

• 综述 •

经椎间孔入路腰椎椎体间融合术的研究进展

陈金磊 王爽 王昕

摘要 经椎间孔入路腰椎椎体间融合术(TLIF)是目前为止最为经典的腰椎融合术之一。随着科技和医疗水平的进步,传统的开放TLIF已逐步改良为更加适宜的衍生术式。同时,各种辅助技术的应用使各类TLIF变得更加复杂多样。为理清TLIF发展脉络,了解其前沿进展,该文对近年来TLIF的衍生术式和辅助技术等研究进展进行综述,并对其未来发展方向进行了一定的预测,以便更好地为临床服务。

关键词 经椎间孔入路腰椎椎体间融合术;微创;研究进展

DOI: 10.3969/j.issn.1673-7083.2022.01.008

1982年, Harms和Rolinger在后路腰椎椎体间融合术(PLIF)的基础上提出经椎间孔入路腰椎椎体间融合术(TLIF),后者目前已成为经典腰椎融合术之一^[1]。与PLIF相比, TLIF可通过单侧入路部分或完全切除患侧小关节,从而充分切除病变椎间盘,并可保留对侧关节突关节和肌肉等正常结构,具有创伤小、术后脊柱稳定性良好的优势。随着医疗技术和器械的不断发展进步, TLIF已由从前的正中切口开放TLIF发展为现在的旁切口改良TLIF、微创经椎间孔腰椎椎体间融合术(MIS-TLIF)、经皮内窥镜下经椎间孔腰椎椎体间融合术(PETLIF)、机器人辅助微创TLIF等,其相应内固定方式也变得更加多样。

1 开放TLIF

1.1 手术切口及入路

根据手术切口及入路不同,开放TLIF可分为两种:一是采用正中切口,剥离患侧椎旁肌,显露椎体上下关节突及横突的传统开放TLIF;二是采用旁切口,钝性分离多裂肌与最长肌间隙,显露术野的Wiltse肌间隙入路TLIF。Wiltse等^[2]提出Wiltse肌间隙入路TLIF,该术式在钝性分离该肌间隙后即可见横突根部及关节突,无需大范围剥离和过度牵张椎旁肌肉。研究发现, Wiltse肌间隙入路TLIF可极大减少不必要的肌肉损伤和对重要

血管、神经的伤害,保持脊柱的稳定性,减少患者的不适感,并可提高患者的术后康复速度及生活质量^[3]。与传统开放TLIF相比, Wiltse肌间隙入路TLIF具备以下优点:①术中出血少,术后引流量少;②肌肉损伤小,可很好地保持脊柱生物力学的稳定性;③术后功能恢复快, Wiltse肌间隙入路可以减少对软组织的剥离和牵拉,加速手术后康复^[4-5]。但经Wiltse肌间隙入路手术也存在不足之处,如椎管内情况难以充分显露可导致神经根显露不彻底、植骨量不足等。此外,经Wiltse肌间隙入路手术技术难度较传统TLIF大,需要手术经验更丰富的医生才能完成^[6]。

1.2 内固定方式

TLIF常见的固定方式有4种,分别是双侧椎弓根螺钉固定(BPS)、单侧椎弓根螺钉固定(UPS)、单侧椎弓根螺钉+对侧经椎板关节突螺钉固定(UPS+TFS)和皮质骨钉道(CBT)螺钉内固定。临床上TLIF多采用BPS方式,可保证融合节段拥有较好的稳定性,并保持最小的应力。但其缺点较多:①与UPS相比, BPS手术暴露范围更广,时间更长,创伤更大;②与其他固定方式相比, BPS发生邻近椎间盘退变的风险更高;③与其他固定方式相比, BPS手术费用更高,术者和患者辐射暴露时间更长^[7]。

有学者采用循证医学方法对历年来TLIF手术单双侧椎弓根进行随机对照研究,发现与BPS相比, UPS的优势体现在以下几方面:①可减少手术操作,手术时间更短,术中出血和放射暴露以及手术损伤更少;②可减少脊柱后柱结构破坏,对健侧椎板、

基金项目: 甘肃省自然科学基金(21JR7RA362)

作者单位: 730000, 兰州大学第一临床医学院(陈金磊、王昕); 730000, 兰州大学公共卫生学院(王爽); 730000, 兰州大学第一医院骨科(陈金磊、王昕)

通信作者: 王昕 E-mail: wangxinldy@126.com

关节突及软组织无损伤,从而减少术后脊柱不稳、假关节形成等并发症;③术中神经损伤概率较小;④医疗费用明显更少,但其视觉模拟评分(VAS)、Oswestry功能障碍指数(ODI)和融合率等均与BPS无明显差异;⑤对相邻椎体影响较小,发生相邻椎间盘退变的概率较小^[8]。然而,UPS也有不足之处:①与BPS相比,UPS不够稳定,术后发生椎间融合器移位和椎间融合器沉降的概率也更大。②单侧内固定术抵抗旋转应力的能力较弱^[9-10]。尽管现有研究已通过短期随访证实,在TLIF中采用UPS可获得与BPS同样的稳定性,且可同时发挥UPS的优势,然而,由于有关笼子下沉和相邻节段退变等并发症的长期随访证据不足,故暂不推荐将UPS作为BPS的替代方法,UPS的可行性还需后续通过更长时间随访的大型多中心联合研究加以证实。

UPS + TFS是学者们的技术革新,目的是在加强UPS稳定性的同时保留其优点。一些文献对UPS + TFS与BPS进行生物力学比较,证实UPS + TFS在屈伸、侧弯、轴向旋转等各个方向均具有与BPS相同的稳定性和支撑刚度^[11]。一项随机临床试验证实,与传统BPS相比,采用UPS + TFS方式的TLIF手术时间更短,术中出血量更少,软组织损伤更小,手术费用更低,且其临床疗效和脊柱力学稳定性均与采用BPS方式的TLIF相同^[12]。但UPS + TFS也存在手术操作步骤繁琐、非直视下置入小关节螺钉易损伤神经等缺点,只有具备丰富手术经验并能熟练应用影像学技术的术者才能做出准确的判断。

2009年Santoni等^[13]提出CBT螺钉内固定技术。CBT螺钉的螺纹能够以最大面积接触皮质骨,可加大螺钉稳定性,从而减少螺钉松动的发生率。有研究发现,在腰椎融合手术中,CBT技术可以提供与椎弓根螺钉技术相似的临床结果和融合率,但其术中出血量更少,住院时间和切口长度更短^[14]。CBT螺钉固定患者的相邻椎间隙高度、椎间孔高度和椎间孔宽度丢失均更少,相邻节段退变发生率也更低^[15]。在骨质疏松患者中,CBT螺钉固定较传统椎弓根固定更具稳定性^[16]。目前,已知的CBT螺钉固定缺点是在包括S₁在内的长节段CBT固定融合术中其螺钉松动率会增加。因此,在使用CBT螺钉进行长节段固定时,术者应注意S₁的融合程度^[17]。Kotheeranurak等^[18]已证实,前

路腰椎椎间融合术(ALIF)结合单侧CBT螺钉固定可以很好地治疗脊柱疾病,并可提供稳定支持。单侧CBT螺钉固定在TLIF中是否适用尚不明确,这是一个很好的研究方向。

1.3 减压范围

根据术中减压范围,TLIF可以分为传统TLIF和改良TLIF。传统TLIF需在保留椎板的情况下切除上下关节突,完全通过椎间孔区域进行操作,这将导致神经根与下位椎弓根的间距限制笼子高度,可能增加神经根损伤率。

改良TLIF是将传统PLIF的减压区域外移,并将TLIF的减压区域内移,向外显露出上下关节突和椎板,然后切除患侧下关节突和椎板下2/3,并暴露出患侧上关节突关节面,由椎间孔进入处理椎间盘并放入笼子进行椎体间融合。改良TLIF具备以下优点:①无需暴露横突,可保留脊柱后部结构,仅咬除一侧下关节突及椎板下2/3;②可同时有效减压中央管、术侧侧隐窝及神经根管;③可减少术中对硬膜囊及神经根的牵拉,有效降低术后神经并发症的发生率。目前,TLIF通常为改良后的TLIF。除对减压区域改良,TLIF也可做其他改良。有研究者对笼子和棒的放置顺序进行调整,发现先放置棒后放入笼子会比先放置笼子后放置棒更有利于扩大椎间孔面积、维持椎间隙高度以及减少术后神经系统并发症^[19]。通过上述方式改良的TLIF也可称为改良TLIF。

2 MIS-TLIF

Foley等^[20]于2002年提出MIS-TLIF。MIS-TLIF是指采用不同的技术以减少医源性损伤和手术切口、加快患者术后康复、改善患者医疗体验的技术^[21-22]。目前随着科技和医疗水平的提升,MIS-TLIF的手术适应证已十分广泛,包括腰椎管狭窄症、腰椎滑脱、腰椎间盘突出症、退变性脊柱侧凸等脊柱退行性疾病,其禁忌证则包括严重的腰椎滑脱和椎管狭窄、既往接受过腰椎手术、椎间孔区域已被严重破坏等。MIS-TLIF治疗腰椎退行性疾病的优势在于其临床疗效、并发症风险和融合率均与开放手术相当,且随访评估证实,MIS-TLIF出血量、住院时间和VAS较开放TLIF明显更少^[22-23]。但与开放手术相比,MIS-TLIF也存在以下缺点:①手术时间增加,可导致术中辐射暴露时间增加;②技术难度增加,可导致学习曲线增加;③器械水平要求较高,不宜在偏远地区开展,下

级医院无法实施;④对肥胖患者而言,其手术难度、并发症发生率及镇痛药使用量均会增加^[24]。但瑕不掩瑜,MIS-TLIF 的缺点无法掩盖自身的巨大潜力,随着技术及医疗器械的发展,MIS-TLIF 的缺点正在被一步步改善。

与传统开放 TLIF 一样,MIS-TLIF 既可以通过剥离椎旁肌到达手术区域,也可以通过 Wiltse 肌间隙入路进行手术操作,但因剥离椎旁肌对椎旁肌损伤较大,有违微创理念,因此 MIS-TLIF 大多采用 Wiltse 肌间隙入路。传统开放 TLIF 可以采用的内固定方式均可用于 MIS-TLIF,且同样具有诸多优点^[25-26]。MIS-TLIF 共有 3 种形式,分别是微创小切口 TLIF、管状通道 TLIF 和 PETLIF。

2.1 微创小切口 TLIF

微创小切口 TLIF 与传统的开放 TLIF 类似,但它采用了更先进的方式方法,以尽可能减小手术切口和手术损伤。随着可视化和照明技术的发展,开放小切口 TLIF 似乎又迎来了春天。这对于精通开放外科技术的资深外科医生来说,是一个好消息。相比传统开放 TLIF,微创小切口 TLIF 具有的优点如前文所述。

虽然与其他两类 MIS-TLIF 相比,微创小切口 TLIF 患者术中出血量、术后下床活动时间、术后住院天数、术后早期 VAS 和 ODI 并无显著差异;但其具有术中 X 线透视时间更短、费用更低、学习曲线更短、手术适应证更广的优势。当然,其缺点也同样明显:①手术切口较长;②术野小,对手术技术和经验要求高;③不利于教学^[27]。

2.2 微创管状通道 TLIF

根据工作通道的不同,微创管状通道 TLIF 可分为两类。

一类是经典 MIS-TLIF 技术,即先通过导丝将经过固定的管状通道引导至手术区域,再进行手术操作,常用的微创通道系统为 Spotlight 微创管状通道。固定通道的优点在于可使手术切口和对通道旁的肌肉损伤更小,并可维持脊柱后柱的稳定性;其缺点则是手术视野较可扩张通道更小,手术操作难度更高,理论上手术并发症发生率也更高。

另一类则是采用可扩张通道的 MIS-TLIF,即先将可扩张通道插入 Wiltse 肌间隙,再钝性分离 Wiltse 肌间隙后抵达手术部位,常用的微创通道系统有 METRx X-tube 工作套管、MAST Quadrant 通道等。可扩张通道的优点在于通道直径较大,术

中视野更好,后续手术操作过程相对简便;其缺点则是在手术过程中通道会持续挤压其附近肌肉,从而造成这部分肌肉缺血坏死,并且一旦软组织进入通道内就需要予以切除以保证术野清晰,而这会加重肌肉损伤。

2.3 PETLIF

微创管状通道 TLIF 中术野较差,术者只能通过肉眼在狭窄的工作通道内进行操作,还需要频繁的切换显微内镜以观察术野,技术难度大,手术时间长,神经损伤率高。随着内镜技术逐步应用于脊柱外科,PETLIF 技术逐步成熟^[28]。PETLIF 技术是近十年来从经皮内窥镜腰椎椎间盘切除术演变而来的新兴技术,其通过 Kambin 三角进行腰椎椎间融合。与 MIS-TLIF 相比,PETLIF 侵入性更小,造成的医源性损伤也更小,这为非全身麻醉下行手术治疗提供了可能^[29]。目前的研究证实,与 MIS-TLIF 相比,PETLIF 具有手术创伤小、术后疼痛轻、隐性失血少、恢复快等优点,但两种技术的中短期手术结果并无显著差异。PETLIF 可用于治疗相邻椎间盘退变(ASD),其治疗单节段 ASD 的临床效果与后外侧植骨融合术(PLF)相似,但 PETLIF 具有手术创伤小、住院时间短的优势。发展 PETLIF 的目的是为了进一步降低腰椎融合手术相关的医源性损伤发生率。内窥镜手术的适应证与传统 TLIF 相似,包括退行性腰椎疾病和低度腰椎滑脱,PETLIF 可能是老年人等特定患者的首选。在过去十年中 PETLIF 不断发展,其侵入性逐渐变得更小。在向超微创内镜手术过渡的过程中,PETLIF 的临床疗效和放射学评估结果均有很大提升,这与术后加速康复(ERAS)理念非常匹配。但 PETLIF 的学习曲线较陡峭,术者需严格选择适应证^[30]。此外,由于 Kambin 三角空间有限,PETLIF 对笼子的大小、形状以及放置技巧都有更高的要求,故其手术时间和术中辐射暴露时间均延长,同时患者及医生的健康风险均增加^[31]。因此,临床医生应尽可能选择合适的适应证,最大限度扬长避短^[32]。

3 辅助技术

随着时代的发展和医学技术的飞速进步,骨科机器人、O 形臂透视机、C 形臂透视机、计算机辅助置钉和可视化等各类 TLIF 辅助技术的发展如火如荼。有研究发现,机器人辅助下 MIS-TLIF 的手术时间、并发症发生率、再手术率和住院时

间均与传统透视辅助下 MIS-TLIF 相似,但其术中辐射暴露却显著减少,可有效弥补 MIS-TLIF 的缺点^[33]。Zhao 等^[34]对全可视系统辅助下 PETLIF 治疗腰椎管狭窄症的临床结果进行回顾性分析,并与 MIS-TLIF 进行比较。他们发现,全可视系统辅助下 PETLIF 组术中出血量和住院时间均明显低于 MIS-TLIF 组,且可明显缩短手术时间,减少术中辐射量,降低学习曲线,便于录制视频进行教学。Safae 等^[35]提出了一种技术,即先利用术中计算机断层扫描来辅助椎弓根螺钉的放置,再用传统透视方法检查椎弓根螺钉及笼子的位置。与传统透视相比,这项技术可节省手术时间,最大限度地减少术中辐射量。脊柱融合术通常高度依赖透视的引导,带导航的 C 形臂透视机和锥束计算机断层扫描 O 形臂透视机均为常规选择。与开放 TLIF 相比, MIS-TLIF 联合 O 形臂透视机导航不但可以提高椎弓根螺钉置入准确度,还可以加强微创手术减少术中出血量的作用并缩短住院时间,有利于术后恢复^[36]。C 形臂透视机与 O 形臂透视机效果相同,但两者术中辐射情况仍有待进一步研究。Chang 等^[37]研究发现,行单节段 MIS-TLIF 手术时, O 形臂透视机的辐射量是 C 形臂透视机的 2 倍。但当患者肥胖或进行两节段及以上 MIS-TLIF 手术时, O 形臂透视机和 C 形臂透视机带给患者的辐射量相近,但 O 形臂透视机几乎不会辐射医生,这是其与 C 形臂透视机相比最大的优点。

4 结语

随着时代的进步以及医疗技术的发展,各种辅助技术不但能够强化各类 TLIF 手术优点,而且能够改善或克服其缺点,使 TLIF 技术不断趋于完美。运用各类高科技辅助技术辅以分子细胞学材料加速 TLIF 技术发展,实现手术与再生医学的结合,更是未来的发展方向^[38]。医疗全过程实施 ERAS 路径,可提高患者术后康复质量,并缩短住院时间。总而言之,微创、无痛、快速康复是未来 TLIF 手术发展的目标和方向。

参考文献

- [1] Harms J, Rolinger H. A one-stager procedure in operative treatment of spondylolistheses: dorsal traction-reposition and anteriorfusion (author's transl)[J]. Z Orthop Ihre Grenzgeb, 1982, 120(3): 343-347.
- [2] Wiltse LL, Bateman JG, Hutchinson RH, et al. The paraspinous sacrospinalis-splitting approach to the lumbar spine[J]. J Bone Joint Surg Am, 1968, 50(5): 919-926.
- [3] 曹顺海,梅伟,王祥善,等.多裂肌入路椎间孔腰椎椎体间融合术与后路腰椎椎体间融合术治疗腰椎疾病的疗效比较[J].中国骨与关节损伤杂志,2021,36(5): 465-467.
- [4] 谷艳超,朱凌,胡胜利,等.自制微创拉钩辅助改良双侧 Wiltse 入路椎间孔椎体间融合术在腰椎退行性病变治疗中的应用[J].中国骨伤,2021,34(4): 297-303.
- [5] 曾忠友,张建新,毛克亚,等.肌间隙入路通道下固定融合治疗复发性腰椎间盘突出症[J].中国骨伤,2021,34(4): 304-314.
- [6] Li HJ, Ge DW, Zhang S, et al. Comparative study between mini-open TLIF via Wiltse's approach and conventional open TLIF in lumbar degenerative diseases[J]. Eur Rev Med Pharmacol Sci, 2018, 22 (Suppl 1): 53-62.
- [7] Chen DJ, Yao C, Song Q, et al. Unilateral versus bilateral pedicle screw fixation combined with transforaminal lumbar interbody fusion for the treatment of low lumbar degenerative disc diseases: analysis of clinical and radiographic results[J]. World Neurosurg, 2018, 115: e516-e522.
- [8] Muthu S, Chellamuthu G. How safe is unilateral pedicle screw fixation in lumbar fusion surgery for management of 2-level lumbar degenerative disorders compared with bilateral pedicle screw fixation? Meta-analysis of randomized controlled trials[J]. World Neurosurg, 2020, 140: 357-368.
- [9] Nie T, Chen DJ, Tang B, et al. In vivo dynamic motion characteristics of the lower lumbar spine: L4-5 lumbar degenerative disc diseases undergoing unilateral or bilateral pedicle screw fixation combined with TLIF[J]. J Orthop Surg Res, 2019, 14(1): 171.
- [10] Ulutaş M, Özkaya M, Yaman O, et al. Do we need a transforaminal lumbar interbody fusion cage to increase the stability of functional spinal unit when comparing unilateral and bilateral fixation?[J]. Proc Inst Mech Eng H, 2018, 232(7): 655-664.
- [11] Li J, Wang W, Zuo R, et al. Biomechanical stability before and after graft fusion with unilateral and bilateral pedicle screw fixation: finite element study[J]. World Neurosurg, 2019, 123: e228-e234.
- [12] 邵荣学,周辉,潘浩,等.单侧经皮关节突椎弓根螺钉联合对侧钉棒固定与双侧钉棒固定治疗腰椎退行性疾病的比较[J].中国骨伤,2017,30(9): 817-822.
- [13] Santoni BG, Hynes RA, McGilvray KC, et al. Cortical bone trajectory for lumbar pedicle screws[J]. Spine J, 2009, 9(5): 366-373.
- [14] Hu JN, Yang XF, Li CM, et al. Comparison of cortical bone trajectory versus pedicle screw techniques in lumbar fusion surgery: a meta-analysis[J]. Medicine (Baltimore), 2019, 98(33): e16751.
- [15] 丁红涛,海涌,刘玉增,等.腰椎后路融合术应用皮质骨轨迹螺钉内固定对邻近节段退变的影响[J].中华医学杂志,2020,100(43): 3437-3442.
- [16] Liu L, Zhang S, Liu G, et al. Early clinical outcome of lumbar spinal fixation with cortical bone trajectory pedicle screws in patients with osteoporosis with degenerative disease[J]. Orthopedics, 2019, 42(5): e465-e471.
- [17] Chen CH, Chen DC, Huang HM, et al. Level-based analysis of screw loosening with cortical bone trajectory screws in patients with lumbar degenerative disease[J]. Medicine(Baltimore), 2020, 99(40): e22186.
- [18] Kotheraanurak V, Lin GX, Mahatthanatrakul A, et al. Endoscope-assisted anterior lumbar interbody fusion with computed tomography-

- guided, image-navigated unilateral cortical bone trajectory screw fixation in managing adjacent segment disease in L5/S1: technical note[J]. *World Neurosurg*, 2019, 122: 469-473.
- [19] Sun K, Sun X, Huan L, et al. A modified procedure of single-level transforaminal lumbar interbody fusion reduces immediate post-operative symptoms: a prospective case-controlled study based on two hundred and four cases[J]. *Int Orthop*, 2020, 44(5): 935-945.
- [20] Foley KT, Gupta SK, Justis JR, et al. Percutaneous pedicle screw fixation of the lumbar spine[J]. *Neurosurg Focus*, 2001, 10(4): E10.
- [21] Chen YC, Zhang L, Li EN, et al. An updated meta-analysis of clinical outcomes comparing minimally invasive with open transforaminal lumbar interbody fusion in patients with degenerative lumbar diseases[J]. *Medicine(Baltimore)*, 2019, 98(43): e17420.
- [22] Miller LE, Bhattacharyya S, Pracyk J. Minimally invasive versus open transforaminal lumbar interbody fusion for single-level degenerative disease: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials[J]. *World Neurosurg*, 2020, 133: 358-365.e4.
- [23] 张宇雷, 李富平, 西信, 等. 开放及微创经椎间孔入路椎间融合术后融合节段椎间隙高度及前凸恢复程度的比较研究 [J]. *中国修复重建外科杂志*, 2020, 34(4): 422-427.
- [24] Krüger MT, Naseri Y, Hohenhaus M, et al. Impact of morbid obesity ($\text{BMI} > 40 \text{ kg/m}^2$) on complication rate and outcome following minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion (MIS TLIF)[J]. *Clin Neurol Neurosurg*, 2019, 178: 82-85.
- [25] Zhao H, Gao H, Zhou C, et al. A randomized controlled trial with ≥ 5 years of follow-up comparing minimally invasive and open transforaminal lumbar interbody fusion in disc herniation at single level[J]. *Exp Ther Med*, 2019, 17(5): 3614-3620.
- [26] Giorgi H, Prebet R, Andriantsimiavona R, et al. Minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion with unilateral pedicle screw fixation (UNILIF): morbidity, clinical and radiological 2-year outcomes of a 66-patient prospective series[J]. *Eur Spine J*, 2018, 27(8): 1933-1939.
- [27] 杨晟, 郝舜杰. 微创小切口后路椎间融合术治疗腰椎退行性病变临床研究 [J]. *浙江创伤外科*, 2021, 26(2): 235-237.
- [28] Sharif S, Shaikh Y, Peev N. Minimally invasive spinal surgery: how to keep out of trouble[J]. *World Neurosurg*, 2018, 119: 517-526.
- [29] Shen J. Fully endoscopic lumbar laminectomy and transforaminal lumbar interbody fusion under local anesthesia with conscious sedation: a case series[J]. *World Neurosurg*, 2019, 127: e745-e750.
- [30] Ao S, Zheng W, Wu J, et al. Comparison of preliminary clinical outcomes between percutaneous endoscopic and minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion for lumbar degenerative diseases in a tertiary hospital: is percutaneous endoscopic procedure superior to MIS-TLIF? A prospective cohort study[J]. *Int J Surg*, 2020, 76: 136-143.
- [31] Zhang YW, Xia WH, Gao WC, et al. Direct foraminoplasty in endoscope-assisted transforaminal lumbar interbody fusion for the treatment of lumbar disc herniation[J]. *J Int Med Res*, 2020, 48(1): 300060519875372.
- [32] Brusko GD, Wang MY. Endoscopic lumbar interbody fusion[J]. *Neurosurg Clin N Am*, 2020, 31(1): 17-24.
- [33] De Biase G, Gassie K, Garcia D, et al. Perioperative comparison of robotic-assisted versus fluoroscopically guided minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion[J]. *World Neurosurg*, 2021, 149: e570-e575.
- [34] Zhao XB, Ma HJ, Geng B, et al. Early clinical evaluation of percutaneous full-endoscopic transforaminal lumbar interbody fusion with pedicle screw insertion for treating degenerative lumbar spinal stenosis[J]. *Orthop Surg*, 2021, 13(1): 328-337.
- [35] Safaei M, Oh T, Pekmezci M, et al. Cone beam intraoperative computed tomography-based image guidance for minimally invasive transforaminal interbody fusion[J]. *J Vis Exp*, 2019, (150): e57830.
- [36] Chen K, Chen H, Zhang K, et al. O-arm navigation combined with microscope-assisted MIS-TLIF in the treatment of lumbar degenerative disease[J]. *Clin Spine Surg*, 2019, 32(5): E235-E240.
- [37] Chang CC, Chang HK, Wu JC, et al. Comparison of radiation exposure between O-arm navigated and C-arm guided screw placement in minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion[J]. *World Neurosurg*, 2020, 139: e489-e495.
- [38] Lo WC, Tsai LW, Yang YS, et al. Understanding the future prospects of synergizing minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion surgery with ceramics and regenerative cellular therapies[J]. *Int J Mol Sci*, 2021, 22(7): 3638.

(收稿日期 : 2021-09-18)

(本文编辑 : 富饶)