doi:10.11659/jjssx.08E021038

·综 述·

腰椎融合术的临床进展

王中山,胡 冰 (武汉科技大学附属天佑医院脊柱骨科,湖北 武汉 430000)

[摘 要] 退行性腰椎疾病是临床常见病、多发病,腰椎融合术是中老年退行性腰椎疾病的最佳治疗方法。相较于椎间盘摘除椎管减压,腰椎融合术优势明显,不仅可松解神经根,还可增加腰椎前凸稳定性,矫正腰椎畸形。腰椎融合术根据不同入路分为前入路腰椎间融合术(ALIF)、后入路腰椎间融合术(PLIF)、经椎间孔腰椎间融合术(TLIF)、后外侧腰椎融合术(PLF)、侧方腰椎间融合术(LLIF)、斜方腰椎间融合术(OLIF)、360 度腰椎融合术。但临床对于哪种融合术式效果更优仍有争议,本研究对腰椎融合术的临床进展及优缺点作一综述,以期为临床退行性腰椎疾病的治疗提供参考。

[关键词] 腰椎融合术;椎间融合术;手术入路;腰椎;内固定术;退行性腰椎疾病

[中图分类号] R681.5 [文献标识码] A [收稿日期] 2021-08-09

Clinical progress of lumbar fusion

WANG Zhong-shan, HU Bing (Department of Spine Orthopedics, Tianyou Hospital Affiliated to Wuhan University of Science and Technology, Wuhan Hubei 430000, China)

Abstract: Degenerative lumbar disease is a common and frequently-occurring clinical disease, lumbar fusion is the best treatment method for degenerative lumbar disease in middle-aged and elderly people. Compared with intervertebral discectomy and spinal canal decompression, lumbar fusion has obvious advantages, which can not only release nerve roots, but also increase the stability of lumbar lordosis and correct lumbar deformity. Lumbar fusion is divided into the anterior lumbar interbody fusion (ALIF), posterior lumbar interbody fusion (PLIF), transforaminal lumbar interbody fusion (TLIF), posterolateral lumbar fusion (PLF), lateral lumbar interbody fusion (LLIF), oblique lumbar interbody fusion (OLIF), and 360-degree lumbar fusion according to different approaches. However, there is still controversy about which fusion method is more effective in clinical practice. This study reviewed the clinical progress, advantages and disadvantages of lumbar fusion, in order to provide reference for the clinical treatment of degenerative lumbar disease.

Keywords: lumbar fusion; interbody fusion; surgical approach; lumbar; internal fixation; degenerative lumbar disease

[通信作者] 胡 冰,E-mail:hubinghuda@163.com

[51] 杨海玉,刘 勇. 胃肠道非霍奇金 B 细胞淋巴瘤的研究进展[J]. 中华病理学杂志,2014(12):862-865. doi:10.3760/cma.j.issn.0529-5807.2014.12.021.

[52] Misdraji J, Harris NL, Hasserjian RP, et al. Primary follicular lymphoma of the gastrointestinal tract[J]. Am J Surg Pathol, 2011, 35(9): 1255-1263. doi:10.1097/PAS.0b013e318224e661.

[53] Al-Saleem T, Al-Mondhiry H. Immunoproliferative small intestinal disease(IPSID): a model for mature B-cell neoplasms[J]. Blood, 2005, 105(6): 2274-2280. doi:10.1182/blood-2004-07-2755.

[54] 唐雪梅,尹 红,程 序,等. 原发性小肠淋巴瘤的胶囊内镜特点:3 例并文献复习[J]. 世界最新医学信息文摘(连续型电子期刊),2016,16(69):14-15. doi:10.3969/j.issn.1671-3141.2016.69.009.

[55] 王 勋. 肠结核与原发性小肠淋巴瘤的临床、内镜及 CT 特点的分析[J]. 现代中西医结合杂志,2014(27):3035-3036. doi:10.3969/j.issn.1008-8849.2014.27.029.

[56] Schmatz AI, Streubel B, Kretschmer-Chott E, et al. Primary follicular lymphoma of the duodenum is a distinct mucosal/submucosal variant of follicular lymphoma: a retrospective study of 63 cases[J]. J Clin Oncol, 2011, 29(11): 1445-1451. doi:10.1200/JCO.2010.32.9193.

[57] 王 华,王伯胤. 原发性小肠淋巴瘤影像学诊断研究进展[J]. 中华临床医师杂志,2010,4(10):1962-1964. doi:10.3969/cma.j.issn.1674-0785.2010.10.045.

[58] 王 珍,赵 葵. 原发性小肠淋巴瘤影像学诊断及鉴别诊断探讨[J]. 医药前沿,2020,10(35):157-159.

[59] 袁志翔. 小肠恶性淋巴瘤的影像学表现[J]. 医学信息,2016,29(17):410-411. doi:10.3969/j.issn.1006-1959.2016.17.399.

[60] Lightner AL, Shannon E, Gibbons MM, et al. Primary gastrointestinal non-Hodgkin's lymphoma of the small and large intestines: a systematic review[J]. J Gastrointest Surg, 2016, 20(4): 827-839. doi:10.1007/s11605-015-3052-4.

[61] 冉文斌,欧阳钦. 肠道原发性非霍奇金淋巴瘤 85 例分析[J]. 南方医科大学学报,2012,32(4):534-556. doi:10.3969/j.issn.1673-4254.2012.04.021.

[62] Vetro C, Romano A, Amico I, et al. Endoscopic features of gastrointestinal lymphomas: from diagnosis to follow-up[J]. World J Gastroenterol, 2014, 20(36): 12993-13005. doi:10.3748/wjg.v20.i36.12993.

(编辑:贺绍梅)

退行性腰椎疾病一直以来都是脊柱外科研究的重要课题,中老年以退行性腰椎滑脱较为常见[1],最初临床以单纯减压作为腰椎疾病的主要治疗方式,随后采取减压复位联合内固定的手术方式,即腰椎融合术,以改善腰椎不稳和滑脱加重等症状。目前腰椎融合术逐渐取代了单纯植骨融合技术和单纯钉板固定系统,内固定联合脊椎融合可大大降低内固定断钉、松动、断棒的发生率,因而良好的脊椎融合是维持减压效果的保障,也是维持腰椎稳定、避免内固定失效的根本。腰椎融合术不仅可增加脊柱的稳定性和安全性,同时还可对受压神经根进行有效减压,缓解下肢神经放射痛症状,因此广泛应用于临床。

目前主要的腰椎融合术包括前入路腰椎间融合术(anterior lumbar interbody fusion,ALIF)、后入路腰椎间融合术(posterior lumbar interbody fusion,PLIF)、经椎间孔腰椎间融合术(transforaminal lumbar interbody fusion,TLIF)、后外侧腰椎融合术(posterolateral lumbar fusion,PLF)、侧方腰椎间融合术(lateral lumbar interbody fusion,LLIF)、斜方腰椎间融合术(obliquo lumbar interbody fusion,OLIF)、360 度腰椎融合术。以上腰椎融合术各有优缺点,但究竟哪种融合术治疗退行性腰椎疾病的效果更优,目前临床仍有争议,因此,本研究对以上融合术的研究进展、优缺点进行综述,以期为退行性腰椎疾病的临床治疗提供参考。

1 前入路腰椎间融合术(ALIF)

ALIF 最初于 1983 年由 O'Brien 等完整阐述,此后 ALIF 广泛应用于临床。ALIF 分为正中经腹入路和腹直肌旁切口腹膜后入路,患者取仰卧位,术中需要反复确认输尿管、主动脉、腔静脉、输精管位置,避免引起损伤,选择合适的腰骶椎前路钢板内固定及融合器,在 C 型臂透视下行内固定并放置融合器。有研究发现,ALIF在无内固定装置情况下的原位融合手术方式植骨融合率达 100%,ODI 及其影像学表现均显著改善[2]。但是笔者在临床中发现 ALIF 联合内固定装置可以减少融合器移位、椎间隙塌陷等风险。Zhang 等[3]从生物力学角度进行研究也发现,术后附加内固定系统可增加腰椎初始稳定性并降低终板沉降风险,且可大大降低翻修率。杨武[4]采用 ALIF 治疗 43 例老年 $L_5 \sim S_1$ 峡部裂性腰椎滑脱患者,结果显示,随访 14 ~ 63 个月,患者均获得骨性融合,无交感神经紊乱发生,证实了 ALIF 植骨融合良好,安全可靠。Teng 等[5]研究发现,在 $L_4 \sim L_5$ 节段融合中,ALIF 和 PLIF 均明显缓解了患者疼痛,改善了其腰椎功能,但在 VAS 评分中 ALIF 更具优势,根据脊柱三柱理论,前柱和中柱基本承受 80% 的脊柱负荷,所以相比于其他融合术,ALIF 可优化矢状面平衡,使脊柱负荷分布接近原始比例。ALIF 术中直接显露椎间盘组织及其椎体,可增加植骨融合率和融合后椎间稳定性[6]。笔者在临床工作中发现,腰椎疾病普遍伴有长期腰背肌功能损伤,ALIF 的优点是可以在保证融合率的情况下,避免腰背肌再度损伤[7]。但 ALIF 也存在一定的缺点,如前方钉板系统不如椎弓根螺钉稳定,费用较其他融合术高,易损伤腹腔血管脏器等[8-10]。综上,Ⅱ度以下腰椎滑脱、单纯性腰椎间盘突出、后柱结构无变异为 ALIF 的主要适应证;ALIF 的绝对禁忌证包括Ⅱ度以上腰椎滑脱、高位滑脱、妊娠、心肺功能差;有腹部手术史,可能存在腹腔粘连、血管畸形、骶骨倾角高则属于相对禁忌证。

2 后入路腰椎间融合术(PLIF)

PLIF 最早被解释为以患者腰椎的骨屑充当椎间间质植入椎间隙融合的后入路手术方式。现如今国内外 PLIF 成熟,大多数学者已经进入皮质骨螺钉代替传统轨迹螺钉的研究中[11],无论皮质骨螺钉或者传统轨迹螺钉,重度腰椎滑脱行椎间融合固定前必须行提拉[12]。PLIF 采用脊柱后入路,患者取俯卧位,术中对椎间盘进行切除,同时处理退变的椎板、黄韧带和关节突,最后进行椎间植骨融合。在临床中,PLIF 相对成熟,对于黄韧带增厚或者关节突骨化增生的患者,PLIF 优势明显;同时,PLIF 大量切除椎间盘可清晰暴露神经根,神经根松解效果更佳。Lian 等[13]和 Zhang 等[14]发现 PLIF 能提供稳定的三维矫形,可更好地恢复腰椎正常生理曲度,充分减压神经根,较 PLF、ALIF 及其他融合术稳定。Said 等[15]的荟萃分析研究显示,PLIF 在融合率(90% 以上)、防止椎体塌陷和再突出等方面明显优于 PLF,而在失血量及后期并发症发生率方面与 PLF 基本相同。但是 PLIF 也存在明显的局限性,如切口较大、出血较多、硬膜囊和神经根损伤率较高、腰椎肌肉牵拉易导致肌肉萎缩、广泛切除会导致运动节段不稳等。此外,Kato 等[16]发现,在 PLIF 中腰椎疾病合并骨质疏松或者弥漫性特发性骨肥厚症会产生严重的融合器后移现象,存在再手术风险,这与 Cho 等[17]的研究结果一致。所以,腰椎疾病合并弥漫性特发性骨肥厚症的患者无法行 PLIF。Pan 等[18]通过对 667 例分别行 TLIF 和 PLIF 的患者进行回顾性分析发现,融合器后移发生率为 0.90%,其中 6 例患者有神经功能障碍并接受了翻修手术,故认为骨质疏松为影

响融合器后移的重要因素。PLIF 的适应证包括腰椎滑脱、椎管狭窄、椎间盘源性腰痛;PLIF 的禁忌证包括骨质疏松、弥漫性特发性骨肥厚症合并腰椎滑脱、Ⅲ度以上腰椎滑脱合并感染。

3 经椎间孔腰椎间融合术(TLIF)

TLIF 是由 PLIF 发展而来的一种更精细化的手术方式。TLIF 采用椎间孔区域入路,可避免硬膜囊、神经根、腰背部肌肉的过度牵拉[19],可保留对侧椎板及小关节,对脊柱后柱力学结构影响较小,同时还可保留椎弓根和椎板骨性结构,增加上下相邻椎体间稳定性。无论 TLIF 还是微创 TLIF(minimally invasive TLIF, MIS-TLIF),都是通过分离多裂肌与最长肌间隙入路确定腰椎病变节段,在直视或内镜辅助下完成患侧减压、椎间隙处理及融合器植入等,最后完成双侧或单侧椎弓根钉棒固定。de Kunder 等[20]研究发现 TLIF 和 PLIF 在脊椎前移速度、椎间孔高度及前凸角恢复方面无明显统计学差异,但 TLIF 术中出血量及术后引流量更少、术后住院时间更短。目前,MIS-TLIF 作为 TLIF 的替代术式逐渐被临床认可。Cheng 等[21]研究发现,MIS-TLIF 较 PLIF 术中出血量及术后引流量少、术后住院时间短,且 MIS-TLIF 符合“小即是好”的假设,利用单通道或双通道扩张竖脊肌的方式,可最大限度减少竖脊肌等椎旁肌肉的活动剥离和外力牵拉,降低术后腰痛、腰背肌无力以及邻近节段退行性改变的发生率。Wang 等[22]发现 MIS-TLIF 治疗高度移位性腰椎间盘突出症的效果较好。Lin 等[23]回顾性分析了接受 MIS-TLIF 或 PLIF 治疗的 70 例患者的临床资料,结果显示,MIS-TLIF 组的 Charlson 共病指数得分高于 PLIF 组,失血量明显少于 PLIF 组,说明 MIS-TLIF 较 PLIF 存在明显优势。Pimenta 等[24]研究发现,MIS-TLIF 适用于任何腰椎水平位,最常见的水平位是 $L_4 \sim L_5$ 和/或 $L_5 \sim S_1$,而 ALIF 无法实现 $L_5 \sim S_1$ 或者高位滑脱的融合。与 LLIF、OLIF 相比,TLIF 适用于任何腰椎节段,且费用较低;与 ALIF 相比,TLIF 可避免腹部血管及脏器损伤;与 PLIF 相比,TLIF 可更好地保护后柱结构,显著减少出血量,缩短术后住院时间,降低并发症发生率,在微创的基础上可最大限度解决患者腰椎问题。TLIF 的局限性在于容易损伤上位神经根,学习曲线较长。TLIF 的适应证包括退行性腰椎滑脱、合并腰椎管狭窄和复发性椎间盘突出;TLIF 的禁忌证包括广泛的硬膜外粘连、活动性细菌感染、后柱结构严重变异或严重骨质疏松。

4 后外侧腰椎融合术(PLF)

PLF 最早由 Hibbs[25]报道,开启了脊柱融合术的先河,但最初融合率只有 68%。随后 PLF 广泛应用于临床,成为了临床重要技术和脊柱外科研究热点。PLF 采用腰椎后正中入路和椎旁肌间隙入路进行腰椎后外侧横突间融合操作,椎弓根螺钉复位内固定后的 PLF 可以有效预防复位内固定手术并发症的发生,目前已在国内外得到了广泛认可[26-27]。Madan 等[28]对 21 例行 PLF 和 23 例行 PLIF 的峡部裂性腰椎滑脱患者进行疗效观察发现,2 组患者在功能恢复和融合率方面无明显差异,且融合优良率都在 89% 以上,其中 PLIF 组有 1 例出现神经根损伤,这可能与术者手术操作有关。Farrokhi 等[29]研究发现,PLF 可矫正 Cobb 角,恢复矢状位平衡,且操作更为简单,在一定程度上可降低并发症发生率。PLIF 为 PLF 的改进术式,临床中融合率较 PLF 高,但 PLF 对后柱结构的损伤较小,更适合手术耐受度低、老年、有轻度椎间盘退变及滑脱、心肺功能减退、椎间隙高度改变较小的患者[30]。虽然 PLIF 融合率较高,但生物力学有限元分析表明,融合是导致早期相邻节段椎间盘退变的重要因素,脊柱 PLF 对相邻椎间节段的应力相比于其他融合术式要小,对减少融合部位相邻节段椎间盘退变具有积极的作用。虽然 PLF 创伤较小,但是在预防腰椎融合术后翻修方面 PLIF 更有优势。PLF 的主要优点包括适应证较广,操作相对简单,疗效可靠,适合手术耐受度低的患者;而 PLF 同样存在局限性,如完整保留的椎间盘可能成为潜在的疼痛源,后方入路可能损伤后方椎旁软组织。Guppy 等[31]对 3 065 例腰椎融合患者进行队列回顾性研究,结果显示 PLF 和 PLIF 在不愈合率上无明显统计学差异,而 PLF 的不愈合风险则是 PLIF 的 2.8 倍。PLF 适用于椎间盘源性腰痛患者以及需进行后方减压的患者;PLF 的禁忌证则包括Ⅱ度以上腰椎滑脱、感染、类风湿关节炎、脊柱肿瘤、脊柱结核等。

5 侧方腰椎间融合术(LLIF)

LLIF 最初应用于脊柱矫形,而后逐渐成为退行性腰椎疾病的治疗方式。LLIF 采用经腹膜后与经腰大肌肌纤维侧方入路方式,利用特定器械暴露手术目标节段椎体、椎间盘侧面,直视下切除椎间盘,融合上下椎体。虽然国内对 LLIF 术后终板骨折、植入物下沉或断裂、术后持续疼痛、假关节形成等报道较多,但是国外有大量文献报道应用 LLIF 治疗退行性腰椎疾病临床疗效满意。LLIF 采用微创技术,创伤较小,

Epstein[32]研究表明 LLIF 引起的胃肠道并发症发生率明显低于 ALIF。Rabau 等[33]发现 LLIF 的矫正效果优于 TLIF,而当出现骨性侧凹狭窄时,矫正效果欠佳。Rodgers 等[34]对 LLIF、ALIF、TLIF 和 PLIF 进行比较发现,LLIF、ALIF、TLIF 恢复腰椎前凸的效果显著优于 PLIF,且 LLIF 术后神经根损伤、持续疼痛等并发症发生率均远低于 PLIF 和 ALIF 等,且绝大多数(92.3%)患者可在 3 个月内恢复。受解剖结构影响,ALIF 因能恢复椎间盘的高度并矫正畸形,被大多数学者认为是治疗 $L_5 \sim S_1$ 病变的金标准。然而笔者在临床研究中发现,由于腹部等前部手术和/或复杂的血管解剖结构而不能进行 ALIF 时,OLIF 是一个有效的选择。而 LLIF 则更加适合 L_4 以上的椎体,这和 Bertagnoli 等[35]的研究结果一致。因此,LLIF 的主要优势在于:对于 $L_1 \sim L_4$ 的腰椎病变创伤较小,减压相对彻底且具有矫形效果。但也有研究阐述了 LLIF 的局限性,如 Lang 等[36]发现 LLIF 术后并发症发生率远高于其他融合术,Rodgers 等[37]研究发现 LLIF 术后总体并发症发生率为 2% ~40%,其中手术入路相关并发症是其主要并发症,发生率为 0.7% ~62.7%,包括术后一过性大腿前方或腹股沟区麻木疼痛、髂腰肌或股四头肌乏力等。Epstein[38]通过对 1 080 例行 LLIF 的患者进行研究发现,LLIF 的神经损伤风险明显大于 TLIF、PLIF、PLF 和 ALIF,包括腰椎丛神经损伤、性感觉障碍、运动障碍、髂腰肌无力、大腿前部/臀部疼痛等。LLIF 的局限性表现为:无法解除黄韧带增厚或者关节突骨化引起的腰椎疾病;术中需要神经电生理监测,增加了患者的经济负担;若临床医生对于适应证把握不足或者操作不当易造成医源性损伤。LLIF 的主要适应证包括腰椎节段不稳、轻度椎管狭窄、椎间盘源性腰痛、后外侧术后复发合并脊柱侧弯;LLIF 的主要禁忌证包括 $L_5 \sim S_1$ 椎间盘病变、腰椎退行性侧凸合并严重旋转畸形、严重关节突病变或骨赘形成、严重中央型椎管狭窄、中度或重度腰椎滑脱需行后路直接椎板减压。

6 斜方腰椎间融合术(OLIF)

Silvestre 等[39]首次报道了 OLIF,OLIF 于腹膜后血管鞘和腰大肌前缘间隙建立通道至腰椎,不仅可避免前路手术造成的血管损伤,还可避免腰丛神经损伤,缩短手术时间,较 LLIF 创伤小,能够提高患者对手术的耐受度。相对于 LLIF,OLIF 操作空间更大,可在清除椎间盘时提供较大手术视野,并可置入更大的椎间融合器。Jin 等[40]的研究显示,OLIF 治疗退行性腰椎疾病安全有效,尤其对于 65 岁以上的老年患者,术后临床症状改善明显,数字评分法评分和 ODI 较术前均显著改善。也有研究发现,OLIF 存在逆行射精、腹膜后损伤、硬膜囊撕裂、尿道损伤等并发症发生风险[41]。Woods 等[42]对 50 例单节段腰椎滑脱症患者随访 6 个月发现,与 TLIF 组比较,OLIF 组术中出血量更少,术后住院时间更短,术后 VAS 评分及 ODI 更低。故 OLIF 的优点有:生物力学更优,对脊柱本身稳定性保护较好,术中无需进行神经电生理监测且微创。OLIF 同样存在较多并发症,Li 等[43]研究发现,腹腔大血管损伤是 OLIF 最严重的术中并发症。且 OLIF 患者接受 X 射线辐射的时间更长,较大椎间融合器置入会损伤 Kambin 三角区斜面的神经根。Oh 等[44]研究 OLIF 发现,发生并发症的患者占 56.4%,最常见的并发症是短暂腰肌瘫痪,4.89% 的患者 C 反应蛋白正常化推迟。故 OLIF 的缺点有:学习曲线较长,神经根源性腰椎疾病的神经根探查困难,适应证较少。OLIF 的适应证有限,包括Ⅰ~Ⅱ度腰椎滑脱、腰椎不稳、腰椎结核活动期、合并轻中度椎管狭窄。因 OLIF 对解剖定位要求严格,所以重度黄韧带增生[45]、Ⅲ~Ⅳ度腰椎滑脱、中重度骨质疏松、过度肥胖、髂嵴过高、肋缘过低、目标节段轴向位置移位为其手术禁忌证。

7 360 度腰椎融合术

360 度腰椎融合术是 PLF 联合一种其他融合术的融合方式,即前路及后路椎间融合加后外侧植骨融合,形成 360 度的环状植骨,近些年被一些学者所推崇[46]。前方的椎间融合器、后方的椎弓根钉及周围的植骨在水平方向形成三角形稳定结构,在前后方向形成均衡稳定的三柱支撑,理论上可有效避免单独应用一种融合术出现的断钉、退钉、塌陷等并发症的发生。360 度腰椎融合术在生物力学方面具有优势,但操作复杂,术后并发症较多,再入院率较高,且费用高,临床使用非常少,患者更加倾向于选择简单减压或简单融合减压[47]。笔者认为:过度追求三柱结构的稳定反而易导致过度融合,进而导致腰椎活动度受限。360 度腰椎融合术的适应证包括Ⅱ度以内的轻度退变性腰椎滑脱、椎间盘源性腰痛、腰椎椎管狭窄;而其他腰椎疾病合并感染、肿瘤则为 360 度腰椎融合术的禁忌证。

8 展望

目前,腰椎融合术仍是治疗中老年退行性腰椎疾病的主要手术方式。临床多为回顾性分析研究,未来可以通过更多大样本、前瞻性、多中心对照研究,进一步为术式的选择提供更充分的依据。近年来,微创术

式较传统融合术逐渐凸显出优势,但是其学习曲线较长。综上,中老年退行性腰椎疾病选择何种术式需临床医师综合考虑患者的脊柱结构、椎间盘性质、是否合并其他疾病以及术者自身擅长的术式,不可盲目追求微创和创新而忽视手术适应证及禁忌证。今后,在生物力学上,腰椎融合术应致力于与退行性腰椎疾病症状相关的腰椎矢状面曲度、椎间孔大小变化等方面的研究,以及如何减少融合后相邻腰椎节段稳定性改变引起的疾病等问题研究;在临床上,腰椎融合术应致力于减少手术创伤,提高手术效果。随着微创技术的发展,腰椎融合术将会取得新的突破。

[参考文献]

[1] Matz PG, Meagher RJ, Lamer T, et al. Guideline summary review: an evidence-based clinical guideline for the diagnosis and treatment of degenerative lumbar spondylolisthesis[J]. Spine J,2016,16(3):439 - 448. doi:10.1016/j.spinee.2015.11.005.

[2] Wilke HJ, Volkheimer D, Robie B, et al. Two-piece ALIF cage optimizes the bone-implant interface in a 360° setting[J]. Eur Spine J,2017,26(11):2747 - 2753. doi:10.1007/s00586 - 017 - 5009 - 7.

[3] Zhang JD, Poffyn B, Sys G, et al. Are stand-alone cages suffifficient for ALIF? [J]. Orthop Surg,2012,4(1):11 - 14. doi:10.1111/j.1757 - 7861.2011.00164.x.

[4] 杨 武. 腰椎前路椎体间融合术治疗老年 L5-S1 峡部裂伴腰椎滑脱的有效性和安全性研究[J]. 颈腰痛杂志,2020,41(4):423 - 425. doi:10.3969/j.issn.1005 - 7234.2020.04.012.

[5] Teng I, Han J, Phan K, et al. A meta-analysis comparing ALIF, PLIF, TLIF and LLIF[J]. J Clin Neurosci,2017,44:11 - 17. doi:10.1016/j.jocn.2017.06.013.

[6] Godzik J, Hlubek RJ, Newcomb AGUS, et al. Supplemental rods are needed to maximally reduce rodstrain across the lumbosacral junction with TLIF but not ALIF in long constructs[J]. Spine J,2019,19(6):1121 - 1131. doi:10.1016/j.spinee.2019.01.005.

[7] North RY, Strong MJ, Yee TJ, et al. Navigation and robotic-assisted single-position prone lateral: technique, feasibility, safety, and case series[J]. World Neurosurg,2021,152:221 - 230. e1. doi:10.1016/j.wneu.2021.05.097.

[8] Allain J, Dufour T. Anterior lumbar fusion techniques: ALIF, OLIF, DLIF, LLIF, IXLIF[J]. Orthop Traumatol Surg Res,2020,106(1S): S149 - S157. doi:10.1016/j.otsr.2019.05.024.

[9] Crawford AM, Lightsey HM 4th, Xiong GX, et al. Variability and contributions to cost associated with anterior versus posterior approaches to lumbar interbody fusion[J]. Clin Neurol Neurosurg, 2021, 206: 106688. doi:10.1016/j.clineuro.2021.106688.

[10] Kaiser MG, Haid RW Jr, Subach BR, et al. Comparison of the mini-open versus laparoscopic approach for anterior lumbar interbody fusion: a retrospective review[J]. Neurosurgery,2002,51(1):97 - 103. doi:10.1097/00006123 - 200207000 - 00015.

[11] Sakaura H, Ikegami D, Fujimori T, et al. Early cephalad adjacent segment degeneration after posterior lumbar interbody fusion: a comparative study between cortical bone trajectory screw fixation and traditional trajectory screw fixation[J]. J Neurosurg Spine,2019,32(2): 155 - 159. doi:10.3171/2019.8.spine19631.

[12] Klockner C, Weber U. Correction of lumbosacral kyphosis in high grade spondylolisthesis and spondyloptosis[J]. Orthopade,2001,30(12): 983 - 987. doi:10.1007/s001320170012.

[13] Lian XF, Hou TS, Xu JG, et al. Single segment of posterior lumbar interbody fusion for adult isthmic spondylolisthesis: reduction or fusion in situ[J]. Eur Spine J,2014,23(1):172 - 179. doi:10.1007/s00586 - 013 - 2858 - 6.

[14] Zhang Q, Yuan Z, Zhou M, et al. A comparison of posterior lumbar interbody fusion and transforaminal lumbar interbody fusion: a literature review and meta-analysis[J]. BMC Musculoskelet Disord,2014,15(1):367. doi:10.1186/1471 - 2474 - 15 - 367.

[15] Said E, Abdel-Wanis ME, Ameen M, et al. Posterolateral fusion versus posterior lumbar interbody fusion: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials[J]. Global Spine J,2021,12: 21925682211016426. doi:10.1177/21925682211016426.

[16] Kato S, Terada N, Niwa O, et al. Risk factors affecting cage retropulsion into the spinal canal following posterior lumbar interbody fusion: association with diffuse idiopathic skeletal hyperostosis[J]. Asian Spine J,2021,15(6):840 - 848. doi:10.31616/asj.2020.0434.

[17] Cho JH, Hwang CJ, Kim H, et al. Effect of osteoporosis on the clinical and radiological outcomes following one-level posterior lumbar interbody fusion[J]. J Orthop Sci,2018,23(6):870 - 877. doi:10.1016/j.jos.2018.06.009.

[18] Pan FM, Wang SJ, Yong ZY, et al. Risk factors for cage retropulsion after lumbar interbody fusion surgery: series of cases and literature review[J]. Int J Surg,2016,30:56 - 62. doi:10.1016/j.ijsu.2016.04.025.

[19] Harms J, Rolinger H. A one-stager procedure in operative treatment of spondylolistheses: dorsal traction-reposition and anterior fusion (author's transl)[J]. Z Orthop Ihre Grenzgeb,1982,120(3):343 - 347. doi:10.1055/s - 2008 - 1051624.

[20] de Kunder SL, van Kuijk SMJ, Rijkers K, et al. Transforaminal lumbar interbody fusion (TLIF) versus posterior lumbar interbody fusion (PLIF) in lumbar spondylolisthesis: a systematic review and meta-analysis[J]. Spine J,2017,17(11):1712 - 1721. doi:10.1016/j.spinee.2017.06.018.

[21] Cheng X, Zhang K, Sun X, et al. Clinical and radiographic outcomes of bilateral decompression via a unilateral approach with transforaminal lumbarinterbody fusion for lumbar degenerative spondylolisthesis with stenosis[J]. Spine J,2017,17(8):1127 - 1133. doi:10.1016/j.spinee.2017.04.011.

[22] Wang A, Yu Z. Surgical outcomes of minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion for highly migrated lumbar disc herniation[J]. J Pain Res,2021,14:1587 - 1592. doi:10.2147/jpr.S303930.

[23] Lin GX, Park CK, Hur JW, et al. Time course observation of outcomes between minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion and posterior lumbar interbody fusion[J]. Neurol Med Chir (Tokyo), 2019,59(6):222 - 230. doi:10.2176/nmc.oa.2018 - 0194.

[24] Pimenta L, Tohmeh A, Jones D, et al. Rational decision making in a wide scenario of different minimally invasive lumbar interbody fusion approaches and devices[J]. J Spine Surg,2018,4(1):142 - 155.

doi:10.21037/jss.2018.03.09.

[25] Hibbs RA. An operation for progressive spinal deformities:a preliminary report of three cases from the service of the orthopaedic hospital. 1911 [J]. Clin Orthop Relat Res,2007,460:17 - 20. doi:10.1097/blo.0b013e3180686b30.

[26] Urquhart JC, Alnaghmoosh N, Gurr KR, et al. Posterolateral versus posterior interbody fusion in lumbar degenerative spondylolisthesis[J]. Clin Spine Surg, 2018, 31(9): E446 - E452. doi: 10.1097/bsd.0000000000000698.

[27] Sakaura H, Miwa T, Yamashita T, et al. Cortical bone trajectory screw fixation versus traditional pedicle screw fixation for 2-level posterior lumbar interbody fusion: comparison of surgical outcomes for 2-level degenerative lumbar spondylolisthesis[J]. J Neurosurg Spine, 2018, 28(1):57 - 62. doi:10.3171/2017.5.spine161154.

[28] Madan S, Boeree NR. Outcome of posterior lumbar interbody fusion versus posterolateral fusion for spondylolytic spondylolisthesis [J]. Spine(Phila Pa 1976),2002,27(14):1536 - 1542. doi:10.1007/s00586 - 002 - 0516 - 5.

[29] Farrokhi MR, Yadollahikhales G, Gholami M, et al. Clinical outcomes of posterolateral fusion *vs.* posterior lumbar interbody fusion in patients with lumbar spinal stenosis and degenerative instability[J]. Pain Physician,2018,21(4):383 - 406.

[30] Li Y, Wu Z, Guo D, et al. A comprehensive comparison of posterior lumbar interbody fusion versus posterolateral fusion for the treatment of isthmic and degenerative spondylolisthesis: a meta-analysis of prospective studies[J]. Clin Neurol Neurosurg, 2020, 188: 105594. doi: 10.1016/j.clineuro.2019.105594.

[31] Guppy KH, Royse KE, Norheim EP, et al. PLF versus plif and the fate of L_5-S_1: analysis of operative nonunion rates among 3065 patients with lumbar fusions from a regional spine registry[J]. Spine (Phila Pa 1976),2021,46(10):E584 - E593. doi:10.1097/BRS.0000000000003840.

[32] Epstein NE. Non-neurological major complications of extreme lateral and related lumbar interbody fusion techniques[J]. Surg Neurol Int, 2016,7(Suppl 25): S656 - S659. doi: 10.4103/2152 - 7806.191071.

[33] Rabau O, Navarro-Ramirez R, Aziz M, et al. Lateral lumbar interbody fusion (LLIF): an update[J]. Global Spine J, 2020, 10(2 Suppl): 17S - 21S. doi:10.1177/2192568220910707.

[34] Rodgers WB, Cox CS, Gerber EJ. Experience and early results with a minimally invasive technique for anterior column support through eXtreme Lateral Interbody Fusion (XLIF)[J]. US Musculoskeletal Review,2007,1:28 - 32. doi:10.1097/BSD.0b013e3181b31729.

[35] Bertagnoli R, Vazquez RJ. The Anterolateral TransPsoatic Approach (ALPA): a new technique for implanting prosthetic disc-nucleus devices[J]. J Spinal Disord Tech,2003,16(4):398 - 404. doi:10.1097/00024720 - 200308000 - 00012.

[36] Lang G, Perrech M, Navarro-Ramirez R, et al. Potential and limitations of neural decompression in extreme lateral interbody fusion:a systematic review[J]. World Neurosurg, 2017, 101:99 - 113. doi: 10.1016/j.wneu.2017.01.080.

[37] 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.

[38] Epstein NE. Review of risks and complications of extreme lateral interbody fusion (XLIF) [J]. Surg Neurol Int, 2019, 10: 237. doi: 10.25259/sni_559_2019.

[39] Silvestre C, Mac-Thiong JM, Hilmi R, et al. Complications and morbidities of mini-open anterior retroperitoneal lumbar interbody fusion: oblique lumbar interbody fusion in 179 patients[J]. Asian Spine J, 2012,6(2):89 - 97. doi:10.4184/asj.2012.6.2.89.

[40] Jin C, Jaiswal MS, Jeun SS, et al. Outcomes of oblique lateral interbody fusion for degenerative lumbar disease in patients under or over 65 years of age[J]. J Orthop Surg Res, 2018, 13: 38. doi: 10.1186/s13018 - 018 - 0766 - 5.

[41] Quillo-Olvera J, Lin GX, Jo HJ, et al. Complications on minimally invasive oblique lumbar interbody fusion at L_2-L_5 levels:a review of the literature and surgical strategies[J]. Ann Transl Med, 2018, 6(6):101. doi:10.21037/atm.2018.01.22.

[42] Woods KR, Billys JB, Hynes RA. Technical description of oblique lateral interbody fusion at L_1-L_5 (OLIF25) and at L_5-S_1 (O-LIF51) and evaluation of complication and fusion rates[J]. Spine J, 2017, 17(4):545 - 553. doi:10.1016/j.spinee.2016.10.026.

[43] Li R, Li X, Zhou H, et al. Development and application of oblique lumbar interbody fusion[J]. Orthop Surg, 2020, 12(2):355 - 365. doi:10.1111/os.12625.

[44] Oh BK, Son DW, Lee SH, et al. Learning curve and complications experience of oblique lateral interbody fusion: a single-center 143 consecutive cases[J]. J Korean Neurosurg Soc, 2021, 64(3):447 - 459. doi:10.3340/jkns.2020.0342.

[45] Sato J, Ohtori S, Orita S, et al. Radiographic evaluation of indirect decompression of mini-open anterior retroperitoneal lumbar interbody fusion:oblique lateral interbody fusion for degenerated lumbar spondylolisthesis[J]. Eur Spine J,2017,26(3):671 - 678. doi:10.1007/s00586 - 015 - 4170 - 0.

[46] Owens RN, Carreon LY, Bisson EF, et al. Back pain improves significantly following discectomy for lumbar disc herniation[J]. Spine J, 2018,18(9):1632 - 1636. doi:10.1016/j.spinee.2018.02.014.

[47] Wang JC, Dailey AT, Mummaneni PV, et al. Guideline update for the performance of fusion procedures for degenerative disease of the lumbar spine. Part 8:lumbar fusion for disc herniation and radiculopathy[J]. J Neurosurg Spine, 2014, 21(1): 48 - 53. doi: 10.3171/2014.4.spine14269.

(编辑:贺绍梅)