

后路短节段伤椎经皮椎弓根螺钉内固定 治疗 A3 型和 A4 型胸腰段骨折

顾勇杰, 赵刘军, 于 亮, 洪锦炯, 马维虎

(宁波市第六医院脊柱外科 315040 宁波市)

【摘要】目的:探讨单纯后路短节段结合伤椎经皮椎弓根螺钉内固定治疗 A3 型和 A4 型胸腰段骨折的临床疗效。**方法:**选择 2013 年 9 月~2014 年 2 月无神经损伤、Loadsharing 评分 ≤ 6 分、单椎体 A3 型或 A4 型胸腰段骨折患者 60 例,分为经皮组(单纯后路短节段结合伤椎经皮椎弓根螺钉内固定)和经肌间隙组(后路经肌间隙短节段结合伤椎椎弓根螺钉内固定),两组间性别比例、年龄、骨折类型、骨折节段等一般资料间差异无显著性($P>0.05$),具有可比性。比较两组的围手术期指标(切口长度、手术时间、术中出血量和切口疼痛 VAS 评分)与影像学指标(伤椎前缘高度和矢状面 Cobb 角)指标。**结果:**两组手术切口长度、手术时间、术中出血量及术后切口疼痛经皮组分别为 $9.55\pm 1.76\text{cm}$ 、 $120.7\pm 24.5\text{min}$ 、 $50.6\pm 13.7\text{ml}$ 及 3.5 ± 1.0 分;经肌间隙组分别为 $10.80\pm 1.52\text{cm}$ 、 $90.3\pm 15.6\text{min}$ 、 $152.0\pm 25.8\text{ml}$ 及 5.1 ± 1.7 分,两组间差异除手术切口长度外均有统计学意义($P<0.05$)。两组术后即刻、取内固定时、末次随访时的伤椎前缘高度和矢状面 Cobb 角经皮组分别为 $(86.5\pm 7.9)\%$ 和 $3.7^\circ\pm 4.5^\circ$ 、 $(84.5\pm 8.1)\%$ 和 $3.9^\circ\pm 5.0^\circ$ 、 $(83.9\pm 5.7)\%$ 和 $3.6^\circ\pm 4.5^\circ$;经肌间隙组分别为 $(88.1\pm 8.6)\%$ 和 $3.2^\circ\pm 5.1^\circ$ 、 $(86.3\pm 8.3)\%$ 和 $3.8^\circ\pm 5.4^\circ$ 、 $(85.6\pm 7.1)\%$ 和 $3.7^\circ\pm 4.8^\circ$ 。与术前相比两组均得到明显纠正($P<0.05$),与术后即刻相比两组均没有明显丢失,两组间的影像学评价指标均无显著性差异($P>0.05$)。**结论:**在严格掌握手术适应证的前提下,单纯后路短节段结合伤椎经皮椎弓根螺钉内固定适用于治疗 A3 型和 A4 型胸腰段骨折,同时具有出血少、疼痛轻的优点。

【关键词】 胸腰椎骨折;椎弓根螺钉;微创;经皮;内固定

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2016.05.03

中图分类号:R683.2,R687.3 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2016)-05-0395-06

Percutaneous short-segment pedicle screw fixation using pedicle fixation at fractured level without fusion in the treatment of type A3 or A4 thoracolumbar fractures/GU Yongjie, ZHAO LiuJun, YU Liang, et al/Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2016, 26(5): 395-400

【Abstract】 Objectives: To explore the clinical result of percutaneous short-segment pedicle screw fixation using pedicle fixation at fractured level without fusion for type A3 or A4 thoracolumbar fractures. **Methods:** Between September 2013 and February 2014, 60 patients suffering from thoracolumbar single-level vertebral fractures(type A3 or type A4, load sharing ≤ 6 , without neurological deficit) were reviewed retrospectively. All cases were divided into two groups: percutaneous group (percutaneous short-segment pedicle screw fixation at fractured level without fusion) and trans-spatium intermuscular group (trans-spatium intermuscular short-segment pedicle screw fixation using pedicle fixation at fractured level without fusion). There were no significant differences in gender, age, type of fracture and level of fracture between the two groups. The perioperative parameters (including the length of incision, the operation time, the intraoperative blood loss and the VAS after operation) and radiographic parameters (including the anterior vertebral body height and the Cobb angle) were compared. **Results:** In percutaneous group, the length of incision was $9.55\pm 1.76\text{cm}$, the time of operation was $120.7\pm 24.5\text{min}$, the intraoperative blood loss was $50.6\pm 13.7\text{ml}$ and the VAS after operation was 3.5 ± 1.0 points; while in trans-spatium intermuscular group, the data were $10.80\pm 1.52\text{cm}$, $90.3\pm 15.6\text{min}$, 152.0 ± 25.8 and 5.1 ± 1.7 points respectively, which showed significant differences between the two

groups($P<0.05$) except for the length of incision. In percutaneous group, the anterior vertebral body height and Cobb angle after operation, at the time of fixation removal and at final follow-up were $86.5\pm 7.9\%$ and $3.7\pm 4.5^\circ$, $84.5\pm 8.1\%$ and $3.9\pm 5.0^\circ$, $83.9\pm 5.7\%$ and $3.6\pm 4.5^\circ$ respectively. While in trans-spatium intermuscular group, the data were $88.1\pm 8.6\%$ and $3.2\pm 5.1^\circ$, $86.3\pm 8.3\%$ and $3.8\pm 5.4^\circ$, $85.6\pm 7.1\%$ and $3.7\pm 4.8^\circ$ respectively. Compared with preoperation, the anterior vertebral body height and Cobb angle after operation improved significantly in both groups($P<0.05$). Compared with the postoperation, there was no significant difference with regard to the recovery outcome between the time for fixation removal and the final follow-up in both groups($P>0.05$). There were no significant differences in radiographic parameters between the two groups.

Conclusions: Percutaneous short-segment pedicle screw fixation using pedicle fixation at the level of fracture without fusion is a reliable surgical method for the treatment of type A3 and type A4 thoracolumbar fractures with the advantages of less intraoperative blood loss and less VAS after operation.

[Key words] Thoracolumbar fracture; Pedicle screw; Minimally invasive; Percutaneous; Internal fixation

[Author's address] Department of Spine Surgery, Ningbo No.6 Hospital, 315040, Ningbo, China

经皮椎弓根螺钉内固定可以避免传统手术对椎旁肌的剥离损伤,已经广泛应用于腰椎退行性疾病的微创手术治疗^[1]。近年来国内外有学者将经皮椎弓根螺钉内固定用于治疗胸腰椎骨折,取得了良好的临床疗效^[2-3]。因为目前临床上的经皮椎弓根螺钉系统均选用万向椎弓根螺钉,所以单纯后路短节段经皮椎弓根螺钉内固定存在着骨折复位不佳、术后骨折复位丢失等缺点^[4]。临床研究发现,A型胸腰椎骨折的后柱结构完整,可以置入椎弓根螺钉,而且通过结合伤椎椎弓根螺钉固定可增加稳定性,有利于术后骨折复位的维持^[5-6]。为了提高经皮椎弓根螺钉内固定治疗胸腰椎骨折的临床疗效,2013年9月~2014年2月,我科采用单纯后路短节段结合伤椎经皮椎弓根螺钉内固定治疗无神经损伤、Loadsharing评分 ≤ 6 分的A3或A4型胸腰段骨折患者30例(经皮组),通过回顾性研究该30例患者的临床资料,并与同期行后路经肌间隙短节段结合伤椎椎弓根螺钉内固定治疗的30例A3或A4型胸腰段骨折患者(经肌间隙组)进行比较,进一步探讨单纯后路短节段结合伤椎经皮椎弓根螺钉内固定治疗A3和A4型胸腰段骨折的临床疗效。

1 资料与方法

1.1 一般资料

本研究共纳入60例患者,其中经皮组与经肌间隙组各30例。所有患者术前常规行X线、CT及MRI检查,评估椎体、椎间盘及后方韧带复合体损伤情况。病例纳入标准:(1)单椎体胸腰椎骨折;(2)骨折位于T11~L2节段;(3)根据欧洲版脊

柱骨折AO分型为A3型或A4型骨折^[7];(4)骨折椎体的Loadsharing评分 ≤ 6 分;(5)无神经损伤症状;(6)伤椎两侧椎弓根完整。手术由同一组医生完成,其中经皮组采用单纯后路短节段结合伤椎经皮椎弓根螺钉内固定治疗,经肌间隙组采用后路经肌间隙短节段结合伤椎椎弓根螺钉内固定治疗。比较两组病例一般资料差异无统计学意义($P>0.05$,表1),具有可比性。

1.2 治疗方法

1.2.1 经皮组 全身麻醉后患者取俯卧位,垫高

表1 两组患者的一般资料比较

Table 1 Comparisons of general parameters between the two groups

	经皮组 Percutaneous group	经肌间隙组 Trans-spatium intermuscular group
性别(男/女) Gender(male/female)	17/13	15/15
年龄(岁) Age(year)	45.6 $\pm$ 13.3	43.1 $\pm$ 14.5
骨折类型 Type of fracture		
A3	18	16
A4	12	14
骨折节段 Level of fracture		
T11	3	5
T12	11	9
L1	10	11
L2	6	5
Loadsharing评分(分) Loadsharing score(point)	4.5 $\pm$ 0.9	4.6 $\pm$ 1.0
受伤至手术时间(天) Time to operation(day)	4.1 $\pm$ 1.9	4.0 $\pm$ 2.9
随访时间(月) Follow-up(month)	12.8 $\pm$ 2.1	13.0 $\pm$ 2.7

胸部与髂前上棘。C 型臂 X 线机透视下标记伤椎、上位椎及下位椎两侧椎弓根螺的体表投影。在椎弓根体表投影外 1cm 纵向切开皮肤,长约 1.5cm,逐层切开皮下组织及腰背筋膜。在正位 X 线透视引导下将穿刺针穿入至上关节突和横突的交点,在正位 X 线透视下针尖位于椎弓根外上缘,将穿刺针沿终板平行方向植入至针尖到达椎弓根内缘,并在侧位 X 线透视下确认针尖位已经超过椎体后缘,取出针内芯,置入导针并取出针管,沿导针插入丝攻保护套,经导针插入丝攻并对椎弓根进行攻丝,攻丝完毕后移除丝攻和保护套,将中空万向椎弓根螺钉通过导针和透视引导下拧入椎弓根,取出导针。同法置入另 5 枚椎弓根螺钉。C 型臂 X 线机透视确认螺钉位置良好。折弯连接杆前凸约 10°,直视下将连接杆插入椎弓根螺钉并安装工作套筒,先预紧上位椎椎弓根螺帽,然后下压连接杆纠正伤椎高度和后凸角并锁紧下位椎椎弓根螺帽,最后锁紧上位及伤椎椎弓根螺帽。术毕逐层缝合腰背筋膜、皮下组织及皮肤。

1.2.2 经肌间隙组 全身麻醉后患者取俯卧位,垫高胸部与髂前上棘。C 型臂 X 线机透视定位伤椎。以伤椎为中心取后正中皮肤切口,适度潜行分离皮下组织,沿棘突两侧纵向切开腰背筋膜,用手指寻找最长肌与多裂肌之间的自然分界面并沿肌纤维方向钝性分开多裂肌和最长肌,向下触及椎体关节突关节及横突,用电凝骨膜下显露伤椎及上、下位椎的上关节突和横突基底部。采用人字嵴定位法于伤椎及上、下位椎置入椎弓根螺钉,C 型臂 X 线机透视确认螺钉位置良好。折弯连接杆前凸约 10°,先预紧伤椎上位椎弓根螺帽,然后下压连接杆纠正伤椎高度和后凸角并锁紧下位椎椎弓根螺帽,最后锁紧上位及伤椎椎弓根螺帽。术毕逐层缝合腰背筋膜、皮下组织及皮肤。

1.3 术后处理

手术切口均未放置负压引流。术后常规使用静脉抗生素 48h。术后常规行 X 线及 CT 检查,评估骨折复位情况及螺钉位置。术后 3~5d 患者在支具保护下开始下地活动并进行腰背肌功能锻炼,术后常规支具外固定制动 8~12 周。术后 12~18 个月行 CT 扫描及三维重建,如骨折线消失或有连续的骨痂通过骨折线则认为骨愈合,即可取出内固定。两组患者术后均获得 12 个月以上随访,两组间随访时间差异无统计学意义(表 1)。

1.4 评价指标

1.4.1 围手术期评价指标 记录手术切口长度、手术时间及术中出血量;采用视觉模拟数字法疼痛评分(visual analog scale, VAS 评分)评估术后切口疼痛情况。

1.4.2 影像学评价指标 测量术前、术后即刻及末次随访时的伤椎前缘高度和矢状面 Cobb 角。(1)伤椎前缘高度:伤椎前缘高度 $\div$ [(伤椎上位椎体前缘高度+伤椎下位椎体前缘高度) $\div$ 2] $\times$ 100%;(2)矢状面 Cobb 角:侧位 X 线片上伤椎上位椎体上终板垂线与伤椎下位椎体下终板垂线的夹角。

1.5 统计学分析

所有数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示,采用 SPSS 15.0 软件进行统计学处理,对两组间的性别、骨折类型及骨折节段等构成比比较采用卡方检验,对两组间的年龄、受伤至手术时间、手术时间、Loadsharing 评分、术后 1 天切口疼痛 VAS 评分、伤椎前缘高度及矢状面 Cobb 角比较采用成组设计 t 检验,对同组的术前、术后即刻、取内固定时与末次随访时的伤椎前缘高度及矢状面 Cobb 角比较采用配对 t 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 临床结果

两组的围手术期指标见表 2。其中两组的手术切口长度无显著性差异($P > 0.05$);手术时间经皮组明显长于经肌间隙组($P < 0.05$);而术中出血量及术后切口疼痛经皮组明显小于经肌间隙组($P < 0.05$)。两组患者术后均未发生感染、下肢深静脉血栓及螺钉置钉错误等并发症,术后随访均未发现钉棒弯曲、松动或断裂等情况。两组患者术后

表 2 经皮组与经肌间隙组围手术期指标的比较($\bar{x} \pm s$)

Table 2 Comparisons of perioperative parameters between the two groups

	经皮组 Percutaneous group	经肌间隙组 Trans-spacium intermuscular group
手术切口长度(cm) Length of incision(cm)	9.55 $\pm$ 1.76	10.80 $\pm$ 1.52
手术时间(min) Operative time(min)	120.7 $\pm$ 24.5	90.3 $\pm$ 15.6 ^①
术中出血量(ml) Blood loss(ml)	50.6 $\pm$ 13.7	152.0 $\pm$ 25.8 ^①
VAS评分(分) VAS score(point)	3.5 $\pm$ 1.0	5.1 $\pm$ 1.7 ^①

注:①与经皮组比较 $P < 0.05$

Note: ①Compared with percutaneous group, $P < 0.05$

均获得骨愈合及取出内固定(图 1、2)。

2.2 影像学结果

两组的影像学测量结果见表 3。两组术后即刻的伤椎前缘高度和矢状面 Cobb 角与术前相比均得到明显纠正($P<0.05$);两组取内固定时和末

次随访时的伤椎前缘高度和矢状面 Cobb 角与术后即刻相比均没有明显丢失($P>0.05$);而两组间的术前、术后即刻、取内固定时及末次随访时的伤椎前缘高度和矢状面 Cobb 角无显著性差异($P>0.05$)。



图 1 女性,36 岁,L2 骨折(A3 型,Loadsharing 评分 4 分,无神经损伤症状) **a** 术前 X 线示 L2 前缘高度 53.8%,矢状面 Cobb 角 20.6° **b** 术中经皮置入 6 枚椎弓根螺钉 **c** 术后 X 线示 L2 前缘高度 90.3%,矢状面 Cobb 角 1.8° **d** 术后 1 年 X 线示 L2 前缘高度 90.0%,矢状面 Cobb 角 2.0° **e** 术后 1 年矢状面 CT 重建示 L2 已骨性愈合 **f** 小切口取出内固定 **图 2** 女性,45 岁,L1 骨折(A3 型,Loadsharing 评分 4 分,无神经损伤症状) **a** 术前 X 线片示 L1 前缘高度 45.3%,矢状面 Cobb 角 28.6° **b** 术中经肌间隙置入 6 枚椎弓根螺钉 **c** 术后 X 线片示 L1 前缘高度 92.5%,矢状面 Cobb 角 1.2° **d** 术后 1 年 X 线片示 L1 前缘高度 91.3%,矢状面 Cobb 角 1.5° **e** 术后 1 年矢状面 CT 重建示 L1 已骨性愈合

Figure 1 A 36-year-old female with L2 fracture (type A3, loadsharing score 4, without neurological deficit). **a** Preoperative X-ray showed that anterior vertebral body height was 53.8% and Cobb angle was 20.6° **b** 6 pedicle screws were placed percutaneously **c**

Postoperative X-ray showed that anterior vertebral body height was 90.3% and Cobb angle was 1.8° **d** X-ray showed that anterior vertebral body height was 90.0% and Cobb angle was 2.0° 1 year after surgery **e** Sagittal reconstructive CT showed fusion 1 year after surgery **f** Remove the fixation by small incision **Figure 2** A 45-year-old female with L1 fracture (type A3, loadsharing score 4, without neurological deficit). **a** Preoperative X-ray showed that anterior vertebral body height was 45.3% and Cobb angle was 28.6° **b** 6 pedicle screws were placed trans-spatium intermuscular **c** Postoperative X-ray showed that anterior vertebral body height was 92.5% and Cobb angle was 1.2° **d** X-ray showed that anterior vertebral body height was 91.3% and Cobb angle was 1.5° 1 year after surgery **e** Sagittal reconstructive CT showed that vertebral body fusion 1 year after surgery

表 3 经皮组与经肌间隙组影像学结果的比较 ($\bar{x} \pm s$)
Table 3 Comparisons of radiographic results between the two groups

	经皮组 Percutaneous group	经肌间隙组 Trans-spacium intermuscular group
伤椎前缘高度 (%) Anterior vertebral body height(%)		
术前 Preoperation	50.8±11.3	51.6±10.5
术后即刻 Postoperation	86.5±7.9 ^①	88.1±8.6 ^①
取内固定时 Time to remove fixation	84.5±8.1 ^{①②}	86.3±8.3 ^{①②}
末次随访 Final follow-up	83.9±5.7 ^{①②}	85.6±7.1 ^{①②}
矢状面 Cobb 角 (°) Cobb angle(°)		
术前 Preoperation	25.6±8.9	27.4±7.5
术后即刻 Postoperation	3.7±4.5 ^①	3.2±5.1 ^①
取内固定时 Time to remove fixation	3.9±5.0 ^{①②}	3.8±5.4 ^{①②}
末次随访 Final follow-up	3.6±4.5 ^{①②}	3.7±4.8 ^{①②}

注:①与术前比较 $P<0.05$; ②与术后即刻比较 $P>0.05$

①Note: Compared with preoperation, $P<0.05$; ②Compared with postoperation, $P>0.05$

3 讨论

3.1 胸腰椎骨折的微创手术治疗

有研究表明对于无神经损伤的胸腰椎爆裂性骨折患者行保守治疗亦可取得良好的临床疗效,甚至在腰痛和功能恢复方面优于手术治疗^[8]。这为传统的后路手术需要广泛剥离和长时间牵拉脊柱两旁的肌肉、肌筋膜和韧带,容易引起肌肉缺血坏死和纤维化,导致术后出现长期腰背部僵硬与疼痛,降低手术疗效^[9]。因此如何减少手术创伤一直是骨科医师努力的方向。近年来有学者提出经多裂肌与最长肌间隙入路直接暴露关节突关节和横突,并进行椎弓根螺钉置入复位内固定,术中不需要广泛剥离肌肉,从而保护了椎旁肌及其神经支配,取得了良好的临床疗效^[10]。国内外学者研究发现,对于 loadsharing 评分 ≤ 6 分且不需要进行神经减压的胸腰椎爆裂性骨折,在后路复位内固定后不需要进行额外的植骨融合^[11]。这为单纯椎弓根螺钉内固定手术治疗胸腰椎骨折提供了理论基础,所以近年来国内外学者开始将经皮椎弓根螺钉系统用于治疗胸腰椎骨折,与传统的后路开放手术相比,经皮椎弓根螺钉内固定不仅可以获

得相似的伤椎椎体高度和矢状面 Cobb 角纠正,而且可以避免传统开放手术对椎旁肌的剥离损伤,具有手术切口更短、术中出血更少、术后疼痛更轻、术后功能恢复更快等优点^[12,13]。因为经皮椎弓根螺钉内固定治疗胸腰椎骨折不需要进行额外的植骨融合,所以我们建议在骨折愈合后取出内固定,这样不仅可以避免内固定松动断裂,而且可以保留相应的运动节段。

3.2 经皮椎弓根螺钉内固定治疗胸腰椎骨折的生物力学稳定性

因为经皮椎弓根螺钉置入技术要求高,而且非直视下置入的上下椎体的椎弓根螺钉在矢状面和冠状面上很难位于同一平面,为了便于术中经皮安装连接杆,所以经皮椎弓根螺钉系统选用多轴的椎弓根螺钉。与单轴的椎弓根螺钉相比,多轴的椎弓根螺钉内固定生物力学较差。生物力学试验验证实在胸腰椎爆裂性骨折模型上,采用跨伤椎 4 枚多轴椎弓根螺钉内固定的稳定性显著性增加,但是与跨伤椎 4 枚单轴椎弓根螺钉内固定相比,在前屈、后伸运动方向上的固定强度较弱^[12]。为了提高跨伤椎的短节段椎弓根螺钉内固定的生物力学稳定性,有学者建议可以结合伤椎椎弓根螺钉固定。生物力学研究证实结合伤椎椎弓根螺钉可以显著增加生物力学稳定性,与跨伤椎 4 枚多轴椎弓根螺钉内固定相比,结合伤椎椎弓根螺钉的 6 枚多轴椎弓根螺钉内固定在前屈、后伸、左右侧屈和左右旋转各个方向上的固定强度明显提高^[13]。我们的研究结果同样显示,单纯后路短节段结合伤椎经皮椎弓根螺钉内固定治疗无神经损伤、Loadsharing 评分 ≤ 6 分的 A 型胸腰椎骨折均获得了骨性愈合,而且有效维持术后骨折复位。所以对于欧洲版脊柱骨折 AO 分型中的 A 型胸腰椎骨折,如果选择微创经皮椎弓根螺钉内固定手术治疗,我们建议采用结合伤椎椎弓根螺钉的 6 枚多轴椎弓根螺钉内固定。国内外的生物力学研究主要针对的是胸腰椎爆裂性骨折,或 AO 分型中的 A 型骨折^[15,12,13]。目前还没有专门针对屈曲牵张性胸腰椎骨折,或 AO 分型中的 B 型骨折模型的生物力学稳定性测试。所以 AO 分型中的 B 型胸腰椎骨折是否适用结合骨折椎椎弓根螺钉的 6 枚多轴椎弓根螺钉内固定还需要进一步的临床和实验室研究。

3.3 经皮椎弓根螺钉内固定治疗 A 型胸腰椎骨

折的复位技巧

传统的后路手术通过后方平行撑开来间接复位,因为经皮椎弓根螺钉系多轴的椎弓根螺钉,很难进行后方的平行撑开。而且近年来的研究也表明,后方平行撑开往往会引起椎间盘过度的撑开,而非骨折椎体的复位,从而导致术后骨折复位的丢失和内固定的失败^[4]。本组中,我们没有采用后方平行撑开的复位方法,而是采用以下复位方法:先预紧上位椎椎弓根螺帽,然后下压连接杆纠正伤椎高度和后凸角并锁紧下位椎椎弓根螺帽,最后锁紧上位及伤椎椎弓根螺帽。通过:(1)以骨折椎椎弓根螺钉作为支点,通过器械的提拉作用,利用前后纵韧带、膈肌脚及腰大肌纤维紧张,使塌陷的椎体高度复位,同时避免对椎间盘的撑开;(2)连杆前凸,在连接钉杆时,以骨折椎椎弓根螺钉为支点,将骨折椎向前推顶,纠正骨折椎后凸畸形;(3)通过后向前拧入椎弓根螺钉,可以使椎管内骨折块向前复位。影像学结果显示,这种复位技巧既可以获得良好的骨折复位,又可以有效维持骨折复位。

综上,单纯后路短节段结合伤椎经皮椎弓根螺钉内固定和经肌间隙椎弓根螺钉内固定治疗 A 型胸腰椎骨折具有相似的复位效果,但是经皮椎弓根螺钉内固定手术的出血少、疼痛轻。

4 参考文献

1. Foley KT, Gupta SK, Justis JR, et al. Percutaneous pedicle screw fixation of the lumbar spine[J]. Neurosurg Focus, 2001, 10(4): 1-8.
2. Lee JK, Jang JW, Kim TW, et al. Percutaneous short-segment pedicle screw placement without fusion in the treatment of thoracolumbar burst fractures: is it effective? Comparative study with open short-segment pedicle screw fixation with posterolateral fusion[J]. Acta Neurochir, 2013, 155(12): 2305-2312.
3. 李长青, 罗刚, 周跃, 等. 新型微创经皮椎弓根螺钉内固定治疗胸腰椎骨折[J]. 中华创伤杂志, 2009, 25(6): 522-525.
4. Fogel GR, Reitman CA, Liu W, et al. Physical Characteristics of polyaxial-headed pedicle screws and biomechanical comparison of load with their failure[J]. Spine, 2003, 28(5): 470-473.
5. Mahar A, Kim C, Wedemeyer M, et al. Short-segment fixation of lumbar burst fractures using pedicle fixation at the level of the fracture[J]. Spine, 2007, 32(14): 1503-1507.
6. 顾勇杰, 胡勇, 马维虎, 等. 后路短节段结合骨折椎弓根螺钉复位内固定治疗胸腰椎骨折[J]. 中国骨伤, 2010, 23(4): 264-267.
7. Reinhold M, Audige L, Schnake KJ, et al. AO spine injury classification system: a revision proposal for the thoracic and lumbar spine[J]. Eur Spine J, 2013, 22(10): 2184-2201.
8. Wood KB, Buttermann G, Phukan R, et al. Operative compared with nonoperative treatment of a thoracolumbar burst fracture without neurological deficit: a prospective randomized study with follow-up at sixteen to twenty-two years[J]. J Bone Joint Surg Am, 2015, 97(1): 3-9.
9. Kim DY, Lee SH, Chung SK, et al. Comparison of multifidus muscle atrophy and trunk extension muscle strength: percutaneous versus open pedicle screw fixation [J]. Spine, 2005, 30(1): 123-129.
10. 李楠, 张贵林, 田伟, 等. 经椎旁肌入路治疗胸腰段椎体骨折[J]. 中华骨科杂志, 2008, 28(5): 379-382.
11. Dai L, Jiang L, Jiang S. Posterior short-segment fixation with or without fusion for thoracolumbar burst fractures: a five to seven-year prospective randomized study [J]. J Bone Joint Surg Am, 2009, 91(5): 1033-1041.
12. 王洪伟, 周跃, 李长青, 等. 经皮椎弓根螺钉内固定治疗胸腰椎骨折的生物力学及临床研究[J]. 中华骨科杂志, 2011, 31(9): 932-937.
13. 王洪伟, 周跃, 李长青, 等. 经伤椎与跨伤椎万向钉置钉固定脊柱骨折的生物力学对比研究[J]. 中华创伤杂志, 2010, 26(12): 1105-1108.
14. Korovessis P, Repantis T, Petsinis G, et al. Direct reduction of thoracolumbar burst fractures by means of balloon kyphoplasty with calcium phosphate and stabilization with pedicle-screw instrumentation and fusion[J]. Spine, 2008, 33(4): E100-108.

(收稿日期:2015-12-12 末次修回日期:2016-04-13)

(英文编审 蒋欣/贾丹彤)

(本文编辑 彭向峰)