

临床论著

低骨密度对 Lenke I 型青少年特发性
脊柱侧凸患者手术疗效的影响林小龙^{1,2}, 邱勇², 刘臻², 郭惊², 吕峰², 张兴², 周松², 孙旭²

(1 东南大学医学院 210009 南京市; 2 南京大学医学院附属鼓楼医院脊柱外科 210008 南京市)

【摘要】目的:探讨低骨密度对 Lenke I 型青少年特发性脊柱侧凸(adolescent idiopathic scoliosis, AIS)患者后路矫形内固定术后矫形疗效的可能影响。方法:选取 2007 年 6 月~2008 年 8 月在南京鼓楼医院脊柱外科行后路椎弓根螺钉矫形内固定融合术的 Lenke I 型 AIS 女性患者 37 例,年龄 11~17 岁(14.3 ± 1.3 岁),术前 Cobb 角 $40^\circ \sim 66^\circ$ ($48.9^\circ \pm 6.7^\circ$)。术后随访 12~36 个月,平均 20.8 ± 7.4 个月。术前均接受双能 X 线吸收骨密度仪扫描测定骨密度,根据股骨颈骨密度 Z 值将 AIS 患者分为骨密度正常组(Z 值 > -1.0)与骨密度减低组(Z 值 ≤ -1.0),分别测量两组患者术前、术后早期(术后 3 个月)及末次随访时的主弯 Cobb 角、胸椎后凸角(TK)、腰椎前凸角(LL)、冠状位顶椎偏移(AVT)、C7 中垂线与骶骨中线的距离(C7-CSVL)和 C7 中垂线与骶骨后上缘的距离(SVA),比较两组间的差异。结果:37 例患者中,15 例骨密度正常(骨密度正常组),22 例骨密度减低(骨密度减低组)。两组患者术前平均年龄、Risser 征、内固定节段数、置入物密度及术后随访时间均无显著性差异($P > 0.05$);两组术前平均 Cobb 角、AVT 和 C7-CSVL 无显著性差异($P > 0.05$)。术后 3 个月及末次随访时两组平均 Cobb 角和平均矫正率、末次随访时平均矫正丢失及矫正丢失率无显著性差异($P > 0.05$);术后 3 个月及末次随访时两组平均 AVT、C7-CSVL 无统计学差异($P > 0.05$);C7-CSVL 改变亦无显著性差异($P > 0.05$)。两组术前、术后 3 个月及末次随访时的平均 TK、LL、SVA 均无显著性差异($P > 0.05$),SVA 改变亦无显著性差异($P > 0.05$)。结论:低骨密度状态对 Lenke I 型 AIS 患者后路矫形内固定融合术的疗效无明显影响。

【关键词】青少年特发性脊柱侧凸;骨密度;手术疗效

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2012.06.15

中图分类号:R682.3 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2012)-06-0554-05

The influence of lower bone mineral density on surgical outcomes in Lenke I type adolescent idiopathic scoliosis/LIN Xiaolong, QIU Yong, LIU Zhen, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2012, 22(6): 554-558

【Abstract】Objectives: To determine the role of preoperative lower bone mineral density(BMD) in surgical outcomes of patients with Lenke I type adolescent idiopathic scoliosis(AIS). Methods: Thirty-seven female patients with Lenke I type AIS who underwent posterior correction and fusion with pedicle screw instrumentation between June 2007 and August 2008 were included in this study. The mean age of AIS patients was 14.3 ± 1.3 years(rang from 11 to 17 years), and the mean Cobb angle was $48.9^\circ \pm 6.7^\circ$ (rang from 40° to 66°). BMD was assessed in every patient before surgery by dual energy X-ray absorptiometry(DEXA). All patients were divided into 2 groups according to the Z-score of their femur neck BMD: nonosteopenic patients($Z > -1.0$) and osteopenic patients($Z \leq -1.0$). The radiography parameters including Cobb angle, thoracic kyphosis(TK), lumbar lordosis(LL) and apical vertebral translation(AVT) were measured preoperatively and immediately postoperatively(3 months postoperation) as well as at the latest follow-up. C7 plumb line to center sacral vertical line(C7-CSVL) was used to evaluate the coronal balance while sagittal vertical axis(SVA) was measured to assess the sagittal balance. All the parameters between two groups were compared. Results: 15 patients were included in nonosteopenic group and 22 patients in osteopenic group, respectively. The mean

基金项目:江苏省创新学者攀登项目(编号:BK2009001)

第一作者简介:男(1986-),医学硕士,研究方向:脊柱外科

电话:(025)83304616-11303 E-mail:drlinxiaolong@163.com

通讯作者:邱勇 E-mail:scoliosis2002@sina.com

age, Risser sign, instrumented level, implant density and follow-up time were similar ($P>0.05$). No difference with respect to the Cobb angle, AVT, C7-CSVL was observed between two groups preoperatively ($P>0.05$). There was no difference in the mean Cobb angle, correction loss, correction loss rate, AVT, C7-CSVL or the change of C7-CSVL immediately postoperatively and at latest follow-up ($P>0.05$). In addition, there was no difference in terms of the mean TK, LL, SVA or the change of SVA between these two groups preoperatively and immediately postoperatively as well as at the latest follow-up ($P>0.05$). **Conclusions:** Preoperative lower BMD in Lenke I type AIS patients does not play a significant role in determining the surgical outcomes after using posterior correction and fusion with pedicle screw instrumentation.

[Key words] Adolescent idiopathic scoliosis; Bone mineral density; Surgical outcomes

[Author's address] Southeast University Medical School, Nanjing, 210009, China

青少年特发性脊柱侧凸 (adolescent idiopathic scoliosis, AIS) 以女性多见, 侧凸 Cobb 角大于 10° 的男女性别比例为 1:10^[1], 其发病机理目前尚不明确^[2]。近年来, 一些文献报道 AIS 患者存在显著骨量降低^[3-5], 且骨密度降低是全身性的^[6]。有研究认为骨密度降低可影响椎弓根螺钉固定的稳定性^[7-10], 但目前缺少术前骨密度状态对 AIS 患者手术疗效影响的报道。本研究回顾性比较不同术前骨密度 Lenke I 型 AIS 女性患者后路内固定矫形融合术后和随访时的矫形疗效, 以探讨术前骨密度对 Lenke I 型 AIS 患者后路矫形内固定术后疗效的可能影响。

1 临床资料

1.1 研究对象

选取南京鼓楼医院脊柱外科 2007 年 6 月~2008 年 8 月期间收治的 37 例有骨密度资料的女性 Lenke I 型 AIS 患者进行回顾性分析。年龄 11~17 岁, 平均 14.3 ± 1.3 岁。术前 Cobb 角 $40^\circ\sim 66^\circ$, 平均 $48.9^\circ\pm 6.7^\circ$ 。术后随访时间 12~36 个月, 平均 20.8 ± 7.4 个月。所有患者均由经验丰富的临床医师在全麻下行后路经椎弓根螺钉矫形内固定融合术, 内固定区域取髂骨植骨融合, 内固定系统为 TSRH 或 CDH (美敦力)。按标准方法测量所有 AIS 患者的身高和体重, 分别精确到 0.1cm 和 0.1kg; 体质指数 (body mass index, BMI) = 体重 (kg)/身高 (m)²。

1.2 骨密度测定

所有患者术前均应用双能 X 线吸收骨密度仪 (DPX-IQ, 美国 lunar 公司) 测量腰椎 (L2~L4) 前后位及非优势侧 (左侧) 股骨颈骨密度。仪器操作由同一位经验丰富的骨代谢医师完成, 每日开机后均用体模校正, 由微机检测系统自动分析结

果。诊断标准为中国骨质疏松委员会参考世界卫生组织 (WHO) 的标准, 结合我国国情所制订, Z 值为患者骨密度与正常同龄对照组平均骨密度的差值, 低于 1.0s (标准差) 以内为骨量正常, 1.0s~2.0s 为骨量减少, 低于 2.0s 以上为骨质疏松。参考既往文献^[11]根据股骨颈骨密度 Z 值将 AIS 患者分为骨密度减低组与骨密度正常组。

1.3 研究方法

统计两组患者一般资料, 包括年龄、身高、体重等。同时记录矫形手术固定节段数、置入物密度即置入螺钉数/(2×固定节段数)×100%。在术前、术后 3 个月、末次随访时摄站立位全脊柱正侧位 X 线片, 测量侧凸主弯 Cobb 角、冠状位顶椎偏移 (apical vertebrate translation, AVT)、胸椎后凸 (thoracic kyphosis, TK)、腰椎前凸 (lumbar lordosis, LL)。矫形效果评估采用矫正率的方法, 即矫正率 = (术前 Cobb 角 - 术后 3 个月 Cobb 角)/术前 Cobb 角 × 100%; 术后随访效果评估采用矫正丢失及矫正丢失率的方法, 即矫正丢失 = 末次随访 Cobb 角 - 术后 3 个月 Cobb 角, 矫正丢失率 = (末次随访 Cobb 角 - 术后 3 个月 Cobb 角)/术前 Cobb 角 × 100%。采用 C7 中垂线与骶骨中线的距离 (C7 plumb line to center sacral vertical line, C7-CSVL) 评估患者冠状位平衡, C7-CSVL > 20mm 为冠状位失衡, C7-CSVL ≤ 20mm 为冠状位平衡; 采用 C7 中垂线与骶骨后上缘的距离 (sagittal vertical axis, SVA) 评估患者矢状位平衡, SVA > 40mm 为矢状位失衡, SVA ≤ 40mm 为矢状位平衡^[12]。比较两组患者上述各参数的差异。

1.4 统计学方法

应用 SPSS 13.0 统计软件, 数据以 $\bar{x}\pm s$ 表示, 采用独立样本 *t* 检验方法分别对两组患者术前、术后 3 个月及末次随访时的侧凸 Cobb 角、TK、

LL、AVT、C7-CSVL、SVA，术后 3 个月矫正率、末次随访矫正率、矫正丢失及矫正丢失率进行统计比较。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

37 例患者腰椎骨密度 Z 值为 $-0.1 \sim -3.3$ ，平均为 -1.4 ± 0.9 ；股骨颈骨密度 Z 值为 $-2.9 \sim -1.4$ ，平均为 -1.0 ± 0.9 。根据股骨颈骨密度 Z 值分为两组：骨密度减低组 22 例（骨密度低于 1.0s 及以上），骨密度正常组 15 例（骨密度低于 1.0s 以内）。两组患者一般资料见表 1。与骨密度正常组相比，骨密度减低组具有较低的体重和较低的 BMI，而术前 Cobb 角、年龄、Risser 征、内固定节段数、置入物密度及术后随访时间均无显著性差异。

两组患者术后冠状位疗效影像学评估见表 2。两组术前平均 Cobb 角、AVT 和 C7-CSVL 无显著性差异，术后 3 个月及末次随访时平均 Cobb 角、术后及末次随访平均矫正率、平均矫正丢失及矫正丢失率无显著性差异 ($P>0.05$)；平均 AVT 亦无统计学差异 ($P>0.05$)；C7-CSVL 及随访 C7-CSVL 改变（末次随访时 C7-CSVL-术后 3 个月 C7-CSVL）均无显著性差异 ($P>0.05$)。

两组患者术后矢状位疗效影像学评估见表 3。两组术前、术后 3 个月及末次随访时的平均胸椎

后凸、腰椎前凸、SVA 均无显著性差异 ($P>0.05$)，随访 SVA 改变（末次随访时 SVA-术后 3 个月 SVA）亦无显著性差异 ($P>0.05$)。

3 讨论

3.1 AIS 患者的骨量状态

文献报道 AIS 患者存在显著骨量降低，且这种状况可一直从青春期持续到成年期^[3-5]。Burner 等^[13]首先提出特发性脊柱侧凸与骨密度降低有

表 2 骨密度正常组及减低组患者术前、术后 3 个月及末次随访时冠状位矫形效果比较 ($\bar{x} \pm s$)

Table 2 Comparison of the coronal correction reoperatively, immediately postoperatively and latest follow-up between the nonosteopenic and osteopenic group

	骨密度 正常组 Nonosteopenic (n=15)	骨密度 减低组 Osteopenic (n=22)	t 值 t value	P 值 P value
Cobb 角 (°) Cobb angle				
术前 Preop.	47.5±6.1	49.9±7.1	-1.086	0.285
术后 3 个月 Immediate postop.	18.9±7.0	21.2±6.1	-1.089	0.284
术后矫正率 (%) Immediate postop. correction rate	60.7±13.4	57.5±11.6	0.775	0.443
末次随访 Latest follow-up	22.4±7.9	25.5±6.2	-1.383	0.175
末次随访矫正率 (%) Latest follow-up correction rate	53.1±13.3	49.0±10.6	1.030	0.310
矫正丢失 (°) Correction loss	3.5±2.0	4.2±1.9	-1.061	0.296
矫正丢失率 (%) Correction loss rate	7.6±4.4	8.4±3.7	-0.637	0.528
冠状位顶椎偏移 (mm) AVT				
术前 Preop.	31.8±10.3	26.5±11.6	1.422	0.164
术后 3 个月 Immediate postop.	12.3±7.0	13.1±8.7	-0.321	0.750
末次随访 Latest follow-up	12.0±6.8	15.1±8.5	-1.211	0.234
C7 中垂线与骶骨中线的距离 (mm) C7-CSVL				
术前 Preop.	15.3±6.6	10.8±7.1	1.935	0.061
术后 3 个月 Immediate postop.	7.2±5.9	9.3±8.1	-0.873	0.389
末次随访 Latest follow-up	10.9±5.5	10.5±8.4	0.176	0.861
随访 C7-CSLV 改变 Change of C7-CSLV	6.3±4.3	7.0±4.8	-0.492	0.626

表 1 骨密度正常组及减低组患者一般资料比较 ($\bar{x} \pm s$)

Table 1 Comparison of the demographic data between the nonosteopenic and osteopenic group

	骨密度 正常组 Nonosteopenic (n=15)	骨密度 减低组 Osteopenic (n=22)	t 值 t value	P 值 P value
年龄 (岁) Age (years)	14.3±1.2	14.2±1.3	0.248	0.806
身高 (cm) Height	159.1±5.7	156.3±7.1	1.301	0.202
体重 (kg) Weight	46.2±5.1	41.0±5.8	2.842	0.007
体质量指数 (kg/m²) BMI	18.2±1.4	16.7±1.8	2.719	0.010
Risser 征 (级) Risser sign	2.7±1.5	2.6±1.6	0.058	0.954
术前 Cobb 角 (°) Preop. Cobb angle	47.5±6.1	49.9±7.1	-1.086	0.285
随访时间 (月) Follow-up time (months)	21.6±9.0	20.2±6.3	0.565	0.576
内固定节段数 Instrumented level	10.0±1.0	10.6±1.0	-1.846	0.073
置入物密度 (%) Implant density	67.5±11.1	67.1±10.0	0.112	0.911

表 3 骨密度正常组与减低组患者术前、术后 3 个月及末次随访时矢状位矫形效果比较 ($\bar{x} \pm s$)

Table 3 Comparison of the sagittal correction preoperatively, immediately postoperatively and latest follow-up between the nonosteopenic and osteopenic group

	骨密度 正常组 Nonosteopenic (n=15)	骨密度 减低组 Osteopenic (n=22)	t 值 t value	P 值 P value
胸椎后凸($^{\circ}$) T5~T12 TK				
术前 Preop	13.3 $\pm$ 5.6	13.5 $\pm$ 7.1	-0.106	0.916
术后 3 个月 Immediate postop.	18.5 $\pm$ 3.8	17.1 $\pm$ 3.6	1.131	0.266
末次随访 Latest follow-up	18.8 $\pm$ 3.1	17.1 $\pm$ 4.3	1.278	0.210
腰椎前凸($^{\circ}$) L1~S1 LL				
术前 Preop.	50.1 $\pm$ 6.1	51.0 $\pm$ 8.2	-0.375	0.710
术后 3 个月 Immediate postop.	49.3 $\pm$ 7.3	47.5 $\pm$ 7.7	0.745	0.461
末次随访时 Latest follow-up	52.8 $\pm$ 6.9	49.3 $\pm$ 8.6	1.304	0.201
C7 中垂线与骶骨后上缘的距离(mm) SVA				
术前 Preop.	21.4 $\pm$ 15.4	25.0 $\pm$ 16.7	-0.643	0.524
术后 3 个月 Immediate postop.	17.5 $\pm$ 13.6	19.7 $\pm$ 11.4	-0.527	0.601
末次随访时 Latest follow-up	30.4 $\pm$ 12.7	26.8 $\pm$ 16.0	0.728	0.472
随访 SVA 改变 Change of SVA	20.0 $\pm$ 11.3	17.3 $\pm$ 16.3	0.565	0.576

关。之后 Cheng 等^[3]与吴洁等^[5]均发现 AIS 患者存在全身性骨密度降低,而非局限性骨密度降低。最近, Lee 等^[14]的研究发现骨密度与侧凸 Cobb 角呈负相关,严重脊柱侧凸患者的骨密度明显低于同龄轻度脊柱侧凸患者,经过多因素分析表明 Cobb 角是影响 AIS 青春期骨密度的重要独立因素。

本研究所有 AIS 患者腰椎骨密度 Z 值平均为 -1.4 ± 0.9 ,股骨颈骨密度 Z 值平均为 -1.0 ± 0.9 ,说明 AIS 患者存在全身性骨密度降低,而非局限性的骨密度降低,这与文献报道结果一致^[15-19]。腰椎及股骨颈两部位骨密度的差异可能与腰椎骨密度受脊柱侧凸后椎体畸形、旋转、凹侧椎体压缩等因素影响相关^[3,20]。因此,本研究选用股骨颈骨密度作为确定骨量正常组与骨量减少组的研究指标,可有效避免腰椎骨密度测量误差对研究结果的影响。

根据股骨颈骨密度 Z 值不同将 AIS 患者分

为两组:骨密度正常组与骨密度减低组,骨量降低的发生率为 59.4%,其中骨密度减低 18 例(48.6%),骨质疏松 4 例(10.8%),这与文献中报道的比率相似^[5,6,14]。骨密度减低组患者有较低的术前身高、体重、BMI 和 Risser 征,其中体重、BMI 具有显著性的统计学差异,与文献结果一致^[14]。

3.2 AIS 患者低骨量对手术疗效的影响

文献报道 AIS 患者经后路椎弓根矫形内固定植骨融合术的矫正率为 50%~72%,平均矫正丢失率为 4%~8%,其中矫正丢失主要发生在术后 1 年内^[21-23]。本研究 AIS 患者术后 3 个月矫正率平均 58.7%,末次随访平均矫正丢失 3.9°,矫正丢失率 8.0%,与文献报道一致^[24]。

早在 1986 年 Zindrick 等^[25]就已经指出影响椎弓根螺钉把持力最重要的因素就是椎体骨质疏松的程度。之后许多学者^[7-10,26,27]通过研究证实椎体骨密度可影响椎弓根螺钉的稳定性。Yamagata 等^[8]与 Halvorson 等^[9]通过体外生物力学比较发现,椎体的骨密度与椎弓根螺钉的把持力存在正性相关,即椎弓根螺钉的把持力在骨质疏松状况下明显降低。近来, Okuyama 等^[10]通过对患者随访影像学资料的分析,发现椎体骨密度与椎弓根螺钉的稳定性存在明显的相关性。崔轶等^[27]发现椎弓根螺钉的最大轴向拔出力不仅与椎体 BMD 的变化密切相关,亦与椎弓根钉道松质骨及皮质骨空间结构参数相关。而椎弓根螺钉的固定强度主要依靠椎弓根螺钉周围的皮质骨^[29],椎弓根螺钉切入皮质骨越多其固定强度越大。Yeung 等^[28]发现 AIS 患者皮质骨骨量也存在明显的减低。AIS 患者全身性骨密度的减低可能对椎弓根螺钉的稳定性造成影响。然而本研究骨密度正常组末次随访时平均矫正丢失 3.5 $\pm$ 2.0°,与骨密度减低组相似 ($P>0.05$),且前者术后随访 C7-CSVL 改变和 SVA 改变与骨密度减低组亦无显著性差异 ($P>0.05$),即两组 AIS 患者术后随访无论矫正丢失,还是冠状位及矢状位平衡改变均无显著性差异。本研究中骨量降低患者 22 例(59.5%),但其中骨质疏松仅 4 例(10.8%),大多数病例为骨量减少(48.6%)。因此,我们推测 AIS 患者骨密度减低程度较轻,尤其是皮质骨骨量减低程度(文献报道^[28]减低 1.7%),不足以影响椎弓根螺钉固定的稳定性。

总之, AIS 患者可同时伴有全身性骨密度减

低, 但 AIS 女孩术前低骨密度状态对后路矫形内固定融合术后疗效无明显影响。

4 参考文献

1. Brooks HL, Azen SP, Gerberg E, et al. Scoliosis: a prospective epidemiological study[J]. J Bone Joint Surg Am, 1975, 57(7): 968-972.
2. Lowe TG, Edgar M, Margulies JY, et al. Etiology of idiopathic scoliosis: current trends in research[J]. J Bone Joint Surg Am, 2000, 82(8): 1157-1168.
3. Cheng JC, Guo X. Osteopenia in adolescent idiopathic scoliosis: a primary problem or secondary to the spinal deformity[J]. Spine, 1997, 22(15): 1716-1721.
4. Cheng JC, Guo X, Sher AH. Persistent osteopenia in adolescent idiopathic scoliosis: a longitudinal follow up study [J]. Spine, 1999, 24(12): 1218-1222.
5. 吴洁, 邱勇, 孙燕芳, 等. 青少年特发性脊柱侧凸患者骨密度变化的分析[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2004, 14(10): 598-600.
6. Cheng JC, Qin L, Cheung CS, et al. Generalized low areal and volumetric bone mineral density in adolescent idiopathic scoliosis[J]. J Bone Miner Res, 2000, 15(8): 1587-1595.
7. Coe JD, Warden KE, Herzig MA, et al. Influence of bone mineral density on the fixation of thoracolumbar implants: a comparative study of transpedicular screws, laminar hooks, and spinous process wires[J]. Spine, 1990, 15(9): 902-907.
8. Yamagata M, Kitahara H, Minami S, et al. Mechanical stability of the pedicle screw fixation systems for the lumbar spine [J]. Spine, 1992, 17(3 Suppl): S51-S54.
9. Halvorson TL, Kelley LA, Thomas KA, et al. Effects of bone mineral density on pedicle screw fixation[J]. Spine, 1994, 19(21): 2415-2420.
10. Okuyama K, Abe E, Suzuki T, et al. Influence of bone mineral 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.
11. 孙旭, 朱泽章, 邱勇, 等. 初诊骨密度对女性青少年特发性脊柱侧凸患者早期支具治疗效果的预测价值[J]. 中华外科杂志, 2008, 46(14): 1066-1069.
12. Imrie M, Yaszay B, Bastrom TP, et al. Adolescent idiopathic scoliosis: should 100% correction be the goal[J]. J Pediatr Orthop, 2011, 31(1 Suppl): S9-S13.
13. Burner WL 3rd, Badger VM, Sherman FC. Osteoporosis and acquired back deformities[J]. J Pediatr Orthop, 1982, 2(4): 383-385.
14. Lee WT, Cheung CS, Tse YK, et al. Association of osteopenia with curve severity in adolescent idiopathic scoliosis: a study of 919 girls[J]. Osteoporos Int, 2005, 16(12): 1924-1932.
15. Cook SD, Harding AF, Morgan EL, et al. Trabecular bone mineral density in idiopathic scoliosis [J]. J Pediatr Orthop, 1987, 7(2): 168-174.
16. Yagi M, Boachie-Adjei O, King AB. Characterization of osteopenia/osteoporosis in adult scoliosis: does bone density affect surgical outcome[J]. Spine, 2011, 36(20): 1652-1657.
17. Mounach A, Abayi DA, Ghazi M, et al. Discordance between hip and spine bone mineral density measurement using DXA: prevalence and risk factors [J]. Semin Arthritis Rheum, 2009, 38(6): 467-471.
18. Woodson G. Dual X-ray absorptiometry T-score concordance and discordance between the hip and spine measurement sites[J]. J Clin Densitom, 2000, 3(4): 319-324.
19. Moayyeri A, Soltani A, Tabari NK, et al. Discordance in diagnosis of osteoporosis using spine and hip bone densitometry[J]. BMC Endocr Disord, 2005, 5(1): 3.
20. Deacon P, Flood BM, Dickson RA. Idiopathic scoliosis in three dimensions: a radiographic and morphometric analysis [J]. J Bone Joint Surg Br, 1984, 66(4): 509-512.
21. Lenke LG, Bridwell KH, Baldus C, et al. Cotrel-Dubousset instrumentation for adolescent idiopathic scoliosis[J]. J Bone Joint Surg Am, 1992, 74(7): 1056-1067.
22. Lenke LG, Bridwell KH, Blanke K, et al. Radiographic results of arthrodesis with Cotrel-Dubousset instrumentation for the treatment of adolescent idiopathic scoliosis: a five to ten-year follow-up study[J]. J Bone Joint Surg Am, 1998, 80(6): 807-814.
23. Kim YJ, Lenke LG, Cho SK, et al. Comparative analysis of pedicle screw versus hook instrumentation in posterior spinal fusion of adolescent idiopathic scoliosis[J]. Spine, 2004, 29(18): 2040-2048.
24. Hung VW, Qin L, Cheung CS, et al. Osteopenia: a new prognostic factor of curve progression in adolescent idiopathic scoliosis[J]. J Bone Joint Surg Am, 2005, 87(12): 2709-2716.
25. Zindrick MR, Wiltse LL, Widell EH, et al. A biomechanical study of intrapeduncular screw fixation in the lumbosacral spine[J]. Clin Orthop Related Res, 1986, 203: 99-112.
26. 唐纪衡, 陈建海, 姜保国, 等. 椎弓根螺钉把持椎弓根皮质骨对其固定强度的影响[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2005, 15(7): 429-432.
27. 崔轶, 雷伟, 刘达, 等. 不同骨密度绵羊腰椎模型的椎弓根钉道空间结构及其力学性能[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2010, 20(4): 281-285.
28. Yeung HY, Qin L, Hung VW, et al. Lower degree of mineralization found in cortical bone of adolescent idiopathic scoliosis(AIS)[J]. Stud Health Technol Inform, 2006, 123: 599-604.

(收稿日期: 2011-11-08 修回日期: 2012-03-19)

(英文编审 孙浩林/贾丹彤)

(本文编辑 卢庆霞)