DOI:10.15972/j.cnki.43-1509/r.2019.04.002

·论著:骨关节与脊柱损伤·

UPS固定对TILF术后邻近节段生物力学影响的有限元分析

陈 伟,黄明光,冯杰荣,殷海东,吴宇宁,邱耿韬,王智运*
(南方医科大学顺德医院脊柱外科,广东 顺德 528300)

摘 要: 分析单侧椎弓根螺钉(UPS)固定对经椎间孔入路腰椎椎间融合术(TLIF)椎间融合前/后邻近节段生物力学的影响,评价UPS技术的安全性和有效性。通过建立TLIF三维有限元模型,分析UPS与双侧椎弓根螺钉(BPS)在TLIF椎间融合前/后对模型整体位移、邻近椎间盘和小关节应力应变、椎间融合器和椎弓根螺钉应力的影响。其结果显示UPS和BPS之间,两者的模型整体位移、邻近小关节和椎间盘应力应变差异不大,但UPS的椎间融合器和椎弓根螺钉应力明显较高,并且其椎间融合后椎间融合器应力较融合前明显增加。该研究证实了UPS应用于TILF时具有较好的生物力学稳定性,但相较于BPS并不会减缓邻近节段退变,反而会增加内植物相关并发症的风险。

关键词: 单侧椎弓根螺钉; 经椎间孔入路腰椎椎间融合术; 邻近节段; 生物力学; 有限元分析
中图分类号:R681.5 **文献标识码:**A

Finite element analysis of biomechanical effects of unilateral pedicle screw fixation on adjacent segments after transforaminal lumbar interbody fusion

CHEN Wei, HUANG Mingguang, FENG Jierong, YIN Haidong,
WU Yuning, QIU Gengtao, WANG Zhiyun*
(*Department of Spinal Surgery, Shunde Hospital of Southern Medical University, Shunde* 528300, *Guangdong, China*)

Abstract: To analyze the effect of Unilateral Pedicle Screw Fixation (UPS) on the biomechanics of adjacent segments before and after transforaminal lumbar interbody fusion (TLIF) interbody fusion, and to evaluate the safety and effectiveness of UPS. By establishing a three-dimensional finite element model of TLIF, the effects of UPS and Bilateral Pedicle Screw (BPS) on the overall displacement of the model, stress- strain of adjacent discs and facets, stress of intervertebral fusion cage and pedicle screw before and after TLIF interbody fusion were analyzed. The results showed that there was no significant difference between UPS and BPS in overall displacement, stress-strain of adjacent facet joints and intervertebral discs, but the stress of UPS interbody fusion cage and pedicle screw was significantly higher, and the stress of UPS interbody fusion cage was significantly higher than that before fusion. This study confirmed that UPS has good biomechanical stability when applied to TILF, but compared with BPS, UPS does not slow down the degeneration of adjacent segments, on the contrary, it increases the risk of internal plant-related complications.

Key words: unilateral pedicle screw fixation; transforaminal lumbar interbody fusion; adjacent segment; biomechanics; finite element analysis

单侧椎弓根螺钉(Unilateral Pedicle Screw Fixation,UPS)固定技术是经椎间孔入路腰椎椎间融合术(Transforaminal Lumbar Interbody Fusion,TLIF)的一种内固定方式,其主要是对既往TLIF术中采用双侧椎弓根螺钉(Bilateral Pedicle Screw,BPS)固定的方式进行改良,通过仅在患侧置入椎弓根螺钉进行固定,避免双侧坚强固定,保留健侧正常解剖结构和活动度[1]。目前已有大量文献表明UPS技术所

收稿日期:2019-04-09;**修回日期:**2019-05-06
基金项目:佛山市卫生和计生局医学科研课题(20180359).
*通信作者,E-mail:dragon201@126.com.

提供的临床疗效及融合率与传统手术方式之间并无明显差异,且该技术还可明显减少手术时间和术中出血量[2],具有较好的生物力学稳定性[3-4]。与此同时,还有部分学者认为相较于 BPS,UPS 能对邻近节段退变起一定预防作用[5-6],但目前尚未得到相关生物力学研究支持。因此,本研究拟通过腰椎三维有限元模型模拟 TLIF 术后椎间融合前与椎间融合后的生物力学状态,对比分析 UPS 和 BPS 技术在该手术中应用时,模型整体位移和椎间盘、小关节应力应变情况以及椎间融合器和椎弓根螺钉的应力情况,明确 UPS 对邻近节段稳定性和局部结构应力的影响。

1 资料与方法

1.1 三维有限元模型的建立和载荷加载

利用三维重建软件 Mimics (Materialise's interactive medical image control system) 提取 CT 扫描中正常志愿者的脊柱形态数据,并通过 Geomagic 获取优化处理后的 L2-5 节段脊柱三维模型。通过 Solidworks 模拟仿真构建椎间融合器、椎弓根钉棒系统并将其与完成 L3 左侧椎板、L3/4 左侧关节突关节和椎间盘切除的椎体模型进行组配,采用 Ansys Workbench 对模型进行网格划分,并重建韧带及关节突关节(图 1)。

对模型各部位的弹性模量,泊松比等材料系数进行赋值[7],并假设模型骨皮质、骨松质、椎间盘、小关节以及内固定均为连续、各向同性和均匀的线弹性材料。同时定义椎间融合前融合器与上下椎体间采用不分离接触,允许微小切向滑动;而融合后等效成已经融合,此时椎间融合器与上下椎体间采用绑定接触,不允许滑动。L5 椎体底端全固定,L2 椎体顶端施加 400N 轴向荷载,以及施加 10N. m 力矩来分别模拟前伸、后屈、左右侧屈及左右旋转 6 个方向的活动(图 2)[8]。

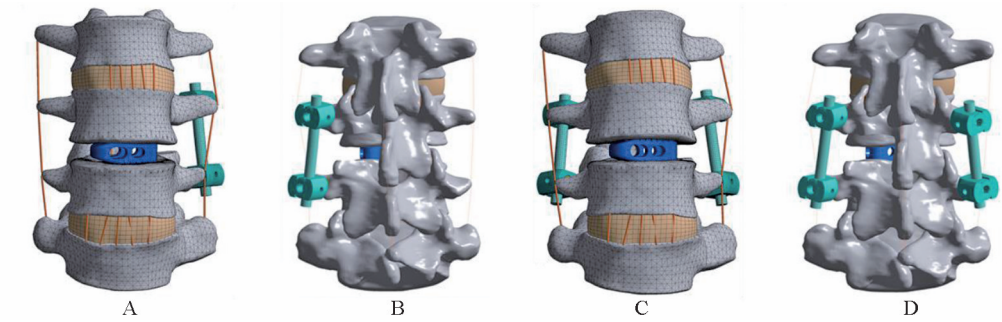


图 1 TLIF 三维有限元模型

A,B:UPS 组;C,D: BPS 组

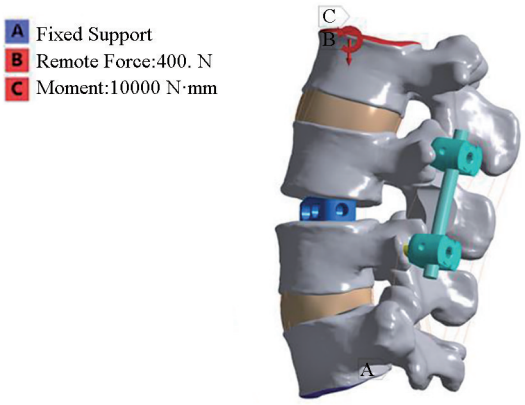


图 2 前屈加载示意图

1.2 数据采集

通过 UPS 以及 BPS 在 TLIF 中应用的三维有限元模型,在前屈/后伸,左/右侧屈,左/右旋转六种工况下,分析其椎间融合前/后的模型整体位移和邻近椎间盘、小关节应力情况以及椎间融合器和椎弓根螺钉的应力情况,并记录其峰值用于具体分析。

2 结 果

2.1 模型整体位移

在六种工况下分析 UPS 组和 BPS 组椎间融合前/后的模型整体位移峰值(图 3),其结果显示椎间融合前/后,UPS 组平均位移峰值分别较 BPS 组增高了 10.00% 和 12.14%,且均在右倾工况下出现显著增加,分别增加了 26.07% 和 25.90%;UPS 组椎间融合前平均位移峰值与椎间融合后差异为 27.87%,而 BPS 组为 29.58%,其两者之间的差异不大,总体变化趋势基本保持一致。

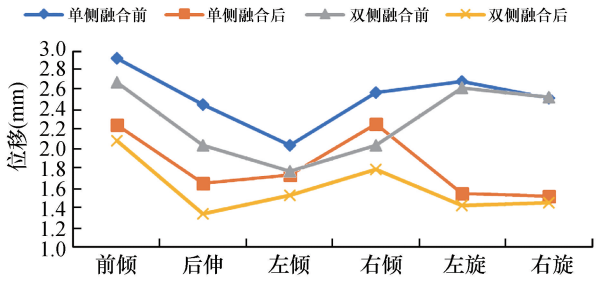


图 3　各种工况下模型整体位移峰值

2.2　椎间融合器应力

在六种工况下分析 UPS 组和 BPS 组椎间融合前/后的椎间融合器应力峰值(图 4)。其结果显示椎间融合前/后,UPS 组融合器的平均应力峰值较 BPS 组分别增高了 18.63% 和 51.55%;UPS 组椎间融合前与椎间融合后椎间融合器的平均应力峰值的差异为-3.81%,而 BPS 组为 38.19%,其两者之间的差异较大,变化趋势不一致;UPS 组椎间融合后融合器应力峰值在后伸、左/右侧倾工况下较椎间融合前增加,分别为 20.64%、20.87% 和 13.60%。

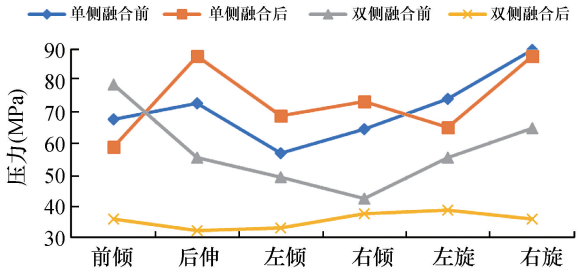


图 4　各种工况下椎间融合器应力峰值

2.3　椎弓根螺钉应力

在六种工况下分析 UPS 组和 BPS 组椎间融合前/后的椎弓根螺钉应力峰值(图 5)。其结果显示椎间融合前/后,UPS 组的椎弓根螺钉平均应力峰值较 BPS 组分别增高了 32.44% 和 29.65%;右倾及左旋情况下,两组之间椎弓根螺钉的应力峰值区别不大,特别是右倾工况下 UPS 组的椎弓根螺钉应力峰值甚至小于 BPS 组;UPS 组其椎间融合前与椎间融合后椎弓根螺钉的平均应力峰值差异为 21.08%,而 BPS 组为 17.81%,其两者之间的差异不大,总体变化趋势基本保持一致。

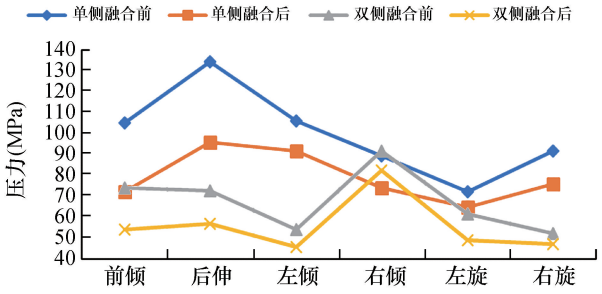


图 5　各种工况下椎弓根螺钉的应力峰值

2.4　邻近小关节应力

在六种工况下分析 UPS 组和 BPS 组椎间融合前/后的邻近节段小关节应力峰值(图 6)。其结果显示椎间融合前/后,UPS 组 L2/3 以及 L4/5 小关节应力峰值与 BPS 组之间无明显差异;UPS 组其融合前与融合后 L2/3 与 L4/5 小关节的平均应力峰值差异分别为 19.76% 和 16.03%,而 BPS 组则分别为 19.76% 和 15.94%,其两者之间的差异不大,总体变化趋势保持一致。

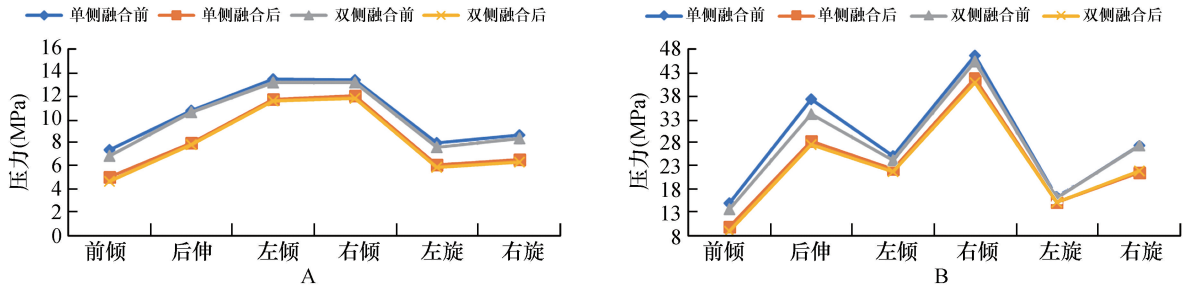


图 6　各种工况下邻近节段小关节应力峰值

A:L2/3 小关节;B:L4/5 小关节

2.5　邻近椎间盘应力应变

在六种工况下分析 UPS 组和 BPS 组椎间融合前/后的邻近节段椎间盘应力应变峰值(图 7)。其结果显示椎间融合前/后,UPS 组邻近椎间盘应力应变峰值较 BPS 组均无明显差异;在左/右旋转工况下,UPS 组和 BPS 组其椎间融合后的邻近椎间盘

应力应变峰值均较融合前下降超过 50%，而后伸工况下，两组仅 L4/5 节段椎间盘下降超过 50%；其他各工况下，两组应力应变峰值差异并不明显，并且其变化趋势基本保持一致。

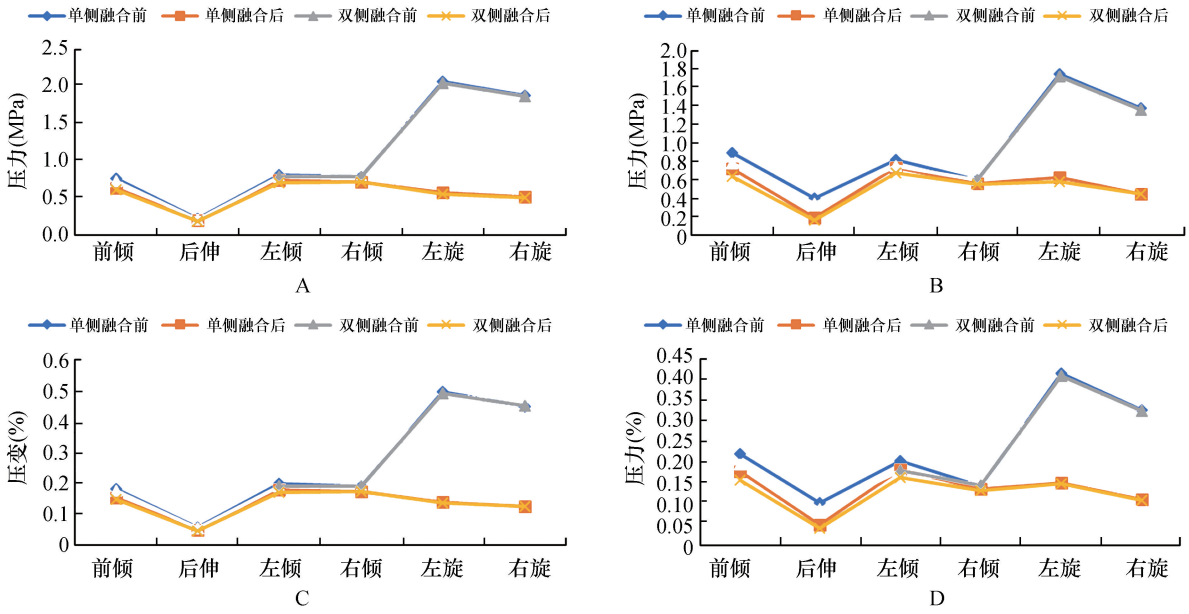


图 7　邻近节段椎间盘应力应变峰值

A，C：L2/3 椎间盘；B，D：L4/5 椎间盘

3　讨　　论

腰椎经椎间孔腰椎椎体间融合术（Transforaminal Lumbar Interbody Fusion，TLIF）是一种治疗腰椎退行性疾病的经典手术方式，其具有治疗效果确切、手术节段稳定、术后融合率高的优点[9]，但传统 TLIF 为增强手术节段稳定性通常采用双侧椎弓根螺钉固定（Bilateral Pedicle Screw，BPS）进行手术节段的坚强固定。而 Kabins 等[1]于 1992 年率先采用单侧椎弓根螺钉内固定技术（Unilateral Pedicle Screw Fixation，UPS）对传统 TLIF 技术进行改良，该技术并未改变 TILF 的基本原理，只是仅在患侧置入单侧椎弓根螺钉进行手术节段固定。目前已有文献表明，UPS 所带来的临床疗效及融合率与 BPS 并无明显差异，且可大大减少手术时间和术中出血量[2]，降低医疗费用[10]，同时该技术良好的稳定性已得到生物力学测试的验证[3-4]。但针对部分学者认为 UPS 技术相较于 BPS 技术能对邻近节段退变起一定预防作用[5-6]，目前尚无直接性生物力学研究支持。

在本研究中，UPS 组的模型整体位移在椎间融合前/后较 BPS 组呈增加趋势，但增加的幅度不大，且主要在右倾工况下出现较大幅度增加，而其他工况下增幅并不明显。考虑这可能是由于 UPS 技术并未在健侧采用椎弓根螺钉固定，相较于 BPS 技术保留了一定正常生理范围的活动度，其活动范围的增加并非内固定系统松动所导致的结构失稳，进一步证实了 UPS 技术具有良好的生物力学稳定性。通常保留生理范围下的腰椎活动度可以在一定程度上缓解邻近节段退变[11]，同时腰椎退行性改变是由于椎间盘或关节突关节的应力发生改变所引起的[12]，因此推测文献所报道 UPS 技术可减缓邻近节段退变的现象，是否是通过保留手术节段的部分活动度，从而减轻邻近椎间盘和关节突关节应力，最终减缓邻近节段退变。但本研究结果显示在 TLIF 中无论椎间是否融合，UPS 组邻近节段椎间盘的应力应变以及邻近节段小关节应力较 BPS 组并无明显差异。因此，从生物力学角度分析，可明确 UPS 技术并不能减缓邻近节段椎间盘以及关节突关节的退变，这与其他类似研究结果一致[13]。

同时，本研究发现 UPS 组和 BPS 组其椎间融合后位移、椎弓根螺钉应力以及邻近节段椎间盘、小关节应力应变较椎间融合前均有一定程度下降，且两者之间下降趋势基本相同。特别是旋转工况下，其融合后模型整体位移和邻近椎间盘应力应变均较融合前明显降低，这提示椎间融合仍是维持手术节段稳定、保障手术成功的关键因素。并且本研究还发现 UPS 组在椎间融合前/后，其椎间融合器及

椎弓根螺钉应力均较BPS组明显增加,这说明UPS组在手术节段固定强度上相对较弱。同时UPS组在椎间融合后,其椎间融合器应力较椎间融合前增加,这与BPS组椎间融合前/后的变化趋势明显不同,这可能是由于UPS技术对手术节段健侧小关节活动限制不足所导致的。综合以上观点,UPS技术相较于BPS技术,虽具有较好的生物力学稳定性,但并不能减缓邻近节段退变的发生,同时还可能导致TLIF发生植入物相关并发症的风险增加[14-15]。

综上所述,目前UPS技术已被明确可提供较好的生物力学稳定性,并且在手术时间、术中出血量以及经济费用等方面均具有明显优势。但从生物力学的角度来分析,相较于BPS技术,该技术并不能减缓邻近节段退变,同时还因其存在椎弓根螺钉和椎间融合器应力集中的情况,易导致内植物松动或下沉等内植物相关并发症的发生。因此在手术病例选择过程中应严格把握适应症与禁忌症,在保证患者因UPS技术获益的情况下,降低UPS技术应用过程中内固定相关并发症的发生几率。

参考文献:

[1] KABINS MB, WEINSTEIN JN, SPRATT KF, et al. Isolated L4-L5 fusions using the variable screw placement system: unilateral versus bilateral[J]. J Spinal Disord, 1992,5(1):39-49.

[2] LU P, PAN T, DAI T, et al. Is unilateral pedicle screw fixation superior than bilateral pedicle screw fixation for lumbar degenerative diseases: a meta-analysis[J]. J Orthop Surg Res, 2018, 13(1):296.

[3] GODZIK J, MARTINEZ-DEL-CAMPO E, AGUS N, et al. Biomechanical stability afforded by unilateral versus bilateral pedicle screw fixation with and without interbody support using lateral lumbar interbody fusion[J]. World Neurosurg, 2018,113:e439-45.

[4] ULUTAS 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):655-64.

[5] 张红军, 王群波, 黄文强, 等. MRI辅助髓核容积测定评价单侧椎弓螺钉置入并椎间融合对邻近节段的影响[J]. 中国组织工程研究, 2016,20(9):1315-21.

[6] 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:e516-22.

[7] 黄平. 退变性腰椎侧凸演变过程及相关生物力学机制的有限元分析[D]. 上海:第二军医大学,2013:15-6.

[8] XIAO Z, WANG L, GONG H, et al. Biomechanical evaluation of three surgical scenarios of posterior lumbar interbody fusion by finite element analysis[J]. Biomed Eng Online, 2012,11:31.

[9] POTTER BK, FREEDMAN BA, VERWIEBE EG, et al. Transforaminal lumbar interbody fusion: clinical and radiographic results and complications in 100 consecutive patients[J]. J Spinal Disord Tech, 2005,18(4):337-46.

[10] YANG SD, CHEN Q, DING WY, et al. Unilateral pedicle screw fixation with bone graft vs. bilateral pedicle screw fixation with bone graft or cage: a comparative study[J]. Med Sci Monit, 2016,22:890-7.

[11] 张健, 王文军. 经椎旁肌间隙入路Hybrid技术治疗腰椎间盘突出症临床分析[J]. 中南医学科学杂志, 2015,43(2):160-4.

[12] 宋西正. 人体应力与椎间盘退变性腰痛关系[J]. 中南医学科学杂志, 2018,46(5):449-51.

[13] SU Y, WANG X, REN D, et al. A finite element study on posterior short segment fixation combined with unilateral fixation using pedicle screws for stable thoracolumbar fracture[J]. Medicine (Baltimore), 2018,97(34):e12046.

[14] REN C, QIN R, SUN P, et al. Effectiveness and safety of unilateral pedicle screw fixation in transforaminal lumbar interbody fusion (TLIF): a systematic review and meta-analysis[J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2017,137(4):441-50.

[15] KUMAR P, KUMAR V, JOHN R, et al. Early loosening of spinal rod in a case of degenerative grade 1 spondylolisthesis treated with unilateral pedicle screw fixation and transforaminal cage for interbody fusion[J]. J Orthop Case Rep, 2017,7(4):6-9.

(本文编辑:蒋湘莲)