

## 胸腰椎压缩性骨折单椎体内植入器的初步研制及其生物力学

李际才<sup>1</sup>, 刘平均<sup>1</sup>, 贺用礼<sup>1</sup>, 赵卫东<sup>2</sup>, 梁栋柱<sup>2</sup>, 毛炳焱<sup>1</sup> (<sup>1</sup>长沙医学院附属石门医院骨科, 湖南省常德市 415300; <sup>2</sup>南方医科大学生物力学重点实验室, 广东省广州市 510515)

### 文章亮点:

1 采用内镜下胸腹膜后椎体侧方入路, 处理椎体节段血管后将骨折撑开复位, 骨折缺损椎体内植入“单椎体内植入器”植骨并固定。这样植骨量大而确实, 直接重建了前柱的稳定性, 没有经椎弓根植骨可能损伤脊髓及神经根的风险, 手术相对安全; 同时, 由于是单个椎体的固定, 不需融合一个或多个节段, 脊柱运动单位不会丧失, 不影响脊柱的活动度, 对邻近节段退变影响更小, 符合脊柱的生理及生物力学, 有利于骨折愈合。

2 课题通过骨折复位后单独依靠自行研制的“椎体内融合器”发挥支撑、植骨、融合的作用, 大胆尝试不使用其他的脊柱内固定器, 并与传统的脊柱前路钉板及后路钉棒系统复位固定效果进行比较, 为胸腰椎骨折的修复手术治疗提供新的治疗理论和治疗方式, 具有创新性。

### 关键词:

植入物; 脊柱植入物; 胸腰椎; 骨折; 复位; 内固定; 生物力学

### 主题词:

骨折, 压缩性; 手术复位损伤; 内固定器; 生物力学

### 基金资助:

湖南省卫生厅科技基金资助项目(B2009134)

### 摘要

**背景:** 对于压缩程度大于 1/3 的严重胸腰椎压缩性骨折, 理想的治疗方法是微创内固定, 其具有良好的生物力学性能, 且植骨可靠, 在达到伤椎复位、植骨与稳定目的的同时, 尽可能地保留了脊柱运动单位和正常生理功能, 从而减轻临近节段退变。

**目的:** 研制一种内镜下经椎体侧方入路复位单椎体内植入器, 评价其应用于胸腰椎压缩性骨折中的生物力学性能。

**方法:** 根据成人胸腰椎椎体的解剖学测量数据研制各型号的单椎体内植入器。选取 6 具成人新鲜胸腰椎尸体标本, 制作 L<sub>1</sub> 压缩性骨折模型, 分为对照组、骨折损伤组、单椎体内植入器组、AF 复位内固定组及前路钢板内固定组, 分别进行三维运动范围实验。

**结果与结论:** 生物力学测试表明, 单椎体内植入器组在胸腰椎前屈及左右侧屈方向上与 AF 内固定组及前路钢板组运动范围差异无显著性意义( $P > 0.05$ ), 但在后伸及左右旋转方向上运动范围增大, 差异有显著性意义( $P < 0.05$ )。结果可见单椎体内植入器设计新颖, 在前屈及左右侧屈方向具有较好的生物力学性能, 但在后伸及旋转方向缺乏稳定性, 需加以改进或辅以外固定。

李际才, 刘平均, 贺用礼, 赵卫东, 梁栋柱, 毛炳焱. 胸腰椎压缩性骨折单椎体内植入器的初步研制及其生物力学[J]. 中国组织工程研究, 2014, 18(9):1350-1355.

## Primary development and biomechanics of single vertebrae internal fixation system for thoracolumbar compression fracture

Li Ji-cai<sup>1</sup>, Liu Ping-jun<sup>1</sup>, He Yong-li<sup>1</sup>, Zhao Wei-dong<sup>2</sup>, Liang Dong-zhu<sup>2</sup>, Mao Bing-yan<sup>1</sup> (<sup>1</sup>Department of Orthopedics, Simen Hospital Affiliated to Changsha Medical School, Changde 415300, Hunan Province, China; <sup>2</sup>Key Laboratory of Biomechanics, Southern Medical University, Guangzhou 510515, Guangdong Province, China)

### Abstract

**BACKGROUND:** For severe thoracolumbar compression fracture ( $> 1/3$  compression), ideal therapeutic method is minimally invasive internal fixation, which has good biomechanical functions. Moreover, bone graft is reliable. Injured vertebra reduction and bone graft stability achieved. Motor unit of spinal column and normal physiological function were retained, resulting in lessening nearby segmental degeneration.

**OBJECTIVE:** To discuss the design of single vertebrae internal fixation system and evaluate its biomechanical performance which apply to treat thoracolumbar compression fracture by endoscope.

**METHODS:** A brand-new single vertebrae internal fixation system was designed in accordance with data of anatomic measurement of adult thoracolumbar vertebra. Six fresh adult corpse specimens were prepared to produce models of L<sub>1</sub> compression fracture, and assigned to control group, fracture injury group, single vertebrae internal fixation system group, AF reduction internal fixation group and anterior plate internal fixation group.

李际才, 男, 1970 年生, 湖南省澧县人, 2008 年中南大学毕业, 硕士, 副主任医师, 主要从事脊柱疾病的研究。

通讯作者: 刘平均, 硕士, 主任医师, 教授, 长沙医学院附属石门医院骨科, 湖南省常德市 415300

doi:10.3969/j.issn.2095-4344.2014.09.007  
[http://www.crter.org]

中图分类号:R318  
文献标识码:B  
文章编号:2095-4344  
(2014)09-01350-06  
稿件接受: 2013-12-13

Li Ji-cai, Master, Associate chief physician, Department of Orthopedics, Simen Hospital Affiliated to Changsha Medical School, Changde 415300, Hunan Province, China

Corresponding author: Liu Ping-jun, Master, Chief physician, Professor, Department of Orthopedics, Simen Hospital Affiliated to Changsha Medical School, Changde 415300, Hunan Province, China

Accepted: 2013-12-13

Three-dimensional movement range experiments were conducted separately.

**RESULTS AND CONCLUSION:** The biomechanical comparison showed that there was no significant difference in three-dimensional range of motion among single vertebrae internal fixation system group (anteflexion, left and right lateroflexion), AF reduction internal fixation group and anterior plate internal fixation group ( $P > 0.05$ ). However, range of motion significantly increased at backward extension, left and right rotation ( $P < 0.05$ ). Results suggested that the design of single vertebrae internal fixation system was novel and the system had good biomechanical performance at anteflexion, left and right lateroflexion. However, it needs to be improved in which lacks of stability of extension and rotation.

**Subject headings:** fractures, compression; perioperative period; internal fixators; biomechanics

**Funding:** the Science and Technology Project of Hunan Provincial Health Department, No. B2009134

Li JC, Liu PJ, He YL, Zhao WD, Liang DZ, Mao BY. Primary development and biomechanics of single vertebrae internal fixation system for thoracolumbar compression fracture. *Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu*. 2014;18(9):1350-1355.

## 0 引言 Introduction

胸腰椎压缩性骨折是常见的脊柱骨折, 对于椎体压缩大于1/3的严重压缩性骨折需手术治疗。开放或经皮微创后路复位椎弓根钉棒系统内固定、前路复位钢板内固定等是目前常用治疗方法, 但均存在不少弊端, 尤其是多节段固定所导致的脊柱运动单位过多丧失、伤椎临近节段退变加速等成为脊柱外科的难题。经皮椎体后凸成形技术主要适用于老年人骨质疏松性胸腰椎压缩性骨折, 有一定的局限性, 而且骨水泥的渗漏造成脊髓神经损害成为很大威胁。如果将固定范围仅仅限于受伤椎体而不干扰临近的正常椎体节段, 同时又能达到受伤椎内植骨愈合的目的, 则有效保留了脊柱运动单元和正常生理功能, 有利于减轻伤椎临近节段退变。因此, 课题组试着研究一种新方法治疗胸腰椎压缩性骨折, 力求同时达到骨折椎体复位、骨折椎体内植骨和单椎体内固定的目的。课题组初步研制了一种单椎体内植入器, 用于成人新鲜尸体标本的胸腰椎压缩性骨折模型, 并对其进行生物力学评估, 了解其生物力学性能, 为最终在内镜下应用于临床提供依据。

## 1 单椎体内植入器的设计 Design of single vertebrae internal fixation system

椎体内植入器由上下2块人工终板与椎体内融合器组成。人工终板采用钛合金材料(Ti6Al4V)制成, 为自行研制(国家实用新型专利号: ZL201220158045.8)(图1)。人

工终板为上下2块, 一侧开有螺孔, 固定边框通过螺钉可以与人工终板一端的螺孔固定, 防止植骨松脱。人工终板上设计有多个棘状凸起和筛状小孔。棘状凸起可嵌入椎体的松质骨而起固定作用, 筛状小孔则利于松质骨的长入而达到骨折愈合。操作时先松开人工终板固定边框的螺钉, 移除固定边框, 再将椎体骨折撑开复位, 然后于骨折复位后形成的空腔内分别植入上下人工终板, 将棘状凸起与椎体上下的残余松质骨嵌紧, 然后将合适长度的填满松质骨的椎体内融合器置入上下人工终板中央, 盖上人工终板侧方的固定边框, 拧紧两端螺钉防椎体内融合器脱出。人工终板的形状大小参考成人尸体标本胸腰椎椎体的解剖学测量数据设计<sup>[1]</sup>, 人工终板的厚度2 mm, 边框宽度2 mm, 筛状小孔直径2 mm, 规格有6种: 26 mm×30 mm, 28 mm×32 mm, 30 mm×34 mm, 32 mm×36 mm, 34 mm×38 mm, 36 mm×42 mm。

## 2 生物力学测试 Biomechanical test

**设计:** 体外随机对照生物力学实验。

**时间及地点:** 实验于2012年10至12月在南方医科大学大学生物力学重点实验室完成。

**材料:** 6具年龄20~45岁以下、意外死亡的男性新鲜冷冻尸体标本, 经放射学检查, 排除先天畸形、外伤、退变性疾病和肿瘤等, 由长沙医学院解剖实验室提供。

实验用单椎体内植入器为自行研制, 单椎体内植骨材

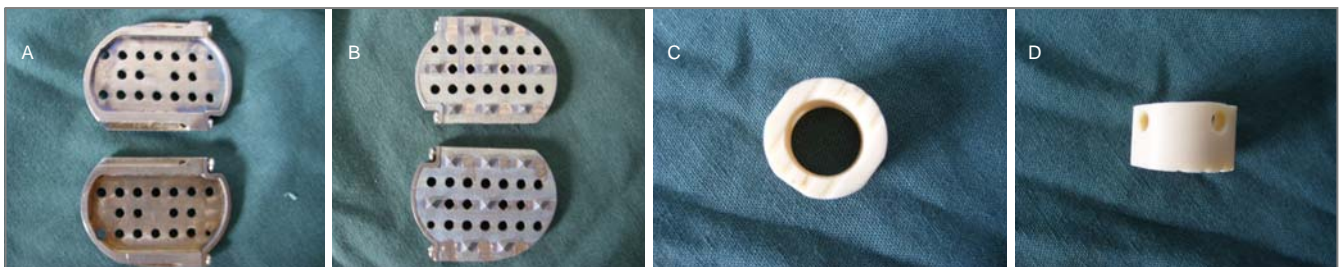


图1 单椎体内植入器的上下2块人工终板实物图以及单椎体内植骨融合器实物图

Figure 1 Two pieces of artificial end plate of single vertebrae internal fixation system and implant bone substitute of single vertebrae internal fixation system

图注:

(1) 图中A为上下人工终板的内面观; B为上下人工终板的外面观; C为单椎体内植骨融合器正面观; D为单椎体内植骨融合器侧面观。

(2) 人工终板为上下2块, 设有棘状凸起和筛状小孔。人工终板的一端开有螺孔, 固定边框通过螺钉可以与人工终板一端的螺孔固定。上下2块人工终板之间可行植骨。单椎体内植骨融合器为纳米羟基磷灰石/聚酰胺66复合生物活性材料制成, 呈中空管状, 管壁有小孔。

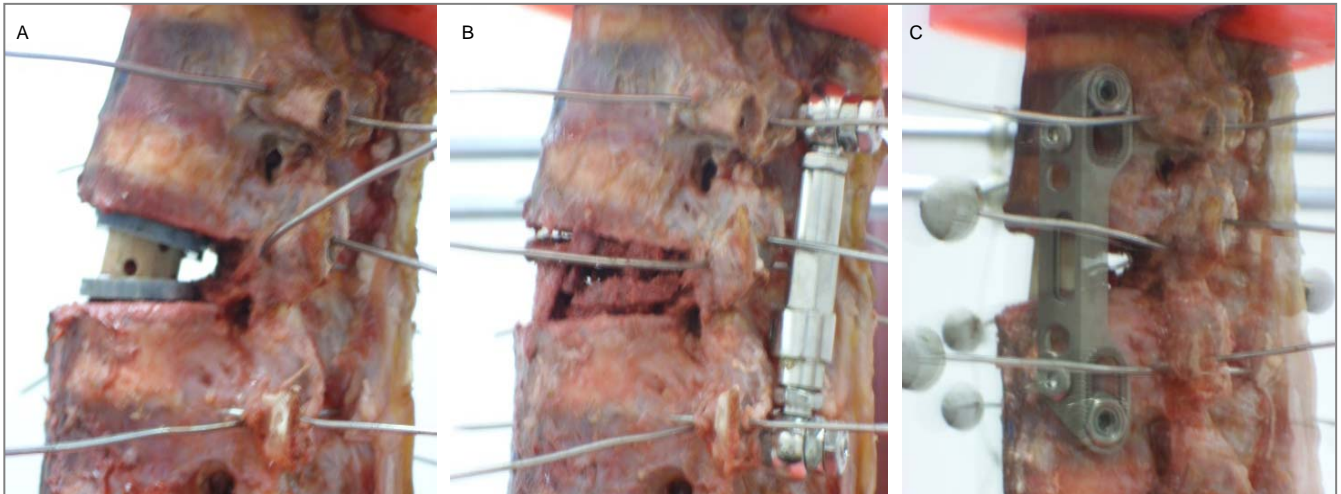


图2 三种方式固定后的标本在三维运动试验时状态

Figure 2 Status during three-dimensional movement test of samples after fixation with three different manners

图注: 图中 A 为单椎体内植入器组; B 为 AF 复位内固定组; C 为前路钢板固定组。

料为纳米羟基磷灰石/聚酰胺66复合生物活性材料(四川国纳科技有限公司提供)(图1), 具有诱导成骨作用, 外形呈管状, 管壁有多个小孔, 外径 18 mm、内径 12 mm, 管腔内可填满自体松质骨, 长短可根据术中所需任意锯取。后路椎弓根系统为 AF 系统(苏州康力骨科器械有限公司提供), 腰椎前路钢板(天津正天医疗器械有限公司提供)。脊柱三维运动试验机(南方医科大学生物力学实验室研制)。

#### 方法:

**标本获取:** 截取 T<sub>11</sub>-L<sub>3</sub> 节段, 剔除椎旁肌肉、脂肪等软组织, 保留骨、韧带和关节囊完整, 制成完整状态的胸腰椎骨韧带功能节段。分别在上下椎体的上下端拧入数枚松质骨螺钉, 以增加椎体对包埋剂的锚定力, 然后包埋上下椎体两端备用。再制作 L<sub>1</sub> 椎体压缩性骨折的模型。

**L<sub>1</sub> 椎体压缩性骨折模型的制备<sup>[2]</sup>:** 在 L<sub>1</sub> 椎体前中间用 3 mm 的钻头钻孔, 钻入深度为 1 cm, 在 MTS 实验机上屈曲 12°, 在 1 s 内压缩力迅速提升到 10 kN, 每个标本重复压缩 2 次或 3 次, 模拟坠落压缩, 直至 L<sub>1</sub> 椎体骨折, 高度减少 1/2, 并后凸畸形。双层塑料袋密封保存于 -20 °C 超低温冰箱中冷冻, 试验前将标本放于普通冰箱和常温下逐级解冻备用。

**实验分组:** 实验分 5 组: ①对照组(完整标本)。②骨折损伤组。③单椎体内植入器组。④ AF 复位内固定组。⑤前路钢板内固定组。为减小相互影响造成的误差, 不同标本的 3 种固定及测试顺序随机决定。所有生物力学测试在非破坏方式下用脊柱三维运动试验机(南方医科大学生物力学实验室研制)进行测试。对腰椎施加 4.0 N·m 纯力偶矩, 使腰椎产生前屈/后伸、左/右侧弯、左/右轴向旋转共 6 个自由度方向的生理运动(图2)。美国魔神运动分析技术公司(Motion Analysis)步态分析系统(6Eagle 系统)图像采集, 由微机图像处理和分析系统测量节段间角度位移的运

动范围(ROM)。每次测试重复 3 次加载/卸载循环, 在第 3 次循环时进行运动学测量, 以减小标本黏弹性作用的影响。测试过程中用生理盐水保持标本湿润。每一标本的测试于 1 d 内完成。

**主要观察指标:** 各个状态的前屈后伸、左右侧屈和左右旋转 6 种生理运动的运动范围。

**统计学分析:** 所得数据采用 SPSS 11.0 统计软件进行统计处理。数据以  $\bar{x} \pm s$  表示, 统计方法为多个样本均数比较的方差分析( $\alpha=0.05$ , 双尾),  $P < 0.05$  为差异有显著性意义。

### 3 结果 Results

骨折损伤组的屈伸、左右侧屈及轴向旋转运动范围值较正常组显著增大( $P < 0.05$ ), 稳定性最差。在 L<sub>1</sub> 压缩性骨折模型上, 单椎体内植入器组与骨折损伤组比较, 胸腰椎前屈后伸及左右侧屈、左右旋转 6 个方向上的角位移差异有显著性意义( $P < 0.05$ ), 其稳定性明显优于骨折损伤组, 说明伤椎单椎体内植入器植入后, 胸腰椎稳定性增加。单椎体内植入器组与 AF 内固定组及前路钢板组比较, 前屈及左右侧屈 3 个方向上的角位移差异无显著性意义( $P > 0.05$ ), 稳定性相当; 但在后伸及左右旋转 3 个方向差异有显著性意义( $P < 0.05$ ), 单椎体内植入器组与 AF 内固定组及前路钢板组比较相对缺乏稳定性(表1)。

### 4 讨论 Discussion

胸腰椎压缩性骨折是最常见的脊柱骨折。对于椎体压缩大于 1/3 的严重压缩性骨折需手术治疗。长期以来, 手术方式局限为后路开放复位椎弓根系统内固定、前路复位内固定及前后联合入路复位内固定等。尤其对严重椎体压缩性骨折, 后路开放复位椎弓根系统内固定取得了较为满意的效果。但其创伤大、出血多, 不符合微创的要求, 而

表1 L<sub>1</sub>压缩性骨折测试标本不同状态下的三维运动范围Table 1 Three-dimensional range of motion in different internal fixations of the first lumbar vertebra compression fracture ( $\bar{x} \pm s, n = 6, ^\circ$ )

组别	前屈	后伸	侧屈		旋转	
			左	右	左	右
对照组	5.44±0.32	2.73±0.22	2.95±0.63	2.63±0.45	2.27±0.45	1.91±0.35
骨折损伤组	6.81±0.43 <sup>a</sup>	4.13±0.27	3.73±0.45 <sup>a</sup>	3.75±0.38 <sup>a</sup>	3.16±0.27	3.25±0.34
单椎体内植入器组	0.63±0.11 <sup>b</sup>	0.85±0.12 <sup>c</sup>	0.39±0.07 <sup>b</sup>	0.46±0.11 <sup>b</sup>	0.91±0.12 <sup>c</sup>	0.75±0.11 <sup>c</sup>
AF 复位内固定组	0.62±0.09	0.39±0.05	0.43±0.05	0.47±0.09	0.58±0.11	0.46±0.10
前路钢板内固定组	0.64±0.08	0.42±0.07	0.41±0.11	0.47±0.13	0.55±0.07	0.47±0.06

表注: 前屈与侧屈状态下, 与对照组比较, <sup>a</sup> $P < 0.05$ ; 与骨折损伤组比较, <sup>b</sup> $P < 0.05$ 。后伸与旋转状态下, 与 AF 复位内固定组、前路钢板内固定组比较, <sup>c</sup> $P < 0.05$ 。

且其所导致的严重并发症也不容忽视, 如: 脊髓或神经根损伤、内固定松动断裂、后外侧植骨融合失败率高、固定节段多而导致运动单元减少及临近节段退变加速等等<sup>[3-6]</sup>。短节段内固定具有固定节段少, 创伤相对较小, 脊柱运动单位丧失少及更符合脊柱运动及生理而受到广泛关注和普遍接受。目前, 短节段内固定有逐渐取代长节段内固定的趋势<sup>[7-12]</sup>。

胸腰椎骨折开放复位内固定术中植骨融合的常用方法有椎体间植骨和后外侧植骨(包括横突间植骨、椎板间及小关节间植骨、棘突间植骨)等。研究表明, 椎体间植骨直接融合椎体, 治疗后融合率相对较高, 且有利于恢复椎间隙高度<sup>[13-16]</sup>, 特别是钛制金属植入物—椎间融合器(Cage)的研制和应用, 脊柱融合率有了进一步的提高。椎间融合器具有一定的强度, 有利于恢复和维持椎间隙高度, 而且, 植骨块被放入椎间融合器内不易移动, 避免了植骨块脱落入椎管压迫脊髓和神经的危险。目前, 各种材料的椎间融合器已在临床被广泛运用<sup>[17-22]</sup>。胸腰椎压缩性骨折经前路或后路复位后常于骨折椎体内形成一定的空隙或缺损, 从而严重影响脊柱前路的稳定性及骨折的愈合。临床常直接从前路植入自体或同种异体骨, 但前路手术创伤大, 解剖较为复杂。也有不少学者采用后路经椎弓根椎体内植入骨粒, 但植骨量相对有限, 且缺乏一定的强度, 不能形成即时的有效支撑和稳定性, 故效果尚不确实<sup>[23-27]</sup>。还有学者尝试采用经后路椎弓根系统复位固定胸腰椎骨折后, 再经椎弓根将“钛制椎体植入物”(titanium alloy body augments, TpBA)植入塌陷的椎体内<sup>[28-30, 35]</sup>, 其灵感来自于重建椎间盘高度的“椎间笼”概念, 由此可产生一强而稳固的内部结构, 使移植骨在破坏的椎体中长成结实结构, 但其虽为椎体内植骨, 却仍然使用后路椎弓根系统复位固定, 故至少需融合一个节段(即上下二个椎体), 融合后必将使得相应节段运动单元的丧失, 影响脊柱的活动度, 并且加速邻近节段的退行性变。

内镜技术和微创技术已广泛应用于脊柱外科临床, 如: 椎间盘镜下髓核摘除术、经皮穿刺腰椎间盘髓核碎吸术、经皮椎体成形术等等。近来, 胸腔镜辅助下前入路在胸腰椎骨折中的应用<sup>[31-34]</sup>、腹腔镜技术经腹腔治疗腰椎疾

患、胸腔镜辅助下小切口胸椎侧凸前路矫形技术、后路经皮椎弓根钉棒系统内固定技术等亦在国内外逐步广泛开展。经皮椎体后凸成形技术符合微创的原则, 临床上已广泛应用于骨质疏松性胸腰椎压缩性骨折, 并取得了满意的疗效。但其亦有一定的局限性<sup>[7, 9, 36-38]</sup>: ①适应证较窄, 主要适用于老年骨质疏松性压缩骨折, 而且气囊复位能力有限, 当椎体塌陷严重(不到原高度的1/3)时复位困难; 椎体后缘结构骨折或破坏时, 气囊扩张有使骨块移位导致脊髓压迫加重的危险。②骨水泥的渗漏造成脊髓神经损害成为最大威胁。③不适用于对造影剂过敏的患者。④骨水泥的毒性反应。⑤临近椎体骨折的发生率增高等。后路经皮椎弓根钉棒系统内固定技术采用微创技术, 在伤椎的复位、后凸畸形的矫正以及远期伤椎高度丢失率方面与开放手术相当, 但其具有损伤小, 椎旁肌肉组织剥离少, 术中出血及术后引流量少, 手术时间较短, 术后恢复快, 腰背部疼痛程度和发生率要明显低于传统开放手术等优势, 但仍需固定多个节段, 同样可致脊柱运动单元减少及临近节段退变加速<sup>[39-42]</sup>。因此, 尽管胸腰椎骨折的治疗方法较多, 但均存在一些不足。本研究拟采用内镜下胸腹膜后椎体侧方入路, 在内镜监视下用钛夹处理椎体节段血管后将骨折撑开复位, 骨折缺损椎体内植入自行研制的“单椎体内植入器”植骨并固定。这样植骨量大而确实, 直接重建了前柱的稳定性, 没有经椎弓根植骨可能损伤脊髓及神经根的风险, 手术相对安全; 同时, 由于是单个椎体的固定, 不需融合一个或多个节段, 运动单元不会丧失, 不影响脊柱的活动度, 对邻近节段退变影响更小等, 符合脊柱的生理及生物力学<sup>[43-45]</sup>, 有利于骨折愈合及尽早康复。单椎体内植入器中的上下人工终板上设计有多个棘状突起, 可牢固的嵌入椎体松质骨上, 起到维持复位及支撑与稳定作用。人工终板上的筛状小孔利于植骨长入而达到骨折愈合, 人工终板四周的边框可限制植骨的松脱, 尤其是设计有一边带螺孔的可拆装边框, 既便于植入植骨材料, 又可限制植骨的松脱, 增强了稳定性。脊柱三维运动试验结果表明, 在L<sub>1</sub>压缩性骨折模型上, 单椎体内植入器组与骨折损伤组比较, 在胸腰椎前屈后伸及左右侧屈、左右旋转6个方向上的角位移差异有显著性意义( $P < 0.05$ ), 其稳定性明显优于骨折损伤组, 说明伤椎单椎体

内植入器植入后,起到了一定的稳定作用,胸腰椎稳定性明显增加。单椎体内植入器组与AF内固定组及前路钢板组比较,前屈及左右侧屈3个方向上与AF内固定组及前路钢板组的角位移差异无显著性意义( $P > 0.05$ ),稳定性相当,但在后伸及旋转3个方向差异有显著性意义( $P < 0.05$ ),单椎体内植入器组与AF内固定组及前路钢板组比较缺乏稳定性。胸腰椎压缩性骨折以前中柱压缩为主,前中柱骨质损失相对较多,损伤后前中柱稳定性较差。虽然本研究中通过伤椎椎体内植骨,填充了前中柱复位后的骨质缺损,增强了前中柱稳定性并有利于骨折早期愈合,但在后伸及旋转方向的即刻稳定性,与椎弓根钉棒系统及前路钢板等坚强内固定比较,仍显不足。单椎体内植入器植骨确实,有利于骨折尽早愈合后自身稳定,但属于嵌入式固定,其即刻稳定性尚有不足,需后期加以改进(如通过加长棘状突起而加大嵌入的深度等方法,增强稳定性),或术后辅以外固定。同时,术中应尽可能保留前纵韧带的完整性。

单椎体内植入器是由上下2块钛制人工终板与椎体内融合器等组合式部件组成,具有部件小巧,组装方便等优点,利于采用微创或内镜手术进行。此研究尚在初步实验阶段,积累经验后拟采用内镜下微创手术的方法进行。目前尚需研制相应的配套工具,如类似于千斤顶的微型骨折复位器、长柄把持器等。后期将在完整尸体标本上模拟手术,不断改进,期望最终能应用于临床。

**作者贡献:** 实验设计为刘平均、李际才,实验实施为李际才、梁栋柱,实验评估为刘平均、赵卫东,资料收集为李际才、梁栋柱、毛炳焱。李际才、贺用礼成文,刘平均审校,刘平均对文章负责。

**利益冲突:** 文章及内容不涉及相关利益冲突。

**伦理要求:** 对成人尸体标本的处理符合伦理学标准。

**学术术语:** 脊柱运动单位—指“椎体-椎间盘-椎体”构成一个运动节段,为脊柱的功能性单位。椎间盘除作为运动性制约因素外,也是运动节段的流体静力性功能结构,它吸收能量,分散负荷。日常生活中,前屈后伸和侧弯时椎间盘内产生张应力和压应力,旋转时产生剪应力。椎间盘退变后,这些功能亦将减退。

**作者声明:** 文章为原创作品,无抄袭剽窃,无泄密及署名和专利争议,内容及数据真实,文责自负。

## 5 参考文献 References

- [1] 贺用礼,刘平均,王长青,等.胸腰椎影像学测量及其临床意义[J].中国现代医药杂志,2012,14(9):7-10.
- [2] Wilson DR, Myers ER, Mathis JM, et al. Effect of augmentation on the mechanics of vertebral wedge fractures. Spine (Phila Pa 1976). 2000;25(2):158-165.
- [3] 魏富鑫,刘少喻,赵卫东,等.单节段与双节段椎弓根螺钉固定胸腰椎单椎体骨折的生物力学比较[J].中国脊柱脊髓杂志, 2007, 17(1):46-50.
- [4] Korovessis P, Baikousis A, Zacharatos S, et al. Combined anterior plus posterior stabilization versus posterior short-segment instrumentation and fusion for mid-lumbar (L2-L4) burst fractures. Spine (Phila Pa 1976). 2006;31(8): 859-868.
- [5] Pintar FA, Yoganandan N, Maiman DJ, et al. Thoracolumbar spine fractures in frontal impact crashes. Ann Adv Automot Med. 2012;56:277-283.
- [6] Jun W, Yi-Jun K, Fei C. Application of a crescent-shaped PMMA strut in anterior spinal reconstruction of thoracolumbar and lumbar burst fractures: a new technique. Turk Neurosurg. 2012;22(2):161-166.
- [7] 黄刚,陈海云,刘卓勋,等.经皮椎体成形术与经皮椎体后凸成形术治疗骨质疏松性椎体压缩性骨折[J].南方医科大学学报,2010, 30(12):2729-2732.
- [8] Lieberman IH, Dudeney S, Reinhardt MK, et al. Initial outcome and efficacy of "kyphoplasty" in the treatment of painful osteoporotic vertebral compression fractures. Spine (Phila Pa 1976). 2001;26(14):1631-1638.
- [9] 郑召民,李佛保.经皮椎体成形术和经皮椎体后凸成形术-问题与对策[J].中华医学杂志,2006,86(27):1878-1880.
- [10] Hulme PA, Krebs J, Ferguson SJ, et al. Vertebroplasty and kyphoplasty: a systematic review of 69 clinical studies. Spine (Phila Pa 1976). 2006;31(17):1983-2001.
- [11] Chen B, Li Y, Xie D, et al. Comparison of unipedicular and bipedicular kyphoplasty on the stiffness and biomechanical balance of compression fractured vertebrae. Eur Spine J. 2011;20(8):1272-1280.
- [12] Kim YY, Rhyu KW. Recompression of vertebral body after balloon kyphoplasty for osteoporotic vertebral compression fracture. Eur Spine J. 2010;19(11):1907-1912.
- [13] Heo DH, Chin DK, Yoon YS, et al. Recollapse of previous vertebral compression fracture after percutaneous vertebroplasty. Osteoporos Int. 2009;20(3):473-480.
- [14] Bouza C, López T, Magro A, et al. Efficacy and safety of balloon kyphoplasty in the treatment of vertebral compression fractures: a systematic review. Eur Spine J. 2006;15(7): 1050-1067.
- [15] Dupuy DE, Palmer WE, Rosenthal DI. Vertebral fluid collection associated with vertebral collapse. AJR Am J Roentgenol. 1996; 167(6):1535-1538.
- [16] Fribourg D, Tang C, Sra P, et al. Incidence of subsequent vertebral fracture after kyphoplasty. Spine (Phila Pa 1976). 2004;29(20):2270-2276.
- [17] Frankel BM, Monroe T, Wang C. Percutaneous vertebral augmentation: an elevation in adjacent-level fracture risk in kyphoplasty as compared with vertebroplasty. Spine J. 2007; 7(5):575-582.
- [18] Garfin SR, Buckley RA, Ledlie J, et al. Balloon kyphoplasty for symptomatic vertebral body compression fractures results in rapid, significant, and sustained improvements in back pain, function, and quality of life for elderly patients. Spine (Phila Pa 1976). 2006;31(19):2213-2220.
- [19] Tzermiadianos MN, Renner SM, Phillips FM, et al. Altered disc pressure profile after an osteoporotic vertebral fracture is a risk factor for adjacent vertebral body fracture. Eur Spine J. 2008;17(11):1522-1530.
- [20] Berlemann U, Franz T, Orlor R, et al. Kyphoplasty for treatment of osteoporotic vertebral fractures: a prospective non-randomized study. Eur Spine J. 2004;13(6):496-501.

- [21] Boszczyk BM, Bierschneider M, Hauck S, et al. Transcostovertebral kyphoplasty of the mid and high thoracic spine. *Eur Spine J*. 2005;14(10):992-999.
- [22] Grohs JG, Matzner M, Trieb K, et al. Minimal invasive stabilization of osteoporotic vertebral fractures: a prospective nonrandomized comparison of vertebroplasty and balloon kyphoplasty. *J Spinal Disord Tech*. 2005;18(3):238-242.
- [23] Ledlie JT, Renfro M. Balloon kyphoplasty: one-year outcomes in vertebral body height restoration, chronic pain, and activity levels. *J Neurosurg*. 2003;98(1 Suppl):36-42.
- [24] Phillips FM, Ho E, Campbell-Hupp M, et al. Early radiographic and clinical results of balloon kyphoplasty for the treatment of osteoporotic vertebral compression fractures. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2003;28(19):2260-2265.
- [25] Suzuki N, Ogikubo O, Hansson T. Previous vertebral compression fractures add to the deterioration of the disability and quality of life after an acute compression fracture. *Eur Spine J*. 2010;19(4):567-574.
- [26] Schultheiss M, Hartwig E, Sarkar M, et al. Biomechanical in vitro comparison of different mono- and bisegmental anterior procedures with regard to the strategy for fracture stabilisation using minimally invasive techniques. *Eur Spine J*. 2006;15(1):82-89.
- [27] Verheyden AP, Hoelzl A, Lill H, et al. The endoscopically assisted simultaneous posteroanterior reconstruction of the thoracolumbar spine in prone position. *Spine J*. 2004;4(5):540-549.
- [28] Schultheiss M, Hartwig E, Kinzl L, et al. Thoracolumbar fracture stabilization: comparative biomechanical evaluation of a new video-assisted implantable system. *Eur Spine J*. 2004;13(2):93-100.
- [29] Verheyden AP, Katscher S, Gonschorek O, et al. Endoscopically assisted minimally invasive reconstruction of the anterior thoracolumbar spine in prone position. *Unfallchirurg*. 2002;105(10):873-880.
- [30] Steib JP, Charles YP, Aoui M. In situ contouring technique in the treatment of thoracolumbar fractures. *Eur Spine J*. 2010;19 Suppl 1:S66-68.
- [31] Wood KB, Bohn D, Mehdob A. Anterior versus posterior treatment of stable thoracolumbar burst fractures without neurologic deficit: a prospective, randomized study. *J Spinal Disord Tech*. 2005;18 Suppl:S15-23.
- [32] Mahar A, Kim C, Wedemeyer M, et al. Short-segment fixation of lumbar burst fractures using pedicle fixation at the level of the fracture. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2007;32(14):1503-1507.
- [33] Ringel F, Stoffel M, Stürer C, et al. Endoscopy-assisted approaches for anterior column reconstruction after pedicle screw fixation of acute traumatic thoracic and lumbar fractures. *Neurosurgery*. 2008;62(5 Suppl 2):ONS445-452.
- [34] Arand M, Kinzl L, Hartwig E. Combined posterior and anterior endoscopic supported instrumentation of the thoracic and lumbar spine. Arguments, concepts and first clinical results. *Zentralbl Chir*. 2002;127(6):490-496.
- [35] 陈祥和, 李孔嘉. 应用钛合金椎体植入物行椎体重建的临床报告及其生物力学分析[J]. *中华创伤骨科杂志*, 2005, 7(10):908-912.
- [36] Lee KS, Cho YJ, Choi JH, et al. A small amount of bone cement injected vertebroplasty utilizing percutaneous vertebral body access (PVBA) technique for osteoporotic vertebral fractures. *Korean J Spine*. 2005;2(4):333-341.
- [37] Beisse R. Video-assisted techniques in the management of thoracolumbar fractures. *Orthop Clin North Am*. 2007;38(3):419-429.
- [38] Beisse R, Mückley T, Schmidt MH, et al. Surgical technique and results of endoscopic anterior spinal canal decompression. *J Neurosurg Spine*. 2005;2(2):128-136.
- [39] 明江华, 郑慧锋, 赵奇, 等. Sextant经皮椎弓根钉棒微创系统治疗胸腰椎骨折: 随访评价[J]. *中国组织工程研究*, 2013, 17(48):8343-8348.
- [40] 刘涛, 李长青, 周跃, 等. 新型经皮椎弓根螺钉系统的设计与生物力学测试[J]. *中华骨科杂志*, 2010, 30(6):594-599.
- [41] Schmidt OI, Strasser S, Kaufmann V, et al. Role of early minimal-invasive spine fixation in acute thoracic and lumbar spine trauma. *Indian J Orthop*. 2007;41(4):374-380.
- [42] Wang HW, Li CQ, Zhou Y, et al. Percutaneous pedicle screw Fixation through the pedicle of fractured vertebra in the treatment of type A thoracolumbar fractures using Sextant system: an analysis of 38 cases. *Chin J Traumatol*. 2010;13(3):137-145.
- [43] Briem D, Windolf J, Lehmann W, et al. Bone grafts endoscopically applied to the spine Ergebnisse der anterioren Fusion und therapeutische Konsequenzen. *Unfallchirurg*. 2004;107(12):1152-1161.
- [44] Olinger A, Vollmar B, Hildebrandt U, et al. Experimental development and validation of a technique for lumboendoscopic anterior fusion of lumbar spine fractures: comparison of endoscopic and open surgery in a live porcine model. *Surg Endosc*. 2000;14(9):844-848.
- [45] Olinger A, Hildebrandt U, Vollmar B, et al. Laparoscopic-transperitoneal and lumboscopic-retroperitoneal surgery of the spine. Developments from animal experiments for use in clinical practice. *Zentralbl Chir*. 1999;124(4):311-317.