

椎体间融合器的单节段植入对腰椎多节段椎弓根固定装置中螺钉应力的影响

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

(1.中山大学附属第一医院脊柱外科, 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】通过体外生物力学实验评价椎体间融合器(cage)的单节段植入对腰椎多节段固定装置中椎弓根钉应力的影响。【方法】10具牛新鲜尸体腰骶椎标本 L2-S1 用于实验。经后方行 L3-L4、L4-L5 和 L5-L6 椎板和椎间盘部分切除,用椎弓根钉和一对碳纤维 cage 行以下 3 种三节段固定: 无 cage 植入; L4-L5 cage 植入; L5-L6 cage 植入。每组分别行载荷量为 600 N 的轴向压缩试验,记录各节段椎弓根钉的折曲应变变量,并加以比较。【结果】在无 cage 植入组中,L3 和 L6 椎弓根钉的折曲应变变量显著高于 L4 和 L5;在 L4-L5 cage 植入组中,L4 和 L5 椎弓根钉的折曲应变变量显著低于 L3 和 L6;在 L5-L6 cage 植入组中,L5 和 L6 椎弓根钉的折曲应变变量显著低于 L3 和 L4。【结论】多节段椎弓根固定结构可导致上下两端椎弓根钉的应力增大;Cage 的植入可降低上下相邻椎弓根钉的应力,但使相邻以远的椎弓根钉的应力增大。

关键词: 腰椎; 椎弓根钉; 椎间融合器; 承载分担; 生物力学

中图分类号: R68

文献标识码: A

文章编号: 1672-3554(2006)01-0059-04

Effect of One-segmental Interbody Cage Insertion on Screws Strain in Lumbar Multi-segmental Pedicle Fixation Construct

YU Bin-sheng¹, LIU Shao-yu¹, ABUMI Kuniyoshi², LI Fo-bao¹, LIANG Chun-xiang¹, CHEN Bai-ling¹, LONG Hou-qing¹

(1.Department of Spinal Surgery, 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 evaluate the effect of one-segmental cage insertion on screws strain in lumbar multi-segmental pedicle fixation construct.【Methods】Ten fresh calf spines (L2-S1) were used. After L3-L4, L4-L5, L5-L6 laminectomy and partial discectomy, three-segmental pedicle screw fixations with and without two carbon cage insertion were performed as follow: (1) no cage insertion, (2) L4-L5 cage insertion, and (3) L5-L6 cage insertion. Biomechanical testing was undergone under 600 N compressive loading mode. Screw bending strains at every vertebra were measured and compared.【Results】In no cage insertion group, L3 and L6 screws bending strain were significantly higher than L4 and L5; In L4-L5 cage insertion group, L4 and L5 screws bending strain were markedly lower than L3 and L6; In L5-L6 cage insertion group, screws strain at L5 and L6 were significantly lower than at L3 and L4. 【Conclusion】Multi-segmental pedicle fixation construct may lead to high strain at the cranial and caudal screws. Cage insertion can decrease adjacent up and down screws strain, but increase the other screws strain.

Key words: lumbar spine; pedicle screw; cage; load sharing; biomechanics

[J SUN Yat-sen Univ(Med Sci), 2006, 27(1):59-62]

近年,使用椎弓根钉固定的侧后方融合已广泛应用于腰椎的后方重建。虽然从单节段固定到多节段矫形都取得较高骨融合率^[1-4],但是椎弓根钉的早

期断裂和矫正丢失等并发症的报道并不少见^[1,4,5]。最近,为提高重建脊柱的刚度和减小后方固定器械的应力,使用椎体间融合器(cage)的经后路椎体间

收稿日期: 2005-06-25

基金项目: 广东省科技计划基金资助项目(2004B10401029)

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: hpyubinsheng@163.com

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

融合被提倡^[6-9]。虽然以往生物力学实验探讨了 cage 对单节段椎弓根钉固定装置的应力影响^[9], 但是 cage 在某一节段的植入对多节段椎弓根钉的应力如何影响, 尚未得以明确。

1 材料与方 法

1.1 材 料

10 具牛新鲜尸体腰骶椎 L2- S1 (月龄 5~6 个月) 用于实验。所有标本均在死后 2 h 内采集, 用双层塑料袋密封, 置 -30 ℃ 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。从标本的头和尾侧分别刺入椎体内 3 枚长度为 30 mm 的木螺丝, 用牙托粉固定 L2 椎体的头侧 1/2 和 S1 椎体, 并使 L4- L5 椎间在标本固定到实验台后与地面保持水平。

1.2 多节段腰椎后方固定模型和制作方法

用 TSRH 椎弓根钉系统 (螺钉: 6.5 mm × 4.5 mm; 连接棒: 6.35 mm; 日本 Sofamor Danek 公司提供) 行 L3- L6 的三节段椎间固定。椎弓根钉的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, 丝锥平行于 L4- L5 椎间盘并向内前方 15 度扩大髓腔, 深度入达 30 mm 后, 将之拔出。将椎弓根钉旋入, 深达 35 mm。L3、L4、L5 和 L6 椎体分别刺入椎弓根钉后, 行 L3- L4、L4- L5、L6- S1 的部分椎板、后纵韧带、后方纤维环及髓核的切除, 通过两枚连接棒将各螺钉连接。根据 2 个 Brantigan 碳纤维 cage (10 mm × 9 mm × 21 mm; Depuy- Acromed 公司提供) 是否植入椎体间或植入节段获得 3 种固定模型 (图 1): 无 cage 植入组

(A); L4- L5 cage 植入组 (B); L5- L6 cage 植入组 (C)。3 种多节段固定模型的顺序随机产生。Cage 从后方植入某椎体间后, 用椎间加压器通过上下相邻的椎弓根钉的尾部给该椎间施加 125 N^{90°} 轴向压力的同时, 锁紧钉- 棒连接处。在所有重建中, 钉- 棒连接时, 用 12 N·m 扭矩将螺帽旋紧。

1.3 椎弓根钉折曲应变量的测定和数据解析

将椎弓根钉基部的上下面粘贴一对单轴应变片 (strain gauge, 日本共和电业提供), 并将其表面进行防水处理^[7]。应变片是由微小电阻构成, 当椎弓根钉发生折曲变形时, 应变片的长度变化引起其电阻改变。应变片的输出信号通过多频道放大器增幅后, 记录到个人电脑。将标本固定到材料实验机 (MTS) 的操作台上, 通过 MTS 从标本的头侧向各节段施加 0~600 N 的轴向压力。600 N 轴向压力的量, 介于非破坏性体外生物力学试验载荷量的范围内^[6,7,9,10], 并与脊柱从事日常生活所承受的载荷量相仿。测试重复 3 次, 只记录第 3 次的结果。测试过程中用加湿器将标本保湿。每组均行同一实验, 记录 600 N 载荷时各椎弓根钉的折曲应变量 (μ), 每节段椎弓根钉的折曲应变量以两个螺钉的平均值表示^[7], 并加以比较。

1.4 统计学方法

采用 StarView 4.0 软件的重复测定方差分析 (repeated- measure ANOVA) 和 Fisher's PLSD post hoc 检测, 危险率在 5% 以下作为显著差异的判定标准。

2 结 果

2.1 组内各节段椎弓根钉折曲应变量的比较

方差分析结果显示: 每组内各节段椎弓根钉应变量间的差异有统计学意义 ($P < 0.0001$)。在无 cage 植入组中, L3 和 L6 椎弓根钉的折曲应变量显著高于 L4 和 L5; 在 L4- L5 cage 植入组中, L4 和 L5 椎弓根钉的折曲应变量显著低于 L3 和 L6; 在 L5- L6 cage 植入组中, L5 和 L6 椎弓根钉的折曲应变量显著低于 L3 和 L4 (表 1)。

2.2 组间同节段椎弓根钉折曲应变量的比较

方差分析结果: 3 组的 L3 椎弓根钉应变量间, 差异无统计学意义 ($P < 0.001$); 3 组的 L4 椎弓根钉应变量间, 差异有统计学意义 ($P < 0.0001$); 3 组的 L5 椎弓根钉应变量间差异有统计学意义 ($P <$

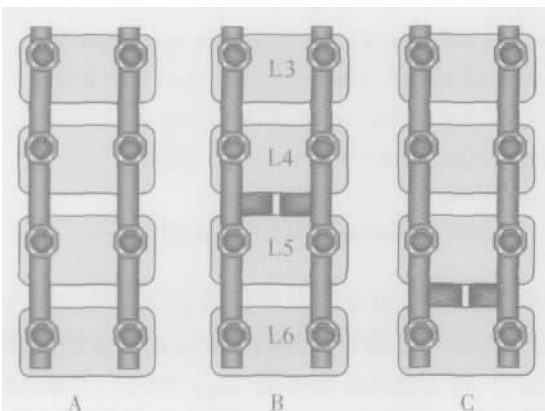


图 1 用椎弓根钉和椎体间 cage 行 3 种腰椎多节段固定

Fig.1 Three lumbar multi-segmental fixation methods using pedicle screw and interbody cages

A: No cage insertion; B: L4-L5 cage in insertion; C: L5-L6 cage insertion

0.0001); 3 组的 L6 椎弓根钉应变变量间, 组间差异有统计学意义 ($P < 0.0001$)。与无 cage 植入组相比, L4- L5 cage 植入组中 L4 和 L5 椎弓根钉的应变变量显著减小, 但 L3 和 L6 椎弓根钉的折曲应变变量无明显改变; 与无 cage 植入组相比, L5- L6 cage 植入组中 L5 和 L6 椎弓根钉的折曲应变变量明显降低, L3 无显著变化, 但 L4 椎弓根钉的折曲应变变量却显著增大(表 1)。

表 1 各节段椎弓根钉的折曲应变变量测定

Table 1 The detection results of screw bending strain at each level ($\bar{X} \pm s, \mu \varepsilon$)

Group	n	L3 screw	L4 screw	L5 screw	L6 screw
No cage insertion	10	684 \pm 392 ¹⁾	347 \pm 111	358 \pm 94	699 \pm 256 ¹⁾
L4- L5 cage insertion	10	623 \pm 199 ¹⁾	154 \pm 71 ^{A)}	146 \pm 67 ^{A)}	588 \pm 322 ¹⁾
L5- L6 cage insertion	10	666 \pm 301 ²⁾	646 \pm 195 ^{2), A)}	146 \pm 50 ^{A)}	149 \pm 82 ^{A)}

Note: 1) and 2) mean comparison of the different screws in the same group, A) means comparison of the same screw among the three groups. 1) $P < 0.05$, vs. L4 and L5 screws, 2) $P < 0.05$, vs. L5 and L6 screws; A) $P < 0.05$, vs. no cage insertion group, repeated-measures ANOVA and Fisher's PLSD post hoc test (The screws in no cage insertion group, $F = 19.54$, $P < 0.0001$; The screws in L4- L5 cage insertion group, $F = 36.93$, $P < 0.0001$; The screws in L5- L6 cage insertion group, $F = 49.55$, $P < 0.0001$. Among the three groups, L3 screw strains, $F = 0.54$, $P = 0.71$; L4 screw strains, $F = 9.03$, $P < 0.0001$; L5 screw strains, $F = 8.55$, $P < 0.0001$; L6 screw strains, $F = 68.74$, $P < 0.0001$)

3 讨论

本实验采用的标本为小牛新鲜尸体脊柱。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态改变, 有利于实验的均一性。另外, 其粘弹性及解剖结构近似于人尸体脊柱^[6,10]。因此, 小牛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, 并且被广泛使用^[6,10]。

本实验通过切除椎板及部分椎间盘制作出腰椎的不稳定模型。虽然这种腰椎失稳模型在以往的生物力学实验中被应用^[6,7], 但不具椎间隙狭窄、韧带弹性低下、椎间关节增生及脊椎滑脱等腰椎退行性疾患的病理学特征; 本实验评价了 cage 的植入对多节段椎弓根钉应力的影响, 但未考虑神经肌肉等脊柱外部稳定结构的作用; 而且, 体外实验只能评价固定术后的早期状况, 然而未能评价其长期效

果。因此, 本实验的数据应用于临床还存在一定的局限性。

本实验中, 无 cage 植入组的 L3 和 L6 椎弓根钉的折曲应变变量显著高于 L4 和 L5。此结果说明单纯使用椎弓根钉的多节段固定可使上下两端椎弓根钉的应力增大, 其内部的椎弓根钉发生应力遮挡。这也为临床上腰椎多节段椎弓根钉固定时两端的螺钉易发生断裂提供依据^[3,4]。

当 cage 植入 L4- L5 椎间时, L4 和 L5 椎弓根钉的受力明显减小, 而 L3 和 L6 椎弓根钉的受力则无明显改变。并且, 当 cage 植入 L5- L6 椎间后, 与无 cage 植入组相比, L5 和 L6 椎弓根钉的应力明显减小, 然而 L4 椎弓根钉的应力却明显增大。根据生物力学的观点, 脊柱固定后其载荷由脊柱和固定器械共同分担。当脊柱承载能力降低时, 器械所受应力则增加。Cage 植入椎体间可增大脊柱的承载能力, 从而使通过弓根钉的应力减少。根据本实验的结果, 一方面 cage 的植入降低了上下相邻椎弓根钉的应力, 另一方面又导致相邻以远椎弓根钉的应力增大。Kostuik 等^[10]评价了对切除第三腰椎体的牛脊柱标本行上下各两个椎骨椎弓根固定时各螺钉的受力, 结果发现邻近切除椎的上下椎弓根钉的应力明显高于其它椎骨的椎弓根钉。因此, 在多节段椎弓根钉固定装置中, 椎弓根钉的应力集中在脊柱承载能力最为低下的区域。换言之, 在多节段椎弓根钉固定结构中, cage 的植入应选择丧失脊柱承载能力的椎间。

生物力学研究证实, 人腰椎前方结构的承载分担率大致是后方结构的 2 倍^[7]。Yu 等^[6]证实, 使用椎弓根钉固定时是否选择椎体间融合的关键在于脊柱前方结构承载能力。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^[12]对腰椎峡部裂滑脱症实施椎弓根钉固定的侧后方融合的远期疗效进行了分析。他们得出, 术前中立位片上, 罹患椎间的后凸改变每增加 5° (disc angle) 或椎间盘高 (posterior disc height) 每增加 5%, 发生断钉的危险将提高 2 倍的结论^[2]。这些放射线学所见可能成为判断退变疾患脊柱前方承载能力下降程度的重要依据。临床及生物力学研究表明, 椎体间的撑开可导致固定器械的承载加大^[2,5,8], 从而使脊柱前方承载能力低下。在退变性腰椎侧凸症的手术治疗中, 减压后实行多节段椎弓根钉矫形与固定是一种行之有效的方法。在因退变和撑开所导致

的前方承载能力低下的椎间实行椎体间融合,对减小局部椎弓根钉的应力,进而降低断钉的发生率具有重要意义。

参考文献:

- [1] McLAIN R F, BURKUS J K, BENSON D R. Segmental instrumentation for thoracic and thoracolumbar fractures: prospective analysis of construct survival and five-year follow-up [J]. *Spine J*, 2001, 1(5):310-323.
- [2] 須田浩太, 金田清志, 種市 洋, 等. 腰椎変性疾患固定術における anterior column support の要否; 後側方固定術長期経過例からの検討 [J]. *脊椎脊髄*, 2000, 13(1): 180-184.
- [3] CONNOLLY P J, VON SCHROEDER H P, JOHNSON G E, et al. Adolescent idiopathic scoliosis. Long-term effect of instrumentation extending to the lumbar spine [J]. *J Bone Joint Surg (Am)*, 1995, 77(8):1210-1216.
- [4] BEGUIRISTAIN J L, VILLAS C, PREITE R, et al. Lumbosacral arthrodesis using pedicular screws and ringed rods [J]. *Eur Spine J*, 1997, 6(4):233-238.
- [5] ALIGIZAKIS A C, KATONIS P G, SAPKAS G, et al.

Load sharing classifications for unstable thoracolumbar fractures [J]. *Clin Orthop*, 2003(411):77-85.

- [6] YU B S. Biomechanical comparison of the posterolateral fusion and posterior lumbar interbody fusion using pedicle screw fixation system for unstable lumbar spine [J]. *J Hokkaido Igaku Zasshi*, 2003, 78(3):211-218.
- [7] YU B S, ABUMI K, ODA I, et al. Load-sharing characteristics of the anterior and posterior elements in lumbar spine [J]. *Hokkaido Igaku Zasshi*, 2003, 78(4): 222-234.
- [8] 于滨生, 刘少喻, 李佛保, 等. 腰椎稳定重建的解剖及生物力学特性 [J]. *脊柱外科杂志*, 2005, 13(1): 180-184.
- [9] 于滨生, 刘少喻, 李佛保, 等. 羟基磷灰石和多聚左旋乳酸制椎体间固定融合 cage 的力学特性 [J]. *中山大学学报: 医学科学版*, 2005, 25(3S): 6-8.
- [10] KOSTUIK J P, MUNTING E, VALDEVIT A. Biomechanical analysis of screw load sharing in pedicle fixation of the lumbar spine [J]. *J Spinal Disord*, 1994, 7(5):394-401.

(编辑 张敏瑞)

(上接第 54 页 from page 54)

参考文献:

- [1] MCCARTHY J J, HILFIKER R. The use of single-nucleotide polymorphism maps in pharmacogenomics [J]. *Nat Biotechnol*, 2000, 18(5):505-508.
- [2] HAUKIM N, BIDWELL J L, SMITH A J, et al. Cytokine gene polymorphism in human disease: on-line databases, supplement 2 [J]. *Genes Immun*, 2002, 3(6):313-330.
- [3] 郭芮兵, 陈仕林. TNF- 基因多态性对 TNF- 产物的影响及其与疾病的关系 [J]. *医学研究生学报*, 2003, 16(5): 382-385.
- [4] 陈蕊雯, 段世伟, 蔡 青, 等. 肿瘤坏死因子的单核苷酸多态性与中国汉族人强直性脊柱炎的关联分析 [J]. *第二军医大学学报*, 2004, 25(2): 120-124.
- [5] SOGA Y, NISHIMURA F, OHYAMA H, et al. Tumornecrosis factor- alpha gene (TNF-)- 1031/- 863,- 857 single-nucleotide polymorphisms (SNPs) are associated with severe adult periodontitis in Japanese [J]. *J Clin Periodontol*, 2003, 30(6):524-531.
- [6] PARK Y J, PARK H, PARK M H. TNF- promoter polymorphisms and extended HLA and TNF- haplotypes in Koreans based on 100 families [J]. *Tissue Antigens*, 2004, 63(1):75-79.

- [7] RICHARDSON A, SAYS- JOOF F, ACKERMAN H, et al. Nucleotide diversity of the TNF gene region in an African village [J]. *Genes Immun*, 2001, 2(6):343-348.
- [8] HIGUCHI I, SEKI N, KAMIZONO S, et al. Polymorphism of the 5'-flanking region of the human tumor necrosis factor (TNF)- gene in Japanese [J]. *Tissue Antigens*, 1998, 51(6): 605-602.
- [9] 张安平, 周 澜, 杨 森, 等. 皖籍汉族人寻常型银屑病病患者 TNF- 基因多态性分析 [J]. *疾病控制杂志*, 2004, 8(5): 421-424.
- [10] 杨建中, 司天梅, 凌炎苏, 等. 肿瘤坏死因子 基因 (TNF) - G308A 多态性与精神分裂症的关联 [J]. *中国心理卫生杂志*, 2003, 17(6): 415-417.
- [11] KWOK P Y. Single nucleotide polymorphisms: Methods and Protocols [M]. Totowa: Humana Press, 2003: 1.
- [12] JOHNSON V J, YUCESOY B, LUSTER M I. Genotyping of single nucleotide polymorphisms in cytokine genes using real-time PCR allelic discrimination technology [J]. *Cytokine*, 2004, 27(6):135-141.
- [13] 翟 芸, 周钢桥, 董晓佳, 等. 大规模发掘及分型 SNP 技术平台的建立 [J]. *军事医学科学院院刊*, 2004, 28(1): 52-60.

(编辑 黄小延)