

## 不同角度置钉对椎弓根螺钉稳定性的影响

庞仲辉<sup>1</sup>, 刘 淼<sup>2</sup>, 张亚斌<sup>1</sup>, 姚永峰<sup>1</sup>, 裴少琨<sup>1</sup>(<sup>1</sup>陕西省第四人民医院骨科, 陕西省西安市 710043; <sup>2</sup>西安市交大第一附属医院骨科, 陕西省西安市 710056)

### 文章亮点:

1 胸腰椎骨折常合并脊髓神经功能的创伤, 经皮椎弓根螺钉置入技术显著减少术中失血, 避免了开放手术造成的神经肌肉损伤、软组织损伤等一系列并发症。既往研究显示经皮椎弓根螺钉置入优于开放性手术, 但因视野限制, 对于置钉过程中角度的选择需要慎重, 置钉角度与螺钉稳定性的关系是关键。  
2 实验对不同角度下螺钉的拔出位移与螺钉拔出力的关系, 以及超出最大拔出出力时, 螺钉应力的变化趋势进行了阐述。

### 关键词:

骨科植入物; 脊柱植入物; 椎体骨折; 椎弓根; 螺钉; 角度; 冠状面角; 矢状面角; 稳定性; 拔出力; 载荷-位移; 微创

### 主题词:

组织工程; 脊柱; 椎弓根; 螺钉

### 基金资助:

陕西省科技攻关项目(2012K16-09-07)

庞仲辉, 男, 1972年生, 陕西省西安市人, 汉族, 1995年安徽理工大学医学院毕业, 主治医师。

通讯作者: 庞仲辉, 陕西省第四人民医院骨科, 陕西省西安市 710043

中图分类号: R318

文献标识码: A

文章编号: 2095-4344

(2015)48-07765-05

稿件接受: 2015-10-28

http://www.crter.org

### 摘要

**背景:** 有研究表明经皮椎弓根螺钉置入的准确性及手术效果要优于开放手术, 但既往研究中对置钉角度与螺钉稳定性的关系尚不清楚。

**目的:** 观察不同角度置钉对椎弓根螺钉稳定性的影响。

**方法:** 选取成年猪椎体标本 30 个, 分别按照不同的冠状面及矢状面角度置钉, 通过机器测试各标本螺钉的最大拔出出力, 并绘制载荷-位移曲线, 进行统计分析。

**结果与结论:** 10°及 15°冠状面及矢状面角度置钉的螺钉最大拔出出力及最大能量明显优于 0°角组( $P < 0.05$ )。当应力超出最大拔出出力时, 螺钉的拔出出力呈现缓降趋势, 冠状面及矢状面 10°及 15°夹角组曲线相似, 斜率优于 0°角组( $P < 0.05$ )。结果证实, 置钉角度为经皮椎弓根螺钉稳定性提供有力帮助, 螺钉开始松动后, 把持力呈现稳步下降趋势。

庞仲辉, 刘淼, 张亚斌, 姚永峰, 裴少琨. 不同角度置钉对椎弓根螺钉稳定性的影响[J]. 中国组织工程研究, 2015, 19(48):7765-7769.

doi:10.3969/j.issn.2095-4344.2015.48.010

## Effect of different angles of implanted screws on the stability of pedicle screw

Pang Zhong-hui<sup>1</sup>, Liu Miao<sup>2</sup>, Zhang Ya-bin<sup>1</sup>, Yao Yong-feng<sup>1</sup>, Pei Shao-kun<sup>1</sup>(<sup>1</sup>Department of Orthopedics, the Fourth People's Hospital of Shaanxi, Xi'an 710043, Shaanxi Province, China; <sup>2</sup>Department of Orthopedics, The First Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710056, Shaanxi Province, China)

### Abstract

**BACKGROUND:** Some studies have showed that the accuracy and surgery outcome of the percutaneous pedicle screw implantation was superior to open surgery, but the relationship between the angle of pedicle screws and screw stability is still unclear in previous studies.

**OBJECTIVE:** To investigate the effect of different angles of implanted screws on the stability of pedicle screw.

**METHODS:** A total of 30 vertebral specimens of adult pigs were selected and screws were implanted respectively according to different coronal and sagittal angles. The maximum pull-out strength of screws from each specimen was tested by machine. Load-displacement curves were drawn and statistically analyzed.

**RESULTS AND CONCLUSION:** The maximum pull-out strength and maximum energy of screw with 10° and 15° coronal and sagittal angles implantation were significantly better than those of 0° angle group ( $P < 0.05$ ). When the stress exceeded the maximum pull-out strength, the pull-out strength of screw decreased gradually. The curves in coronal and sagittal 10° and 15° angle groups was similar, and the slope was better than 0° angle group ( $P < 0.05$ ). These results confirm that the angle of the implanted screw provides effective assistance to the stability of percutaneous pedicle screw. After the looseness of the screws, the pullout strength shows a steady downward trend.

Pang Zhong-hui, Attending physician, Department of Orthopedics, the Fourth People's Hospital of Shaanxi, Xi'an 710043, Shaanxi Province, China

Corresponding author: Pang Zhong-hui, Department of Orthopedics, the Fourth People's Hospital of Shaanxi, Xi'an 710043, Shaanxi Province, China

Accepted: 2015-10-28

**Subject headings:** Tissue Engineering; Spine; Pedicle; Screws

**Funding:** the Scientific and Technological Projects of Shaanxi Province, China, No. 2012K16-09-07

Pang ZH, Liu M, Zhang YB, Yao YF, Pei SK. Effect of different angles of implanted screws on the stability of pedicle screw. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu. 2015;19(48):7765-7769.

## 0 引言 Introduction

胸腰椎骨折是常见脊柱损伤,且常合并脊髓神经功能的创伤,青壮年主要因高能量创伤,而老年人多因自身骨质疏松并伴低暴力损伤<sup>[1-2]</sup>。患者多合并其他脏器损伤,给患者的生活造成巨大影响,这也为临床治疗带来了极大的困难。

目前临床多采用后路开放手术治疗,可对有神经损伤、C型骨折及椎体压缩、占位患者解决问题,不仅提高了椎体高度,且可消除椎管占位,但是后路开放手术对周围组织创伤大、术中出血多,且对脊髓损伤及马尾损伤的患者手术时机也不明确,对于时间窗的控制尚无明确标准,固定后腰肌损伤、脊柱不稳定等并发症也严重影响了患者的预后<sup>[3-5]</sup>。

经皮椎弓根螺钉的出现,符合微创外科的要求,且明显减少了术中失血,避免了开放手术造成的神经肌肉损伤、软组织损伤等一系列并发症。

椎弓根是组成椎间孔的重要结构,多呈圆形或椭圆形,承载人体脊柱大部分应力。通过既往研究发现随腰椎序数的增大,椎弓根冠状面夹角及矢状面夹角均随之逐渐增加,邻近神经根与椎弓根间的距离小于5 mm时,可有效防止神经根的损伤<sup>[6-7]</sup>。

椎弓根钉置入是手术成败的关键,需要定位准确,且熟练掌握椎弓根的解剖结构非常重要。螺钉的置入必须按照精确的冠状面及矢状面夹角,沿长轴通过椎弓根的狭小管道<sup>[8]</sup>。

虽然手术操作方式众多,但如何选择正确的夹角并成功置钉增加了手术及良好预后的难度。进钉点的选择也很大程度上影响了进钉的角度,进针点靠外,则进钉角度的选择较大,可达到最大插入角,螺钉的角度与手术固定的稳定性关系密切。

大量研究均显示,经皮椎弓根螺钉置入的准确性及手术效果要优于开放手术<sup>[9-10]</sup>,但因视野限制,对于置钉过程中角度的选择需要慎重,既往研究中对置钉角度与螺钉稳定性的关系尚不清楚,螺钉的松动甚至拔出是由于螺钉两个方向轴上联合作用的结果。

文章对不同角度下螺钉的拔出位移与螺钉拔出力的关系,以及在拔出力超出螺钉固定的最大拔出力时,螺钉应力的变化趋势进行了研究,以期为临床手术及患者预后提供参考。

## 1 材料和方法 Materials and methods

1.1 设计 随机对照动物实验。

1.2 时间及地点 于2014年6月至2014年10月在西安交通大学医学院动物实验研究中心实验室完成。

### 1.3 材料

**脊柱标本:** 选取7具新鲜成年猪腰椎椎体标本(成年猪腰椎与人体椎体成分含量上有差异,但椎体形态分布及各椎体载荷-位移曲线并不存在差异)<sup>[11-12]</sup>,所有标本均经影像学检查,均为正常椎体,排除患有骨质疏松、骨折、肿瘤等病变标本<sup>[13-14]</sup>。脊柱标本保鲜袋密封存放, -20 ℃低温冰箱保存<sup>[15]</sup>。

实验当日取出,室温自然解冻,逐个自离断椎体,由椎间盘关节处分解,获得单个椎体,剔除周围肌肉、韧带等组织。在所有获得标本中筛选出30个大小较一致的椎体,经骨密度测试各组骨密度均值不存在统计学差异<sup>[16-18]</sup>。

**螺钉:** 长臂椎弓根螺钉,型号: Schanz,圆柱形,螺钉长70 mm,螺纹长40 mm,外径5.5 mm,购自山东威高骨科材料有限公司。

#### 椎弓根螺钉植入实验用主要仪器:

仪器	型号规格	来源
脊柱内固定系统	CGW-1	奥斯比利克公司
置钉系统	VIPER	强生公司

### 1.4 实验方法

**分组:** 30个椎体标本随机等分为2组,采用相同螺钉,相同置钉深度,各组采用不同角度置钉,每组再分3个亚组,每组5个。A组按不同冠状面夹角置钉,并分为A1组:夹角(螺钉与椎弓根轴线夹角)0°; A2组:夹角10°; A3组:夹角15°,所有A组置钉矢状面角为0°。B组按不同矢状面夹角置钉,分为B1组:夹角(螺钉与上终板夹角)0°; B2组:夹角10°; B3组:夹角15°,所有置钉冠状面角为0°。实验中A1组与B1组因冠状面夹角、矢状面夹角为0°,为简化流程,仅测试1次<sup>[19-22]</sup>。

**生物力学测试:** 采用自凝牙托粉包埋椎体下端固定于操作台,制作模具,以量角板及克氏征确定置钉角度,1.5 mm克氏针固定角度,沿克氏针进行攻丝,直视下置入经皮椎弓根螺钉,避免克氏针穿破前侧皮质。

固定深度为椎体前后径70%,使用Eiectro Force力学试验机进行力学测试,将夹具夹住经皮椎弓根钉尾端,与底座垂直的方向施加纵向拔出力,以2 mm/min的恒速拔出,螺钉出现松动时停止机器,记录最大轴向拔出力( $F_{max}$ )及达到 $F_{max}$ 时的最大能量( $E_{max}$ ), $E_{max}$ 的测量由计算机测得最大拔出力 $F_{max}(N)$ 与位移(mm)乘积获得。

记录完毕继续进行拔出力测试,螺钉松动拔出力逐步下降,并记录经皮椎弓根螺钉的荷载-位移曲线。所有实验

表 1 不同角度冠状面置钉结果分析

Table 1 Analysis of the results for different angles of coronal pedicle screw implantation

序号	A1		A2		A3	
	最大拔出力(N)	最大能量(N·m)	最大拔出力(N)	最大能量(N·m)	最大拔出力(N)	最大能量(N·m)
1	1 405	2.3	2 073	4.1	2 477	4.4
2	1 331	2.4	2 115	3.8	2 418	4.8
3	1 492	2.2	2 106	3.9	2 385	4.8
4	1 473	2.6	2 086	3.7	2 417	4.6
5	1 397	2.5	2 179	4.0	2 445	4.7
$\bar{x}\pm s$	1 419.6±64.6	2.4±0.2	2 111.8±41.0	3.9±0.2	2 428.4±34.5	4.7±0.2

表注: A 组按不同冠状面夹角置钉, A1 组夹角(螺钉与椎弓根轴线夹角)0°, A2 组夹角 10°, A3 组夹角 15°, 所有 A 组置钉矢状面角为 0°。A2 组最大拔出力及最大能量均明显高于 A1 组( $P < 0.05$ ); A3 组最大拔出力及最大能量明显高于 A2 组( $P < 0.05$ )。

表 2 不同角度矢状面置钉结果分析

Table 2 Analysis of the results for different angles of sagittal pedicle screw implantation

序号	B1		B2		B3	
	最大拔出力(N)	最大能量(N·m)	最大拔出力(N)	最大能量(N·m)	最大拔出力(N)	最大能量(N·m)
1	1 405	2.3	2 013	3.6	2 236	4.2
2	1 331	2.4	2 042	3.7	2 253	4.4
3	1 492	2.2	1 975	3.6	2 305	4.5
4	1 473	2.6	1 937	4.0	2 344	4.3
5	1 397	2.5	2 064	3.9	2 301	4.5
$\bar{x}\pm s$	1 419.6±64.6	2.4±0.2	2 006.2±51.1	3.8±0.2	2 287.8±43.4	4.4±0.1

表注: B 组按不同矢状面夹角置钉, B1 组夹角(螺钉与上终板夹角)0°; B2 组夹角 10°; B3 组夹角 15°, 所有置钉冠状面角为 0°。B2 组最大拔出力及最大能量均明显高于 B1 组( $P < 0.05$ ); B3 组最大拔出力及最大能量明显高于 B2 组( $P < 0.05$ )。

均由同一人操作记录, 降低人为主观因素造成误差。

1.5 主要观察指标 各组测量最大拔出力、最大能量、绘制载荷-位移曲线。

1.6 统计学分析 计量资料采用 $\bar{x}\pm s$ 表示, 采用SPSS 20.0 统计学软件进行数据处理, 组间数据差异的比较采用单因素方差分析和SNK法,  $P < 0.05$ 为差异有显著性意义。

## 2 结果 Results

2.1 不同角度冠状面置钉结果分析 如表1所示, A2组最大拔出力及最大能量均明显高于A1组( $P < 0.05$ ); A3组最大拔出力及最大能量明显高于A2组( $P < 0.05$ )。

通过载荷-位移曲线实验可以看出3个角度冠状面置钉后, 外力达到最大拔出前, 拔出呈逐渐上升趋势, 达到最大拔出后, 随着螺钉的拔出, 拔出呈缓降趋势, A2及A3组曲线相似, 斜率高于A1组。

2.2 不同角度矢状面置钉结果分析 如表2所示, B2组最大拔出力及最大能量均明显高于B1组( $P < 0.05$ ); B3组最大拔出力及最大能量明显高于B2组( $P < 0.05$ )。

通过载荷-位移曲线实验可以看出3个角度冠状面置钉后, 外力达到最大拔出前, 拔出呈逐渐上升趋势, 达到最大拔出后, 随着螺钉的拔出, 拔出呈缓降趋势, B2及B3组曲线相似, 斜率高于B1组。

## 3 讨论 Discussion

经皮椎弓根螺钉置入治疗胸腰椎疾病最早由Mager报道并进行临床研究, 随着医学技术飞速发展, 内固定技术发生了革命性的进步, 经临床验证微创经皮椎弓根螺钉与开放后路内固定的准确性及效果无差异<sup>[23-24]</sup>。

开放内固定在临床中应用广泛, 椎弓根螺钉内固定实现了脊柱的三维的固定, 在力学性能上达到稳定。但开放手术的缺点也显而易见, 出血多, 固定后并发症较多, 微创经皮椎弓根固定技术具有开放手术无法比拟的优势, 其采用导针技术, 准确性与开放手术无差异, 腰肌组织剥离较小, 出血少, 且操作过程中对肌纤维、神经根的损伤小, 患者术中痛苦少, 固定后肌力恢复较快, 固定稳定性快<sup>[25-26]</sup>。

由于手术为微创, 对机体创伤小, 恢复快, 能够明显降低并发症的发生。但是经皮椎弓根螺钉技术也存在一定缺点, 由于操作空间及视野限制, 对手术医生的操作及经验要求高, 对某些脊柱疾病的治疗受限, 如椎管减压、融合及脊柱畸形矫正的稳定性也欠佳。

在椎弓根螺钉失败案例中, 螺钉松动及拔出是主要原因, 螺钉的把持力不足导致螺钉的松动, 由于钉杆连接松动, 有可能导致螺钉也松动, 稳定性降低<sup>[27]</sup>。

众多因素均可导致椎弓根螺钉拔出, 椎弓根螺钉固定

后80%的负荷由椎弓根承担, 螺钉拔出时60%的负荷由椎弓根承担, 因此椎弓根骨密度的大小与椎弓根螺钉的稳定性密切相关, 骨质疏松患者极易造成螺钉的松动。同时螺钉的长度与直径也与螺钉稳定性相关, 但固定深度并不是越深越好, 固定过深容易损伤神经、血管, 实验的固定深度取置钉点与椎弓根轴线及椎体交点距离的70%进行置钉, 并达到较好的固定效果。

最近众多研究发现置钉角度也是影响螺钉稳定性的重要因素, 螺钉固定后, 上下螺钉成角度倾斜后, 能够获得更加理想的把持力, 但大多数研究仅从解剖角度上进行稳定性研究。

实验通过对冠状面夹角、矢状面夹角两个角度进行研究, 此2个角度随置钉位置、置钉方法等不同而具有一定差异, 对其力学稳定性的研究可为术中操作提供一定的理论依据。

实验发现, 在 $0^{\circ}$ - $15^{\circ}$ 夹角范围内, 改变螺钉固定的冠状面夹角及矢状面夹角中一项, 而保持另一角度为 $0^{\circ}$ , 发现在冠状面夹角及矢状面夹角改变 $10^{\circ}$ 及 $15^{\circ}$ 时, 最大拔出力均明显高于 $0^{\circ}$ 时, 且达到最大拔出力时的能量值也是 $10^{\circ}$ 及 $15^{\circ}$ 夹角情况下占优, 说明螺钉的适当角度倾斜对于提高螺钉的稳定性具有显著的效果。

由于螺钉是完全咬合于椎弓根骨质时, 螺钉稳定性最高, 适当角度的改变, 使得螺钉更多的螺纹咬合于椎弓根骨质中, 骨-螺钉界面面积增加, 使得最大拔出力明显增加<sup>[28-29]</sup>。同时螺钉角度的增加使得椎体形成三角稳定关系, 符合几何力学的理论<sup>[30-39]</sup>。实验通过计算机获得的载荷-位移曲线发现, 当螺钉所承受的应力超出最大拔出力时, 并不是实验想象中把持力的瞬间消失, 把持力仍然存在且呈平稳的逐步下降, 可能由于螺钉螺纹设计使得把持力能够平稳消失。具有角度的置钉方式的载荷-位移曲线斜率均明显优于 $0^{\circ}$ 角置钉, 其所呈现的斜度更加平稳, 这也能给实验提供了一个及时抢救的缓冲期。

实验提供了一个更加有效的置钉方法依据, 对患者的预后与具有重要的指导意义, 但是实验采用动物脊椎标本, 与人体椎体仍具有较大差别, 各项力学研究数据仅对人体实验的可行性提供依据, 为了更好的应用于临床, 还需要进一步在人体椎体标本中进行探索。置钉角度的存在对螺钉的稳定性提供了有力的帮助。

**致谢:** 感谢西安交通大学医学院动物实验研究中心的各位老师及陕西省第四人民医院骨二科的同仁们对本次实验的帮助。

**作者贡献:** 作者均参与实验的设计及评估。

**利益冲突:** 所有作者共同认可文章无相关利益冲突。

**伦理问题:** 实验过程中对动物的处置符合 2009 年《Ethical issues in animal experimentation》相关动物伦理学标准的条例。

**文章查重:** 文章出版前已经过 CNKI 反剽窃文献检测系统进

行 3 次查重。

**文章外审:** 本刊实行双盲外审制度, 文章经国内小同行外审专家审核, 符合本刊发稿宗旨。

**学术术语:** 骨密度的含义? 骨密度是骨质量的一个重要标志, 反映骨质疏松程度, 预测骨折危险性的重要依据, 除可诊断骨质疏松症之外, 还可用于临床药效观察和流行病学调查。

**作者声明:** 文章第一作者对研究和撰写的论文中出现的不良行为承担责任。论文中涉及的原始图片、数据(包括计算机数据库)记录及样本已按照有关规定保存、分享和销毁, 可接受核查。

**文章版权:** 文章出版前杂志已与全体作者授权人签署了版权相关协议。

#### 4 参考文献 References

- [1] 王旭,李永民,谷守山.椎弓根钉置入内固定治疗胸腰椎骨折的应用进展[J].中国组织工程研究与临床康复,2010,(22): 4109-4112.
- [2] 胡海刚,谭伦,林旭,等.经伤椎椎弓根植骨置钉后路复位内固定术治疗胸腰椎骨折[J].中国脊柱脊髓杂志,2011,(8):663-668.
- [3] Vu TT, Morishita Y, Yague I, et al. Radiological Outcome of Short Segment Posterior Instrumentation and Fusion for Thoracolumbar Burst Fractures. Asian Spine J. 2015;9(3): 427-432.
- [4] Ökten AI, Gezercan Y, Özsoy KM, et al. Results of treatment of unstable thoracolumbar burst fractures using pedicle instrumentation with and without fracture-level screws. Acta Neurochirurgica. 2015;157(5):831-836.
- [5] Robinson PJ, Phelan PD. Rendu-Osler-Weber syndrome in a 9 year old girl presenting with repeated haemoptysis. Aust Paediatr J. 1989;25(4):248-249.
- [6] Charles YP, Pelletier H, Hydiar P, et al. Pullout characteristics of percutaneous pedicle screws with different cement augmentation methods in elderly spines: an in vitro biomechanical study. Orthop Traumatol Surg Res. 2015; 101(3): 369-374.
- [7] Proietti L, Scaramuzza L, Schirò GR, et al. Degenerative facet joint changes in lumbar percutaneous pedicle screw fixation without fusion. Orthop Traumatol Surg Res. 2015;101(3): 375-379.
- [8] Reynolds GJ. Stabilization and fixation of percutaneous central venous catheters. Aust Paediatr J. 1989;25(4): 250-251.
- [9] 蔡斌.经皮椎弓根螺钉置入准确性的CT评价及临床疗效[D].苏州:苏州大学,2014.
- [10] 聂锋,张英华,黄寿国,等.经皮微创椎弓根螺钉内固定与开放手术治疗胸腰椎骨折:Cobb's角与椎体前缘高度恢复的比较[J].中国组织工程研究,2014,18(44):7094-7099.
- [11] 杨博.肾形n-HA/PA66腰椎间融合器在猪腰椎TLIF手术的体外生物力学研究[D].重庆:重庆医科大学,2014.
- [12] 寿建国,应大君,曾养志.猪-人异种椎间盘移植在生化和解剖中的可行性初步研究[J].颈腰痛杂志,2004,25(3):170-173.
- [13] 寿建国,应大君,曾养志.猪腰椎-人颈椎异种椎间盘移植在组织结构和生物力学中的可行性初步研究[J].颈腰痛杂志,2004, 25(6):375-378.
- [14] 付鑫,谭杰,宋纯理,等.椎体内单次注射辛伐他汀对骨质疏松小型猪腰椎椎体骨质和椎弓根螺钉内固定稳定性的影响[J].中国脊柱脊髓杂志,2015,25(5):448-455.

- [15] 廖红荔. 腰椎间关节MRI多序列成像实验性研究[D]. 长沙: 中南大学, 2009.
- [16] 刘珺, 王维, 童琼娟, 等. 双能X线骨密度仪(DXA)与定量CT(QCT)测量骨密度的比较研究[J]. 临床放射学杂志, 2007, 21(5): 504-507.
- [17] 李滕. 骨质疏松相关激素与骨密度相关性研究[D]. 重庆: 重庆医科大学, 2013.
- [18] 黄何平. 骨密度的影响因素分析[J]. 中国临床康复, 2006, 10(40): 124-126.
- [19] 刘振. 经皮脊柱外固定器螺钉不同角度拔出的生物力学研究[D]. 衡阳: 南华大学, 2012.
- [20] 段洪斌. 不同水平角度置入椎弓根螺钉的拔钉生物力学研究[D]. 长春: 吉林大学, 2005.
- [21] 付少锋. 胸椎椎弓根和椎弓根-肋骨复合体的应用解剖及相关内固定技术的生物力学研究与临床评价[D]. 重庆: 重庆医科大学, 2014.
- [22] 史可强, 雷云霞, 王海奎, 等. 不同矢状角度置入椎弓根螺钉的拔钉生物力学研究[J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2009, 24(4): 311-313.
- [23] 张文志, 尚希福, 段丽群, 等. 微创经皮与传统开放椎弓根螺钉内固定治疗胸腰椎骨折的临床对比研究[J]. 中国骨与关节外科, 2012, 5(2): 109-114.
- [24] 段丽群, 张文志, 尚希福, 等. 微创经皮椎弓根螺钉内固定术治疗胸腰椎骨折的临床疗效分析[J]. 颈腰痛杂志, 2012, 33(5): 336-339.
- [25] 夏天, 董双海, 王雷, 等. 胸腰椎经皮椎弓根螺钉置钉的准确性分析[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2013, 23(9): 794-797.
- [26] 唐康, 张文志, 段丽群, 等. 微创经皮椎弓根螺钉联合伤椎置钉治疗胸腰段脊椎骨折[J]. 临床骨科杂志, 2014, 17(3): 253-257.
- [27] 刘达. 骨质疏松条件下膨胀式椎弓根螺钉与骨水泥强化螺钉的稳定性和钉道界面的比较研究[D]. 西安: 第四军医大学, 2011.
- [28] 史定伟, 干耀恺, 梁栋科, 等. 生物型空心松质骨螺钉的力学强度研究[J]. 医用生物力学, 2013, 28(5): 574-579.
- [29] 田冲, 张美超, 欧阳钧. 不同骨密度下松质骨螺钉生物力学性能的三维有限元分析[J]. 南方医科大学学报, 2010, 30(11): 2466-2471.
- [30] Bianco RJ, Aubin CE, Mac-Thiong JM, et al. Pedicle Screw Fixation Under Non-Axial Loads: a Cadaveric Study. Spine (Phila Pa 1976). 2015.
- [31] Mayer M, Stephan D, Resch H, et al. Biomechanical comparison of sacral fixation characteristics of standard s1-pedicle screw fixation vs a novel constrained s1-dual-screw anchorage in the s1-pedicle and s1-alar bone. Spine (Phila Pa 1976). 2015.
- [32] Shui X, Ying X, Mao C, et al. Percutaneous Screw Fixation of Crescent Fracture-Dislocation of the Sacroiliac Joint. Orthopedics. 2015; 38(11): e976-e982.
- [33] Hu Y, Dong WX, Kepler CK, et al. A novel anterior odontoid screw plate for c1-c3 internal fixation: an in vitro biomechanical study. Spine (Phila Pa 1976). 2015.
- [34] Akpolat YT, İnceoğlu S, Kinne N, et al. Fatigue performance of cortical bone trajectory screw compared to standard trajectory pedicle screw. Spine (Phila Pa 1976). 2015.
- [35] Grechenig S, Gueorguiev B, Berner A, et al. A novel locking screw hip stem to achieve immediate stability in total hip arthroplasty: A biomechanical study. Injury. 2015; 46 Suppl 4: S83-S87.
- [36] Loibl M, Korsun M, Reiss J, et al. Spinal fracture reduction with a minimal-invasive transpedicular Schanz Screw system: clinical and radiological one-year follow-up. Injury. 2015; 46 Suppl 4: S75-S82.
- [37] Grechenig S, Gänsslen A, Gueorguiev B, et al. PMMA-augmented SI screw: a biomechanical analysis of stiffness and pull-out force in a matched paired human cadaveric model. Injury. 2015; 46 Suppl 4: S125-S128.
- [38] Quinn JC, Patel NV, Tyagi R. Hybrid lateral mass screw sublaminar wire construct: a salvage technique for posterior cervical fixation in pediatric spine surgery. J Clin Neurosci. 2015.
- [39] Saleh MF, Dhenge RM, Cartwright JJ, et al. Twin screw wet granulation: Effect of process and formulation variables on powder caking during production. Int J Pharm. 2015.