

## 微创经椎间孔入路腰椎椎间融合术治疗腰椎退行性疾病的研究进展

## Update on minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion for the treatment of lumbar degenerative disease

赵志刚, 刘晓光

(北京大学第三医院 100191 北京市)

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2019.04.12

中图分类号: R681.5, R687.3 文献标识码 A 文章编号: 1004-406X(2019)-04-0371-05

腰椎退行性病变所致腰腿痛是目前老龄化社会中常见的疾病, 腰椎椎间融合术是治疗此类疾病的经典术式, 且疗效确切。目前最常用的腰椎椎间融合术式包括后路腰椎椎体间融合术 (posterior lumbar interbody fusion, PLIF)、经椎间孔入路腰椎椎间融合术 (transforaminal lumbar interbody fusion, TLIF) 等。微创经椎间孔入路腰椎椎间融合术 (minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion, MIS-TLIF) 由 Foley 等<sup>[1]</sup>在 2003 年首次提出, 利用特殊工作套管, 经肌间隙入路切除一侧小关节并暴露椎间隙的后外侧来完成病变节段的减压及融合, 获得脊柱手术的微创效果。笔者就 MIS-TLIF 的适应证与禁忌证、手术方式及椎间融合器的选择、手术效果、手术并发症等方面综述如下。

## 1 手术适应证与禁忌证

MIS-TLIF 与 TLIF 类似, 目前尚无统一的手术适应证。根据目前文献<sup>[2-3]</sup>的报道, MIS-TLIF 的适应证可包含: (1) I 度或 II 度的腰椎滑脱症; (2) 复发性椎间盘突出; (3) 单节段腰椎间盘突出术后需翻修; (4) 椎板切除术后不稳; (5) 假关节形成需翻修; (6) 腰椎管狭窄症; (7) 需行椎间融合的脊柱外伤。相对禁忌证: (1) 多节段 ( $\geq 3$  个节段) 的椎间盘退行性病变; (2) 严重骨质疏松 (可能导致术后椎间移植体下沉); (3) 双侧硬膜外严重纤维化。

Min 等<sup>[4]</sup>报道 MIS-TLIF 对于需行 3 个节段以上椎间融合的患者也可以改善患者的症状, 取得令人满意的效果。但目前对于 3 节段以上行 MIS-TLIF, 尚缺乏进一步的研究。

## 2 手术方式的选择

### 2.1 手术入路

MIS-TLIF 手术根据手术工作通道的不同, 主要分为

两大类。一类为经过固定的管状通道, 通过导丝引导, 将固定的管状通道引导至需融合的椎间盘处, 再进行手术操作, 称为经典 MIS-TLIF 技术, 常用的微创通道系统有 Spotlight 管状微创通道; 另一类为利用 Wiltse 肌间隙, 钝性分离多裂肌外侧的肌间隙, 利用可扩张通道抵达手术部位, 称为 Wiltse 入路 Mini-open TLIF 技术, 常用的微创通道系统有 METRx X-tube 工作套管、MAST Quadrant 通道以及 Pipeline 等。两者在抵达需进行融合的椎间盘处之后的减压融合操作基本一致。区别在于, 可扩张通道的直径较大, 术中视野较固定通道更大, 减压融合过程相对简便, 但在手术过程中会持续牵拉以及撑开挤压通道附近肌肉, 造成通道附近肌肉组织的缺血坏死及去神经化, 并且在调整可扩张通道时, 软组织会挤入通道内, 需进一步切除软组织, 加重肌肉损伤; 固定通道的优势在于手术切口更小, 对通道旁的肌肉牵拉、挤压以及剥离更少, 并且能够减少对小关节、棘间韧带以及棘上韧带的损伤, 维持脊柱后柱的稳定性, 但由于通道限制, 手术视野较可扩张通道更小, 手术操作难度更高, 理论上手术的并发症发生率也相对更高<sup>[5,6]</sup>。在具体方法的选择上, Meyer 等<sup>[7]</sup>提出, 对于需行双侧减压或 SPO 截骨 (Smith-Peterson Osteotomy) 者, 更倾向于 Mini-open 方式, 而对于仅需行单侧减压的患者, 经典的 MIS-TLIF 联合经皮椎弓根螺钉内固定的术式更合适。

### 2.2 固定方式的选择

为提供手术节段的稳定性, 促进融合, 患者行椎间盘切除、椎间融合后, 可行椎弓根螺钉固定, 良好的固定是手术成功的必备因素。目前椎弓根螺钉固定的常用方法有: ① 双侧椎弓根螺钉 (bilateral pedicle screw, BPS) 固定; ② 单侧椎弓根螺钉 (unilateral pedicle screw, UPS) 固定; ③ 单侧椎弓根螺钉固定联合对侧椎板关节突螺钉 (unilateral pedicle screws along with contralateral translaminar facet joint screw, UPS+TFS) 固定。

既往腰椎融合术多采用 BPS 固定, 取得了良好的临床疗效。理论上, BPS 固定能提供更好的生物力学支撑, 能有效维持脊柱的稳定性, 但其手术节段稳定性过高可能造成邻近节段应力过大, 导致邻近节段椎体的退变加速, 增

第一作者简介: 男 (1993-), 博士研究生, 研究方向: 脊柱外科

电话: (010)82267011 E-mail: zgzldr@163.com

通讯作者: 刘晓光 E-mail: xglius@vip.sina.com

加邻椎病的发生风险<sup>[8]</sup>。

相较于 BPS 固定, UPS 固定减少了手术操作, 可有效缩短手术时间、减少术中放射暴露并减少对侧软组织及椎旁肌的损伤, 手术出血少, 但 UPS 固定提供的应力双侧不一致, 可能导致术后脊柱侧凸, 并且 UPS 固定所能提供的支撑能力要小于 BPS 固定, 术后有导致椎间融合器脱出的风险<sup>[9]</sup>。也有研究<sup>[10,11]</sup>指出 UPS 固定和 BPS 固定在术后均能取得满意的效果, 但目前大多研究的样本量较小、非随机对照试验 (randomized control trial, RCT) 研究、随访时间较短, 因此, UPS 能否完全代替 BPS 固定尚需进一步的研究及讨论。

相较于 UPS 固定导致术后双侧应力不一致以及 BPS 固定所导致的邻近节段应力过大, 目前有学者尝试将单侧切口行 UPS 联合 TFS 混合固定方式应用于 MIS-TLIF 手术中。Xue 等<sup>[9]</sup>应用 MIS-TLIF 联合 UPS+TFS 固定治疗单节段腰椎退行性病变取得了与 BPS 固定相似的临床疗效; 另一方面, 混合固定相较于双侧固定手术时间更短, 术中出血量更少, 对软组织及骨的干扰更少, 术后康复更快<sup>[12]</sup>。

### 2.3 椎间融合器的选择

椎间融合器在脊柱融合中起着重要作用, 椎间融合器的受力面积越大, 椎体终板局部的受力越分散, 减少椎体终板塌陷, 增强椎体间的稳定性, 增加椎间融合率。因此理论上, 通过双侧入路放置双枚椎间融合器较单一椎间融合器能获得更大的受力面积, 获得更好的临床效果。但应用双枚椎间融合器常需要从双侧入路进行放置, 在手术过程中椎间融合器的位置难以实现对称平衡, 同时显著增加患者医疗成本以及手术时间, 增加手术风险<sup>[13]</sup>。Zhao 等<sup>[10]</sup>通过有限元分析发现, UPS 固定联合应用单一椎间融合器即可获得良好的稳定性。目前有多项研究表明, 同双枚椎间融合器相比, 单枚椎间融合器在临床效果上能取得相似或更好的效果<sup>[14,15]</sup>。而对于双侧神经根症状的患者, 也可以在单侧入路时将工作通道向对侧倾斜, 然后使用高速钻头去除椎板与棘突的连接处, 切除对侧椎板和对侧下关节突的腹侧部分, 并放置单枚椎间融合器, 以达到扩大椎管、双侧减压、融合的目的<sup>[16]</sup>。

椎间融合器的常用材质有金属及非金属, 金属型椎间融合器中, 以钛合金为主要代表; 非金属椎间融合器中, 目前常用的为聚醚醚酮 (PEEK) 材质。Seaman 等<sup>[16]</sup>通过系统性回顾发现, 两种材料在腰椎融合手术融合率方面无显著性差异, 但钛金属椎间融合器下沉发生率较 PEEK 材质高。但 Nemoto 等<sup>[17]</sup>则指出, PEEK 材质椎间融合器的融合率要远小于钛合金型。结合两者的优势, 改善椎间融合率, 减少融合器下沉的钛涂层 PEEK 融合器逐渐成为新的选择。

在椎间融合器外形的设计上, 常用的有肾型和子弹头型。Choi 等<sup>[18]</sup>通过比较直形和香蕉形椎间融合器, 发现两者之间的融合率相近, 但香蕉形融合器在维持椎间高度以及节段前凸角方面要优于直形融合器, 椎间融合器下沉

的发生率可能要高于直形椎间融合器。相较于普通椎间融合器, 目前对于可撑开型融合器有较多的研究。多项研究发现, 可撑开型融合器在恢复节段高度、节段前凸角以及维持矢状面平衡方面均较普通融合器具有优势<sup>[19,20]</sup>。

### 3 MIS-TLIF 的手术效果及优势

与传统 TLIF、PLIF 相比, 不论是经典 MIS-TLIF 及经 Wiltse 入路 Mini-open TLIF, 均有出血量少、组织损伤少、住院时间短、术后疼痛轻等优势, 但也存在手术时间相对较长、学习曲线陡峭及术中放射暴露等相关问题<sup>[21-25]</sup>。在对行 MIS-TLIF 手术至少 5 年以上的患者进行随访追踪发现, MIS-TLIF 不论是在 VAS 评分、ODI, 还是在影像学如融合率、融合节段前凸角、腰椎前凸角以及骶骨倾斜角方面与开放组均无明显差异<sup>[26-28]</sup>。Khan 等<sup>[29]</sup>对既往的回顾性研究及 RCT 研究通过 Meta 分析也佐证了 MIS-TLIF 的优势。

传统的 PLIF、TLIF 均需剥离椎旁肌, 而 MIS-TLIF 经肌间隙入路, 对肌肉的损伤更小, 并且无需切除棘突、棘上韧带、棘突间韧带, 保留了后方韧带复合体结构及脊柱矢状位的稳定, 减少了术后脊柱不稳、术后腰背疼以及术后腰椎退变的风险。牟海频等<sup>[30]</sup>通过 MRI 评估 MIS-TLIF 与 TLIF 对多裂肌的损伤发现, 术后 1 周 MIS-TLIF 组多裂肌净横截面积大于 TLIF 组, 且具有统计学意义。Putzier 等<sup>[31]</sup>通过 CT 发现, 在术后 1 年随访时, 开放 PLIF 组多裂肌的萎缩以及脂肪变性均要高于微创组, 但在对最长肌的保护上, 两者之间并无显著性差异。Fan 等<sup>[32]</sup>通过 MRI 评估术前及术后 1 年多裂肌的横截面积发现, 单节段 MIS-TLIF 术后多裂肌的横截面积平均降低 12.2%, 邻近节段平均降低 8.5%, 而常规开放组分别下降 36.8% 和 29.3%, 并且这些多裂肌的退变与术后长期的效果有显著性关系。

在腰椎退行性疾病中, 成人退变性脊柱侧凸是一类复杂的疾病, 常为高龄患者, 且往往合并有多种内科疾病。既往的开放手术虽然疗效确切, 但由于创口大, 手术对患者造成的影响大, 容易引发并发症, 目前随着微创脊柱外科技术的发展, MIS-TLIF 也逐渐应用于退变性脊柱侧凸中。Zhao 等<sup>[33]</sup>发现, 在成人退变性脊柱侧凸伴单节段椎管狭窄的患者中应用 MIS-TLIF, 在融合率、临床效果以及并发症方面均能取得比较满意的效果, 但仅能在一定程度上改善患者的平衡性, 而且对畸形的矫正效果不甚满意, 需进一步长期的疗效评估。吴浩等<sup>[34]</sup>应用 MIS-TLIF 治疗退变性腰椎侧凸术后取得了较好的临床疗效, 无严重并发症发生。目前在治疗退变性脊柱侧凸中, 常用的微创技术包括微创前路腰椎椎体间融合术 (minimally invasive anterior lumbar interbody fusion, MIS-ALIF)、微创侧 (前) 方入路腰椎椎间融合术 (extreme lateral lumbar interbody fusion, XLIF/DLIF) 以及 MIS-TLIF。总体上 MIS-TLIF 在矫正脊柱畸形方面应用较少, 需进一步的研究。

## 4 手术并发症

### 4.1 术后伤口感染

脊柱术后伤口感染是非常严重的并发症,常需要延长抗生素的使用时间,增加住院时长,增加医疗支出,必要时甚至需要行翻修手术,无论是对患者还是对社会都是很大的负担。在既往报道中,脊柱术后伤口感染的发生率各不相同,Smith 等<sup>[5]</sup>通过检索总结了 108,419 例病例发现,脊柱术后的伤口表浅感染的发生率为 0.8%,深部感染为 1.3%。脊柱微创手术能够减少感染的发生率,Ee 等<sup>[6]</sup>报道的一项包含 2299 例脊柱手术患者的巢式病例对照研究结果显示,MIS-TLIF 组伤口感染的发生率显著小于开放手术组。Kulkarni 等<sup>[7]</sup>也报道了 1043 例例行脊柱微创手术的研究,其中 MIS-TLIF 手术 280 例,术后伤口感染 3 例(1.07%),感染发生率也较开放术式低。

### 4.2 硬膜囊损伤及脑脊液漏

脊柱手术中硬膜囊损伤导致术后脑脊液漏,常导致患者出现术后头痛、头晕、恶心、腰痛,甚至有些患者会出现术后神经功能障碍,严重者甚至有颅内感染的风险<sup>[8]</sup>。Khan 等<sup>[9]</sup>通过回顾 3183 例腰椎病例,发现硬脊膜损伤的发生率为 7.6%,而对于翻修的病例,其发生率可高达 15.9%。MIS-TLIF 由于手术切口较小以及特殊的工作通道,术中难以做到充分暴露神经根,容易导致硬膜囊损伤,且由于手术通道的限制,术中对于硬膜囊损伤后的修补相对开放术式更加困难。Klingler 等<sup>[10]</sup>随访 372 例患者,共计 514 个手术节段,32 例发生硬膜囊破裂,发生率为 6.2%,高龄(>65 岁)是发生硬膜破裂的阳性预测因子。朱晓龙等报道 523 例 MIS-TLIF 的腰椎退行性病变的患者,其中硬膜撕裂 21 例,发生率为 4.02%<sup>[11]</sup>。

### 4.3 神经损伤

神经根损伤的原因一般比较多样,可由手术操作过程中操作不当所致,也可由置钉过程中螺钉位置不良所致。朱晓龙等<sup>[11]</sup>的报道中,共有 9 例神经根损伤,其中因椎弓根结构异常导致螺钉误置 1 例,MIS-TLIF 初期操作不当所致 1 例,另 7 例为短暂性神经根损伤(包括 4 例硬膜外血肿、2 例神经卡压和 1 例植骨颗粒移位),经相应处理后神经根症状均得到有效缓解。Wang 等<sup>[12]</sup>报道了另一类神经损伤——背根神经节损伤所致术后感觉异常,在对 539 例 MIS-TLIF 患者的随访中发现,共有 5 例患者术后出现背根神经节所支配的区域痛觉或温度觉的异常,发生率约为 0.9%。在 MIS-TLIF 手术减压过程中,由于术中无需对神经根进行牵拉,理论上能够消除一部分由于手术操作复杂而导致神经损伤的发生率。

### 4.4 椎间融合器下沉及脱出

在腰椎椎体间融合术中,椎间融合器的置入是至关重要的一环。cage 下沉可导致融合失败、椎间高度的丢失以及矢状面失平衡,而椎间融合器的脱出常需再次手术。Kim 等<sup>[13]</sup>随访追踪 104 例使用 PEEK 椎间融合器进行 MIS-TLIF 的患者,最终发现高达 32.8% 的患者出现不同

程度的向上或向下的融合器移位,而椎间融合器下沉>2mm 者有 18 例,发生率为 14.8%,下沉>4mm 者共 8 例,占 6.6%;同时,发现在 L5/S1 处椎间融合器下沉的发生率要显著高于腰椎其他节段,这可能与此部位医师对终板的处理、置入融合器的位置以及较大的负荷有关。Bakhsheshian 等<sup>[14]</sup>回顾性分析 513 例例行 MIS-TLIF 的患者,平均随访 13.6±8.8 个月,共有 5 例患者出现椎间融合器的脱出,其中 3 例症状严重予翻修手术,另 2 例无明显临床症状,后期随访无明显异常。

### 4.5 置钉不良

椎弓根螺钉位置不良是常见的并发症,通常表现为椎弓根皮质的侵犯,其发生率可达 2%~50%<sup>[15]</sup>。陈晓涛等<sup>[16]</sup>报道 100 例 MIS-TLIF 中,共 11 枚螺钉置入位置不良,发生率 2.5%,其中 1 枚螺钉的 1/3 直径在椎管内,引起神经根性疼痛。在 MIS-TLIF 开展的早期置钉不良的发生率较高,而严重者可导致神经损害并需要二次手术。结合术前影像学椎弓根的形态走行、术中影像学检测可以降低该并发症的发生率。

### 4.6 邻椎病与邻近节段退变

邻近节段退变与邻椎病是脊柱融合手术后的常见并发症,邻近节段退变主要是脊柱融合手术后融合节段的相邻椎体发生的影像学上的变化,而邻椎病则是由于邻近节段退变引起相应的临床症状。Kim 等<sup>[17]</sup>随访 44 例 MIS-TLIF 者 5 年以上,通过 X 线片检查发现有 68.4% 的脊柱退行性患者以及 40% 的真性腰椎滑脱的患者出现相邻节段的退变,并且在邻近节段退变中,15.8% 的脊柱退行性疾病以及 4% 的真性腰椎滑脱的患者发生了邻椎病。Parker 等<sup>[18]</sup>随访 161 例 MIS-TLIF 与开放 TLIF 的患者,发现与开放 TLIF 相比,MIS-TLIF 术后发生有症状的邻椎病患者显著减少(9.3% vs 22.7%)。Li 等<sup>[19]</sup>通过系统性回顾发现,MIS-TLIF/PLIF 组与开放组相比,其邻椎病和邻近节段退变的发生率均存在显著性差异,微创组要优于开放组。现有的证据表明,MIS-TLIF 能够减少脊柱融合术后邻椎病的发生率,但尚缺乏更高质量的研究。

## 5 总结与展望

微创化是外科手术发展的趋势,也是脊柱外科发展的方向。MIS-TLIF 技术因其对组织损伤小、花费低、术后康复快、住院时间短等优势,以及术后的临床效果非劣效性于传统开放手术,目前越来越受到临床医师的欢迎。但同时,也应当看到 MIS-TLIF 手术难度大、学习曲线陡峭及手术过程中的放射暴露问题,以及对于特定类型的疾病如脊柱畸形、肿瘤以及多节段的病变目前尚无法取得与开放手术同等的手术疗效等不足。对于其临床疗效,目前大多为回顾性的研究以及部分小样本、单中心的 RCT 研究,尚缺乏大样本、多中心的 RCT。在开展相应术式时应当把握好手术适应证,在保证手术疗效与安全的同时,积极探索改进手术方式、手术器械,探索新型术中导航系统,或结合

新兴的虚拟现实技术、机器人辅助技术等<sup>[50]</sup>,进一步缩减手术的学习曲线,研究新型的椎间融合器或应用促融合的材料如重组人骨形态发生蛋白-2(rhBMP-2)<sup>[51]</sup>增加术后椎间融合率,减少邻椎病、椎间融合器移位等并发症,以提高术中手术操作的安全性及便捷性。

## 6 参考文献

- Foley KT, Holly LT, Schwender JD. Minimally invasive lumbar fusion[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2003, 28(15 Suppl): S26-35.
- Adogwa O, Parker SL, Bydon A, et al. Comparative effectiveness of minimally invasive versus open transforaminal lumbar interbody fusion: 2-year assessment of narcotic use, return to work, disability, and quality of life[J]. *J Spinal Disord Tech*, 2011, 24(8): 479-484.
- Karikari IO, Isaacs RE. Minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion: a review of techniques and outcomes [J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2010, 35(26 Suppl): S294-301.
- Min S, Kim M, Seo J, et al. The quantitative analysis of back muscle degeneration after posterior lumbar fusion: comparison of minimally invasive and conventional open surgery [J]. *Asian Spine J*, 2009, 3(2): 89-95.
- 吴梅祥, 何二兴, 吴景明, 等. 小切口 TLIF 治疗腰椎退行性疾病的早期疗效观察 [J]. *中国骨科临床与基础研究杂志*, 2013, 5(3): 148-153.
- 曾至立, 徐委, 龚龙, 等. 管状通道下微创经椎间孔入路单节段腰椎椎间融合术临床疗效[J]. *中华医学杂志*, 2016, 96(11): 874-878.
- Meyer SA, Wu J, Mummaneni PV. Mini-open and minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion: technique review[J]. *Seminars in Spine Surgery*, 2011, 23(1): 45-50.
- Villavicencio AT, Serxner BJ, Mason A, et al. Unilateral and bilateral pedicle screw fixation in transforaminal lumbar interbody fusion: radiographic and clinical analysis[J]. *World Neurosurg*, 2015, 83(4): 553-559.
- Xue ZL, Chen ZX, Fu CH, et al. Biomechanical assessment of unilateral pedicle screws plus contralateral transfacetopedicular screws after transforaminal lumbar interbody fusion with two cages[J]. *Orthop Surg*, 2013, 5(4): 274-279.
- Zhao C, Wang X, Chen C, et al. Finite element analysis of minimal invasive transforaminal lumbar interbody fusion [J]. *Cell Biochem Biophys*, 2014, 70(1): 609-613.
- Kang MS, Park JY, Kim KH, et al. Minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion with unilateral pedicle screw fixation: comparison between primary and revision surgery[J]. *Biomed Res Int*, 2014, 2014: 919248.
- Cao Y, Chen Z, Jiang C, et al. The combined use of unilateral pedicle screw and contralateral facet joint screw fixation in transforaminal lumbar interbody fusion [J]. *Eur Spine J*, 2015, 24(11): 2607-2613.
- Wang SJ, Han YC, Pan FM, et al. Single transverse-orientation cage via MIS-TLIF approach for the treatment of degenerative lumbar disease: a technical note [J]. *Int J Clin Exp Med*, 2015, 8(8): 14154-14160.
- Xiao Y, Li F, Chen Q. Transforaminal lumbar interbody fusion with one cage and excised local bone [J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2010, 130(5): 591-597.
- el-Masry MA, Khayal H, Salah H. Unilateral transforaminal lumbar interbody fusion (TLIF) using a single cage for treatment of low grade lytic spondylolisthesis [J]. *Acta Orthop Belg*, 2008, 74(5): 667-671.
- Seaman S, Kerezoudis P, Bydon M, et al. Titanium vs. polyetheretherketone (PEEK) interbody fusion: meta-analysis and review of the literature[J]. *J Clin Neurosci*, 2017, 44: 23-29.
- Nemoto O, Asazuma T, Yato Y, et al. Comparison of fusion rates following transforaminal lumbar interbody fusion using polyetheretherketone cages or titanium cages with transpedicular instrumentation[J]. *Eur Spine J*, 2014, 23(10): 2150-2155.
- Choi W, Kim J, Hur J, et al. Minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion using banana-shaped and straight cages: radiological and clinical results from a prospective randomized clinical trial[J]. *Neurosurgery*, 2017, 82(3): 289-298.
- Massie LW, Zakaria HM, Schultz LR, et al. Assessment of radiographic and clinical outcomes of an articulating expandable interbody cage in minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion for spondylolisthesis [J]. *Neurosurg Focus*, 2018, 44(1): E8.
- Kim CW, Doerr TM, Luna IY, et al. Minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion using expandable technology: a clinical and radiographic analysis of 50 patients[J]. *World Neurosurg*, 2016, 90: 228-235.
- 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.
- Eckman WW, Hester L, McMillen M. Same-day discharge after minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion: a series of 808 cases [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2014, 472(6): 1806-1812.
- Wang J, Zhou Y, Zhang ZF, et al. Comparison of one-level minimally invasive and open transforaminal lumbar interbody fusion in degenerative and isthmic spondylolisthesis grades 1 and 2[J]. *Eur Spine J*, 2010, 19(10): 1780-1784.
- Gu G, Zhang H, Fan G, et al. Comparison of minimally invasive versus open transforaminal lumbar interbody fusion in two-level degenerative lumbar disease [J]. *Int Orthop*, 2014, 38(4): 817-824.
- Xie L, Wu WJ, Liang Y. Comparison between minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion and conven-

- tional open transforaminal lumbar interbody fusion: an updated Meta-analysis[J]. *Chin Med J (Engl)*, 2016, 129(16): 1969-1986.
26. Kim JS, Jung B, Lee SH. Instrumented minimally invasive spinal-transforaminal lumbar interbody fusion (MIS-TLIF): minimum 5-year follow-up with clinical and radiologic outcomes[J]. *Clin Spine Surg*, 2018, 31(6): E302-E309.
27. Lv Y, Chen J, Chen J, et al. Three-year postoperative outcomes between MIS and conventional TLIF in 1-segment lumbar disc herniation[J]. *Minim Invasive Ther Allied Technol*, 2017, 26(3): 168-176.
28. Razak BA, Rahmatullah H, Dhoke P, et al. Single-level minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion provides sustained improvements in clinical and radiological outcomes up to 5 years postoperatively in patients with neurogenic symptoms secondary to spondylolisthesis [J]. *Asian Spine J*, 2017, 11(2): 204-212.
29. Khan NR, Clark AJ, Lee SL, et al. Surgical outcomes for minimally invasive vs open transforaminal lumbar interbody fusion: an updated systematic review and Meta-analysis [J]. *Neurosurgery*, 2015, 77(6): 847-874.
30. 牟海频, 刘向阳, 黄象望, 等. 磁共振成像下量化比较 MIS-TLIF 与 TLIF 对多裂肌损伤程度的研究[J]. *中国骨与关节杂志*, 2018, 7(10): 750-755.
31. Putzier M, Hartwig T, Hoff EK, et al. Minimally invasive TLIF leads to increased muscle sparing of the multifidus muscle but not the longissimus muscle compared with conventional PLIF: a prospective randomized clinical trial [J]. *Spine J*, 2016, 16(7): 811-819.
32. Fan S, Hu Z, Zhao F, et al. Multifidus muscle changes and clinical effects of one-level posterior lumbar interbody fusion: minimally invasive procedure versus conventional open approach[J]. *Eur Spine J*, 2010, 19(2): 316-324.
33. Zhao Y, Liang Y, Mao K. Radiographic and clinical outcomes following MIS-TLIF in patients with adult lumbar degenerative scoliosis[J]. *J Orthop Surg Res*, 2018, 13(1): 93.
34. 吴浩, 王曲, 林彦达, 等. 微创经椎间孔腰椎间融合术联合经皮椎弓根螺钉内固定长节段融合术治疗退行性腰椎侧弯[J]. *中国现代神经疾病杂志*, 2016, 16(4): 197-203.
35. Smith JS, Shaffrey CI, Sansur CA, et al. Rates of infection after spine surgery based on 108,419 procedures: a report from the Scoliosis Research Society Morbidity and Mortality Committee[J]. *Spine*, 2011, 36(7): 556-563.
36. Ee WW, Lau WL, Yeo W, et al. Does minimally invasive surgery have a lower risk of surgical site infections compared with open spinal surgery [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2014, 472(6): 1718-1724.
37. Kulkarni AG, Patel RS, Dutta S. Does minimally invasive spine surgery minimize surgical site infections [J]. *Asian Spine J*, 2016, 10(6): 1000-1006.
38. Lin T, Chen W, Hsieh M, et al. Postoperative meningitis after spinal surgery: a review of 21 cases from 20,178 patients[J]. *BMC Infect Dis*, 2014, 14: 220.
39. Khan MH, Rihn J, Steele G, et al. Postoperative management protocol for incidental dural tears during degenerative lumbar spine surgery: a review of 3,183 consecutive degenerative lumbar cases[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2006, 31(22): 2609-2613.
40. Klingler JH, Volz F, Kruger MT, et al. Accidental durotomy in minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion: frequency, risk factors, and management[J]. *ScientificWorldJournal*, 2015, 2015: 532628.
41. 朱晓龙, 王建, 周跃, 等. 微创经椎间孔腰椎间融合术的围手术期并发症[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2016, 26(4): 304-309.
42. Wang H, Zhou Y, Zhang Z. Postoperative dysesthesia in minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion: a report of five cases[J]. *Eur Spine J*, 2016, 25(5): 1595-1600.
43. Kim MC, Chung HT, Cho JL, et al. Subsidence of polyetheretherketone cage after minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion[J]. *J Spinal Disord Tech*, 2013, 26(2): 87-92.
44. Bakhsheshian J, Khanna R, Choy W, et al. Incidence of graft extrusion following minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion[J]. *J Clin Neurosci*, 2016, 24: 88-93.
45. Woo EJ, DiCuccio MN. Clinically significant pedicle screw malposition is an underestimated cause of radiculopathy [J]. *Spine J*, 2018, 18(7): 1166-1171.
46. 陈晓涛, 谢守宁, 王凯. 微创经椎间孔植入物置入腰椎间融合: 螺钉位置不良及 cage 移位特点[J]. *中国组织工程研究*, 2015, 19(13): 2057-2062.
47. Kim JS, Jung B, Lee SH. Instrumented minimally invasive spinal-transforaminal lumbar interbody fusion (MIS-TLIF): minimum 5-year follow-up with clinical and radiologic outcomes[J]. *Clin Spine Surg*, 2018, 31(6): E302-E309.
48. Parker SL, Adamson TE, McGirt MJ, et al. 152 rate of symptomatic adjacent segment disease after minimally invasive vs open transforaminal lumbar interbody fusion[J]. *Neurosurgery*, 2014, 61: 210.
49. Li X, Huang C, Zhong C, et al. Minimally invasive procedure reduces adjacent segment degeneration and disease: New benefit-based global meta-analysis[J]. *PLoS One*, 2017, 12(2): e171546.
50. 陈赞, 赵兴华, 夏之远. 我国神经外科脊柱亚专科住院医师培训现状与思考[J]. *中国现代神经疾病杂志*, 2017, 17(10): 762-764.
51. Siddiqui M, Ana S, Yeo W, et al. Bone morphogenic protein is a viable adjunct for fusion in minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion[J]. *Asian Spine J*, 2016, 10(6): 1091-1099.

(收稿日期:2018-10-09 修回日期:2019-01-03)

(本文编辑 李伟霞)