

临床论著

单节段脊柱去松质骨截骨与双节段经椎弓根截骨
矫正强直性脊柱炎后凸畸形的临床效果比较

齐 鹏, 宋 凯, 张永刚, 王 岩, 崔 赓

(中国人民解放军总医院骨科 100853 北京市)

【摘要】目的:比较单节段脊柱去松质骨截骨(vertebral column decancellation,VCD)与双节段经椎弓根截骨(pedicle subtraction osteotomy,PSO)矫正强直性脊柱炎后凸畸形的临床效果,探索两者之间的差异性。方法:2007 年 1 月~2013 年 3 月共有 33 例需行 40° ~ 65° 截骨的强直性脊柱炎后凸畸形矫形术后患者纳入研究,其中男 31 例,女 2 例,年龄 19~56 岁(35.2 ± 8.9 岁),后凸畸形以胸腰段后凸为重,脊柱胸腰段后凸 Cobb 角 $42.3^{\circ}\pm 15.2^{\circ}$,腰段前凸 Cobb 角 $4.4^{\circ}\pm 16.4^{\circ}$ 。A 组 15 例行单节段 VCD,B 组 18 例行双节段 PSO,记录手术前后胸椎后凸角、胸腰段后凸角、腰椎前凸角、矢状面垂直轴、骨盆入射角、骨盆倾斜角、骶骨倾斜角、截骨角度、脊柱侧凸研究学会(Scoliosis Research Society,SRS)-22 量表评分、Oswestry 功能障碍指数(Oswestry disability index,ODI)、术中出血量及手术时间,比较两组观察指标及其变化量之间的差异。结果:A 组截骨部位分别为 T12 1 例、L2 6 例、L3 8 例,截骨角度 46.7° ~ 64.2° ($53.6^{\circ}\pm 6.7^{\circ}$);B 组截骨部位分别为 L1、L3 13 例,T12、L2 4 例,T12、L3 1 例,截骨角度 45.1° ~ 63.9° ($55.6^{\circ}\pm 6.0^{\circ}$)。固定节段于截骨部位近端及其远端延伸至少 2 个椎体,B 组截骨部位之间椎体均固定。A、B 两组患者术后均未出现神经系统并发症。A、B 两组术后胸腰段后凸角、腰椎前凸角、骶骨倾斜角、骨盆倾斜角、矢状面垂直轴、ODI、SRS-功能评分、SRS-疼痛评分、SRS-外观评分、SRS-心理评分、SRS-满意度评分均较术前明显改善($P<0.05$),A 组术后胸椎后凸角与术前相比差异无统计学意义($P>0.05$),B 组术后胸椎后凸角与术前相比变小且差异有统计学意义($P<0.05$)。两组观察指标对比,除胸椎后凸角变化量、术中出血量和手术时间两组间有统计学差异($P<0.05$)外,余均无统计学差异($P>0.05$)。结论:对于需行 40° ~ 65° 截骨角度的强直性脊柱炎后凸畸形患者,单节段 VCD 可取得与双节段 PSO 相似的矫正效果,且术中出血量更少,手术时间更短,在重建矢状面平衡与改善生活质量方面效果满意。

【关键词】强直性脊柱炎;单节段脊柱去松质骨截骨;双节段经椎弓根截骨;对比分析

doi:10.3969/j.issn.1004-406X.2015.09.02

中图分类号:R682.3,R593.23 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2015)-09-0775-06

Comparison of the clinical effect in ankylosing spondylitis-related kyphosis between one-level vertebral column decancellation and two-level pedicle subtraction osteotomy/QI Peng, SONG Kai, ZHANG Yonggang, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2015, 25(9): 775-780

【Abstract】Objectives: To investigate the surgical outcome differences of ankylosing spondylitis(AS)-related kyphosis between one-level vertebral column decancellation and two-level pedicle subtraction osteotomy. Methods: From January 2007 to March 2013, 33 patients(31 males and 2 females) with an osteotomy angle between 40° and 65° , and with an average age of 35.2 years(19-56 years) were reviewed. The thoracolumbar kyphosis angle was $42.3^{\circ}\pm 15.2^{\circ}$ and the lumbar lordosis angle was $4.4^{\circ}\pm 16.4^{\circ}$. Group A included 15 cases who underwent one-level vertebral column decancellation, and group B included 18 cases who underwent two-level pedicle subtraction osteotomy. The thoracic kyphosis, thoracolumbar kyphosis, lumbar lordosis, sagittal vertical axis, pelvic incidence, pelvic tilt, sacral slope, osteotomy angle, Scoliosis Research Society(SRS)-22 and Oswestry disability index(ODI) score at the pre- and post-operation were recorded between 2 groups. The observational indexes before and after surgery as well as the differences of the observational index variation

第一作者简介:男(1990-),硕士研究生,研究方向:脊柱外科

电话:(010)66938302 E-mail:qp301@sina.com

通讯作者:崔赓 E-mail:cuigeng@aliyun.com

between group A and group B were compared, respectively. **Results:** The osteotomy sites of group A included 1 in T12, 6 in L2 and 8 in L3, respectively. Osteotomy angle ranged from 46.7° to 64.2° ($53.6^\circ \pm 6.7^\circ$). The osteotomy sites of group B included 13 in L1 and L3 respectively; 4 in T12, L2 and 1 in T12 and L3 each. Osteotomy angle ranged from 45.1° to 63.9° ($55.6^\circ \pm 6.0^\circ$). The fixed segment in the proximal and distal segments extended at least two vertebral bodies, the vertebral body between osteotomy sites in group B must be fixed. The neurological complication was not noted in 2 groups after operation. The thoracic kyphosis, thoracic kyphosis, lumbar lordosis, sagittal vertical axis, pelvic tilt, sacral slope, SRS-22 and ODI of two groups improved significantly ($P < 0.05$) after operation except of the thoracic kyphosis of group A ($P > 0.05$). The differences of observational index variation between group A and group B showed no statistical significance ($P > 0.05$) except of the changes of thoracic kyphosis, peri-operative bleeding and operation time ($P < 0.05$). **Conclusions:** One-level vertebral column decancellation and two-level pedicle subtraction osteotomy have similar outcomes for AS patients with the osteotomy angle between 40° and 65° . While for sagittal balance and improvement of the quality of life, one-level vertebral column decancellation is more satisfactory.

[Key words] Ankylosing spondylitis; One-level vertebral column decancellation; Two-level pedicle subtraction osteotomy; Comparative analysis

[Author's address] Institute of Orthopedics, General Hospital of PLA, Beijing, 100853, China

强直性脊柱炎 (ankylosing spondylitis, AS) 是一种主要累及中轴骨的慢性炎性疾病^[1], 由于炎症反应的作用, 引起骨质侵蚀、肌腱韧带骨化, 最终导致脊柱强直性后凸畸形^[2], 进而影响患者站立、行走、呼吸和平视功能^[3]。Wang 等^[4]通过对传统椎体切除 (vertebral column resection, VCR) 技术的改良, 结合“蛋壳技术”, 发展成为脊柱去松质骨截骨 (vertebral column decancellation, VCD) 技术, 由于其截骨铰链点的后移, 造成前开放、后闭合式截骨, 以更少的截骨量取得了更大的截骨角度, 因此单节段的 VCD 技术最大截骨角度可达 60° 左右, 形成与部分传统的双节段经椎弓根截骨 (pedicle subtraction osteotomy, PSO) 技术相同的截骨角度。虽然一期双节段截骨被证实是安全有效的^[5], 但是相同截骨角度下, 由于脊柱力学环境的不同, 是否会对 AS 后凸畸形患者术后生活质量造成影响, 目前还没有相关研究报道。我院 2007 年 1 月~2013 年 3 月对截骨角度在 $40^\circ \sim 65^\circ$ 的 AS 后凸畸形患者, 分别采用单节段 VCD、双节段 PSO 矫正术, 观察其临床效果, 探索两种截骨矫正术之间的差异性。

1 资料和方法

1.1 一般资料

纳入标准: (1) 诊断为 AS 后凸畸形; (2) 病情稳定, 血沉及 C-反应蛋白在正常范围内; (3) 截骨角度在 $40^\circ \sim 65^\circ$ 的单、双椎体截骨; (4) 影像学及

随访资料完善。排除标准: (1) 髋关节强直, 活动受限; (2) 有脊柱相关病史及手术史; (3) 伴有脊髓神经症状体征; (4) 随访资料不完善。

2007 年 1 月~2013 年 3 月共有 33 例 AS 后凸畸形患者纳入本研究。其中男 31 例, 女 2 例, 年龄 $19 \sim 56$ 岁, 平均 35.2 ± 8.9 岁, 后凸畸形以胸腰段后凸为重, 脊柱胸腰段后凸 Cobb 角 $42.3^\circ \pm 15.2^\circ$, 腰段前凸 Cobb 角 $4.4^\circ \pm 16.4^\circ$ 。A 组 15 例行单节段 VCD, B 组 18 例行双节段 PSO。

1.2 手术方法

全麻后俯卧位, 调整折叠手术床与患者后凸相适应的形状, 后正中切口, 沿骨膜下剥离组织, C 型臂 X 线机定位截骨节段后, 分别于截骨节段近端及远端至少置入 2 对椎弓根螺钉, 为减少术中出血, 先保留椎板, 于截骨节段椎弓根处使用磨钻经椎弓根磨除部分楔形椎体, 其中 A 组根据 Wang 等^[4]的 VCD 技术以中柱为铰链点, B 组截骨以椎体前沿为铰链点, 保留前方椎体皮质, 为保证截骨后稳定程度, 采用跳跃式截骨, 两个截骨椎体之间保留一个椎体并置钉。去除截骨节段椎板, 临时棒固定截骨节段上下椎弓根螺钉, 塌陷式咬除椎弓根内壁、椎体后壁骨质。根据所需截骨角度, 预弯钛棒至脊柱截骨复位后的形状, 缓慢调整手术床使脊柱复位, 逐渐闭合截骨间隙, 确保硬膜囊及神经根无受压, C 型臂 X 线机确认复位良好, 无明显偏移, 行唤醒试验, 确认双下肢活动正常后, 将其余节段棘突切除, 连同椎板减压骨粒制作

骨床,留置引流管后逐层缝合切口。

1.3 观察指标

在术前及术后站立位全长脊柱 X 线片上测量各影像学指标。(1)胸椎后凸角(thoracic kyphosis, TK):T4 椎体上终板与 T12 椎体下终板之间的夹角(后凸为正,前凸为负)。(2)胸腰段后凸角(thoracolumbar kyphosis, TLK):T10 椎体上终板与 L2 椎体下终板之间的夹角(后凸为正,前凸为负)。(3)腰椎前凸角(lumbar lordosis, LL):L1 椎体上终板与 S1 椎体上终板之间的夹角(前凸为正,后凸为负)。(4)矢状面垂直轴(sagittal vertical axis, SVA):C7 铅垂线至 S1 终板后上角的垂直距离。(5)骨盆入射角(pelvic incidence, PI):S1 上终板中点与两股骨头中点连线中点的连线与垂直 S1 上终板直线的夹角。(6)骨盆倾斜角(pelvic tilt, PT):S1 上终板中点与两股骨头中心连线中点的连线与水平垂线的夹角。(7)骶骨倾斜角(sacral slope, SS):S1 上终板与水平线的夹角。

截骨角度为矫形术前后截骨节段近端椎体下终板与远端椎体上终板 Cobb 角变化值。术前及术后 6 个月采用脊柱侧凸研究学会(Scoliosis Research Society, SRS)-22 问卷调查表评分和 Oswestry 功能障碍指数(Oswestry disability index, ODI)评估。记录术中出血量及手术时间。

1.4 统计学处理

应用 SPSS 16.0 进行统计学处理,采用均数±标准差将手术前后影像学参数与主观评分行配对 *T* 检验;A、B 组间均值比较,符合正态分布者采用单因素方差分析,不符合者采用非参数检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

A 组截骨部位:T12 1 例,L2 6 例,L3 8 例;截骨角度为 $46.7^{\circ} \sim 64.2^{\circ}$ (图 1);B 组截骨部位:L1/L3 13 例,T12/L2 4 例,T12/L3 1 例;截骨角度为 $45.1^{\circ} \sim 63.9^{\circ}$ (图 2)。固定节段于截骨部位近端及其远端延伸至少 2 个椎体,B 组截骨部位之间椎体均固定。两组患者术后均未出现神经系统并发症。

两组患者手术前后影像学测量结果见表 1, ODI 及 SRS-22 量表评分结果见表 2。两组术后 TLK、LL、SS、PT、SVA、ODI、SRS-功能评分、SRS-疼痛评分、SRS-外观评分、SRS-心理评分、SRS-满意度评分均较术前有统计学差异($P < 0.05$),A 组术后 TK 与术前相比差异无统计学意义($P > 0.05$),B 组术后 TK 与术前相比差异有统计学意义($P < 0.05$)。手术前后各影像学参数变化值、PI、截骨角度、手术时间、术中出血量、ODI 变化值和



图 1 患者男,38 岁,L3 单节段脊柱去松质骨截骨 a 截骨节段术前后凸 Cobb 角 2° b 截骨节段术后前凸 Cobb 角 53° ,截骨角度= $2^{\circ}+53^{\circ}=55^{\circ}$ c 术后即刻 CT 示截骨部位情况 图 2 患者男,40 岁,T12/L2 双节段经椎弓根截骨 a 截骨节段术前后凸 34° b 截骨节段术后前凸 25° ,截骨角度= $34^{\circ}+25^{\circ}=59^{\circ}$ c 术后即刻 CT 示截骨部位情况

Figure 1 A case of vertebral column decancellation(VCD), male, 38 years, osteotomy site in L3 a The kyphosis of osteotomy site is 2° in the pre-operation b The lordosis of osteotomy site is 53° in the post-operation. Osteotomy angle= $2^{\circ}+53^{\circ}=55^{\circ}$ c The immediate CT scan in the post-operation shows the situation of osteotomy site **Figure 2** A case of pedicle subtraction osteotomy(PSO), male, 40 years, osteotomy site in T12, L2 a The kyphosis of osteotomy site is 34° in the pre-operation b The lordosis of osteotomy site is 25° in the post-operation. Osteotomy angle= $34^{\circ}+25^{\circ}=59^{\circ}$ c The immediate CT scan in the post-operation shows the situation of osteotomy site

SRS-22 量表评分变化值见表 3。A 组术中出血量及手术时间均低于 B 组($P<0.05$)。A、B 两组比较,除 TK 变化量、术中出血量和手术时间两组间有统计学差异外($P<0.05$),其他影像学参数变化量、主观评分变化量、PI、截骨角度均无统计学差异($P>0.05$)。

3 讨论

随着“经济圆锥体”^[6]的提出,人们越来越重视矢状面平衡在双足平衡机制中的作用^[7-9]。AS 患者由于长期的炎症活动导致椎体骨赘增生、韧带

骨化,逐渐形成强直性后凸畸形^[10,11],后凸导致了躯干重心病理前移,为了恢复低能量消耗体位,降低机体的能量消耗,患者通常需要代偿性伸髋、屈膝,通过骨盆的后倾促使躯干重心重新处于中立位线上。但当后凸畸形无法通过代偿来维持平衡时,患者的活动能力明显受限,生活质量急剧下降^[12,13]。由于 AS 的病理学特征,导致其脊柱僵硬、骨性融合,造成 AS 后凸畸形患者自身代偿能力有限,只能通过手术干预进行后凸的矫正。但脊柱融合后活动度和弹性明显降低,如果不进行截骨,其手术矫正率非常有限。近年来,各类截骨矫形技

表 1 两组患者手术前后影像学参数测量结果 ($\bar{x}\pm s$)
Table 1 The outcome of radiographic parameters in the pre-and post-operation between two groups

	TK(°)	TLK(°)	LL(°)	SS(°)	PT(°)	SVA(cm)
A组(n=15) Group A						
术前 Pre-operation	54.48±15.70	37.18±15.96	5.89±19.32	12.17±9.38	38.69±10.27	23.64±9.91
术后 Post-operation	52.23±14.16	10.20±18.76 ^①	52.33±10.76 ^①	29.91±8.25 ^①	20.81±8.30 ^①	6.39±5.76 ^①
B组(n=18) Group B						
术前 Pre-operation	58.14±21.51	46.56±13.52	3.22±13.94	9.56±8.62	41.90±10.15	22.19±5.57
术后 Post-operation	49.30±18.02 ^②	11.91±14.35 ^②	50.37±12.50 ^②	30.74±6.70 ^②	20.59±9.46 ^②	6.85±5.34 ^②

注:TK,胸椎后凸角;TLK,胸腰段后凸角;LL,腰椎前凸角;SS,骶骨倾斜角;PT,骨盆倾斜角;SVA,矢状面垂直轴。①与 A 组术前相比 $P<0.05$;②与 B 组术前相比 $P<0.05$

Note: TK, thoracic kyphosis; TLK, thoracolumbar kyphosis; LL, lumbar lordosis; SS, sacral slope; PT, pelvic tilt; SVA, sagittal vertical axis; ①Compared with group A before operation, $P<0.05$; ②Compared with group B before operation, $P<0.05$

表 2 两组患者手术前后 ODI 及 SRS-22 量表评分 ($\bar{x}\pm s$)
Table 2 The ODI score and SRS-22 scale in the pre-and post-operation between two groups

	ODI	SRS-22 量表评分 SRS-22 scales				
		功能 Function	疼痛 Pain	外观 Appearance	心理 Mental health	满意度 Satisfaction of management
A组 (n=15) Group A						
术前 Pre-operation	33.9±8.3	2.62±0.53	2.70±1.15	1.75±0.46	2.47±0.79	1.46±0.33
术后 Post-operation	7.8±10.6 ^①	4.43±0.36 ^①	4.50±0.36 ^①	4.30±0.30 ^①	4.48±0.40 ^①	4.63±0.38 ^①
B组 (n=18) Group B						
术前 Pre-operation	29.2±11.2	2.43±0.36	2.43±0.63	1.58±0.47	2.40±1.18	1.31±0.26
术后 Post-operation	4.4±16.2 ^②	4.08±0.35 ^②	4.35±0.44 ^②	4.30±0.24 ^②	4.23±0.59 ^②	4.88±0.23 ^②

注:ODI, Oswestry 功能障碍指数;SRS, 脊柱侧凸研究学会;①与 A 组术前相比 $P<0.05$;②与 B 组术前相比 $P<0.05$

Note: ODI, Oswestry disability index; SRS, Scoliosis Research Society; ①Compared with group A before operation, $P<0.05$; ②compared with group B before operation, $P<0.05$

表 3 A、B 两组资料对比

Table 3 The data between group A and group B

	A组 Group A	B组 Group B
病例数 Case	15	18
△TK	2.25±4.96	8.84±11.31 ^①
△TLK	26.98±23.64	34.66±13.66
△LL	46.44±17.20	47.15±13.13
△SVA	17.24±9.51	15.34±5.20
△PT	17.88±7.31	21.31±6.73
△SS	17.73±8.94	21.18±7.12
PI(°)	50.38±12.48	51.46±9.10
截骨角度(°) Osteotomy angle	53.57±6.67	55.64±5.96
术中出血量(ml) Peri-operative bleeding	1230±608	1965±1312 ^①
手术时间(h) Operative time	4.30±0.88	6.47±1.29 ^①
△ODI	26.1±9.6	24.8±9.0
△SRS-22		
功能 Function	1.82±0.66	1.65±0.30
疼痛 Pain	1.80±1.07	1.93±0.69
外观 Appearance	2.55±0.60	2.73±0.49
心理 Mental health	2.02±0.90	1.83±0.80
满意度 Satisfaction of management	3.17±0.54	3.56±0.32

注:△,手术前后变化量;PI,骨盆入射角;①与 A 组比较 $P<0.05$

Note: △, the variable in pre- and post-operation; PI, pelvic incidence; ①Compared with group A, $P<0.05$

术已应用于临床矫正此类后凸畸形患者,通过对比研究^[14],PSO 由于其较高的矫正率及相对较少的手术相关并发症,与 Smith-Petersen osteotomy (SPO)、VCR (vertebral column resection) 对比,较为推荐应用于 AS 后凸畸形矫形术。但文献报道单椎体的 PSO 极少能超过 40°^[15],所以 Chen 等^[16]提出了双节段 PSO, Zheng 等^[5]的回顾性研究也指出一期双节段截骨对于 AS 后凸畸形的矫形安全有效。然而后凸的矫正不仅仅是为了改善患者的外观,更重要的是重建矢状面平衡,达到改善 AS 后凸畸形患者活动能力和生活质量的目的^[11,13]。所以对于 AS 后凸患者的脊柱矫形手术重点应在于恢复骨盆的中立位,重建矢状面的平衡上^[17],而非重建脊柱各节段的生理曲度。Zheng 等^[5]提出,矫正腰段后凸畸形相比于矫正胸腰段后凸畸形显得更有临床价值,重建腰椎前凸不仅可以达到恢复脊柱-骨盆中立位的目的,还因为截骨节段靠

下,远离脊髓,降低了严重神经并发症的几率。

由于 PSO 截骨角度的受限^[15],对于严重的 AS 后凸畸形,通常选择双节段 PSO 截骨来重建矢状面平衡^[16]。虽然研究证实一期双节段截骨是安全有效的^[5],但额外的截骨操作不可避免地会增加手术时间、术中失血量及手术相关并发症。Wang 等^[4]通过 VCR 与 PSO 技术的结合,并进行相关改良,形成了 VCD 技术,在增大截骨角度的同时,降低了截骨量,与传统的前开放后闭合式截骨 (closing-opening wedge osteotomy, COWO) 相比,该技术在去松质骨的前提下保留了部分松质骨充当“Bony cage”,减少了人工支撑内置物的使用,同时也有效避免了矫形过程中脊柱过度短缩带来的不良影响,使得脊柱截骨的安全性得到了提高。但相对于 AS 后凸畸形患者“C”型的脊柱后凸而言,同等截骨角度下,双节段截骨对于脊柱力学环境的改善明显优于单节段截骨,这种差异是否会造成临床效果的差异,还未有相关文献报道。本研究结果显示,同范围截骨角度下,双节段截骨对于 TK 的矫正明显优于单节段,差异有统计学意义;但对比矢状面脊柱、骨盆其他参数,两组间并没有统计学差异;通过对 AS 后凸畸形矫形术后患者的随访,可见 SRS-22 评分与 ODI 的变化量在两组间的差异也无统计学意义。由此可以初步认为,虽然单节段的 VCD 技术对于脊柱力线的重塑不及同等截骨角度下的双节段 PSO,但两者的临床效果并未显示出明显差异。

由于临床工作的局限性,本研究存在样本量较小的缺陷,可能会造成选择性偏倚,同时,随访资料的收集困难,缺少对于远期临床效果的评估,仍需要进一步的大样本量队列研究来完善相关结论。考虑到医疗费用及放射线暴露问题,AS 后凸畸形患者术后随访并未常规行 CT 检查,但笔者通过对个例的观察,发现单节段大角度的截骨患者,截骨部位融合速度通常较慢,出现假关节的可能性较高,考虑是否由于脊柱力学环境的因素,导致截骨面剪切力增加,应力局限于单个节段,导致局部的力学破坏而形成了假关节^[18,19]。由于随访资料的相对受限,笔者将继续下一步的随访来完善相关结论。

总之,对于需行 40°~65°截骨角度的强直性脊柱炎后凸畸形患者,单节段 VCD 显示出与双节段 PSO 相似的效果,且术中出血量更少,手术时

间更短, 在重建矢状面平衡与改善生活质量方面效果满意。

4 参考文献

1. Braun J, Sieper J. Ankylosing spondylitis[J]. *Lancet*, 2007, 369(9570): 1379–1390.
2. Rosenbaum J, Chandran V. Management of comorbidities in ankylosing spondylitis[J]. *Am J Med Sci*, 2012, 343(5): 364–366.
3. Kubiak EN, Moskovich R, Errico TJ, et al. Orthopaedic management of ankylosing spondylitis[J]. *J Am Acad Orthop Surg*, 2005, 13(4): 267–278.
4. Wang Y, Lenke LG. Vertebral column decancellation for the management of sharp angular spinal deformity[J]. *Eur Spine J*, 2011, 20(10): 1703–1710.
5. Zheng GQ, Sai K, Zhang YG, et al. Two-level spinal osteotomy for severe thoracolumbar kyphosis in ankylosing spondylitis: experience with 48 patients [J]. *Spine*, 2014, 39 (13): 1055–1058.
6. Frank S, Ashish P, Benjamin U, et al. Adult spinal deformity—postoperative standing imbalance: how much can you tolerate? An overview of key parameter in assessing alignment and planning corrective surgery[J]. *Spine*, 2010, 35(25): 2224–2231.
7. Le Huec JC, Saddiki R, Franke J, et al. Equilibrium of the human body and the gravity line: the basics[J]. *Eur Spine J*, 2011, 20(Suppl 5): 558–563.
8. Roussouly P, Pinheiro-Franco JL. Sagittal parameters of the spine: biomechanical approach[J]. *Eur Spine J*, 2011, 20(Suppl 5): 578–585.
9. Mac-Thiong JM, Labelle H, Roussouly P. Pediatric sagittal alignment[J]. *Eur Spine J*, 2011, 20(Suppl 5): 586–590.
10. Ozdemir O. Quality of life in patients with ankylosing spondylitis: relationships with spinal mobility, disease activity and functional status[J]. *Rheumatol Int*, 2011, 31(5): 605–610.
11. Debarge R, Demey G, Roussouly P. Radiological analysis of ankylosing spondylitis patients with severe kyphosis before and after pedicle subtraction osteotomy [J]. *Eur Spine J*, 2010, 19(1): 65–70.
12. Shin JK, Lee JS, Goh TS, et al. Correlation between clinical outcome and spinopelvic parameters in ankylosing spondylitis [J]. *Eur Spine J*, 2014, 23(1): 242–247.
13. Song K, Zheng G, Zhang Y, et al. A new method for calculation the exact angle required for spinal osteotomy[J]. *Spine*, 2013, 38(10): E616–620.
14. Gill JB, Levin A, Burd T, et al. Corrective osteotomies in spine surgery[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2008, 90(11): 2509–2520.
15. Arun R, Dabke HV, Mehdian H. Comparison of three types of lumbar osteotomy for ankylosing spondylitis: a case series and evolution of a safe technique for instrumented reduction [J]. *Eur Spine J*, 2011, 20(12): 2252–2260.
16. Chen IH, Chien JT, Yu TC. Transpedicular wedge osteotomy for correction of thoracolumbar kyphosis in ankylosing spondylitis: experience with 78 patients[J]. *Spine*, 2001, 26 (16): E354–360.
17. Debarge R, Demey G, Roussouly P. Sagittal balance analysis after pedicle subtraction osteotomy in ankylosing spondylitis [J]. *Eur Spine J*, 2011, 20(Suppl 5): 619–625.
18. Kim KT, Lee SH, Suk KS, et al. Spinal pseudarthrosis in advanced ankylosing spondylitis with sagittal plane deformity: clinical characteristics and outcome analysis[J]. *Spine*, 2007, 32(5): 1641–1647.
19. Chang KW, Tu MY, Huang HH, et al. Posterior correction and fixation without anterior fusion for pseudoarthrosis with kyphotic deformity in ankylosing spondylitis[J]. *Spine*, 2006, 31(13): E408–E413.

(收稿日期:2015-05-27 末次修回日期:2015-08-05)

(英文编审 蒋欣/贾丹彤)

(本文编辑 李伟霞)