

椎弓根螺钉在胸腰椎骨折置入内固定治疗中的应用及其生物相容性★

肖旭阳, 王晓东, 藏东玉

Application and biocompatibility of pedicle screws in thoracolumbar fracture internal fixation

Xiao Xu-yang, Wang Xiao-dong, Zang Dong-yu

Department of
Thoracic Surgery,
First Hospital of
Liaoning Medical
University, Jinzhou
121001, Liaoning
Province, China

Xiao Xu-yang★,
Physician,
Department of
Thoracic Surgery,
First Hospital of
Liaoning Medical
University, Jinzhou
121001, Liaoning
Province, China
xiaoxuyang1234@163.com

Correspondence to:
Wang Xiao-dong,
Chief physician,
Department of
Thoracic Surgery,
First Hospital of
Liaoning Medical
University, Jinzhou
121001, Liaoning
Province, China

Received: 2010-01-16
Accepted: 2010-02-10

辽宁医学院附属
第一医院胸外科,
辽宁省锦州市
121001

肖旭阳★, 男,
1979年生, 辽宁
省大连市人, 汉
族, 2003年辽宁
医学院毕业, 硕
士, 住院医师, 主
要从事肺癌的个
体化治疗研究。
xiaoxuyang1234
@163.com

通讯作者: 王晓东, 主任医师, 辽宁医学院附属第一医院胸外科, 辽宁省锦州市 121001

中图分类号: R318
文献标识码: B
文章编号: 1673-8225
(2010)26-04878-04

收稿日期: 2010-01-16
修回日期: 2010-02-10
(20100607023/WL-A)

Abstract

OBJECTIVE: To discuss application of pedicle screws in thoracolumbar fractures internal fixation and evaluate the biocompatibility.

METHODS: A computer-based online search of PubMed database (1989/2009) and CNKI (1989/2009) was performed with key words "pedicle screws, thoracolumbar, fractures, biocompatibility" in English and Chinese. A total of 57 articles were collected, and 31 were included according to inclusion and exclusion criteria.

RESULTS: Posterior pedicle screw internal fixation system is an effective tool for thoracolumbar fractures. However, the screw breakage frequently occurs. Pedicle screw internal fixation in combination with autologous bone or artificial materials in cavity of lesioned vertebra effectively reduces implant loosening, breakage, but the cost is high. Full bone implants in internal fixation and withdrawal following fracture healing can effectively prevent spinal fixator breakage. Pedicle screws of stainless steel have great intensity, but poor histocompatibility. The biocompatibility of titanium materials for internal fixation is good, but their rigidity is small.

CONCLUSION: Pedicle screw internal fixation system is an effective method for thoracolumbar fractures. The biocompatibility of various pedicle screws requires improvement. For example, the biocompatibility of titanium materials for internal fixation is good, but their rigidity is poor, while the stainless steel has great intensity, but poor histocompatibility.

Xiao XY, Wang XD, Zang DY. Application and biocompatibility of pedicle screws in thoracolumbar fracture internal fixation. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu yu Linchuang Kangfu. 2010;14(26):4878-4881.
[http://www.crter.cn http://en.zgckf.com]

摘要

目的: 阐述椎弓根螺钉在胸腰椎骨折内固定治疗中的应用进展, 并评价其生物相容性。

方法: 第一作者应用计算机检索 PubMed(1989/2009)数据库, 检索关键词 "Pedicle screws, thoracolumbar, fractures, biocompatibility", 限定语言种类为 English; 同时检索 CNKI(1989/2009)数据库, 检索关键词 "椎弓根螺钉, 胸腰椎, 骨折, 生物相容性", 限定语言种类为中文。共检索到 57 篇文章, 按纳入和排除标准对文献进行筛选, 最终纳入 31 篇文章。
结果: 后路椎弓根螺钉内固定系统是治疗胸腰椎骨折的有效方法, 但内固定后易发生椎弓根螺钉断裂。联合椎弓根螺钉系统和向伤椎空腔内置入自体骨或人工材料, 可以有效减少置入物的松动、断裂等并发症, 但价格昂贵。内固定时充分植骨, 骨折愈合后适时取出置入物能有效的防止脊柱内固定器的断裂。不锈钢材料的椎弓根螺钉强度较大, 但组织相容性差。钛类内固定材料的生物相容性较好, 但其刚度较小, 容易断裂。

结论: 椎弓根螺钉内固定系统是治疗胸腰椎骨折的最有效手段。各种椎弓根螺钉的生物相容性均有待提高, 钛类椎弓根螺钉组织相容性较好, 其刚度需要提高, 不锈钢材料椎弓根螺钉刚度较好, 但其生物相容性较差。

关键词: 椎弓根螺钉; 胸腰椎骨折; 断裂; 内固定; 生物相容性

doi:10.3969/j.issn.1673-8225.2010.26.032

肖旭阳, 王晓东, 藏东玉. 椎弓根螺钉在胸腰椎骨折置入内固定治疗中的应用及其生物相容性[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2010, 14(26):4878-4881. [http://www.crter.org http://cn.zgckf.com]

0 引言

胸腰椎骨折是临床常见的脊柱损伤。椎弓根螺钉是脊柱外科发展史上的重要里程碑, 它是脊柱生物力学研究的产物, 已被广泛应用于颈椎、上胸椎、胸腰椎及腰椎骨折、肿瘤、畸形及退行性疾病的治疗。

椎弓根螺钉内固定系统能有效重建椎体高度, 恢复生理曲度, 并解除脊髓神经的压迫和恢复受损椎管的管径, 重建脊柱的稳定性, 纠正后凸畸形, 目前已经成为胸腰椎骨折的经典

治疗方法^[1-5]。但内固定治疗后, 椎弓根螺钉易发生断裂^[2-6]。目前关于内固定后椎弓根螺钉断裂的相关因素分析较多, 但关于椎弓根螺钉生物相容性的研究较少。因此, 如何选择合适的椎弓根螺钉系统, 预防椎弓根螺钉断裂成为目前的研究热点。

1 资料和方法

纳入标准: ①具有原创性, 论点论据可靠的椎弓根螺钉的治疗进展类文章。②观点明确, 分析全面的椎弓根螺钉临床应用类文章。③文

献主题内容与椎弓根螺钉的治疗研究进展及生物相容性联系紧密的文章。

排除标准: ①Meta 分析。②非椎弓根螺钉治疗类文章。③动物实验类基础研究。④重复性研究。

资料提取策略: 第一作者应用计算机检索 PubMed 数据库(<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/PubMed>), 检索关键词“Pedicule screws, thoracolumbar, fractures, biocompatibility”, 限定语言种类为 English; 同时检索 CNKI 数据库(www.cnki.net/index.htm), 检索关键词“椎弓根螺钉, 胸腰椎, 骨折, 生物相容性”, 限定语言种类为中文。

检索结果及评价: 计算机初检到 57 篇文献, 按纳入及排除标准筛选后, 共纳入 31 篇文章。其中椎弓根螺钉的研究背景类文章 6 篇^[1-6]; 椎弓根螺钉治疗进展及生物力学特性类文章 8 篇^[7-14]; 椎弓根螺钉断裂防治类文章 17 篇^[15-31]; 以此为依据对椎弓根螺钉的临床应用进展, 生物力学性能, 生物相容性和如何预防椎弓根螺钉断裂等方面进行归纳和总结。

2 结果

2.1 椎弓根螺钉的生物力学特性及临床应用进展

椎弓根螺钉的生物力学特性: Dick 是最早使用的器械, 其钉棒结合部的万向节具有充分的灵活性, 内固定时矫正 Cobb 角时操作简单, 且复位效果明显, 但其万向节咬合牢固性差, 内固定后可出现后凸矫正丢失, 该器械螺帽较多, 内固定操作较复杂。Steffee 钢板的螺孔为开槽式, 能适应不同的椎弓根间距, 采用双弧面螺帽对合连接钢板螺钉, 可增加结合强度, 内固定时根据情况将钢板预弯成一定弧度, 可有效恢复脊柱的生理前凸。但该装置无纵向撑开力。RF 装置的复位原理是先恢复椎体后部(中柱)高度, 再凭借手工靠拢螺钉尾产生生理前凸, 精确度与力量均欠缺, 最后再提供轴向撑开力。AF 装置凭借螺杆两端钉孔预制的倾斜角(6°和 12°)和半球形面的自锁螺帽, 当拧紧螺帽时即迫使椎弓根螺钉分别向近、远端扇形张开至 3°或 6°, 从而带动固定节段的脊柱精确地恢复并固定在 6°或 12°的生理前凸。最后调节螺杆中部的正反螺纹角度螺栓, 以提供均匀恒定的沿生理前凸轴向的撑开力, 达到生理前凸和伤椎前中柱高度同步恢复^[6]。

椎弓根螺钉的轴向拔出力受许多因素影响, 主要包括: 螺钉的自身结构、骨密度及置钉方法。螺钉的直径、长度、杆形等因素均会影响螺钉轴向拔出力。单纯增加螺钉长度不能明显增加固定强度, 但如同时增加直径和长度, 则两者会发生协同作用增加固定强度。骨矿含量将在很大程度上影响椎弓根螺钉的轴向拔出负荷。

随着科学技术的不断发展及对椎弓根螺钉生物力

学性质认识的不断深入, 符合脊柱力学特性的“特殊”椎弓根螺钉也随之出现, 如万向椎弓根螺钉, 因其在螺钉杆与螺钉冠之间加入了一个半弧形的耦联装置, 使螺钉冠能够在任意方向上做一定角度的旋转, 并由此形成了完整的多功能 Moss-Miami 系统。

Stanford 等^[13]研究万向椎弓根螺钉的生物力学发现: ①万向螺钉的抗屈曲强度稍低于普通螺钉。②万向螺钉的设计可以满足在压力载荷下的屈曲要求。③万向螺钉的耦联装置为整个装置中最为薄弱的部位, 但这一缺点可以通过使耦联装置表面更为光滑及加厚耦联装置的材质来解决^[14]。

椎弓根螺钉的临床应用进展: 椎弓根螺钉固定是一种重要的脊柱稳定技术^[1-6]。Roy-Camille 等^[7]于 1983 年首次应用此技术治疗胸腰椎骨折并取得了成功。几十年来, 随着脊柱外科技术和生物力学的不断发展, 极大地促进了椎弓根螺钉内固定技术的广泛应用, 出现了许多新的椎弓根螺钉内固定系统。椎弓根螺钉内固定系统由于具有牢固的三维固定效果、良好的生物力学稳定性以及较好的复位和矫正畸形作用, 被广泛用于脊柱外科, 如骨折、退行性变及后凸畸形矫形等治疗, 推动了脊柱外科的发展。采用传统椎弓根螺钉内固定治疗胸腰椎骨折, 组织创伤大、并发症多、住院时间长、费用高。近年来出现了经皮内固定技术, Magerl^[8]于 1982 年使用外固定器经皮椎弓根固定治疗腰椎骨折; Mathews 等^[9]于 1995 年报道使用板置于皮下作为纵向连接器; Lowery 等^[10]于 2000 年介绍了使用棒的同类技术; 池永龙等^[11]于 2002 年报道采用自行设计的“池氏钉”使用带角度螺钉, 皮下肌肉隧道穿棒的经皮技术取得了满意的疗效。

2.2 评价椎弓根螺钉稳定性的生物力学测试方法 关于评价椎弓根螺钉稳定性的生物力学测试方法, 轴向拔出试验常被大多数学者所采用。在这种试验中, 其 F-max 主要取决于螺钉和周围骨组织的剪切应力, 可以较好地反应螺钉的初始稳定性。虽然轴向拔出试验是生物力学的经典试验, 但椎弓根螺钉在体内的受力并不全是沿其长轴方向的, 螺钉还受到横向屈曲力矩和旋转应力的影响, 螺钉拔出和松动是横向负荷和轴向拔出力综合作用的结果。其中的横向屈曲力矩作用在椎弓根螺钉头部, 以形态学上最狭小的椎弓根基底部为支点, 使螺钉作为杠杆在椎体和椎弓根内压迫松质骨形成微小的蝶形间隙, 可导致螺钉微动以致失稳, 这种被 Zindrick 等称之为“teeter-totter”的机制在椎弓根螺钉松动过程中起了很重要的作用。

2.3 椎弓根螺钉断裂的相关因素及如何预防椎弓根螺钉断裂

椎弓根螺钉断裂的相关因素包括以下几方面:

骨折部位未行一期植骨融合或植骨未达到标准: 脊

柱骨折内固定复位可以为病椎的恢复提供良好的空间,但这种骨折复位和固定是暂时的,如果未做有效的植骨或植骨失败,就会使椎弓根系统本身所受应力过于集中而发生断钉或松动脱出。所以内固定目的是首先要达到机械力学上的固定,从而得到生物力学上的固定,骨折愈合后再达到永久的生物学上的固定。一些患者脊柱前、中、后柱已有破坏,内固定时并未进行植骨,因此虽然通过内固定器械达到了即时的稳定性,但是难以达到生物学意义上的稳定,这是置入物发生断裂松动的主要原因^[15-18]。

内固定器械本身设计缺陷:椎弓根螺钉断裂主要发生在钉尾与钉杆交界部位,椎弓根部位螺钉的螺纹直径相对较细,强度较差,所以内固定后承受压力过程中容易折断。这种螺钉设计方面的缺陷也是出现断钉的原因之一。椎弓根的松动与螺钉直径、长度、螺钉结构、椎体骨密度、植钉位置、内固定后承载负荷等因素有关,最关键的是取决于内固定器械-骨界面强度^[12-14]。内固定可恢复脊柱的生物力学结构,保持椎管的容量,最大限度地保护脊髓和神经的功能。但是由于应力遮蔽的作用,身体大部分的载荷都通过置入物传导,出现金属疲劳,脊柱置入物发生断裂。因此,螺钉在生产工艺和设计方面应加以改进,加强此处的刚度。

起撑开复位作用的螺钉负荷过大:用椎弓根螺钉固定脊椎骨折,最大的优点是既能起到固定作用又能起到复位作用。对大部分脊椎爆裂骨折,通过脊柱过伸或器械撑开使椎管内和椎体前缘的骨折块复位或部分复位,在一定程度上缓解对神经根和脊髓的压迫。椎弓根螺钉内固定系统的复位作用是利用脊柱的前、后纵韧带和椎间盘纤维环的牵拉作用,使椎体前缘的骨块和向椎管内突出的骨块复位或部分复位,并使塌陷的椎体复位,恢复椎体原有的外形。此时要靠起撑开复位作用的椎弓根螺钉内固定系统来维持复位后的椎体。由于脊柱的前纵韧带和椎间盘前侧纤维环处于紧张状态,椎体间的间隙变宽,故脊柱上力的传导不通过患椎,而直接从患椎的上位椎体经过椎弓根螺钉内固定系统传至患椎下位椎体,即身体负重时向下传导的力全部加载到椎弓根内固定系统上,而椎弓根螺钉上受力最大。

螺钉位置不当或术中多次进钉:钉向上或向下角度太大使钉尖穿出终板,位置不良,不能使螺钉达到最佳把持力度,在相同应力作用下较位置正常的螺钉容易断裂或松动。术中反复修正螺钉位置,多次进钉,这必然导致钉道的扩大松动以及骨质的丢失。破坏了钉骨界面的稳定性,致使术后椎弓根螺钉的松动和脱出。术前应根据X射线平片分析椎弓根与横突、关节突、椎板及棘突等标志之间的相对位置关系。指导和调整术中定位,术者务必准确定位,确保一次进钉成功。如必须多次进钉时应适当换用直径和/或长度较大一些的螺钉,或钉道

中植入骨条或骨质以期降低松动和脱出的发生率^[15-19]。

手术操作失误:准确置入椎弓根螺钉是减少断钉的关键。椎弓根螺钉两侧进钉角度不对称、进钉深度不一致、两侧撑开力度不均、固定螺帽未旋紧等均可导致两侧椎弓根螺钉所受应力不一致,完全改变了器械设计时的应力分布与强度,造成临床上的复位不良或复位丢失,机械力学上的断钉。术中过度撑开是导致椎弓根螺钉断裂的主要原因之一。脊柱过伸复位可使骨折椎体的高度获得约80%的恢复,通过椎弓根螺钉系统的适度撑开,既可恢复椎体的高度,又可利用脊柱前后纵韧带和椎间盘纤维环的牵拉作用使椎管内和椎体前缘的骨块复位,解除神经的压迫,恢复椎管的容积。此时脊柱上的应力都由内固定物遮挡,载荷主要经椎弓根内固定系统向下传导,而椎弓根螺钉受力最大,过度撑开可使伤椎相邻间隙增大,椎弓根螺钉负荷过大,断钉的概率增加。

内置物留置体内时间过长:金属置入物由于其组织相容性、金属腐蚀、应力集中、金属疲劳以及应力遮挡等因素的存在,一旦置入物在体内时间过长,断裂及松动将很有可能发生。适时取出内固定可以预防内固定疲劳断裂。Dick研究认为内固定后8~12个月取出置入物最佳。一些患者从内固定治疗后到发现置入物断裂的时间为1.2~3.3年,因为取出延迟导致金属疲劳而断裂。因此,对于应取出的置入物应在其抗疲劳期内适时取出^[17-22]。

术后未配带支具或配带支具时间过短:术后常规佩带支具可以限制脊柱的前屈及旋转,一定程度上避免了椎弓根螺钉的应力增加,为植骨融合创造了条件,一般认为术后常规佩带支具3个月是必要的。弯腰时应力传导轴前移至前柱,使椎弓根螺钉承载量增大,应力增加,断钉可能性增大。

如何预防椎弓根螺钉断裂:由于置入物的断裂及松动可能引起极其严重的后果,因此采取适当的措施来进行预防其发生就显得尤为重要。主要可以从以下几个方面着手:

加强医患沟通:内固定前要与患者及家属进行充分的沟通,指出任何内固定治疗后都有发生置入物断裂的可能性,在患者内固定后向其交代治疗方案,如指导患者循序渐进的进行功能锻炼,适当的进行外固定,限制过多、剧烈活动,定期拍片复查,判断骨折稳定性的恢复情况,在骨的结构和机械性完全恢复后,适时取出内固定材料,要督促患者在治疗上遵医嘱严格执行。一旦发生置入物断裂或松动,应认真探讨其原因,取得患者及其家属理解后制定相应的后继疗法,如进行非外科疗法或必要时的翻修治疗^[31]。

加强骨折的机械稳定性和生物学稳定性:要培养全面思考的思维模式,不仅要从骨折的机械稳定性来考虑问题还要从生物学稳定来加以考虑,同时还要针对患者

情况来选择合适的内固定方式和材料。因此,治疗时推荐一期植骨。临床上骨折患者具体情况各不相同,治疗方案也不同,骨科医生需要掌握治疗原则,而不应只考虑具体方法。

不同材料椎弓根螺钉的生物相容性:不锈钢材料螺钉刚度大,生物相容性、生物弹性模度与人体存在较大差异;而钛类材料螺钉的生物相容性与生物弹性模量与人体较接近,但是其刚度不高,因此要根据患者的情况来选择合适的内固定材料。从很多以往的病例资料中可以看出,螺钉的螺纹起点处以及钢板的钉板连接处、成角处是断裂较容易发生的部位,这需要在设计上进行改良,在这些应力集中的部位加强内固定材料的强度,即可提高椎弓根螺钉的疗效和生物相容性。

3 讨论

椎弓根螺钉系统是临床治疗胸腰椎压缩性骨折的最有效手段。椎弓根螺钉置入后较易发生断裂,是胸腰椎骨折内固定治疗后的严重并发症之一,在治疗前应对病情充分的评估,选择正确的内固定方式和合适的内固定器械;内固定时规范操作,一期充分植骨;内固定后应限制过早过剧活动,防止低毒感染等对防止脊柱骨折置入物的断裂有着重要的作用。不锈钢材料的椎弓根螺钉强度较大,但生物相容性差。钛类材料的椎弓根螺钉的生物相容性较好,但其刚度不大,容易断裂,这需从螺钉的生产工艺和设计上进一步改进。

4 参考文献

- [1] 池永龙,徐华梓,林焱,等.微创经皮椎弓根螺钉内固定治疗胸腰椎骨折的初步探讨[J].中华外科杂志,2004,42(21):1307-1311.
- [2] 王建,周跃,初同伟,等.经皮椎弓根螺钉固定治疗无神经损伤胸腰椎骨折[J].中华创伤杂志,2009,25(3):223-226.
- [3] 贺强龙,邹远航.骨水泥强化椎弓根螺钉治疗胸腰椎骨折[J].实用骨科杂志,2007,13(6):326-327.
- [4] 陈红卫,许关富,楼舒畅,等.后路椎弓根螺钉内固定结合椎体成形治疗胸腰椎骨折[J].临床骨科杂志,2006,9(1):39-41.
- [5] 陈红卫,赵钢生,肖嵩华,等.椎弓根螺钉内固定结合椎体成形治疗新鲜胸腰椎骨折[J].中国脊柱脊髓杂志,2004,14(5):315-316.
- [6] 李琦,杨惠林.椎弓根螺钉生物力学研究新进展[J].国外医学:骨科学分册,2003,24(5):292-294.
- [7] Roy-Camille R, Saillant G, Mamoudy P, et al. Biopsy of the vertebral body using a posterior transpedicular approach. Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot. 1983;69(2):147-149.
- [8] Magerl F. External skeletal fixation of the lower thoracic and the lumbar spine. In:Unthoff HK, Stahl E, eds. Current concepts of external fixation of fractures. New York:Spring Verlag. 1982:353-366.
- [9] Mathews HH, Long BH. Endoscopy assisted percutaneous anterior interbody fusion with subcutaneous suprafascial internal fixation: evolution for technique and surgical considerations. Orthop Int Ed. 1995:456-500.
- [10] Lowery GL, Kulkarni SS. Posterior percutaneous spine instrumentation. Eur Spine J. 2000;9(Suppl 1):126-130.
- [11] 何建军,周前,赵吉鹏,等.经皮椎弓根螺钉固定治疗胸腰椎骨折[J].中国中医骨伤科杂志,2006,14(3):50-51.
- [12] Barber JW, Boden SD, Ganey T, et al. Biomechanical study of lumbar pedicle screws: does convergence affect axial pullout strength? J Spinal Disord. 1998;11(3):215-220.
- [13] Stanford RE, Loeffler AH, Stanford PM, et al. Multiaxial pedicle screw designs: static and dynamic mechanical testing. Spine (Phila Pa 1976). 2004;29(4):367-375.
- [14] 白印伟,张琪,刘一.万向椎弓根螺钉生物力学性能的研究进展[J].吉林医学,2006,27(11):1301-1302.
- [15] 慈元,敖强,宋秀峰,等.胸腰椎骨折术后植入体断裂的相关因素分析[J].中国组织工程研究与临床康复,2007,11(16):3164-3165.
- [16] 王勤业,罗亚平,冯复莺,等.四种椎弓根螺钉固定系统治疗胸腰椎骨折脱位[J].实用骨科杂志,2006,12(6):481-483.
- [17] 厉强,贺西京,王斌,等.胸腰椎骨折内固定术后椎弓根螺钉断裂的原因分析及对策[J].中国脊柱脊髓杂志,2007,17(6):430-432.
- [18] 黄平,王丹,蒋欣浩,等.胸腰椎骨折椎弓根螺钉内固定失败的原因分析[J].中国脊柱脊髓杂志,2008,18(10):799-800.
- [19] 徐兆万,王炳武,隋国侠,等.胸腰椎骨折椎弓根内固定断裂与植骨融合方式的相关性分析[J].中国矫形外科杂志,2007,15(4):299-300.
- [20] 吕夫新,黄勇,张强,等.胸腰椎骨折椎弓根内固定生物力学研究与临床应用[J].脊柱外科杂志,2008,6(4):229-234.
- [21] 许健华,顾小华.胸腰段损伤椎弓根螺钉折断原因分析和对策[J].实用骨科杂志,2006,12(3):193-194.
- [22] 吴晓光,林野,朱庆三,等.胸腰椎骨折经椎弓根内固定术后螺钉断裂及松动原因探讨[J].吉林医学,2006,27(12):1456-1458.
- [23] 曾昭池.胸腰椎骨折术后椎弓根螺钉弯曲松动及断裂的原因分析及对策[J].医学临床研究,2008,25(3):484-486.
- [24] 邹和鲜,吴凯,罗伯英.胸腰椎骨折术后椎弓根螺钉断裂弯曲原因分析[J].江西医学院学报,2003,43(3):18-19.
- [25] 刘好源,吴培增,童星杰.椎弓根螺钉内固定技术失误及并发症[J].中国矫形外科杂志,2001,8(7):710-711.
- [26] 徐兆万,庄青山,王炳武.终板法椎体植钉单节段内固定治疗不完全胸腰椎骨折的生物力学研究及临床应用[J].中华外科杂志,2009,47(3):194-196.
- [27] 李铁锋,左文建,欧阳冰,等.椎弓根钉复位内固定结合可注射复合人工骨修复胸腰椎骨折的稳定性[J].中国组织工程研究与临床康复,2008,12(22):4221-4225.
- [28] 钟玉平,周新林,吴文元.胸腰椎骨折术后RF与AF螺钉松动断裂原因分析[J].浙江创伤外科,2001,6(2):118.
- [29] 明江华,贾芝和,周建林,等.脊柱疾患术后内固定断裂及松动的原因与对策[J].中国误诊学杂志,2008,8(12):2782-2784.
- [30] 张贵林,荣国威.脊柱胸腰段骨折术后椎弓根螺钉断裂及弯曲松动的原因分析[J].中华骨科杂志,2000,20(8):470-472.
- [31] Xu XX, Jin A, Liu Y, et al. New Concepts and advances of immobilization of long bones. Chin Med J (Engl). 1998;111(2):174-179.