

doi: 10.3978/j.issn.2095-6959.2017.09.026

View this article at: <http://dx.doi.org/10.3978/j.issn.2095-6959.2017.09.026>

## 胸腰椎骨折单侧固定的有限元探讨

陈锴<sup>1,2</sup>, 邵杰<sup>2</sup>, 王家宝<sup>3</sup>, 徐海栋<sup>4</sup>

(1. 第二军医大学学员旅, 上海 200433; 2. 第二军医大学附属长海医院骨科, 上海 200433;  
3. 宿州市人民医院骨科, 安徽 宿州 234000; 4. 解放军南京总医院骨科, 南京 210002)

**[摘要]** 目的: 通过有限元运算方法探讨胸腰椎骨折单侧固定的生物力学效果和可行性。方法: 采用正常健康志愿者数据构建胸腰椎骨折有限元模型, 装配单侧固定系统和双侧固定系统, 对其进行有限元运算模拟。结果: 通过有限元运算获得的结果分析, 采取单侧固定的静态应力、最大应力与最大位移都明显提示较双侧固定不稳定( $P<0.05$ )。结论: 胸腰椎骨折采取单侧固定后其有限元运算的结果提示其生物力学效应较差, 在临床应用中单侧固定选择需要慎重, 避免矫形复位手术的失败。

**[关键词]** 胸腰椎骨折; 单侧固定; 生物力学; 静态应力; 应力云图; 位移量图

## Finite element analysis of unilateral fixation of thoracolumbar fractures

CHEN Kai<sup>1,2</sup>, SHAO Jie<sup>2</sup>, WANG Jiabao<sup>3</sup>, XU Haidong<sup>4</sup>

(1. Cadet Brigade, Second Military Medical University, Shanghai 200433; 2. Department of Orthopedics, Changhai Hospital, Secondary Military Medical University, Shanghai 200433; 3. Department of Orthopedics, Suzhou People's Hospital, Suzhou Anhui 234000;  
4. Department of Orthopedics of Nanjing General Hospital, PLA, Nanjing 210002, China)

**Abstract** **Objective:** Thoracolumbar fractures posterior orthopedic fixation program there are many, but unilateral fixation in clinical practice is not selected by physicians. The finite element method can simulate the biomechanical effects of internal fixation surgery in the computer. The biomechanical effect and feasibility of unilateral fixation of thoracolumbar fractures were explored by this method. **Methods:** The finite element model of thoracic and lumbar vertebrae fractures was constructed by normal healthy volunteer data. The unilateral fixation system and bilateral fixation system were used to simulate the finite element model. **Results:** The static stress, maximum stress and maximal displacement of unilateral fixation were significantly higher than those of bilateral fixation ( $P<0.05$ ), which were obtained by finite element analysis. **Conclusion:** Unilateral fixation of thoracolumbar fractures after its finite element operation results suggest that the biomechanical effects of poor clinical application of unilateral fixed choice need to be careful to avoid the failure of orthopedic reduction surgery.

**Keywords** thoracolumbar fracture; unilateral fixation; biomechanics; static stress; stress cloud; displacement diagram

收稿日期 (Date of reception): 2017-07-26

通信作者 (Corresponding author): 徐海栋, Email: xuhaidong1980@163.com

基金项目 (Foundation item): 南京军区医学科技创新课题 (12MA080); 南京军区南京总医院军事医学培育课题 (YYMS2014002)。This work was supported by Nanjing Military Region Medical Science and Technology Innovation Funds (12MA080) and Nanjing General Hospital of Nanjing Military Region Military Medicine (YYMS2014002), China.

有限元分析方法广泛应用于建筑业、制造业、材料学科及医学等领域,其优点在于能够即时提供物体在不同运动状态下内部结构的力学属性,提供直观化的数据化处理结果,使得相关研究人员能够了解物体内部结构的力学性能从而为生产、生活提供有价值的指导<sup>[1-2]</sup>。在骨科尤其是脊柱外科的生物力学研究方面,有限元分析的方法能够提供高度的模拟性和输出数据直观化的结果,具有研究方面的优势。对于胸腰椎骨折的矫形内固定方案,在后路方案中有短节段固定、经伤椎固定和长节段固定等多种方案,但是很少有人提及单侧固定的矫形方案<sup>[3-5]</sup>。从临床医师的经验分析,单侧固定的稳定性明显低于双侧固定,对于脊柱骨折复位术后需要提供的是坚强可靠的内固定,为骨折修复提供良好的生物力学支撑效果并传导应力载荷。本研究采取有限元分析的方法,在计算机内模拟手术矫形内固定术后的固定效果,对其进行数据化分析,获得更为直观的、客观的生物力学分析结果<sup>[6-7]</sup>。

## 1 对象与方法

### 1.1 基础模型的构建

基础模型来源于健康志愿者,男,25岁,身高175 cm,体重75 kg,通过体格检查及X线筛查排除脊柱疾病和畸形,并咨询患者个人史排除全身疾病病史,对实验知情同意并签署知情同意书。在南京军区南京总医院医学影像科对其胸11~腰3节段沿横断面连续扫描,获得数据经过MINICS软件处理,经过数据处理分割出胸12~腰2节段的胸腰椎椎体骨及椎间盘组织,构建起胸腰椎脊柱三维有限元模型。总的分析节段共划分了72 000个单元左右,传递113 000个节点。可以在三维空间角度任意旋转该图像,从几何角度可以去修改、编辑图像,获得各种数据处理所需的模型。有限元分析的方法主要是简化模型,虽然不同年龄、性别的人群更具有说服力,但是总体的分析方式相似。本研究采取常规有限元建模方式:健康志愿者的模拟方式,并通过医学伦理委员会批准。

### 1.2 单纯屈曲压缩胸腰椎骨折及复位模型的构建

临床上最常见的胸腰椎骨折为单纯屈曲压缩性骨折,患者发生椎体前缘高度的丢失、脊柱后凸畸形,对其理想复位时恢复椎体的高度和容积、但是出现骨折复位后“蛋壳效应”的骨质疏松现象。本研究采用几何裁剪法和容积恢复法模

拟这个损失及复位的过程。对椎体前方高度1/3至椎体矢状径2/3部分进行分割、截除,认为其发生了骨折;然后恢复其容积但骨密度丢失,认为完成后路矫形的过程。该方法为容积恢复法,主要是模拟最佳的复位情况,通过手术矫正胸腰椎骨折的后凸畸形,恢复到原有的椎体高度(实际是椎体的容积恢复)。有限元分析的主要特点就是简化模型和高度模拟,以上可以认为是实际发生骨折的过程和手术矫形复位的效果。

### 1.3 钉棒系统的装配及力学载荷的施加

构建单侧固定的三钉一棒(定位固定在左侧)和双侧固定的六钉两棒模型装配至经过处理的复位模型上。对腰2椎体下关节面定义为固定,限制模型在三维空间内的自由度,在胸12椎体的上关节面施加向下500 N的载荷模拟在生理状态下的上半身负荷。根据文献[7]参考的赋值,对模型施加前屈和背伸各50 000 Nmm,左右侧弯40 000 Nmm,左右旋转15 000 Nmm的弯矩来模拟日常生活的载荷力。进行计算机内的虚拟运算,获得输出结果数据,注意观察数据的分布和变化情况。

### 1.4 统计学处理

对模型进行多人次、多台计算机虚拟运算(5台次),获得数据的均值。所有数据采用SPSS17.0软件进行统计分析处理,计量资料采用配对t检验的方法,以 $P < 0.05$ 表示差异有统计学意义。

## 2 结果

对于单侧和双侧固定的模型,本研究对其前屈、后伸、左右侧弯、左右旋转六种常见运动状态进行模拟测试,获得静态应力、不同运动状态下的应力云图和位移量图。单侧固定模型的静态应力为 $(21.36 \pm 0.45)$  MPa,双侧固定模型的静态应力为 $(16.41 \pm 0.39)$  MPa,双侧固定组的静态应力明显低于单侧固定,差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。图1所示为单侧固定的应力云图,图2为单侧固定的位移量图,表1所示为最大应力与最大位移的统计表,可见采取单侧固定后,其生物力学效果明显劣于双侧固定( $P < 0.001$ )。这一数据分析的结果与临床上医师手术的体会和感受基本吻合。固定4钉为跨节段固定,固定8钉为伤椎临近椎非等距固定,都是在临床上目前较少采用的方法,故未进入本研究中。

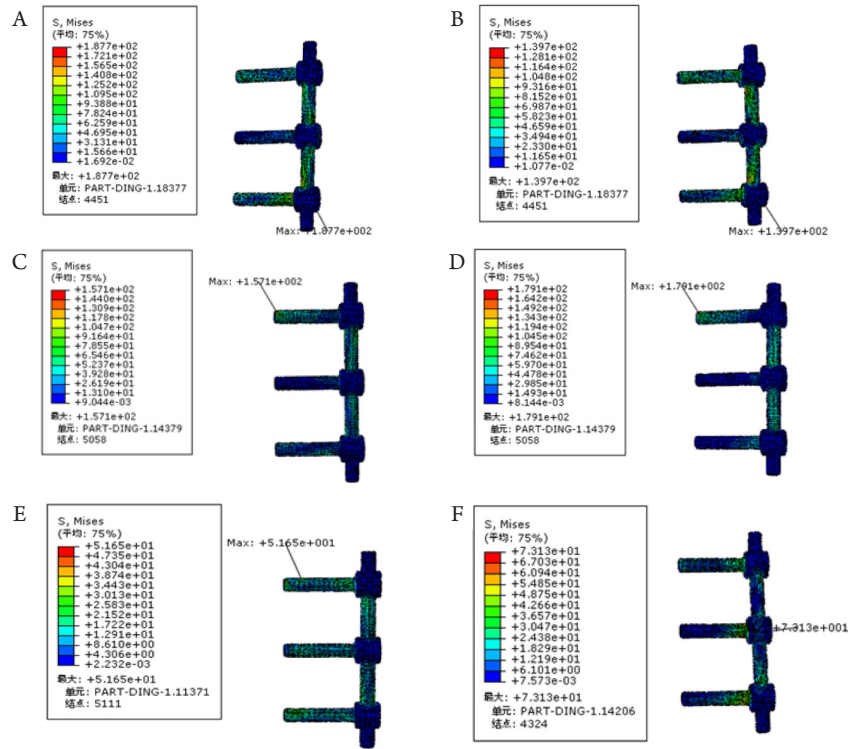


图1 单侧固定的应力云图

Figure 1 Unilateral fixed stress cloud

(A)前屈; (B)后伸; (C)侧弯; (D)右侧弯; (E)左扭转; (F)右扭转。

(A) Flexion; (B) Extension; (C) Lateral bending; (D) Right bending; (E) Left torsion; (F) Right torsion.

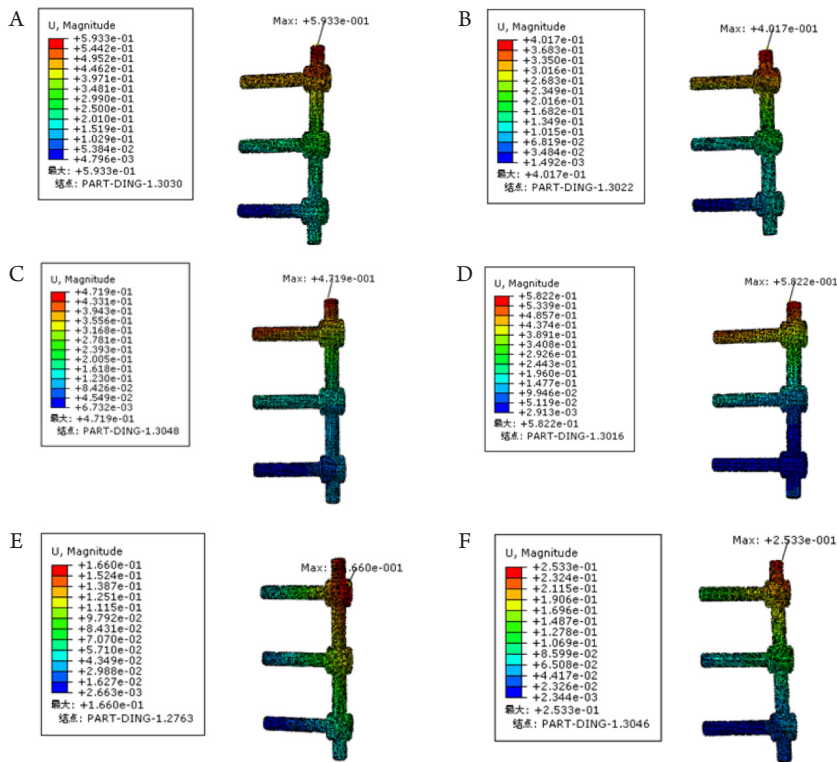


图2 单侧固定的位移量图

Figure 2 Unilateral fixed displacement diagram

(A)前屈; (B)后伸; (C)侧弯; (D)右侧弯; (E)左扭转; (F)右扭转。

(A) Flexion; (B) Extension; (C) Lateral bending; (D) Right bending; (E) Left torsion; (F) Right torsion.

表1 不同内固定方案的生物力学参数

Table 1 Biomechanical parameters of different internal fixation

运动状态	单侧固定		双侧固定	
	最大应力/MPa	最大位移/mm	最大应力/MPa	最大位移/mm
前屈	187.28 ± 2.16	0.5902 ± 0.0128	126.82 ± 5.56	0.2502 ± 0.0050
后伸	140.30 ± 1.52	0.3798 ± 0.0787	94.99 ± 1.72	0.1854 ± 0.0052
左侧弯	157.50 ± 2.00	0.4612 ± 0.0088	152.18 ± 9.13	0.3172 ± 0.0048
右侧弯	178.62 ± 2.38	0.5818 ± 0.0068	159.58 ± 13.45	0.3315 ± 0.0051
左扭转	52.18 ± 2.07	0.1753 ± 0.0140	61.81 ± 0.27	0.1534 ± 0.0078
右扭转	74.18 ± 3.58	0.2515 ± 0.0016	71.85 ± 2.28	0.1773 ± 0.0049

两组最大应力和最大位移对比, 单侧固定稳定性均劣于双侧固定,  $P < 0.05$ 。

Comparison of the maximum stress and maximum displacement between the two groups, the stability of the unilateral fixation are worse than that on both sides of the fixed,  $P < 0.05$ .

### 3 讨论

胸腰椎骨折有限元分析已经成为手术规划优选、内固定材料设计、手术疗效预后等的常规数学运算的重要手段, 能够为临床提供非常有意义的数字骨科数据, 有助于医师制定合适的手术计划以及工程技术人员对材料属性的改进、设计的优化等<sup>[8-9]</sup>。对于脊柱胸腰椎骨折有限元分析, 本研究是在前期相关研究<sup>[10-12]</sup>的基础上开展, 其处理方案采取了简化法、几何修剪法进行高度模拟, 具有高效性、近似性和可重复性等诸多优点。

本研究也证实随着后路矫形钉棒椎弓根螺钉个数的增加, 钉棒系统上的静态应力最大值表现为持续下降的趋势, 增加内固定后系统应力分散, 在临床上也证实随着椎弓根螺钉的增加, 局部出现断钉、矫形失败的概率明显下降。但是对于单侧固定系统, 从本研究的结果提示其最大位移是明显增加的, 较最大应力明显, 说明系统的不稳定性呈现增加的趋势, 而且钉棒系统的上位椎弓根钉及棒连接区提示为最大应力和最大位移集中区, 说明胸腰椎矫形复位内固定模型的胸12及后方固定系统承担了较大的生物力学效果。本研究中随着钉棒数的增加单侧固定呈应力下降的趋势, 但是在临床上有关于其应用的报道<sup>[13]</sup>。其优劣需要进行对比, 尤其是其生物力学的优劣性。

以往的研究<sup>[13-14]</sup>对于退变性疾病有采用单侧固定系统的, 其临床研究多提示能够达到较好的内固定效果, 但是此类研究多在固定的同时开展了椎间隙的融合手术, 内固定系统的单侧固定结

合椎间隙融合往往能够达到预期的融合、稳定系统的效果。但是由于胸腰椎骨折的特殊性, 往往是通过矫形内固定进行椎体高度和容积的恢复, 其椎弓根螺钉内固定系统具有非常重要的即刻稳定作用并需要在骨折愈合好、内固定取出前具有良好的生物学效果的发挥。

本研究结果显示: 采取单侧固定矫形椎弓根螺钉系统进行胸腰椎骨折的手术治疗的生物力学评价较低, 不能提供良好的即刻稳定性和不同运动状态下的生物力学传递作用, 故其不能作为临床治疗的选择方案之一。有限元分析为手术方案的选择、临床疗效的评估提供了非常重要的数字医学证据<sup>[15-18]</sup>。

### 参考文献

- Jang Y, Hong HT, Chun HJ, et al. Influence of dentoalveolar ankylosis on the biomechanical response of a single-rooted tooth and surrounding alveolar bone: a 3-dimensional finite element analysis[J]. J Endod, 2016, 42(11): 1687-1692.
- Stender ME, Carpenter RD, Regueiro RA, et al. An evolutionary model of osteoarthritis including articular cartilage damage, and bone remodeling in a computational study[J]. J Biomech, 2016, 49(14): 3502-3508.
- 徐海栋, 赵建宁, 刘刚, 等. 椎旁肌间隙入路伤椎置钉技术治疗胸腰段骨折近期疗效观察[J]. 医学研究生学报, 2015, 28(1): 45-48. XU Haidong, ZHAO Jianning, LIU Gang, et al. Short-term effectiveness of pedicle fixation at the fractured vertebra via

- paravertebral intermuscular approach for thoracolumbar fractures[J]. *Journal of Medical Postgraduates*, 2015, 28(1): 45-48.
4. 徐海栋, 史新瑞, 刘刚, 等. 胸腰椎骨折伤椎置钉临床疗效评估及椎体前缘高度丢失原因分析[J]. *临床与病理杂志*, 2016, 36(1): 32-37.  
XU Haidong, SHI Xinrui, LIU Gang, et al. The clinical curative effects of transpedicular internal fixation of fractured vertebrae in the treatment of thoracolumbar spinal fracture and causes analysis of anterior vertebral body height lost[J]. *Journal of Clinical and Pathological Research*, 2016, 36(1): 32-37.
  5. Sait A, Prabhav NR, Sekharappa V, et al. Biomechanical comparison of short-segment posterior fixation including the fractured level and circumferential fixation for unstable burst fractures of the lumbar spine in a calf spine model[J]. *J Neurosurg Spine*, 2016, 25(5): 602-609.
  6. Ouellet JA, Richards C, Sardar ZM, et al. Finite element analysis and biomechanical comparison of short posterior spinal instrumentation with divergent bridge construct versus parallel tension band construct for thoracolumbar spine fractures[J]. *Global Spine J*, 2013, 3(2): 85-94.
  7. Zhang F, Kanik J, Mansi T, et al. Towards patient-specific modeling of mitral valve repair: 3D transesophageal echocardiography-derived parameter estimation[J]. *Med Image Anal*, 2016, 35: 599-609.
  8. Panchal RR, Matheis EA, Gudipally M, et al. Is lateral stabilization enough in thoracolumbar burst fracture reconstruction? A biomechanical investigation[J]. *Spine J*, 2015, 15(10): 2247-2253.
  9. 徐海栋, 刘晓伟, 史新瑞, 等. 胸腰椎骨折有限元后路矫形复位椎弓根螺钉内固定方案优选分析[J]. *临床与病理杂志*, 2017, 37(1): 150-155.  
XU Haidong, LIU Xiaowei, SHI Xinrui, et al. Optimization of posterior pedicle screw fixation for posterior thoracolumbar spinal fractures by finite element method[J]. *Journal of Clinical and Pathological Research*, 2017, 37(1): 150-155.
  10. Tang HZ, Xu H, Yao XD, et al. Single-stage posterior vertebral column resection and internal fixation for old fracture-dislocations of thoracolumbar spine: a case series and systematic review[J]. *Eur Spine J*, 2016, 25(8): 2497-2513.
  11. Zibis AH, Mitrousias V, Baxevanidou K, et al. Anatomical variations of the foramen transversarium in cervical vertebrae: findings, review of the literature, and clinical significance during cervical spine surgery[J]. *Eur Spine J*, 2016, 25(12): 4132-4139.
  12. Jain D, Berven S. Commentary on development and assessment of a digital X-ray software tool to determine vertebral rotation in adolescent idiopathic scoliosis[J]. *Spine J*, 2017, 17(2): 266-268.
  13. 徐海栋, 陈勇, 许斌, 等. 单侧椎弓根螺钉内固定椎间融合治疗腰椎退行性病变临床研究[J]. *医学研究生学报*, 2011, 24(12): 1268-1271.  
XU Haidong, CHEN Yong, XU Bin, et al. Unilateral pedicle screw fixation with transforaminal lumbar interbody fusion for the treatment of lumbar degenerative disease[J]. *Journal of Medical Postgraduates*, 2011, 24(12): 1268-1271.
  14. 魏富鑫, 刘少喻, 崔尚斌, 等. 后路单侧椎弓根钉固定联合椎间融合术治疗退行性腰椎失稳[J]. *中国修复重建外科杂志*, 2013, 27(6): 703-707.  
WEI Fuxin, LIU Haoyu, CUI Shangbin, et al. Posterior unilateral pedicle screw fixation plus lumbar interbody fusion for treatment of degenerative lumbar instability[J]. *Chinese Journal of Reconstructive Surgery*, 2013, 27(6): 703-707.
  15. 徐海栋, 付强, 赵建宁, 等. 数字技术在脊柱微创外科中的应用进展[J]. *医学研究生学报*, 2014, 27(2): 207-210.  
XU Haidong, FU Qiang, ZHAO Jianning, et al. Application progress of digital technology in spinal minimally invasive surgery[J]. *Journal of Medical Postgraduates*, 2014, 27(2): 207-210.
  16. Zhang H, Guo C, Tang M, et al. Prevalence of scoliosis among primary and middle school students in Mainland China: a systematic review and meta-analysis[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2015, 40(1): 41-49.
  17. Chen HW, Liu GD, Wu LJ. Complications of treating terrible triad injury of the elbow: a systematic review[J]. *PLoS One*, 2014, 9(5): e97476.
  18. Atesok K, Galos D, Jazrawi LM, et al. Preoperative planning in orthopaedic surgery: current practice and evolving applications[J]. *Bull Hosp Jt Dis (2013)*, 2015, 73(4): 257-268.

本文引用: 陈楷, 邵杰, 王家宝, 徐海栋. 胸腰椎骨折单侧固定的有限元分析[J]. *临床与病理杂志*, 2017, 37(9): 1921-1925. doi: 10.3978/j.issn.2095-6959.2017.09.026

**Cite this article as:** CHEN Kai, SHAO Jie, WANG Jiabao, XU Haidong. Finite element analysis of unilateral fixation of thoracolumbar fractures[J]. *Journal of Clinical and Pathological Research*, 2017, 37(9): 1921-1925. doi: 10.3978/j.issn.2095-6959.2017.09.026