

计算机导航微创经椎间孔腰椎椎间融合治疗腰椎滑脱

<https://doi.org/10.12307/2021.081>

钱选昆, 黄合飞, 武成聪, 刘克廷, 欧华, 张金鹏, 任静, 万建杉

投稿日期: 2020-09-25

送审日期: 2020-09-28

采用日期: 2020-11-09

在线日期: 2021-01-26

中图分类号:

R459.9; R318; R687

文章编号:

2095-4344(2021)24-03790-06

文献标识码: A

文章快速阅读:

文章特点一

△目前比较微创经椎间孔腰椎椎间融合与传统开放手术治疗腰椎退变的临床研究已经很多, 由于导航设备昂贵, 推广使用困难, 关于导航引导下手术的报道相对较少。

对象:

纳入腰椎滑脱症患者60例, 根据手术方式分为2组。

分组及方法:

(1) 微创组: 导航联合锥形通道椎间盘镜微创经椎间孔腰椎椎间融合治疗;
(2) 开放组: 传统开放经椎间孔腰椎椎间融合治疗。

观察指标:

(1) 手术时间、出血量、术后引流量、术后卧床时间;
(2) 疼痛评分及功能;
(3) 植骨融合率;
(4) 相关并发症。

结论:

计算机导航联合锥形通道椎间盘镜辅助微创经椎间孔腰椎椎间融合治疗腰椎滑脱具有出血量少、创伤小、下床时间早、术后恢复快、置钉准确率高等优点。

文题释义:

MIS-TLIF: 全称微创经椎间孔腰椎椎间融合术, 是一种常用的椎间融合技术, 在置入融合器时避免牵拉和损伤硬膜囊和神经根, 在椎体一侧打开椎间孔并植入融合器。MIS-TLIF是在原来开放手术基础上经椎间隙入路或通道下进行上述操作, 对机体创伤小, 术后恢复更快。
导航联合椎间盘镜通道: 手术过程中通过计算机导航引导下进行精准置钉、减压, 操作过程中在通道下到达椎体表面, 结合椎间盘镜进行减压、融合等相关操作。

摘要

背景: 目前已有研究报道计算机导航引导下脊柱手术与传统手术相比具有可视化、精准化等特点, 此次试验进一步探索研究。

目的: 对比计算机辅助导航联合锥形通道椎间盘镜下微创经椎间孔腰椎椎间融合与传统开放手术治疗腰椎滑脱的临床疗效, 为临床选择治疗方案提供依据。

方法: 回顾分析2014年3月至2018年3月曲靖市第一人民医院脊柱外科完成经椎间孔腰椎椎间融合治疗的腰椎滑脱症患者, 其中30例采用导航联合锥形通道椎间盘镜通道下手术(微创组), 与同期30例采用传统开放手术(开放组)的患者进行比较。收集两组手术时间、出血量、术后引流量、术后卧床时间、住院时间及并发症, 随访患者腰腿痛目测类比分和Oswestry功能障碍指数, 通过影像学检查评估置钉准确率及植骨融合率, 并进行统计分析比较。

结果与结论: ①所有患者均获随访, 随访时间12~40个月; ②两组患者的性别、年龄、术前目测类比分、Oswestry功能障碍指数、滑脱节段等基线资料相比差异无显著性意义($P > 0.05$); ③微创组手术时间略长于开放组, 但差异无显著性意义($P > 0.05$); ④出血量、术后引流量、卧床时间及住院时间微创组明显少于开放组, 差异有显著性意义($P < 0.05$); ⑤两组患者术后Oswestry功能障碍指数及目测类比分均较术前明显降低, 且术后随访微创组Oswestry功能障碍指数、腰背痛目测类比分小于开放组, 差异有显著性意义($P < 0.05$); ⑥置钉准确率微创组高于开放组, 差异有显著性意义($P < 0.05$); ⑦在随访期间所有患者术后复查未见明显内固定无松动、折断或异常活动等情况, 末次随访两组植骨融合率差异无显著性意义; ⑧提示与开放经椎间孔腰椎椎间融合相比, 计算机导航联合锥形通道椎间盘镜辅助下微创经椎间孔腰椎椎间融合治疗腰椎滑脱具有出血量少、创伤小、下床时间早、术后恢复快、置钉准确率高等优点, 是治疗腰椎滑脱的较好选择。

关键词: 计算机导航; 椎间盘镜; 腰椎滑脱; 微创; 经椎间孔腰椎椎体间融合

缩略语: 微创经椎间孔腰椎椎间融合: minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion, MIS-TLIF; Oswestry功能障碍指数: Oswestry disability index, ODI

Computer-assisted navigation combined with minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion for lumbar spondylolisthesis

Qian Xuankun, Huang Hefei, Wu Chengcong, Liu Keting, Ou Hua, Zhang Jinpeng, Ren Jing, Wan Jianshan

Department of Spine Surgery, No.1 People's Hospital of Qujing, Qujing 655000, Yunnan Province, China

Qian Xuankun, Master, Attending physician, Department of Spine Surgery, No.1 People's Hospital of Qujing, Qujing 655000, Yunnan Province, China

Corresponding author: Ren Jing, Associate chief physician, Department of Spine Surgery, No.1 People's Hospital of Qujing, Qujing 655000, Yunnan Province, China

Co-corresponding author: Wan Jianshan, Chief physician, Department of Spine Surgery, No.1 People's Hospital of Qujing, Qujing 655000, Yunnan Province, China

曲靖市第一人民医院脊柱外科, 云南省曲靖市 655000

第一作者: 钱选昆, 男, 1989年生, 汉族, 2016年兰州大学毕业, 硕士, 主治医师, 主要从事脊柱微创方面的研究。

通讯作者: 任静, 副主任医师, 曲靖市第一人民医院脊柱外科, 云南省曲靖市 655000

并列通讯作者: 万建杉, 主任医师, 曲靖市第一人民医院脊柱外科, 云南省曲靖市 655000

<https://orcid.org/0000-0001-5105-8243> (钱选昆)

基金资助: 云南省教育厅科学研究基金项目(2016ZDX074), 项目负责人: 武成聪

引用本文: 钱选昆, 黄合飞, 武成聪, 刘克廷, 欧华, 张金鹏, 任静, 万建杉. 计算机导航微创经椎间孔腰椎椎间融合治疗腰椎滑脱[J]. 中国组织工程研究, 2021, 25(24):3790-3795.



Abstract

BACKGROUND: At present, some studies have reported that navigation assisted spinal surgery has the characteristics of visualization and precision compared with traditional surgery, and this will further explore and study it.

OBJECTIVE: To compare the clinic effect between minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion with computer navigation and open transforaminal lumbar interbody fusion in the treatment of lumbar spondylolisthesis and provide evidence to choose a better operative method.

METHODS: A retrospective analysis of 60 patients with lumbar spondylolisthesis who were hospitalized at the Department of Spine Surgery, No.1 People's Hospital of Qujing from March 2014 to March 2018 undergoing transforaminal lumbar interbody fusion was conducted. Of them, 30 cases were treated with navigation and microendoscopic discectomy (minimally invasive group); other 30 cases underwent open-transforaminal lumbar interbody fusion and pedicle screw fixation (open group). Operation time, blood loss, postoperative drainage volume, postoperative bedridden time, hospitalization time, and complications were collected in both groups. Visual analogue scale scores and Oswestry disability index were followed up. Accuracy of pedicle screw insertion and bone graft fusion rate were assessed using imaging examination between the two groups. Above indexes were statistically analyzed and compared between the two groups.

RESULTS AND CONCLUSION: (1) All patients were followed up from 12 to 40 months. (2) There were no significant differences between two groups in age, sex, preoperative visual analogue scale, Oswestry disability index, and level of spondylosis ($P > 0.05$). (3) The operation time was slightly longer in the minimally invasive group than in the open group, but there was no significant difference in operation time between the two groups ($P > 0.05$). The blood loss, the postoperative drainage volume, bedridden time and hospitalization time of minimally invasive group were significantly less than those of open group ($P < 0.05$). (4) Oswestry disability index and back pain visual analogue scale scores were significantly decreased after treatment in both groups; moreover, visual analogue scale scores and Oswestry disability index of minimally invasive group were lower than that of open group after operation ($P < 0.05$). (5) The accuracy of pedicle screw insertion of minimally invasive group was superior to that of open group ($P < 0.05$). (6) No obvious internal fixation loosening, broken, or abnormal activities were found in all patients during the follow-up. There was no significant difference in the bone graft fusion rate between the two groups at the last follow-up. (7) It is indicated that compared with the open transforaminal lumbar interbody fusion, computer-assisted navigation combined with microendoscopic discectomy channel minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion treatment for lumbar spondylolisthesis has advantages of less blood loss, less trauma, less bedridden time, rapid recovery, higher accuracy of pedicle screw insertion, which is a good selection for lumbar fusion.

Key words: computer navigation; intervertebral disc endoscope; lumbar spondylolisthesis; minimally invasive; transforaminal lumbar interbody fusion

Funding: the Scientific Research Foundation Project of Yunnan Provincial Department of Education, No. 2016ZDX074 (to WCC)

How to cite this article: QIAN XK, HUANG HF, WU CC, LIU KT, OU H, ZHANG JP, REN J, WAN JS. Computer-assisted navigation combined with minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion for lumbar spondylolisthesis. *Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu*. 2021;25(24):3790-3795.

0 引言 Introduction

腰椎滑脱症是腰椎常见的疾病之一，占腰腿痛患者的4%~5%^[1]，临床实践证明手术是治疗腰椎滑脱的有效手段。HARMS等^[2]于1982年首次报道了传统经椎间孔腰椎椎间融合治疗腰椎滑脱并取得了良好的临床疗效，与经后路椎体间融合术相比，具有对椎体结构破坏小、减少对神经根和硬膜损伤、术后并发症少等优点^[3-5]。自2003年FOLEY等^[6]首次描述了微创经椎间孔腰椎椎间融合术 (minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion, MIS-TLIF)，由于其具有创伤小、出血少、术后恢复快、患者满意度高等优点，随着脊柱外科辅助器械的研发应用，MIS-TLIF已经成为治疗腰椎退变性疾病常用方法。传统MIS-TLIF主要在通道下或者结合内镜技术在C臂透视引导下经皮置钉，临床报道取得了良好的临床效果^[7]。尽管已有相关文献报道比较MIS-TLIF和传统经椎间孔腰椎椎间融合治疗腰椎滑脱的疗效^[8-11]，但是传统MIS-TLIF具有辐射大、扩张通道对软组织扩张损伤等缺点。1992年KEVEIN FOLEY将StealthStation导航系统成功用于脊柱外科手术，开启了微创脊柱手术的新篇章。计算机导航技术是将影像学、计算机技术和手术相结合的一种新型手术方式^[12]，由于具有实时3D导航、精确、辐射少等优点，正在被广泛应用于脊柱微创外科领域^[13-15]，但其手术时间长、成本高，远期疗效尚无定论^[16]。目前关于导航引导下经皮置钉联合椎间盘镜通道下MIS-TLIF及传统开放手术治疗腰椎滑脱的临床疗效对比研究较少，因此，作者采用计算机导航+锥形通道联合椎间盘镜技术辅助下完成MIS-TLIF 30例，并与30例传统开放手术对比，结果报道如下。

1 对象和方法 Subjects and methods

1.1 设计 对比观察试验。
1.2 时间及地点 于2014年3月至2018年3月在曲靖市第一人民医院脊柱外科完成。
1.3 对象 选择2014年3月至2018年3月曲靖市第一人民医院脊柱外科明确诊断为腰椎滑脱症并收住院的患者共60例，男34例，女26例；年龄42~70岁，平均(57.8±5.6)岁；均存在腰腿痛症状，40例有单侧下肢神经症状，20例有双侧下肢神经症状；退变性腰椎滑脱34例，峡部裂性腰椎滑脱26例；滑脱程度：I度35例，II度25例；L₃滑脱12例，L₄滑脱30例，L₅滑脱18例。根据手术方式分为2组，微创组30例采用导航联合锥形通道椎间盘镜下经椎间孔腰椎椎间融合术，开放组30例采用传统椎间孔腰椎椎体间融合术。两组患者性别、年龄、病程、滑脱节段分布、单、双侧症状的构成等一般资料比较，差异均无显著性意义 ($P > 0.05$)，具有可比性。术前行腰椎正侧位及动力位X射线片、腰椎CT和MRI检查，均为单一节段腰椎滑脱、手术指征明确。所有患者对治疗方案均知情同意，且得到医院伦理委员会批准。

纳入标准：①经X射线片或CT明确诊断为I度或II度单节段腰椎峡部裂性或者退变性腰椎滑脱；②腰痛和/或下肢疼痛麻木症状经正规保守治疗3个月以上无效；③完成随访，影像资料完整。

排除标准：①III度及III度以上腰椎滑脱，有严重骨质疏松、畸形、既往有腰椎手术、感染、肿瘤；②合并脊柱畸形、椎管狭窄、多节段滑脱等；③合并其他疾病不能耐受手术者。

1.4 材料 术中所用设备为美敦力生产的Stealthstation Tria Plus手术导航系统和德国奇目生产的术中三维C臂成像系统。

置入材料由大博医疗科技股份有限公司提供，其材质为钛合金，具有较好的组织相容性、耐腐蚀性和较高的强度，在人体不会被腐蚀且不会产生不良反应，详见表 1。

表 1 | 植入物的材料学特征

Table 1 | Material characteristics of the implants

指标	TINA 脊柱微创内固定系统	常规脊柱内固定系统	融合器
生产厂家	大博医疗科技股份有限公司	大博医疗科技股份有限公司	大博医疗科技股份有限公司
性能结构	稳定	稳定	稳定
材质	钛合金	钛合金	聚醚醚酮
适应证	不伴有神经损伤；不需要行椎板减压的胸腰椎骨折；有手术内固定指征包括 AO 分型的 A 型、B1、B2 型；下腰椎微创固定	脊柱创伤、腰椎骨折、退变等的内固定	脊柱椎间融合，支撑、恢复椎体高度，促进椎间植骨融合
生物相容性	良好	良好	良好
不良反应	偶有发生排斥反应、断裂、松动、感染等	断裂、松动、弯曲、排斥反应、感染等	松动、移位、排斥反应等

1.5 方法

1.5.1 手术方法 所有病例手术均由同一位高年资医生主刀完成。

微创组：全麻下俯卧位，髂骨上固定导航参考架，IsoC-3D 的 C 臂自动旋转扫描术区影像图片，重建三维图像，将采集后的影像资料传输至脊柱导航系统工作站重建三维影像图像，注册导航工具。调整参考架、探针、开路器荧光反射球方向确保导航系统红外线信号接收正常，带有参考架的椎弓根钉开道工具在导航实时引导下经皮穿刺置入 2 枚长尾椎弓根螺钉。减压侧行 2.5 cm 左右切口，分开多裂肌与最长肌肉间隙，导航引导下椎弓根开口，置入导丝将其临时固定，暂不拧入椎弓根钉。肌间隙置入锥形通道，连接椎间盘镜，导航引导下确定减压范围，下关节突及部分椎板，显露减压硬膜囊及神经根，如需对侧减压，将通过适当下压、倾斜手术床，导航引导下确定对侧减压范围，切除椎间盘，处理终板，将人工骨与切除的自体骨质剪碎后打压植于椎间，将填满自体骨粒的 cage 在导航引导下置入椎间隙。延预留导丝置入 2 枚椎弓根钉，分别安装两侧连接棒，拧紧钉帽。

开放组：全麻下俯卧位，C 臂透视确定滑脱节段，后正中入路，显露手术节段椎板及关节突，分别直视下行椎弓根开口，并置入 4 枚椎弓根螺钉固定，C 臂透视确定置钉满意。切除减压侧下关节突及上关节突内侧半，部分敞开椎间孔后壁，显露硬膜囊及神经根，神经根探查、减压，刮除椎间盘，将人工骨 3 g 及切除的自体骨质剪碎后打压植于椎间，将填满自体骨粒的 cage 打压植入椎间隙，安装连接棒，拧紧钉帽。

1.5.2 术后处理 两组均放置引流管。术后卧床休息，保持引流管通畅，无脑脊液漏患者使用甘露醇脱水，在 24 h 内使用抗生素预防感染。第 1 天行直腿抬高训练，微创组无明显骨质疏松者术后两三天腰围或支具保护下下床活动，术后行腰椎 X 射线片检查证实椎间融合确切后可从事体力活动。

1.6 主要观察指标

1.6.1 创伤及并发症评估 记录手术时间、出血量、术后引

流量、卧床时间、住院时间。记录术中、术后发生的并发症，主要包括切口感染，神经损伤并发症、脑脊液漏、内植物断裂松动等。

1.6.2 置钉准确率评估 术后第 3 天行 CT 扫描以观察椎弓根螺钉置入的准确性，根据 Andrew 椎弓根螺钉 CT 位置分级标准对置入椎弓根钉位置进行评价^[17-18]，I 级：椎弓根螺钉未突破椎弓根皮质；II 级：突破皮质且 ≤ 2 mm；III 级：突破皮质且 > 2 mm。置钉准确率为 I 级螺钉数量与椎弓根螺钉总数量之比 (%)。

1.6.3 植骨融合率评估 术后 1 年 X 射线片检查观察内固定和植骨融合情况。行伸屈位 X 射线片检查，采用 SUK 等^[19]描述的判断标准评价植骨融合情况，具体如下：①若植骨接触面有骨小梁通过，伸屈侧位椎体活动度 <4°，则认为植骨已融合；②若植骨与椎体间连续骨小梁观察不清，而伸屈侧位椎体活动度 <4°，则认为植骨可能融合；③若未见连续骨小梁，融合区有间隙或骨小梁观察不清，伸屈侧位椎体活动度 >4°，则认为未融合。

1.6.4 疗效评估 分别于术前、术后 3 个月、术后 1 年采用目测类比分 (0 分无痛，10 分剧痛) 评估腰腿痛程度；采用 Oswestry 功能障碍指数 (Oswestry disability index, ODI) 从腰腿痛程度、日常活动自理能力、提物品、行走情况、坐和站立时间、睡眠、参加社会活动、旅行、工作 / 家务 10 个方面评估术后功能恢复情况，数值越大功能障碍越严重。

1.7 统计学分析 采用 SPSS 22.0 统计学软件进行数据分析。计量资料均以 $\bar{x} \pm s$ 形式表示，两组手术时间、出血量、术后引流量、住院时间、切口长度、目测类比分、ODI 等计量资料采用 t 检验；置钉准确率、植骨融合率、并发症发生率的比较采用 χ^2 检验， $P < 0.05$ 为差异有显著性意义。

2 结果 Results

2.1 参与者数量分析 纳入腰椎滑脱症患者 60 例，随访期间影像资料完整，全部进入结果分析，无脱落。两组患者均顺利完成手术，术中、术后均无马尾及神经根损伤发生，无椎间隙感染。术后所有患者均获得 12-40 个月随访，随访过程中未发现内植物断裂、松动。

2.2 试验流程图 见图 1。

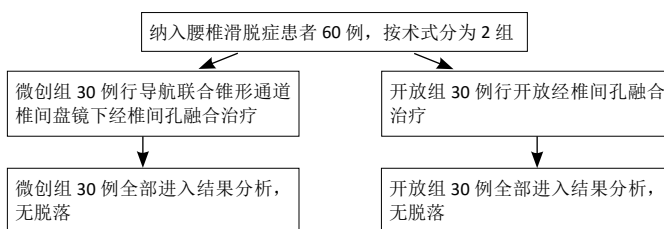


图 1 | 两组患者分组流程图

Figure 1 | Flow chart of patients in both groups

2.3 一般情况比较 两组患者性别、年龄、病程、滑脱节段分布、单、双侧症状的构成等一般资料比较，差异均无显著性意义 ($P > 0.05$)，见表 2。

表 2 | 两组患者基线资料比较

(n=30)

Table 2 | Comparison of baseline data between two groups

组别	性别 (n)		年龄 ($\bar{x}\pm s$, 岁)	减压 (n)		滑脱程度 (n)		滑脱节段 (n)		
	男	女		单侧	双侧	I 度	II 度	L ₃	L ₄	L ₅
微创组	16	14	58.2±9.1	18	12	16	14	7	16	10
开放组	18	12	57.4±7.9	22	8	19	11	5	14	8
t/ χ^2 值	0.321	0.414	0.089	0.333	0.337					
P 值	0.571	0.609	0.765	0.564	0.845					

2.4 手术相关指标比较 微创组平均手术时间稍长于开放组, 但差异无显著性意义 ($P > 0.05$)。微创组出血量、术后引流量明显少于开放组, 差异有显著性意义 ($P < 0.05$); 切口长度、术后卧床时间、住院时间微创组明显少于开放组, 差异有显著性意义 ($P < 0.05$), 详见表 3。

表 3 | 两组患者创伤指标比较

($\bar{x}\pm s$, n=30)

Table 3 | Comparison of trauma indexes between two groups

组别	手术时间 (min)	出血量 (mL)	术后引流量 (mL)	切口长度 (cm)	卧床时间 (d)	住院时间 (d)
微创组	150.2±37.0	195.6±80.4	86.2±37.6	4.5±0.8	2.6±1.2	7.4±4.2
开放组	130.2±35.7	513.8±121.9	240.0±55.6	8.4±1.1	7.1±1.9	10.0±1.7
t 值	1.944	10.308	14.844	13.684	10.204	4.840
P 值	0.058	0.003	0.014	0.026	0.021	0.035

2.5 术后疗效指标比较 两组术前 ODI、目测类比评分比较差异无显著性意义。术后 ODI 和腰腿痛目测类比评分与术前相比均明显降低, 差异有显著性意义 ($P < 0.05$); 微创组术后随访 ODI、腰背痛目测类比评分均明显低于开放组, 差异有显著性意义 ($P < 0.05$); 术后下肢目测类比评分两组相比差异

表 4 | 两组患者手术前、后 Oswestry 功能障碍指数 (ODI) 及目测类比评分比较

($\bar{x}\pm s$, n=30)

Table 4 | Comparison of Oswestry disability index and visual analogue scale scores before and after operation in both groups

组别	ODI (%)			腰背痛目测类比评分 (分)			下肢痛目测类比评分 (分)		
	术前	术后 3 个月	术后 1 年	术前	术后 3 个月	术后 1 年	术前	术后 3 个月	术后 1 年
微创组	44.5±5.5	25.5±11.6 ^{ab}	15.5±11.6 ^{ab}	7.0±1.5	4.2±1.1 ^{ab}	1.9±1.8 ^{ab}	6.8±1.3	4.9±1.2 ^a	2.0±0.7 ^a
开放组	42.8±6.8	37.5±11.4 ^a	18.5±11.4 ^a	7.2±1.1	5.3±0.9 ^a	2.4±1.4 ^a	7.1±1.5	5.2±0.9 ^a	2.2±0.6 ^a
t 值	0.435	3.186	0.678	0.569	2.375	0.674	0.387	2.264	0.152
P 值	0.655	0.002	0.035	0.572	0.022	0.045	0.643	0.058	0.154

表注: 与术前相比, ^a $P < 0.05$; 与开放组相比, ^b $P < 0.05$

无显著性意义 ($P > 0.05$), 详见表 4。

2.6 植骨融合率、置钉准确率比较 术后 1 年随访时微创组有 2 例、开放组有 1 例未达到骨性融合, 末次随访均骨性融合, 植骨融合率两组差异无显著性意义 ($P > 0.05$)。椎弓根钉位置 I 级微创组有 113 枚, 开放组 101 枚, 两组均无 III 级椎弓根钉, 置钉准确率微创组高于开放组, 差异有显著性意义 ($P < 0.05$), 见表 5。

表 5 | 两组患者置钉准确率、植骨融合率及并发症比较

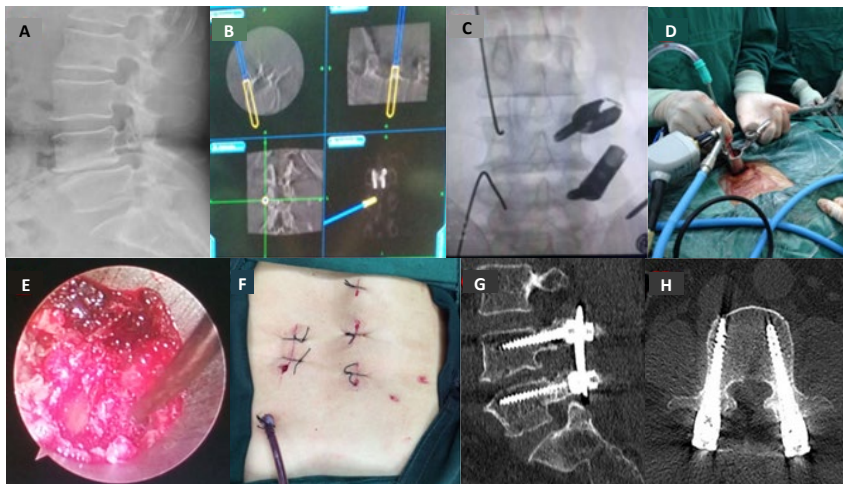
(n=30)

Table 5 | Comparison of the accuracy of screw placement, fusion rate and complications in both groups

指标	微创组	开放组	χ^2 值	P 值
植骨融合率	93%	97%	0.222	0.637
并发症	7%	10%	1.153	0.580
置钉位置 (枚)			-	-
I 级	113	101		
II 级	7	19		
III 级	0	0		
置钉准确率	94%	86%	4.945	0.016

2.7 不良反应与内植物组织相容性 开放组有 2 例出现浅表皮肤感染、延迟愈合, 经积极换药后切口愈合良好; 微创组和开放组分别有 2 例、1 例术中因严重退变, 局部粘连术中出现硬脊膜破裂, 两组并发症相比差异无显著性意义 ($P > 0.05$)。随访结果显示植入物组织相容性良好, 未出现植入物过敏、免疫排斥等不良反应。

2.8 典型病例 女性患者, 65 岁, 腰痛 4 年, 加重伴下肢麻木、跛行 6 个月, 诊断为腰椎滑脱, 入院后行导航引导联合椎间盘镜下 MIS-TLIF 术, 术后患者腰腿痛症状明显缓解, 复查影像资料见内固定物位置满意, 见图 2。



图注: 图 A 为术前腰椎侧位 X 射线片; 图 B 为术中导航引导下置钉; 图 C 为减压侧导航引导下置入导丝, 对侧导航引导下经皮置入螺钉; 图 D 为椎间盘镜下操作; 图 E 为椎间盘镜下减压; 图 F 为术后切口图; 图 G, H 示术后复查置钉位置良好

图 2 | 女性 65 岁腰椎滑脱患者行导航引导联合椎间盘镜下微创经椎间孔腰椎椎间融合治疗图片

Figure 2 | Images of a 65-year-old female patient with lumbar spondylolisthesis undergoing computer-assisted navigation combined with minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion

3 讨论 Discussion

3.1 经椎间孔腰椎椎间融合术的发展及传统 MIS-TLIF 的优缺点 脊柱融合减压是治疗腰椎滑脱的有效方式,通过植骨融合内固定重建脊柱稳定性,恢复椎体正常序列,缓解症状和避免脊髓神经进一步受损,该术式一直被认为是治疗腰椎滑脱的标准术式^[20-21],其手术方式随着治疗理念和器械发展在不断变化。经椎间孔腰椎椎间融合是在后路腰椎椎体间融合基础上改进演变而来的新技术^[22],由于其仅需切除一侧关节突,经椎间孔入路进行减压与融合,能更好地保留椎体结构,对脊髓和神经根干扰少。大量临床研究和长期随访发现,经椎间孔腰椎椎间融合较经后路椎体间融合对椎旁肌肉及脊柱破坏小,能有效减少术中长时间牵拉硬脊膜和神经根造成的损伤,以及术后瘢痕形成、腰背部疼痛等并发症^[23-24]。FOLEY 等^[6, 25]于 2003 年首次报告了微创经椎间孔腰椎椎间融合术治疗腰椎退变性疾病,随着脊柱微创观念和技术的不断发展, MIS-TLIF 技术得到了快速发展和广泛应用。传统 MIS-TLIF 主要利用扩张通道或固定通道经小切口或肌间隙入路进行操作,近年来国内外学者就 MIS-TLIF 进行了大量的实践、研究、探索后,认为该技术可以与传统经椎间孔腰椎椎间融合取得同样的疗效,同时保留了后方韧带复合体,术后脊柱稳定性好。经小切口和肌间隙入路对脊柱、椎旁组织损伤小,术中出血及术后引流均较传统经椎间孔腰椎椎间融合明显减少,术后卧床时间短,恢复快,减少肌肉组织瘢痕形成,可最大程度保留椎旁软组织的生理功能,降低术后慢性腰背痛的发生率^[26-27]。MIS-TLIF 切口小,对周围组织损伤小,手术并发症、术后切口感染的风险也显著降低^[28]。有研究通过对术后反映创伤的标记物(血清肌酸激酶和白细胞介素 6)水平进行定量测定,同时 MRI 扫描评估手术节段多裂肌面积变化率,也认为 MIS-TLIF 对椎旁肌肉软组织损伤较小^[29-31]。此次研究也得出了相同的结果,由于微创组创伤小,减压彻底,术后随访微创组 ODI 及腰痛目测类比分明显低于开放组,两组术后腿痛目测类比分均较术前显著降低,但差异无显著性意义,说明两种术式术中都可充分减压,有效缓解下肢疼痛症状。

3.2 导航引导下椎间盘镜通道 MIS-TLIF 在运用中的优越性 虽然传统微创手术与传统经椎间孔腰椎椎间融合术相比具有诸多优点,但也存在很多问题。传统 MIS-TLIF 在通道下经小切口和肌间隙入路进行减压、植骨融合等操作,在 X 射线透视下经皮或者经肌间隙在通道直视下置入椎弓根钉^[32],由于操作空间狭窄,操作困难,学习曲线陡峭,手术时间长。为了提高置钉准确率及减少并发症,必须反复甚至持续透视以了解进钉情况,术者和患者射线暴露时间长^[27, 33-34]。扩张通道下的 MIS-TLIF 技术经肌间隙进入,避免了肌肉软组织的广泛剥离,减少了肌肉损伤,术者几乎可以在直视下完成手术,但是术中仍需对肌间隙进行一定程度的撑开,会对椎旁组织造成损伤,且术中助手无法看到手术视野。而此次研究在计算机导航实时引导下进行操作,脊柱导航系统接收的是红外线信号,只在收集术区影像资料时产生射线,患者只接受 1 次辐射,而术者则可免受辐射伤害。在 3D 导航出现之前,椎弓根钉的置入需要依据椎体解剖

标志寻找进钉点,但部分患者解剖变异或者严重退变导致解剖标志不清从而增加手术难度,延长手术时间。传统置钉准确率主要取决于术者的经验,有研究显示传统置钉方法失败率可高达 10%~20%^[35-36],而导航引导下可显著提高置钉准确率^[12, 37]。

应用导航技术进行脊柱微创手术主要有以下几个优点:

①置钉时导航可实时显示进钉虚拟路线,术者可根据导航结果调整进钉方向、深度,还可通过导航判定椎弓根钉的直径,显著提高置钉准确率,减少透视次数,此次研究结果显示导航引导下置钉准确率可达 94%,显著高于传统置钉。但是术中因为关节突的位置较高,开口工具相对容易触及,因此,作者总结出的经验是进钉点较传统的人字嵴偏上内为宜。当然导航只是一种辅助工具,不能完全依赖它,导航不能适时检测和避免术中各种原因造成的脊柱移位和变形产生的误差,所以术中离不开医生丰富的经验和准确的判断。②在导航探针引导下减压范围更精准,尤其需要行单侧入路对侧减压时,可以通过导航引导确定对侧减压范围,实现精准化操作,减少周围组织及神经损伤的风险。③通过导航引导判断融合器置入的深度及位置,显著减少术中透视次数。④导航引导下经皮置钉更微创,对椎旁组织损伤小,术中出血少,术后恢复快,术后感染、腰背痛等并发症也较少。此次研究中 30 例患者行微创手术治疗,未出现切口感染的情况;也未出现神经损伤、内植物相关并发症。

3.3 改进后通道在 MIS-TLIF 中的优越性 类似研究结果显示 MIS-TLIF 手术时间长于开放手术^[34],主要原因是传统 MIS-TLIF 操作复杂,术中操作空间小,学习曲线较长,经皮置钉术中透视次数多。此次研究结果显示微创组手术时间稍长于开放组,差异无显著性意义。微创手术有一定的学习曲线,手术时间与术者操作熟练程度和参与者的配合默契度有一定关系,原有的导航辅助工具实现经皮固定操作繁琐,效率低。因此,作者运用导航引导下经皮置钉联合椎间盘镜通道治疗腰椎滑脱,结合自己术中遇到的问题对原有通道进行了以下改进:

①增加通道口径,通道口大底小,置于肌间隙,可以在充分减少对椎旁组织损伤的前提下最大程度地显露操作视野,操作方便,避免了大范围的软组织剥离,明显减少了术中、术后出血量,从而减少术后医源性腰背疼痛的发生。②将锥形通道远端口设计成 15° 的斜形,斜形开口更方便对侧减压;同时 L₅-S₁ 节段椎板存在斜坡,将通道设计成斜形在 L₅-S₁ 节段操作更方便。③对导航开口工具进行改良,可简化操作、提高效率。④内窥镜固定在通道可 360° 旋转的自由臂上,术中可根据操作需要沿管壁自由调整内窥镜位置、高度,全方位观察手术部位,无操作盲区,操作灵活,效率高。传统通道下 MIS-TLIF 直视下操作困难,作者联合内窥镜将手术视野放大投影到显示器上进行椎间盘切除、硬膜囊、神经根周围减压、椎体间融合及椎弓根钉内固定等操作,可清晰显示术野中的各组织解剖结构及病变部位,实现操作可视化,从而更精准、更安全。同时使用内窥镜有利于助手学习固定通道下椎间盘镜辅助操作,手术过程录像可方便教学,还可以减少术者的颈部疲劳性损伤。通过导航技术实时三维引导代替传统的透视,虽然术中需要部分时间安装调试导航、内镜设备,但导航技

术可以在三维空间动态直观地观察到椎弓根钉进钉路径，可适时调整进钉方向，置钉速度快且精准度高，明显提高了效率，有效减少术者辐射量。同时椎间盘镜下减压可放大手术视野，操作更准确，避免损伤脊髓神经。

导航辅助下操作更精准化、靶向化，可以有效减少辐射暴露，导航与内镜结合理论上可以更好地实施微创技术，发挥微创理念的优势。但导航引导下 MIS-TLIF 也存在诸多争议，MIS-TLIF 的技术方法无统一标准，置钉、减压方式不尽相同，仍缺少大量、多中心的随机对照研究，远期的临床效果还有待观察。目前关于 MIS-TLIF 的 Meta 分析报告推荐只能达到 2-3 级^[38-39]；并且该技术学习曲线较长，设备器材价格昂贵，难以普遍推广应用，对于重度、多节段腰椎滑脱微创手术也无法完成。此外目前导航使用的辅助工具仍需进一步改进，使其更精准、操作更方便，为腰椎患者提供了一种更新、更有效、更智能、更微创的手术方法。

结论：导航技术结合改进后的椎间盘镜通道下 MIS-TLIF 治疗腰椎滑脱疗效满意，充分贯彻了脊柱微创、精准的理念，较开放 TLIF 更有优势，与传统 MIS-TLIF 相比具有辐射少、精准度高、创伤更小等优越性。

致谢：诚挚感谢所有参与该研究的患者及相关科室医务人员，此外感谢各审稿专家的辛勤审稿并提出宝贵意见。

作者贡献：钱选昆负责课题及课题的设计，任静、万建彬负责整个课题的指导工作，黄合飞、武成聪、欧华、刘克廷、张金鹏负责患者随访、临床和影像学资料的收集和整理，钱选昆负责资料整合、数据分析及撰写论文，万建彬审核。

经费支持：该文章接受了“云南省教育厅科学研究基金项目(2016ZDX074)”的基金资助。所有作者声明，经费支持没有影响文章观点和对研究数据客观结果的统计分析及其报道。

利益冲突：文章的全部作者声明，在课题研究和文章撰写过程，不存在利益冲突。

机构伦理问题：该临床研究的实施符合《赫尔辛基宣言》和曲靖市第一人民医院对研究的相关伦理要求(医院伦理批件号: QY2013L02016, 审批时间: 2013年6月)。手术主刀医师为主任医师，曲靖市第一人民医院为三级甲等医院，符合计算机导航联合椎间盘镜微创经椎间孔腰椎椎间融合手术治疗的资质要求。

知情同意问题：参与试验的患病个体及其家属为自愿参加，均对试验过程完全知情同意，在充分了解治疗方案的前提下签署了“知情同意书”。

写作指南：该研究遵守《非随机对照临床试验研究报告指南》(TREND 声明)。

文章查重：文章出版前已经过专业反剽窃文献检测系统进行 3 次查重。

文章外审：文章经小同行外审专家双盲外审，同行评议认为文章符合期刊发表稿宗旨。

生物统计学声明：文章统计学方法已经昆明医科大学统计学专家审核。

文章版权：文章出版前杂志已与全体作者授权人签署了版权相关协议。

开放获取声明：这是一篇开放获取文章，根据《知识共享许可协议》“署名-非商业性使用-相同方式共享 4.0”条款，在合理引用的情况下，允许他人以非商业性目的基于原文内容编辑、调整和扩展，同时允许任何用户阅读、下载、拷贝、传递、打印、检索、超级链接该文章，并为之建立索引，用作软件的输入数据或其它任何合法用途。

4 参考文献 References

[1] BOZKUS H, DICKMAN CA. Transvertebral interbody cage and pedicle screw fixation for high-grade spondylolisthesis: case report. *J Neurosurg.* 2004;100(1):62-65.

[2] HARMS J, ROLINGER H. A one-stager procedure in operative treatment of spondylolistheses: dorsal traction-reposition and anterior fusion (author's transl). *Z Orthop Ihre Grenzgeb.* 1982;120(3):343-347.

[3] 周长嵩, 黄聿峰, 彭云娟. 老年单节段腰椎退变性疾病的 TLIF 与 PLIF 治疗效果比较 [J]. *中国初级卫生保健*, 2016,30(10):94-95.

[4] 李一鹏, 段晓丰, 田玉良, 等. TLIF 与 PLIF 治疗上腰段退行性 I 度滑脱并椎管狭窄的疗效比较 [J]. *现代中西医结合杂志*, 2016,25(13):1410-1413.

[5] 董献成, 王庆伟, 荆鑫, 等. 应用 PLIF 及 TLIF 治疗腰椎退变性疾病的比较研究 [J]. *颈腰痛杂志*, 2016,37(6):507-510.

[6] FOLEY KT, LEFKOWITZ MA. Advances in minimally invasive spine surgery. *Clin Neurosurg.* 2001;49:499-517.

[7] 张小会. 应用 Mast-Quadrant 可扩张通道系统显微镜下手术治疗腰椎间盘突出的临床研究 [J]. *世界最新医学信息文摘*, 2015,15(3):68-69.

[8] KIM CH, EASLEY K, LEE JS, et al. Comparison of Minimally Invasive Versus Open Transforaminal Interbody Lumbar Fusion. *Global Spine J.* 2020;10(2):143S-150S.

[9] GOLDSTEIN CL, PHILLIPS FM, RAMPERSAUD YR. Comparative Effectiveness and Economic Evaluations of Open Versus Minimally Invasive Posterior or Transforaminal Lumbar Interbody Fusion. *Spine.* 2016;41(8):S74-S89.

[10] 王建, 周跃, 张正丰, 等. 微创经椎间孔腰椎椎间融合术治疗腰椎滑脱症的临床研究 [J]. *中华外科杂志*, 2011,49(12):1076-1080.

[11] 曾顺福, 王建, 陆炎, 等. 单节段微创经椎间孔腰椎椎间融合术内固定治疗腰椎滑脱症的效果 [J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2011,21(5):399-403.

[12] 陈晓明, 肖增明, 宗少晖, 等. 计算机导航引导下脊柱后路椎弓根螺钉置入内固定: 准确性及安全性 [J]. *中国组织工程研究*, 2015,19(13):2119-2124.

[13] 殷铁林, 王祥善. 三维 CT 导航下微创经椎间孔腰椎椎间融合术治疗单节段腰椎退行性疾病 [J]. *颈腰痛杂志*, 2019,40(6):860-861.

[14] 桂召柳, 吴天亮, 林志祥, 等. 三维 CT 导航辅助下经椎间孔椎间融合术治疗腰椎间盘突出的临床疗效及安全性 [J]. *山东医药*, 2017,57(17):85-87.

[15] SUI RD, WANG CG, ZHANG JC, et al. Clinical Application of CT Navigation in treatment of Lumbar Spondylolisthesis with Minimally Invasive Surgery-Transforaminal Lumbar Interbody Fusion. *Pak J Med Sci.* 2020;36(5):935-940.

[16] BARSA P, SUCHOMEL P. Portable CT scanner-based navigation in lumbar pedicle screw insertion. *Eur Spine J.* 2013;22(6):1446-1450.

[17] YOUKILIS AS, QUINT DJ, MCGILLICUDDY JE, et al. Stereotactic navigation for placement of pedicle screws in the thoracic spine. *Neurosurgery.* 2001;48(4):771-779.

[18] FOLEY KT, SIMON DA, RAMPERSAUD YR. Virtual fluoroscopy: computer-assisted fluoroscopic navigation. *Spine.* 2001;26(4):347-351.

[19] SUK S, LEE C, KIM W, et al. Adding posterior lumbar interbody fusion to pedicle screw fixation and posterolateral fusion after decompression in spondylolytic spondylolisthesis. *Spine.* 1997;22(2):210-219.

[20] TALIA AJ, WONG ML, LAU HC, et al. Comparison of the different surgical approaches for lumbar interbody fusion. *J Clin Neurosci.* 2015;22(2):243-251.

[21] YANG Y, YAN X, LI W, et al. Long-Term Clinical Outcomes and Pain Assessment after Posterior Lumbar Interbody Fusion for Recurrent Lumbar Disc Herniation. *Orthop Surg.* 2020;12(3):907-916.

[22] HARMS JG, JESZENSZKY D. The unilateral transforaminal approach for posterior lumbar interbody fusion. *Orthop Traumatol.* 1998;6(2):88-99.

[23] ZENG ZL, JIA L, YU Y, et al. Clinical outcomes of single-level lumbar spondylolisthesis by minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion with bilateral tubular channels. *Zhonghua Wai Ke Za Zhi.* 2017;55(4):279-284.

[24] KIM JY, PARK JY, KIM KH. Minimally Invasive Transforaminal Lumbar Interbody Fusion for Spondylolisthesis: Comparison Between Isthmic and Degenerative Spondylolisthesis. *World Neurosurg.* 2015;84(5):1284-1293.

[25] FOLEY KT, HOLLY LT, SCHWENDER JD. Minimally invasive lumbar fusion. *Spine (Phila Pa 1976).* 2003;28(15 Suppl):S26-35.

[26] SULAIMAN WA, SINGH M. Minimally invasive versus open transforaminal lumbar interbody fusion for degenerative spondylolisthesis grades 1-2: patient-reported clinical outcomes and cost-utility analysis. *Ochsner J.* 2014;14(1):32-37.

[27] KULKARNI A, BOHRA H, DHRUV A, et al. Minimal invasive transforaminal lumbar interbody fusion versus open transforaminal lumbar interbody fusion. *Indian J Orthop.* 2016;50(5):464-472.

[28] VAZAN M, GEMPT J, MEYER B, et al. Minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion versus open transforaminal lumbar interbody fusion: a technical description and review of the literature. *Acta Neurochirurgica.* 2017;159(6):1137-1146.

[29] 邹澍, 王建, 潘文琦, 等. 微创与开放经椎间孔腰椎椎间融合术组织创伤相关血清指标的比较研究 [J]. *中国修复重建外科杂志*, 2013,27(8):960-964.

[30] YOO J, MIN S, YOON S, et al. Paraspinal muscle changes of unilateral multilevel minimally invasive transforaminal interbody fusion. *J Orthop Surg Res.* 2014;9(1):130.

[31] 汤红伟, 吴文坚, 张兴凯, 等. 微创与开放性经椎间孔腰椎椎间融合术创伤定量对比研究 [J]. *国际骨科学杂志*, 2016,37(5):326-330.

[32] 李明, 许红云, 鞠亮, 等. 微创与开放经椎间孔椎间融合术治疗腰椎不稳的疗效比较 [J]. *临床骨科杂志*, 2016,19(5):534-537.

[33] 吴茂成, 李康杰, 南军, 等. 计算机导航辅助下经 wiltse 入路在老年胸腰椎骨折治疗中的应用 [J]. *中国老年学杂志*, 2015,35(16):4614-4616.

[34] 俞伟杨, 刘登伟, 刘飞俊. 微创与开放经椎间孔椎间融合术治疗单间隙腰椎退行性疾病及中长期临床疗效比较 [J]. *浙江创伤外科*, 2015,20(2):201-205.

[35] YILAR S. Comparison of the accuracy of cannulated pedicle screw versus conventional pedicle screw in the treatment of adolescent idiopathic scoliosis: A randomized retrospective study. *Medicine.* 2019;98(10):e14811.

[36] YONG F, PENG DJ, JUN LJ, et al. Accuracy of pedicle screw placement comparing robot-assisted technology and the free-hand with fluoroscopy-guided method in spine surgery: An updated meta-analysis. *Medicine.* 2018;97(22):e10970.

[37] LUTHER N, IORGULESCU JB, GEANNETTE C, et al. Comparison of navigated versus non-navigated pedicle screw placement in 260 patients and 1434 screws: screw accuracy, screw size, and the complexity of surgery. *J Spinal Disord Tech.* 2015;28(5):298-303.

[38] 丁文彬, 郑召民, 王建儒, 等. 微创与开放经椎间孔椎间融合术治疗单节段腰椎病变的 Meta 分析 [J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2015,25(1):45-53.

[39] 闫兵山, 徐宝山, 刘越, 等. 微创与开放经椎间孔椎间融合术治疗腰椎滑脱的 Meta 分析 [J]. *中国组织工程研究*, 2017,21(15):2453-2460.

(责任编辑: GD, ZN, SX)