

腰椎弓根钉固定后两种融合术的生物力学比较

于滨生¹, 刘少喻¹, 李佛保¹, ABUMI Kuniyoshi², 陈柏龄¹, 龙厚清¹

(1.中山大学附属第一医院黄埔院区脊柱外科, 广东 广州 510700; 2.北海道大学医学部整形外科, 日本 札幌 060-8638)

摘要:【目的】对侧后方融合与经后路椎体间融合进行生物力学比较, 探讨腰椎重建术式的选择方法。【方法】10 具小牛尸体腰椎标本(L3-L6)用于实验。从 L4-L5 后方破坏腰椎稳定结构, 并用椎弓根钉固定(PSF)和椎体间 cage 行以下重建: 完整脊柱+PSF, 两侧关节突关节内侧切除+PSF, 两侧关节突关节全切+PSF, 椎间盘部分切除+PSF, 椎间盘部分切除+PSF/cage。各组均行载荷量为 5 N·m 的前-后屈曲测试, 记录固定椎间(L4-L5)的刚度值及 L4 螺钉的应变值, 并比较。【结果】除椎间盘部分切除+PSF 外所有重建组的脊柱刚度均显著大于完整脊柱组, 椎间盘部分切除+PSF/cage 组在所有的固定组中获得最大的脊柱刚度。椎间盘部分切除+PSF 组在所有的重建组中螺钉的应变值最大, 而椎间盘部分切除+PSF/cage 组的螺钉的应变值在所有重建组中最小。【结论】若脊柱前方的承载能力尚存, 使用 PSF 的侧后方融合可获得充分的力学稳定性。当脊柱前方丧失其承载能力, 单纯 PSF 的脊柱刚度低, 螺钉的应力显著增大。对此种病例, cage 的使用可增加重建脊柱的初期稳定性, 有利于降低后方固定器械的应力。

关键词: 腰椎; 侧后方融合; 经后路椎体间融合; 生物力学; 椎弓根钉固定

中图分类号: R68

文献标识码: A

文章编号: 1672-3554(2005)05-0511-04

Comparison of Biomechanics in Two Methods of Lumbar Fusion Using Pedicle Screw Fixation

YU Bin-sheng¹, LIU Shao-yu¹, LI Fo-bao¹, ABUMI Kuniyoshi², CHEN Bai-ling¹, LONG Hou-qing¹

(1. Department of Spinal Surgery, Huangpu Division, The First Affiliated Hospital, SUN Yat-sen University, Guangzhou 510700, China; 2. Department of Orthopedics, Medical School of Hokkaido University, Sapporo 060-8638, Japan)

Abstract: 【Objective】To compare biomechanics in posterolateral fusion and posterior lumbar interbody fusion, and explore the ideal reconstruction method for each lumbar instability. 【Methods】Ten calf spines (L3-L6) were used. Sequential destabilization was performed at L4-L5 and followed by posterior reconstruction using the pedicle screw fixation (PSF) and interbody cages as follows: (1) intact spine + PSF, (2) bilateral medial facetectomy + PSF, (3) bilateral total facetectomy + PSF, (4) partial discectomy + PSF, and (5) partial discectomy + PSF + interbody cages. Biomechanical testing was performed under 5 Nm flexion and extension loading modes. Construct stiffness (L4-L5) and L4 screw bending strain were analyzed. 【Results】All reconstructions except DPSF demonstrated significantly higher construct stiffness than the intact spine; DPSFC revealed the highest stiffness among the all reconstructions. DPSF resulted in significantly higher strain compared to the other groups; The DPSFC presented statistically less strain than the other reconstructions. 【Conclusions】For spinal instability with preserved anterior load sharing, PLF using PSF is biomechanically adequate. However, PSF alone demonstrated insufficient stability and high implant strain following partial discectomy. In such cases, additional interbody cages significantly increase construct stiffness and decrease hardware strain.

Key word: lumbar spine; posterolateral fusion; posterior lumbar interbody fusion; biomechanics; pedicle screw fixation

[J SUN Yat-sen Univ(Med Sci), 2005, 26(5):511-514]

对丧失稳定性的腰椎, 椎间融合是一种切实可行的治疗方法。近 20~30 年, 使用椎弓根钉固定(pedicle screw fixation, PSF)的侧后方融合(pos-

terolateral fusion, PLF)已广泛应用于腰椎重建。虽然获得较高的骨融合率^[1-3], 但螺钉早期断裂、矫正丢失及骨不连等并发症的报道并不少见^[2, 4, 5]。近

收稿日期: 2004-12-08

基金项目: 日本医学振兴协会科研基金资助项目(2002010239)

作者简介: 于滨生(1966-), 男, 黑龙江哈尔滨人, 1997-2003 年留学日本, 博士, 副主任医师, E-mail: yubinsheng121@sina.com

年, 为重建脊柱前方的承载能力及获得更高的脊柱刚度, 使用 cage 的经后路椎体间融合 (posterior lumbar interbody fusion, PLIF) 开始普及^[6,7]。Brodke 等^[8]通过生物力学研究证实, PSF 与 cage 合用的重建脊柱刚度高于单纯椎弓钉固定的刚度。然而, 脊柱固定或融合可增加相邻关节的应力, 引起早期退变已成为临床的重大课题, 且重建脊柱的刚度越大或固定节段越多, 对相邻关节的力学影响越严重。因此, 对某种失稳腰椎, 选择 PLF 还是 PLIF 的问题需要加以明确。本研究目的是对使用 PSF 的 PLF 和 PLIF 进行生物力学比较, 并探讨后路脊柱重建术式的选择方法。

1 材料与方 法

1.1 材 料

10 具新鲜小牛尸体腰椎 (周龄 8~10 周, L3-L6) 用于实验。所有标本均在死后 3 h 内采集, 并立即用双层塑料袋密封, 置 -30 的冰箱内保存。实验前将标本于室温下解冻, 剔除椎旁肌肉, 保留韧带、椎间盘及骨性结构完整。从标本头和尾侧分别刺入椎体内 3 枚长度为 30 mm 的木螺丝, L3 椎体头侧 1/2 和 L6 椎体尾侧 1/2 用牙托粉固定, 使 L4-L5 椎间盘在标本固定到实验台后保持水平 (图 1)。

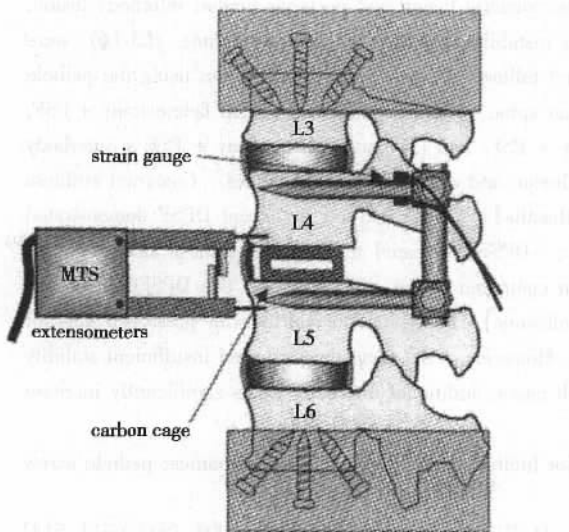


图 1 实验装置示意图

Fig.1 Schematic illustration of experimental setup

The L3 and L6 vertebrae were cast in polyester resin molds. The TSRH pedicle screw system and two carbon cages were used for spinal reconstruction. A pair of uniaxial strain gauges was mounted on L4 screws. Segmental motion of L4-L5 was recorded using an extensometer

1.2 腰椎失稳模型和脊柱重建方法

完整状态的脊柱测试后, 用 TSRH 椎弓根钉固定系统 (螺钉: $d=6.5\text{ mm}$, $l=45\text{ mm}$; 连接棒: $d=6.35\text{ mm}$; 日本 Sofamor Danek 公司提供) 固定 L4-L5 椎间。椎弓的根钉刺入点定于横突上下缘中点连线与上关节突外缘的交点。用骨锥刺破骨皮质, 椎弓根骨锥平行于 L4-L5 椎间盘并向内前方 15 度刺入椎弓根, 深度入达 30 mm 后, 将之拔出。用丝锥扩髓腔后, 将椎弓根螺钉旋入, 深达 35 mm。L4 与 L5 分别打入椎弓根钉后, 用连接棒将上下螺钉连接。

在 PSF 的情况下, 从 L4-L5 椎间后方逐步施行双侧关节突关节内侧切除 (切除棘上、棘间及黄韧带, 切除部分椎弓及两侧关节突关节内侧 1/2), 两侧关节突关节全部切除, 及椎间盘部分切除 (L4-L5 椎间的后纵韧带和后方纤维环切离及髓核全部摘除)。分别测试后, 拆除 2 根连接棒, 并将 2 个 Brantigan 碳纤维 cage ($10\text{ mm}\times 9\text{ mm}\times 21\text{ mm}$; 美国 Depuy-Acromed 公司提供) 自后方插入 L4-L5 椎体间。在 858 型 MTS 材料实验机上, 给 L4-L5 椎间施加 125 N^[9] 轴向压力同时, 将钉-棒再次连接 (图 1)。共行以下 5 种脊柱重建: 完整脊柱+PSF (intact spine + PSF, IPSF); 两侧关节突关节内侧切除+PSF (bilateral medial facetectomy + PSF, MFPSF); 两侧关节突关节全部切除+PSF (bilateral total facetectomy + PSF, TFPSF); 椎间盘部分切除+PSF (partial discectomy + PSF, DPSF); 椎间盘部分切除+PSF/cage (partial discectomy + PSF + interbody cages, DPSFC)。在本实验中, 将单独 PSF 的 4 组设想为对不同种失稳腰椎进行的 PLF, PSF 和 cage 合用则设想为 PLIF。

1.3 L4 椎弓根钉折曲应变量和椎间活动范围的测定

将 L4 椎弓根钉基部的上下面贴付一对单轴应变片 (KFG-1N-120-C1-23L3M2R, 日本共和电业提供)。应变片输出信号通过多频道放大器增幅后, 记录到个人电脑 (Libretto L3/060TN2L, 日本东芝)。L4-L5 的前方设置变位测量仪 (Extensometer, MTS 公司提供), 将椎间的活动范围 (range of motion, ROM) 记录到个人电脑 (PC9801-RA, 日本 NEC) (图 1)。

1.4 生物力学测试

通过三维纯力矩载荷仪, 行非破坏性前-后屈曲实验。该载荷仪通过向标本头侧装置的载荷棒两端施加 1 对大小相等、上下方向相反的牵引力, 给标本施加前-后屈的纯力矩载荷。载荷量定为 $\pm 5\text{ N}\cdot\text{m}$ (此载荷量被以往生物力学实验广泛应

用)。加载-卸载重复 3 次, 只记录第 3 次结果。试验过程中用加湿器将标本保湿。

1.5 解析

每组均行同一实验, 固定椎间(L4-L5)的刚度值及 L4 椎弓根钉的折曲应变用以下方法计算并加以比较。固定椎间的刚度值: $5 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ 椎间 ROM(mm)。L4 椎弓根钉折曲应变: 根据一对应变片(A 与 B)在加载后的应变做如下计算: 折曲应变 = $\frac{\text{应变量}(A) - \text{应变量}(B)}{2} \times 100\%$

1.6 统计处理

采用反复测定方差分析和 Fisher's PLSD post hoc 检测, 危险率在 0.05 以下作为显著差异的判定标准。

2 结果

2.1 固定椎间(L4-L5)的刚度值

完整脊柱组的刚度值标准化为 100%。方差分析结果, 前屈实验时 $F = 52.52, P < 0.0001$; 后屈实验时 $F = 21.13, P < 0.0001$, 组间存在统计学差异。在前-后屈曲试验, 除椎间盘部分切除+PSF 外其它重建组的刚度值显著高于完整脊柱组。完整脊柱+PSF, 两侧关节突关节内侧切除+PSF, 及两侧关节突关节全切+PSF 的 3 组间无显著差异。但是, 与此 3 组相比, 椎间盘部分切除+PSF 组的刚度值明显降低。PSF 与 Cage 合用组的刚度值显著高于其它组(图 2)。

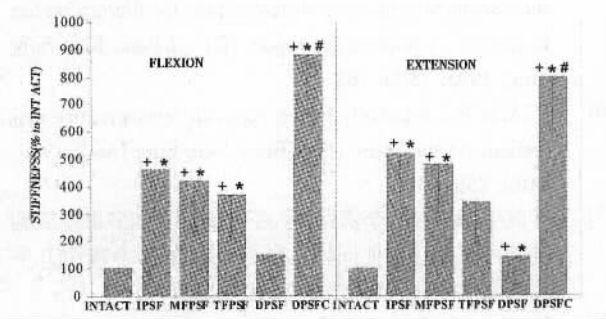


图 2 固定椎间(L4-L5)的刚性值
Fig.2 Construct stiffness (L4-L5)

INTACT = intact spine; IPSF = intact spine + PSF; MFPSF = bilateral medial facetectomy + PSF; TFPSF = bilateral total facetectomy + PSF; DPSF = partial discectomy + PSF; DPSFC = partial discectomy + PSF + interbody cages. * $P < 0.05$ vs. INTACT; + $P < 0.05$ vs. DPSF; # $P < 0.05$ vs. IPSF, MFPSF, & TFPSF, repeated-measures ANOVA and Fisher's PLSD post hoc test (In flexion, $F = 52.52, P < 0.0001$; In extension, $F = 21.13, P < 0.0001$).

2.2 L4 椎弓根钉的折曲应变

L4 椎弓根钉的折曲应变由左右 2 枚钉折曲应变量的平均值表示。完整脊柱+PSF 组椎弓根钉的折曲应变标准化为 100%。方差分析结果, 前屈实验时 $F = 76.43, P < 0.0001$; 后屈实验时 $F = 52.19, P < 0.0001$, 组间存在统计学差异。前-后屈曲试验时, 完整脊柱+PSF、两侧关节突关节内侧切除+PSF、及两侧关节突关节全切+PSF 的 3 组间, 椎弓根钉的折曲应变无显著差异。然而, 与此 3 组比较, 椎间盘部分切除+PSF 组椎弓根钉的折曲应变显著增大。椎间盘部分切除+PSF/Cage 组椎弓根钉的折曲应变明显小于其它重建组(图 3)。

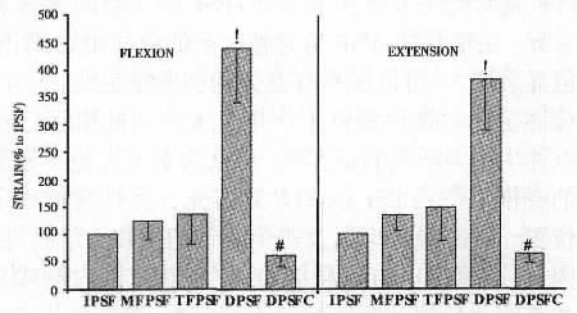


图 3 L4 椎弓根钉的折曲应变

Fig.3 Bending strain of L4 pedicular screw

INTACT = intact spine; IPSF = intact spine + PSF; MFPSF = bilateral medial facetectomy + PSF; TFPSF = bilateral total facetectomy + PSF; DPSF = partial discectomy + PSF; DPSFC = partial discectomy + PSF + interbody cages. ! $P < 0.05$ vs. other groups, # $P < 0.05$ vs. IPSF, MFPSF, & TFPSF, repeated-measures ANOVA and Fisher's PLSD post hoc test (In flexion, $F = 76.43, P < 0.0001$; In extension, $F = 52.19, P < 0.0001$).

3 讨论

本研究采用小牛尸体脊柱为实验标本。与人尸体脊柱相比, 小牛尸体脊柱的大小个体差异小, 无关节退变及骨质疏松等病理改变, 有利于实验的均衡性。另外, 其粘弹性及解剖结构近似于人尸体脊柱, 被认为生物力学实验中妥当的人尸体脊柱的替代材料^[9]。在失稳腰椎的后路重建中, 使用 PSF 的 PLF 和 PLIF 已被广泛应用。PLIF 接近椎间旋转中心且轴向承载分布率高, 有利于保持腰椎前凸及减小后方固定器械的应力。而且, PLIF 较 PLF 刚度高、移植骨床面积大, 有利于获得更高的骨融合率。

在本研究中, 对不同种失稳腰椎施行 PLF 和 PLIF 的生物力学比较实验, 是以明确重建脊柱刚度和椎弓根钉所受应力为目的。本实验所用的失稳模型是通过阶段地切除两侧内侧关节突关节,

两侧关节突关节,及部分椎间盘制作而成。虽然这些腰椎后方或前方的不稳定化模型在以往生物力学实验中被应用^[9,10],但不具备椎间隙狭窄、韧带弹性低下、关节突关节增生及椎体滑脱等腰椎退行性疾患的病理学特征;本实验评价重建术对固定椎间的影响,但没考虑神经肌肉等稳定结构对腰椎的稳定效果。而且,体外实验只能评价固定术后的早期状况,而不能评价其远期效果。因此,本实验的数据应用于临床还存在一定局限性。

本实验中,在重建脊柱刚度和螺钉折曲应变变量方面,完整脊柱+PSF、两侧关节突关节内侧切除+PSF及两侧关节突关节全切+PSF的3组间无显著差异。完整脊柱+PSF与完整状态的脊柱相比,刚度值显著增大,可以说具有充分的初期稳定性。另外,该固定法对椎弓根钉不产生过大应力的事实已被以往生物力学实验证实^[10]。可认为对于失稳不显著的脊椎,使用PSF的PLF具有充分保持脊椎固定位置、提高融合率以及避免断钉的生物力学特性。因此,若脊椎前方承载能力尚存,对两侧内侧或全关节突关节切除所引起的不稳定性,单纯使用PSF的PLF具有足够的力学稳定性,并无行PLIF的必要。

但是,椎间盘部分切除+PSF组与完整脊柱+PSF、两侧关节突关节内侧切除+PSF及两侧关节突关节全切+PSF的3组比较,重建脊柱的刚度明显降低,椎弓根钉的折曲应变变量也显著增大。此结果预示当脊椎丧失前方承载能力时,单纯使用PSF的PLF不能达到充分的脊椎稳定,并且椎弓根钉还承受过大应力。该结果也为脊椎前方失去承载能力的病例实施PSF的PLF时,螺钉断裂、后突畸形以及骨不连发生率高的临床报道提供依据^[2,4,5]。

本研究显示出PSF与cage合用的脊柱重建在所有重建组中,重建脊柱的刚度最大,而螺钉折曲应变变量最小。此结果说明PLIF比PLF的初期稳定性高,同时可降低后方固定器械的应力。因此,对丧失脊椎前方承载能力的病例,PLF有其力学的局限性,作为前方支柱重建的PLIF应被采用。脊椎融合或固定可加大相邻关节的活动范围^[9],增加椎间盘和关节突关节的应力。因此,为避免相邻关节的早期退变,腰椎融合术的适应症要慎重考虑。Yu^[9]通过生物力学实验证实PLIF对相邻关节的力学影响显著大于PLF,这预示着PLIF更具引起早期退变的危险性。对单纯PLF所能解决的病例不宜用PLIF。

综合本实验结果可以看出,对各种失稳腰椎选择适当的重建方法,其关键在于评价脊柱前方的承

载能力。但是,腰椎退变疾患的脊柱前方承载能力的评价方法至今尚未明确。须田等^[3]对腰椎峡部裂滑脱症实施PLF的远期疗效进行了分析。他们得出,术前中立位片上,罹患椎间的后突畸形每增加5或后部椎间盘高度每增加5%,发生断钉或骨不连的危险将提高2倍的结论。这些放射线学所见是判断退变疾患脊柱前方承载能力下降程度的重要依据。根据生物力学的观点,较大的重建脊柱刚度对保持脊柱固定位置和提高骨融合率有利。但是,较大的脊柱刚度又能增大相邻关节的应力,增加早期退变的危险。为各种失稳脊柱选择一种最佳的重建方案,还需临床以及生物力学的进一步研究。

参考文献:

- [1] Louis R. Fusion of the lumbar and sacral spine by internal fixation with screw plate [J]. Clin Orthop, 1986, 203(1): 18-33.
- [2] Suda K, Ito M, Abumi K, et al. Is interbody fusion mandatory in treatment of isthmic spondylolisthesis? From long-term results of posterolateral fusion [P]. Proceedings from the 2002 annual meeting of AAOS, p88.
- [3] Zdeblick TA. A prospective, randomized study of lumbar fusion. Preliminary results [J]. Spine, 1993, 18(8): 983-91.
- [4] Boos N, Marchesi D, Zuber K, et al. Treatment of severe spondylolisthesis by reduction and pedicular fixation. A 4-6-year follow-up study [J]. Spine, 1993, 18(12): 1655-61.
- [5] McLain RF, Sparling E, Benson DR. Early failure of short-segment pedicle instrumentation for thoracolumbar fractures. A preliminary report [J]. J Bone Joint Surg [Am], 1993, 75(1): 162-7.
- [6] McAfee PC. Interbody fusion cages in reconstructive operations on the spine [J]. J Bone Joint Surg [Am], 1999, 81(6): 859-80.
- [7] 于滨生,刘少喻,李佛保,等.羟基磷灰石和多聚左旋乳酸制可吸收性椎体间固定融合cage的力学特性[J].中山大学学报(医学科学版),2004,25(3S):6-8.
- [8] Brodke DS, Dick JC, Kunz DN, et al. Posterior lumbar interbody fusion. A biomechanical comparison, including a new threaded cage [J]. Spine, 1997, 22(1): 26-31.
- [9] Yu Bin-sheng. Biomechanical comparison of the posterolateral fusion and posterior lumbar interbody fusion using pedicle screw fixation system for unstable lumbar spine [J]. J Hokkaido Med Sci, 2003, 78(3):211-8.
- [10] Cripton PA, Jain GM, Wittenberg RH, et al. Load-sharing characteristics of stabilized lumbar spine segments [J]. Spine, 2000, 25(2): 170-9.