

DOI:10.16781/j.0258-879x.2016.07.0879

• 技术方法 •

应用皮质骨轨迹螺钉联合椎弓根螺钉内固定技术治疗老年骨质疏松腰椎退变性疾病的临床疗效

席焱海, 王 洋, 余将明, 刘希麟, 谢 宁, 叶晓健*

第二军医大学长征医院脊柱外科, 上海 200003

[摘要] **目的** 观察在腰椎后路减压植骨内固定术治疗老年骨质疏松腰椎退变性疾病中应用皮质骨轨迹(CBT)螺钉联合椎弓根螺钉技术进行内固定操作的临床疗效。**方法** 选择2014年2月至2015年4月在第二军医大学长征医院经保守治疗无效的骨质疏松腰椎退变性疾病患者32例进行腰椎后路减压植骨内固定术治疗,其中20例采用单纯椎弓根螺钉内固定方式(A组),12例采用CBT螺钉联合椎弓根螺钉内固定(B组)。观察两组患者术后恢复情况、手术时间、术中出血量和手术前后VAS评分、JOA评分等。**结果** 所有患者症状均得到改善,术后JOA评分较术前提前提高,VAS评分降低。两组的手术时间、出血量、JOA评分和VAS评分差异均无统计学意义($P>0.05$)。A组中有2例患者术中一侧因骨质疏松明显,椎弓根螺钉置入后把持力不足并出现钉道切割导致置钉失败,仅行对侧固定,其余患者置钉顺利。B组患者手术置钉过程未出现螺钉把持力不佳、置钉失败、皮质骨钉道骨折断裂等情况,所有患者均未出现置钉引起的血管、神经损伤。全部32例患者术后影像学随访未见螺钉松动、脱落、塌陷等,螺钉、连接棒、融合器均在位,位置佳。所有病例无不良事件产生。**结论** 应用CBT螺钉联合椎弓根螺钉技术进行腰椎内固定治疗老年骨质疏松腰椎退变性疾病具有肌肉和软组织损伤小、螺钉把持力强等优势,早期疗效满意。

[关键词] 皮质骨轨迹;骨质疏松;脊柱融合术;腰椎退变**[中图分类号]** R 681.533**[文献标志码]** A**[文章编号]** 0258-879X(2016)07-0879-05

Curative effect of cortical bone trajectory screw combined with pedicle screw in internal fixation for senile osteoporosis lumbar degenerative disease

XI Yan-hai, WANG Yang, YU Jiang-ming, LIU Xi-lin, XIE Ning, YE Xiao-jian*

Department of Orthopaedics, Changzheng Hospital, Second Military Medical University, Shanghai 200003, China

[Abstract] **Objective** To evaluate the curative effect of cortical bone trajectory (CBT) screw in combination with pedicle screw in lumbar posterior decompression, bone graft and internal fixation for the treatment of osteoporosis lumbar degenerative diseases. **Methods** From February 2014 to April 2015, 32 patients with osteoporosis lumbar degenerative diseases underwent posterior decompression, bone graft and internal fixation after invalid conservative treatment. Internal fixation was performed by pedicle screws in 20 patients (A group) and by CBT screws combined with pedicle screws in 12 patients (B group). The recovery, operation time, intraoperative blood loss and VAS scores before and after operation, and JOA score were recorded in the two groups. **Results** The symptoms were improved in all the 32 patients. After surgery, JOA scores were significantly increased and VAS scores were significantly decreased. There were no significant differences in terms of operation time, blood loss, JOA score or VAS score between the two groups ($P>0.05$). In A group, one side pedicle screw placement failed due to osteoporosis in 2 cases and unilateral fixation was subsequently carried out. No poor screw holding force, nailing failure, or fracture breakage appeared in B group. No vascular or nerve damage caused by nailing was found in B group. The postoperative radiographic follow-up showed no screw loosening, fall-off or collapse; and the screw, connector, and fusion cage were all at the right position. There were no any adverse events in the two groups. **Conclusion** CBT screws in combination with pedicle screws in lumbar internal fixation have the advantage of less muscle and soft tissue injuries, strong screw holding force, and satisfied early curative effect in treating senile osteoporosis lumbar degenerative diseases.

[收稿日期] 2015-09-17 **[接受日期]** 2015-12-07**[基金项目]** 上海市市级医院新兴前沿技术联合攻关项目(SHDC12013108). Supported by the Municipal Hospital's Project for Emerging and Frontier Technology of Shanghai (SHDC12013108).**[作者简介]** 席焱海, 博士生, 副主任医师. E-mail: xiyanhai@126.com

* 通信作者 (Corresponding author). Tel: 021-81885624, E-mail: yexj2002@163.com

[Key words] cortical bone trajectory; osteoporosis; spinal fusion; lumbar degenerative

[Acad J Sec Mil Med Univ, 2016, 37(7): 879-883]

腰椎后路减压椎弓根螺钉内固定植骨融合术是手术治疗腰椎退变性疾病确实有效的方法,然而针对骨质疏松型腰椎退变性疾病患者在手术中常存在椎弓根螺钉把持力不足的问题,易发生固定不牢靠、螺钉拔出,甚至螺钉切割骨质导致椎弓根骨折断裂等风险^[1],因此如何增加螺钉的把持力成为研究热点。Santoni等^[2]提出一种新型置钉方式——皮质骨轨迹(cortical bone trajectory, CBT)置钉,将螺钉以矢状位由尾端向头端、轴位由中向侧的方向置入椎弓根,增加螺钉与椎弓根内皮质骨的接触面积,且该钉道内骨小梁密度较传统椎弓根置钉轨迹更大,从而加强螺钉对骨性结构的把持力。CBT螺钉技术进针点偏内侧,在暴露切口过程中可以避免对关节突外侧过度剥离,从而减少术中出血,缩短手术时间,实现一定程度上的微创。然而,很多患者在部分节段存在解剖变异而无法确定 CBT 螺钉进钉点,或扩大减压致进钉点破坏而无法实现 CBT 螺钉置钉等问题,但此类患者仍然可以采用传统的椎弓根螺钉技术进行内固定。同时,两种置钉方式在术中可相互补充,一旦一种置钉方式失败,可采取另一种。本研究应用 CBT 螺钉联合椎弓根螺钉内固定技术治疗老年骨质疏松腰椎退变且需要手术的患者,在一定程度上增加螺钉的把持力,加强腰椎在实现骨性融合前的稳定性,同时减小手术暴露过程中对患者的损伤,取得满意疗效。

1 资料和方法

1.1 研究对象 第二军医大学长征医院自 2014 年 2 月至 2015 年 4 月收治骨质疏松腰椎退变性疾病患者 32 例,男 13 例、女 19 例;年龄 52~76 岁,平均(63.4±6.1)岁。纳入标准:(1)有不同程度的腰痛,或伴有下肢放射痛或间歇性跛行,严重影响日常生活和工作;(2)经过系统保守治疗无效,时间>3 个月;(3)术前经过详细的病史采集、体格检查、骨密度检查、X 线片检查、CT 扫描和 MRI 检查,并经 2 位副高以上职称医师讨论、明确诊断为需要手术治疗的骨质疏松腰椎退变性疾病患者,需要手术节段<3 节。排除标准:(1)术前资料不全或术后失访;(2)同时伴有外伤、肿瘤、感染等其他致病因素;(3)患有手术禁忌证的系统疾病。所有患者均行腰椎后路减压植骨内固定术,并分为 A 组(20 例,内固定方式使用椎弓根螺钉技术)和 B 组(12 例,其中 5 例 2 节段受累、7 例单节段受累,内固定方式应用 CBT 螺钉联

合椎弓根螺钉技术)。具体应用方式根据患者病情、术中情况灵活选择。

1.2 手术方法 全麻后,患者取俯卧位卧于双“U”型垫或八字垫,腹部隔空。手术节段定位准确后,常规手术消毒、铺单。行腰椎后路手术节段正中切口,切开后逐层暴露至棘突,骨膜下剥离棘突两侧椎旁肌群,根据术前制定方案以及术中实际情况选择采用传统椎弓根螺钉置入或 CBT 螺钉置入技术。椎弓根螺钉技术需要显露至关节突外侧缘及与横突交界的“人”字嵴结构,而 CBT 螺钉技术置钉节段仅需显露椎板外侧及关节突内侧缘结构,显露完毕后先对责任节段实施椎板切除、根管扩大减压及椎间融合术[腰椎后路椎体间融合(PLIF)或经椎间孔椎体间融合(TLIF)],再进行腰椎内固定术。

(1)腰椎椎弓根螺钉置钉方式。以“人”字嵴顶点为进钉点,根据不同节段,冠状位由外向内倾 5°~15°(与椎弓根方向一致),矢状位头倾 0°~30°(与终板方向平行),螺钉直径 6.0~7.0 mm,螺钉长度为螺纹尖端需过椎体中线,不出椎体。(2)CBT 螺钉置钉方式。以上关节突内下缘向下、内各 2 mm 处椎板为进钉点,进钉以磨钻开槽,进钉方向冠状位由内向外倾 5°~15°,矢状位尾倾 30°~-10°,螺钉直径 3.5~5.0 mm,螺钉长度为螺钉前端通过椎弓根即可。C 形臂 X 线机透视确认螺钉位置良好后,选择合适长度的钛棒并预弯,置入预弯棒,螺帽固定。根据螺钉置入牢固情况可选择是否加用横连接装置以增强内固定强度。冲洗创面、止血,明胶海绵覆盖硬脊膜,置有效负压引流装置。逐层缝合至皮肤。术毕。

A 组患者内固定方式均使用椎弓根螺钉技术。B 组患者选择 CBT 螺钉联合椎弓根螺钉技术,根据术前方案和术中情况,最终内固定实施情况为:5 例 2 节段受累中有 4 例行一侧 CBT、一侧传统椎弓根螺钉,1 例行 L₄、L₅ 双侧 CBT、S₁ 双侧传统椎弓根螺钉;7 例单节段受累中有 6 例行一侧 CBT、一侧传统椎弓根螺钉,1 例行 L₄ 双侧 CBT、L₅ 双侧传统椎弓根螺钉。

1.3 术后处理 术后 3 d 内严密观察患者生命体征和肢体运动及感觉变化情况。常规使用抗炎、激素、脱水药物 3~5 d。术后 48 h 内拔出负压引流管。术后 7 d 嘱患者进行腰背肌锻炼及腰围保护下的下地活动,并逐步加大活动量,至术后 3 个月可恢复正常活动。同时术后加强抗骨质疏松治疗。

1.4 术后观察及评价方法 术后随访 6~15 个月,

平均(11.2±2.3)个月。收集并分析以下数据:(1)记录围手术期相关变量,如手术时间、术中出血量、术后有无相关并发症等。(2)观察并记录临床症状、体征及神经功能恢复情况,参照日本矫形科学学会(JOA,1986)腰椎功能评分表对术前、术后3个月和6个月腰痛及神经功能进行评估并计算其改善率,使用目测类比评分法(VAS)评估患者疼痛变化。(3)术后即刻、3个月及末次随访时拍摄腰椎正侧位片,术后即刻及末次随访拍摄腰椎CT,了解内固定物有无松动、脱落、断裂、移位、椎间隙高度丢失等情况。

1.5 统计学处理 应用SPSS 16.0软件进行统计学处理,手术时间、出血量、JOA评分和VAS评分等计量资料以 $\bar{x}\pm s$ 表示,两组间比较采用 t 检验。检验水准(α)为0.05。

2 结果

32例患者均接受了腰椎后路减压植骨融合内固定手术,术后患者症状均得到不同程度的改善。A组手术时间1.5~3.5 h,平均(1.75±0.41)h。出血量:单节段平均(211.67±37.13)mL,2节段平均(263.75±21.33)mL。患者术前JOA评分为5~17分,平均(11.90±3.14)分;术后JOA评分为19~26分,平均(23.85±1.95)分,改善率平均为(69.09±13.14)%。患者术前VAS评分平均为

(4.95±1.35)分,术后平均为(1.80±0.69)分。有2例患者手术中单侧S₁椎弓根螺钉因骨质疏松明显,椎弓根螺钉置入后把持力不足并出现钉道切割导致置入失败,遂该侧未进行固定,仅行对侧固定。6例患者在术中椎弓根螺钉置入后明显感觉螺钉把持力不足,但未出现螺钉拔出、切割等不良事件。以上8例患者嘱术后延长卧床时间至6周,加强功能锻炼及抗骨质疏松治疗。随访1年时8例患者内固定位置均在位,无螺钉松动、断裂及椎间隙塌陷等不良事件产生。

B组手术时间1.5~3.0 h,平均(1.62±1.63)h。出血量:单节段平均(196.67±13.81)mL,2节段平均(254.00±25.82)mL。患者术前JOA评分为6~17分,平均(11.25±3.22)分;术后JOA评分为20~27分,平均(23.83±3.22)分,改善率平均为(71.11±10.20)%。患者术前VAS评分平均为(5.17±1.52)分,术后平均为(1.67±0.78)分。手术置钉过程未出现螺钉把持力不佳、置钉失败、皮质骨钉道骨折断裂等情况。12例患者共置入60枚螺钉,未出现置钉引起的血管、神经损伤。

32例患者术后影像学随访均未见螺钉松动、脱落、塌陷等,螺钉、连接棒、融合器均在位,位置佳。所有病例无不良事件产生。两组患者在手术时间、出血量、JOA评分和VAS评分间的差异均无统计学意义($P>0.05$)。典型病例的影像学资料见图1。

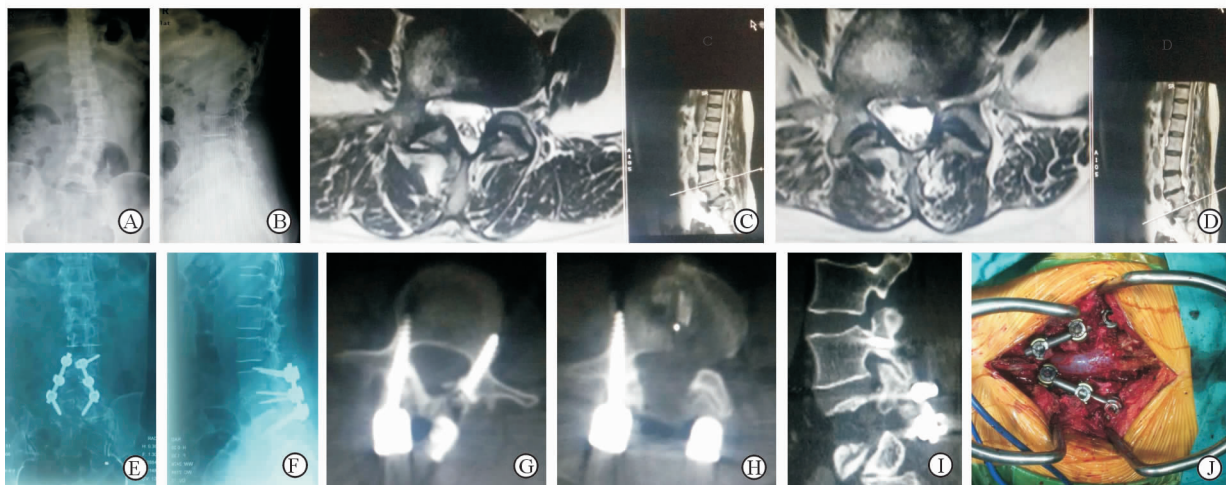


图1 典型病例的术前、术后影像学结果和术中置钉情况

Fig 1 Typical case of preoperative and postoperative radiographic results and intraoperative situation

A female patient with L_{4/5} and L₅/S₁ lumbar spinal stenosis, 61 years old. A, B: Preoperative X-ray radiography; C, D: Preoperative MRI; E, F: Postoperative X-ray radiography, bilateral CBT screw fixation at L₄ and L₅, bilateral pedicle screw fixation at S₁; G, H, I: Postoperative CT images, bilateral CBT screw fixation; J: Intraoperative nailing

3 讨论

螺钉在骨性结构中的把持力对于椎弓根螺钉置

钉手术成功起到关键性作用。Halvorson等^[3]发现正常骨质密度组平均轴向拔出力为(1 540±361)N,而骨质疏松组为(206±159)N。Okuyama等^[4]认为

骨密度每降低 10 mg/mL,螺钉最大拔出力减少约 60 N。这些研究都说明内固定轴向拔出力与椎体骨密度呈正相关。Kumano 等^[5]建议严重骨质疏松导致螺钉轴向拔出力在 100 N 以下的患者不要直接使用椎弓根螺钉固定,否则很容易导致螺钉松动脱出。因此对于迫切需要手术治疗的伴有严重骨质疏松的老年腰椎退变性疾病患者,如何加强内固定的把持力来配合减压和融合术是国内外学者的研究重点。

目前较为常用的增强把持力方法为增加螺钉与骨结构的接触面积,包括增加螺钉的直径、长度以及改变螺纹间距等^[6-7]。Brantley 等^[8]研究表明置钉深度为螺钉进钉点到椎弓根轴线与椎体前缘交点连线距离 80% 深度时,螺钉固定强度已足够,再增加深度对固定强度无明显作用。有学者建议螺钉置入后突破椎体前缘皮质骨实现双皮质固定增加稳定性,但这容易造成椎体前缘组织、血管神经损伤,出现相关并发症^[9]。Brantley 等^[8]同时还指出椎弓根螺钉直径占椎弓根横截面积的最佳比例是 70%~90%,能保证足够的固定强度,进一步增加螺钉直径并不能明显增加固定强度,反而容易使椎弓根爆裂骨折。因此,增加螺钉的直径、长度在实际操作过程中所起到的作用有限;同时,部分患者由于骨性结构的限制,无法增加螺钉的直径和长度。也有学者尝试利用骨水泥和磷酸钙骨水泥等辅助椎弓根螺钉置钉的方法增强固定强度。Choma 等^[10]对骨质疏松患者准备螺钉孔道后,用适量骨水泥填入孔道后再拧入螺钉固定,可以提高螺钉轴向拔出力,固定更牢靠稳定。然而这类方法会产生骨水泥外溢和栓塞等问题^[11]。以上这些方法都是基于传统的椎弓根置钉轨迹。Santoni 等^[2]首先提出椎弓根 CBT 螺钉的置钉方式,通过改变钉道方向使螺钉在椎弓根内最大化地接触皮质骨,从而增加螺钉的把持力。其实验结果显示 CBT 螺钉的轴向拔出力要比传统椎弓根螺钉高 30%,而在模拟人体在复杂运动条件下椎体受力的拨动测试中,两者的拔出力基本相同。CBT 技术下螺钉通过 4 个皮质骨的接触界面(进钉点背侧皮质骨、椎弓根后部的内侧壁、椎弓根前部的外侧壁以及椎体前侧壁)达到牢固的固定^[12-13]。Inceolu 等^[14]的体外实验也显示 CBT 螺钉的拔出力明显高于传统螺钉,而在疲劳测试中以 3 Hz 的频率施加 4 N·m 的力矩持续 5 000 转后,CBT 螺钉的拔出力仍明显高于传统螺钉,说明 CBT 技术的远期稳定性相对更佳。

研究表明在严重骨质疏松的患者中,松质骨的骨密度下降明显,而对皮质骨影响较小,Santoni

等^[2]通过 CT 扫描发现 CBT 螺钉周围被大量高密度的骨质包围,且拔出力的大小与松质骨的骨密度无显著相关性。而对于骨质疏松的老年患者,椎弓根皮质部分仍然具有足够的强度,使用 CBT 螺钉技术增加了和皮质骨的接触面,从而得到可靠的螺钉把持力。同时 CBT 螺钉技术和传统椎弓根螺钉置入技术相比,还具有置入过程更安全的优势。CBT 螺钉的置钉方向为头倾及外倾,避免损伤神经根、硬膜囊等重要组织;CBT 靠内的进钉点避免了广泛的肌肉剥离及组织切除,实现了损伤小、恢复快等微创理念。尤其对于过度肥胖及腰背肌肉发达的患者,外倾的进钉轨迹使置钉更方便;CBT 更靠内的进钉点避免了对内侧神经支(medial branch nerve, MBN)的损伤。MBN 起源于脊神经背侧支,走行通过关节突附近,传统椎弓根螺钉置入时需要剥离这一区域从而造成该神经的损伤^[13]。基于以上优势,在熟练掌握 CBT 螺钉置钉方法后,对老年患者可以明显减少手术时间和手术对软组织的剥离出血量,进而减少手术麻醉风险。

本组病例针对老年骨质疏松患者采用 CBT 螺钉置钉技术,以加强腰椎内固定的把持力,避免螺钉松动、脱落等并发症。但是,在实际操作过程中由于 CBT 螺钉的进钉点位于上关节突内下方,部分患者在关节突增生严重或椎间隙狭窄行经椎间孔椎体融合等需扩大减压范围时,可能会将进钉参照点凿除破坏以致无法实现 CBT 螺钉置钉。对于严重侧弯或滑脱的患者,进钉点已发生偏移,以其为参照点有损伤椎管及神经根的风险。针对这类患者,该节段可采用传统的椎弓根螺钉置入,与其他节段的 CBT 螺钉置钉进行搭配应用。Takata 等^[15]在对 1 例单节段椎间盘突出患者行后路固定时,于 L₄ 置入 CBT 螺钉、L₅ 置入传统螺钉,上下两钉钉尾靠拢呈“八”字型,手术切口位于“八”的顶点,因而能在很小的范围内完成操作。这例患者为单节段,而本组病例有多例多节段患者,这种组合式应用由于 CBT 和传统的椎弓根螺钉的钉尾位置不在一条直线上,应用于多节段内固定患者中时会导致无法安放连接棒;如本组中的典型病例(图 1),若 S₁ 使用 CBT 技术,钉尾帽与 L₄、L₅ 不在一直线,连接棒安装困难,遂 S₁ 选用传统椎弓根置钉技术。因此,在手术过程需要重视搭配置钉方案的设计。以本组患者为例,制定手术方案原则如下:(1)对于椎间盘突出和椎管、根管狭窄相对严重侧,应用单侧经椎间孔椎体融合,这一侧由于减压范围较大,可能毁损 CBT 螺钉入钉点,因此,选择常规椎弓根螺钉置钉,另一侧由

于减压范围相对较小故选择 CBT 螺钉置钉方案。(2)置钉节段的近端置钉椎体尽量采用 CBT 螺钉置钉,可以明显减少切口长度和暴露范围,实现相对微创。(3) S_1 节段椎弓根置钉点较靠外,由于髂骨、肌肉等阻挡暴露相对困难,可采用由内向外方式置钉以减少软组织剥离。(4)对于老年骨质疏松患者,实际操作过程中若使用一种方式置钉钉位不理想,需要取钉后重新置入调整,反复置钉可能导致钉道破坏,可改用另一种置钉方式进行弥补。因此本组患者采用 CBT 和传统椎弓根螺钉技术相结合,取长补短,并在手术过程中灵活搭配,有效缩短了手术时间、减少了术中出血量和实现了可行性的微创,骨质疏松患者未出现术中置钉失败以及术后螺钉松动、脱落等并发症。所有患者术后 JOA 评分、VAS 评分较术前明显改善。

本研究针对伴有严重骨质疏松的需要手术的老年腰椎退变性疾病患者在减压和椎间融合的基础上,采取个体化、组合式内固定治疗方案,通过 CBT 螺钉置钉技术增强内固定螺钉在骨性结构的把持力,避免螺钉松动、脱落等相关并发症;同时术中根据实际操作情况灵活选用 CBT 螺钉置钉和传统椎弓根螺钉置钉方式进行组配,有效减少术中出血、缩短手术时间,以及作为部分患者因传统椎弓根螺钉置钉失败导致钉道毁损后的补充治疗。本研究通过术后近期疗效观察,未见螺钉松动、脱落等并发症产生,患者均获得满意疗效,虽然样本量相对较少,但为伴有严重骨质疏松且需要手术的老年腰椎退变性疾病患者在内固定使用上提供了新的临床思路。

[参考文献]

[1] PONNUSAMY K E, IYER S, GUPTA G, KHANNA A J. Instrumentation of the osteoporotic spine: biomechanical and clinical considerations[J]. Spine J, 2011, 11: 54-63.

[2] SANTONI B G, HYNES R A, MCGILVRAY K C, RODRIGUEZ-CANESSA G, LYONS A S, HENSON M A, et al. Cortical bone trajectory for lumbar pedicle screws[J]. Spine J, 2009, 9: 366-373.

[3] HALVORSON T L, KELLEY L A, THOMAS K A, WHITECLOUD T S 3rd, COOK S D. Effects of bone mineral density on pedicle screw fixation[J]. Spine (Phila Pa 1976), 1994, 19: 2415-2420.

[4] OKUYAMA K, SATO K, ABE E, INABA H, SHIMADA Y, MURAI H. Stability of transpedicle screwing for the osteoporotic spine. An *in vitro* study of the mechanical stability[J]. Spine (Phila Pa 1976), 1993, 18: 2240-2245.

[5] KUMANO K, HIRABAYASHI S, OGAWA Y, AOTA Y. Pedicle screws and bone mineral density[J]. Spine (Phila Pa 1976), 1994, 19: 1157-1161.

[6] SOSHI S, SHIBA R, KONDO H, MUROTA K. An experimental study on transpedicular screw fixation in relation to osteoporosis of the lumbar spine[J]. Spine (Phila Pa 1976), 1991, 16: 1335-1341.

[7] YAMAGATA M, KITAHARA H, MINAMI S, TAKAHASHI K, ISOBE K, MORIYA H, et al. Mechanical stability of the pedicle screw fixation systems for the lumbar spine[J]. Spine (Phila Pa 1976), 1992, 17(3 Suppl): S51-S54.

[8] BRANTLEY A G, MAYFIELD J K, KOENEMAN J B, CLARK K R. The effects of pedicle screw fit. An *in vitro* study[J]. Spine (Phila Pa 1976), 1994, 19: 1752-1758.

[9] 刘列华, 兰阳军, 周强, 梁勇, 李松涛, 王浩明, 等. 腰椎椎弓根螺钉双皮质固定的椎前大血管解剖学研究[J]. 局解手术学杂志, 2012, 21: 593-595.

[10] CHOMA T J, PFEIFFER F M, SWOPE R W, HIRNER J P. Pedicle screw design and cement augmentation in osteoporotic vertebrae: effects of fenestrations and cement viscosity on fixation and extraction[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2012, 37: E1628-E1632.

[11] 苏楠, 费琦, 王炳强, 李东, 李锦军, 孟海, 等. 骨水泥强化椎弓根螺钉手术相关并发症及分析[J]. 临床和实验医学杂志, 2015, 14: 1012-1016.

[12] MATSUKAWA K, YATO Y, KATO T, IMABAYASHI H, ASAZUMA T, NEMOTO K. *In vivo* analysis of insertional torque during pedicle screwing using cortical bone trajectory technique[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2014, 39: E240-E245.

[13] MATSUKAWA K, YATO Y, NEMOTO O, IMABAYASHI H, ASAZUMA T, NEMOTO K. Morphometric measurement of cortical bone trajectory for lumbar pedicle screw insertion using computed tomography[J]. J Spinal Disord Tech, 2013, 26: E248-E253.

[14] INCEOLU S, MONTGOMERY W H Jr, ST CLAIR S, MCLAIN R F. Pedicle screw insertion angle and pullout strength: comparison of 2 proposed strategies[J]. J Neurosurg Spine, 2011, 14: 670-676.

[15] TAKATA Y, MATSUURA T, HIGASHINO K, SAKAI T, MISHIRO T, SUZUE N, et al. Hybrid technique of cortical bone trajectory and pedicle screwing for minimally invasive spine reconstruction surgery: a technical note[J]. J Med Invest, 2014, 61 (3/4): 388-392.