

极外侧椎间融合术及其在腰椎退行性疾病中应用的研究进展

Research advance of extreme lateral interbody fusion in the treatment of lumbar degenerative diseases

王经宇,王孝宾,韦超,李晶,王冰,吕国华

(中南大学湘雅二医院脊柱外科 410011 长沙市)

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2022.01.11

中图分类号:R687.3 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2022)-01-0079-06

椎间融合术是治疗腰椎退行性疾病的常用方法,主要包括后路腰椎椎间融合术 (posterior lumbar interbody fusion, PLIF)、经椎间孔入路腰椎椎间融合术 (transforaminal lumbar interbody fusion, TLIF)、前路腰椎椎间融合术 (anterior lumbar interbody fusion, ALIF)、斜外侧入路腰椎椎间融合术 (oblique lumbar interbody fusion, OLIF) 和极外侧入路腰椎椎间融合术 (extreme lateral interbody fusion, XLIF) 等术式。其中 XLIF 是一种于腹膜后、经腰大肌进行操作的微创术式,与传统后路腰椎融合术相比具有创伤小、失血少、椎管神经干扰轻、恢复快等优点,近年来该技术广泛应用且获得了满意的临床疗效^[1,2]。笔者回顾近年来 XLIF 在腰椎退行性疾病中应用的相关文献,对其技术发展史、生物力学稳定性、手术特点、手术疗效等方面进行系统性归纳,以期为临床上 XLIF 的应用及进一步推广提供一定的理论参考。

第一作者简介:男(1987-),博士研究生在读,研究方向:脊柱外科

电话:(0731)85295124 E-mail:wangjyspine@csu.edu.cn

通讯作者:李晶 E-mail:jingli1969@csu.edu.cn

1 XLIF 的发展史

2001 年巴西学者 Pimenta^[3]首次报道自 1998 年以来在内窥镜下共实施 100 余例经腰大肌入路的椎间融合术。2003 年 Bertagnoli 等^[4]利用该入路为 8 例腰椎间盘退变患者成功实施人工髓核置入术。2006 年 Ozgur 等^[5]正式将经腰大肌入路下的腰椎融合术命名为 XLIF,该技术无需普外科医师协助,可通过小切口钝性分离腹壁肌,于腹膜后、经腰大肌达椎间隙,远离大血管操作,学习曲线较短。Ozgur 最初报道的 13 例患者平均手术时间 45min,未输血,围手术期无并发症发生^[5]。2008 年 Benglis 等^[6]首次将 XLIF 用于成人退行性脊柱侧凸。2015 年欧洲脊柱外科杂志将该技术称为“近 10 年的创新技术”^[7]。

2 生物力学稳定性

临床上单纯 XLIF 技术 (stand-alone XLIF) 常与侧方钢板、棘突固定装置以及单侧或双侧椎弓根螺钉结合使用。熟悉各种固定结构的生物力学稳定性,根据不同疾病和患者的具体情况选择合理的固定方式,有助于获得满意减压效果的同时减少内固定失败的发生率。据目前研究, XLIF 联合不同内固定方式的生物力学稳定性具体表现如

(8): 597-600.

39. 盛伟斌,郭海龙,买尔旦,等. 后路楔形截骨矫形治疗重度结核性胸腰椎后凸或侧后凸畸形[J]. 中华骨科杂志, 2007, 27(9): 662-668.

40. 曲小辰,陈仲强,曾岩,等. 后路全椎节切除、双轴旋转矫形手术治疗重度陈旧结核性后凸的疗效分析[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2016, 26(1): 11-17.

41. 许建中. 脊柱结核的治疗方案存在仁智之争[J]. 中华骨科杂志, 2011, 31(4): 394-399.

42. Lai Z, Shi S, Fei J, et al. A comparative study to evaluate the feasibility of preoperative percutaneous catheter drainage for the treatment of lumbar spinal tuberculosis with psoas abscess[J]. J Orthop Surg Res, 2018, 13(1): 290.

43. Li JH, Huang XQ, Chen FF, et al. Computed tomography-guided catheterization drainage to cure spinal tuberculosis with individualized chemotherapy[J]. Orthopedics, 2017, 40(3): e443-e449.

44. Zheng Q, Ying XZ, Jin YH. Treatment of single-segment suppurative spondylitis with the transforaminal endoscopic focal cleaning and drainage[J]. J Spinal Cord Med, 2019, 9(10): 1-9.

45. 蒋凯,潘显明,屈波,等. 经皮椎间孔镜治疗腰椎结核临床疗效观察[J]. 西部医学, 2016, 28(8): 1093-1096.

(收稿日期:2021-02-17 末次修回日期:2021-12-25)

(本文编辑 彭向峰)

下。

(1)XLIF 联合双侧椎弓根螺钉内固定生物力学性能最佳,stand-alone XLIF 结构稳定性差。Fogel 等^[8]在腰椎滑脱的模型上证明,stand-alone XLIF 结构稳定性最差,XLIF 附加侧方钢板的固定方式不能有效控制屈伸运动,辅以棘突固定装置无法控制前后滑移,而 XLIF 联合双侧椎弓根螺钉固定的稳定性最强。该研究为 XLIF 在腰椎滑脱中内固定方式的选择提供了依据。Reis 等^[9]通过尸体生物力学研究表明,stand-alone XLIF 结构可使固定节段在前屈、后伸、侧屈、轴向旋转各方向的活动度分别减少 67%、52%、51% 和 44%,辅以双侧椎弓根螺钉固定后上述各方向活动度较正常节段分别减少 91%、82%、82%和 74%;XLIF 联合单侧椎弓根螺钉固定控制各方向活动度的能力介于上述两种结构之间;XLIF 同时附加侧方钢板、后方棘突固定装置与 XLIF 联合双侧椎弓根螺钉固定结构具有相似的稳定性。Liu 等^[10]在多节段固定模型上同样证明 XLIF 联合双侧椎弓根螺钉具有最佳的生物力学稳定性,而 stand-alone 结构控制各方向活动度的能力最差,并且该结构会对终板施加更大的机械应力。鉴于 stand-alone XLIF 较差的稳定性,须在严格把握适应证如正常的骨密度、终板完整,无明显失稳等前提下谨慎实施。

(2)XLIF 辅以双侧椎弓根螺钉固定可提供与 PLIF/TLIF 结构相当甚至更佳的安全性。Godzik 等^[11]的一项尸体生物力学研究显示,XLIF 联合双侧椎弓根螺钉固定和 PLIF 结构在侧屈和屈伸方面具有相似的安全性,而前者在控制轴向旋转方面效果更佳。并且由于 XLIF 使用的 cage 较大,当辅以螺钉固定后,使其较 TLIF 结构更利于应力均匀分布于终板、限制 cage 沉降、减少椎间高度和节段前凸的丢失^[12]。

3 手术特点

XLIF 作为一种微创融合术式,不仅拥有确切的生物力学稳定性,还具备下特点:(1)经小切口或通道下直视操作,便于目标间隙的处理;(2)相对于后路手术具有更大的植骨床,利于椎间融合^[13];(3)在切除椎间盘的基础上通过置入较大型号的融合器(cage)恢复椎间高度,重建腰椎前凸;(4)与后路手术相比,可避免对椎旁肌和椎体附件的破坏,与传统前路手术相比,能够降低腹腔脏器损伤的发生率,具有创伤小、失血少、术后恢复快等优点^[14];(5)不同于后路手术的直接减压方式,XLIF 通过撑开塌陷的椎间隙和皱缩的后纵韧带、黄韧带来恢复椎间孔高度、扩大椎管容积,实现间接减压的目的^[15];(6)相对于后路手术,具有对椎管内硬膜囊、神经根干扰轻的优点;(7)经腰大肌进入椎间隙,为防止腰丛损伤,术中需行神经电生理监测。

4 XLIF 技术在腰椎退行性疾病中的应用

4.1 适应证及禁忌证

XLIF 适用于绝大多数拟行腰椎融合的病例,如椎间

盘源性腰痛、腰椎间盘突出伴不稳、腰椎管狭窄症、Ⅱ度以内的腰椎滑脱、退行性脊柱侧凸、腰椎术后翻修等^[1,2,16-18]。

绝对或相对禁忌证:(1)既往腹膜后手术史、感染所致腹膜后严重粘连者^[19];(2)受髂嵴阻挡的影响,该术式不适用于 L5/S1 的融合;(3)严重中央椎管或侧隐窝狭窄。大部分研究表明由非包容性椎间盘突出、椎间盘钙化、终板后方骨赘形成、小关节增生、短椎弓根、先天性腰椎管狭窄造成的严重侧隐窝或中央椎管狭窄是影响间接减压效果的不利因素,尤其骨性结构导致的严重侧隐窝狭窄是 XLIF 的绝对禁忌证^[20-22]。然而,最近有学者认为黄韧带的伸展可使椎管扩大近 1/3,加上牢固的椎间融合足以使严重腰椎管狭窄患者获得持久满意的临床疗效^[23]。因此,对于严重中央椎管或侧隐窝狭窄是否适合间接减压需根据患者的具体情况慎重决定;(4)小关节交锁。Gabel 等^[24]认为腰椎 CT 显示小关节融合的患者不适合行间接减压,但最近一项纳入 37 例 XLIF 手术的回顾性研究认为间接减压效果不受小关节交锁的影响^[24]。故需大样本、前瞻性的研究对该问题进行系统性评价。

4.2 手术疗效

4.2.1 腰椎管狭窄症 大量文献表明 XLIF 可使腰椎管狭窄患者获得良好的减压效果。Coutinho 等^[15]对 XLIF 治疗的 25 个腰椎管狭窄节段进行至少 1 年的随访,结果表明患者术后椎间及椎间孔高度平均增加 25%和 2.8mm,椎管的横截面积、前后径分别增加 109~149mm²和 9.3~12.2mm,同时疼痛视觉模拟评分(visual analogue scale,VAS)、Oswestry 功能障碍指数(Oswestry disability index,ODI)显著改善。Limthongkul 等^[23]使用 MRI 对 XLIF 治疗的 57 个腰椎管狭窄节段进行疗效评估,发现患者术后黄韧带横截面积较术前平均减少 14.2%,左、右侧黄韧带厚度分别减少 17.6%、17.0%,硬膜囊横截面积平均增加 50.8%,该结果提示黄韧带的伸展对椎管面积的改善发挥重要作用,尽管随访过程中椎间高度会出现一定程度的丢失,但由于黄韧带的重塑和残余椎间盘的回纳,硬膜囊横截面积会得到进一步改善。Shimizu 等^[25]对 XLIF 治疗的 42 例属于 Schizas C、D 级的严重腰椎管狭窄病例进行 1 年的随访,发现患者硬膜囊横截面积由术前 54.5±19.2 mm²增至 132.6±37.5mm²,JOA 评分由术前 16.1±4.1 提高至 25.7±2.9。然而,目前有关 XLIF 在严重腰椎管狭窄中应用的报道较少,随访时间较短,远期疗效尚待进一步探讨。

XLIF 相较于后路手术更利于恢复局部前凸。Saadeh 等^[26]对比了 20 例 TLIF 和 20 例 XLIF 在单节段腰椎融合中的疗效,发现 XLIF 联合经皮椎弓根螺钉内固定对节段前凸的改善程度显著优于 TLIF(4.9°±3.0° vs 2.6°±1.7°)。Nakashima 等^[27]对 144 例 PLIF 和 101 例 XLIF 在腰椎短节段融合中的疗效进行总结分析,发现单节段 XLIF 联合椎弓根螺钉固定对节段前凸(5.1°±5.8° vs 2.1°±5.0°)、椎间高度(4.2±2.3mm vs 2.2±2.0mm)、腰椎前凸(lumbar lordosis,LL)(7.8°±7.6° vs 3.9°±8.6°)、骨盆入射角(pelvic

incidence, PI)—LL($6.9^{\circ} \pm 6.8^{\circ}$ vs $3.6^{\circ} \pm 10.1^{\circ}$) 的矫正效果均优于 PLIF, 在两节段和三节段组这一效果更明显。

4.2.2 腰椎滑脱症 XLIF 辅以后路椎弓根螺钉内固定能够在实现良好减压效果的同时纠正椎体前后滑移、重塑椎间高度及局部前凸, 使 I~II 度滑脱患者获得满意的临床疗效^[28]。Campbell 等^[10]使用 XLIF 联合后路固定治疗 18 例 I~II 度退行性腰椎滑脱, 72% 的患者滑脱完全复位, 余获部分复位, 术后 6 个月患者 ODI 改善 53.0%, SF-12 健康量表中心理和生理评分分别改善 11.9% 和 9.6%。Xu 等^[29]对 XLIF 联合后路经皮椎弓根螺钉固定治疗的 16 例 II 度退行性滑脱进行 17.6 个月的随访, 发现 75% 的患者滑脱获得完全复位, 节段前凸及 LL 较术前分别增加 5.6° 和 2.9° , VAS、ODI 分别减少 3.9 和 19.8。

对于椎间隙塌陷严重的 II 度滑脱病例, Takami 等^[30]建议应首先在侧卧位下完成经皮椎弓根螺钉的置入, 利用钉棒的撑开作用使滑脱获得部分复位以便于行椎间处理及 cage 置入。该学者对其治疗的 6 例患者进行 15.3 个月的随访, 发现滑脱程度由术前 (33.2 ± 2.4)% 降至 (9.5 ± 7.3)%, 椎间高度由术前 3.3 ± 2.7 mm 增至 8.7 ± 0.5 mm, ODI 由术前 44.2 ± 4.8 降至 23.7 ± 15.3 , CT 显示椎间均获满意融合。

4.2.3 腰椎术后翻修及腰椎融合术后邻近节段退变 腰椎翻修手术中, 再次显露粘连的硬膜囊具有较高的难度和风险, XLIF 技术利用间接减压机制, 有助于降低硬膜撕裂、神经损伤、硬膜外血肿等医源性并发症的发生率。Kudo 等^[31]对 21 例 XLIF 和 35 例 PLIF/TLIF 在腰椎术后翻修中的疗效进行总结分析, 发现两组患者具有相似的硬膜囊、椎间孔横截面积改善率以及 JOA 评分改善率, 同时 XLIF 组手术时间短、失血少, 硬膜撕裂、切口感染率低。

椎板、棘突韧带复合体等张力带结构的破坏是邻近节段退变的危险因素, 侧方融合在邻椎病的治疗中不仅能够完整保留上述结构, 并且可在不去除原有内固定装置的前提下通过 stand-alone XLIF 技术或辅以皮质骨螺钉固定获得满意的临床效果^[31]。Philip 等^[17]使用 stand-alone XLIF 治疗腰椎融合术后邻椎病 25 例, 术中无并发症发生, 平均住院时间为 1.8 ± 0.8 d, 术后随访至少 18 个月, 患者节段前凸、椎间高度分别由术前 $-4.6^{\circ} \pm 12.9^{\circ}$ 、 4.1 ± 2.0 mm 增至 $-8.7^{\circ} \pm 10.5^{\circ}$ 、 9.1 ± 1.6 mm, 腰背部及下肢 VAS 评分由 8.4 ± 1.0 、 3.6 ± 3.4 降至 3.2 ± 1.9 、 1.9 ± 2.6 , ODI 由 46.6 ± 16.4 降至 30.4 ± 16.8 。

4.2.4 退行性脊柱侧凸 XLIF 用于成人脊柱畸形冠状面矫形的优势: (1) 患者术中取健侧卧位, 通过体位调节可达到对畸形进行初步矫正的目的^[32]。(2) 侧方入路利于凹侧松解、切开对侧纤维环、置入较大型号的 cage 进行椎间隙撑开。(3) 对于轻中度冠状面畸形, 通过 2~3 节段的侧方融合附加后路短节段经皮椎弓根螺钉固定即可获得与后路长节段矫形手术相似的整体冠状面矫形效果, 具有创伤小和融合节段少的优点^[19,33]。(4) 对于严重的冠状面畸形, 在

后路矫形的基础上增加前路融合节段更利于畸形的矫正。Theologi 等^[18]一项纳入 32 例严重胸腰段冠状面畸形的病例对照研究表明, 后路矫形联合顶椎区多节段侧方融合相较于单纯后路矫形手术具有更佳的主弯 Cobb 角矫正率 (56% vs 33%)。(5) 对严重腰骶段畸形的患者, 后路矫形与前路多节段 XLIF/L5/S1 ALIF 相结合更利于实现骨盆水平化和整体冠状面平衡^[34,35]。

由于 XLIF 对节段前凸的贡献仅 $3^{\circ} \sim 5^{\circ}$, 故它对整体矢状面序列的矫正能力有限^[36]。有学者认为 XLIF 更适用于 LL 和矢状面轴向距离 (sagittal vertical axis, SVA) 校正目标小于 10° 和 5 cm 的轻度矢状面畸形, 而对于严重矢状面失衡的患者并不适用^[37]。

对于中重度矢状面畸形, 可将 XLIF 与后路截骨结合以获得较好的矫形效果, 但三柱截骨存在创伤大、失血多等问题^[38]。脊柱序列重建 (anterior column realignment, ACR) 是一种新型微创术式, 经腰大肌入路对椎间隙和前纵韧带进行充分松解使脊柱获得更大的柔韧性和活动度, 在此基础上于椎间置入一前凸角为 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 的 cage 进行较大程度的撑开, 可实现良好的矢状面矫形效果, 该技术可使节段前凸平均增加 28° , 在此基础上附加二级截骨的整体矫正效果可达 37° ^[39]。Li 等^[40]研究表明, ACR 技术能够使严重成人脊柱畸形患者的 Lenke-Silva 分型“降级”, 有助于减少后路固定节段、避免三柱截骨。Saigal 等^[38]认为在严重矢状面畸形的矫正中, ACR 可提供与传统后路手术相似的矫形能力, 同时具有创伤小、并发症少的优点。

4.3 并发症及防治

4.3.1 入路相关并发症 (1) 神经损伤。XLIF 需解剖腰大肌, 不可避免会增加腰丛损伤的可能性。解剖学研究表明腰椎头侧节段的安全工作区较尾侧节段大, 故 L4/5 水平神经损伤风险最高^[41]。并且, Eguchi 等^[42]使用弥散张量成像技术证明退行性脊柱畸形患者腰大肌会出现前移, 凹侧入路更易损伤腰丛。其症状大多为大腿疼痛、麻木、无力等, 一般于术后数周消失, 但严重者可表现为永久性损伤。应用术中神经电生理监测 (存在假阴性可能), 直视下分离腰大肌有利于减少该类并发症的发生率。Schonauer 等^[43]认为内窥镜有助于神经的定位和识别, 使用内窥镜辅助下的 XLIF 可减少神经并发症的发生率。有学者^[44]报道了改良版 XLIF——猫眼腰椎侧方椎间融合术 (crenel lateral interbody fusion, CLIF), 提出应根据术前 MRI 的安全工作区和术中所见建立最适手术通道, 同时配合其自主研发的通道器械能够显著降低侧方融合术中神经损伤的发生率。(2) 假疝。支配腹壁肌的运动神经损伤可导致腹壁轻瘫和隆起, 这种情况通常被称为“假疝”。为减少该类并发症的发生率, 显露过程中应注意避免对肋下神经、髂腹下神经和髂腹股沟神经的损伤。(3) 其他。Walker 等^[45]对 1874 例 OLIF 和 4607 例 XLIF 术后并发症进行总结分析, 发现 XLIF 中大血管及节段血管损伤的发生率显著低于 OLIF (0.4% vs 1.8%)。尽管如此, 采用右侧入路在 L4/5 节段操

作时应警惕髂静脉、髂腰静脉损伤的风险。此外,腹膜后血肿、腰大肌血肿、腹膜破裂、肠穿孔、输尿管损伤、切口疝等少见并发症也有相关报道^[46]。熟悉 XLIF 入路周围的解剖结构,结合 MRI/CT 进行详细的术前规划,术中精细操作,注意解剖变异均有助于减少入路相关并发症的发生率。

4.3.2 内固定相关并发症 cage 下沉、移位可能会损害间接减压的效果,导致症状复发,严重者还可致椎体骨折。文献报道 XLIF 术后 cage 下沉率和假关节发生率分别为 13.8% 和 7.5%^[45]。导致 cage 松动、移位的相关因素主要包括:(1)骨质疏松。它是引起 cage 下沉的主要危险因素,对术前骨密度结果、腰椎 CT 值显示的低骨量患者,予以规范化抗骨质疏松治疗以及辅以后路椎弓根螺钉内固定有助于预防术后内植物下沉^[47]。(2)终板损伤。使用铰刀或刮勺处理终板时手法须轻柔,以免造成终板的损伤。(3)cage 尺寸。一方面,应选择高度合适的 cage 避免椎间隙过度撑开。另一方面,选择较宽的 cage 将其置于较为坚固的椎体髓环上不仅有利于提高结构的稳定性,并且更大的接触面积有助于分散轴向载荷^[48]。

5 XLIF 与智能化技术结合在腰椎退行性疾病中的应用

近年,XLIF 在腰椎退行性疾病的治疗中逐渐与导航、机器人等智能化技术相结合,该技术能够为操作者提供术中器械及内置物的实时定位图像,有利于提高内固定置入的安全性及准确性。同时,术者可在智能化技术辅助下实现单一体位的侧方融合与后路固定,提高了手术效率。Liu 等^[49]在 CT 导航辅助下完成 117 个节段侧方融合术,cage 位置准确率 99.1%。Strong 等^[50]认为计算机三维导航辅助下的多节段 XLIF 联合后路固定可安全有效地用于成人脊柱畸形的矫治,其报道的 175 枚 cage 安放中仅 1 枚位置欠佳。Huntsman 等^[51]利用机器人辅助导航系统在单一侧卧位下为 55 例患者实施经皮椎弓根螺钉内固定及侧方融合术,328 枚螺钉中置钉准确率 98%,患者无神经损伤并发症。North 等^[52]在导航和机器人辅助下完成 9 例 XLIF 联合椎弓根螺钉内固定术,患者手术全程采用俯卧位,所有 cage 均置于椎间隙中部,无严重并发症发生。

尽管术中三维 CT 导航的使用有助于降低术者射线暴露量,但存在增加患者射线暴露量的风险^[49,53]。未来的发展方向包括超低辐射成像技术和图像增强技术的持续创新,以及利用机器人导航在单一体位下进行侧方融合联合后路固定术的不断完善与应用。

6 总结与展望

经过二十年余的发展,XLIF 技术已趋于成熟。XLIF 辅以后方椎弓根螺钉内固定是具有稳定生物力学的微创融合术式;严格把握适应证的前提下可在腰椎退行性疾病的治疗中取得满意的临床疗效;术前详细规划、术中精细操作有助于减少手术入路及内固定相关并发症的发生率;随着 XLIF 与智能化技术相结合在腰椎退行性疾病中应用

的普及,将有助于进一步提高手术效率及内固定置入的安全性、准确性。

7 参考文献

1. Shihata S. Indirect decompression of the neural elements utilizing direct lateral interbody fusion procedure[J]. Med Arch, 2020, 74(2): 126-130.
2. Kudo Y, Okano I, Toyone T, et al. Lateral lumbar interbody fusion in revision surgery for restenosis after posterior decompression[J]. Neurosurg Focus, 2020, 49(3): E11.
3. Pimenta L. Laterolendoscopic transpoas retroperitoneal approach for lumbar spine surgery [C]. Paper presentation at the VI Brazilian Spine Society Meeting. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil, May, 2001.
4. Bertagnoli R, Vazquez R. The anterolateral transpoas approach (ALPA): a new technique for implanting prosthetic disc-nucleus devices[J]. J Spinal Disord Tech, 2003, 16(4): 398-404.
5. Ozgur B, Aryan H, 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.
6. Benglis D, Elhamady M, Levi A, et al. Minimally invasive anterolateral approaches for the treatment of back pain and adult degenerative deformity[J]. Neurosurgery, 2008, 63(3 Suppl): 191-196.
7. Berjano P, Lamartina C, Smith W, et al. Lateral access surgery: a decade of innovation[J]. Eur Spine J, 2015, 24 (Suppl 3): 285-286.
8. Fogel GR, Turner AW, Dooley ZA, et al. Biomechanical stability of lateral interbody implants and supplemental fixation in a cadaveric degenerative spondylolisthesis model [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2014, 39(19): E1138-1146.
9. Reis MT, Reyes PM, Bse, et al. Biomechanical evaluation of lateral lumbar interbody fusion with secondary augmentation [J]. J Neurosurg Spine, 2016, 25(6): 720-726.
10. Liu X, Ma J, Park P, et al. Biomechanical comparison of multilevel lateral interbody fusion with and without supplementary instrumentation: a three-dimensional finite element study [J]. BMC Musculoskelet Disord, 2017, 18(1): 63.
11. Godzik J, Kalb S, Reis MT, et al. Biomechanical evaluation of interbody fixation with secondary augmentation: lateral lumbar interbody fusion versus posterior lumbar interbody fusion [J]. J Spine Surg, 2018, 4(2): 180-186.
12. Lu T, Lu Y. Comparison of biomechanical performance among posterolateral fusion and transforaminal, extreme, and oblique lumbar interbody fusion: a finite element analysis[J]. World Neurosurg, 2019, 129: e890-e899.
13. Berjano P, Langella F, Damilano M, et al. Fusion rate following extreme lateral lumbar interbody fusion [J]. Eur Spine J, 2015, 24(Suppl 3): 369-371.
14. Verla T, Winnegan L, Mayer R, et al. Minimally invasive

- transforaminal versus direct lateral lumbar interbody fusion: effect on return to work, narcotic use, and quality of life[J]. *World Neurosurg*, 2018, 116: e321–e328.
15. Coutinho T, Cristante A, Marcon R, et al. Clinical and radiological rResults after minimally invasive transpoas lateral access surgery for degenerative lumbar stenosis [J]. *Global Spine J*, 2020, 10(5): 603–610.
 16. Campbell P, Nunley P, Cavanaugh D, et al. Short-term outcomes of lateral lumbar interbody fusion without decompression for the treatment of symptomatic degenerative spondylolisthesis at L4–5[J]. *Neurosurg Focus*, 2018, 44(1): E6.
 17. Louie P, Varthi A, Narain A, et al. Stand-alone lateral lumbar interbody fusion for the treatment of symptomatic adjacent segment degeneration following previous lumbar fusion [J]. *Spine J*, 2018, 18(11): 2025–2032.
 18. Theologis AA, Mundis GM, Jr, Nguyen S, et al. Utility of multilevel lateral interbody fusion of the thoracolumbar coronal curve apex in adult deformity surgery in combination with open posterior instrumentation and L5–S1 interbody fusion: a case-matched evaluation of 32 patients[J]. *J Neurosurg Spine*, 2017, 26(2): 208–219.
 19. Taba H, Williams S. Lateral lumbar interbody fusion [J]. *Neurosurg clin N Am*, 2020, 31(1): 33–42.
 20. Wang T, Nayar G, Brown C, et al. Bony lateral recess stenosis and other radiographic predictors of failed indirect decompression via extreme lateral interbody fusion: multi-institutional analysis of 101 consecutive spinal levels[J]. *World Neurosurg*, 2017, 106: 819–826.
 21. Gabel B, Hoshide R, Taylor W. An algorithm to predict success of indirect decompression using the extreme Lateral Lumbar Interbody Fusion Procedure [J]. *Cureus*, 2015, 7(9): e317.
 22. Oliveira L, Marchi L, Coutinho E, et al. A radiographic assessment of the ability of the extreme lateral interbody fusion procedure to indirectly decompress the neural elements[J]. *Spine*, 2010, 35(26 Suppl): S331–337.
 23. Limthongkul W, Tanasansomboon T, Yingsakmongkol W, et al. Indirect decompression effect to central Ccanal and ligamentum flavum after extreme lateral lumbar interbody fusion and oblique lumbar interbody fusion [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2020, 45(17): E1077–E1084.
 24. Navarro-Ramirez R, Lang G, Moriguchi Y, et al. Are locked facets a contraindication for extreme lateral interbody fusion [J]. *World Neurosurg*, 2017, 100: 607–618.
 25. Shimizu T, Fujibayashi S, Otsuki B, et al. Indirect decompression with lateral interbody fusion for severe degenerative lumbar spinal stenosis: minimum 1-year MRI follow-up [J]. *J Neurosurg Spine*, 2020. doi: 10.3171/2020.1.SPINE191412.
 26. Saadeh Y, Joseph J, Smith B, et al. Comparison of segmental lordosis and global spinopelvic alignment after single-level lateral lumbar interbody fusion or transforaminal lumbar interbody fusion [J]. *World Neurosurg*, 2019, 126: e1374–e1378.
 27. Nakashima H, Kanemura T, Satake K, et al. Changes in sagittal alignment following short-level lumbar interbody fusion: comparison between posterior and lateral lumbar interbody fusions[J]. *Asian Spine J*, 2019, 13(6): 904–912.
 28. McGowan J, Kanter A. Lateral approaches for the surgical treatment of lumbar Spondylolisthesis [J]. *Neurosurg Clin N Am*, 2019, 30(3): 313–322.
 29. Xu D, Bach K, Uribe J. Minimally invasive anterior and lateral transpoas approaches for closed reduction of grade II spondylolisthesis: initial clinical and radiographic experience [J]. *Neurosurgical focus*, 2018, 44(1): E4.
 30. Takami M, Taiji R, Okada M, et al. Lateral lumbar interbody fusion after reduction using the percutaneous pedicle screw system in the lateral position for Meyerding grade II spondylolisthesis: a preliminary report of a new lumbar reconstruction strategy[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2021, 22(1): 17.
 31. Metzger MF, Robinson ST, Maldonado RC, et al. Biomechanical analysis of lateral interbody fusion strategies for adjacent segment degeneration in the lumbar spine[J]. *Spine J*, 2017, 17(7): 1004–1011.
 32. Tan Y, Tanaka M, Fujiwara Y, et al. Effect of an adjustable hinged carbon fiber operating table on the coronal alignment of the lumbar spine during oblique lateral interbody fusion [J]. *World Neurosurg*, 2021, 149: e958–e962.
 33. Haque R, Mundis G, Ahmed Y, et al. Comparison of radiographic results after minimally invasive, hybrid, and open surgery for adult spinal deformity: a multicenter study of 184 patients[J]. *Neurosurg Focus*, 2014, 36(5): E13.
 34. Geddes B, Glassman SD, Mkorombindo T, et al. Improvement of coronal alignment in fractional low lumbar curves with the use of anterior interbody devices[J]. *Spine Deform*, 2021, 9(5): 1443–1447.
 35. Walker CT, Godzik J, Angel S, et al. Coronal balance with circumferential minimally invasive spinal deformity surgery for the treatment of degenerative scoliosis: are we leaning in the right direction[J]. *J Neurosurg Spine*, 2021. doi: 10.3171/2020.8.SPINE201147.
 36. Kepler C, Huang R, Sharma A, et al. Factors influencing segmental lumbar lordosis after lateral transpoas interbody fusion[J]. *Orthop Surg*, 2012, 4(2): 71–75.
 37. Costanzo G, Zoccali C, Maykowski P, et al. The role of minimally invasive lateral lumbar interbody fusion in sagittal balance correction and spinal deformity [J]. *Eur Spine J*, 2014, 23(Suppl 6): 699–704.
 38. Saigal R, Akbarnia BA, Eastlack RK, et al. Anterior column realignment: analysis of neurological risk and radiographic outcomes[J]. *Neurosurgery*, 2020, 87(3): E347–E54.
 39. Akbarnia BA, Mundis GM, Jr., Moazzaz P, et al. Anterior

- column realignment (ACR) for focal kyphotic spinal deformity using a lateral transpoas approach and ALL release [J]. *J Spinal Disord Tech*, 2014, 27(1): 29–39.
40. Li H, Xu Z, Li F, et al. Does lateral lumbar interbody fusion decrease the grading of Lenke–Silva classification and determine the optimal fusion level in severe adult degenerative scoliosis[J]. *World Neurosurg*, 2020, 139: e335–e344.
41. Park D, Lee M, Lin E, et al. The relationship of intrapsoas nerves during a transpoas approach to the lumbar spine: anatomic study[J]. *J Spinal Disord Tech*, 2010, 23(4): 223–228.
42. Eguchi Y, Norimoto M, Suzuki M, et al. Diffusion tensor tractography of the lumbar nerves before a direct lateral transpoas approach to treat degenerative lumbar scoliosis [J]. *J Neurosurg Spine*, 2019. doi: 10.3171/2018.9.SPINE18834.
43. Schonauer C, Stienen M, Gautschi O, et al. Endoscope-assisted extreme-lateral interbody fusion: preliminary experience and technical Note[J]. *World Neurosurg*, 2017, 103: 869–875.e3.
44. Zhengkuan X, Qixin C, Gang C, et al. The technical note and approach related complications of modified lateral lumbar interbody fusion[J]. *J Clin Neurosci*, 2019, 66: 182–186.
45. Walker CT, Farber SH, Cole TS, et al. Complications for minimally invasive lateral interbody arthrodesis: a systematic review and meta-analysis comparing prepsoas and transpoas approaches[J]. *J Neurosurg Spine*, 2019. doi: 10.3171/2018.9.SPINE18800.
46. Piazzolla A, Bizzoca D, Berjano P, et al. Major complications in extreme lateral interbody fusion access: multicentric study by Italian S.O.L.A.S. group[J]. *Eur Spine J*, 2021, 30(1): 208–216.
47. Xi Z, Mummaneni PV, Wang M, et al. The association between lower Hounsfield units on computed tomography and cage subsidence after lateral lumbar interbody fusion [J]. *Neurosurg Focus*, 2020, 49(2): E8.
48. Lang G, Navarro-Ramirez R, Gandevia L, et al. Elimination of subsidence with 26-mm-wide cages in extreme lateral interbody fusion[J]. *World Neurosurg*, 2017, 104: 644–652.
49. Liu X, Joseph J, Smith B, et al. Analysis of intraoperative cone-beam computed tomography combined with image Guidance for lateral lumbar interbody fusion [J]. *Oper Neurosurg(Hagerstown)*, 2018, 14(6): 620–626.
50. Strong M, Yee T, Khalsa S, et al. The feasibility of computer-assisted 3D navigation in multiple-level lateral lumbar interbody fusion in combination with posterior instrumentation for adult spinal deformity[J]. *Neurosurg Focus*, 2020, 49(3): E4.
51. Huntsman K, Riggleman J, Ahrendtsen L, et al. Navigated robot-guided pedicle screws placed successfully in single-position lateral lumbar interbody fusion [J]. *J Robot Surg*, 2020, 14(4): 643–647.
52. North R, Strong M, Yee T, et al. Navigation and robotic-assisted single-position prone lateral lumbar interbody fusion: technique, feasibility, safety, and case series [J]. *World Neurosurg*, 2021. doi: 10.1016/j.wneu.2021.05.097.
53. Swiatek P, McCarthy M, Weiner J, et al. Intraoperative image guidance for lateral position surgery[J]. *Ann Transl Med*, 2021, 9(1): 90.

(收稿日期:2021-07-14 修回日期:2021-10-26)

(本文编辑 李伟霞)