图 1 皮肤旁开距离点, 并由此构建旁开距离线
Figure 1 Skinning side distance points and constructing side distance lines from them

1.2.2 穿刺角度线的构建

通过 30 例 CT 影像研究, 依据白一冰教授提出的椎间孔镜技术操作规范^[7], 构建穿刺的角度线。如图 2 所示, 侧位图像上将关节突尖部的影像投射点设为 A 点。将下位椎体后上缘中点 (即穿刺靶点) 设为 B 点。依据两点成一直线原理, A、B 两点划直线即为侧位 C 臂 X 光穿刺的角度线。A、B 点均为 C 臂 X 光侧位图像上的骨质标志点, 其中穿刺过程中 B 点投影位置具有判断价值。



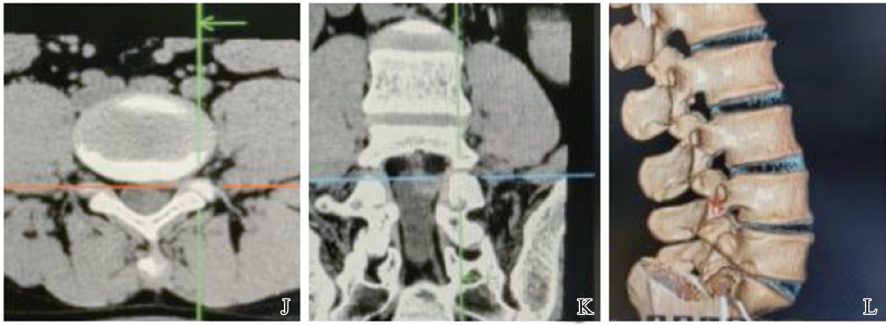


图2 穿刺角度线

A: 标准腰椎侧位图像; B: 皮肤旁开线(红线); C: 标记 AB 点; D: 穿刺角度线; E: 穿刺距离线与旁开距离线两线确定点; F: 骨性标识 A、B、C 三点位置; G~I: A 点在三维图线上的位置; J~L: B 点在三维图像上的位置。

Figure 2 Puncture angle line

A: Standard lateral view; B: Paracutaneous incision line; C: Mark point AB; D: Puncture angle line; E: The puncture distance line and the bypass distance line determine point C; F: The three-point position of the bone markers A, B and C; G-I: The position of point A on three-dimensional image; J-L: The position of point B on the three-dimensional image.

1.2.3 确立皮肤穿刺点

通过上述皮肤旁开距离线及穿刺角度线的构建,侧位术中 C 臂 X 光图像下的两线交叉点在皮肤上的影像投射点即为皮肤穿刺点,由该点和穿刺角度线即可构建穿刺路径。

1.2.4 置管成功标准

依据参考文献[8],正位片上显示通道到达棘突正位中线,侧位显示到达侧位后上缘即为置管成功。图3。

1.2.5 两组不同定位方式椎间孔镜手术过程

交叉点定位法组:患者取侧卧位,患侧朝上,黏性胶带固定肢体,应用交叉点定位法标记“两线一点”,即皮肤旁开距离线、穿刺角度线、皮肤穿刺点,见图4A~D。皮肤消毒,铺无菌洞巾,0.75%利多卡因进行局部浸润麻醉。影像引导通过穿刺点进行穿刺到达上关节突尖部,拔出针芯,插入导丝,并行约7 mm 横向切口。使用铅笔芯扩张器扩张,然后逐步

使用骨钻打磨,C臂X光透视工作套管到达靶点即为置管成功,见图4E~G。放置内窥镜通过镜下使用髓核钳等器械摘除突出的髓核组织,见图4H~I。椎管内结构探查,见神经根血运恢复和搏动明显,证实压迫解除,使用射频电刀止血,拔除工作套管,缝合伤口,无菌敷料贴敷。

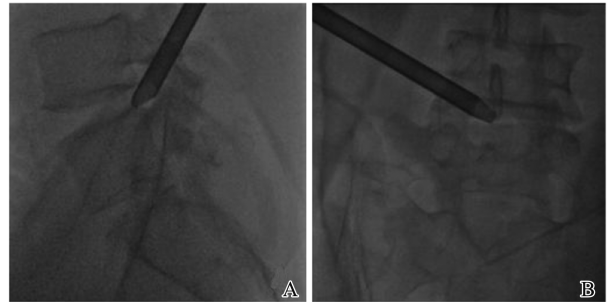
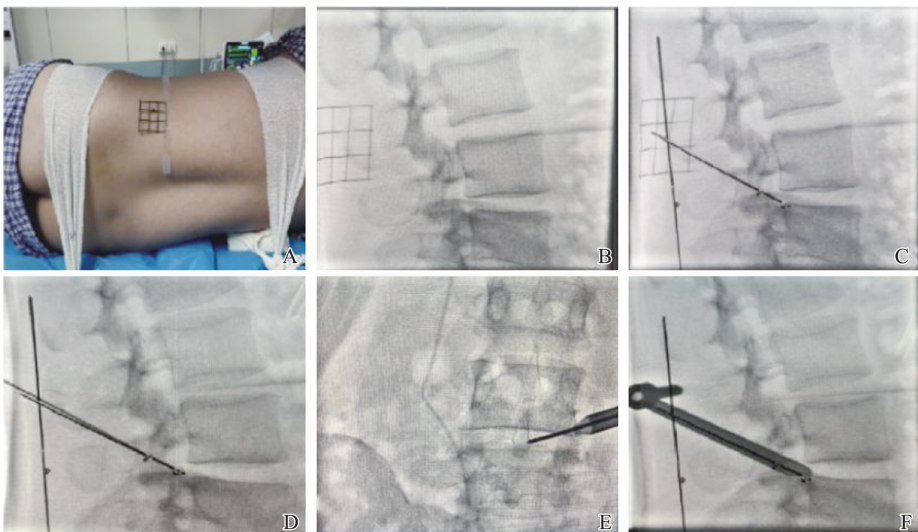


图3 置管成功标准

A: 侧位; B: 正位。

Figure 3 Cannulation success criteria

A: Lateral view; B: Front view.



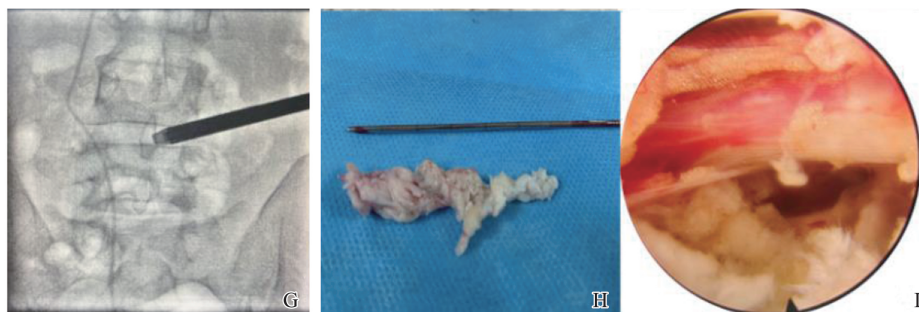


图4 交叉点定位穿刺法手术操作

A: 皮肤定位; B: 皮肤定位器 X 线下定位; C: 按照定位方法定位; D: 穿刺针沿路径行走; E: 正位图像; F: 侧位置管; G: 正位置管; H: 摘出髓核; I: 术中镜下神经根。

Figure 4 Cross-point positioning and puncture surgical procedure

A: Skin positioning; B: X-ray positioning with skin locator; C: Positioning according to the positioning method; D: The puncture needle follows the path; E: Frontal view; F: Lateral positioning tube; G: Canal in orthotopic position; H: Nucleus pulposus extraction; I: Intraoperative microscopic nerve root.

体表定位法组: 采用体表定位法 L3~4 旁开 8~10 cm、L4~5 旁开 10~12 cm、L5/S1 旁开 12~14 cm, 余术前体位摆放、参数设置、麻醉方式及剂量等均同观察组, 后行孔镜治疗。

1.2.6 观察指标

1.2.6.1 临床疗效

治疗后临床疗效参照 MacNab 标准评价^[9] 总体疗效。总有效率(%) = (总例数 - 疗效差例数) / 总例数 × 100%

1.2.6.2 手术指标

观测指标包括: 皮肤切口的旁开距离; 建立工作通道的时间; 一次穿刺的成功率, 即皮肤穿刺点一次穿刺成功(一次穿刺成功率 = 一次穿刺成功例数 / 总例数); 术中透视次数、术者辐射剂量; 患者术前及术后 1 周疼痛视觉模拟评分 (visual analogue scale, VAS)、Oswestry 功能障碍指数 (oswestry disability index, ODI)^[10]、安全性及不良反应。

1.3 统计学处理

采用 SPSS 26.0 统计学软件。符合正态分布的计量资料采用 $\bar{x} \pm s$ 进行描述, 使用独立样本 t 检验来比较组间差异。组内差异比较采用配对 t 检验和配对秩和检验。计数资料比较采用 χ^2 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组临床资料比较

两组年龄、性别、病程、病变节段等临床资料相比, 差异无统计学意义 ($P > 0.05$), 具有可比性。见表 1。

表 1 两组患者一般资料比较

Table 1 Comparison of general data between the two groups of patients

项目	交叉点定位法组	体表定位法组	P
年龄/岁	48.33 ± 13.68	48.08 ± 12.46	0.932
性别			0.653
男	21	23	
女	19	17	
病程/月	4.03 ± 2.53	4.01 ± 2.57	0.969
病变节段			0.872
L3~4	11	9	
L4~5	19	20	
L5/S1	10	11	

2.2 两组患者临床疗效对比

治疗后, 交叉点定位法组患者优 17 例、良 14 例、可 8 例、差 1 例, 总有效率 97%。体表定位法组优 13 例、良 12 例、可 11 例、差 4 例, 总有效率 91%, 观察组总有效率高于对照组 ($\chi^2 = -2.167, P = 0.03$)。

2.3 两组皮肤切口旁开距离对比

L3~4 节段旁开距离: 交叉点定位法 (9.82 ± 1.38) cm, 体表定位法组 (8.71 ± 0.71) cm, 两组差异有统计学意义 ($t = 2.169, P < 0.05$)。L4~5 节段旁开距离: 交叉点定位法 (12.49 ± 1.30) cm, 体表定位法组 (11.78 ± 0.69) cm, 两组差异有统计学意义 ($t = -2.112, P < 0.05$)。

L5/S1 节段旁开距离: 交叉点定位法 (13.91 ± 1.58) cm, 体表定位法组 (12.48 ± 0.81) cm, 两组差异有统计学意义 ($t = 2.663, P < 0.05$)。

2.4 两组患者穿刺成功率比较

交叉点定位法组一次穿刺成功 39 例, 成功率 97.5%, 体表定位法组一次穿刺成功 32 例, 成功率 80%, 交叉点定位法组患者一次成功率高于体表定位法组, 差异有统计学意义 ($\chi^2 = 6.135, P = 0.013$)。

2.5 两组定位术中穿刺比较

视次数均低于体表定位法组,差异有统计学意义($P<0.01$)。见表2。

交叉点定位法组置管时间、术中患者透视量、透

表2 术中穿刺指标比较

Table 2 Comparison of intra-operative puncture parameters

组别	例数	建立工作通道时间/min	透视次数/次	术者辐射剂量/mGy
体表定位法组	40	26.32±5.93	17.53±2.73	17.16±4.27
交叉点定位法组	40	16.32±3.97	8.93±2.12	10.27±5.22
<i>t</i>		28.759	17.320	-8.005
<i>P</i>		<0.01	<0.01	<0.01

2.5 两组患者疗效及随访情况

疗前有所降低,交叉点定位法组下降更为明显,组间比较差异有统计学意义($P<0.01$)。见表3。

两组患者治疗后VAS评分及ODI指数均较治

表3 治疗前后VAS评分及ODI指数

Table 3 VAS scores and ODI index before and after treatment

组别	例数	VAS评分		ODI评分	
		治疗前	治疗后1周	治疗前	治疗后1周
体表定位法组	40	6.73±0.72	3.76±0.35*	30.07±2.37	19.67±2.79*
交叉点定位法组	40	6.52±0.45	2.37±0.39*	29.79±2.09	12.07±2.31*
<i>t</i>		0.081	7.827	0.084	8.421
<i>P</i>		0.923	<0.01	0.931	<0.01

* $P<0.05$ vs. 治疗前。

2.6 两组的安全性及不良反应

交叉点定位法组患者术中及术后未见严重并发症,体表定位法组1例出现神经根损伤后肌力下降情况,经术后给予营养神经治疗,2周后神经功能恢复,手术安全性好。两组患者均未发生严重出血及组织损伤,未出现功能障碍等不良反应。

术时间短、并发症发生率低等优势,成为脊柱微创领域的研究热点,据报道,其临床疗效不亚于传统的手术方式^[20]。TESSYS穿刺靶点为椎间盘后缘中点,即X光透视下的正位棘突中线与椎间隙平面交界处、侧位穿刺经上关节突尖部到达椎间隙后缘,与第一代技术相比神经损伤风险降低^[21-23]。但TESSYS的研究基于欧美人群体型,其旁开距离过大,不适合东亚人群^[24]。在此基础上,2014年白一冰等^[7]提出了BEIS技术,该技术以亚洲人的生理特点为研究对象,从穿刺点、角度、减压范围及器械等方面进行了改进。其主张增大头倾及外倾角度,使侧位透视经过下位椎体上关节突尖部,到达下位椎体后上缘,实现对神经根背侧及腹侧的充分减压。据报道有效率可达88.6%~94.7%^[25]。

3 讨论

LDH是由纤维环破裂,髓核突出刺激或压迫脊神经根、马尾神经所表现出来的临床综合征^[11]。多为腰痛、下肢的放射性疼痛、麻木、乏力等^[12]。据报道,LDH全球发病率为15%~30%,中国约为18%^[13]。目前临床治疗LDH主要包括药物治疗、物理治疗和手术治疗^[14],对于症状较轻的患者,药物治疗和物理治疗首选,对于保守治疗无效或者疗效不佳的患者,通常建议手术治疗。传统的开放性手术存在创伤大、风险高、术后恢复时间长以及出血量大等诸多并发症。随着微创医学的发展,经皮椎间孔镜手术因其创伤小、出血少、疗效确切、并发症少等优点,在临床应用日益广泛^[15-16]。目前已成为LDH治疗的主要手术方式之一^[17-18]。

在临床应用方面,PTED穿刺操作依赖医生对解剖学的精准掌握、手术经验的积累,尤其是皮肤穿刺点和穿刺路径的掌握,成为该技术学习曲线陡峭的主要原因。目前针对皮肤穿刺点和穿刺路径的选择描述不精确,如皮肤穿刺点选择为L3~4旁开8~10 cm、L4~5旁开9~11 cm、L5~S1旁开12~14 cm等,这种使用区间数值来操作精准化的手术,因缺少规范性,使得临床医生的选择难度增加,体现在手术中可能需要反复调整穿刺点和穿刺路径,增加了手术复杂性和风险性^[26]。另外现有的定位模式和方法,未充分考虑个体间存在解剖结构差异,进一步增加了穿刺点选择的难度^[27]。本研究结果显示,目前

2002年Hoogland等^[19]提出并发明了第一代椎间孔镜技术,但并发症发生率高。后其于2007年发明了第二代椎间孔镜技术(transforaminal endoscopic spine system, TESSYS),以其安全性高、创伤小、手

的椎间孔镜定位方法不利于准确的定位和形成精准化的治疗,缺少参数化和标准化的定位描述,限制了该技术的应用与推广;另外对于今后脊柱内镜穿刺机器人的研发,也未能提供有效的定点量化数据和精准选择方案。

本研究基于以上问题,以术中C臂X光图像骨性标识为切入点,构建椎间孔镜手术路径,以使定位和穿刺模式标准化。本研究通过30例LDH患者CT影像,对交叉点穿刺法的影像解剖研究为其提供操作的理论基础。本研究显示,选择A点作为皮肤旁开距离穿刺是安全和有效的,该点以侧位X光下棘突后缘的骨性标识来标记,不受患者身高、体质量、皮下脂肪、性别、腰椎节段等因素影响,定位精准、易于操作。依据于此确立A点的旁开距离即为皮肤旁开距离线。穿刺路径的选择依据保留腰椎上关节突关节面的完整性的手术原则,以避免形成术后腰椎关节不稳定导致的疼痛反应、功能障碍等。穿刺路径中B点投影位置具有重要的价值,即以穿刺针在该点触及骨性结构判断穿刺方向准确与否,如到达B点未接触骨质,表明穿刺位置偏外,需要向内调节穿刺针,反之未达B点即触及骨质,触及的是棘突、椎板上关节突尖部背侧的骨性结构,表明穿刺偏内,需向外予以调节。

本研究结果表明,与体表定位法相比,交叉点穿刺定位法的工作通道建立时间、透视次数、术中辐射量等数据及术后VAS、ODI评分等指标均具有优势。认为基于术中C臂X光引导的侧位图像骨性结构交叉点定位的方法,更加精准和科学,符合个体化手术要求;有助于减少术中操作时间及医源性辐射损伤,提升临床疗效和手术体验;解决皮肤穿刺点的定位模糊的问题,为下一步的椎间孔镜机器人或人机协同系统的研发,创造了必备条件。

本研究也存在一定局限性:①仅适用于椎管内突出类型;②对于特殊体型个体是否适用尚缺乏研究。总体而言,交叉点定位法在椎间孔镜手术中显示出其独特优势和临床应用价值,下一步将开展大样本、多中心的随机对照和长期随访予以完善。

参考文献:

- [1] Pan M, Li Q, Li S, et al. Percutaneous endoscopic lumbar discectomy: indications and complications [J]. *Pain Physician*, 2020, 23(1): 49-56.
- [2] 丁寅, 赵国辉, 陈孜, 等. 椎间孔镜 BEIS 技术与微创通道髓核摘除治疗腰椎间盘突出症的比较 [J]. *中国微创外科杂志*, 2020, 20(8): 721-725.
- [3] 邱贵兴. 腰椎疾患诊治新进展 [J]. *山东大学学报(医学版)*, 2019, 57(5): 1-2.
- [4] 叶猛, 王力文, 王鸿晨. 椎间孔镜手术出现失误及并发症的原因与预防措施 [J]. *局解手术学杂志*, 2017, 26(5): 362-366.
- [5] YE Meng, WANG Liwen, WANG Hongchen. Reasons and preventive measures of intraoperative errors and complications of transforaminal endoscopic surgery [J]. *Journal of Regional Anatomy and Operative Surgery*, 2017, 26(5): 362-366.
- [6] 赵赓, 买若鹏, 赵景才, 等. 中国人适应性腰椎微创通道: 基于 CT 影像学测量下的解剖数据分析 [J]. *山东大学学报(医学版)*, 2023, 61(3): 90-96.
- [7] ZHAO Geng, MAI Ruopeng, ZHAO Jingcai, et al. Minimally invasive channel of the lumbar spine surgery for Chinese: anatomical data based on CT imaging measurements [J]. *Journal of Shandong University (Health Science)*, 2023, 61(3): 90-96.
- [8] 中华医学会疼痛学分会脊柱源性疼痛学组. 腰椎间盘突出症诊疗中国疼痛专家共识 [J]. *中国疼痛医学杂志*, 2020, 26(1): 2-6.
- [9] Spinal Pain Research Group of the Pain Branch of the Chinese Medical Association. Chinese pain expert consensus on diagnosis and treatment of lumbar disc herniation [J]. *Chinese Journal of Pain Medicine*, 2020, 26(1): 2-6.
- [10] 白一冰, 李嵩鹏, 王力文, 等. 改良 TESSYS 技术治疗腰椎间盘突出神经根管狭窄症 [J]. *颈腰痛杂志*, 2015, 36(1): 16-19.
- [11] BAI Yibing, LI Songpeng, WANG Liwen, et al. The modified TESSYS technique for the treatment of lumbar nerve root canal stenosis [J]. *The Journal of Cervicodynia and Lumbodynia*, 2015, 36(1): 16-19.
- [12] 王想福, 郑刚. 《经皮内镜腰椎手术学》出版: 老年患者腰椎管狭窄症介入治疗的临床进展 [J]. *介入放射学杂志*, 2022, 31(11). doi: 10.3969/j.issn.1008-794X.2022.11.024
- [13] WANG Xiangfu, ZHENG Gang. Percutaneous endoscopic lumbar surgery: clinical progress in interventional treatment of lumbar spinal stenosis in elderly patients [J]. *Journal of Interventional Radiology*, 2022, 31(11). doi: 10.3969/j.issn.1008-794X.2022.11.024
- [14] Hao J, Cheng J, Xue H, et al. Clinical comparison of unilateral biportal endoscopic discectomy with percutaneous endoscopic lumbar discectomy for single L4/5-level lumbar disk herniation [J]. *Pain Pract*, 2022, 22(2): 191-199.

- [10] He D, Cheng X, Zheng S, et al. Unilateral biportal endoscopic discectomy versus percutaneous endoscopic lumbar discectomy for lumbar disc herniation: a systematic review and meta-analysis [J]. *World Neurosurg*, 2023, 173: e509-e520. doi: 10.1016/j.wneu.2023.02.087
- [11] Zhang AS, Xu A, Ansari K, et al. Lumbar disc herniation: diagnosis and management [J]. *Am J Med*, 2023, 136(7): 645-651.
- [12] Benzakour T, Igoumenou V, Mavrogenis AF, et al. Current concepts for lumbar disc herniation [J]. *Int Orthop*, 2019, 43(4): 841-851.
- [13] Hartvigsen J, Hancock MJ, Kongsted A, et al. What low back pain is and why we need to pay attention [J]. *Lancet*, 2018, 391(10137): 2356-2367.
- [14] Omidi-Kashani F, Hejrati H, Ariamanesh S. Ten important tips in treating a patient with lumbar disc herniation [J]. *Asian Spine J*, 2016, 10(5): 955-963.
- [15] 王海峰, 宋扬, 王乃国. 单侧双通道脊柱内镜与经皮内镜及椎板间开窗髓核摘除术治疗腰椎间盘突出症临床对比研究 [J]. *中国修复重建外科杂志*, 2022, 36(10): 1200-1206.
WANG Haifeng, SONG Yang, WANG Naiguo. Comparative analysis of unilateral biportal endoscopic discectomy, percutaneous endoscopic lumbar discectomy, and fenestration discectomy in treatment of lumbar disc herniation [J]. *Chinese Journal of Reparative and Reconstructive Surgery*, 2022, 36(10): 1200-1206.
- [16] Zhu KJ, He DW. Transforaminal percutaneous endoscopic discectomy for symptomatic gas-filled discal cysts: report of three cases and literature review [J]. *J Orthop Surg Res*, 2021, 16(1): 251.
- [17] 吕成国, 杨勇, 孙宜保, 等. 可视环锯椎间孔成形经皮椎间孔镜椎间盘切除术 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2024, 32(4): 296-302.
LV Chengguo, YANG Yong, SUN Yibao, et al. Percutaneous transforaminal endoscopic discectomy with targeted foraminoplasty by visual trephine [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2024, 32(4): 296-302.
- [18] Han J, Tang W, Li G, et al. Comparison of percutaneous endoscopic transforaminal and interlaminar approaches in treating adjacent segment disease following lumbar decompression surgery: a clinical retrospective study [J]. *Pain Physician*, 2023, 26(7): E833-E842.
- [19] Hoogland T, van den Brekel-Dijkstra K, Schubert M, et al. Endoscopic transforaminal discectomy for recurrent lumbar disc herniation: a prospective, cohort evaluation of 262 consecutive cases [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2008, 33(9): 973-978.
- [20] Chen F, Xin J, Su C, et al. Pain variability of tissues under endoscope in percutaneous endoscopic lumbar discectomy and its significance: a retrospective study [J]. *Pain Physician*, 2021, 24(6): E877-E882.
- [21] 李坚, 李锦锦, 何丽萍. 经皮椎间孔镜脊柱系统术治疗腰椎间盘突出症合并神经根管狭窄 [J]. *中山大学学报(医学科学版)*, 2023, 44(2): 342-347.
LI Jian, LI Jinjin, HE Liping. Curative effect of percutaneous transforaminal endoscopic spine system in the treatment of lumbar disc herniation complicated with nerve root canal stenosis [J]. *Journal of Sun Yat-sen University (Medical Science)*, 2023, 44(2): 342-347.
- [22] 苏萌, 曾腾辉, 陈扬, 等. 椎间孔镜 TESSYS 技术与开放手术治疗单节段腰椎间盘突出症疗效比较 [J]. *中国骨与关节损伤杂志*, 2019, 34(1): 79-81.
SU Meng, ZENG Tenghui, CHEN Yang, et al. Comparison between TESSYS technique and open surgery in the treatment of single-level lumbar disc herniation [J]. *Chinese Journal of Bone and Joint Injury*, 2019, 34(1): 79-81.
- [23] Kose G, Tastan S, Temiz NC, et al. The effect of low back pain on daily activities and sleep quality in patients with lumbar disc herniation: a pilot study [J]. *J Neurosci Nurs*, 2019, 51(4): 184-189.
- [24] 李国栋, 卓斯敏, 盘景伟, 等. 腰椎椎间孔镜手术穿刺定位方法的研究进展 [J]. *中国骨与关节损伤杂志*, 2024, 39(7): 717-720.
LI Guodong, ZHUO Simin, PAN Jingwei, et al. Research progress on puncture positioning methods for lumbar transforaminal endoscopic surgery [J]. *Chinese Journal of Bone and Joint Injury*, 2024, 39(7): 717-720.
- [25] 张芸, 高观, 王磊, 等. 椎间孔镜 BEIS 技术治疗髓核游离型腰椎间盘突出症的疗效分析 [J]. *颈腰痛杂志*, 2022, 43(6): 898-900.
ZHANG Yun, GAO Guan, WANG Lei, et al. Analysis of curative effect of BEIS technique of intervertebral foramen mirror in the treatment of lumbar disc herniation with free nucleus pulposus [J]. *The Journal of Cervicodynia and Lumbodynia*, 2022, 43(6): 898-900.
- [26] Li X, Bai J, Hong Y, et al. Minimum seven-year follow-up outcomes of percutaneous endoscopic lumbar discectomy for lumbar degenerative disease [J]. *Int J Gen Med*, 2021, 14: 779-785. doi: 10.2147/IJGM.S293400
- [27] 王金璠, 刘晓阳, 葛忠鹏, 等. 基于 CT 三维重建评估髂嵴对 L5~S1 椎间孔镜手术通道放置的影响 [J]. *山东大学学报(医学版)*, 2024, 62(2): 75-82.
WANG Jinjin, LIU Xiaoyang, GE Zhongpeng, et al. Impact of iliac crest on the placement of L5-S1 transforaminal endoscopic surgical channel based on three-dimensional CT reconstruction [J]. *Journal of Shandong University (Health Science)*, 2024, 62(2): 75-82.