XXXX DOI:

骨髓富集人工骨在斜外侧腰椎椎间融合联合后路经皮椎弓根螺钉内固定治疗腰椎滑脱症中的应用

张 健,王冬生,黄 波,刘佰易,刘 鹏,刘瑶瑶
(陆军军医大学大坪医院脊柱外科,重庆 400042)

【摘 要】**目的**:比较骨髓富集人工骨与人工骨作为骨融合材料,在斜外侧腰椎椎间融合术(oblique lateral interbody fusion,OLIF)联合后路经皮椎弓根螺钉内固定术治疗腰椎Ⅰ度滑脱症中的临床疗效。**方法**:回顾性分析2023年10月至2024年9月在陆军军医大学大坪医院脊柱外科行OLIF联合后路经皮椎弓根螺钉内固定术治疗的43例腰椎Ⅰ度滑脱症患者的临床资料。根据骨融合材料不同,将患者分为观察组(22例,采用骨髓富集人工骨)和对照组(21例,采用人工骨)。记录并比较2组患者手术时间、术中出血量、住院时间及术后并发症;比较术前及术后1周、3个月、6个月、12个月的腰腿痛视觉模拟评分(visual analogue scale,VAS)和Oswestry功能障碍指数(oswestry disability index,ODI);比较术前及术后2 d、3个月、6个月、12个月的腰椎前凸角、椎间隙高度、滑脱距离、椎管矢状径和椎管横截面积,并依据Bridwell分级评估椎间融合效果。**结果**:2组患者手术时间、术中出血量、住院时间差异均无统计学意义($P>0.05$)。2组患者术后各时间点VAS评分和ODI评分较术前均显著改善($P<0.05$),且同一时间点2组间差异无统计学意义($P>0.05$)。2组患者术后各时间点腰椎前凸角、椎间隙高度、滑脱距离、椎管矢状径和椎管横截面积较术前均显著改善($P<0.05$),且同一时间点2组间差异均无统计学意义($P>0.05$)。术后6个月,观察组15例(68.18%)呈Ⅱ级融合,7例(31.82%)呈Ⅲ级融合;对照组1例(4.76%)呈Ⅰ级融合,4例(19.05%)呈Ⅱ级融合,16例(76.19%)呈Ⅲ级融合。术后12个月,43例患者均实现椎间融合,其中观察组21例(95.45%)呈Ⅰ级融合,1例(4.55%)呈Ⅱ级融合;对照组14例(66.67%)呈Ⅰ级融合,7例(33.33%)呈Ⅱ级融合。观察组术后6个月及12个月椎间融合率均显著高于对照组($P<0.05$)。观察组1例患者术后1个月发生融合器退出,经翻修手术后恢复良好。**结论**:OLIF联合后路经皮椎弓根螺钉内固定术是治疗腰椎Ⅰ度滑脱症的有效术式,能有效缓解患者症状、矫正腰椎前凸、恢复椎间隙高度、实现滑脱复位并扩大椎管容积。骨髓富集人工骨是一种安全、易得的骨融合材料,其椎间融合效果优于单纯人工骨,可为临床骨移植材料的选择提供新的参考。

【关键词】斜外侧腰椎间融合术;腰椎滑脱症;骨髓富集;人工骨;椎间融合
【中图分类号】R681.5 【文献标志码】A

Application of bone marrow-enriched artificial bone in oblique lateral interbody fusion combined with posterior percutaneous pedicle screw fixation for lumbar spondylolisthesis

Zhang Jian, Wang Dongsheng, Huang Bo, Liu Baiyi, Liu Peng, Liu Yaoyao
(*Department of Spine Surgery, Daping Hospital, Army Medical University*)

【**Abstract**】***Objective***: To compare the clinical efficacy of bone marrow-enriched artificial bone versus conventional artificial bone as bone fusion materials in oblique lateral interbody fusion (OLIF) combined with posterior percutaneous pedicle screw fixation for the treatment of grade Ⅰ lumbar spondylolisthesis. ***Methods***: A retrospective analysis was performed on 43 patients with grade Ⅰ lumbar spondylolisthesis who underwent OLIF combined with posterior percutaneous pedicle screw fixation at the Department of Spine Surgery, Daping Hospital, Army Medical University between October 2023 and September 2024. Patients were divided into an observation group (n=22, bone marrow-enriched artificial bone) and a control group (n=21, conventional artificial bone) according to the type of bone fusion material used. Operative time, intraoperative blood loss, length of hospital stay, and postoperative complications were recorded and compared between the two groups. Visual analogue scale (VAS) scores for low back and leg pain and Oswestry disability index (ODI) scores were evaluated preoperatively and at 1 week, 3 months, 6 months, and 12 months postoperatively. Lumbar lordosis

作者介绍:张 健,Email:717471299@qq.com,
研究方向:脊柱退变疾病、骨质疏松的治疗。
通信作者:刘瑶瑶,Email:dpliuyaoyao@tmmu.edu.cn。
基金项目:国家自然科学基金青年资助项目(编号:81902257)。

angle, intervertebral disc height, slip distance, sagittal diameter of the spinal canal, and cross-sectional area of the spinal canal were measured preoperatively and at 2 days, 3 months, 6 months, and 12 months postoperatively. Interbody fusion was assessed using the Bridwell grading system. ***Results***: No statistically significant differences were found between the two groups in operative time, intraoperative blood loss, or length of hospital stay ($P>0.05$). VAS and ODI scores at all postoperative time points were significantly improved compared with preoperative values in both groups ($P<0.05$), with no significant intergroup differences at any time point ($P>0.05$). Lumbar lordosis angle, intervertebral disc height, slip distance, sagittal diameter of the spinal canal, and cross-sectional area of the spinal canal were all significantly improved at each postoperative time point compared with preoperative values in both groups ($P<0.05$), with no significant intergroup differences at any time point ($P>0.05$). At 6 months postoperatively, 15 patients (68.18%) in the observation group achieved grade Ⅱ fusion and 7 (31.82%) achieved grade Ⅲ fusion; in the control group, 1 patient (4.76%) achieved grade Ⅰ fusion, 4 (19.05%) achieved grade Ⅱ fusion, and 16 (76.19%) achieved grade Ⅲ fusion. At 12 months postoperatively, all 43 patients achieved interbody fusion: 21 patients (95.45%) in the observation group achieved grade Ⅰ fusion and 1 (4.55%) achieved grade Ⅱ fusion, while 14 patients (66.67%) in the control group achieved grade Ⅰ fusion and 7 (33.33%) achieved grade Ⅱ fusion. The interbody fusion rates in the observation group were significantly higher than those in the control group at both 6 and 12 months postoperatively ($P<0.05$). One patient in the observation group experienced cage retropulsion at 1 month postoperatively and recovered well after revision surgery. ***Conclusion***: OLIF combined with posterior percutaneous pedicle screw fixation is an effective surgical approach for grade Ⅰ lumbar spondylolisthesis, capable of significantly alleviating symptoms, correcting lumbar lordosis, restoring intervertebral disc height, achieving spondylolisthesis reduction, and expanding spinal canal volume. Bone marrow-enriched artificial bone is a safe and readily accessible bone fusion material that demonstrates superior interbody fusion outcomes compared with conventional artificial bone, providing a new reference for the clinical selection of bone graft materials.

【Key words】oblique lateral interbody fusion; lumbar spondylolisthesis; bone marrow enrichment; artificial bone; interbody fusion

腰椎滑脱症是常见的腰椎退行性疾病之一，我国发病率约为6%，严重影响患者生活质量。多数患者保守治疗效果欠佳，常需手术治疗[1]。腰椎椎间融合内固定术是治疗腰椎滑脱的经典手术方式，传统开放术式主要包括经后路椎间融合术和经椎间孔椎间融合术。近年来，随着微创技术的进步，微创经椎间孔入路腰椎椎间融合术、经前路腰椎椎间融合术和斜外侧腰椎椎间融合术（oblique lateral interbody fusion，OLIF）等微创腰椎融合术式在临床中的应用日益广泛[2-4]。

2012年Silvestre等[5]首次报道了斜外侧腰椎椎间融合技术在腰椎融合中的应用，该技术采用经斜外侧腹膜后组织间隙入路显露椎间盘，可有效避免椎体后方骨性结构（如椎板、关节突关节）及椎旁软组织损伤，有助于保留脊柱后方稳定性。然而，单纯OLIF仅进行椎间融合，病变节段稳定性相对不足，术后存在融合器沉降、移位等并发症风险，可能导致椎间延迟愈合或不愈合。为增强节段稳定性，后续发展出OLIF联合后路椎弓根螺钉固定或OLIF联合前路钉棒内固定等复合术式[6-7]。OLIF联合后路椎弓根螺钉内固定具有力学强度高、临床效果好的优势，目前已成为治疗腰椎滑脱症的成熟术式，并取得良好疗效[8]。腰椎滑脱椎间融合手术的成功，不仅需要早期获得坚强的内固定，还需实现远期的椎间骨性融合。

目前临床常用的骨融合材料主要有自体骨、同种异体骨及人工骨等[9]。自体骨在骨融合中具有天然的生物学优势，但取材过程会增加手术创伤，可能引起取骨区疼痛、感染等并发症[10]。同种异体骨来源于骨库中捐赠者的骨组织，但骨库资源有限，常常获取困难[11]。随着组织工程学技术的发展，多种新型人工骨材料相继涌现，并广泛应用于骨科、矫形外科、口腔颌面外科等领域[12]。羟基磷灰石/磷酸三钙是目前常用的人工骨支架材料，具有良好的生物相容性[13]。为实现更优的骨重塑与融合效果，人工骨通常需与理想的种子细胞联合应用。骨髓间充质干细胞因易于获取且具备多向分化能力，被视为理想的种子细胞来源[14]。

自体骨髓注射移植曾是早期促进骨不连局部成骨的重要方法[15-16]。近年来发展的自体骨髓富集技术，能够将骨髓间充质干细胞及相关细胞因子富集于特定材料中，该技术已应用于创伤性、感染性及肿瘤切除术后等多种骨缺损的修复治疗[17-18]。本研究基于自体骨髓富集技术，将自体骨髓富集于人工骨，构建骨髓富集骨融合材料，并探讨其在OLIF联合后路经皮椎弓根螺钉内固定术治疗腰椎滑脱

症中的临床疗效。

1 资料与方法

1.1 研究对象

本研究为单中心回顾性研究。收集陆军军医大学大坪医院脊柱外科2023年10月至2024年9月行OLIF联合后路经皮椎弓根螺钉内固定术治疗的43例腰椎Ⅰ度滑脱症患者临床资料。根据骨融合材料不同，将患者分为观察组（22例）和对照组（21例），其中观察组使用骨髓富集人工骨，对照组使用人工骨。

纳入标准：①影像学诊断为腰2~4椎体单节段Ⅰ度滑脱；②存在腰椎不稳和/或神经根受压症状和体征，经3个月保守治疗无效或症状加重；③接受单节段OLIF联合后路经皮椎弓根螺钉内固定术；④随访时间>1年。

排除标准：①重度腰椎管狭窄症；②重度骨质疏松症；③肋骨过低、髂嵴过高、腹部血管或腰大肌等解剖变异；④椎间盘髓核脱垂游离需行后路减压；⑤腰椎责任节段手术史或腹膜后手术史。

所有手术均由同一团队采用同一套手术器械完成。本研究经陆军军医大学大坪医院医学伦理委员会批准（伦理号：2025第333号），免除患者知情同意。

1.2 研究方法

1.2.1 手术方法 患者全身麻醉后取右侧卧位，C臂机透视定位手术节段椎间隙，消毒铺巾，以椎间隙为中心，向腹侧4 cm处作一长约5 cm的斜行切口。逐层切开皮肤、皮下组织，显露并钝性分离腹外斜肌、腹内斜肌及腹横肌。显露腹膜后脂肪，经腹膜后间隙至腰大肌与腰方肌交界处，显露腰大肌前内缘，向前推开输尿管、后腹膜及腹腔脏器，触及椎间盘侧前缘，插入定位针，C臂机透视确认手术节段，安装OLIF工作通道。切开椎间盘纤维环，处理椎间盘及软骨终板，生理盐水冲洗椎间隙，试模确定融合器型号。

观察组方法：①自体骨髓采集：配制肝素生理盐水（1 000 U/mL）10 mL，吸入注射器备用；选择髂前上棘内侧为骨髓穿刺点，骨髓穿刺针进入骨髓腔，用含肝素生理盐水的注射器抽吸约5 mL骨髓，摇匀；②骨髓富集：将骨髓注入装有人工骨（瑞邦骨泰松质骨粒，上海）的锥杯，盖紧外盖，均匀用力按压骨生长富集器（富沃思，重庆）手柄至平齐顶部后松开，待骨髓回流完全，自动完成1次骨髓富集，重复上述操作共4次，即完成骨髓富集人工骨的构建，取出骨髓富集人工骨填充入椎间融合器内（图1A~F）。

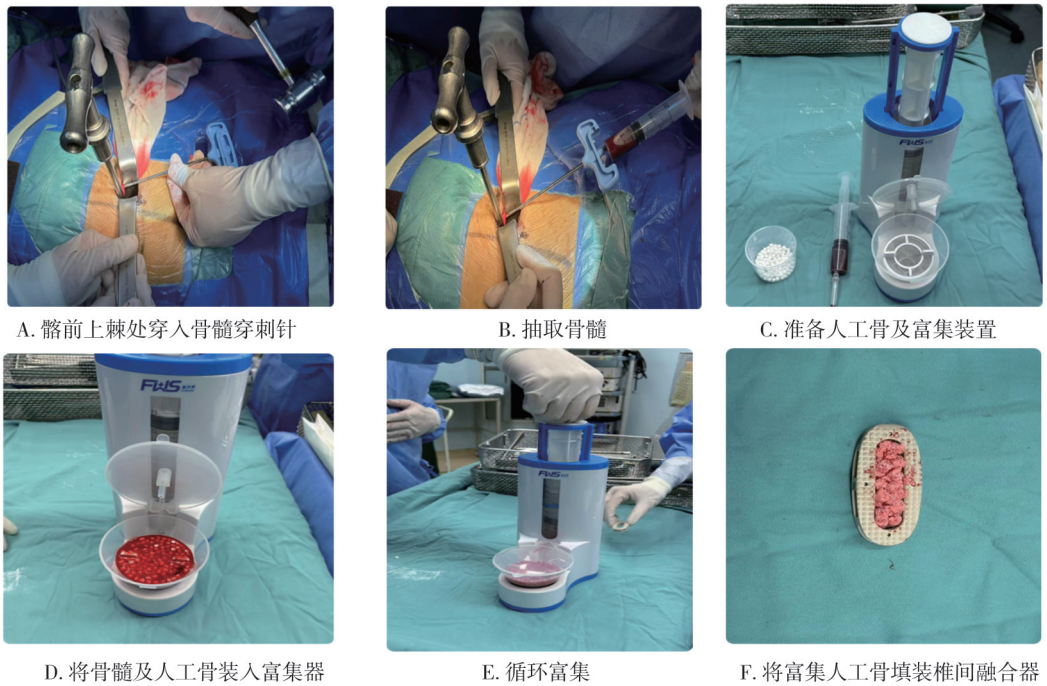
对照组方法：将人工骨（瑞邦骨泰松质骨粒，上海）直接填充入椎间融合器。

将观察组的椎间融合器/对照组的合器植入相应椎间隙合器植入相应椎间隙，C臂机确认融合器位置良好，边界超过双侧椎弓根投影，中心标记居中，再次探查无活动性出血，清点器械及纱布无误后以生理盐水冲洗，逐层缝合切口。更换为俯卧位，消毒铺巾后行后路经皮椎弓根螺钉植入，以钉棒系统固定手术节段。所有手术均由同一组医师完成。

1.2.2 随访及观察指标 所有患者均随访至术后12个月，记录围术期资料、临床疗效及影像学指标。

①围术期资料：记录手术时间、术中出血量、住院时间及并发症。

②临床疗效：记录术前及术后1周、3个月、6个月、12个月的疼痛视觉模拟评分（visual analogue scale，VAS）和Oswestry功能障碍指数（Oswestry disability index，ODI）。



A. 髂前上棘处穿入骨髓穿刺针　B. 抽取骨髓　C. 准备人工骨及富集装置
D. 将骨髓及人工骨装入富集器　E. 循环富集　F. 将富集人工骨填装椎间融合器

图1 手术步骤

VAS分值范围为0～10分，分值越高表示疼痛越严重，0分表示无痛，10分表示最剧烈疼痛[19]。ODI包含10个条目，均按0~5分计分，满分50分，分值越高表示腰椎功能越差[20]。

③影像学指标：患者于术前及术后2 d、3个月、6个月、12个月行腰椎正侧位X线及计算机断层扫描（computed tomography，CT）检查并测量相关参数。

④融合情况：于腰椎CT矢状面按照Bridwell腰椎前方融合分级标准[21]进行评估。Ⅰ级：融合骨重塑和骨小梁形成，表明完全骨融合；Ⅱ级：移植骨完整，不完全骨重塑，无透亮区，表明部分融合；Ⅲ级：移植骨完整，移植骨上端或下端存在透亮区，表明可能不融合；Ⅳ级：移植骨吸收伴塌陷，表明不融合。临床上通常将Ⅰ级和Ⅱ级视为“融合成功”，Ⅲ级和Ⅳ级视为“融合失败”。椎间融合情况由2名医师根据CT影像共同判断，其他参数由2名医师共同测量，测量医师均不知晓分组信息，采用盲法评估。

1.2.3 影像学参数及测量方法 ①腰椎前凸角（lumbar lordosis，LL）：腰椎侧位X线片上腰1与骶1椎体上终板间的夹角[22]；②滑脱距离（slip distance，SD）：腰椎侧位X线片上位椎体下终板后缘与下位椎体上终板后缘间的水平距离[23]；③椎间隙高度（disc height，DH）：腰椎CT矢状面上位椎体下终板前后径中点与下位椎体上终板的垂直距离[24]；④椎管矢状径：腰椎CT正中矢状面椎管前后壁间的最大距离[25]；⑤椎管横截面积：腰椎CT横断位椎弓根层面椎管最狭窄处，前界为椎体后缘，后界为棘突根部前缘，侧界为双侧椎弓根内侧缘，通过影像归档和通信系统（Picture Archiving and Communication System，PACS）测算[25]。

1.3 统计学方法

采用GraphPad Prism 8.0软件进行统计分析。计量资料以均数±标准差（$\bar{x}\pm s$）表示，组间比较采用独立样本t检验，组内比较采用配对样本t检验。计数资料以例数和百分比表示，组间比较采用χ^2检验或Fisher精确概率法。检验水准α=0.05。

2 结 果

2.1 参与者数量分析

观察组22例采用骨髓富集人工骨，对照组21例采用人工骨，均无脱落（图2）。

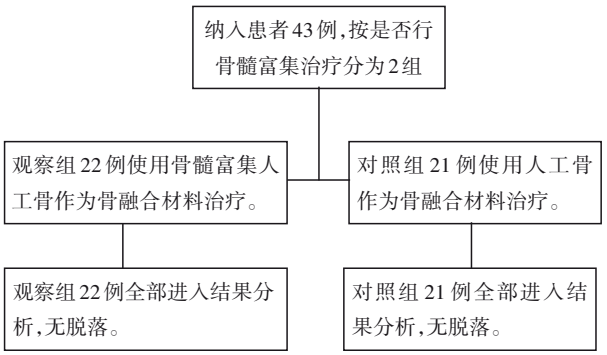


图2 2组患者分组流程图

2.2 基线资料比较

2组患者基线资料比较，差异无统计学意义，具有可比性。患者一般资料见表1。

2.3 2组患者手术指标及临床疗效比较

2组患者均完成12个月随访，2组患者在术中出血量、手术时间、住院时间等方面差异无统计学意义（P>0.05），2组患者术后1周、3个月、6个月和12个月的VAS及Oswestry功能障碍指数评分较术前均显著改善（P<0.05），提示患者术后腰腿痛及生活质量显著改善，见表2。此外，同期两组间VAS及Oswestry功能障碍指数评分差异无统计学意义（P>0.05），提示2组患者术前腰腿痛及功能障碍程度均衡，同时2种干预方式临床疗效相当，见表3。

表1 2组患者一般资料比较（n，%；$\bar{x}\pm s$）

变量	观察组（n=22）	对照组（n=21）	t/χ^2值	P值
年龄（岁）	56.23±5.34	57.62±6.84	0.745	0.461
性别（男/女）	9/13	8/13	0.036	0.850
病程（年）	1.07±0.26	1.05±0.26	0.252	0.802
骨密度（T值）	−1.14±0.75	−1.30±0.75	−0.423	0.488
体质指数（kg/m^2）	23.55±3.01	23.95±3.19	−0.423	0.674
合并症				
冠心病	2（9.09）	2（9.52）		1.000
糖尿病	2（9.09）	3（14.29）		0.664
高血压病	2（9.09）	3（14.29）		0.664
肌间静脉血栓	2（9.09）	3（14.29）		0.664
骨质疏松	6（27.27）	4（19.05）		0.721
术节段				0.785
L2/3	1（4.55）	2（9.52）		0.785
L3/4	4（18.18）	3（14.29）		
L4/5	17（77.27）	16（76.19）		

表2 2组患者手术相关指标比较($\bar{x} \pm s$)

组别	手术时间(h)	术中失血量(mL)	住院时间(d)
观察组(n=22)	3.40 ± 0.21	55.23 ± 7.15	7.91 ± 0.75
对照组(n=21)	3.29 ± 0.17	52.62 ± 6.45	8.01 ± 0.77
t值	1.794	1.254	–0.391
P值	0.080	0.217	0.698

2.4 2组患者影像学参数比较

2组患者术后2 d、3个月、6个月和12个月腰椎前凸角、滑脱距离、椎间隙高度、椎管矢状径和椎管横截面积较术前均显著改善(P<0.05),说明患者术后腰椎生理曲度、滑脱复位、椎间隙高度和椎管容积均获改善。此外,同期两组间腰椎前凸角、滑脱距离、椎间隙高度、椎管矢状径和椎管横截面积差异均无统计学意义(P>0.05),说明2种干预方式对影像参数改善影响相当,见表4。

2.5 2组椎间融合情况比较

Bridwell前方融合分级是常用的腰椎融合分级方法。在本研究中:术后6个月观察组15例(68.18%)患者椎间融合处不完全骨重塑且无透亮区,呈现Ⅱ级融合,7例(31.82%)患者融合处上端或下端存在透亮区,可能不融合(Ⅲ级)。此时对照组1例(4.76%)患者椎间融合处出现骨重塑和骨小梁形成,呈现I级融合,4例(19.05%)患者呈现Ⅱ级融合,16例(76.19%)患者可能不融合(Ⅲ级)。术后12个月,所有患者均呈现椎间融合,其中观察组21例(95.45%)I级融合,1例(4.55%)II级融合,对照组14例(66.67%)I级融合,7例(33.33%)Ⅱ级融合。术后6个月及12个月观察组患者融合率均高于对照组(P<0.05),此外,随着随访的延长,2组患者的椎间融合率均呈现上升趋势。(表5)

1例患者术后1个月出现腰臀部疼痛,X线检查示融合器退出,翻修手术后完全恢复。其余42例患者均未发生腹腔脏器、输尿管、血管及神经等损伤,也无融合器沉降、螺钉断裂等严重并发症。术后随访未见植入物周围感染、过敏反应、免疫反应及排斥反应等。

2.6 典型病例

2.6.1 观察组 女,65岁,因"腰痛伴有左下肢放射痛9个月"入院,腰椎侧位X线及CT提示:腰4椎体I度滑脱,诊断为"退变性腰4椎体I度滑脱症",行腰4~5 OLIF联合后路经皮椎弓根螺钉内固定术,椎间融合器填充骨髓富集人工骨。术后1周、3个月、6个月、12个月VAS(分别为3,2,1和1分)及Oswestry功能障碍指数评分(分别为26%、20%、16%和12%)较术前(VAS为7分,Oswestry功能障碍指数评分为50%)显著改善,术后2 d、3个月、6个月、12个月腰椎前凸角(分别为52.36°、50.65°、50.25°和50.12°)、椎间隙高度(分别为14.16、13.15、13.01 mm和12.96 mm)、滑脱距离(分别为2.58、2.63、2.74 mm和2.75 mm)、椎管矢状径(分别为12.58、12.37、12.29 mm和12.26 mm)、椎管横截面积(分别为152.69、151.03、150.33 mm^{2}和150.23 mm^2)较术前(腰椎前凸角:46.12°;椎间隙高度:12.04 mm;滑脱距离:5.47 mm;椎管矢状径:8.95 mm;椎管横截面积:109.56 mm^2)显著改善;术后6个月椎间Ⅱ级融合,术后12个月椎间I级融合,见图3。

2.6.2 对照组 女,68岁,因"腰痛伴有左下肢放射痛13个月"入院,腰椎侧位X线及CT提示:腰4椎体I度滑脱,诊断为"退变性腰4椎体I度滑脱症",行腰4~5OLIF联合后路经皮椎弓根螺钉内固定术,椎间融合器填充人工骨。术后1周、3个月、6个月、12个月VAS(分别为3、2、1和0分)及Oswestry功能障碍指数评分(分别为22%、20%、16%和12%)较术前(VAS为6分,Oswestry功能障碍指数评分为46%)显著改善,术后2 d、3个月、6个月、12个月腰椎前凸角(分别为49.61°、48.22°、48.02°和47.04°)、椎间隙高度(分别为15.13、

表3 2组患者VAS及Oswestry功能障碍指数评分比较($\bar{x} \pm s$)

指标		术前	术后1周	术后3个月	术后6个月	术后12个月
VAS评分	观察组	6.72 ± 0.88	2.41 ± 0.50	1.37 ± 0.49	0.68 ± 0.47	0.31 ± 0.47
	对照组	6.66 ± 1.02	2.33 ± 0.48	1.33 ± 0.48	0.52 ± 0.51	0.48 ± 0.51
与术前比较	观察组t值	–	28.284	38.244	43.421	37.756
	观察组P值	–	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	对照组t值	–	21.712	29.710	28.817	30.034
	对照组P值	–	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
与观察组比较	t值	0.209	0.503	0.204	1.048	1.047
	P值	0.836	0.618	0.840	0.301	0.300
ODI评分	观察组	47.27 ± 2.18	23.82 ± 1.94	19.42 ± 1.48	14.18 ± 1.62	11.09 ± 1.09
	对照组	46.42 ± 2.37	23.14 ± 1.62	19.33 ± 1.59	13.90 ± 1.48	10.94 ± 1.02
与术前比较	观察组t值		55.860	70.470	80.630	92.120
	观察组P值		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	对照组t值		70.160	66.930	68.650	66.420
	对照组P值		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
与观察组比较	t值	1.833	1.234	0.712	0.584	0.444
	P值	0.074	0.224	0.481	0.562	0.659

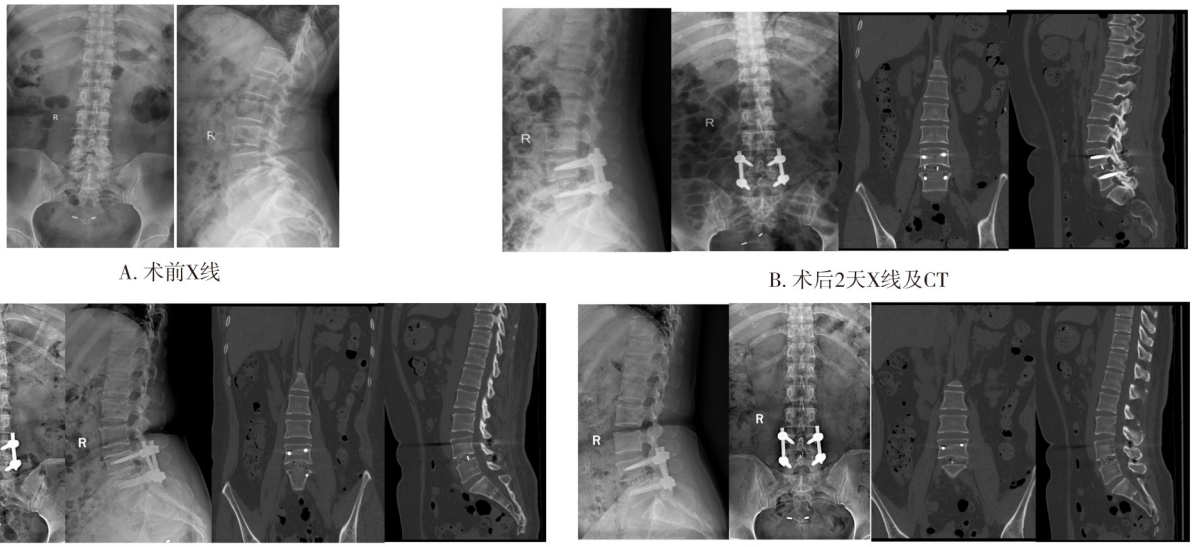
表4 2组患者影像学指标比较($\bar{x} \pm s$)

时间	分组	腰椎前凸角(°)	椎间隙高度(mm)	滑脱距离(mm)	椎管矢状径(mm)	椎管横截面积(mm²)
术前	观察组	44.32 ± 2.49	11.43 ± 0.70	6.57 ± 0.64	8.74 ± 0.43	110.61 ± 7.92
	对照组	45.05 ± 2.56	11.21 ± 0.63	6.58 ± 0.66	8.61 ± 0.40	108.80 ± 6.56
与观察组比较	*t*值	0.948	1.036	0.048	1.026	0.813
	*P*值	0.349	0.306	0.962	0.311	0.421
术后2 d	观察组	49.24 ± 2.35	13.87 ± 0.74	3.23 ± 0.35	12.36 ± 0.48	146.87 ± 5.50
	对照组	49.92 ± 2.23	13.76 ± 0.74	3.33 ± 0.53	12.03 ± 0.54	145.34 ± 3.94
与观察组比较	*t*值	0.973	0.476	0.697	2.125	1.046
	*P*值	0.337	0.637	0.490	0.040	0.302
与术前观察组比较	*t*值	29.710	29.360	35.470	52.740	32.590
	*P*值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
与术前对照组比较	*t*值	29.980	28.020	40.320	41.920	39.040
	*P*值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
术后3月	观察组	47.85 ± 2.16	12.91 ± 0.80	3.24 ± 0.41	12.05 ± 0.48	145.57 ± 5.62
	对照组	48.88 ± 2.02	12.75 ± 0.75	3.37 ± 0.53	11.75 ± 0.54	144.45 ± 3.93
与观察组比较	*t*值	1.606	0.600	0.895	1.923	0.760
	*P*值	0.116	0.552	0.376	0.062	0.452
与术前观察组比较	*t*值	16.680	13.220	34.590	49.960	31.720
	*P*值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
与术前对照组比较	*t*值	20.170	15.560	40.070	40.830	38.570
	*P*值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
术后6月	观察组	47.41 ± 2.16	12.81 ± 0.81	3.34 ± 0.40	11.95 ± 0.46	145.04 ± 5.64
	对照组	48.46 ± 2.00	12.65 ± 0.76	3.49 ± 0.49	11.63 ± 0.54	143.88 ± 3.85
与观察组比较	*t*值	1.754	0.678	1.141	2.119	0.782
	*P*值	0.087	0.502	0.261	0.040	0.439
与术前观察组比较	t值	13.460	12.090	33.760	49.660	31.290
	*P*值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
与术前对照组比较	*t*值	17.890	14.070	37.140	39.010	37.230
	*P*值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
术后12个月	观察组	47.19 ± 2.07	12.79 ± 0.81	3.36 ± 0.40	11.94 ± 0.46	144.90 ± 5.67
	对照组	48.37 ± 2.01	12.61 ± 0.76	3.52 ± 0.49	11.61 ± 0.54	143.78 ± 3.87
与观察组比较	*t*值	1.897	0.744	1.161	2.111	0.755
	*P*值	0.065	0.461	0.252	0.041	0.455
与术前观察组比较	*t*值	11.980	11.830	33.370	49.170	31.170
	*P*值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
与术前对照组比较	*t*值	17.380	14.120	37.330	38.390	37.190
	*P*值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

表5 2组患者术后12个月腰椎融合Bridwell分级比较

组别	例数	时间	Ⅰ级	Ⅱ级	Ⅲ级	Ⅳ级	*P*值
观察组	22	术后6个月	0(0.00)	15(68.18)	7(31.82)	0(0.00)	0.002
对照组	21	术后6个月	1(4.76)	4(19.05)	16(76.19)	0(0.00)	
观察组	22	术后12个月	21(95.45)	1(4.55)	0(0.00)	0(0.00)	0.021
对照组	21	术后12个月	14(66.67)	7(33.33)	0(0.00)	0(0.00)	

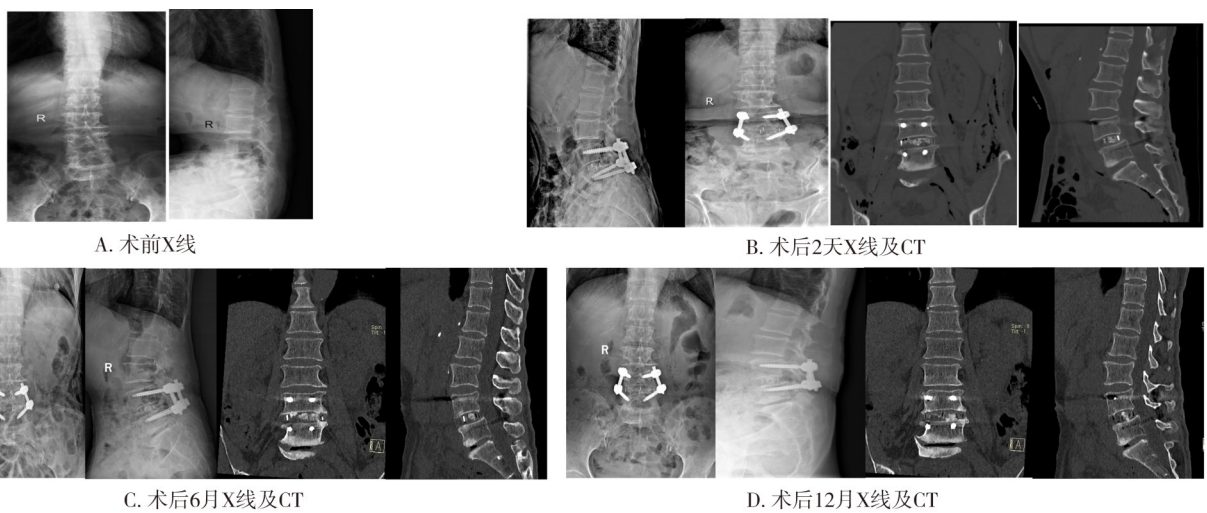
14.27、14.08 mm和14.01 mm)、滑脱距离(分别为2.59、2.64、2.74 mm和2.75 mm)、椎管矢状径(分别为11.86、11.54、11.48 mm和11.47 mm)、椎管横截面积(分别为144.35、142.69、141.93 mm²和141.82 mm²)较术前(腰椎前凸角:45.45°;椎间隙高度:11.94 mm;滑脱距离:5.47 mm;椎管矢状径:8.19 mm;椎管横截面积:103.46 mm²)显著改善;术后6个月椎间可能不融合(Ⅲ级),术后12个月椎间Ⅱ级融合,见图4。



A. 术前X线　B. 术后2天X线及CT

C. 术后6月X线及CT　D. 术后12月X线及CT

图3　骨髓富集人工骨斜外侧腰椎椎间融合联合后路经皮椎弓根螺钉内固定术治疗患者腰椎滑脱症(典型病例1,65岁女性)



A. 术前X线　B. 术后2天X线及CT

C. 术后6月X线及CT　D. 术后12月X线及CT

图4　骨髓富集人工骨斜外侧腰椎椎间融合联合后路经皮椎弓根螺钉内固定术治疗患者腰椎滑脱症(典型病例2,68岁女性)

3　讨　论

OLIF联合后路椎弓根螺钉内固定术治疗腰椎Ⅰ度滑脱症已取得良好临床疗效[8]。OLIF采用侧方小切口,经腹膜后血管肌肉间隙直达目标椎间盘,可有效避免血管、肌肉及软组织损伤[26]。曾忠友等[27]应用OLIF联合后方肌间隙入路椎弓根螺钉内固定治疗59例腰椎滑脱症患者,结果显示:手术时长为(99±9) min,术中出血量为(82±27) mL,证实单纯OLIF具有创伤小、手术时间短的优势。本研究中,两组患者手术时长较长,但术中出血量更少。其原因可能是经皮椎弓根螺钉植入过程中需反复透视定位,增加了手术时间;但该术式切口小、对软组织损伤轻,从而减少了术中出血。

微创经椎间孔入路椎间融合术经多裂肌与最长肌间隙置入可扩张通道,摘除髓核,施行经皮螺钉固定,具有出血少、减压直接的优点,但可能损伤神经根与硬膜囊,对脊柱后柱稳定性产生一定影响。经前路腰椎椎间融合术从前方植入大楔形融合器,恢复椎间高度及前凸效果最佳,不牵拉神经,但需游离大血管,腹部血管损伤风险较高。OLIF采用腹膜后入路,经髂血管与腰大肌间隙植入较大融合器,以恢复椎间高度、实现间接减压,同时保留后柱结构,减少椎旁肌损伤和并发症,患者恢复较快。OLIF可彻底切除椎间盘组织,实现前方充分松解,

为植入较大融合器创造条件[28]；该融合器能有效撑开椎间隙、恢复椎间高度，从而直接解除椎间孔狭窄及出口神经根受压[29]。此外，椎间隙撑开可间接复位滑脱椎体，该复位效应使后纵韧带及黄韧带绷紧，从而扩大椎管矢状径与横截面积。同时，植入具有前凸角的融合器有助于恢复腰椎前凸角[30-31]。联合后路椎弓根螺钉内固定可有效缓解腰椎滑脱不稳所致的腰痛[32]。Sato J等[33]报道20例行OLIF联合经皮椎弓根螺钉内固定治疗腰椎滑脱症患者，术后责任节段椎管矢状径、横截面积及椎间隙高度均显著增加，患者VAS评分及ODI评分亦显著改善。本研究随访43例观察组和对照组患者，术后上述影像学参数和临床疗效均显著改善，与文献报道一致[33]。

在脊柱融合术中，植骨材料的合理选择对手术成功至关重要[34]。目前常用的人工骨材料主要包括钙磷陶瓷、新型生物聚合材料、组织工程复合骨材料以及骨诱导调控因子复合材料等[35]。其中，钙磷陶瓷材料[如磷酸钙、羟基磷灰石和羟基磷灰石-磷酸三钙复合材料（hydroxyapatite-tricalcium phosphate composite，HA-TCP）等]具有良好的生物相容性与机械强度，能够作为新骨形成的支架，在体内逐渐降解并被新生骨组织替代。磷酸钙颗粒所具有的多孔相通空间结构、较高的比表面积和体积比等特征有利于细胞迁入和贴附，为骨细胞生长和血管长入提供条件[36]。

骨髓中富含多种干/祖细胞及细胞因子，是促进成骨、加快椎间融合的重要生物活性成分[37]。研究表明，将骨髓注射至骨折断端或骨不连部位可促进骨愈合[38]。然而，这些活性成分在骨髓中比例较低，若不经细胞分离或纯化，仅将移植物浸泡于骨髓溶液中难以达到局部有效治疗浓度。近年来，骨髓富集技术在再生医学领域日益受到关注[39]。该技术操作简便，能有效富集骨髓中的干/祖细胞；在富集骨髓所得的细胞成分中，骨髓间充质干细胞占0.01%~0.001%[40]，且能较好地保持其生物活性。毛新展等[41]利用磷酸钙复合材料培养骨髓间充质干细胞，发现细胞能有效附着于材料表面并向孔隙内部生长，表明该材料可作为理想的细胞载体支架。闫伟等[42]在64例胸腰椎骨折患者中比较骨髓富集人工骨与自体骨的脊柱融合疗效，结果显示两者融合效果相当，体现了骨髓富集技术在增强人工骨融合能力中的重要作用。本研究中，采用骨髓富集人工骨行椎间融合，术后6个月及12个月的融合效果均优于单纯使用人工骨组，进一步证实了骨髓富集人工骨在椎间融合中的促融合效能。

此外，本研究显示，观察组患者手术时长和术中出血量与对照组相比差异无统计学意义。这可能得益于该操作的简便性：骨髓采集通过术区邻近髂骨直接穿刺完成，并使用专用富集器富集，全程约10 min。文献报道[43]骨髓富集技术相关并发症发生率较低（约0.08%），主要为穿刺相关的神经血管损伤或感染。Hernigou P等[44]对1 873例接受骨髓富集技术治疗的患者进行了平均12.5年的随访，未发现治疗部位有肿瘤形成。本研究中仅有1例患者发生融合器退出，考虑与患者肥胖及术后不良姿势有关，未观察到与骨髓富集直接相关的感染、神经损伤等并发症，表明该技术在腰椎融合术中应用同样安全可靠。

本研究为探索性回顾性研究，可能存在一定偏倚。此外，样本量较小，可能对研究结果产生影响。本研究仅纳入了单纯人工骨和骨髓富集人工骨在OLIF联合后路经皮椎弓根螺钉内固定中的应用，未来仍需开展前瞻性研究，增加人工骨结合骨髓浸泡组及自体骨组，扩大样本量，并探讨其在其他类型腰椎滑脱和腰椎管狭窄疾病中的临床疗效，以进一步明确骨髓富集技术在脊柱融合中的作用。

综上所述，本研究初步证实，OLIF联合后路经皮椎弓根螺钉内固定术治疗腰椎Ⅰ度滑脱症是一种有效术式，能够有效缓解患者症状并改善影像学相关参数。骨髓富集人工骨是一种安全、易得的骨融合材料，具有显著的促进骨融合效果，可为临床骨移植材料的选择提供新思路。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突。

作者贡献声明 张健：研究方案设计、实施手术、数据收集与整理、统计分析、论文撰写；王冬生：研究方案设计、实施手术、论文修改与审校；黄波：实施手术、数据收集；刘佰易：数据收集与整理、影像学参数测量；刘鹏：数据收集与整理、影像学参数测量；刘瑶瑶：文献检索与整理、论文修改。

参 考 文 献

[1] Bydon M, Ali Alvi M, Goyal A. Degenerative lumbar spondylolisthesis: definition, natural history, conservative management, and surgical treatment[J]. Neurosurg Clin N Am, 2019, 30(3): 299-304.

[2] Shi J, Wu H, Li FY, et al. Meta-analysis of the efficacy and safety

of OLIF and TLIF in the treatment of degenerative lumbar spondylolisthesis[J]. J Orthop Surg Res, 2024, 19(1): 242.

[3] Li J, Chen YL, Wu H, et al. Can oblique lateral interbody fusion (OLIF) create more lumbosacral lordosis in lumbar spine surgery than minimally invasive transforaminal interbody fusion (MIS-TLIF)? [J]. Front Surg, 2023, 9: 1063354.

[4] Jun L, Zou T, Wei JJ, et al. Comparison of the effects between oblique lateral interbody fusion (OLIF) and minimally invasive transforaminal interbody fusion (MIS-TLIF) in the treatment of adult degenerative lumbar scoliosis[J]. J Orthop, 2024, 58: 58-65.

[5] 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.

[6] Zhang XY, Wang YT, Zhang WK, et al. Perioperative clinical features and long-term prognosis after oblique lateral interbody fusion (OLIF), OLIF with anterolateral screw fixation, or OLIF with percutaneous pedicle fixation: a comprehensive treatment strategy for patients with lumbar degenerative disease[J]. Neurospine, 2023, 20(2): 536-549.

[7] Lin GX, Nan JN, Chen KT, et al. Bibliometric analysis and visualization of research trends on oblique lumbar interbody fusion surgery[J]. Int Orthop, 2022, 46(7): 1597-1608.

[8] Wang WH, Xiao B, Wang HT, et al. Oblique lateral interbody fusion stand-alone vs. combined with percutaneous pedicle screw fixation in the treatment of discogenic low back pain[J]. Front Surg, 2022, 9: 1013431.

[9] 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.

[10] Shi S, Liu ZD, Li XF, et al. Comparison of plate-cage construct and stand-alone anchored spacer in the surgical treatment of three-level cervical spondylotic myelopathy: a preliminary clinical study[J]. Spine J, 2015, 15(9): 1973-1980.

[11] 冯仕明,高顺红,焦 成. 同种异体骨移植的研究进展[J]. 中国矫形外科杂志, 2011, 19(21):

Feng SM, Gao SH, Jiao C. Research progress of bone allograft[J]. Orthop J China, 2011, 19(21): 1797-1799.

1797-1799.

[12] 程丽佳,张星宇,史 铀,等. 人工骨的研究现状[J]. 解剖学研究, 2016, 38(4): 309-310, 331.

Cheng LJ, Zhang XY, Shi Y, et al. Research status of artificial bone[J]. Anat Res, 2016, 38(4): 309-310, 331.

[13] VonderHoeh NH, Voelker A, Heyde CE. Results of lumbar spondylodeses using different bone grafting materials after transforaminal lumbar interbody fusion (TLIF) [J]. Eur Spine J, 2017, 26(11): 2835-2842.

[14] Gao CD, Peng SP, Feng P, et al. Bone biomaterials and interactions with stem cells[J]. Bone Res, 2017, 5: 17059.

[15] Hernigou P, Poignard A, Manicom O, et al. The use of percutaneous autologous bone marrow transplantation in nonunion and avascular necrosis of bone[J]. J Bone Joint Surg Br, 2005, 87(7): 896-902.

[16] 张中禹,于 丽,林治建,等. 血浆和骨髓浓缩物治疗胫腓骨内固定后骨不连[J]. 中国矫形外科杂志, 2023, 31(21): 2001-2004.

Zhang ZY, Yu L, Lin ZJ, et al. Local injection of autologous plasma and bone marrow concentrate for treatment of nonunion after internal fixation of tibiofibular fractures[J]. Orthop J China, 2023, 31(21): 2001-2004.

[17] Le Nail LR, Stanovici J, Fournier J, et al. Percutaneous grafting with bone marrow autologous concentrate for open Tibia fractures: analysis of forty three cases and literature review[J]. Int Orthop, 2014, 38(9): 1845-1853.

[18] 杨 鹏. 选择性细胞滞留技术构建骨髓富集骨移植材料的临床疗效观察[D]. 重庆: 中国人民解放军陆军军医大学, 2020.

Yang P. Clinical observation on the construction of bone marrow-enriched bone graft materials by selective cell retention technique[D]. Chongqing: Army Medical University, 2020.

[19] Bielewicz J, Daniluk B, Kamieniak P. VAS and NRS, same or different? are visual analog scale values and numerical rating scale equally viable tools for assessing patients after microdiscectomy? [J]. Pain Res Manag, 2022, 2022: 5337483.

[20] Sirvanci M, Bhatia M, Ali Ganiyusufoglu K, et al. Degenerative lumbar spinal stenosis: correlation with Oswestry Disability Index and MR imaging[J]. Eur Spine J, 2008, 17(5): 679-685.

[21] Bridwell KH, Lenke LG, McEnery KW, et al. Anterior fresh frozen structural allografts in the thoracic and lumbar spine. Do they work if combined with posterior fusion and instrumentation in adult patients with kyphosis or anterior column defects? [J]. Spine, 1976, 20(12): 1410-1418.

[22] Peng XR, Wang XD, Li ZH, et al. Oblique lumbar interbody fusion combined with anterolateral screw fixation and stress endplate augmentation for treating degenerative lumbar spondylolisthesis with osteoporosis[J]. Eur Spine J, 2024, 33(9): 3467-3475.

[23] Tu KK, Fei H, Lou YL, et al. Single-position O-arm X-ray navigation assisted oblique lateral interbody fusion combined with minimally invasive percutaneous pedicle nail internal fixation for lumbar spondylolisthesis[J]. China J Orthop Traumatol, 2025, 38(5): 447-453.

[24] Cerny J, Soukup J, Loukotova L, et al. The effectiveness and practical application of different reduction techniques in burst fractures of the thoracolumbar spine[J]. J Clin Med, 2025, 14(13): 4700.

[25] Sulaiman S, Ankith NV, Sameer Ahammed JN, et al. Radiographic and surgical predictive factors for restoring segmental lumbar lordosis and normal spinopelvic balance following TLIF surgery in lumbar spondylolisthesis patients[J]. BMC Musculoskelet Disord, 2025, 26(1): 926.

[26] Taylor Z, Gomez D, Nygaard B, et al. Comparative effectiveness of lumbar interbody fusion techniques in adult scoliosis: a systematic review and meta-analysis of postoperative alignment and disability out-

comes[J]. J Spine Surg,2025,11(3):420-429.

[27] 曾忠友,张建乔,宋永兴,等.斜外侧入路和后路融合治疗Ⅰ~Ⅱ度腰椎滑脱症的对比研究[J].中华老年骨科与康复电子杂志,2022,8(2):80-90.

Zeng ZY, Zhang JQ, Song YX, et al. Comparative study of oblique lateral approach and posterior fusion in the treatment of grade Ⅰ-Ⅱ lumbar spondylolisthesis[J]. Chin J Geriatr Orthop Rehabil Electron Ed, 2022,8(2):80-90.

[28] Sun D, Liang WS, Hai Y, et al. OLIF versus ALIF: Which is the better surgical approach for degenerative lumbar disease? A systematic review[J]. Eur Spine J,2023,32(2):689-699.

[29] Li JXJ, Phan K, Mobbs R. Oblique lumbar interbody fusion: technical aspects, operative outcomes, and complications[J]. World Neurosurg,2017,98:113-123.

[30] 范顺武,姜建元,叶晓健,等.腰椎斜外侧椎间融合术的临床应用指南[J].中华骨科杂志,2020,40(8):459-468.

Fan SW, Jiang JY, Ye XJ, et al. Guidelines for the clinical application of lumbar oblique lateral interbody fusion[J]. Chin J Orthop,2020,40(8):459-468.

[31] Emami A, Patel N, Coban D, et al. Comparing clinical and radiological outcomes between single-level OLIF and XLIF: A systematic review and meta-analysis[J]. N Am Spine Soc J,2023,14:100216.

[32] 姚亚波,周鹏飞.经椎间孔腰椎椎间融合术与斜外侧腰椎椎间融合术联合后路椎弓根螺钉内固定术治疗退变性腰椎滑脱症的疗效观察[J].临床外科杂志,2025,33(5):535-539.

Yao YB, Zhou PF. A study on the efficacy of transforaminal lumbar interbody fusion and oblique lateral interbody fusion combined with posterior pedicle screw fixation surgery in the treatment of degenerative lumbar spondylolisthesis[J]. J Clin Surg,2025,33(5):535-539.

[33] 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.

[34] Cheers GM, Weimer LP, Neuerburg C, et al. Advances in implants and bone graft types for lumbar spinal fusion surgery[J]. Biomater Sci,2024,12(19):4875-4902.

[35] 范时洋,曾忠友.椎体间融合术中植骨材料的研究进展[J].脊柱外科杂志,2018,16(1):57-61.

Fan SY, Zeng ZY. Research progress of bone grafting material in interbody fusion[J]. J Spinal Surg,2018,16(1):57-61.

[36] 李 雯,杨 箭,潘可风.新型骨替代材料硫酸钙/磷酸钙的生物相容性研究[J].口腔颌面外科杂志,2008,18(2):95-97.

Li W, Yang J, Pan KF. An experimental study on biocompatibility of calcium phosphate/calcium sulfate cement[J]. J Oral Maxillofac Surg, 2008,18(2):95-97.

[37] Huang ZQ, Iqbal Z, Zhao Z, et al. Cellular crosstalk in the bone marrow niche[J]. J Transl Med,2024,22(1):1096.

[38] 刘瑞祥,陈 琪,涂江虹,等.自体骨髓经皮注射移植治疗骨不连和骨延迟愈合的临床应用观察[J].内蒙古医学杂志,2015,47(4):401-403.

Liu RX, Chen Q, Tu JH, et al. The clinical observation of percutaneous autogenous bone marrow injection grafting for treatment of the delayed union or nonunion of fractures[J]. Inn Mong Med J, 2015, 47(4): 401-403.

[39] 中华医学会骨科学分会,邢军超,毕 龙,等.自体骨髓富集骨修复技术临床应用专家共识(2023版)[J].中华创伤杂志,2023,39(1):10-22.

Chinese Orthopaedic Association, Xing JC, Bi L, et al. Expert consensus for the clinical application of autologous bone marrow enrichment technique for bone repair(version 2023)[J]. Chin J Trauma, 2023, 39(1): 10-22.

[40] Veronesi F, Giavaresi G, Tschon M, et al. Clinical use of bone marrow, bone marrow concentrate, and expanded bone marrow mesenchymal stem cells in cartilage disease[J]. Stem Cells Dev,2013,22(2):181-192.

[41] 毛新展,周江南,胡建中,等.羟基磷灰石/磷酸三钙复合材料作为细胞载体的实验研究[J].中国临床康复,2004,8(26):5524-5525,5456.

Mao XZ, Zhou JN, Hu JZ, et al. Experimental study on hydroxyapatite/tricalcium phosphate matrix scaffold as cells carrier[J]. Chin J Tissue Eng Res,2004,8(26):5524-5525,5456.

[42] 闫 伟,杨 莉,凌 梅,等.自体骨髓富集间质干细胞与羟基磷灰石磷酸三钙材料复合在脊柱融合中的应用[J].中国组织工程研究,2016,20(8):1075-1080.

Yan W, Yang L, Ling M, et al. Autologous bone marrow mesenchymal stem cells combined with hydroxyapatite/tricalcium phosphate complex in the spinal fusion[J]. Chin J Tissue Eng Res, 2016, 20(8): 1075-1080.

[43] Imam MA, Holton J, Ernstbrunner L, et al. A systematic review of the clinical applications and complications of bone marrow aspirate concentrate in management of bone defects and nonunions[J]. Int Orthop, 2017,41(11):2213-2220.

[44] Hernigou P, Homma Y, Flouzat-Lachaniette CH, et al. Cancer risk is not increased in patients treated for orthopaedic diseases with autologous bone marrow cell concentrate[J]. J Bone Joint Surg Am, 2013, 95(24):2215-2221.

(收稿:2025-12-02;修回:2026-03-13;录用:2026-03-16)

(责任编辑:周一青)

本文引用格式:

张健,王冬生,黄波,等.骨髓富集人工骨在斜外侧腰椎椎间融合联合后路经皮椎弓根螺钉内固定治疗腰椎滑脱症中的应用[J].重庆医科大学学报,XXXX,XX(XX):1-10.