

临床论著

微创 TLIF 单侧或双侧固定治疗
腰椎退行性疾病的临床疗效

邹海波, 绳厚福, 李中实, 陈 栋, 赵景鑫

(北京中日友好医院脊柱外科 100029 北京市)

【摘要】目的:评价微创通道下经椎间孔腰椎椎体间融合术(TLIF)单侧或双侧固定治疗腰椎退行性疾病的临床疗效。**方法:**2011年1月~2012年11月应用 Mast Quadrant 通道对 52 例单节段腰椎退变性疾病患者经椎旁多裂肌入路行 TLIF 单侧(31 例)或双侧(21 例)固定治疗。男 27 例,女 25 例,年龄 30~77 岁,平均 52.9 岁。观察二种固定方式在手术时间、术中失血量、术后住院时间及手术费用的差别。采用 Oswestry 功能障碍指数评分(ODI)和疼痛视觉模拟评分(VAS)评价临床疗效。通过影像学测量手术节段 Cobb 角(矢状位)及不同部位椎间隙的高度,观察手术前后影像学变化并评价椎体间融合情况。**结果:**所有患者随访 3~18 个月,平均 12 个月。两组患者在手术时间、术后住院时间及手术费用方面差异有统计学意义($P<0.01$)。全部患者 ODI 平均值由术前的(67.67 ± 18.59)%降至末次随访时的(25.58 ± 20.80)%,VAS 腰痛评分平均值由术前的(7.42 ± 2.48)分降至末次随访时的(2.09 ± 2.47)分,VAS 腿痛评分平均值由术前的(8.04 ± 1.22)分降至末次随访时的(2.46 ± 2.07)分,手术前后差异均有显著的统计学意义($P<0.001$)。单侧及双侧固定组在手术前后的 ODI、VAS 评分差异无统计学意义($P>0.05$)。全部患者手术后的影像学测量指标均较术前改善,且差异有统计学意义($P<0.05$)。单侧及双侧固定组在手术前后影像学测量指标差异无统计学意义($P>0.05$)。除 1 例双侧固定患者术后出现单侧下肢症状而进行螺钉调整外,至末次随访时,所有患者均达到影像学融合标准,未发现椎弓根螺钉松动、断裂或 cage 移位等并发症的发生。**结论:**无论是单侧还是双侧固定,微创通道下经椎间孔椎体间融合术都可以有效缓解患者的临床症状。如适应证选择正确,单侧固定具有手术时间及术后住院时间短,手术费用低的优点。

【关键词】 腰椎;退行性疾病;手术;微创

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2013.12.06

中图分类号:R681.5 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2013)-12-1086-06

The clinical outcomes of minimally invasive unilateral or bilateral TLIF for lumbar degenerative disease/ZOU Haibo, SHENG Houfu, LI Zhongshi, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2013, 23(12): 1086-1091

【Abstract】 Objectives: To evaluate the clinical outcomes of minimally invasive unilateral or bilateral transforaminal lumbar interbody fusion (TLIF) for lumbar degenerative disease. **Methods:** From January 2011 to November 2012, 52 patients with single-level lumbar degeneration disease were treated through mini-TLIF for unilateral(31 cases) and bilateral(21 cases) pedicle screw fixation assisted by Mast Quadrant. The average age of patients was 52.9 years(ranged, 30-77), including 27 males and 25 females. The operation time, intraoperative blood loss, postoperative hospital stay and surgical cost were recorded. The pre- and post-operative clinical outcomes were assessed by visual analogue scale(VAS) and Oswestry disability index(ODI). The pre- and post-operative radiologic parameters were compared which included the sagittal Cobb angle and the disc height. **Results:** The mean follow-up time was 12 months(ranged, 3-18). There were significant differences between two groups on operation time, hospital stay and surgical cost($P<0.01$). The ODI of all patients decreased from (67.67 ± 18.59)% to (25.58 ± 20.80)%. The VAS improved from 7.42 ± 2.48 to 2.09 ± 2.47 for low back pain and from 8.04 ± 1.22 to 2.46 ± 2.07 for leg pain. There were significant differences with respect to the improvement rate of ODI and VAS for all patients ($P<0.001$). There was no statistical deference between pre- and post-operative ODI and VAS scores for each group($P>0.05$). The postoperative radiologic indexes of

第一作者简介:男(1971-),副主任医师,医学博士,研究方向:脊柱疾病的微创治疗

电话:(010)84206196 E-mail:dr.haibo zou@gmail.com

通讯作者:李中实 E-mail:lizhongshi@sina.com.cn

all patients were higher than the preoperative ones($P<0.05$). But no statistical difference of radiologic indexes between preoperation and final follow-up for each group was noted($P>0.05$). Except one patient with bilateral fixation adjusted pedicle screw because of leg pain after operation, at final follow-up, all the patients achieved radiographic fusion without instrument failure and other complications. **Conclusions:** Mini-TLIF through Mast Quadrant regardless of unilateral or bilateral fixation is reliable for degenerative lumbar disease. Unilateral fixation is of less surgical time, less duration of postoperative hospital and less medical costs.

[Key words] Lumbar vertebrae; Degenerative disease; Surgical procedures; Minimally invasive

[Author's address] Spine Division of Orthopaedic Department, China-Japan Friendship Hospital, Beijing, 100029, China

由于传统的腰椎后路手术(如后路椎板切除减压术)需要向两侧剥离椎旁肌肉,术后容易发生腰背部肌肉的萎缩,久之引起腰背痛^[1-3]。微创可扩张通道的设计是基于最小的肌肉损伤,从肌肉间隙逐渐撑开进入手术区域且不切断关键肌肉的附着点,特别是多裂肌在棘突上的附着点^[4],取得了很好的临床效果。与后路腰椎椎间融合术(posterior lumbar interbody fusion, PLIF)相比,经椎间孔腰椎椎间融合术(transforaminal lumbar interbody fusion, TLIF)的显露更偏外,对神经根牵拉较小,从而减少了对神经损伤的风险,同时,PLIF 技术需广泛切除椎板,而 TLIF 只需移除单侧峡部及半侧关节突,从而对脊柱后方结构的保留更多,基于上述原因,使 TLIF 逐渐成为脊柱外科广泛使用的技术^[5]。我们从 2011 年 1 月~2012 年 11 月共对 52 例腰椎疾病患者使用 MAST Quadrant 通道行 TLIF 手术,分别行单侧或双侧固定。笔者回顾性分析上述患者的临床资料,将单侧及双侧固定的临床数据进行对比,评价二者的临床疗效,并初步预测微创通道下手术的学习曲线。

1 资料与方法

1.1 一般资料

2011 年 1 月~2012 年 11 月,应用 Mast Quadrant 通道(Medtronic Sofamor Danek, USA)对 52 例患者经椎旁多裂肌入路行 TLIF,手术均由同一医生完成。所有患者均有腰骶部疼痛,单侧下肢的放射性疼痛,伴有或不伴有下肢麻木症状或感觉、运动功能的受累,均经 6 个月以上的系统保守治疗无效。年龄 30~77 岁,平均 52.9 岁;男 27 例,女 25 例。其中 L3/4 节段 1 例, L4/5 节段 28 例, L5/S1 节段 23 例。腰椎间盘突出症伴腰痛者 28 例,腰椎管狭窄症者 10 例,腰椎间盘突出伴有单侧神经根管狭窄者 9 例,腰椎滑脱合并腰椎管狭

窄者 4 例,椎间盘源性腰痛者 1 例。其中 31 例无腰椎滑脱、腰椎失稳及严重骨质疏松的患者,行单侧固定;其余 21 例患者均行双侧固定。

1.2 手术方法

患者静脉复合全身麻醉,俯卧于 Jackson 手术床 Wilson 架上,腹部悬空。C 型臂 X 线机透视下用曲别针确定腰椎病变的节段及双侧椎弓根的位置,在同侧上、下椎弓根体表投影位置划一连线。常规消毒、铺单,安装工作套管的自由臂锁定装置于 Jackson 床上。沿椎弓根体表投影的连线做一长约 3cm 的纵行皮肤切口,逐层显露至腰背筋膜,锐性切开此筋膜后在甲状腺拉钩的辅助下可显示多裂肌及其潜在的间隙,用手指钝性分离该间隙到关节突关节,先用小号 Cobb 剥离子轻轻分离关节突关节上的软组织,依次置入扩张套筒撑开至适当的距离后置入 Quadrant 通道,纵向扩张 Quadrant 叶片,适当调整通道的安置角度到合适的位置,固定自由臂、接通冷光源。

直视下清理软组织,充分止血,显露上下关节突关节和椎板,应用常规椎弓根螺钉置入技术,在透视下将拟固定侧的椎弓根螺钉钉道先预制好后用骨蜡将其封闭防止出血。使用骨刀切除上下关节突、部分椎板,使用椎板咬骨钳咬除黄韧带,经椎间孔进入椎间隙。切除椎间盘,处理上下软骨终板至骨性终板。应用双极电凝及脑棉片止血,彻底冲洗椎间隙。放入椎间融合器的试模,将咬除的椎板及关节突关节修剪为合适大小的自体骨粒植入到椎间隙内,在直视下置入一枚合适大小的填充有自体骨颗粒的椎间融合器。

选择合适长度和直径的椎弓根螺钉,拧入之前用骨蜡预封的椎弓根钉道内,透视确认椎间融合器及椎弓根螺钉的置入深度及位置后,取合适长度的钛棒预弯后连接于上下椎弓根钉上,锁紧,完成单侧固定。对于行双侧固定的患者,在完成了

一侧 Quadrant 下 TLIF 后, 拆除 Quadrant 工作通道及固定臂, 在 X 线透视机下, 行相同节段对侧的 Sextant 下经皮椎弓根钉固定。在上关节突外缘与横突上缘相交处向下约 3mm 为进针点作约 1cm 的切口, 行椎弓根穿刺, 使用手锥在透视下经椎弓根钻入椎体, 置入导针后拔出手锥, 攻丝后拧入 Sextant 空心椎弓根螺钉, 同法拧入同侧的第二枚椎弓根螺钉。测量钛棒长度, 将合适长度的钛棒连接在 Sextant 的连接臂上沿弧形轨迹经皮置入到椎弓根钉上, 正、侧位透视确认钛棒位置正确后拧紧螺母。再次冲洗伤口, 逐层缝合切口。

1.3 术后处理

术后常规 48h 应用抗生素预防感染。术后 2~3d 开始练习下肢抬高, 术后 3~5d 佩戴支具卧床活动。支具佩戴约 3 个月。

1.4 疗效和影像学评价

所有患者均采集术前及末次随访时的疼痛视觉模拟评分^[6](visual analogue scale, VAS) 及 Oswestry 功能障碍指数评分^[7,8](Oswestry disability index, ODI)。记录手术时间、术中失血量、术后住院时间及手术费用。影像学参数测量手术节段 Cobb 角(矢状位)^[9]、椎间隙腹侧和背侧高度、椎间隙手术侧及手术对侧高度观察手术前后影像学变化^[10]并评价椎体间融合情况, 判断融合与否, 主要采用内置物(椎弓根螺钉或 cage)周围有无细线征的存在^[11]。

1.5 统计学处理

采用 SigmaStat (SPSS Corp., Chicago, IL) 软件进行分析。所有数据以均数±标准差表示, 采用配对 *t* 检验对手术前后的变化进行统计分析, 学习曲线用矢量图表示并进行曲线拟合, 采用手术例数和手术时间及术中出血量在矢量图上进行相关性分析。 $P<0.05$ 具有统计学意义。

2 结果

所有的病例均在 Mast Quadrant 通道下顺利完成手术操作, 未转换为开放手术。患者随访时间 3~18 个月, 平均 12 个月, 其中 13 例患者完成了 18 个月的随访, 15 例完成了 12 个月的随访。单侧固定的病例中, 男 14 例, 女 17 例, 年龄 49.6 ± 11.2 岁; 双侧固定的病例中, 男 13 例, 女 8 例, 年龄 57.7 ± 12.0 岁。除 1 例双侧固定的患者术后出现一侧下肢症状加重, 急诊复查 CT 发现螺钉位置欠

佳, 进入手术室重新调整螺钉外, 其余患者至末次随访, 未发现椎弓根钉断裂、松动或 cage 移位及内置物周围“细线征”的存在。所有患者切口未放置引流管, 切口均 I 期愈合。

两组患者在手术时间、术中失血量、术后住院时间及手术费用的比较见表 1, 其中手术时间、术后住院时间及手术费用方面的差异有统计学意义($P<0.01$ 或 $P<0.05$)。

全部患者的 ODI、VAS 评分(腰痛及腿痛)末次随访时较术前均明显改善, 差异均有显著的统计学意义($P<0.001$, 表 2)。而单侧固定组及双侧固定组在术前及末次随访时的 ODI、VAS 评分差异均无统计学意义($P>0.05$, 表 2); 两组变化趋势基本相同(图 1~3)。

全部患者末次随访时椎间隙腹侧、背侧高度, 椎间隙手术侧高度及手术对侧的高度均较术前提提高, 腰椎矢状位的 Cobb 角度术后增加, 所有的影像学测量指标末次随访时与术前比较差异均有统计学意义($P<0.05$ 或 <0.01 , 表 2)。然而, 单侧固定组和双侧固定组同时间点组间比较差异无统计学意义($P>0.05$, 表 2)。

微创通道下 TLIF 的学习曲线在双侧固定组, 随着例数的增加, 手术时间逐渐缩短后又增加(可能与后期病例选择更加复杂有关系); 单侧固定组的手术时间除 2 例由于术中器械的原因导致手术时间延长外, 基本上与病例数保持较好的拟合关系(图 4); 单侧(4 例)及双侧(3 例)固定组由于术中器械原因致术中出血量较多而排除在此评价之外, 单侧固定组前 14 个患者术中出血量是 (227.14 ± 87.74) ml, 后 13 个患者的术中出血量是 (134.61 ± 82.01) ml, 差异有统计学意义($t=2.825$, $P=0.009$); 双侧固定组前 9 个患者术中出血量是 (261.11 ± 105.41) ml, 后 9 个患者的术中出血量是 (138.89 ± 98.55) ml, 差异有统计学意义($t=2.541$, $P=0.022$, 图 5)。

3 讨论

由于传统的腰椎后路融合手术需要对椎旁肌肉进行广泛的剥离, 术后会导致椎旁肌肉的水肿、去神经和萎缩, 从而影响手术治疗的效果^[1-3]。有学者比较了开放 TLIF 和微创通道下 TLIF 的情况, 他们发现术后两年, 二者的临床结果基本相似, 但是, 微创通道下 TLIF 手术的患者其优势在

表 1 单侧固定组和双侧固定组在手术时间、失血量、术后住院时间及手术费用的比较 ($\bar{x}\pm s$)**Table 1** The comparison of operative time, intraoperative blood loss, duration of postoperative hospital stay and surgical cost between the two groups

	手术时间(min) Operation time	失血量(ml) Blood loss	术后住院时间(d) Hospitalization time	手术费用(¥) Surgical cost
单侧固定($n=31$) Unilateral fixation	120.65±36.19	206.21±127.91	6.61±1.94	33866.70±4899.03
双侧固定($n=21$) Bilateral fixation	170.43±34.75 ^①	255.00±203.04	8.81±4.07 ^②	54105.98±8639.91 ^①

注:与单侧固定组比较^① $P<0.01$,^② $P<0.05$ Note: Compared with unilateral fixation^① $P<0.01$,^② $P<0.05$ **表 2** 全部患者术前与末次随访的 ODI、VAS 评分及影像学测量指标的比较 ($n=52, \bar{x}\pm s$)**Table 2** The comparison of ODI, VAS and radiographic parameter between preoperation and postoperation for all patients

	术前(Pre-operation)			末次随访(Final follow-up)		
	单侧组($n=31$) Unilateral group	双侧组($n=21$) Bilateral group	合计 Total	单侧组($n=31$) Unilateral group	双侧组($n=21$) Bilateral group	合计 Total
VAS-腰痛(分) Low back pain	7.30±2.68	7.60±2.21 ^①	7.42±2.48	1.20±2.68 ^②	2.83±2.23 ^{①②}	2.09±2.47 ^②
VAS-腿痛(分) Leg pain	8.24±1.48	8.00±1.05 ^①	8.04±1.22	2.17±2.40 ^②	2.50±1.76 ^{①②}	2.46±2.07 ^②
ODI(%)	64.94±18.98	71.71±17.68 ^①	67.67±18.59	23.83±27.90 ^②	27.33±12.88 ^{①②}	25.58±20.80 ^②
椎间隙腹侧高度(mm) Ventral height of intervertebral disc	14.08±3.03	14.79±3.46 ^①	14.37±3.20	16.28±3.45 ^②	16.15±3.34 ^{①②}	16.22±3.37 ^②
椎间隙背侧高度(mm) Dorsal height of intervertebral disc	10.69±2.22	10.77±1.99 ^①	10.72±2.12	12.25±2.42 ^②	12.67±1.98 ^{①②}	12.42±2.24 ^②
椎间隙手术侧高度(mm) Intervertebral disc height operated side	7.81±2.92	7.90±3.53 ^①	7.85±3.15	11.13±4.54 ^②	9.88±3.85 ^{①②}	10.63±4.28 ^②
椎间隙手术对侧高度(mm) Intervertebral disc height non-operated side	7.62±3.26	7.22±3.6 ^①	7.46±3.39	9.71±3.64 ^②	8.57±3.95 ^{①②}	9.25±3.77 ^②
手术节段 Cobb 角(°) sagittal cobb angles of operating segment	12.41±3.27	12.89±2.68 ^①	12.60±3.03	14.20±2.82 ^②	14.23±2.32 ^{①②}	14.21±2.60 ^②

注:①与同时间点单侧组比较 $P>0.05$; ②与术前比较 $P<0.05$ Note: ①Compared with unilateral fixation at the same time, $P>0.05$; ②Compared with pre-operation, $P<0.05$

于术后即刻缓解疼痛,可以更早的康复,更短的住院时间以及较少的并发症发生^[12,13]。Stevens 等^[14]通过研究证实,使用牵开器下行 TLIF 手术,术后半年 MRI 显示肌肉组织明显水肿,而微创通道下 TLIF 手术,术后 MRI 检查肌肉组织基本正常。由于通道下行 TLIF 手术的上述优势,使越来越多的医生选择微创通道下的 TLIF 手术。

Chen 等^[15]使用猪的脊柱标本进行单侧固定加一个或两个椎间融合器,同双侧固定用或不用椎间融合器进行不同组合的力学实验,他们的结论是单侧固定对维持脊柱结构稳定性是足够的。而且,由于单侧固定而腰椎对侧的解剖结构没有受到影响,且单侧减压固定可以缩短手术时间,减少术中组织损伤的范围,从而可以缩短患者术后住院时间,并可以避免邻近节段退变的发生^[16,17]。

本组手术的患者单侧固定组术后住院时间(6.61 ± 1.94)d,双侧固定术后住院时间(8.81 ± 4.07)d,二者差异有统计学意义($P<0.05$),这与 Suk 等^[18]的研究结果一致,他们对 87 例行腰椎手术的患者进行了前瞻性的研究,其中行单侧固定组 47 例,双侧固定组 40 例,分别评价了手术时间、术中失血量、术后住院时间、住院费用及临床的结果,他们的结论是在术中失血量及临床满意度上,二者没有区别,而在手术时间、术后住院时间及住院费用上二种方法有显著的统计学差异,他们的结论是单侧固定可以达到和双侧固定同样的治疗效果。

Kim 等^[16]对 16 例腰椎管狭窄的患者行微创通道下椎管减压、椎弓根钉骨水泥强化单侧固定,术后随访 12 个月,VAS 评分从术前的 7.8 分降至术后的 2.2 分,这与我们的结论相似。从我们的研

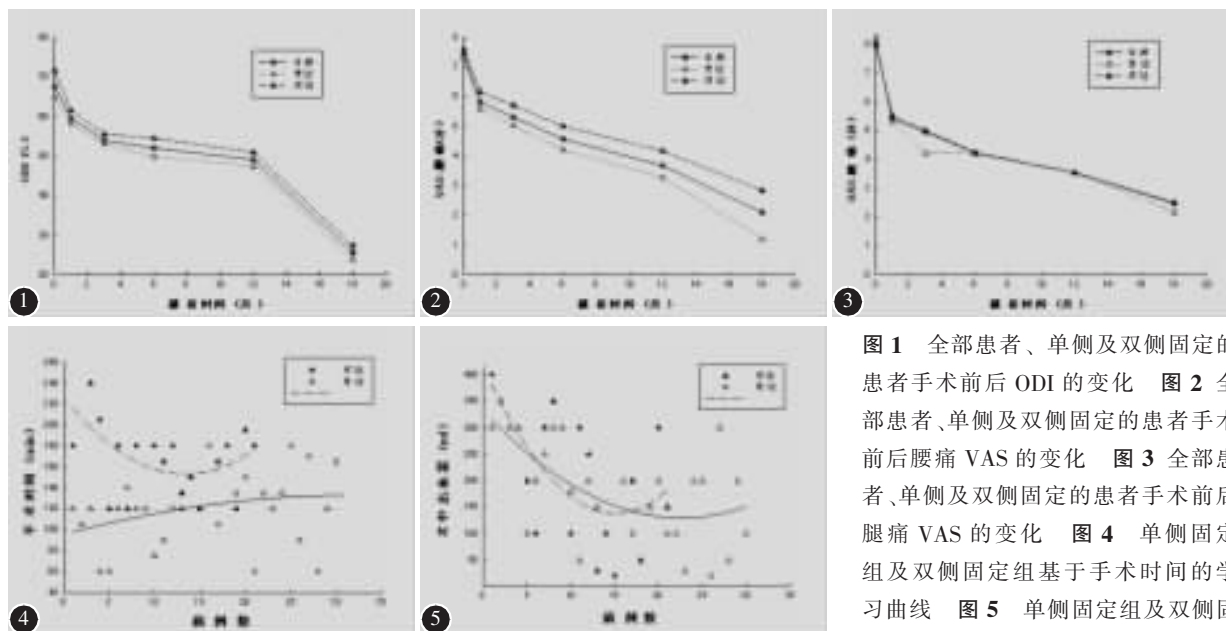


图 1 全部患者、单侧及双侧固定的患者手术前后 ODI 的变化 图 2 全部患者、单侧及双侧固定的患者手术前后腰痛 VAS 的变化 图 3 全部患者、单侧及双侧固定的患者手术前后腿痛 VAS 的变化 图 4 单侧固定组及双侧固定组基于手术时间的学习曲线 图 5 单侧固定组及双侧固定组基于术中出血量的学习曲线

Figure 1 The changes of ODI between preoperation and postoperation in all cases, unilateral and bilateral fixation group **Figure 2** The changes of VAS for low back pain between preoperation and postoperation in all cases, unilateral and bilateral fixation groups **Figure 3** The changes of VAS for leg pain between preoperation and postoperation in all cases, unilateral and bilateral fixation groups **Figure 4** Graphs of learning curve based on operative time in unilateral and bilateral fixation groups **Figure 5** Graphs of learning curve based on intraoperative blood loss in unilateral and bilateral fixation groups

究中发现,无论是单侧还是双侧微创通道下 TLIF 手术,术前及末次随访的患者自我评价(VAS 及 ODI 评分)都有显著的统计学意义($P<0.001$),而就单侧及双侧的术前及术后各时间段进行随访的结果(VAS 及 ODI 评分),二者的差别都没有统计学意义,所以,就临床症状的缓解来讲,单侧及双侧进行微创通道下 TLIF 手术的结果是相同的,这与 Suk 等^[18]的研究结果相似。

对本组研究的放射学参数进行分析,我们发现全部患者的放射学参数术后末次随访均较术前有所提高并有统计学意义($P<0.05$),其中椎间隙背侧高度及椎间隙手术侧高度的变化有显著的统计学意义($P<0.001$)。而单侧固定组和双侧固定组相比,其放射学参数的差别都没有统计学意义。所以,就手术技术本身来讲,二者的作用是相同的,其影像学的结果是一致的。

作为一种不同于开放手术的技术,经微创通道下 TLIF 手术有一定的学习曲线。Neal 等^[19]回顾性评价了 28 例微创通道下的 TLIF 手术,其中有 26 例患者纳入了评估病例中,他们根据手术时间评价学习曲线,该研究的结论是大约 15 例手术后

术者的手术技术能达到较平稳的水平,这与我们的结论基本相似。从本研究图 4 中我们能发现双侧固定组在手术时间在呈下降趋势后又有增加,这可能与后期选择了一些比较复杂的病例有关。而我们根据术中出血量进行学习曲线的评估,同样发现,无论单侧固定组还是双侧固定组,大约前 10 例患者与后面的患者术中出血量相比,其差别都有统计学意义。所以,尽管同开放手术相比,微创通道下 TLIF 手术有一定的学习曲线,但是,经过一定的培训,此方法还是一种安全的手术方式。

Chen 等^[20]使用有限元模型重建了单节段单侧结合椎板关节突螺钉及双侧固定的模型,但是,他们对置入 cage 的形式进行了区别,分别是 cage 在椎体中央、椎体前面及斜行置入,他们的结论是对于单侧结合椎板关节突螺钉固定且 cage 斜行置入的患者,对侧非固定侧抗轴向旋转和侧方弯曲的能力下降,所以建议对侧行关节突螺钉进行强化。而我们行微创通道下 TLIF 手术,cage 都是斜行置入,我们并没有发现患者有上述情况的发生,但是,单侧固定由于其固定强度受一定的影

响,所以,术后还应该嘱患者减少运动,防止内固定的失败或椎间融合器的脱出^[21]。截止到发表此文,本组患者没有发生椎间融合器脱出的病例。所以,对于微创通道下 TLIF 手术,何时可以行单侧固定、何时需要进行双侧固定还需要进行更多的研究,对患者还需要进行更长时间的随访。

4 参考文献

1. Weinstein JN, Tosteson TD, Lurie JD, et al. Surgical versus nonoperative treatment for lumbar spinal stenosis four-year results of the Spine Patient Outcomes Research Trial [J]. *Spine*, 2010, 35(14): 1329-1338.
2. Gille O, Jolivet E, Dousset V, et al. Erector spinae muscle changes on magnetic resonance imaging following lumbar surgery through a posterior approach[J]. *Spine*, 2007, 32(11): 1236-1241.
3. Gejo R, Matsui H, Kawaguchi Y, et al. Serial changes in trunk muscle performance after posterior lumbar surgery [J]. *Spine*, 1999, 24(10): 1023-1028.
4. Kim CW, Siemionow K, Anderson DG, et al. The current state of minimally invasive spine surgery[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2011, 93(6): 582-596.
5. Foley KT, Holly LT, Schwender JD. Minimally invasive lumbar fusion[J]. *Spine*, 2003, 28(15 Suppl): S26-S35.
6. Myles PS, Troedel S, Boquest M, et al. The pain visual analog scale: is it linear or nonlinear[J]? *Anesth Analg*, 1999, 89(6): 1517-1520.
7. Lue YJ, Hsieh CL, Huang MH, et al. Development of a Chinese version of the Oswestry Disability Index version 2.1 [J]. *Spine*, 2008, 33(21): 2354-2360.
8. Roland M, Fairbank J. The Roland-Morris Disability Questionnaire and the Oswestry Disability Questionnaire[J]. *Spine*, 2000, 25(24): 3115-3124.
9. Cakir B, Richter M, Kafer W, et al. Evaluation of lumbar spine motion with dynamic X-ray: a reliability analysis [J]. *Spine*, 2006, 31(11): 1258-1264.
10. 陈一衡, 徐华梓, 冯永增, 等. 小切口单侧固定的经椎间孔椎体间融合治疗下腰椎退行性疾病中期疗效评价[J]. *中华外科杂志*, 2010, 48(13): 989-993.
11. Santos ER, Goss DG, Morcom RK, et al. Radiologic assessment of interbody fusion using carbon fiber cages[J]. *Spine*, 2003, 28(10): 997-1001.
12. Peng CW, Yue WM, Poh SY, et al. Clinical and radiological outcomes of minimally invasive versus open transforaminal lumbar interbody fusion[J]. *Spine*, 2009, 34(13): 1385-1389.
13. Lee KH, Yue WM, Yeo W, et al. Clinical and radiological outcomes of open versus minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion [J]. *Eur Spine J*, 2012, 21(11): 2265-2270.
14. Stevens KJ, Spenciner DB, Griffiths KL, et al. Comparison of minimally invasive and conventional open posterolateral lumbar fusion using magnetic resonance imaging and retraction pressure studies[J]. *J Spinal Disord Tech*, 2006, 19(2): 77-86.
15. Chen HH, Cheung HH, Wang WK, et al. Biomechanical analysis of unilateral fixation with interbody cages[J]. *Spine*, 2005, 30(4): E92-E96.
16. Kim JG, Jin YJ, Chung SK, et al. Unilateral augmented pedicle screw fixation for foraminal stenosis [J]. *J Korean Neurosurg Soc*, 2009, 46(1): 5-10.
17. Goel VK, Lim TH, Gwon J, et al. Effects of rigidity of an internal fixation device: a comprehensive biomechanical investigation[J]. *Spine*, 1991, 16(3 Suppl): S155-S161.
18. Suk KS, Lee HM, Kim NH, et al. Unilateral versus bilateral pedicle screw fixation in lumbar spinal fusion [J]. *Spine*, 2000, 25(14): 1843-1847.
19. Neal CJ, Rosner MK. Resident learning curve for minimal-access transforaminal lumbar interbody fusion in a military training program[J]. *Neurosurg Focus*, 2010, 28(5): E21.
20. Chen SH, Lin SC, Tsai WC, et al. Biomechanical comparison of unilateral and bilateral pedicle screws fixation for transforaminal lumbar interbody fusion after decompressive surgery: a finite element analysis [J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2012, 13: 72.
21. Aoki Y, Yamagata M, Nakajima F, et al. Examining risk factors for posterior migration of fusion cages following transforaminal lumbar interbody fusion: a possible limitation of unilateral pedicle screw fixation [J]. *J Neurosurg Spine*, 2010, 13(3): 381-387.

(收稿日期:2013-05-17 修回日期:2013-07-13)

(英文编审 蒋欣/贾丹彤)

(本文编辑 彭向峰)