doi:10.11659/jjssx.08E016027

腰椎微创脊柱外科研究进展

朱友余,邓雪飞 (安徽医科大学人体解剖学教研室,安徽 合肥 230032)

Research progress of minimally invasive surgery for lumbar spine

ZHU You-yu, DENG Xue-fei (Department of Human Anatomy, Anhui Medical University, Hefei Anhui 230032, China)

[摘 要] 老龄化进程的加快使得腰椎退行性变越来越常见,患者不仅遭受慢性腰痛的折磨,还可能因腰痛而致残。外科手术的目的在于减压或增加脊柱稳定性。手术技术的提高以及微创器械的进步推动了微创脊柱外科的发展。与传统开放性手术相比较,微创脊柱外科的切口小,减少了医源性肌肉挤压伤,避免了棘突旁肌腱的断裂,通过降低外科通道的宽度减少了对侧软组织损伤。本文综述了几种常用微创脊柱外科技术的进展情况,为临床相关手术入路的选择提供参考。

[关键词] 微创外科;脊柱;手术入路;现代微创脊柱外科(MIS);手术效果;进展

[中图分类号] R683.2 [文献标识码] A [收稿日期] 2016-08-08

现代微创脊柱外科(minimally invasive spine surgery,MIS)的发展自上世纪 90 年代开始,Faubert 等[1]首次将管状扩张系统用来进行内窥镜下椎间盘切除术。如今,MIS 技术和入路已经被广泛用于脊柱疾病的治疗,包括腰椎退行性变、椎间盘突出、脊柱畸形和肿瘤等[2-3]。与开放性手术相比较,MIS 具有小切口、降低软组织损伤、减少术中出血量、降低术后疼痛、减少麻醉药用量、缩短住院时间、加快患者康复等优点[4]。国家老龄化速度的加快导致对脊柱手术的微创需求大大增加。为此,本文综述了目前几种常见的 MIS 技术的进展情况。

1 微创非融合技术

1.1 MIS 显微椎间盘切除术

继发于椎间盘突出的腰骶神经根受压或者刺激是坐骨神经痛或者腰痛的一个重要原因,当保守疗法失败或者患者的症状进一步恶化时,将采用手术治疗,外科手术的目的在于去除突出的椎间盘并对神经根进行减压。MIS 显微椎间盘切除术应用系列管状扩张器逐步扩张椎旁肌性结构,不需要将其从棘突上分离[5]。虽然 MIS 的软组织损伤最小,优于开放性显微椎间盘切除术,但是开放性显微外科切除术依然是目前手术的金标准[6]。

最近的一项 meta 分析比较了 29 项研究中 MIS 和开放性显微椎间盘切除术 4 472 例患者的结局,其中 16 例是随机对照研究、13 例是非随机对照研究[6]。关于临床结局,研究发现低到中等级别的证据证实 MIS 与开放性显微椎间盘切除术之间存在显著的差异;关于术中结局,研究发现低到中等级别的证据证实 MIS 与开放性显微椎间盘切除术之间存在显著的差异。并且,2 种术式的并发症发生率和再手术率之间存在显著的统计学差异。低级别的证据显示 MIS 比开放性手术时间长 10 ~ 15 min,术中出血量少 52 mL,住院时间缩短 1.5 d。MIS 手术时间的增加主要和 MIS 的学习曲线有关。

虽然 MIS 显微椎间盘切除术的最佳适应证为初发、单纯性、单节段的外科型椎间盘突出,但是随着技术的进展,适合行开放性腰椎间盘手术的患者一般都

[基金项目] 国家自然科学基金(81200895)

[通信作者] 邓雪飞,E-mail:dengxf@ahmu.edu.cn

[24] 姚允泰,方能新,李立环,等. PI3K、ERK1/2 氟醚后处理减轻大鼠离体心脏缺血再灌注损伤中的作用[J]. 中华麻醉学杂志,2009,29(10):915 - 922.

[25] Morel S, Frias MA, Rosker C, et al. The natural cardio protective particle HDL modulates connexin43 gap junction channels[J]. Cardiovasc Res, 2012, 93(1): 41 - 49. doi: 10.1093/cvr/cvr257.

[26] Jeyaraman MM, Srisakuldee W, Nickel BE, et al. Connexin43 phosphorylation and cytoprotection in the heart[J]. Biochim Biophys Acta, 2012, 1818(8): 2009 - 2013. doi: 10.1080/15419060701821149.

[27] Zhao J, Su Y, Zhang Y, et al. Activation of cardiac muscarinic M3 receptors induces delayed cardio protection by preserving phosphorylated connexin43 and up-regulating cyclooxygenase-2exprssion[J]. Br J Pharmacol, 2010, 159(6): 1217 - 1223.

(编辑:杨 颖)

可以进行 MIS 手术。该手术的主要禁忌证为腰椎不稳。

1.2 MIS 直接减压

腰椎管减压是高龄患者(年龄大于 65 岁)脊柱手术的最常见指征,在美国,该疾病的发生率预计到 2025 年将升至 59%[7]。传统上,标准的椎管狭窄的外科手术采用开放性正中入路,包括了大范围的双侧椎板切除术和内侧小关节切除术,伴或不伴有椎间孔切开术。MIS 直接减压术从一个小的旁正中切口进入,利用一系列的管状扩张器,以减少多裂肌的损伤,在为外科减压点提供充足外科暴露的同时,从单一切除进行双侧手术[8],使得医师能够避免损伤到棘突、棘上韧带和棘间韧带,并且可以保留对侧的椎板、小关节,在获得充足减压的同时减少了医源性脊柱失稳的发生。此外,术中内窥镜和显微镜的使用使脊柱的解剖结构得到充足的暴露[9]。

Rahman 等[10]回顾性调查了 38 例 MIS 和 88 例开放性手术行双侧椎板减压的病例资料,发现开放手术患者术中出血比 MIS 多 194 mL,当手术涉及 3 个节段及以上时,这种差异更加明显;患者经受 2 个节段及以上的手术时,MIS 组平均住院时间缩短 2.5 d;MIS 组总的并发症发生率为 7.9%,显著低于开放性手术组(16.1%)。Anderson 等[11]回顾性分析了 110 例患者的病例资料,这些患者由于双侧腰神经病变接受双侧椎板减压,一侧采用管状扩张系统,另一侧采用传统的正中入路,对 2 种手术入路患者采用 Oswestry 伤残指数、视觉模拟评分评价,结果显示 2 种入路临床结局差异并无统计学意义。Khoo 等[12]比较 25 例采用 MIS 的患者和 25 例行开放性手术的椎管狭窄患者,发现 2 组患者绝大部分进行了有效的椎板减压,与开放性手术相比较,MIS 组每节段手术时间缩短 21 min,术中出血量减少 125 mL,术后住院时间减少 48 h。O'Toole 等[13]分析了1 274例患者 MIS 椎板减压术,发现外科感染率为 0.1%,而开放性手术的感染率是其 10 倍。

MIS 直接减压主要用于单纯性椎管狭窄不伴有其他脊柱疾患,如腰椎失稳、椎管狭窄同节段的极外侧椎间盘突出,对于同时需要行腰椎融合术的老年患者则为首选。

1.3 MIS 间接减压

腰椎棘突间设备(IPDs)是一项旨在去除关节突关节、恢复椎间孔高度,降低椎间盘内压力、限制脊柱过度运动和保持脊柱稳定性的 MIS 技术[14]。2005 年,美国食品和药物管理局(FDA)批准首个 IPD(X-STOP)用来治疗 50 岁及以上神经源性间歇性跛行的患者,其诊断必须是继发于腰椎管狭窄症。迄今为止,IPDs 的应用效果报道不一致。Kuchta 等[15]在一项单中心研究中报道了 175 例采用 X-STOP 植入治疗腰椎管狭窄症患者的临床结局,发现术后 2 年,患者的严重症状的改进程度和生理功能的恢复情况提高。但是 Bowers 等[16]回顾性分析了 13 例使用 X-STOP 患者的并发症情况,发现 85% 的患者最终手术失败,需要进行再手术来缓解症状。Brussee 等[17]回顾 65 例神经源性间歇性跛行患者的病例资料,发现接受 X-STOP 器械的放置后,不良结果的发生率高达 68.9%。Epstein 等[18]报道了用于 16 例患者中的 31 个 X-STOP 装置,共花费设备费 576 407 美元、康复费 80 944 美元,他们质疑这类设备是否应该植入,因为其不仅非常昂贵,并且疗效也不确切,手术也不安全。

IPDs 应用的指征是中度身体机能受损的患者,在屈曲状态时,患者的腿、臀部或腹股沟疼痛症状有所减轻,伴或不伴背部疼痛,且已接受至少 6 个月的非手术治疗,年龄超过 50 岁,不超过 2 个节段椎管明显狭窄[19]。

2 微创融合技术

2.1 MIS 后外侧横突间融合术

在腰椎传统的后正中入路中,为了暴露横突间区域,需要将椎旁肌性结构大范围分离至横突尖。操作过程中,椎旁肌受损严重,术后多裂肌萎缩和瘢痕形成将显著增加患者的术后致残率[20]。为此,一种新的 MIS 椎旁肌分离技术,也被称为改良 Wiltse 间隙,越来越多地被用来暴露横突和横突间区域,该技术采用一种可扩张的管状肌肉牵拉器,使得横突和融合床能够同时暴露。这种 MIS 技术减少了椎旁肌的创伤,缩短了外科切口长度,降低了术中出血量,降低了术后麻醉药的用量,缩短了住院时间。

后外侧横突间融合术的适应证很广,包括椎间盘退行性疾病、轻度腰椎滑脱和下腰椎退变性脊柱侧弯等,禁忌证包括严重骨性椎管狭窄、严重脊柱侧弯畸形、中重度椎体滑脱等。

2.2 MIS 经皮椎弓根螺钉固定术

椎弓根螺钉固定术为不同腰椎水平的融合提供了一个坚固的刚性生物力学的结构。在准备螺钉植入时,传统的开放性后正中入路被用来暴露脊柱相应的结构,这需要进行大范围的组织分离从而暴露螺钉进入点并优化螺钉进入轨道。这种分离将可能导致肌肉去神经支配、关节突关节囊的破坏以及其他韧带性结构的受损,从而导致术后疼痛和各种病态时间的延长。

最近几年,MIS 经皮椎弓根螺钉固定术已经成为腰椎固定术中一项流行的 MIS 操作技术。与开放性手术相比较,经皮椎弓根螺钉固定术有独特的优点。Kim 等[21]的研究显示,与开放性手术相比较,经皮植入螺钉显著降低了患者多裂肌的萎缩,且患者术后肌力显著提高,术中出血量减少,术后麻醉药物用量减少,但作者并没有发现患者满意度和疼痛得分两方面的临床预后具有统计学意义上的提升。经皮椎弓根螺钉植入使外科医师更容易得到理想的从外侧向内侧的螺钉轨道,尤其在肥胖患者中优点更加突出。Harris 等[22]认为,由于术中出血量和手术期输液量的降低、切口美观的优化、术后疼痛减轻和麻醉药物用量的下降、住院时间的缩短、患者更快地恢复使得患者的满意度提高。

MIS 中,椎旁肌也可以因为扩张器的直接压迫而受损,继而导致受压肌群的缺血,最终出现术后肌肉坏死。迄今为止,还没有高级别的证据支持 MIS 经皮椎弓根螺钉固定术就一定优于开放性手术。绝大部研究评估的是 2 种技术在椎体融合术中的应用,而没有评价单纯 2 种技术的差异。此外,MIS 虽然获得了腰椎手术的微创,但使医患在放射环境中的暴露延长,微创与放射暴露间矛盾的解决就依赖于医师经验和技术的提高。在进行 MIS 固定之前,外科医师必须具有充足的开放性手术的经验,然后才能实行单节段的 MIS 手术[23]。

经皮椎弓根螺钉内固定术的适应证几乎包括全部的腰椎退行性变,包括退行性腰椎间盘突出伴节段腰椎不稳者、Ⅱ度及以内的腰椎滑脱症、合并椎管狭窄的腰椎间盘突出症等。相对于传统手术方法,该术式无绝对手术禁忌证,相对手术禁忌证包括严重骨质疏松、严重心肺疾病的老年患者、椎弓根发育不良、术前无法定位、二次手术中局部粘连严重等。

2.3 MIS 经椎间孔腰椎体融合术

经椎间孔腰椎体融合术(transforaminal lumbar interbody fusion, TLIF)最早在 1982 年由 Harms 和 Rolinger 从后路椎体融合术改良而来。TLIF 利用了负荷分享的原理来为脊柱前柱体和后柱带进行一个环形的融合。该手术被用来恢复腰椎正常曲度、增加椎间孔高度、恢复椎间盘高度和间接修复椎管狭窄等。TLIF 的一项缺点是为了暴露椎体,需要大范围的椎旁肌和软组织的分离和牵拉,这导致了术后明显出现一些并发症。这种入路相关性的并发症增加了术后疼痛、恢复延长和脊柱功能受损,可能影响患者的短期和长期预后。

MIS 的 TLIF 是 Foley 等[24]在 2003 年首先描述的,后来逐渐变成了腰椎融合术的最常用方案。Seng 等[25]回顾性分析了 40 例 MIS 和 40 例开放性 TLIF 患者的病例资料,比较了 2 组患者透视时间、手术时间、术中出血量、住院时间、术后麻醉药用量、并发症发生率和患者预后的差异,结果显示 MIS 透视时间是开放性手术的 3 倍多,手术时间延长 19 min,出血量仅为开放性手术的 1/3,术后麻醉药用量也显著降低,且 MIS 和开放性手术中总并发症的发生率也有明显差异。根据 Bridwell 分类评价融合率,2 组患者的 5 年 1 级融合均高达 97.5%。Parker 等[26]前瞻性评价了 100 例(MIS 和开放性手术各 50 例)患者的病例资料,同样发现 MIS 组患者的住院时间和恢复时间均显著快于开放组,治疗费用显著降低。

微创 TLIF 的适应证和禁忌证还缺乏统一的标准,一般认为其最适用于行单节段椎间融合,患者无或仅伴有单侧下肢神经根性症状。主要适应证包括:腰椎间盘突出合并腰椎不稳,经 3 个月以上保守治疗无效;椎间盘源性腰痛;腰椎间盘突出症术后复发;有椎体间的假关节形成;Meyerding Ⅰ ~ Ⅱ度峡部裂或退行性腰椎滑脱。

2.4 MIS 直接外侧入路

外侧腰大肌入路、腹膜后入路又被称为极外侧椎体融合术(extreme lateral fusion, XLIF)或直接外侧椎体融合(direct lateral fusion, DLIF)[27],这是一种越来越流行的腰椎微创融合技术。与传统的前路腰椎体融合术和开放性后路椎体融合术相比较,MIS 直接外侧入路具有很大的不同,需要患者采用外侧俯卧位。由于使用了特殊的拉钩,使外科入路平面直接暴露。但是由于在切开腰大肌、暴露腰丛的过程中,神经容易受到损伤,可能导致术后腰大肌无力和大腿麻痹,因此手术入路中需要不间断地进行神经生理检查和透视导航。

Smith 等[28]比较了 115 例 XLIF 和 87 例前路腰椎融合术(anterior lumbar interbody fusion, ALIF)患者的长期预后,发现 XLIF 总的外科并发症发生率为 8.2%,显著低于 ALIF 的 16.7%。Rodgers 等[29]在 600 例患者的大样本中描述了 XLIF 的并发症,显示其手术期并发症发生率为 6.2%,1.5% 为住院外科并发症率,2.8% 为住院药物并发症率,1.0% 为出院外科并发症率,0.8% 为出现药物并发症率,无伤口感染、血管损伤、内脏损伤,显著优于 ALIF,后者对血管的损伤率为 1.9% ~3%[30-31]。另外一个开放性 ALIF 入路的风险是逆行射精,发生率为 0.6% ~4.5%。由于在 MIS

中,交感干不会损伤,因而还没有报道在 XLIF 中逆行射精的发生率。XLIF 的运动缺陷发生率为 0.3% ~ 2.9%,多数病例在 3 个月内自发性好转[32-33]。

XLIF 可以用于 T_5 ~ L_5的前路椎间融合,而 L_5/S_1 由于髂骨的阻挡而难以操作。适应证很广,包括椎间盘源性腰痛、退变性椎间盘疾病伴不稳、复发性椎间盘突出症、退变性脊柱侧弯等。但是考虑到手术中可能的神经损伤,临床应用时需要谨慎。

3 MIS 的优点和缺点

不管是哪种 MIS,其微创的思路均从如下几个方面考虑:①避免在肌肉牵拉过程中产生肌肉挤压伤;②不损伤椎旁肌的肌腱附着点,尤其是多裂肌在棘突上的附着点;③尽量利用已知的解剖学神经血管和肌间隙平面;④尽量缩小手术入路的范围。多裂肌是维持脊柱的动态稳定性最为重要的肌肉,Stevens 等[34]使用 MRI 比较了 MIS 和开放性手术术后多裂肌的状况,发现开放性手术患者术后 6 个月多裂肌水肿较为明显,而小切口的 MIS 手术患者表现基本正常。Tsutsumimoto 等[35]比较了后正中入路和小切口 Wiltse 入路行后路腰椎体融合术患者的多裂肌的 MRI 表现,发现 MIS 组患者的多裂肌萎缩程度显著低于开放手术组。

基于以上的微创思路,与传统开放性手术比较,MIS 具有如下优点:①切口较小,瘢痕小,有利于美观;②疗效满意,且因没有产生明显的水肿和瘢痕,术后很少发生手术创伤导致的腰背部疼痛;③对脊柱结构和椎旁肌性组织破坏小,恢复快;④暴露小,出血少,往往不需要输血;⑤住院时间短,可以较早恢复工作,节约了有效的医疗资源;⑥再次手术时简单,疾病复发和再发时更容易补救,必要时可以改行开放性手术。

MIS 的主要缺点在于:①患者和手术医生均会接受大量的射线照射,这可能导致的潜在风险与手术收益之间需要权衡;②MIS 更强调充足的术前影像学评价作为手术设计的基础;③MIS 对手术医生的要求很高,医生需要对术后的各种解剖学结构有充分的认识;④医生在开展 MIS,需要很长周期的学习过程,如果高效培养 MIS 医生是一个难题;⑤手术视野较开放性手术差,但是着内窥镜和关源技术的进步会逐渐得到解决。

4 总结和展望

虽然传统的开放性入路仍是脊柱外科中的最主要方法,目前在保证安全性和有效性的前提下,越来越多的患者选择接受 MIS 方式治疗。但是 MIS 技术还存在一些缺点,很大程度上限制了 MIS 的应用。实际上,MIS 技术的提高还依赖于对于解剖平面的充分认识[36]。目前的 MIS 中,临床医师更多地依赖于先进器械的使用,如果能用把微创器械与椎旁肌的天然间隙完美结合,将会促进 MIS 的进一步发展。

[参考文献]

[1] Faubert C, Caspar W. Lumbar percutaneous discectomy. Initial experience in 28 cases[J]. Neuroradiology, 1991, 33(5): 407 - 410.

[2] Skovrlj B, Gilligan J, Cutler HS, et al. Minimally invasive procedures on the lumbar spine[J]. World J Clin Cases, 2015, 3(1): 1 - 9. doi: 10.12998/wjcc.v3.i1.1.

[3] Skovrlj B, Belton P, Zarzour H, et al. Perioperative outcomes in minimally invasive lumbar spine surgery: a systematic review[J]. World J Orthop, 2015, 6(11): 996 - 1005. doi: 10.5312/wjo.v6.i11.996.

[4] Barbagallo GM, Yoder E, Dettori JR, et al. Percutaneous minimally invasive versus open spine surgery in the treatment of fractures of the thoracolumbar junction: a comparative effectiveness review[J]. Evid Based Spine Care J, 2012, 3(3): 43 - 49. doi: 10.1055/s - 0032 - 1327809.

[5] Lau D, Han SJ, Lee JG, et al. Minimally invasive compared to open microdiscectomy for lumbar disc herniation[J]. J Clin Neurosci, 2011, 18(1): 81 - 84. doi: 10.1016/j.jocn.2010.04.040.

[6] Kamper SJ, Ostelo RW, Rubinstein SM, et al. Minimally invasive surgery for lumbar disc herniation: a systematic review and meta-analysis[J]. Eur Spine J, 2014, 23(5): 1021 - 1043. doi: 10.1007/s00586 - 013 - 3161 - 2.

[7] Bae HW, Rajaee SS, Kanim LE. Nationwide trends in the surgical management of lumbar spinal stenosis[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2013, 38(11): 916 - 926. doi: 10.1097/BRS.0b013e3182833e7c.

[8] Alimi M, Njoku I Jr, Cong GT, et al. Minimally invasive foraminotomy through tubular retractors via a contralateral approach in patients with unilateral radiculopathy[J]. Neurosurgery, 2014, 10(Suppl 3): 436 - 447. doi: 10.1227/neu.0000000000000358.

[9] Rihn JA, Currier BL, Phillips FM, et al. Defining the value of spine care[J]. J Am Acad Orthop Surg, 2013, 21(7): 419 - 426. doi: 10.5435/JAAOS - 21 - 07 - 419.

[10] Rahman M, Summers LE, Richter B, et al. Comparison of techniques for decompressive lumbar laminectomy: the minimally invasive versus the "classic" open approach[J]. Minim Invasive Neurosurg, 2008, 51(2): 100 - 105. doi: 10.1055/s - 2007 - 1022542.

[11] Anderson DG, Patel A, Maltenfort M, et al. Lumbar decompression using a traditional midline approach versus a tubular retractor system: Comparison of patient-based clinical outcomes[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2011, 36(5): E320 - 325. doi: 10.1097/BRS.0b013e3181db1dfb.

[12] Khoo LT, Fessler RG. Microendoscopic decompressive laminotomy for the treatment of lumbar stenosis[J]. Neurosurgery, 2002, 51(5 Suppl): S146 - 154. doi: 10.1097/00006123 - 200211002 - 00020.

[13] O'Toole JE, Eichholz KM, Fessler RG. Surgical site infection rates after minimally invasive spinal surgery[J]. J Neurosurg Spine, 2009, 11(4): 471 - 476. doi: 10.3171/2009.5.SPINE08633.

[14] Tian NF, Zhang XL, Wu YS, et al. Fusion after interspinous device

placement[J]. Orthopedics,2012,35(12):e1822 - 1825. doi:10.3928/01477447 - 20121120 - 33.

[15] Kuchta J,Sobottke R,Eysel P,et al. Two-year results of interspinous spacer(x-stop) implantation in 175 patients with neurologic intermittent claudication due to lumbar spinal stenosis[J]. Eur Spine J,2009,18(6):823 - 829. doi:10.1007/s00586 - 009 - 0967 - z.

[16] Bowers C,Amini A,Dailey AT,et al. Dynamic interspinous process stabilization:Review of complications associated with the x-stop device[J]. Neurosurg Focus,2010,28(6):E8. doi:10.3171/2010.3.focus1047.

[17] Brussee P,Hauth J,Donk RD,et al. Self-rated evaluation of outcome of the implantation of interspinous process distraction(x-stop) for neurogenic claudication[J]. Eur Spine J,2008,17(2):200 - 203. doi:10.1007/s00586 - 007 - 0540 - 6.

[18] Epstein NE. A review of interspinous fusion devices:High complication,reoperation rates,and costs with poor outcomes[J]. Surg Neurol Int,2012,3(3):7. doi:10.4103/2152 - 7806.92172.

[19] Epstein NE. A review of interspinous fusion devices:High complication,reoperation rates,and costs with poor outcomes[J]. Surg Neurol Int,2012,3:7. doi:10.4103/2152 - 7806.92172.

[20] Motosuneya T,Asazuma T,Tsuji T,et al. Postoperative change of the cross-sectional area of back musculature after 5 surgical procedures as assessed by magnetic resonance imaging[J]. J Spinal Disord Tech,2006,19(5):318 - 322. doi:10.1097/01.bsd.0000211205.15997.06.

[21] Kim DH,Albert TJ. Update on use of instrumentation in lumbar spine disorders[J]. Best Pract Res Clin Rheumatol,2002,16(1):123 - 140. doi:10.1053/berh.2002.0210.

[22] Harris EB,Massey P,Lawrence J,et al. Percutaneous techniques for minimally invasive posterior lumbar fusion[J]. Neurosurg Focus,2008,25(2):E12. doi:10.3171/foc/2008/25/8/e12.

[23] Mobbs RJ,Sivabalan P,Li J. Technique,challenges and indications for percutaneous pedicle screw fixation[J]. J Clin Neurosci,2011,18(6):741 - 749. doi:10.1016/j.jocn.2010.09.019.

[24] Foley KT,Holly LT,Schwender JD. Minimally invasive lumbar fusion[J]. Spine(Phila Pa 1976),2003,28(15 Suppl):S26 - 35. doi:10.1097/01.brs.0000076895.52418.5e.

[25] Seng C,Siddiqui MA,Wong KP,et al. Five-year outcomes of minimally invasive versus open transforaminal lumbar interbody fusion:a matched-pair comparison study[J]. Spine(Phila Pa 1976),2013,38(23):2049 - 2055. doi:10.1097/BRS.0b013e3182a8212d.

[26] Parker SL,Mendenhall SK,Shau DN,et al. Minimally invasive versus open transforaminal lumbar interbody fusion for degenerative spondylolisthesis:Comparative effectiveness and cost-utility analysis[J]. World Neurosurg,2014,82(1 - 2):230 - 238. doi:10.1016/j.wneu.2013.01.041.

[27] Ozgur BM,Aryan HE,Pimenta L,et al. Extreme lateral interbody fusion(xlif):a novel surgical technique for anterior lumbar interbody fusion[J]. Spine J,2006,6(4):435 - 443. doi:10.1016/j.spinee.2005.08.012.

[28] Smith WD,Christian G,Serrano S,et al. A comparison of perioperative charges and outcome between open and mini-open approaches for anterior lumbar discectomy and fusion[J]. J Clin Neurosci,2012,19(5):673 - 680. doi:10.1016/j.jocn.2011.09.010.

[29] Rodgers WB,Gerber EJ,Patterson J. Intraoperative and early postoperative complications in extreme lateral interbody fusion:An analysis of 600 cases[J]. Spine(Phila Pa 1976),2011,36(1):26 - 32. doi:10.1097/BRS.0b013e3181e1040a.

[30] Fantini GA,Pappou IP,Girardi FP,et al. Major vascular injury during anterior lumbar spinal surgery:Incidence,risk factors,and management[J]. Spine(Phila Pa 1976),2007,32(24):2751 - 2758. doi:10.1097/BRS.0b013e31815a996e.

[31] Sasso RC,Best NM,Mummaneni PV,et al. Analysis of operative complications in a series of 471 anterior lumbar interbody fusion procedures[J]. Spine(Phila Pa 1976),2005,30(6):670 - 674. doi:10.1097/01.brs.0000155423.18218.75.

[32] Okuda S,Miyauchi A,Oda T,et al. Surgical complications of posterior lumbar interbody fusion with total facetectomy in 251 patients[J]. J Neurosurg Spine,2006,4(4):304 - 309. doi:10.3171/spi.2006.4.4.304.

[33] Kim KT,Lee SH,Lee YH,et al. Clinical outcomes of 3 fusion methods through the posterior approach in the lumbar spine[J]. Spine(Phila Pa 1976),2006,31(12):1351 - 1357. doi:10.1097/01.brs.0000218635.14571.55.

[34] 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. doi:10.1097/01.bsd.0000193820.42522.d9.

[35] Tsutsumimoto T,Shimogata M,Ohta H,et al. Mini-open versus conventional open posterior lumbar interbody fusion for the treatment of lumbar degenerative spondylolisthesis:comparison of paraspinal muscle damage and slip reduction[J]. Spine(Phila Pa 1976),2009,34(18):1923 - 1928. doi:10.1097/BRS.0b013e3181a9d28e.

[36] Deng X,Zhu Y,Wang S,et al. Ct and mri determination of intermuscular space within lumbar paraspinal muscles at different intervertebral disc levels[J]. PLoS One,2015,10(10):e0140315. doi:10.1371/journal.pone.0140315.

(编辑:刘 艺)