

临床论著

膨胀式椎弓根螺钉在骨质疏松患者腰椎短节段固定融合手术中的临床应用

郝宇鑫¹, 吴子祥¹, 杨 照¹, 张 扬¹, 冯亚非¹, 马真胜¹, 吴金辉², 雷 伟¹

(1 第四军医大学西京医院骨科 710032 西安市; 2 空军锦州场站医院外科 121000 辽宁省锦州市)

【摘要】目的:分析膨胀式椎弓根螺钉在骨质疏松患者腰椎短节段固定融合手术中应用的中期疗效。**方法:**回顾性分析 2007 年 1 月~2013 年 7 月行腰椎后路固定融合术且获得 3 年以上随访资料的患者 406 例, 其中男 147 例, 女 259 例, 年龄 50~79 岁(63.4±4.2 岁), 术前腰椎骨密度 T 值为-3.3±0.6(-2.5~-4.6)。根据术中使用椎弓根螺钉种类的不同, 分为膨胀式椎弓根螺钉(EPS)组(n=173)和普通椎弓根螺钉(CPS)组(n=233)。两组患者的性别构成、术前骨密度 T 值、疾病类型、随访时间均无统计学差异(P>0.05)。术前、术后 3 个月、术后 6 个月及末次随访时采用 VAS 和 Oswestry 功能障碍指数(Oswestry disability index, ODI)进行评价。根据术后每次随访时拍摄的 X 线片或 CT 情况, 比较两组患者的脊柱融合率、螺钉松动率及断钉情况。**结果:**所有患者随访时间为 3~8 年(3.7±1.0 年)。两组患者术前 VAS 评分和 ODI 评分均无统计学差异(P>0.05); 两组术后 3 个月、6 个月和末次随访时的 VAS 评分和 ODI 评分均较术前显著改善(P<0.05); 术后 3 个月、6 个月和末次随访时, EPS 组患者 VAS 评分及 ODI 评分均明显低于 CPS 组(P<0.05)。EPS 组中, 1 例(0.6%, 1/173)患者的 2 枚(0.3%, 2/796)螺钉出现松动, 5 例(2.9%, 5/173)患者的 7 枚(0.9%, 7/796)螺钉出现断裂; CPS 组中, 13 例(5.6%, 13/233)患者的 17 枚(1.8%, 17/960)螺钉出现松动, 2 例(0.9%, 2/233)患者的 4 枚(0.4%, 4/960)螺钉出现断裂。EPS 组螺钉松动率显著低于 CPS 组(P<0.05), 螺钉断裂率与 CPS 组比较无统计学差异(P>0.05)。EPS 组融合成功率(99.4%, 172/173)显著高于 CPS 组(93.6%, 218/233)(P<0.05)。**结论:**在骨质疏松患者腰椎短节段固定融合手术中, 使用膨胀式椎弓根螺钉相比普通椎弓根螺钉具有更低的螺钉松动率和更高的脊柱融合率, 是一种安全可靠的手术方案。

【关键词】骨质疏松症; 腰椎融合术; 椎弓根螺钉

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2017.02.07

中图分类号: R687.3 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2017)-02-0136-07

The clinical application of expandable pedicle screws in the short segment lumbar fusion surgery in osteoporosis patients/HAO Yuxin, WU Zixiang, YANG Zhao, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2017, 27(2): 136-141

【Abstract】Objectives: A retrospective analysis on the mid-term clinical effect of expandable pedicle screws in the short segment lumbar fusion surgery in osteoporosis patients. **Methods:** From January 2007 to July 2013, 406 patients treated with standard posterior lumbar interbody fusion(PLIF) were reviewed retrospectively. All patients were followed up for a minimum of 3 years. Among the 406 cases, 147 were males and 259 were females with an overall mean age of 63.4±5.2 years(range, 50-79 years). The T value of pre-operative lumbar BMD was -3.3±0.6(2.5-4.6). Among these patients, 173 patients received PLIF with expandable pedicle screws(EPS group) and the other 223 patients received PLIF with conventional pedicle screws(CPS group). No significant difference was detected between the two groups on gender composition, T value of pre-operative BMD, disease composition and the time of last follow-up visit(P>0.05). The pre-operative and post-operative(3 months, 6 months and last follow-up) visual analogue scores(VAS) and Oswestry disability index(ODI) scores were compared to evaluate the function recovery conditions. X-ray or CT scan was taken to compare

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(编号: 81301535)

第一作者简介: 男(1987-), 在读医学硕士, 研究方向: 脊柱外科

电话: (029)84771012 E-mail: 328627684@qq.com

通讯作者: 雷伟 E-mail: Leiwei@fmmu.edu.cn

the screw loosening rate, breakage rate and fusion rate between the two groups. **Results:** The average follow-up period was 3.7 ± 1.0 years (range, 3–8 years). No significant difference was detected between the two groups on pre-operative VAS and ODI scores ($P > 0.05$). After surgeries, VAS and ODI scores at 3 months, 6 months and last follow-up improved significantly in both groups. Compared with CPS group, post-operative VAS and ODI scores at 3 months, 6 months and last follow-up in the EPS group improved significantly ($P < 0.05$). In EPS group, 2 screws loosening (0.3%, 2/796) occurred in 1 patient (0.6%, 1/173), and 7 screws breakage (0.9%, 7/796) occurred in 5 patients (2.9%, 5/173). In the CPS group, 17 screws loosening (1.8%, 17/960) occurred in 13 patients (5.6%, 13/233), and 4 screws breakage (0.4%, 4/960) occurred in 2 patients (0.9%, 2/233). The screw loosening rate in EPS group was significantly lower than that in CPS group ($P < 0.05$). The screw breakage rate was higher than that in CPS group, but there was no significant difference ($P > 0.05$). The fusion rate in EPS group (99.4%, 172/173) was significantly higher than that in CPS group (93.6%, 218/233) ($P < 0.05$).

Conclusions: In the short segment lumbar fusion surgery in osteoporosis patients, the application of expandable pedicle screws can provide lower screw loosening rate and higher fusion rate. It is a safe and reliable implant for osteoporotic spinal surgery.

[Key words] Osteoporosis; Posterior lumbar interbody fusion; Pedicle screws

[Author's address] Department of Orthopaedics, Xijing Hospital, Fourth Military Medical University, Xi'an, 710000, China

骨质疏松最常累及脊柱,可显著影响脊柱螺钉的固定强度,是腰椎后路椎间融合术后手术节段融合失败的最重要的危险因素^[1]。文献^[2-6]报道骨质疏松导致螺钉松动、手术失败的发生率可达 4.5%~17.3%。目前,临床上常采用增加螺钉长度、直径或使用骨水泥强化螺钉等方法提高螺钉固定强度。但增加螺钉长度、直径会增加血管损伤、椎弓根骨折等风险。骨水泥强化可以提高螺钉的固定强度,但存在骨水泥渗漏、取出困难等缺陷。膨胀式椎弓根螺钉 (expandable pedicle screws, EPS) 固定较普通螺钉固定有更高的抗拔出^[7-9],临床研究证实具有良好的早期效果^[10,11]。但是,膨胀式椎弓根螺钉固定的中远期在体安全性和有效性如何,目前国内外尚未见报道。本研究针对我科临床应用膨胀式椎弓根螺钉固定病例进行中期随访研究,并将其与同时期采用普通螺钉固定的病例进行对照研究,评估其临床安全性和有效性。

1 资料与方法

1.1 一般资料

纳入标准:(1)单节段或双节段腰椎间盘突出症或腰椎管狭窄症,并均行腰椎后路椎间融合术。本组病例中腰椎间盘突出症病例行椎间融合的手术指征:①病变节段存在失稳;②巨大型椎间盘突出或合并终板破裂;③合并椎管狭窄;④椎间盘突出症复发患者,术中咬除关节突过多,导致医源性失稳。(2)影像学检查结果与症状、体征相符。(3)

术前所有患者均进行腰椎骨密度检测,骨密度 T 值等于或大于 2.5 个同性别同种族正常成人的标准差可诊断为骨质疏松症 (基于骨密度测定的诊断标准,且均为原发性骨质疏松症)^[12]。(4)无手术禁忌证。排除标准:(1)腰椎骨折、腰椎结核、感染及腰椎肿瘤患者;(2)需长节段手术融合治疗的腰椎疾病患者;(3)病史、体征与影像学检查结果不相符者;(4)腰椎骨密度检查结果提示骨质正常或骨量减少者,以及由于其他疾病或药物等原因导致的继发性骨质疏松症;(5)患者年龄过大或伴有其他系统疾病不能耐受手术治疗者。

收集 2007 年 1 月~2013 年 7 月获得 3 年以上完整随访资料的 406 例患者进行回顾性病例分析。根据术中使用椎弓根螺钉种类的不同,分为 EPS 组 ($n=173$) 和普通椎弓根螺钉组 (conventional pedicle screw, CPS, $n=233$)。EPS 组中,男 69 例,女 104 例,年龄 65.4 ± 4.7 岁,术前腰椎骨密度 T 值 -3.3 ± 0.7 ($-2.5 \sim -4.6$),腰椎间盘突出症 103 例,腰椎管狭窄症 70 例,随访时间 3.8 ± 0.9 年;CPS 组中,男 78 例,女 155 例,年龄 61.5 ± 5.7 岁,术前腰椎骨密度 T 值 -3.2 ± 0.5 ($-2.5 \sim -4.3$),腰椎间盘突出症 147 例,腰椎管狭窄症 86 例,随访时间 3.6 ± 1.3 年;两组患者的性别构成、术前骨密度 T 值、随访时间、疾病类型等均无统计学差异 ($P > 0.05$),但两组患者年龄之间有统计学差异 ($P < 0.05$)。

1.2 手术方法及术后处理

所有患者均接受单节段或双节段的腰椎后路

椎间融合术 (posterior lumbar interbody fusion, PLIF), 由同一组脊柱专科医师完成。根据减压需要, 切除相应椎板, 处理椎间隙; 采用自体减压的骨粒行椎体间和后外侧植骨融合, 每个节段均置入 1 枚椎间融合器。普通螺钉和膨胀式椎弓根螺钉均为同一公司生产。

术后患者常规早期床上行双下肢功能锻炼, 预防术后神经根粘连及双下肢深静脉血栓, 术后 3 个月内坚持佩戴支具活动^[13], 随后可逐渐恢复正常工作或日常活动。所有患者术后均行正规抗骨质疏松治疗。

1.3 随访及疗效评价

所有患者术前及术后 3 个月、6 个月及末次随访时均进行视觉模拟评分 (visual analogue scale/score, VAS) 及 Oswestry 功能障碍指数 (Oswestry disability index, ODI) 评分^[13,14]。同时记录患者手术并发症, 如脑脊液漏、伤口感染、神经根损伤、深静脉血栓形成及肺栓塞。

所有患者术前均行腰椎正侧位、双斜位、动力位 X 线片及腰椎 CT 和 MRI 检查。术后即刻、3 个月、半年及每年随访时拍摄腰椎正侧位、过伸过屈位 X 线片评估内置物在位及腰椎融合情况。疑似存在融合不佳、假关节形成的病例进一步行 CT 三维重建检查。根据影像学资料评价患者术后螺钉松动率、断钉率及椎间融合成功率。螺钉松动的评判标准: (1) 螺钉移位; (2) 钉身周围有 1mm 或者更大的 X 线透亮带; (3) CT 显示钉身周围不显影区域^[10,15,16]。出现以上 3 项指标中 1 项及以上者均评判为螺钉松动。椎间融合的影像学标准: (1) 腰椎过屈过伸位 X 线片上融合节段椎体无活动, 或过屈过伸时融合节段椎间成角改变小于 3°; (2) 植入物周围无 X 线透亮带; (3) 椎间高度无明显丢失; (4) 植入骨组织、椎体无骨折; (5) X 线侧位片或 CT 矢状位显示融合器内部或周围有可见的骨组织生长, 融合节段椎体间有连续的松质骨桥形成^[10,14,16-19]。满足以上 5 项指标中 4 项及以上者评判为成功的椎间骨性融合。由 3 位有丰富阅片经验的影像科医生独立进行阅片, 当意见不同时取至少两者意见一致的结果进行评定。

1.4 统计学分析

统计学处理软件为 SPSS 19.0, 计量资料 (患者年龄、骨密度值、随访时间、VAS 及 ODI 评分) 均以 $(\bar{x} \pm s)$ 表示。两组患者的年龄、术前骨密度值、

随访时间、术前及术后 VAS、ODI 评分等指标, 使用两样本 t 检验; 患者性别、疾病类型、手术融合节段及螺钉松动率、断钉率、融合成功率等使用 χ^2 检验。检验水准 α 值取双侧 0.05。

2 结果

所有患者均顺利完成手术, 手术时间 2.5~4.1h (2.9 ± 0.4 h)。406 例患者中, 行单节段融合手术者 157 例 (其中 EPS 组 71 例, CPS 组 86 例), 双节段融合手术者 249 例 (其中 EPS 组 102 例, CPS 组 147 例), 两组病例的手术融合节段无统计学差异 ($P > 0.05$)。两组的置钉节段及置钉数量、置钉总数统计情况见表 1。共 15 例出现脑脊液漏, 其中 EPS 组 6 例, CPS 组 9 例, 经相应治疗后均治愈。7 例出现术后神经根损伤 (EPS 组 3 例, CPS 组 4 例), 保守治疗 3 个月后症状均好转。无切口感染、深静脉血栓形成及肺栓塞并发症发生。

随访 3~8 年 (3.7 ± 1.0 年)。两组患者术前及术后不同时间点的 VAS 评分和 ODI 评分见表 2。两组患者术前 VAS 评分和 ODI 均无统计学差异 ($P > 0.05$); 术后 3 个月、6 个月和末次随访时, 两组患者 VAS 评分和 ODI 均较术前显著改善 ($P < 0.05$); 术后 3 个月、6 个月和末次随访时, EPS 组患者 VAS 评分及 ODI 均显著低于 CPS 组 ($P < 0.05$)。

EPS 组 6 例患者出现内固定失败, 其中断钉 5 例, 螺钉松动并融合节段假关节形成 1 例, 均为双节段固定病例, 头端断钉 1 例, 尾端断钉 4 例, 尾端螺钉松动 1 例, 螺钉断裂位置均在膨胀裂缝止点处, 螺钉断裂后所有患者仍获得椎体间融合。

CPS 组 15 例患者出现内固定失败, 其中螺钉松动 13 例, 螺钉断裂 2 例, 融合节段假关节形成

表 1 膨胀式椎弓根螺钉和普通椎弓根螺钉的置钉节段及置钉数量 (枚)

Table 1 The number and level of screw insertion in

置钉节段 Level of screw insertion	two groups	
	EPS组 EPS group	CPS组 CPS group
L2	62	78
L3	114	156
L4	258	322
L5	240	294
S1	122	110
合计 Summation	796	960

表 2 两组患者术前及术后不同时间的 VAS 评分及 ODI

Table 2 The preoperative and postoperative VAS score and ODI

	VAS评分 VAS score		ODI(%)	
	EPS组 EPS group	CPS组 CPS group	EPS组 EPS group	CPS组 CPS group
术前 Pre-operative	6.3±0.7	6.4±1.0	45.0±2.0	44.7±1.7
术后 3 个月 Post-operative (3 months)	1.6±0.4 ^①	1.7±0.5 ^{①②}	15.4±1.0 ^③	16.3±0.8 ^{②③}
术后 6 个月 Post-operative (6 months)	1.5±0.6 ^①	1.7±0.4 ^{①②}	14.3±0.8 ^③	15.7±0.9 ^{②③}
末次随访 Last follow-up	1.6±0.5 ^①	1.7±0.4 ^{①②}	14.5±0.7 ^③	15.3±0.8 ^{②③}

注:①与术前 VAS 评分比较 $P<0.05$;②与 EPS 组比较 $P<0.05$;③与术前 ODI 比较 $P<0.05$

Note: ①Compared with pre-operative VAS, $P<0.05$; ②Compared with EPS group, $P<0.05$; ③Compared with pre-operative ODI, $P<0.05$

15例(螺钉松动及断裂病例均融合失败假关节形成)。单节段固定4例,双节段固定11例;尾端断钉2例,头端螺钉松动3例,尾端螺钉松动11例;螺钉断裂位置均在钉棒结合部钉尾处;螺钉松动或断裂后,所有患者均融合失败假关节形成。

EPS组中,1例(0.6%,1/173)患者的2枚(0.3%,2/796)螺钉出现松动,5例(2.9%,5/173)患者的7枚(0.9%,7/796)螺钉出现断裂;CPS组中,13例(5.6%,13/233)患者的17枚(1.8%,17/960)螺钉出现松动,2例(0.9%,2/233)患者的4枚(0.4%,4/960)螺钉出现断裂。EPS组螺钉松动率显著低于CPS组($P<0.05$),螺钉断裂率两组无显著性差异($P>0.05$)。EPS组融合成功率(99.4%,172/173,图1)显著高于CPS组(93.6%,218/233)($P<0.05$)。EPS组1例融合失败病例行翻修手术,CPS组15例内固定失败患者中5例患者行翻修手术。二次翻修手术中未出现神经损伤等并发症。

3 讨论

3.1 骨质疏松对脊柱内固定手术的影响

椎弓根螺钉松动、断裂导致脊柱融合失败是腰椎术后最为棘手的并发症之一。除了手术操作技术以外,骨质疏松是导致脊柱椎弓根螺钉松动的最主要原因。生物力学研究证实,螺钉的抗拔出与骨密度密切相关^[20-22]。当骨矿物质密度低于

0.6g/cm²时,容易导致内固定松动^[23]。Paxinos等^[20]报道,在骨量减少的椎体上置钉,其螺钉抗拔出力显著低于正常骨密度的椎体。Okuyama等^[1]报道螺钉松动、断裂病例的骨密度(0.720±0.078g/cm²)显著小于无松动断裂病例(0.922±0.22g/cm²);而融合成功病例的骨密度(0.934±0.210g/cm²)则显著高于融合失败或者疑似失败(0.674±0.104g/cm²、0.710±0.116g/cm²)的病例。Bredow等^[24]报道,患者骨密度的降低与年龄的增加显著相关,且螺钉松动病例的平均骨密度显著低于螺钉无松动病例的平均骨密度。DeWald等^[25]也发现,合并骨质疏松的老年脊柱患者钉棒断裂导致的椎间假关节形成发生率高达11%。因此,骨质疏松对脊柱融合的影响不容忽视。

3.2 提高脊柱内固定稳定性的方法

骨水泥强化椎弓根螺钉固定能够显著增加螺钉的固定强度^[26-29],其抗拔出较普通椎弓根螺钉固定提高81%~252%^[30,31]。但该方法也存在明显不足:(1)骨水泥渗漏压迫神经^[32,33],甚至导致肺栓塞^[34,35],文献报道渗漏发生率可达26.2%^[32];(2)骨水泥在凝固过程中产热会损伤周围组织,甚至神经热坏死;(3)注射骨水泥后难以取出螺钉,强行取出螺钉可能会造成椎体骨缺损,为后续手术带来极大困难。

膨胀式椎弓根螺钉能够通过改变螺钉结构提高固定强度。生物力学研究证实,其抗拔出较普通椎弓根螺钉提高28%^[8]。其力学机制在于:(1)螺钉膨胀后,螺钉末端翼部挤压了周围骨质,使得周围骨质更加密实,加强了骨钉界面的强度,提高其即刻稳定性;(2)置入椎体后,松质骨逐渐长入螺钉末端膨胀分叉部,增加了骨-钉界面接触面积,形成“钉中有骨,骨中有钉”的立体交叉嵌合模式,从而提高了螺钉的远期固定强度。

3.3 国内外膨胀螺钉应用结果分析

2001年Cook等^[36]首次报道应用膨胀式椎弓根螺钉(Omega21)治疗腰椎疾病患者145例,术后4例患者(2.8%,4/145)的10枚(2.6%,10/389)螺钉出现断裂,未见螺钉松动病例;融合成功率达86%(125/145),6例患者因局部不适取出螺钉,未出现神经损伤等并发症。但是,这种膨胀式椎弓根螺钉为单轴向设计,断钉率较高,钉棒连接困难,目前已经退出市场。2016年Gazzeri等^[10]报道应用OsseoScrew膨胀式椎弓根螺钉固定治疗33例合



图 1 患者女,60 岁 **a,b** 术前腰椎正侧位 X 线片示腰椎生理曲度存在 **c,d** 术前腰椎 MRI 示 L4~S1 腰椎间盘突出 **e,f** 腰椎后路椎板切除减压、椎间隙融合、膨胀式椎弓根螺钉内固定术后 3 年腰椎正侧位 X 线片示内固定位置良好,椎间融合良好 **g,h** 术后 3 年腰椎过伸过屈位 X 线片示融合节段椎体成角无改变,椎间高度无明显丢失

Figure 1 Female, 60 yrs, lumbar disc herniation and stenosis(L4-S1). This patient was treated by standard PLIF with expandable pedicle screws implantation **a, b** The pre-operative lumbar anterior-posterior radiographs showed lumbar lordosis exists **c, d** The pre-operative MRI showed lumbar disc herniation in L4-S1 **e, f** The lumbar anterior-posterior radiographs of 3 years after surgery showed well position of the internal fixation and well bone fusion **g, h** The lumbar dynamic radiographs of 3 years after surgery showed no motion in the fusion segment and no significant disk height lost

并骨质疏松症的胸腰椎疾病患者,使用膨胀螺钉 174 枚,普通螺钉 8 枚,术后 1 年随访时未见螺钉松动、断裂,术后 2 年随访仅 1 枚螺钉断裂,其断钉率为 0.6%。

本研究中,EPS 组的断钉率和融合率明显优于 Cook 等的报道,其可能的原因在于,本研究中使用的膨胀式椎弓根螺钉采用万向轴设计,万向头的微动能够有效降低螺钉受到的应力,进而降低螺钉断裂风险。同时,本组病例中的螺钉断裂位置均位于膨胀裂缝止点处,而椎弓根内的螺钉部分并未断裂,仍然能够承担应力,因此多数病例即使出现螺钉断裂也获得脊柱融合。而普通螺钉组的螺钉断裂均发生于螺钉万向头下方,一旦断裂就无法稳定脊柱,因而不融合率显著升高。

综上所述,在骨质疏松患者腰椎短节段融合手术中,使用膨胀式椎弓根螺钉相比普通椎弓根螺钉具有更低的螺钉松动率和更高的脊柱融合率,是一种安全可靠的手术方案。

4 参考文献

1. Okuyama K, Abe E, Suzuki T, et al. Influence of bone min-

eral density on pedicle screw fixation: a study of pedicle screw fixation augmenting posterior lumbar interbody fusion in elderly patients[J]. Spine J, 2001, 1(6): 402-407.

- Dickman CA, Yahiro MA, Lu HT, et al. Surgical treatment alternatives for fixation of unstable fractures of the thoracic and lumbar spine: a meta-analysis[J]. Spine, 1994, 19(20 Suppl): 2266S-2273S.
- Ko CC, Tsai HW, Huang WC, et al. Screw loosening in the Dynesys stabilization system: radiographic evidence and effect on outcomes[J]. Neurosurg Focus, 2010, 28(6): E10.
- Dickman CA, Fessler RG, Macmillan M, et al. Transpedicular screw-rod fixation of the lumbar spine: operative technique and outcome in 104 cases[J]. J Neurosurg, 1992, 77(6): 860-870.
- Esses SI, Sachs BL, Dreyzin V. Complications associated with the technique of pediclescrew fixation: a selected survey of ABS members[J]. Spine, 1993, 18(15): 2231-2239.
- Liu F, Cao Y, Feng Z, et al. Comparison of three different posterior fixation techniques in transforaminal lumbar interbody fusion for two-level lumbar degenerative diseases: at a mean follow up time of 46 months[J]. Clin Neurol Neurosurg, 2016, 141: 1-6.
- 刘达, 雷伟, 吴子祥, 等. 膨胀式椎弓根螺钉与骨水泥强化方法增强螺钉稳定性的比较研究[J]. 中国矫形外科杂志, 2010, 18(20): 1689-1692.

8. Lei W, Wu Z. Biomechanical evaluation of an expansive pedicle screw in calf vertebrae[J]. Eur Spine J, 2006, 15(3): 321-326.
9. Vishnubhotla S, McGarry WB, Mahar AT, et al. A titanium expandable pedicle screw improves initial pullout strength as compared with standard pedicle screws[J]. Spine J, 2011, 11(8): 777-781.
10. Gazzeri R, Roperto R, Fiore C. Surgical treatment of degenerative and traumatic spinal diseases with expandable screws in patients with osteoporosis: 2-year follow-up clinical study [J]. J Neurosurg Spine, 2016, 25(5): 610-619.
11. Wu Z, Gong F, Liu L, et al. A comparative study on screw loosening in osteoporotic lumbar spine fusion between expandable and conventional pedicle screws [J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2012, 132(4): 471-476.
12. 原发性骨质疏松症诊治指南[J]. 中国骨质疏松和骨矿盐疾病杂志, 2011, 4(1): 2-17.
13. 王翀, 方明桥, 项光恒, 等. 单侧与双侧椎弓根螺钉固定联合经椎间孔椎间融合术治疗腰椎退行性疾病的长期疗效比较[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2014, 24(9): 795-801.
14. 邹海波, 绳厚福, 李中实, 等. 微创 TLIF 单侧或双侧固定治疗腰椎退行性疾病的临床疗效[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2013, 23(12): 1086-1091.
15. Ohtori S, Inoue G, Orita S, et al. Comparison of teriparatide and bisphosphonate treatment to reduce pedicle screw loosening after lumbar spinal fusion surgery in postmenopausal women with osteoporosis from a bone quality perspective [J]. Spine, 2013, 38(8): E487-E492.
16. Ozawa T, Takahashi K, Yamagata M, et al. Insertional torque of the lumbar pedicle screw during surgery[J]. J Orthop Sci, 2005, 10(2): 133-136.
17. Thakkar RS, Malloy JP 4th, Thakkar SC, et al. Imaging the postoperative spine[J]. Radiol Clin North Am, 2012, 50(4): 731-747.
18. Ray CD. Threaded fusion cages for lumbar interbody fusions: an economic comparison with 360 degrees fusions[J]. Spine, 1997, 22(6): 681-685.
19. 梁昌详, 詹世强, 柯雨洪, 等. PMMA 增强的多孔中空椎弓根螺钉治疗腰椎退变性疾病疗效和安全性[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2013, 23(11): 984-988.
20. Paxinos O, Tsitsopoulos PP, Zindrick MR, et al. Evaluation of pullout strength and failure mechanism of posterior instrumentation in normal and osteopenic thoracic vertebrae [J]. J Neurosurg Spine, 2010, 13(4): 469-476.
21. Krishnan V, Varghese V, Kumar GS. Comparative analysis of effect of density, insertion angle and reinsertion on pull-out strength of single and two pedicle screw constructs using synthetic bone model[J]. Asian Spine J, 2016, 10(3): 414-421.
22. Zhuang X, Fu C, Liu W, et al. Biomechanical effect of the correction on the anchoring strength of de-orbiting S1 bicortical pedicle screw: an in-vitro investigation in normal and osteoporotic conditions[J]. Clin Biomech (Bristol, Avon), 2016, 36: 26-31.
23. Zhuang X, Yu B, Zheng Z, et al. Effect of the degree of osteoporosis on the biomechanical anchoring strength of the sacral pedicle screws[J]. Spine, 2010, 35(19): E925-E931.
24. Bredow J, Boese CK, Werner CML, et al. Predictive validity of preoperative CT scans and the risk of pedicle screw loosening in spinal surgery [J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2016, 136(8): 1063-1067.
25. DeWald CJ, Stanley T. Instrumentation-related complications of multilevel fusions for adult spinal deformity patients over age 65[J]. Spine, 2006, 31(19 Suppl): S144-S151.
26. Fan HT, Zhang RJ, Shen CL, et al. The biomechanical properties of pedicle screw fixation combined with trajectory bone cement augmentation in osteoporotic vertebrae[J]. Clin Spine Surg, 2016, 29(2): 78-85.
27. 刘达, 伍红桦, 郑伟, 等. 骨质疏松尸体腰椎中膨胀式椎弓根螺钉与骨水泥强化椎弓根螺钉固定稳定性的比较研究 [J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2014, 24(7): 638-643.
28. 刘达, 谢庆云, 张波, 等. 重度骨质疏松腰椎中椎弓根螺钉稳定性与骨水泥注射剂量的相关性[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2015, 25(4): 355-360.
29. Leichtle CI, Lorenz A, Rothstock S, et al. Pull-out strength of cemented solid versus fenestrated pedicle screws in osteoporotic vertebrae[J]. Bone Joint Res, 2016, 5(9): 419-426.
30. Yi X, Wang Y, Lu H, et al. Augmentation of pedicle screw fixation strength using an injectable calcium sulfate cement [J]. Spine, 2008, 33(23): 2503-2509.
31. Sarzier JS, Evans AJ, Cahill DW. Increased pedicle screw pullout strength with vertebroplasty augmentation in osteoporotic spines[J]. J Neurosurg, 2002, 96(3 Suppl): 309-312.
32. Chang MM, Liu CM, Chen TM. Polymethylmethacrylate augmentation of pedicle screw for osteoporotic spinal surgery [J]. Spine, 2008, 33(10): E317-E324.
33. 刘滔, 张志明, 史金辉, 等. 骨水泥温度梯度灌注技术在经皮椎体后凸成形术中的应用[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2015, 25(12): 1073-1078.
34. Peebles DJ, Ellis RH, Stride SD, et al. Cardiovascular effects of methylmethacrylate cement[J]. Br Med J, 1972, 1(5796): 349-351.
35. 唐永超, 梁德, 江晓兵, 等. 经皮椎体成形术后无症状性骨水泥肺栓塞 7 年随访结果及文献回顾 [J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2015, 25(11): 1042-1044.
36. Cook SD, Barbera J, Rubi M, et al. Lumbosacral fixation using expandable pedicle screws. an alternative in reoperation and osteoporosis[J]. Spine J, 2001, 1(2): 109-114.

(收稿日期:2016-10-17 末次修回日期:2016-12-08)

(英文编审 蒋欣/贾丹彤)

(本文编辑 李伟霞)