

专家共识

后路腰椎椎体间融合技术规范的专家共识

Expert consensus on technical specifications for posterior lumbar interbody fusion

中国康复医学会脊柱脊髓专业委员会腰椎研究学组

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2024.12.14

中图分类号: R687.3 文献标识码: C 文章编号: 1004-406X(2024)-12-1326-09

后路腰椎椎体间融合术是脊柱外科常用的手术技术,包括传统经椎间孔椎体间融合术(transforaminal lumbar interbody fusion, TLIF)和经后路椎体间融合术(posterior lumbar interbody fusion, PLIF)以及在其基础上进行的各种改良技术,可通过开放切口、通道或在内镜下完成。尽管具体操作上存在差异,但这些技术在椎间融合的基本理念和方法上存在共通点。目前已有多项腰椎融合技术的指南或专家共识^[1-3],但对于临床应用最广泛的后路腰椎椎体间融合术,国内尚无针对性的技术规范,手术效果不佳或并发症在临床工作中并不少见。为了规范该技术在国外的应用,中国康复医学会脊柱脊髓专业委员会腰椎研究学组牵头制订了本专家共识。本共识已在国际实践指南注册与透明化平台(guidelines-registry.org)注册(PREPARE-2024CN545)。

本工作组首先针对后路腰椎椎体间融合的技术细节拟定了一系列问题,随后以“lumbar interbody fusion”“PLIF”“TLIF”“后路腰椎椎体间融合”“经椎间孔腰椎椎体间融合”等关键词在 PubMed、Google Scholar、Web of Science、CNKI、万方和维普等数据库进行了广泛检索,依据检索结果拟定出上述问题的回答选项。经过 2 轮线上和 1 轮线下专家讨论,形成《后路腰椎椎体间融合技术规范专家共识》调查问卷。最后由中国康复医学会脊柱脊髓专业委员会腰椎研究学组牵头,联合组外共 87 位脊柱外科专家共同完成问卷调查。依据改良 Delphi 调查原则,对在第一轮中专家一致意见占比 $\geq 70\%$ 的内容纳入共识, $<30\%$ 不纳入共识, $\geq 30\%$ 且 $<70\%$ 进入下一轮,共经过 3 轮问卷调查和最终讨论形成本共识。

1 手术目的和术式

1.1 手术目的

后路腰椎椎体间融合手术的目的包括:(1)恢复腰椎节段稳定性;(2)减轻节段不稳所致的腰痛;(3)恢复椎间隙高度和局部前凸;(4)纠正冠、矢状面畸形;(5)同步进行神经减压^[4]。

1.2 手术方式

传统后路腰椎椎体间融合术包括 TLIF 和 PLIF 两种方式,TLIF 通过切除关节突,从椎间孔处置入融合器,通常单侧操作置入 1 枚融合器。PLIF 保留大部分关节突,通过切除椎板和棘突,牵开硬膜囊和神经根置入融合器,既可双侧操作对称置入 2 枚融合器,也可单侧操作置入 1 枚融合器。TLIF 相较于 PLIF 的优势在于术后并发症更少、硬膜囊和神经根损伤较少,可用于高位(L3 以上)的椎间融合和再手术硬膜囊存在瘢痕粘连者^[5]。TLIF 相较于 PLIF 的劣势在于单侧操作造成终板处理和椎间盘组织的切除不够彻底,外侧操作有损伤出口神经根的可能^[6]。由于 TLIF 能显著降低神经损伤风险,切除关节突所致的不稳可通过椎弓根螺钉固定解决,因此更推荐采用 TLIF 而非 PLIF 进行后路椎体间融合^[7]。

有学者在传统 TLIF 基础上进行了诸多改良,通过开放的肌间隙(Wiltse-TLIF)、通道(MIS-TLIF)或内镜(Endo-TLIF)完成融合,使手术操作更加微创。Wiltse-TLIF 和 MIS-TLIF 相比传统 TLIF 在临床疗效和并发症发生率方面没有显著性差异,前者术中出血量更少、术后腰痛评分更低、多裂肌损伤更小,并且更适用于肥胖患者,但 MIS-TLIF 的术中放射线暴露时间更长^[8]。Endo-TLIF 相对于 MIS-TLIF 会增加手术时间,但具有术中出血少、住院时间短、止痛剂使用率低等优势^[9,10]。综上,建议通过传统或改良 TLIF 方式进行后路腰椎椎体间融合,即切除关节突、保留棘突、从单侧置入 1 枚融合器,对于椎板结构可依据减压需要进行部分切除。

2 适应证与禁忌证

基金项目:上海市科学技术委员会科技计划项目(22DZ2203400)

通讯作者:赵杰 E-mail:profzhaojie@126.com;海涌 E-mail:yong.hai@ccmu.edu.cn

后路腰椎椎体间融合术的绝对适应证为腰椎不稳。腰椎不稳的判定标准为动力位 X 线片上相邻椎体前后滑移 $>3\text{mm}$ 或椎间角度变化超过 10° ^[11]。其他提示不稳的征象包括 MRI 显示小关节间隙存在积液、术中提拉发现小关节活动度过大等^[12,13]。对于腰椎椎管狭窄症、腰椎间盘突出症、椎间盘源性腰痛,如果没有节段不稳的证据,均不推荐进行椎间融合。对于没有节段不稳的腰椎滑脱症,在减压后是否需要行椎间融合仍存在较大争议,目前支持与反对的观点均有高证据等级的临床研究结果支持^[14],本次调查也未取得一致意见。对于需要固定融合的腰椎滑脱,应通过椎间撑开和钉棒系统进行复位^[15]。对于复发性腰椎间盘突出症,尽管并非所有病例都需接受椎间融合,单纯减压也可以取得良好的短期疗效,但椎间融合在减轻疼痛、减少术后不稳和避免椎间盘突出复发等方面更有优势^[16]。对于存在冠、矢状面畸形的症状性腰椎退变性疾病,关节突切除、椎间融合器置入和椎弓根螺钉固定可以起到畸形矫正和节段稳定作用^[17]。当腰椎椎管减压需要切除单侧小关节或双侧小关节切除均超过一半时,节段稳定性破坏较大,建议进行椎间融合。

综上,后路腰椎椎体间融合术的适应证包括:(1)存在节段不稳的腰椎退变性疾病;(2)复发性腰椎间盘突出症;(3)存在冠、矢状面畸形的症状性腰椎退变性疾病;(4)神经减压需切除单侧小关节,或双侧小关节切除均超过一半^[14,18]。后路腰椎椎体间融合术的禁忌证包括:(1)腰椎感染;(2)腰椎节段间骨性连接稳定^[19]。对于椎间隙塌陷明显的病例,椎间融合可能存在困难,需谨慎选择。

3 术前影像检查

术前建议完善的检查包括:腰椎正侧位 X 线片、腰椎动力位 X 线片、腰椎 CT、腰椎 MRI、骨密度^[20]。应在术前影像上评估以下参数:(1)椎间隙形态、高度、宽度、深度;(2)脊柱冠矢状面参数,包括腰椎前凸角(lumbar lordosis, LL)、骨盆入射角(pelvic incidence, PI)、骨盆倾斜角(pelvic tilt, PT)、骶骨倾斜角(sacral slope, SS)、矢状面垂直轴(sagittal vertical axis, SVA)、侧凸 Cobb 角、骶骨中垂线(center sacral vertical line, CSVL);(3)在 CT 二维重建上测量拟置钉椎弓根的直径、长度、角度^[21]。

4 手术操作

4.1 体位摆放

在实施后路腰椎椎体间融合术时建议采用伸髋俯卧位(髋关节最大伸直位),以维持俯卧位时腰椎生理性前凸。因髋关节伸直程度和腰椎前凸角度呈正相关性^[22,23]。屈髋俯卧位会导致腰椎生理性前凸减小,在此体位固定融合可能导致术后出现医源性平背综合征^[24]。即使为了方便置入融合器采用屈髋位,在置入融合器后也应调整为伸髋位^[25],这对于多节段固定融合尤为重要。

4.2 减压

在椎间融合同时应对引起症状的狭窄部位进行充分减压,通常按照置钉、减压、椎间处理及融合的顺序进行操作^[26]。由于邻近节段椎板切除会影响稳定性,对于没有产生症状的影像学椎管狭窄,有研究认为无需同时减压^[27,28]。同时有研究发现当重度狭窄节段邻近节段存在中度狭窄时,行双节段减压在临床疗效方面并不优于仅减压重度狭窄节段^[29]。但也有研究发现对于存在发育性椎管狭窄的患者,邻近节段再手术率显著升高^[30]。因此,对于没有引起神经损害但影像学存在狭窄的节段可以不常规进行预防性椎管减压^[29-31],但需依据术前影像和术中情况综合判断。进行邻近节段减压时,应尽可能保留小关节完整。

4.3 处理椎间隙

处理椎间隙时可以交替使用铰刀、终板刮刀、刮匙、髓核钳等工具。处理过程中采用不同试模由小至大逐级撑开椎间隙。由于椎间隙后缘高度通常小于其中部高度,在椎间隙撑至最大高度后,可通过同侧或对侧椎弓根螺钉尾帽的临时锁定来维持椎间隙高度,以利于融合器置入时通过椎间隙后缘相对狭窄的部分^[22]。椎间隙处理应做到:(1)尽可能去除椎间隙内髓核组织,包括硬膜囊腹侧和椎间隙外侧髓核;(2)彻底去除软骨终板;(3)将骨性终板刮至点状渗血状态但要保证骨性终板完整^[32]。

5 融合器选择

5.1 融合器数量

每个椎间隙放置 1 枚融合器^[33]。

5.2 融合器材质

5.2.1 聚醚醚酮(polyetheretherketone, PEEK) PEEK 为人工合成材料,具有较高的抗压强度和较低的弹性模量,能够有效维持椎间隙高度并避免沉降,并且可以透过 X 射线。其表面的疏水层使得微生物无法附着,可有效避免感染,但其不利于细胞和骨组织长入,融合面积较小,会影响融合速率^[34,35]。

5.2.2 钛合金 与 PEEK 材料相反,钛合金表面粗糙可使骨与融合器锚定,孔隙允许骨长入,融合率高。但其弹性模量远大于骨组织,沉降率较高,不适合骨质疏松患者^[35]。

5.2.3 3D 打印多孔钛合金 3D 打印多孔钛合金可根据患者椎间隙的大小、终板形状、椎体受力情况设计融合器的形状和内部结构,制备合适大小、孔隙率、弹性模量的融合器,其生物相容性高,并能增加骨与融合器间的接触面积,在促进融合同时可以有效减少沉降发生^[36]。

综上,可选用 PEEK 和钛合金材质融合器,但传统钛合金融合器有弹性模量过大的弊端,3D 打印多孔钛合金融合器可有效降低弹性模量。

5.3 融合器形状

融合器在横断面上可分为弯曲形(肾形/香蕉形)、直线形(矩形)两类。RCT 研究结果^[37]显示,二者融合率相似,弯曲形可增加终板接触面积,并且纠正局部前凸能力优于直线形,但由于置入后位置整体更靠椎体中心,弯曲形融合器术后沉降率高于直线形。融合器在矢状面上分为有角度的楔形、双面弧形、矩形、可撑开式等类型。具有一定前凸角度的楔形融合器有利于恢复腰椎节段前凸,但楔形角度越大椎间隙前方牵张力越大,会增加不融合率^[38]。双面弧形融合器有利于恢复腰椎前凸并防止沉降^[39]。可撑开融合器同样可恢复节段前凸,但会显著增加融合器沉降风险^[40]。因此,建议采用横截面为弯曲或直线型,矢状面为楔形或双面弧形的融合器^[38]。

5.4 融合器尺寸

根据患者个体情况选择融合器高度,过低无法维持有效的椎间高度,过高则容易发生沉降。对于轻中度腰椎退变患者,融合器高度不超过原有椎间高度 2mm,而对于严重退变的患者,可选择接近原有椎间高度的融合器。融合器高度还可根据上一节段椎间隙高度(非负重情况下)测算,以不超过上位椎间高度 1.3mm 为宜^[41,42]。对终板的影像学测量结果显示,后入路椎间融合采用的融合器长度可在 24~30mm 之间^[43]。融合器越长,越不容易发生沉降,并且维持节段前凸的能力也更强^[44],融合器越短向后移位的风险越大^[45]。因此,融合器的高度应结合术前测量的手术椎间隙高度、邻近节段椎间隙高度和术中试模尺寸综合判定^[41,42],最常用的融合器高度为 10~12mm。融合器的长度应依据术前测量和术中透视确定,最常用的融合器长度为 22~28mm。

5.5 融合器位置

5.5.1 融合器方向 融合器横置和斜置的临床结果相同,但在改善矢状面参数(如恢复腰椎前凸)上横置优于斜置^[46]。

5.5.2 矢状面位置 TLIF 术式提出者 Harms 建议将融合器放置在椎间隙中间或后 1/3 位置,这个位置有利于增加椎间孔高度^[47]。但融合器放置偏后会增加移位和沉降风险^[45,48]。将融合器前置可使其与椎弓根螺钉构建框架结构,增加稳定性并促进植骨融合,降低融合器沉降风险^[37];并且放置前方有利于恢复腰椎前凸^[39,49,50]。

5.5.3 冠状面位置 冠状面上居中放置的融合器在左右侧屈活动时具有最佳的力学稳定性^[51]。融合器偏一侧放置可增加同侧椎间孔高度,但同时可能导致对侧椎间孔高度下降并挤压出口神经根^[52,53]。

综上,建议将融合器斜向置入椎间隙并尽可能调整接近横置,在矢状面上置于椎间隙前半部,在冠状面居于中线。

6 椎间植骨

6.1 植骨位置

融合器内外部均应植骨,将融合器内部区域作为植骨的重点,外部植骨置于融合器腹侧^[54],植骨量应尽量多,以连接上下椎体。

6.2 植骨来源

椎间植骨可采用减压时获取的自体骨、自体髂骨取骨、同种异体骨、人工骨材料和骨生物制品^[55]。应用融合器的情况下,采用术中减压获得的自体松质颗粒骨骨量足够完成椎间植骨,并且可以获得满意的融合效果和临床疗效,同时避免取自体髂骨带来的额外损伤和疼痛^[56]。常用的骨生物制品为重组骨形态发生蛋白 2 (recombinant bone morphogenetic proteins 2, rhBMP-2),对于自体骨,加用 rhBMP-2 并不能增加后路椎间融合的融合率^[57],并且其应用于 TLIF 时存在骨溶解可能,会增加融合器移位和沉降的风险^[58]。

7 内固定螺钉

7.1 类型

内固定螺钉包括传统椎弓根螺钉、经皮椎弓根螺钉和皮质骨轨迹螺钉。通常选择多轴椎弓根螺钉进行固定,经皮椎弓根螺钉固定可减少损伤,但会增加放射线暴露^[59]。皮质骨轨迹螺钉对近端关节突和肌肉的破坏较小,可降低邻近节段退变的风险^[60],但目前尚不能替代椎弓根螺钉。

7.2 固定方式

内固定方式包括双侧固定和单侧固定,双侧固定在强度上特别是抗旋转强度上优于单侧固定,多数患者需要接受双侧螺钉固定^[61]。对于合适的病例,单侧固定和融合可通过一侧显露完成,在获得与双侧固定相同的临床疗效同时,手术创伤更小。但单侧固定对融合器选择和技术操作有一定要求,否则可能增加融合器移位等并发症风险^[62]。

7.3 锁定前加压

当融合器置于椎间隙前部时,在椎弓根螺钉之间加压有助于增大腰椎前凸^[63]。同时这项操作会降低椎间孔高度,需警惕术后发生椎间孔狭窄可能^[52]。

7.4 增加固定强度方法

对于骨质疏松患者,可通过骨水泥螺钉强化、双皮质固定、尽可能增加螺钉直径和外展角等方法增加椎弓根螺钉固定的强度^[64]。

8 手术并发症

8.1 并发症和术中特殊情况

后路腰椎椎体间融合术的手术并发症发生率约 11%~31%,包括术后血肿、感染、神经根损伤、硬膜囊撕裂、椎弓根螺钉松动、植骨不融合、融合器移位或沉降、邻近节段退变或邻椎病等^[65,66]。发生并发症的全身性危险因素包括高龄、肥胖(BMI>30kg/m²)、糖尿病、严重骨质疏松(骨密度 T 值<-3.5)^[67,68]。当术中发现以下情况时应引起特别注意:(1)椎间隙大量出血;(2)血压进行性下降;(3)融合器突破前方纤维环;(4)骨性终板严重破坏;(5)融合器进入椎体;(6)神经根变异;(7)神经根损伤;(8)硬膜囊破裂。

8.2 融合器移位与沉降

术后融合器移位发生率约 5%~8%,危险因素包括:(1)融合器尺寸过小;(2)融合器位置靠后;(3)软骨终板处理不充分;(4)骨性终板破坏;(5)椎弓根螺钉松动;(6)骨质疏松^[48,69,70]。术后融合器沉降发生率约 7%~30%,危险因素包括:(1)骨质疏松;(2)融合器位置偏后;(3)骨性终板破坏;(4)钛合金融合器^[35,71-73]。当融合器发生移位或沉降时,患者无症状定期随访即可,产生症状者需接受翻修手术。

9 术后影像与融合判定

9.1 术后影像评估

术后需复查腰椎正侧位 X 线片和 CT 评估内置物位置及减压范围,各随访时间点需复查腰椎正侧位 X 线片,评估术后腰椎冠矢状面参数变化。术中关节突切除、椎间隙撑开、融合器前置和螺钉间加压等操作可有效恢复腰椎节段前凸^[50],同时改善腰椎整体矢状面排列^[74],椎间隙撑开和钉棒固定可矫正部分节段侧凸和侧方滑移^[17]。

9.2 融合判定

后路腰椎椎体间融合的最终融合率在 80%以上,影响融合的不利因素包括:(1)软骨终板处理不彻底;(2)融合器选择不当;(3)椎间植骨量不足;(4)椎间隙感染;(5)骨质疏松;(6)营养不良;(7)糖尿病;(8)肥胖;(9)吸烟;(10)风湿免疫性疾病^[75]。CT 是判断椎间融合的首选无创方法,术后 1 年应行 CT 评估融合情况^[76],融合标准为 CT 矢状面重建可见连续骨组织通过间隙^[77]。

10 术后临床评价与康复

10.1 临床疗效评价

可采用疼痛视觉模拟量表(visual analogue scale,VAS)、Oswestry 功能障碍指数(Oswestry disability index,ODI)问卷表和 SF-36 生活质量评分系统评估手术临床疗效^[78]。

10.2 术后腰围佩戴

对于后路腰椎椎体间融合术后是否需要佩戴腰围目前仍有争议。Meta 分析结果显示,腰椎融合术后是否佩戴腰围对于患者术后疼痛评分、功能恢复、并发症发生率和融合率没有显著性影响^[79],因此,美国神经外科医师协会在其指南中不推荐患者在腰椎融合术后佩戴腰围^[80]。北美学者曾在 2009 年和 2021 年做过两次有关术后腰围使用情况的调查,尽管比例有所下降,但仍有约 30%的医师要求患者在后路腰椎椎体间融合术后佩戴腰围,其理由为减轻术后疼痛和减缓活动速度^[81,82]。本共识中,多数专家仍推荐患者术后佩戴腰围。文献报道术后佩戴腰围的时间通常为 3 个月,也有学者认为佩戴 6~8 周即可^[79,81,82]。综上,建议患者术后佩戴腰围 1~3 个月^[79,82]。

10.3 术后活动及锻炼

患者术后尽早下地活动可以缩短住院时间,减少住院费用并降低术后并发症^[83]。基于术后加速康复理念,患者麻醉清醒后就应在床上进行肢体功能锻炼,术后第一天即可坐起并开始下地站立行走^[84],MIS-TLIF 术后甚至可以做到当天下地

活动^[85]。总之,建议患者在术后 1 周内起床活动^[83,84]。术后可通过臀桥、小燕飞、五点支撑、步行、游泳等方式进行腰背肌锻炼^[86]。

11 总结

本共识围绕后路腰椎椎体间融合术的手术技术和围手术期处理,依据专家意见汇总形成,目的在于推动该技术的规范化和标准化,保证手术长期疗效,减少术后并发症发生。由于该技术临床应用广泛,虽然基本原则和理念相同,但在临床实践中不同术者的具体操作和细节处理存在诸多差异。本共识仅代表参与调查的多数专家意见,争议在所难免,临床工作中仍需根据患者具体情况和术者个人经验,为患者提供个性化的治疗。

12 参考文献

1. 中国康复医学会脊柱脊髓损伤专业委员会脊柱微创学组, 中国康复医学会脊柱脊髓专业委员会腰椎研究学组. 脊柱内镜辅助下腰椎椎体间融合术应用的中国专家共识[J]. 中华医学杂志, 2023, 103(5): 329-335.
2. 中国康复医学会脊柱脊髓专业委员会腰椎研究学组. 腰椎侧方椎间融合术应用中国专家共识[J]. 中华医学杂志, 2021, 101(3): 199-204.
3. 孟海, 杨雍, 孙天胜, 等. 腰椎后路手术椎间融合器应用的专家共识[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2021, 31(4): 379-384.
4. Mobbs RJ, Phan K, Malham G, et al. Lumbar interbody fusion: techniques, indications and comparison of interbody fusion options including PLIF, TLIF, MI-TLIF, OLIF/ATP, LLIF and ALIF[J]. J Spine Surg, 2015, 1(1): 2-18.
5. de Kunder SL, van Kuijk SM, 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.
6. Rihn JA, Gandhi SD, Sheehan P, et al. Disc space preparation in transforaminal lumbar interbody fusion: a comparison of minimally invasive and open approaches[J]. Clin Orthop Relat Res, 2014, 472(6): 1800-1805.
7. Chi KY, Cheng SH, Kuo YK, et al. Safety of lumbar interbody fusion procedures for degenerative disc disease: a systematic review with network meta-analysis of prospective studies[J]. Global Spine J, 2021, 11(5): 751-760.
8. Heemskerk JL, Akinduro OO, Clifton W, et al. Long-term clinical outcome of minimally invasive versus open single-level transforaminal lumbar interbody fusion for degenerative lumbar diseases: a meta-analysis[J]. Spine J, 2021, 21(12): 2049-2065.
9. Luan H, Peng C, Liu K, et al. Comparing the efficacy of unilateral biportal endoscopic transforaminal lumbar interbody fusion and minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion in lumbar degenerative diseases: a systematic review and meta-analysis[J]. J Orthop Surg Res, 2023, 18(1): 888.
10. Guo H, Song Y, Weng R, et al. Comparison of clinical outcomes and complications between endoscopic and minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion for lumbar degenerative diseases: a systematic review and meta-analysis[J]. Global Spine J, 2023, 13(5): 1394-1404.
11. Elmoose SF, Andersen GO, Carreon LY, et al. Radiological definitions of sagittal plane segmental instability in the degenerative lumbar spine: a systematic review[J]. Global Spine J, 2023, 13(2): 523-533.
12. Leone A, Guglielmi G, Cassar-Pullicino VN, et al. Lumbar intervertebral instability: a review[J]. Radiology, 2007, 245(1): 62-77.
13. Aggarwal A, Garg K. Lumbar facet fluid—does it correlate with dynamic instability in degenerative spondylolisthesis: a systematic review and Meta-analysis[J]. World Neurosurg, 2021, 149: 53-63.
14. Gadjradj PS, Basilious M, Goldberg JL, et al. Decompression alone versus decompression with fusion in patients with lumbar spinal stenosis with degenerative spondylolisthesis: a systematic review and meta-analysis[J]. Eur Spine J, 2023, 32(3): 1054-1067.
15. Longo UG, Loppini M, Romeo G, et al. Evidence-based surgical management of spondylolisthesis: reduction or arthrodesis in situ [J]. J Bone Joint Surg Am, 2014, 96(1): 53-58.
16. Arif S, Brady Z, Enchev Y, et al. Is fusion the most suitable treatment option for recurrent lumbar disc herniation: a systematic review[J]. Neurol Res, 2020, 42(12): 1034-1042.
17. Wang G, Hu J, Liu X, et al. Surgical treatments for degenerative lumbar scoliosis: a meta analysis[J]. Eur Spine J, 2015, 24(8): 1792-1799.
18. Shen J, Wang Q, Wang Y, et al. Comparison between fusion and non-fusion surgery for lumbar spinal stenosis: a meta-analysis[J]. Adv Ther, 2021, 38: 1404-1414.
19. Kim YH, Ha KY, Rhyu KW, et al. Lumbar interbody fusion: techniques, pearls and pitfalls[J]. Asian Spine J, 2020, 14(5): 730-741.
20. Eck JC, Sharan A, Resnick DK, et al. Guideline update for the performance of fusion procedures for degenerative disease of the lumbar spine. Part 6: discography for patient selection[J]. J Neurosurg Spine, 2014, 21(1): 37-41.

21. Makino T, Kaito T, Fujiwara H, et al. Analysis of lumbar pedicle morphology in degenerative spines using multiplanar reconstruction computed tomography: what can be the reliable index for optimal pedicle screw diameter[J]. *Eur Spine J*, 2012, 21(8): 1516–1521.
22. Jagannathan J, Sansur CA, Oskouian Jr RJ, et al. Radiographic restoration of lumbar alignment after transforaminal lumbar interbody fusion[J]. *Neurosurgery*, 2009, 64(5): 955–964.
23. Miyazaki M, Ishihara T, Abe T, et al. Effect of intraoperative position in single-level transforaminal lumbar interbody fusion at the L4/5 level on segmental and overall lumbar lordosis in patients with lumbar degenerative disease[J]. *Medicine(Baltimore)*, 2019, 98(39): e17316.
24. Boody BS, Rosenthal BD, Jenkins TJ, et al. Iatrogenic flatback and flatback syndrome: evaluation, management, and prevention[J]. *Clin Spine Surg*, 2017, 30(4): 142–149.
25. Kim JK, Moon BG, Kim DR, et al. Postoperative flat back: contribution of posterior accessed lumbar interbody fusion and spinopelvic parameters[J]. *J Korean Neurosurg Soc*, 2014, 56(4): 315.
26. Lener S, Wipplinger C, Hernandez RN, et al. Defining the MIS-TLIF: a systematic review of techniques and technologies used by surgeons worldwide[J]. *Global Spine J*, 2020, 10(2 Suppl): 151–167.
27. Katz JN, Zimmerman ZE, Mass H, et al. Diagnosis and management of lumbar spinal stenosis: a review[J]. *JAMA*, 2022, 327(17): 1688–1699.
28. Lurie J, Tomkins-Lane C. Management of lumbar spinal stenosis[J]. *Bmj*, 2016, 352: h6234.
29. Tronstad S, Haug KJ, Myklebust TA, et al. Do patients with lumbar spinal stenosis benefit from decompression of levels with adjacent moderate stenosis: a prospective cohort study from the NORDSTEN study[J]. *Spine J*, 2024, 24(6): 1015–1021.
30. Cheung P, Fong H, Wong C, et al. The influence of developmental spinal stenosis on the risk of re-operation on an adjacent segment after decompression-only surgery for lumbar spinal stenosis[J]. *Bone Joint J*, 2019, 101(2): 154–161.
31. Matsumoto T, Okuda S, Nagamoto Y, et al. Effects of concomitant decompression adjacent to a posterior lumbar interbody fusion segment on clinical and radiologic outcomes: comparative analysis 5 years after surgery[J]. *Global Spine J*, 2019, 9(5): 505–511.
32. Xiao Y, Chen Q, Li F. Unilateral transforaminal lumbar interbody fusion: a review of the technique, indications and graft materials [J]. *J Int Med Res*, 2009, 37(3): 908–917.
33. Liu J, Tang J, Liu H. Comparison of one versus two cages in lumbar interbody fusion for degenerative lumbar spinal disease: a Meta-analysis[J]. *Orthop Surg*, 2014, 6(3): 236–243.
34. Muthiah N, Yolcu YU, Alan N, et al. Evolution of polyetheretherketone(PEEK) and titanium interbody devices for spinal procedures: a comprehensive review of the literature[J]. *Eur Spine J*, 2022, 31(10): 2547–2556.
35. Tan JH, Cheong CK, Hey HWD. Titanium(Ti) cages may be superior to polyetheretherketone(PEEK) cages in lumbar interbody fusion: a systematic review and meta-analysis of clinical and radiological outcomes of spinal interbody fusions using Ti versus PEEK cages[J]. *Eur Spine J*, 2021, 30: 1285–1295.
36. Patel NA, O'Bryant S, Rogers CD, et al. Three-dimensional-printed titanium versus polyetheretherketone cages for lumbar interbody fusion: a systematic review of comparative in vitro, animal, and human studies[J]. *Neurospine*, 2023, 20(2): 451.
37. Choi WS, Kim JS, Hur JW, 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*, 2018, 82(3): 289–298.
38. Hong TH, Cho KJ, Kim YT, et al. Does lordotic angle of cage determine lumbar lordosis in lumbar interbody fusion[J]. *Spine*, 2017, 42(13): E775–E80.
39. Kim JT, Shin MH, Lee HJ, et al. Restoration of lumbopelvic sagittal alignment and its maintenance following transforaminal lumbar interbody fusion(TLIF): comparison between straight type versus curvilinear type cage[J]. *Eur Spine J*, 2015, 24: 2588–2596.
40. Gelfand Y, Benton J, De la Garza-Ramos R, et al. Effect of cage type on short-term radiographic outcomes in transforaminal lumbar interbody fusion[J]. *World Neurosurg*, 2020, 141: e953–e958.
41. Pisano AJ, Fredericks DR, Steelman T, et al. Lumbar disc height and vertebral Hounsfield units: association with interbody cage subsidence[J]. *Neurosurg Focus*, 2020, 49(2): E9.
42. Lu X, Li D, Wang H, et al. Biomechanical effects of interbody cage height on adjacent segments in patients with lumbar degeneration: a 3D finite element study[J]. *J Orthop Surg Res*, 2022, 17(1): 325.
43. Sun C, Wang H, Jiang J, et al. Length of lumbar interbody cage using radiological measurements of Chinese endplates and the apophyseal ring[J]. *World Neurosurg*, 2018, 116: e1204–e1213.
44. Yuan W, Kaliya-Perumal AK, Chou SM, et al. Does lumbar interbody cage size influence subsidence: a biomechanical study[J]. *Spine*, 2020, 45(2): 88–95.
45. Hu YH, Niu CC, Hsieh MK, et al. Cage positioning as a risk factor for posterior cage migration following transforaminal lumbar in

- terbody fusion—an analysis of 953 cases[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2019, 20(1): 260.
46. Liang Y, Zhao Y, Xu S, et al. Effects of different orientations of cage implantation on lumbar interbody fusion[J]. *World Neurosurg*, 2020, 140: e97–e104.
47. Tallarico RA, Lavelle WF, Bianco AJ, et al. Positional effects of transforaminal interbody spacer placement at the L5–S1 intervertebral disc space: a biomechanical study[J]. *Spine J*, 2014, 14(12): 3018–3024.
48. Park MK, Kim KT, Bang WS, et al. Risk factors for cage migration and cage retropulsion following transforaminal lumbar interbody fusion[J]. *Spine J*, 2019, 19(3): 437–447.
49. Landham PR, Don AS, Robertson PA. Do position and size matter: an analysis of cage and placement variables for optimum lordosis in PLIF reconstruction[J]. *Eur Spine J*, 2017, 26: 2843–2850.
50. Lovecchio FC, Vaishnav AS, Steinhilber ME, et al. Does interbody cage lordosis impact actual segmental lordosis achieved in minimally invasive lumbar spine fusion[J]. *Neurosurg Focus*, 2020, 49(3): E17.
51. Castellvi AD, Thampi SK, Cook DJ, et al. Effect of TLIF cage placement on in vivo kinematics[J]. *Int J Spine Surg*, 2015, 9: 38.
52. Iwata T, Miyamoto K, Hioki A, et al. Morphologic changes in contralateral lumbar foramen in unilateral cantilever transforaminal lumbar interbody fusion using kidney-type intervertebral spacers[J]. *J Spinal Disord Tech*, 2015, 28(5): E270–E276.
53. Cho PG, Park SH, Kim KN, et al. A morphometric analysis of contralateral neural foramen in TLIF[J]. *Eur Spine J*, 2015, 24(4): 783–790.
54. Xu S, Zang L, Lu Q, et al. Characteristics of interbody bone graft fusion after transforaminal lumbar interbody fusion according to intervertebral space division[J]. *Front Surg*, 2022, 9: 1004230.
55. Meng B, Bunch J, Burton D, et al. Lumbar interbody fusion: recent advances in surgical techniques and bone healing strategies[J]. *Eur Spine J*, 2021, 30(1): 22–33.
56. Ito Z, Matsuyama Y, Sakai Y, et al. Bone union rate with autologous iliac bone versus local bone graft in posterior lumbar interbody fusion[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2010, 35(21): E1101–E1105.
57. Galimberti F, Lubelski D, Healy AT, et al. A systematic review of lumbar fusion rates with and without the use of rhBMP-2[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2015, 40(14): 1132–1139.
58. Knox CJB, Dai CJM, Orchowski LJ. Osteolysis in transforaminal lumbar interbody fusion with bone morphogenetic protein-2[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2011, 36(8): 672–676.
59. Ishii K, Funao H, Isogai N, et al. The history and development of the percutaneous pedicle screw(PPS) system[J]. *Medicina(Kaunas)*, 2022, 58(8): 1064.
60. Qiu L, Niu F, Wu Z, et al. Comparative outcomes of cortical bone trajectory screw fixation and traditional pedicle screws in lumbar fusion: a meta-analysis[J]. *World Neurosurg*, 2022, 164: e436–e445.
61. Ambati DV, Wright Jr EK, Lehman Jr RA, et al. Bilateral pedicle screw fixation provides superior biomechanical stability in transforaminal lumbar interbody fusion: a finite element study[J]. *Spine J*, 2015, 15(8): 1812–1822.
62. Xu L, Lin X, Wu C, et al. Is unilateral pedicle screw fixation as effective as bilateral pedicle screw fixation in transforaminal lumbar interbody fusion: a meta-analysis of randomized controlled trials[J]. *Eur Spine J*, 2023, 32(2): 700–711.
63. Menachem S, Seex K. A biomechanical study shows the direction of compression influences the amount of lordosis gained in lumbar fusion[J]. *Clin Biomech(Bristol, Avon)*, 2023, 101: 105862.
64. Singh V, Mahajan R, Das K, et al. Surgical trend analysis for use of cement augmented pedicle screws in osteoporosis of spine: a systematic review(2000–2017)[J]. *Global Spine J*, 2019, 9(7): 783–795.
65. Chrastil J, Patel AA. Complications associated with posterior and transforaminal lumbar interbody fusion[J]. *J Am Acad Orthop Surg*, 2012, 20(5): 283–291.
66. Weiss H, Garcia RM, Hopkins B, et al. A systematic review of complications following minimally invasive spine surgery including transforaminal lumbar interbody fusion[J]. *Curr Rev Musculoskelet Med*, 2019, 12(3): 328–339.
67. Jenkins NW, Parrish JM, Hrynewycz NM, et al. Complications following minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion: incidence, independent risk factors, and clinical impact[J]. *Clin Spine Surg*, 2020, 33(5): E236–E240.
68. Huang J, Rabin EE, Stricsek GP, et al. Outcomes and complications of minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion in the elderly: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Neurosurg Spine*, 2021, 36(5): 741–752.
69. Hou Y, Shi H, Shi H, et al. A meta-analysis of risk factors for cage migration after lumbar fusion surgery[J]. *World Neurosurg X*, 2023, 18: 100152.
70. Liu K, Chang H, Wang L, et al. Risk factors for cage retropulsion after lumbar interbody fusion: systematic review and meta-analysis[J]. *World Neurosurg*, 2019, 132: 273–281.
71. 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.
72. Parisien A, Wai EK, ElSayed MS, et al. Subsidence of spinal fusion cages: a systematic review[J]. Int J Spine Surg, 2022, 16(6): 1103–1118.
73. Yao YC, Chou PH, Lin HH, et al. Risk factors of cage subsidence in patients received minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2020, 45(19): E1279–E1285.
74. Carlson BB, Saville P, Dowdell J, et al. Restoration of lumbar lordosis after minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion: a systematic review[J]. Spine J, 2019, 19(5): 951–958.
75. Formica M, Vallergera D, Zanirato A, et al. Fusion rate and influence of surgery-related factors in lumbar interbody arthrodesis for degenerative spine diseases: a meta-analysis and systematic review[J]. Musculoskelet Surg, 2020, 104(1): 1–15.
76. Choudhri TF, Mummaneni PV, Dhall SS, et al. Guideline update for the performance of fusion procedures for degenerative disease of the lumbar spine. Part 4: radiographic assessment of fusion status[J]. J Neurosurg Spine, 2014, 21(1): 23–30.
77. Gruskay JA, Webb ML, Grauer JN. Methods of evaluating lumbar and cervical fusion[J]. Spine J, 2014, 14(3): 531–539.
78. Winebrake JP, Lovecchio F, Steinhaus M, et al. Wide variability in patient-reported outcomes measures after fusion for lumbar spinal stenosis: a systematic review[J]. Global Spine J, 2020, 10(2): 209–215.
79. Jones JJ, Oduwole S, Feinn R, et al. Postoperative bracing on pain, disability, complications, and fusion rate following 1–3+ level lumbar fusion in degenerative conditions: a meta-analysis[J]. Clin Spine Surg, 2021, 34(2): 56–62.
80. Dailey AT, Ghogawala Z, Choudhri TF, et al. Guideline update for the performance of fusion procedures for degenerative disease of the lumbar spine. Part 14: brace therapy as an adjunct to or substitute for lumbar fusion[J]. J Neurosurg Spine, 2014, 21(1): 91–101.
81. Bible JE, Biswas D, Whang PG, et al. Postoperative bracing after spine surgery for degenerative conditions: a questionnaire study[J]. Spine J, 2009, 9(4): 309–316.
82. Pathak N, Scott MC, Galivanche AR, et al. Postoperative bracing practices after elective lumbar spine surgery: a questionnaire study of US spine surgeons[J]. N Am Spine Soc J, 2021, 5: 100055.
83. Liao J, Qi Z, Chen B, et al. Association between early ambulation exercise and short-term postoperative recovery after open transforaminal lumbar interbody fusion: a single center retrospective analysis[J]. BMC Musculoskelet Disord, 2023, 24(1): 345.
84. Porche K, Samra R, Melnick K, et al. Enhanced recovery after surgery(ERAS) for open transforaminal lumbar interbody fusion: a retrospective propensity-matched cohort study[J]. Spine J, 2022, 22(3): 399–410.
85. Subramanian T, Araghi K, Sivaganesan A, et al. Ambulatory lumbar fusion: a systematic review of perioperative protocols, patient selection criteria, and outcomes[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2023, 48(4): 278–287.
86. Özden F. The effectiveness of physical exercise after lumbar fusion surgery: a systematic review and meta-analysis[J]. World Neurosurgery, 2022, 163: e396–e412.

牵头专家

赵杰(上海交通大学医学院附属第九人民医院) 海涌(首都医科大学附属北京朝阳医院)

执笔专家

程晓非(上海交通大学医学院附属第九人民医院) 马辉(上海交通大学医学院附属第九人民医院) 赵长清(上海交通大学医学院附属第九人民医院) 刘玉增(首都医科大学附属北京朝阳医院) 吴爱悯(温州医科大学附属第二医院) 张凯(上海交通大学医学院附属第九人民医院) 孙晓江(上海交通大学医学院附属第九人民医院) 王昕(上海交通大学医学院附属第九人民医院)

参与讨论专家(按照姓氏汉语拼音排序)

敖俊(遵义医科大学附属医院) 白玉树(上海长海医院) 蔡海康(上海市徐汇区中心医院) 曹鹏(上海交通大学医学院附属瑞金医院) 陈伯华(青岛大学附属医院) 陈华江(上海长征医院) 陈亮(苏州大学附属第一医院) 陈其昕(浙江大学医学院附属第二医院) 陈子贤(复旦大学附属中山医院) 程晓非(上海交通大学医学院附属第九人民医院) 邓树才(天津医院) 董健(复旦大学附属中山医院) 费琴明(复旦大学附属中山医院) 郭涛(贵州省人民医院) 郭昭庆(北京大学第三医院) 海涌(首都医科大学附属北京朝阳医院) 何志敏(上海市第四人民医院) 贺宝荣(西安市红会医院) 贺石生(上海市第十人民医院) 洪正华(浙江省台州医院) 黄宇峰(同济大学附属东方医院) 贾永伟(上海市浦东新区周浦医院) 姜建元(复旦大学附属华山医院) 李淳德(北京大学第一医院) 李方财(浙江大学医学院附属第二医院) 李放(解放军总医院第七医学中心) 李锋(华中科技大学同济医学院附属同济医院) 李利(解放军总医院第四医学中心) 李熙雷(复旦大学附属中山医院) 梁裕(上海交通大学医学院附属瑞金医院) 刘宝戈(首都医科大学附属北京天坛

医院) 刘海鹰(北京大学人民医院) 刘浩(四川大学华西医院) 刘宏建(郑州大学第一附属医院) 刘晓东(上海市杨浦区中心医院) 刘阳(大连医科大学附属第一医院) 刘洋(上海长征医院) 刘玉增(首都医科大学附属北京朝阳医院) 鲁世保(首都医科大学宣武医院) 吕飞舟(复旦大学附属华山医院) 马俊明(上海中医药大学附属龙华医院) 马晓生(复旦大学附属华山医院) 马学晓(青岛大学附属医院) 毛海青(苏州大学附属第一医院) 莫文(上海中医药大学附属龙华医院) 齐强(北京大学第三医院) 钱邦平(南京鼓楼医院) 申才良(安徽医科大学第一附属医院) 沈洪兴(上海交通大学医学院附属仁济医院) 盛伟斌(新疆医科大学第一附属医院) 石志才(上海长海医院) 史建刚(上海长征医院) 宋滇文(上海交通大学医学院附属第一人民医院) 王丰(中国医科大学第一医院) 王华东(解放军总医院第四医学中心) 王欢(中国医科大学附属盛京医院) 王健(上海浦东新区人民医院) 王明飞(上海市普陀区中心医院) 王善金(上海市东方医院) 王哲(西京医院) 伍骥(空军军医大学空军特色医学中心) 奚春阳(哈尔滨医科大学附属第二医院) 夏群(天津市第一中心医院) 肖杰(贵州省贵阳市第四人民医院) 徐建广(上海市交通大学医学院附属第六人民医院) 闫景龙(哈尔滨医科大学附属第二医院) 杨海松(上海四一一医院) 杨惠林(苏州大学附属第一医院) 杨立利(上海长征医院) 杨群(大连医科大学附属第一医院) 杨学军(内蒙古医科大学第二附属医院) 叶晓健(上海市同仁医院) 叶正旭(西京医院) 殷国勇(江苏省人民医院) 殷潇凡(复旦大学附属闵行中心医院) 张强(首都医科大学附属北京地坛医院) 张涛(上海市交通大学医学院附属第六人民医院) 张兴凯(上海交通大学医学院附属瑞金医院) 张岩(上海市浦东新区公利医院) 赵杰(上海交通大学医学院附属第九人民医院) 赵庆华(上海交通大学医学院附属第一人民医院) 赵长清(上海交通大学医学院附属第九人民医院) 郑召民(中山大学附属第一医院) 朱庆三(吉林大学中日联谊医院) 朱巍(复旦大学附属华山医院) 朱晓东(复旦大学附属华山医院) 朱悦(中国医科大学附属第一医院)

免责声明

本专家共识为基于专家临床经验和现有临床研究结果的建议,不是制定医疗实践决定的唯一准则,不应被用作为惩戒医师的法规依据。本专家共识的陈述和建议主要基于部分专家的意见,并非全部为科学证实的资料。本专家共识不保证适用于各种特殊目的,所涉及内容不承担医患双方及任何第三方依据本专家共识制定及履行过程中的任何决定所产生的任何损失的赔偿责任。本专家共识也不赋予医患双方依据本专家共识提供的医疗建议所引发的使用者与患者或使用者与任何其他人构成医患法律纠纷处理的法律地位。

(收稿日期:2024-06-25 末次修回日期:2024-11-14)

(本文编辑 姜雅浩)