

# 三维可视化虚拟手术系统在经皮内镜下经椎间孔椎间盘切除术中的应用研究\*

巩 陈\*\* 吴建明 张文志<sup>①</sup> 刘向阳 石志伟 段端强

(安徽医科大学附属亳州医院脊柱外科, 亳州 236800)

**【摘要】** 目的 探讨采用三维可视化虚拟手术系统(three-dimensional visualization virtual surgery system, 3DVVSS)联合自制椎间孔定位穿刺器(intervertebral foramen positioning puncture device, IFPPD)在经皮内镜下经椎间孔椎间盘切除术(percutaneous transforaminal endoscopic discectomy, PTED)治疗腰椎间盘突出症(lumbar disc herniation, LDH)中的应用效果。方法 2021年1月~2022年2月我科70例LDH接受PETD,采用随机数字表法选择通道建立方法,35例采用3DVVSS联合IFPPD建立通道(可视化组),35例采用传统徒手方法建立通道(传统组),通道建立后采用经椎间孔内镜脊柱系统(transforaminal endoscopic spine system, TESSYS)完成椎间盘切除和神经根减压。比较2组穿刺次数、穿刺时间、透视次数、手术时间、住院时间、疼痛视觉模拟评分(Visual Analogue Scale, VAS)、Oswestry功能障碍指数(Oswestry Disability Index, ODI)和并发症发生情况。结果 70例顺利完成手术,无并发症发生。可视化组穿刺时间明显短于传统组[(14.7 ± 4.0) min vs. (19.1 ± 3.7) min,  $t = -4.765, P = 0.000$ ],穿刺次数明显少于传统组[(3.8 ± 1.9)次 vs. (7.3 ± 2.4)次,  $t = -6.898, P = 0.000$ ],透视次数明显少于传统组[(8.3 ± 3.1)次 vs. (14.5 ± 4.0)次,  $t = -7.370, P = 0.000$ ],手术时间明显短于传统组[(78.3 ± 9.2) min vs. (88.4 ± 14.3) min,  $t = -3.528, P = 0.001$ ]。2组术后VAS评分和ODI均优于术前,差异有统计学意义(均  $P = 0.000$ )。结论 PTED治疗LDH采用3DVVSS联合IFPPD可以明显减少穿刺次数、透视次数,缩短穿刺时间和手术时间,穿刺准确性高,手术效果满意,方法可行。

**【关键词】** 经皮内镜手术; 椎间孔成形; 经椎间孔减压; 腰椎间盘突出症; 透视

文献标识:A 文章编号:1009-6604(2023)09-0668-08

doi:10.3969/j.issn.1009-6604.2023.09.006

## Application of Three-dimensional Visualization Virtual Surgery System in Percutaneous Transforaminal Endoscopic

Discectomy Gong Chen\*, Wu Jianming\*, Zhang Wenzhi, et al. \*Department of Spine Surgery, Bozhou Hospital Affiliated to Anhui Medical University, Bozhou 236800, China

Corresponding author: Gong Chen, E-mail: gongchen19811119@163.com

**【Abstract】** **Objective** To investigate the application effect of the three-dimensional visualization virtual surgery system (3DVVSS) combined with the self-made intervertebral foramen positioning puncture device (IFPPD) for percutaneous transforaminal endoscopic discectomy (PTED) in the treatment of lumbar disc herniation (LDH). **Methods** From January 2021 to February 2022, 70 patients with LDH in our department underwent PTED. The random number table method was used to select the channel establishment method. A total of 35 cases were treated with 3DVVSS combined with the self-made IFPPD to establish channel (visualization group), and another 35 cases were treated with traditional manual method (traditional group). After the channels were established, the TESSYS technology was used to complete the discectomy and nerve root decompression. The puncture times, puncture time, fluoroscopy times, operation time, hospitalization time, visual analogue scale (VAS), Oswestry disability index (ODI), and

\* 基金项目:安徽省重点研究与开发计划项目(202104j07020053);安徽医科大学附属亳州医院三新项目(2021ZDA-01)

\*\* 通讯作者, E-mail: gongchen19811119@163.com

① (中国科学技术大学附属第一医院脊柱外科, 合肥 230036)

complications were compared between the two groups. **Results** The operations were successfully completed in all the 70 patients, without serious complications. The visualization group was significantly shorter than the traditional group in terms of puncture time [(14.7 ± 4.0) min vs. (19.1 ± 3.7) min,  $t = -4.765$ ,  $P = 0.000$ ]. The number of punctures in the visualization group was significantly lower than that in the traditional group [(3.8 ± 1.9) times vs. (7.3 ± 2.4) times,  $t = -6.898$ ,  $P = 0.000$ ]. The fluoroscopy times in the visualization group was significantly lower than that in the traditional group [(8.3 ± 3.1) times vs. (14.5 ± 4.0) times,  $t = -7.370$ ,  $P = 0.000$ ]. The surgical time in the visualization group was significantly shorter than that in the traditional group [(78.3 ± 9.2) min vs. (88.4 ± 14.3) min,  $t = -3.528$ ,  $P = 0.001$ ]. The VAS and ODI in each group were better than preoperation, with differences statistically significant (all  $P = 0.000$ ). **Conclusions** The application of 3DVVSS combined with the self-made IFPPD in PETD can significantly reduce the puncture times, fluoroscopy times, puncture time, and operation time in the treatment of patients with LDH. This method has high puncture accuracy, good safety, and satisfactory surgical results, which is feasible.

**【Key Words】** Percutaneous endoscopic surgery; Foraminoplasty; Transforaminal decompression; Lumbar disc herniation; Fluoroscopy

内镜手术可治疗多种腰椎病变<sup>[1-7]</sup>,包括各种类型腰椎间盘突出症(lumbar disc herniation, LDH)和腰椎管狭窄症,其神经减压效果与传统开放手术相当<sup>[8-10]</sup>。内镜腰椎手术通过几毫米管道直接进入椎间盘病变部位,避免对正常组织的创伤,术后慢性背痛减少,医源性损伤减少,恢复时间更快,局部麻醉没有全麻禁忌证和并发症。值得注意的是,经皮内镜下经椎间孔椎间盘切除术(percutaneous transforaminal endoscopic discectomy, PTED)最大缺点是学习曲线陡峭,基本掌握这种手术需要做30~40例<sup>[11-13]</sup>,学习曲线陡峭原因是多方面的,通道建立是主要原因之一。理想通道建立非常关键,决定手术能否顺利进行和手术效果。为建立理想通道,往往需要反复穿刺透视,不仅浪费大量时间,而且增加患者痛苦和手术风险。为更加准确、快速建立理想通道,我们采用三维可视化虚拟手术系统(three-dimensional visualization virtual surgery system, 3DVVSS)术前模拟出理想穿刺通道,并把此通道相关参数转换到患者身上,术前在患者体表标记出穿刺点、穿刺方向和穿刺角度,在自制椎间孔定位穿刺器(intervertebral foramen positioning puncture device, IFPPD)引导下进行穿刺,旨在提高穿刺成功率,减少穿刺时间和透视次数,并与传统徒手方法建立通道进行比较,报道如下。

## 1 临床资料与方法

### 1.1 一般资料

本研究为前瞻性随机对照研究,经亳州市人民

医院伦理委员会审批通过[批文号:(BY)2020-0018]。术前详细告知患者和委托人并签署知情同意书。病例选择标准:①年龄≥18岁,经正规保守治疗3个月无效;②单节段、单侧症状,临床表现与MRI、CT检查相吻合;③椎间盘突出类型为旁中央型或旁侧型;④无严重基础疾病,能耐受经皮椎间孔镜手术。排除标准:①有腰椎该节段手术史;②存在腰椎不稳;③中央型和极外侧型LDH,椎间盘向近端或远端重度脱出;④L<sub>5</sub>/S<sub>1</sub>节段伴髂嵴位置过高或L<sub>5</sub>横突肥大影响通道建立;⑤近期有脊柱活动性感染;⑥随访资料不完整;⑦不能正常进行语言交流。

纳入2021年1月~2022年2月我院脊柱外科70例LDH,男33例,女37例。年龄21~78岁,(47.8 ± 14.5)岁。70例均有典型的椎间盘突出症的临床表现,即腰痛伴相应节段坐骨神经痛,伴麻木或肌力下降。术前腰椎正侧位、动力位X线片、CT三维重建和MRI提示椎间盘突出,其中L<sub>4/5</sub>45例,L<sub>5</sub>/S<sub>1</sub>25例,未见腰椎不稳表现。合并糖尿病14例,原发性高血压18例。采用随机数字表选择通道建立方法,35例采用3DVVSS联合IFPPD建立通道(可视化组),35例采用传统徒手方法建立通道(传统组)。2组通道建立后采用TESSYS技术完成椎间盘切除和神经根减压。手术通道建立由同一年轻医生操作,减压过程由同一高年资医生主刀。2组患者一般资料比较无统计学差异( $P > 0.05$ ),有可比性,见表1。

表 1 2 组患者一般资料比较 ( $n = 35, \bar{x} \pm s$ )

组别	年龄 (岁)	性别		体重指数	手术节段		椎间盘突出类型		椎间盘突出程度		糖尿病	原发性 高血压
		男	女		L <sub>4/5</sub>	L <sub>5</sub> /S <sub>1</sub>	旁中央型	旁侧型	突出	脱出		
可视化组	49.4 ± 13.4	16	19	22.39 ± 2.25	21	14	20	15	25	10	9	10
传统组	46.5 ± 15.7	17	18	22.93 ± 2.59	24	11	22	13	24	11	5	8
$t(\chi^2)$ 值	$t = 0.840$	$\chi^2 = 0.057$		$t = -0.926$	$\chi^2 = 0.560$		$\chi^2 = 0.238$		$\chi^2 = 0.068$		$\chi^2 = 1.429$	$\chi^2 = 0.299$
P 值	0.404	0.811		0.358	0.454		0.626		0.794		0.232	0.584

## 1.2 方法

### 1.2.1 术前规划及自制 IFPPD

术前完善腰椎正侧位片、过伸过屈位片、腰椎椎体及附件 CT 平扫 + 三维重建和 MRI。可视化组 CT 检查时采用俯卧位(所用俯卧位垫与术中相同),并做好体表定位标记。腰椎可视化重建采用人体 3DVVSS(安徽紫薇帝星数字科技有限公司,批文号:皖械注准 20182210130),术中使用 Joimax 椎间孔镜和射频系统(德国 Joimax 公司,批文号:国械注进 20163062585)。

自制 IFPPD(专利号:ZL 2022 2 2892514.5):包括固定架、连接杆、量角器、刻度针、导向器和 3 个关节(图 1A、B)。3 个关节可以 360° 旋转,其中 6 和 7 关节可以上下滑动调节高度,导向器进针一侧设计成“十字交叉”型,进针方向可以沿 8 个不同方向微调,出针一侧是小圆形(图 1C)。穿刺时出针圆孔紧贴皮肤进针点,通过微调进针方向可以有目的调整穿刺目标,方便术中微调穿刺位置。此穿刺器起到固定角度和方向作用,不影响术中透视。

### 1.2.2 手术方法

#### 1.2.2.1 可视化组

术前准备:为减少因体位改变而产生误差,术前腰椎 CT 检查与手术时间采用同样体位(图 2A),且所用俯卧位垫是相同的,这样获得 CT 数据更加准确。做 CT 之前在患者腰背部体表进行金属定位标记,然后利用 CT 数据进行三维可视化重建,将体表标记物完全重建出来。在患者身上用标记笔标出金属物的皮肤位置,以备术中参考。64 排双螺旋 CT,层厚设定为 1 mm,扫描时包括患者背部全部皮肤,获取腰椎 CT 平扫二维数据(Dicom3.0 格式)。将腰椎 CT 平扫数据导入三维可视化医学诊断图像处理系统中,重建腰椎三维可视化模型,重建内容包括神经、硬脊膜、皮肤、体表标记物、肌肉、椎间盘、骨组织等,不同组织采用不同颜色标记,易于辨认。建 1

条直径 7.5 mm 虚拟管道及虚拟穿刺针,建立术前模拟通道,调整虚拟管道及穿刺针达到理想位置。360° 旋转图像观察管道与出口神经根、上关节突和椎间盘位置关系。以皮肤表面标记物为参考位置,测量术中皮肤进针点位置,即虚拟穿刺针与皮肤交点(图 2B)。测量虚拟穿刺针与矢状面角度即术中穿刺外展角度(图 2C)。根据模拟穿刺针在体表投影和皮肤表面标记物位置(图 2D),计算出术中穿刺方向。术前在患者皮肤表面标记进针点位置、穿刺外展角度和穿刺方向(图 2E),以备术中直接穿刺所用。

手术操作:①取俯卧位,利多卡因注射液局部皮肤麻醉,安装好自制 IFPPD,根据术前规划调整好穿刺角度,18G 穿刺针从导向器中心沿术前规划的穿刺参数缓慢进行椎间孔穿刺(图 2F),穿刺针需要平行于刻度针,透视确定进针位置,较理想穿刺位置是在前后位投影中,穿刺目标位于下位椎体上终板线与椎弓根内缘连线的交叉点,在侧位投影中,穿刺目标位于下位椎体后缘线与下位椎体上终板线的交叉点<sup>[14]</sup>。若位置不佳,利用“十字交叉”型导向器微调,再次透视,位置满意后,注射麻药行椎间孔区域麻醉,务必回抽无脑脊液和明显出血方可注射麻药。置换导丝后撤掉 IFPPD。18G 穿刺针沿导丝方向穿刺,注意稍微向背侧穿刺下位椎体上关节突,可感到骨性阻挡,这是上关节突,注射麻药行上关节突麻醉。最后行腰背筋膜麻醉。②通道建立后按照标准经椎间孔内镜脊柱系统(transforaminal endoscopic spine system, TESSYS)完成椎间盘切除和神经根减压。

1.2.2.2 传统组 穿刺路径的设计及通道的建立依靠术者经验、患者体型、术前腰椎 CT 和 MRI 及术中透视,椎间隙及穿刺方向采用自制可透视角度测量器(图 2G,专利号:ZL 2021 3 0855068.9)<sup>[14]</sup>。通道建立完成后,其余步骤与可视化组相同。

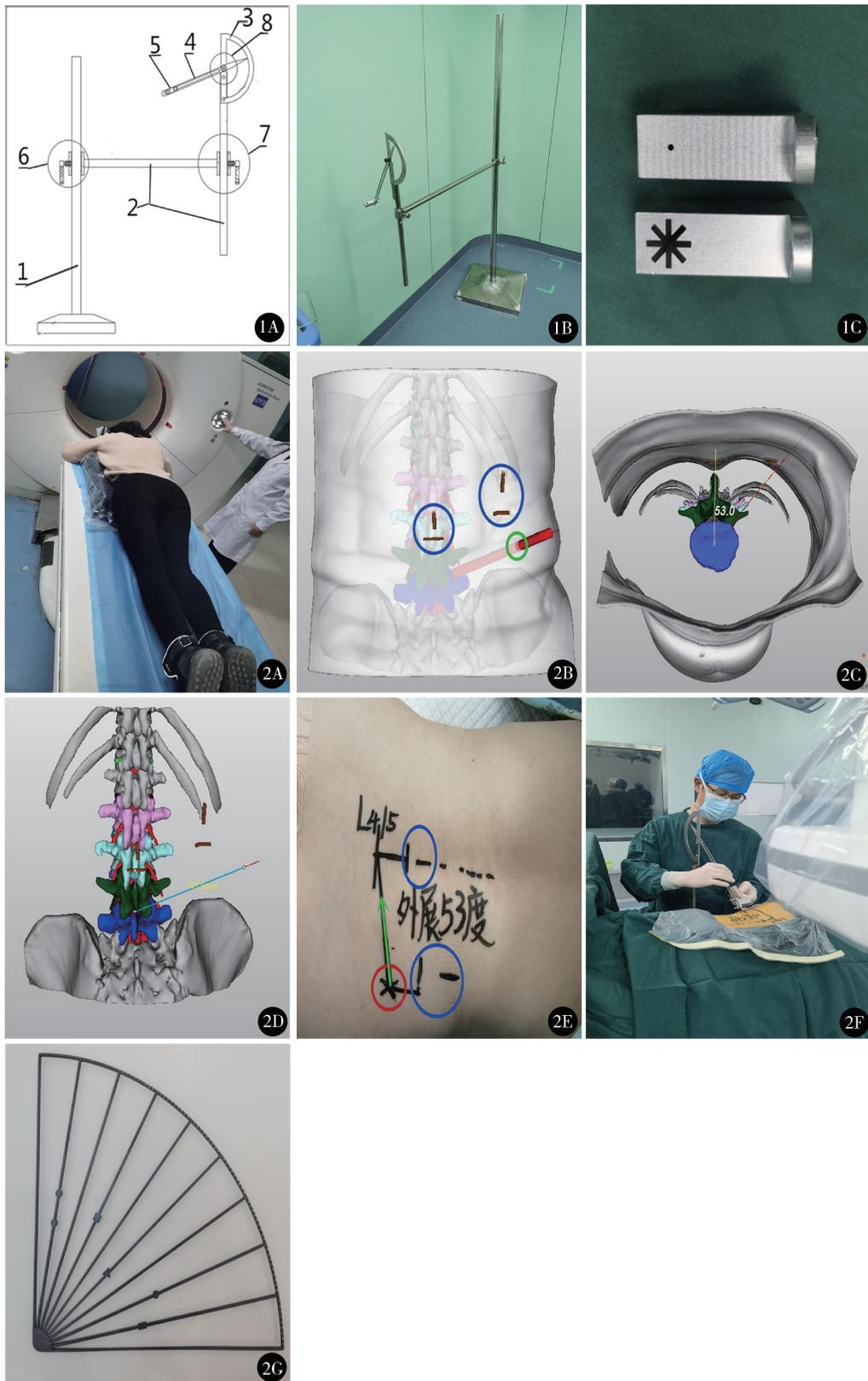


图 1 自制 IFPPD A. 示意图:1 - 固定架,2 - 连接杆,3 - 量角器,4 - 刻度针,5 - 导向器,6 - 8 - 3 个关节;B. 实物图;C. 导向器 图 2 手术过程 A. CT 检查体位;B. 可视化重建结果,虚拟管道在绿色圆内,颜色改变处是皮肤进针点位置,蓝色圆内是重建的体表标记物;C. 测量穿刺外展角度;D. 确定穿刺方向;E. 术前标记出穿刺参数,红色圆内是进针点位置,绿色箭头是穿刺方向;F. 术中穿刺;G. 自制可透视角度测量器实物图

1.2.3 术后处理和随访 术后常规给予营养神经、脱水等治疗。术后常规严格卧床 6 h。术后 1 个月内可以戴腰围下床行走,避免弯腰和久坐。术后 3 个月内避免体力劳动。术后 3、6 个月门诊随访,完善腰椎动力位片、CT 和 MRI。

### 1.3 观察指标

穿刺次数、穿刺时间、透视次数、疼痛视觉模拟评分(Visual Analogue Scale, VAS)、Oswestry 功能障碍指数(Oswestry Disability Index, ODI)、住院时间、并发症和 MacNab 标准评定疗效。

### 1.4 统计学处理

采用 SPSS25.0 统计软件包进行统计分析。符合正态分布的计量资料采用  $\bar{x} \pm s$  表示,采用独立样本  $t$  检验或重复测量方差分析;计数资料比较采用  $\chi^2$  检验;等级资料采用 Mann-Whitney  $U$  检验。双侧检验,  $\alpha = 0.05$ 。

## 2 结果

70 例均顺利完成手术,无血管损伤大出血、栓塞、神经损伤等并发症发生。可视化组在穿刺时间、穿刺次数、透视次数、手术时间方面显著优于传统组 ( $P < 0.05$ ),见表 2。2 组住院时间差异无显著性 ( $P = 0.368$ )。可视化组一次穿刺成功 8 例,传统组 2 例,差异有统计学意义 ( $\chi^2 = 4.200, P = 0.040$ )。术后 6 个月 MacNab 疗效优良率可视化组 94.3%,传统组 91.4%,差异无统计学意义 ( $P = 0.562$ )。典型影像资料见图 3。可视化组随访时间 ( $9.5 \pm 2.0$ ) 月,传统组 ( $9.3 \pm 1.7$ ) 月,差异无统计学意义 ( $t = 0.651, P = 0.517$ )。2 组内 VAS 评分和 ODI 术后 1 d、6 个月与术前比较明显改善(均  $P = 0.000$ ),2 组间比较 VAS 评分、ODI 差异均无统计学意义 ( $P > 0.05$ ),见表 3、4。

## 3 讨论

### 3.1 准确穿刺,建立理想通道

准确穿刺是 PTED 的一个重要步骤,也是手术成功的关键,可以最大限度地减少穿刺次数、穿刺损伤和辐射暴露。本研究表明采用 3DVVSS 结合自制 IFPPD 可以提高穿刺准确性、减少透视次数和缩短穿刺时间。3DVVSS 联合皮肤表面定位标记方法可以将理想的模拟穿刺参数准确地转换到患者身上,

术前可以在患者皮肤上标记进出针点、穿刺角度和方向。3DVVSS 从三维立体的角度模拟通道建立,比二维 CT 和 MRI 更加准确可靠。此系统可以重建出神经根,术前模拟通道建立可以避免出口神经根,减少神经根穿刺损伤发生率。对于  $L_5/S_1$  伴有高髂棘或  $L_5$  横突较宽大的患者,3DVVSS 重建腰椎并模拟置管,可以明确骨性阻挡情况,确定能否置管成功,为手术方式选择提供帮助。CT 检查和手术采用相同体位,相同俯卧位垫子减少误差。导向器进针一侧设计成“十字交叉”型,进针方向可以沿 8 个不同方向微调,出针一侧是小圆形,出针圆孔紧贴着皮肤进针点,通过微调进针方向可以有目的调整穿刺目标。另外,自制的 IFPPD 设计简单,使用方面,很容易普及,腰椎三维可视化图像由专门公司完成,医生只需要提供 CT 数据给公司。

### 3.2 缩短 PTED 学习曲线措施

PTED 的手术过程包括 2 个要素:①透视引导下穿刺建立通道;②内镜下椎间盘切除硬膜外减压术。这 2 个步骤都可能发生限速或手术困难,需要广泛的培训和实践,以缩短学习曲线。根据手术步骤,以下几个因素影响 PETD 的学习曲线:①经椎间孔穿刺建立通道,要防止出口神经根损伤或刺激;②内镜直视下有效神经减压;③术中不良事件的充分管理,包括出血、硬膜撕裂和术中疼痛。第一步是通过椎间孔安全地进行后外侧穿刺,避免出口神经根损伤。 $L_5/S_1$  椎间孔通常很小,在引入工作套管的过程中可能会损伤出口神经根。为避开神经,着陆点应靠近椎间孔背部和尾侧,远离出口神经根。除避免出口神经根外,着陆点应靠近硬膜外突出椎间盘,以便更有效地进行后续减压。术前采用有效的定位方法或导航的使用可以减少手术时间和辐射暴露<sup>[15-19]</sup>,我们采用三维可视化虚拟手术系统术前确定最佳穿刺通道,可以避开出口神经根,同时达到靶点穿刺目的,结合自制椎间孔定位穿刺器使用,结果证明此方法可以减少穿刺次数和缩短穿刺时间,明显减少辐射暴露,有利于缩短学习曲线。第 2 个限速步骤是使用内镜器械进行内镜椎间盘切除和减压。必须熟悉内镜下组织辨认和设备使用。主刀医生应区分解剖层次,包括硬膜囊、硬膜外间隙、突出的椎间盘、后纵韧带和椎间盘。其次,根据解剖层对神经根粘连松解和减压是成功的关键。最后,应妥

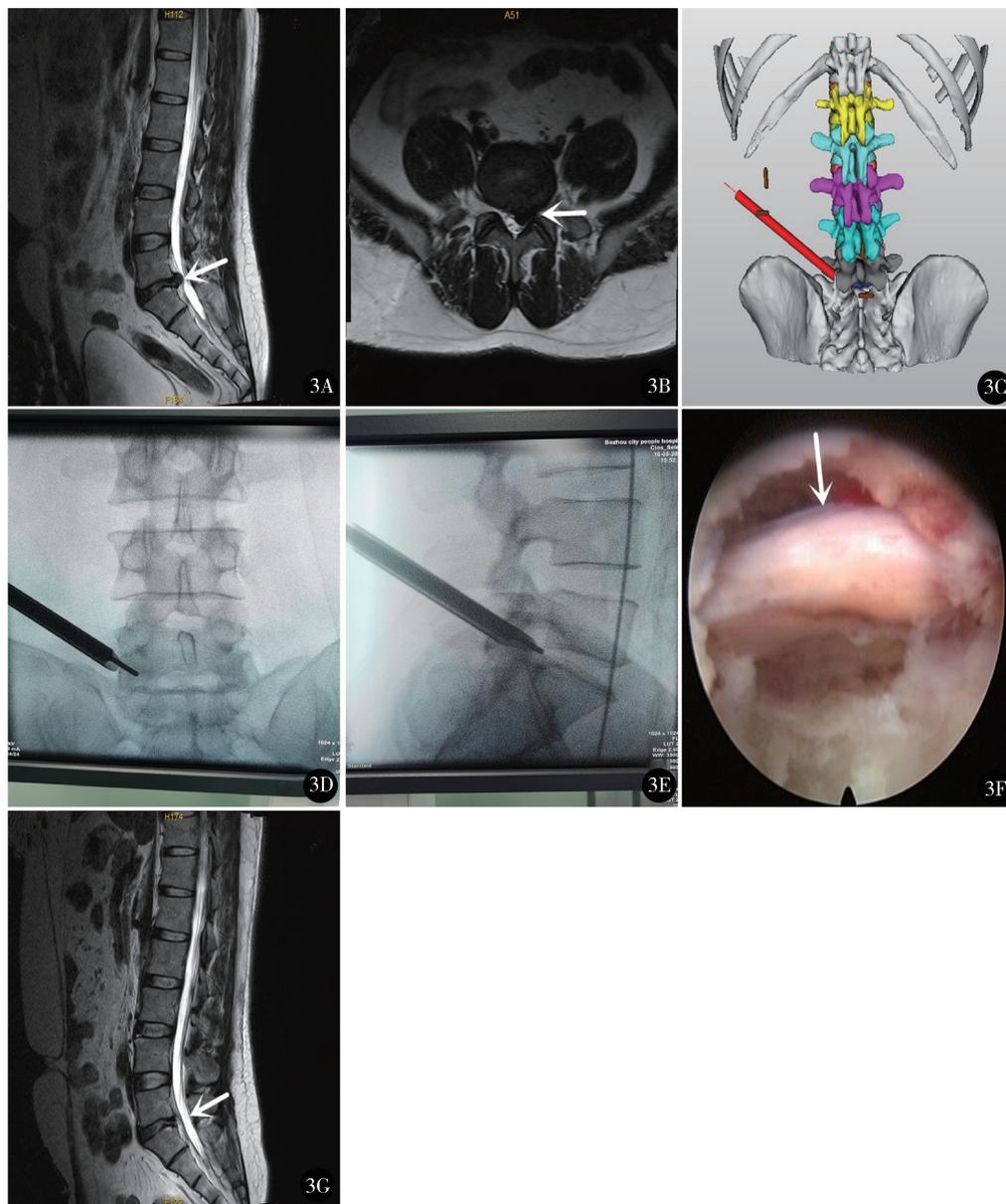


图3 男,42岁,  $L_5/S_1$  椎间盘突出症 A,B. 术前腰椎MRI(矢状位及轴位)示  $L_5/S_1$  椎间盘突出,硬膜囊明显受压,偏左侧突出;C. 三维可视化重建结果;D,E. 在自制IFPPD引导下建立工作通道,置入工作通道后正侧位透视位置满意;F.  $S_1$  神经根腹侧和背侧均减压彻底;G. 术后半年复查MRI(矢状位),突出髓核彻底去除,硬膜囊受压解除

善处理术中遇到的出血、硬膜撕裂、粘连和疼痛。手术过程中经常会出现骨面出血,这种出血会使手术视野模糊,影响有效的减压,可以采用射频消融或骨蜡止血。有时患者会抱怨剧烈疼痛或因各种原因引起的不适,在手术过程中应采取适当的镇静和疼痛控制措施。另外,  $L_{4/5}$  节段手术时间比  $L_5/S_1$  节段短,因为  $L_{4/5}$  节段椎间孔较大,穿刺通道更加容易建立,初学者首先选择  $L_4/L_5$  节段。Ao等<sup>[20]</sup>通过对比研

究表明采用O-Arm辅助下导航系统可以改善经皮内镜腰椎间盘切除术的学习曲线,使用导航技术,医生要达到相对稳定的熟练状态仅需要13例,而使用常规技术需要32例。我们采用3DVSS联合IFPPD建立通道,通道建立时间、穿刺次数,透视次数优于传统方法。此方法在一定程度上缩短了学习曲线。

表 2 2 组手术情况比较 (n = 35,  $\bar{x} \pm s$ )

组别	穿刺时间 (min)	穿刺次数 (次)	透视次数 (次)	手术时间 (min)	住院时间 (d)	MacNab 疗效		
						优	良	可
可视化组	14.7 ± 4.0	3.8 ± 1.9	8.3 ± 3.1	78.3 ± 9.2	4.6 ± 0.9	14	19	2
传统组	19.1 ± 3.7	7.3 ± 2.4	14.5 ± 4.0	88.4 ± 14.3	4.8 ± 1.0	12	20	3
t(Z) 值	t = -4.765	t = -6.898	t = -7.370	t = -3.528	t = -0.906	Z = -0.580		
P 值	0.000	0.000	0.000	0.001	0.368	0.562		

表 3 2 组患者 VAS 评分比较 (n = 35,  $\bar{x} \pm s$ ) 分

组别	术前	术后 1 d	术后 6 个月
可视化组	7.5 ± 0.8	2.9 ± 1.2	1.1 ± 0.7
传统组	7.3 ± 0.9	2.3 ± 1.4	1.1 ± 0.6
F, P 值	$F_{组间} = 1.390, P_{组间} = 0.247; F_{时间} = 2225.463, P_{时间} = 0.000; F_{组间 \times 时间} = 3.017, P_{组间 \times 时间} = 0.056$		

2 组内术前后不同时间比较均 P = 0.000

表 4 2 组患者 ODI 比较 (n = 35,  $\bar{x} \pm s$ ) %

组别	术前	术后 1 d	术后 6 个月
可视化组	67.00 ± 6.68	21.92 ± 6.80	12.16 ± 1.74
传统组	65.12 ± 6.73	20.63 ± 5.72	13.00 ± 3.36
F, P 值	$F_{组间} = 0.576, P_{组间} = 0.453; F_{时间} = 2210.117, P_{时间} = 0.000; F_{组间 \times 时间} = 2.216, P_{组间 \times 时间} = 0.117$		

2 组内术前后不同时间比较均 P = 0.000

### 3.3 经验体会

①环锯行椎间孔成形,开始磨骨质时容易发生环锯滑移,导致磨除骨质过少和位置不当,建议开始磨骨质时采用逆时针旋转环锯,助手固定保护套管,等环锯进入一定深度后再采用顺时针旋转环锯,这样可以避免环锯滑移发生。②首次关节突成形位置非常关键,对于初学者来说,经验不足容易出现首次关节突成形位置不理想,往往需要再次甚至多次关节突成形,因骨组织出血不易止血,镜下模糊增加手术难度和神经损伤风险。建议环锯进入少量骨质时透视一次,确定环锯位置是否满意,如果不满意进行适当调整位置,这样可以减少骨组织出血,降低手术难度,也避免去除过多骨组织。③当置入扩张管过程中,如果患者主诉腿部有症状,考虑出口神经根收到挤压或者刺激,不要强行置入扩张管,否则可能造成出口根损伤。建议将穿刺目标适当向尾侧移动,这样可以避开出口根。④对于肥胖患者腰椎 CT 扫描时,不能按照常规范围扫描,因为常规范围扫描不能包括腰背部全部皮肤,这样三维可视化重建结果

会影响穿刺参数测量,需要告知影像科医生 CT 扫描范围要包括腰背部全部皮肤。

既往有较多关于穿刺技术的研究,比如电磁导航、3D 打印导航套管、机器人导航、混合现实技术等,这些设备昂贵且技术要求高,增加患者住院费用,很难短时间内普及。我们采用技术设备简单,费用低,技术容易掌握,一个人便可以操作,易于推广,另外,三维可视化可以清晰重建出口神经根,如果进行血管造影也可以重建血管,因此,术前置管可以避开神经和血管,减少损伤风险,有一定临床应用价值。本研究的不足之处是单中心研究,样本量较少,随访时间较短,应进行多中心、大量本、长时间随访研究。术中对患者体位要求较高,因为穿刺外展角度与患者体位有很大关系,术中尽量保证患者棘突所在平面垂直于地平面。另外,固定架较大且笨重,搬运及使用不方便,可以改成小巧的,直接固定在手术床上。

总之,本研究显示 PTED 治疗 LDH 采用 3DVVSS 联合自制 IFPPD 可以减少穿刺次数、透视次数,缩短穿刺时间和手术时间,穿刺准确性高,手术效果满意,这种方法是可行的。

### 参考文献

- Cheng YP, Cheng XK, Wu H. A comparative study of percutaneous endoscopic interlaminar discectomy and transforaminal discectomy for L<sub>5</sub> - S<sub>1</sub> calcified lumbar disc herniation. BMC Musculoskelet Disord, 2022, 23(1): 244 - 250.
- Zhou Z, Ni HJ, Zhao W, et al. Percutaneous endoscopic lumbar discectomy via transforaminal approach combined with interlaminar approach for L<sub>4/5</sub> and L<sub>5</sub>/S<sub>1</sub> two-level disc herniation. Orthop Surg, 2021, 13(3): 979 - 988.
- Wu B, Tian X, Shi C, et al. Clinical outcomes of "U" route transforaminal percutaneous endoscopic lumbar discectomy in chronic pain patients with lumbar spinal stenosis combined with disc herniation. Pain Res Manag, 2021, 2021: 6657463.
- Goker B, Aydin S. Endoscopic surgery for recurrent disc herniation

- after microscopic or endoscopic lumbar discectomy. *Turk Neurosurg*, 2020, 30(1):112-118.
- 5 Ma C, Li H, Wei Y, et al. Percutaneous endoscopic lumbar discectomy for huge lumbar disc herniation with complete dural sac stenosis via an interlaminar approach: an observational retrospective cohort study. *Int J Gen Med*, 2021, 14:8317-8324.
- 6 Kim JY, Choi SY, Kim HS, et al. How I do it? Full endoscopic transforaminal approach for lumbar disc herniation that migrated bilaterally to four corners. *Acta Neurochir (Wien)*, 2021, 163(4):1199-1203.
- 7 宋启春, 李全义, 郭晓昀, 等. “无视髂嵴”经皮椎间孔脊柱内镜系统治疗  $L_5 \sim S_1$  腰椎间盘突出症. *中国微创外科杂志*, 2020, 20(5):599-603.
- 8 Li WS, Yan Q, Cong L. Comparison of endoscopic discectomy versus non-endoscopic discectomy for symptomatic lumbar disc herniation: a systematic review and meta-analysis. *Global Spine J*, 2022, 12(5):1012-1026.
- 9 Bai X, Lian Y, Wang J, et al. Percutaneous endoscopic lumbar discectomy compared with other surgeries for lumbar disc herniation: a meta-analysis. *Medicine (Baltimore)*, 2021, 100(9):e24747.
- 10 宋晓磊, 王红建, 黄鹏博, 等. 经皮内镜椎板间开窗与椎间孔入路治疗腰椎间盘突出症的比较. *中国微创外科杂志*, 2021, 21(5):405-409.
- 11 Kotheeranurak V, Liawrungrueang W, Kuansongtham V, et al. Surgeons' perspective, learning curve, motivation, and obstacles of full-endoscopic spine surgery in Thailand: results from a nationwide survey. *Biomed Res Int*, 2022, 2022:4971844.
- 12 Yang J, Guo C, Kong Q, et al. Learning curve and clinical outcomes of percutaneous endoscopic transforaminal decompression for lumbar spinal stenosis. *Int Orthop*, 2020, 44(2):309-317.
- 13 Ahn Y, Lee S, Son S, et al. Learning curve for transforaminal percutaneous endoscopic lumbar discectomy: a systematic review. *World Neurosurg*, 2020, 143:471-479.
- 14 Wang R, Liang ZY, Chen XY, et al. Technical tips for percutaneous transforaminal endoscopic discectomy: a three-step maneuver for puncture and early clinical experience. *Orthop Surg*, 2022, 14(1):104-110.
- 15 Liu X, Sun J, Zheng M, et al. Application of mixed reality using optical see-through head-mounted displays in transforaminal percutaneous endoscopic lumbar discectomy. *Biomed Res Int*, 2021, 2021:9717184.
- 16 Wang H, Yuan H, Yu H, et al. Percutaneous endoscopic lumbar discectomy using a double-cannula guide tube for large lumbar disc herniation. *Orthop Surg*, 2022, 14(7):1385-1394.
- 17 Zhou Z, Hu S, Zhao YZ, et al. Feasibility of virtual reality combined with isocentric navigation in transforaminal percutaneous endoscopic discectomy: a cadaver study. *Orthop Surg*, 2019, 11(3):493-499.
- 18 Yu Z, Lu Y, Li Y, et al. A one-step foraminoplasty via a large trephine in percutaneous endoscopic transforaminal discectomy for the treatment of lumbar disc herniation. *PLoS One*, 2022, 17(5):e0268564.
- 19 田霖, 胡鹏, 宁华秀, 等. 数字 3D 技术辅助经皮椎间孔镜椎间盘切除术治疗退行性腰椎管狭窄. *中国微创外科杂志*, 2022, 22(7):545-552.
- 20 Ao S, Wu J, Tang Y, et al. Percutaneous endoscopic lumbar discectomy assisted by O-arm-based navigation improves the learning curve. *Biomed Res Int*, 2019, 2019:6509409.

(收稿日期:2022-10-30)

(修回日期:2023-07-24)

(责任编辑:李贺琼)