

· 临床研究 ·

术前三维影像测量结合激光导航器辅助穿刺行经椎间孔入路经皮内窥镜下椎间盘切除术

朱慧阳, 叶 斌, 段 伟, 李 沫, 叶正旭*

空军军医大学第一附属医院脊柱外科, 西安 710032

【摘要】目的 探索术前三维影像测量结合自行研制的激光导航器辅助穿刺行经椎间孔入路经皮内窥镜下椎间盘切除术(PETD)的临床效果。**方法** 2016年3月—2017年8月, 共57例腰椎间盘突出症(LDH)患者接受PETD治疗, 32例患者采用传统穿刺方式行PETD(对照组); 25例患者采用激光导航器辅助穿刺行PETD(试验组)。术中记录穿刺次数、手术时间、透视次数及患者术中疼痛视觉模拟量表(VAS)评分, 并进行比较。**结果** 试验组穿刺次数、透视次数、手术时间及术中腰痛VAS评分均明显低于对照组, 差异有统计学意义($P<0.05$)。2组术后VAS评分与术前相比均明显改善, 差异有统计学意义($P<0.05$)。**结论** 激光导航器结合三维影像测量辅助穿刺, 能够有效减少PETD的穿刺次数、透视次数及手术时间, 手术效果良好, 可减少患者术中长期俯卧产生的不适感, 降低医患人员辐射暴露剂量, 间接降低PETD的学习曲线。

【关键词】 腰椎; 椎间盘移位; 内窥镜检查; 椎间盘切除术, 经皮; 外科手术, 微创性; 计算机辅助设计; 成像, 三维

【中图分类号】 R 683.533.1 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1672-2957(2019)01-0011-07

【DOI】 10.3969/j.issn.1672-2957.2019.01.003

Preoperative three-dimensional image measurement combined with laser navigator assisted puncture for percutaneous endoscopic transforaminal discectomy

ZHU Hui-yang, YE Bin, DUAN Wei, LI Mo, YE Zheng-xu*

Department of Spinal Surgery, First Affiliated Hospital of Air Force Military Medical University, Xi'an 710032, Shaanxi, China

【Abstract】Objective To explore the clinical effect of percutaneous endoscopic transforaminal discectomy (PETD) combined with preoperative three-dimensional image measurement and self-developed laser navigation device assisted puncture. **Methods** From March 2016 to August 2017, 57 patients with lumbar disc herniation (LDH) were treated with PETD. According to the fluoroscopy and clinical experience during the operation, 32 patients underwent “exploratory” puncture (control group); 25 patients underwent “targeted” puncture according to preoperative imaging examination and puncture angle simulated by software (experimental group). The punctures frequency, operation time, fluoroscopy frequency and visual analogue scale (VAS) score of the patients during the operation were recorded and compared during the operation. **Results** In the experimental group, the punctures frequency, operation time, fluoroscopy frequency and VAS score of the patients during the operation were significantly less than those in the control group, and the differences were statistically significant ($P<0.05$). The VAS scores of the 2 groups at post-operation were significantly less than those at pre-operation, and the differences were statistically significant ($P<0.05$). **Conclusion** The laser navigation device combined with three-dimensional image measurement assisted puncture can effectively reduce the puncture frequency, operation time and fluoroscopy frequency of PETD, with a good clinical effect, thereby reducing the discomfort caused by long-term prone posture during operation, radiation exposure dose of doctors and patients, and learning curve of PETD indirectly.

【Key Words】 Lumbar vertebrae; Intervertebral disc displacement; Endoscopy; Discectomy, percutaneous; Surgical procedures, minimally invasive; Computer-aided design; Imaging, three-dimensional

J Spinal Surg, 2019, 17(1): 11-17

腰椎椎间盘突出症(LDH)是脊柱外科常见病之一。开放手术作为治疗LDH的“金标准”, 可显著减压及重建腰椎稳定性, 但长期的随访研究发

现, 传统开窗术可导致神经根牵拉损伤、硬膜囊撕裂, 融合内固定术则创伤大、瘢痕粘连严重等^[1-3]。20世纪80年代, Forst和Hausmann^[4]成功地将关节内窥镜技术运用到侧方椎间孔入路椎间盘切除术中, 在此基础上, Yeung等^[5]和Hooglang等^[6]分

作者简介: 朱慧阳(1989—), 硕士, 医师; 445477207@qq.com

*通信作者: 叶正旭 yzengx@163.com

别研制了杨氏脊柱内窥镜系统(YESS)和经椎间孔内窥镜脊柱系统(TESSYS), 包括近几年出现的靶向TESSYS技术等, 为LDH的微创治疗提供了更多选择。随着内窥镜技术的不断创新, 其适应证也从LDH扩展到腰椎椎管狭窄症、腰椎内肿瘤等。但由于初学者徒手穿刺难度大, 需多次透视, 学习曲线陡峭, 一定程度上限制了内窥镜技术的发展^[7-10]。本研究组设计研制了一种椎间孔入路经皮内窥镜技术的激光导航器(专利号: ZL 2016 2 0343686.9), 旨在辅助精确穿刺, 减少辐射暴露, 改善患者术中体验。本研究组应用激光导航器辅助穿刺行经椎间孔入路经皮内窥镜下椎间盘切除术(PETD), 并与传统徒手穿刺方式进行比较, 现报告如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料

纳入标准: ①腰痛伴下肢放射痛, 症状和影像学定位一致的LDH患者; ②没有明显腰椎失稳; ③规范的非手术治疗>6个月无效或症状改善不明显; ④无凝血功能障碍。排除标准: ①严重的脊柱退行性变; ②穿刺部位有皮肤病或感染; ③有严重心理障碍或不能耐受手术; ④妊娠; ⑤髓核组织脱垂游离且距离较远。

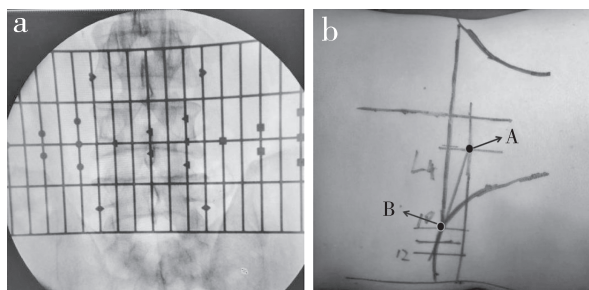
根据以上标准, 2016年3月—2017年8月共57例患者纳入本研究, 年龄18~74岁, 男33例, 女24例; 手术节段为L₃/L₄ 4例, L₄/L₅ 34例, L₅/S₁ 19例。2016年3月—2016年12月收治的32例患者采用传统穿刺方式行PETD(对照组), 男17例、女15例, 年龄18~64(43.1±12.5)岁; 手术节段为L₃/L₄ 2例, L₄/L₅ 18例, L₅/S₁ 12例。2017年1月—2017年8月收治的25例患者采用激光导航器辅助穿刺行PETD(试验组), 男16例、女9例, 年龄18~74(38.2±16.1)岁; 手术节段为L₃/L₄ 2例, L₄/L₅ 16例, L₅/S₁ 7例。2组在性别比例、年龄、手术节段比例上差异无统计学意义, 具有可比性。

1.2 穿刺方法

1.2.1 传统穿刺

患者取俯卧位, 触诊患者髂嵴和腰椎棘突并用记号笔标记划线, 找到髂嵴最高点并划线连接, 作为进针点的参考; 以体表骨性标志为参考, 估测目标穿刺间隙。将网格状定位器置于体表, C形臂X线机正位透视观察目标间隙在定位器中的位置并进行标记, 目标间隙与椎间孔外侧缘的交点即为目标靶点体表投影点(A); 进针点(B)距棘突中线10~

14 cm, 具体与个体差异和不同间隙相关; A、B点之间的连线即为穿刺路线的体表投影(图1); 常规消毒铺巾, 局部浸润麻醉, 按照规划的路径, 在C形臂X线机正侧位透视辅助下进行穿刺。穿刺角度因节段不同有一定差异: L₃/L₄节段穿刺外展角为25°~30°, L₄/L₅节段穿刺外展角为30°~40°, L₅/S₁节段穿刺外展角为40°~50°。



a: C形臂X线机透视确定目标椎间隙 b: 体表标记 A, 目标靶点体表投影点 B, 传统穿刺进针点

a: Determination of target intervertebral space by C-arm X-rays b: Body surface marking A, Surface projection points of target projection point B, Traditional puncture point

图1 传统穿刺

Fig. 1 Traditional puncture

1.2.2 激光导航器辅助穿刺

激光导航器主要由支架、可调节角度盘、激光光源组成(图2)。支架为倒“L”形铝合金结构, 底部为三脚支座, 上有竖直杆相连, 支架高度可调节(1.2~1.7 m), 可通过扳手锁定高度, 亦可拆卸以方便携带; 横向杆末端为转筒式角度盘(0°~360°), 可调节角度盘(0°~40°)及激光光源; 激光光源开关和充电插口位于转筒式角度盘侧面, 背侧的滚轮可调节激光光源的角度, 光源正中有刻度线, 作为角度调节的基准线。



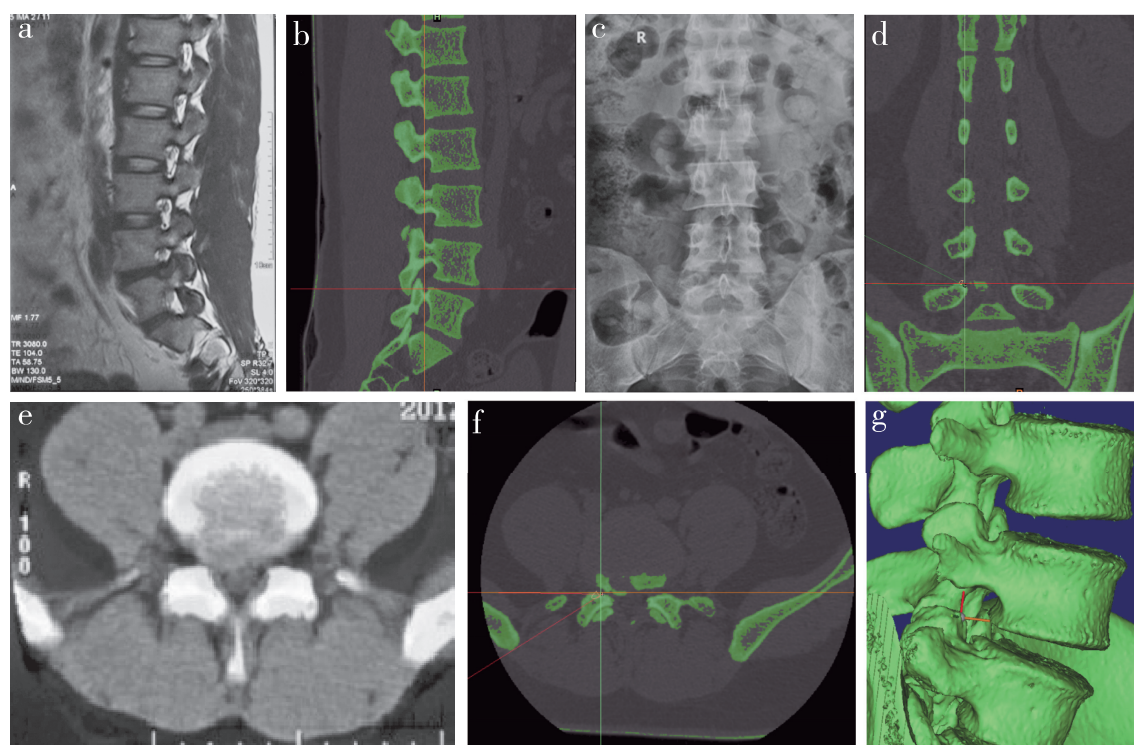
图2 激光导航器

Fig. 2 Laser navigator

将患者的三维CT资料导入Mimics软件,选择三维图像窗口,对图像进行阈值分割,重建三维立体图像,根据患者椎间盘突出类型确定穿刺目标靶点(图3)。在三维图像中,模拟经椎间孔入路穿刺,置入模拟导杆,穿刺目标靶点位于病变间隙下位椎体上关节突的前侧面。在横断面、矢状面、冠状面上对模拟导杆的角度进行校准,寻找理想路径。每例患者的椎间盘突出位置及解剖结构均有差异,模拟穿刺路径也应个体化设计。如脱出型LDH脱出的椎间盘组织向右下移位,穿刺针在冠状面上与横断面的角度就必须大一些;伴有侧隐窝狭窄的LDH,

传统TESSYS的工作通道到达椎管内,对侧隐窝的操作空间很有限,不能进行充分减压,需要穿刺针在横断面与冠状面上的角度小一些;若椎间孔有骨性狭窄,模拟导杆会经过骨性结构,可初步判断需要用环钻去除的骨质大小。最后测量模拟导杆在冠状位和轴位上的角度,以及目标靶点与体表投影点的距离(图4,5)。

在患者俯卧于手术床之前调整导航器角度,以减少保持体位的时间。患者取水平俯卧位(通过水平仪校准,以避免旋转体位),将网格定位板置于患者腰背部责任椎间隙的体表,在C形臂X线机正位

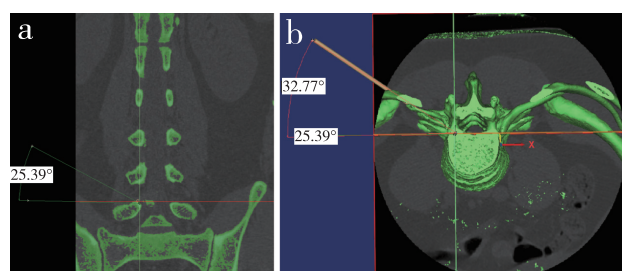


a, b: 矢状面 c, d: 冠状面 e, f: 横断面 g: 三维立体

a, b: Sagittal plane c, d: Coronal plane e, f: Transverse plane g: Three-dimensional image

图3 定位穿刺靶点

Fig. 3 Locating of puncture target



a: 冠状面 b: 横断面

a: Coronal plane b: Transverse plane

图4 导杆角度确定

Fig. 4 Determination of Guide rod's angle

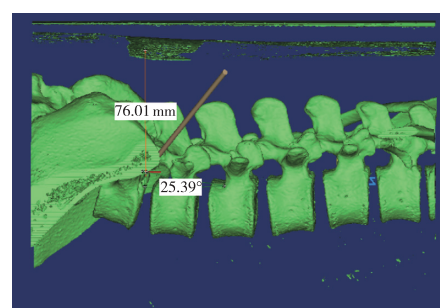
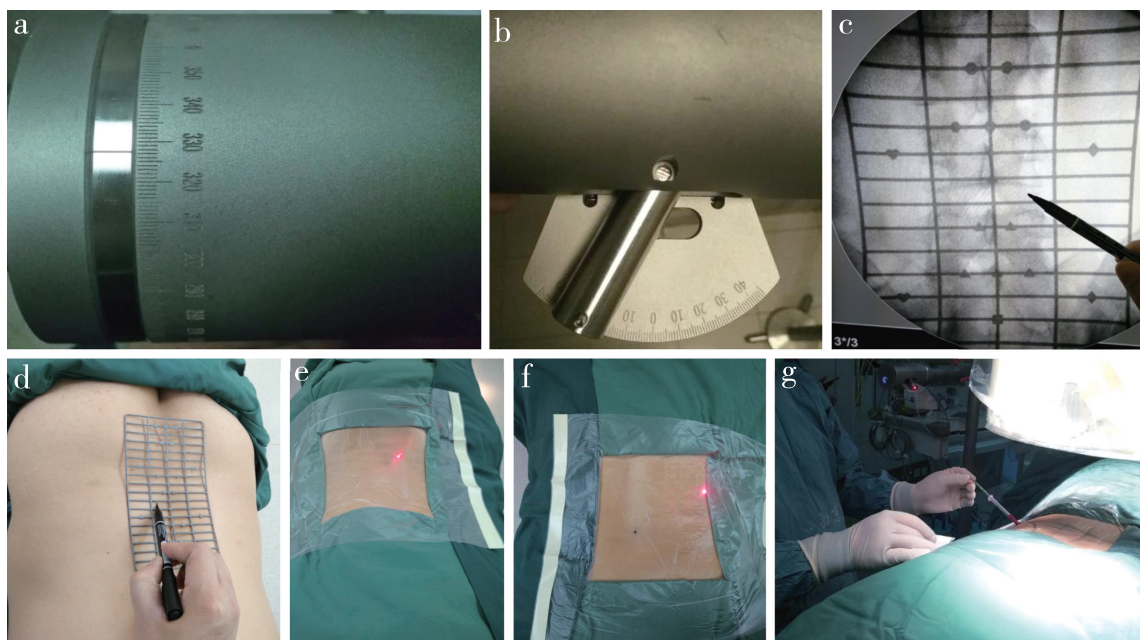


图5 穿刺靶点与皮肤投影点的距离

Fig. 5 Distance between puncture target and skin projection point

透视下确定目标靶点在体表的竖直投影点并用记号笔标记。正确摆放导航器,将手术室内灯光调暗,打开激光光源,调整整套导航器的位置,使激光光束投射于目标靶点的体表投影点,根据术前测量的目

标靶点与体表投影点的距离,向下调整固定架上端平台,并锁死。此时,激光光束与皮肤的交点即为穿刺进针点,激光束的角度即为穿刺针入路角度(图6)。局部浸润麻醉,按照激光光束的角度进行穿刺。



a, b: 调整激光导航器角度 c, d: 确定目标靶点在体表的投影点 e, f: 确定穿刺靶点 g: 按照激光投射的角度进行穿刺

a, b: Adjusting angle of laser navigator c, d: Determineing projection point of puncture target on body surface e, f: Locating of puncture target g: Puncture according to angle of laser projection

图6 激光导航器的应用

Fig. 6 Application of laser navigator

1.3 手术方法

插入导丝到达预定位置,沿着导丝退出穿刺针,导丝保留在原位。在皮肤进针点做1个约8 mm的切口。沿着导丝插入带有绿色标记的导杆。沿着导杆外壁逐级放绿色-黄色-红色套管向外扩张软组织。如果需要额外的局部麻醉,可以拔出黄色套管,用21G或22G的针插入红绿套管之间向小关节注射局部麻醉剂。沿着套管放置环锯,在C形臂X线机正侧位透视下切除部分上关节突,扩大椎间孔远端;环锯最前端不得超过中线,根据绿-黄-红的次序逐级加大环锯直径,并注意止痛。取出环锯后沿导杆放置直径为7.5 mm工作套管,拔出导丝和导杆。在C形臂X线机透视下确定工作套管的位置。理想的位置是经过椎间孔下方,在椎间盘水平,顶端正好在中线,开口朝向突出的髓核。连接内窥镜到光源和摄像机,打开光源调节白平衡,达到最佳彩色效果,把内窥镜放入工作套管。摘除突出的椎间盘组织进行神经根减压,转动工作套管检查是否

还有游离的髓核碎片,手术结束前用射频电极封闭纤维环破口。单针线缝合皮肤切口,局部压迫止血。所有手术均由同一高年资医师完成。

1.4 观察指标及统计学处理

记录各组手术穿刺次数、透视次数及手术时间;记录术前、术中、术后患者疼痛视觉模拟量表(VAS)评分以评价临床疗效。采用SPSS 19.0软件对数据进行统计学分析,数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示,组间比较采用 t 检验;以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

所有手术均顺利完成,无神经根损伤、血肿、硬膜囊损伤、感染等相关并发症出现。试验组穿刺次数、透视次数、手术时间及术中腰痛VAS评分均明显低于对照组,差异有统计学意义($P < 0.05$,表1)。2组术后VAS评分与术前相比均明显改善,差异有统计学意义($P < 0.05$);术前、术后VAS评分2组间比较,差异无统计学意义($P > 0.05$)。

表 1 临床指标
Tab. 1 Clinical results

组别 Group	n	穿刺次数 Puncture frequency	透视次数 Fluoroscopy frequency	手术时间/min Operation time/min	VAS 评分 VAS score		
					术前 Pre-operation	术中 Intra-operation	术后 Post-operation
对照 Control	32	7.4 ± 1.2	16.2 ± 2.9	90.2 ± 11.9	6.7 ± 1.4	4.5 ± 1.3	1.4 ± 0.5 [△]
试验 Experiment	25	2.7 ± 0.9 [*]	5.2 ± 1.4 [*]	76.7 ± 5.3 [*]	7.2 ± 1.4	3.2 ± 0.1 [*]	1.3 ± 0.6 [△]

注: * 与对照组相比, $P < 0.05$; Δ 与术前相比, $P < 0.05$
Note: * $P < 0.05$, compared with control group; Δ $P < 0.05$, compared with pre-operation

3 讨 论

经皮内窥镜脊柱手术具有广阔应用前景。自经皮髓核切除术首次应用以来,不同的技术和仪器相继问世,且内窥镜手术技术不断改进,在安全性和有效性方面获得广泛认可。PETD是一种相对较新的LDH治疗方法,近年来被广泛应用和开发,国内外多项研究结果表明,在某些方面PETD治疗LDH的效果等同或优于开放椎间盘切除术^[1-3, 11-13]。PETD手术的微创性,具体可以总结为“两小两少一早”,即手术切口小,对腰椎稳定性破坏小,术中出血量少,手术花费少,下床活动早^[11, 14-19],甚至有学者将该技术作为椎间盘切除的“金标准”^[20]。

PETD的手术目标是从后外侧进入椎间盘或椎管内,镜下直视选择性切除发生退行性变的突出椎间盘组织^[21]。PETD包括2个主要步骤:首先穿刺至目标区域并置入工作通道,然后直视下行椎间盘切除^[15, 22-24]。前一步骤通常是在C形臂X线机透视辅助下,根据经验盲视进行,在视野受限的条件下,需考虑到神经根与小关节或椎间盘的紧密毗邻,以及下腰椎较小的椎间孔矢状面宽度,穿刺或者置入工作通道的过程中可能会损伤出行神经根,甚至椎管内的走行神经根^[25-28]。初期开展PETD最大的难点便在于穿刺置管,最大的风险也是穿刺置管带来的对神经根或其他重要解剖结构的损伤。因此,该手术的另外一个特点是具有陡峭的学习曲线^[7-8, 29]。为了降低PETD手术的难度,降低学习曲线,针对穿刺定位困难这一方面,国内外研究者做了很多工作。对初学者而言,穿刺定位不准确往往意味着需反复透视调整方向,高剂量的辐射严重威胁患者和医护人员的健康^[30-34]。虽然Joimax等厂家提供了计算机导航系统,但成本较高,难以普及推广;因此,

采用经济的辅助仪器提高穿刺精确度是近年来的研究热点。笔者回顾文献发现,多种穿刺导航装置被探索性地应用于临床,且取得了较好的效果。范国鑫等^[35-37]报道了一种同心球导向装置,其原理是以目标穿刺点及其在背部和侧位的投影点确定1个平面,2个探针分别对准2个投影点,形成以目标穿刺点为圆心的扇形,弧形装置上任意一个半径均可到达目标穿刺点。不难发现,该装置穿刺成功依赖于术前透视精确找到目标靶点的体表投影点,若标记的投影点偏向头侧或者尾侧就会出现误差;因此,对透视技术有较高的要求。谭海涛等^[38]设计了一种结合计算机的导航导杆系统,其设计原理是在健侧髂后上棘置入导航参考架,在计算机导航的辅助下进行穿刺,取得了较好效果。但该设计最大的不足是导航参考架的置入对患者产生了额外的创伤,另外该文献中也提到出现了2例导航参考架松动的现象,对穿刺导航产生了较大影响。李承龙等^[39]利用3D打印技术研制个体化导航导板,其原理是在术前三维CT影像学资料的基础上,利用Mimics软件分析,模拟穿刺建立导航模型,并制作导航导板,将导板贴放至患者皮肤表面进行穿刺;临床初步应用时,4例中有3例成功或合格,1例失败,效果较好。但3D打印导板无疑给患者带来了更重的经济负担,除此之外,如何保证导航导板合适地放置于患者皮肤表面也是一个关键问题。各种穿刺定位装置都有其各自的优势,能够有效减少穿刺和透视次数,缩短手术时间,降低穿刺难度,间接降低了学习曲线,但也有一定的缺陷。

本研究中,三维影像学资料分析能够更好地显示目标靶点周围的结构,软件下多平面重建,模拟穿刺规划路径,并可提示路径上的骨性阻挡,尤其是对于解剖关系更为复杂的椎间孔狭窄者,提供了

穿刺角度等相关信息,初步评估了穿刺的可操作性;结合自行设计的激光导航器,能够判断穿刺的进针点,可指导穿刺的路线。本研究结果表明,激光导航器能显著减少穿刺及透视次数,降低了医护人员和患者的辐射量;缩短了手术时间,改善了患者长时间保持体位带来的颈肩部酸痛感。相较于其他穿刺定位装置,本研究设计研制的导航器具有以下创新性。①设计原理相对简单易懂,通过平移设定的角度路线至目标靶点,即可确定穿刺进针点和穿刺角度;②测量的数据相对较少,只需要测量穿刺路线与人体矢状面和冠状面的角度,以及目标靶点与体表投影点的距离;③其他的定位器研究中,没有着重强调术前三维CT检查时体位对于测量数据的影响,本研究中腰椎三维CT检查在俯卧位下完成,刻录光盘时影像结果中保留腰背部的皮肤,可更精确地测量所需参数;④导航装置角度的调试可在患者进入手术室前完成,缩短规划手术路线的时间,进而缩短患者保持俯卧位的时间;⑤对于侧隐窝狭窄者也可以确定狭窄部位,靠近关节突基部用环钻减压。

在该导航器的使用过程中,若要保证穿刺的精确度,需要注意以下几点。①准确地测量数据是精确导航穿刺的重要环节;②在入路的设计过程中要与术者沟通交流,避免个人主观因素带来的偏差;③导航定位后,确保仪器部件牢靠锁死,避免松动移位带来的偏差;④在穿刺过程中,需严格遵循激光光束的路线,另外要将手术室光线调暗,以更加清晰地观察光束路径;⑤术中C形臂X线机透视质量的好坏,直接影响到穿刺方向的调整,也会影响术中的透视次数。

与术者沟通导航器在手术中的应用体验后,发现还存在一些需要改进的地方。①通过三维CT图像测量目标靶点与体表皮肤投影点的距离,有时存在误差,尤其是肥胖患者;可以运用Surgimap软件测量患者MRI影像,进行校正或比对。②激光光束仅将穿刺路径可视化,给术者一定的指导,但在进针后,有时难以时刻保持进针时的角度;可辅以有机耐热材料的穿刺套筒,使光束穿过套筒投射至体表,增加穿刺方向的稳定性。

4 结 论

PETD作为一种新兴技术,在腰椎退行性疾病的治疗中具有广阔的应用前景。本研究设计的激光导航器能够有效减少PETD术中的穿刺次数、透视次数、手术时间,手术效果良好,减少患者术中长

期俯卧带来的不适感,减少患者及医护人员的辐射暴露剂量,降低了PELD的学习曲线。

参 考 文 献

- [1] Ahn SS, Kim H, Kim DW, et al. Comparison of outcomes of percutaneous endoscopic lumbar discectomy and open lumbar microdiscectomy for young adults: a retrospective matched cohort study [J]. *World Neurosurg*, 2016, 86: 250-258.
- [2] 古伟文,徐峰,蔡贤华,等.经皮椎间孔镜靶向穿刺技术治疗腰椎间盘突出症的疗效分析[J]. *脊柱外科杂志*, 2013, 11(3): 149-153.
- [3] 尹西盟,穆胜凯,吴岩,等.经皮椎间孔镜与开放减压手术治疗老年腰椎椎管狭窄症疗效对比[J]. *脊柱外科杂志*, 2014, 12(5): 293-297.
- [4] Forst R, Hausmann B. Nucleoscopy—a new examination technique [J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 1983, 101(3): 219-221.
- [5] Yeung AT, Tsou PM. Posterolateral endoscopic excision for lumbar disc herniation: surgical technique, outcome, and complications in 307 consecutive cases [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2002, 27(7): 722-731.
- [6] Hoogland T, Schubert M, Miklitz B, et al. Transforaminal posterolateral endoscopic discectomy with or without the combination of a low-dose chymopapain: a prospective randomized study in 280 consecutive cases [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2006, 31(24): E890-E897.
- [7] Wang H, Huang B, Li C, et al. Learning curve for percutaneous endoscopic lumbar discectomy depending on the surgeon's training level of minimally invasive spine surgery [J]. *Clin Neurol Neurosurg*, 2013, 115(10): 1987-1991.
- [8] Wu XB, Fan GX, Gu X, et al. Learning curves of percutaneous endoscopic lumbar discectomy in transforaminal approach at the L_{4/5} and L₅/S₁ levels: a comparative study [J]. *J Zhejiang Univ Sci B*, 2016, 17(7): 553-560.
- [9] 周跃,李长青,王建,等.椎间孔镜YESS与TESSYS技术治疗腰椎间盘突出症[J]. *中华骨科杂志*, 2010, 30(3): 235-237.
- [10] 殷乐,元虎.椎间孔镜下腰椎髓核摘除术学习曲线及其近期疗效分析[J]. *吉林医学*, 2017, 38(9): 1656-1658.
- [11] Türk C, Kara N, Biliciler B, et al. Clinical outcomes and efficacy of transforaminal lumbar endoscopic discectomy [J]. *J Neurosci Rural Pract*, 2015, 6(3): 344-348.
- [12] Wang K, Hong X, Zhou B, et al. Evaluation of

- transforaminal endoscopic lumbar discectomy in the treatment of lumbar disc herniation[J]. Int Orthop, 2015, 39(8): 1599-1604.
- [13] 杨林, 廖绪强, 赵新建, 等. 经皮椎间孔镜与椎间盘镜下手术治疗腰椎间盘突出症的治疗效果比较[J]. 中国内镜杂志, 2015, 21(9): 962-965.
- [14] 赵伟, 李长青, 周跃, 等. 经皮椎间孔镜下 TESSYS 技术治疗腰椎间盘突出症[J]. 中国矫形外科杂志, 2012, 20(13): 1191-1195.
- [15] 赵学军, 左玲, 傅志俭, 等. 经皮椎间孔镜下髓核摘除术治疗腰椎间盘突出症[J]. 中国疼痛医学杂志, 2013, 19(1): 8-12.
- [16] 崔为良, 王萍, 廖忠. 经皮椎间孔镜治疗腰椎间盘突出症的疗效分析及临床体会[J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2015, 30(7): 748-749.
- [17] 潘承波, 刘法银, 李嗣生. 经皮椎间孔镜治疗腰椎间盘突出症的疗效观察[J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2015, 30(1): 94-95.
- [18] 柳百炼, 熊鹰, 顾邵, 等. 经皮椎间孔镜治疗腰椎间盘突出症的临床效果[J]. 实用医学杂志, 2015, 31(6): 981-983.
- [19] 刘宝平, 何强, 范先东, 等. 经皮椎间孔镜治疗腰椎间盘突出症疗效观察[J]. 人民军医, 2011, 54(6): 472-473.
- [20] Gibson JN, Cowie JG, Ipreburg M. Transforaminal endoscopic spinal surgery: the future “gold standard” for discectomy?—A review[J]. Surgeon, 2012, 10(5): 290-296.
- [21] 吴波, 赵庆豪, 周潇齐, 等. 腰椎间孔镜的应用解剖[J]. 中国临床解剖学杂志, 2017, 35(1): 5-8.
- [22] 左进步, 余磊, 黄凯, 等. 靶向定位 TESSYS 椎间孔镜技术治疗腰椎间盘突出症[J]. 中国疼痛医学杂志, 2015, 21(11): 869-872.
- [23] 祝乃强, 侯静怡, 马桂云, 等. 改良 TESSYS 技术治疗老年性退变性腰椎管狭窄症的疗效分析[J]. 中国骨与关节杂志, 2017, 6(10): 780-785.
- [24] 谢旭华, 雷云坤, 刘伟, 等. 经皮椎间孔镜治疗腰椎间盘突出症临床疗效观察[J]. 中国矫形外科杂志, 2012, 20(5): 463-465.
- [25] Park HK, Rudrappa S, Dujovny M, et al. Intervertebral foraminal ligaments of the lumbar spine: anatomy and biomechanics[J]. Childs Nerv Syst, 2001, 17(4-5): 275-282.
- [26] Yuan SG, Wen YL, Zhang P, et al. Ligament, nerve, and blood vessel anatomy of the lateral zone of the lumbar intervertebral foramina[J]. Int Orthop, 2015, 39(11): 2135-2141.
- [27] Amonoo-Kuofi HS, El-Badawi MG, Fatani JA. Ligaments associated with lumbar intervertebral foramina. 1. L₁ to L₄ [J]. J Anat, 1988, 156: 177-183.
- [28] Amonoo-Kuofi HS, el-Badawi MG, Fatani JA, et al. Ligaments associated with lumbar intervertebral foramina. 2. The fifth lumbar level[J]. J Anat, 1988, 159: 1-10.
- [29] 刘丰平, 赵红卫, 陈海丹, 等. TESSYS 椎间孔镜治疗腰椎间盘突出症的学习曲线及经验[J]. 中国矫形外科杂志, 2016, 24(3): 235-241.
- [30] Chen X, Cheng J, Gu X, et al. Development of preoperative planning software for transforaminal endoscopic surgery and the guidance for clinical applications[J]. Int J Comput Assist Radiol Surg, 2016, 11(4): 613-620.
- [31] Ahn Y, Kim C, Lee JH, et al. Radiation exposure to the surgeon during percutaneous endoscopic lumbar discectomy [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2013, 38(7): 617-625.
- [32] Wu R, Liao X, Xia H. Radiation exposure to the surgeon during ultrasound-assisted transforaminal percutaneous endoscopic lumbar discectomy: a prospective study[J]. World Neurosurg, 2017, 101: 658-665.
- [33] Gupta RS, Wu X, Hong X, et al. Technique of percutaneous transforaminal endoscopic discectomy for the treatment of lumbar disc herniation[J]. Open J Orthop, 2015, 5(7): 208-216.
- [34] 扶青松. 腰椎微创经皮内固定及椎间孔镜手术中的X线防护研究[D]. 苏州: 苏州大学, 2014.
- [35] 范国鑫, 吴信波, 管晓菲, 等. 经椎间孔内镜技术穿刺路径辅助定位器的设计与临床应用[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2016, 26(3): 218-224.
- [36] 范国鑫, 赵永昭, 汪东冬, 等. 同心球定位导向技术对椎间孔镜术辐射暴露的影响[J]. 中国矫形外科杂志, 2017, 25(19): 1756-1762.
- [37] Fan G, Gu X, Liu Y, et al. Lower learning difficulty and fluoroscopy reduction of transforaminal percutaneous endoscopic lumbar discectomy with an accurate preoperative location method[J]. Pain Physician, 2016, 19(8): E1123-E1134.
- [38] 谭海涛, 黄圣斌, 谢兆林, 等. 导航导杆在椎间孔镜穿刺定位的应用[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2017, 27(4): 339-344.
- [39] 李承龙, 李泽福, 李勖, 等. 3D打印导板在经椎间孔内镜技术定位穿刺中的初步应用[J]. 滨州医学院学报, 2017, 40(4): 252-256.

(收稿日期: 2018-05-15)

(本文编辑: 于 倩)