

退变性腰椎侧后凸畸形的手术治疗

张国华, 陈宗成, 张顾议, 吴启明

(陆军台中总医院, 台湾脊柱外科中心, 台湾, 中国)

【摘要】目的:探讨依据术前制作的腰骶曲线模板经后路神经减压、非对称性闭合-开放式楔形截骨术 (asymmetric closing-opening wedge osteotomy) 矫正治疗退变性腰椎侧后凸畸形的手术方法与疗效。**方法:**31 例退变性腰椎侧后凸畸形患者, 年龄 65~78 岁, 平均 72.3 岁, 因难以忍受的疼痛接受手术矫治, 平均随诊 4.1 年, 以术前、术后 2 个月及末次随访时的 X 线片、问卷及并发症进行评估。**结果:**术中无并发症发生, 术后所有患者疼痛感明显及持续减轻。末次随访时的 X 线片显示 L1~S1 前凸角度由后凸 11.3° 矫正至前凸 50.5° (矫正 61.8°), 后凸畸形由 64.3° 矫正至前凸 14.1°, 侧凸畸形由 48.9° 矫正至 8.3°, 矢状面平衡由 68.8mm 矫正至 27.1mm, 骶股距 (sacrofemoral distance) 由 59.3mm 减至 -5.1mm, 骶椎倾斜角度 (sacral inclination angle) 由 9.7° 增至 34.3°。大部分病例都可维持良好的矫正及临床结果, 有 8 例 (26%) 发生交界后凸 (junctional kyphosis)。**结论:**闭合-开放式楔形截骨手术的三柱松解 (3-column release), 彻底的神经减压, 尽可能的矫正畸形, 以及重建脊柱、骨盆和身体重心 (center of gravity) 的良好关系是治疗退变性腰椎侧后凸畸形成功的关键因素, 单一后路手术可减少手术的危险, 交界后凸仍是一个尚未解决的难题。

【关键词】 腰椎侧后凸畸形; 闭合-开放式楔形截骨术; 退变性; 交界后凸; 重心

中图分类号: R682.3, R687.3 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2007)-07-0489-05

Surgical treatment of degenerative lumbar kyphoscoliosis/CHANG Kao -Wha, CHEN Tsung -Chen, CHANG Ku -I, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2007, 17(7):489-493

【Abstract】 Objective: Degenerative lumbar kyphoscoliosis (DLKS) causes sagittal and coronal imbalance, posterior sacral migration away from the center of gravity line, and compromises the mechanical advantage of erector spinal musculature. The result is muscle fatigue and activity-related pain. We review radiographic and clinical results of patients with DLKS treated with neurologic decompression, asymmetric closing-opening wedge osteotomy (COWO), instrumentation-assisted correction according to a preoperatively made template through a posterior-only approach. **Method:** Thirty-one patients with DLKS (mean age 72.3 years, range, 65~78 years) treated for intractable pain were followed up for a mean of 4.1 years. We assessed their preoperative, 2 month postoperative, and final follow-up radiographs and administered a questionnaire to measure changes in pain, function, self-image, patient satisfaction with surgery, and postoperative complications. **Result:** Final radiographs showed increased L1~S1 lordosis from 11.3° to -50.5° (increase of 61.8°), correction of kyphotic deformity from 64.3° to -14.1°, and correction of scoliotic deformity from 48.9° to 8.3°. Sagittal imbalance significantly improved from 68.8mm to 27.1mm, whereas the sacrofemoral distance decreased from 59.3mm to -5.1mm, and the sacral inclination angle increased from 9.7° to 34.3°. Subjective pain was significantly and persistently reduced. Most patients maintained good correction and had good clinical results. No major complication occurred. Eight patients (26%) developed junctional kyphosis. **Conclusion:** Through neurologic decompression, the best possible correction and restoration of sound associations among the spine, the pelvis, and the center of gravity, are crucial in the surgical treatment of DLKS to obtain satisfactory clinical results. The 3-column release procedure, COWO, and procedures of neurologic decompression and circumferential fusion at L5~S1 make DLKS flexible enough to be manipulated adequately from behind. A posterior-only approach minimizes the risk of surgery. Junctional kyphosis remains a significant problem.

【Key words】 Degenerative lumbar kyphoscoliosis; Closing-opening wedge osteotomy; Center of gravity; Junctional kyphosis

【Author's address】 No 348, Section 2, Chung-Shan rd, Taiping City, Taichung Hsein, Taiwan, China

第一作者简介: 男 (1953-), 医学学士, 主任医师, 教授, 研究方向: 脊柱外科

电话: 886-23935823 E-mail: admin_c@taiwanspinecenter.com

退变性腰椎侧后凸畸形(degenerative lumbar kyphoscoliosis, DLKS)是指腰椎多个椎间隙变窄及椎体楔形塌陷等退变性改变致显著的后凸及侧凸畸形。一般畸形曲线从下胸椎延伸至 L5, 顶椎在 L2 或 L3。患者因身体重心远离腰骶交界(lumbosacral junction), 其腰部肌群长期处于过度疲劳导致疼痛, 矫正这种畸形除了需重建躯干冠状面及矢状面平衡, 还需重建腰椎骨盆的一致性(lumbopelvic congruity), 以期能将骶椎岬部靠近身体之重心线。依据术前制作的骶腰曲线模型, 我们采用经后路神经减压、非对称闭合-开放式楔形截骨术(asymmetric closing-opening wedge osteotomy, COWO)及全周融合术(circumferential fusion)治疗 37 例 DLKS 患者, 回顾分析其治疗结果, 探讨影响疗效的因素。

1 资料和方法

1.1 一般资料

2000 年~2004 年共治疗 DLKS 患者 37 例, 其中 2 例死亡, 4 例失访, 其余 31 例患者中男 8 例, 女 23 例; 年龄 65~78 岁, 平均 72.3 岁, 排除外伤及医源性退变。所有患者都以双能量 X 线吸收测量仪(DEXA)检测其骨密度, 其中 10 例患者为骨质缺乏(osteopenic, T 值介于 -1.0 至 -2.5 之间), 21 例患者为骨质疏松(osteoporotic, T 值小于 -2.5)。MRI 检查椎间隙变窄及神经受压情况。

1.2 手术方法

术前依模拟计算制作能将骶椎岬部靠近身体重心线的腰骶曲线模板(template)。先将患者站立侧位 X 线片的腰椎骨盆部分放大至真人尺寸, 并影印在一张透明纸上, 再将纸分为髋、截骨以下的腰椎骨盆部分及截骨以上的胸腰椎三部分。先定位髋轴(hip axis)^[1], 并以此为圆心, 以原始的骨盆半径(pelvic radius, PR)为半径, 旋转横移腰椎骨盆部分并保持骨盆半径和 S1 交角(pelvic radius-S1 angle, PR-S1)不变(PR 及 PR-S1 应为常数(constant)^[1,2], 横移至骶股距(SFD)为 0(因为身体重心正常应位于骶椎岬部正下方附近)。再将胸腰部分以截骨节段的椎弓根为圆心向头端旋转以模拟手术中脊柱矫正的运动, 直至 L1 的后上角接触到由 S1 后上角和腰椎骨盆部分中各腰椎椎弓根部联接曲线之延长线, 至此其 S1 后上角至 L1 后上角之连接曲线即为暂时模型, 将 1 根在手术中

使用的钢棒一端依此预弯成型并于 L1 和 S1 的位置作记号, 并在此二点固定 2 枚椎弓根螺钉, 再依据重组各部分在透明纸上测量骨盆投射角(pelvic incidence)、S1 悬挂(overhang of S1, 即骶椎终板中心点之铅垂线与髋轴之铅垂线距离)、骶椎倾角(sacral slop)及骨盆斜度(pelvic tilting), 再依据 Legaye 等^[3]的公式计算出理想稳定的腰椎(L1~L5)前凸角度, 再依据 Jackson 等^[4]认为的 L1~S1 的前凸角度 2/3 应分配于 L4 以下, 及 Hammerberg 等^[5]认为的 70 岁以上患者 L1~L5 前凸角度 40%应位于 L4~L5 之间, 可计算出 L1 至 S1 前凸角度, 再将预弯棒对应 L4 至 S1 部分再预弯调整曲度, 使得弯棒上 L1 和 S1 椎弓根螺钉的夹角和计算值相同。理论上依此棒之曲线矫正可将骶椎岬部靠近身体重心。

患者取俯卧位, 髂骨嵴、膝、肩、胸以软垫支持, 悬空腹部以减少术中出血, 预先将截骨处安置于手术折叠床转轴上方, 以便矫正时可藉调整折叠床至 V 型位置将截骨处闭合。正中切口, 头端固定融合节段选择稳定椎, 椎体水平且其上方的椎间盘最好能均匀正常, 尾端至骶椎。骨膜下剥离至横突, 椎弓根螺钉由头端节段起置入直至骶椎及髂骨。彻底减压神经, 包括广泛的椎板切除、侧隐窝减压和椎间孔扩大。将截骨节段(通常为 L2)的椎弓根钉拔除, 切除该节的椎板及椎弓根, 再以骨刮匙经由拔除椎弓根钉所留的通道将椎体后及侧壁刮除或刮断, 前骨皮质以钝头的 cage 试模器敲断, 将椎体中的松质骨推向头尾两端, 至此该节的中后柱已完全松解。

将预弯棒按标记点连接至对应凸侧椎弓根螺钉上, 将手术床调至 V 型以便于矫形, 并提供腰椎骨盆部位在矢状面移动及旋转的空间, 旋转此棒以矫正侧凸畸形, 并在截骨处向凹下侧压, 将紧邻截骨处头尾端的椎弓根钉尾端互压靠近以矫正后凸畸形, 创造前凸角度, 在此过程中有时可听到截骨节段椎体前骨皮质的断裂声。截骨节段后外侧中后柱闭合, 前内侧前中柱开张从而形成非对称的前开后合状态, 即非对称闭合-开张截骨术。再以另一根凹侧弯棒固定, 并行自体骨植骨融合。经截骨中央孔以 Woodson 起子上下探查有无造成脊髓神经受压, 在截骨闭合后实施唤醒试验以确定其神经功能正常。

两侧均用髂骨长钉保护骶椎钉及加强骶椎之

间的固定,以楔形 cage 或骨块(strut graft)从后位行 L5 及 S1 的椎体间融合。对于 T 值小于-2.5 的 21 例骨质疏松患者,在紧邻头端固定节段的邻近椎体(adjacent vertebrae)置入所能容纳最大尺寸的 2 个 cage,以预防该节段坍塌骨折。

手术中失血超过 5000ml 则立刻停止手术,等 1~2 周患者体能恢复后再完成未完之手术,患者在术后 48h 可穿戴定做的胸腰椎支具保护下离床活动,支具固定 6 个月。

1.3 评估方法

取患者术前、术后 2 个月及末次随访时的 X 线片,在膝、髋关节伸展站立全脊柱 X 线片(包括髋关节)上测量,矢状面 Cobb 角(前凸以负数表示)包括 T1~T12 后凸角度、L1~S1 前凸角、骶椎倾斜角(inclination of the upper surface of the sacrum, SIA)^[6](前倾为正数)和骶股距(sacro-femoral distance, SFD)即两股骨头中心联接中点之垂直线^[1,2]与骶椎岬部(promontory)之水平距离(股骨在前方为正数),并测量 C7 铅垂线和 S1 后上角垂直线之水平距离。冠状面以 Cobb 法测量各侧凸角度,测量 C7 铅垂线和骶椎中央垂线之水平距离。最终随访时患者均完成一份问卷^[7],回答关于疼痛、功能、自我感觉(self-image)及对治疗满意度等共 46 个问题。以 Wilcoxon signed-rank 检验做统计学分析, $P < 0.05$ 为有统计学意义。

2 结果

失血量 2519~9362ml, 平均 3650ml, 手术时间 191~313min, 平均 245min, 无术中死亡或神经和大血管损伤并发症发生; 术后有 2 例患者发生肺炎, 成功治愈, 1 例发生表浅性感染经切开引流及

给予抗生素治愈, 1 例患者因充血性心功能衰竭发生肺栓塞, 经药物治疗治愈, 1 例患者在术后 3 周发生伤口裂开, 细菌培养阴性, 经伤口缝合后恢复良好, 10 例患者术后发生麻痹性肠胀气, 放置 Levin 管及限制饮食后都获得改善。

随访 2~6.3 年, 平均 4.1 年, 术前疼痛平均为 7.9 ± 1.1 , 术后为 2.3 ± 1.5 ($P = 0.01$), 27 例(87%)例陈述手术减轻其疼痛。术前功能为 9, 术后为 15 ($P = 0.03$), 16 例(52%)术后功能改善, 13 例(42%)不变, 2 例(6%)功能减少。“自我感觉”从术前的 4.5 进步至术后的 9.5 ($P = 0.03$), 28 例(90%)自觉改善, 3 例(10%)不变。29 例(94%)对治疗结果非常满意或满意, 会选择作同样手术治疗; 2(6%)例不太满意。

无骶椎钉拔出(pullout)发生, 有 1 例发生最头端的椎弓根钉拔出, 将固定延伸至上位胸椎, 2 例因 L5/S1 植骨未愈合而造成断棒, 2 例发生腰脊膜撕裂伤, 经适当处理后治愈。8 例(26%)头端固定处发生交界后凸畸形(junctional kyphosis), 其中 1 例因头端固定节段发生压缩性骨折, 1 例没有预防性置入 cage 加强紧靠头端节段发生压缩性骨折, 2 例在头端固定节段的上两节发生压缩性骨折, 都延长固定至上胸椎; 有 4 例无压缩性骨折, 但却逐渐发生交界后凸畸形, 其中有 2 例需延伸固定至上胸椎。

术前、术后 2 个月及末次随访时的影像学测量结果见表 1。6 例术前矢状面平衡正常, SFD 远大于正常值, L1~S1 前凸角估算值为 $-43.3^\circ \pm 9.8^\circ$ ($-36^\circ \sim -61^\circ$), 术后为 $-52.3^\circ \pm 12^\circ$ ($-33^\circ \sim -63^\circ$), 其差异具统计学意义 ($P = 0.04$)。除矢状面平衡和 T1~T12 后凸角外都没有明显的矫正丢失(图 1、2)。

表 1 31 例患者手术前、术后 2 个月及末次随访时的影像测量情况

($\bar{x} \pm s$)

	术前	术后 2 个月	末次随访
T1~T12 后凸角($^\circ$)	25.0 ± 9.1 (-7~48)	28.3 ± 7.8 (12~55)	37.8 ± 8.9 (13~53)
L1~S1 前凸角($^\circ$)	11.3 ± 3.2 (-5.7~21.3)	-52.3 ± 12.0 (-33~-63)	-50.5 ± 11.0 (-34~-65.3) ^①
后凸 Cobb 角($^\circ$)	64.3 ± 12.4 (49.1~73.1)	-13.3 ± 4.7 (-5~-22)	-14.1 ± 4.5 (-5.3~-24.4)
侧凸 Cobb 角($^\circ$)	48.9 ± 14.8 (32.3~71.6)	7.7 ± 4.1 (0~17)	8.3 ± 4.5 (0~14.8)
矢状面平衡(mm)	68.8 ± 11.3 (9.1~91.3)	-3.8 ± 4.0 (-11~22)	27.1 ± 3.2 (-5.1~45.2)
冠状面平衡(mm)	41.2 ± 11.3 (0~57.1)	14.5 ± 3.1 (0~18)	13.3 ± 2.1 (0~17.1)
骶椎倾斜角($^\circ$)	9.7 ± 4.8 (-9.8~18.1)	36.1 ± 7.1 (22~41)	34.3 ± 6.8 (21.1~38.8)
骶股距(mm)	59.3 ± 11.0 (29.4~78.3)	-6.1 ± 2.5 (-20~18)	-5.1 ± 2.1 (-19.1~18.3)

注: ①术前预估为 $-43.3^\circ \pm 9.8^\circ$ ($-36^\circ \sim -61^\circ$)



图 1 患者女, 70 岁 a 术前 X 线片示后凸 Cobb 角 71° , 侧凸 Cobb 角 65° , 矢状面平衡 36mm, L1 至 S1 前凸角 6° , 骶椎倾斜角 -7° , 骶股距 58mm b 末次随访时后凸 Cobb 角 -14° , 侧凸 Cobb 角 7° , 矢状面平衡 10mm, L1 至 S1 前凸角 -38° , 骶椎倾斜角 23° , 骶股距 5mm, 术后患者完全无痛, 对手术结果满意

3 讨论

手术治疗 DLKS 的主要目的是解除或减轻患者的疼痛。DLKS 引发的下肢神经根疼痛或神经性跛行 (claudication) 可经彻底的神经过减压解除, 退变导致的不稳及畸形可经畸形矫正、内固定和植骨融合解决, 而其所引发的肌肉疼痛除了因冠状面及矢状面失衡, 更因躯干重心偏离身体重心所致。因此, 除了必须重建冠状面及矢状面平衡外, 尤需将躯干重心线移近全身重心才得以解除。由于 DLKS 会造成矢状面失衡, 患者如不曲膝伸髋则无法站直, 而且由于脊柱直立肌群的过度工作负担会导致肌肉疲劳疼痛, 随患者年龄增长, 肌力减弱, 加上椎间盘退变、髋关节或骨盆病变等都会降低其代偿能力而使得情况恶化, 重建矢状面平衡比重建冠状面平衡要重要得多^[8]。

躯干矢状面平衡一般是以 C7 铅垂线和 S1 后上角之水平距判断, 全身的重心应位于髋轴中点附近, 正常人的骶椎岬部应位于全身重心正上方附近 (SFD=0), 通过身体重心的垂直线和 C7 铅垂线是矢状面上两条不同的线^[7]。在本组病例中, SIA 减少, 也就是说骶椎向后转以代偿腰椎后凸畸形, 使得髋轴移至骶椎岬的前方, 因此即使在站立时, 腰伸展肌群也必须过度工作以保持身体平衡, 导致腰肌疲惫、痉挛、疼痛。大部分 DLKS 患者除了 C7 垂线距变大外, 其 SFD 也变大, 矫正 C7 垂线距至正常而不将骶椎岬移至全身重心上方不会改善源自于肌肉的疼痛。本组有 6 例患者术前 C7 铅垂线通过 L5/S1 椎间盘 (正常), 但有远大于正常值的 SFD, 患者有难以忍受的肌源性疼痛, 术

后 SFD 明显减少后, 其疼痛也显著改善。

DLKS 的畸形矫正还应包含重建腰椎-骨盆位置关系, 将骶椎岬部推近全身重心线以解除肌源性疼痛。正常人及下背疼痛患者其 PR 及 PR-S1 是常数, 在 DLKS 患者也应是常数, 此二常数和腰骶前凸角度有关联, 腰骶前凸角度和骨盆髋轴的相对平衡关系也有强烈的关联^[2], 而 SFD 决定骨盆之平衡。根据上述两个常数, 设定 SFD 为 0, 按照截骨头尾两端脊柱在矫正过程中的运动行为模式, 可大概仿真出一条可将骶椎岬推近重心线的腰骶前凸曲线, 再依研究报告的角度分配^[4,5]作调整, 使得此仿真曲线之前凸角度等于依 Legaye 公式^[3]所计算出来的角度, 可重建近乎生理的腰椎骨盆关系。在本研究中, 我们所重建的腰骶前凸角度 (L1~S1) 为 50.5° , 将 SFD 从 53.9mm 减少为 -5.1 mm, 虽然术前计算出的角度为 43.3° , 和术后 52.3° 在统计学上有显著性差异, 但我们认为这是由于棒的弹性及可塑性造成的, 虽然术前制作模板的方法是大概估算, 但结果证明是有效的。

重心线的位置和骨盆的方位有关, 当骨盆前倾, 重力线和骶椎距缩短, 因为矫治所建筑的架构尾端架设在骶椎及髌骨, 在矫正过程中在截骨处将矫正棒向下压时, 会迫使截骨下端的脊柱以髋轴为轴向前转, 而且神经减压术及全周融合术使得 L4 至骶椎松解柔软, 更易使得该节段脊柱贴近预弯棒的形状, 因而可更进一步减少 SFD 值。本组病例的 C7 铅垂线距和 SFD 都减少, SIA 增加, 显示脊柱及全身的平衡均得以重建。

由问卷结果可知, 手术对畸形矫正及疼痛的

减轻是很有帮助的,但对功能的改善却不如前二者,可能是因为问卷有关功能问题的设计比较适合 1 或 2 个节段病变及身体状况较好的病例,对本研究中的老年病例可能不太合适。

由于椎体前骨皮质解剖上的限制,有学者认为一处截骨只可矫正 35° ^[9-11],COWO 因椎体前骨皮质断开,可突破此限制提高矫正。但 COWO 也属脊柱缩短手术,脊柱缩短会导致容纳神经组织的空间减少,矫正不宜超过 $30^{\circ}\sim 45^{\circ}$ ^[9-11],对重度僵硬的脊柱畸形应行前路松解增加畸形的柔软度,以增加矫正的程度,但额外的前路手术对于老年患者是一大负担,会增加手术的危险性及并发症。我们认为如果截骨矫正正在马尾神经段,只要椎板切除足够,可以获得更多的矫正,因为马尾神经的耐受性很好。我们仅从后路也可以作到前路松解及畸形矫正,省去了前路手术,提高了手术的安全性。本组病例结果证明 COWO 可有效松解此类畸形而达到理想的矫正。

Deward^[12]认为骨质疏松及长节固定的病例发生交界后凸畸形是无法避免的结果,医生及患者都要有再次手术将固定向头端延伸的心理准备。即使我们积极努力避免其发生,但仍有 26% 的发生率。我们认为除了交界处应力增加导致此结果,还有其他几个因素也是造成交界后凸的原因:(1)患者长时间处在矢状面失衡的状态下,已习惯向前弯曲的姿势,即使已矫正至正常,但仍似以往的前弯姿势站立或行动,这意味着有某种尚未被证明的神经学上或自体感(proprioceptive)上的机制使患者趋向以往的姿势,在交界处形成压力导致后凸畸形;(2)后路手术破坏了腰椎两旁的肌肉也影响患者直立的能力。

螺钉拔出是矫形术后最常见的并发症。在矫正后凸畸形时最主要的矫正力是由后向前的力,这种力的反作用力最大的位置是在内固定的上下两端,减少这种反作用力最有效的方法就是彻底的三柱松解,并将后凸畸形矫正至前凸曲线,以减少向后拉扯的力量及骨钉拔出的几率。腰骶交界处是承受身体负荷很重要的一个部位,因此此处的骨不愈合及内固定失败率高于其他部位,单独的 S1 钉固定是不够的,骨质疏松患者尤其如此。生物力学实验及临床上均显示髂骨固定可加强腰骶固定的强度^[13-15]。本组患者两侧的 S1 及髂骨钉可提供牢固的骶椎骨盆固定,也可有效保护 S1 钉

被拔出,但有 2 例因骨未愈合导致此处断棒。全周融合虽可增加骨融合率,但无法完全消除骨不愈合,我们建议前后骨融合都用足够的自体骨辅以骨成形蛋白。

4 参考文献

1. Jackson PR. Spinal balance, lumbopelvic alignments around the "hip axis" and positioning for surgery [J]. J Spine State Art Rev, 1977, 11(1): 33-58.
2. Jackson RP, Kanemura T, Kawakami N. Lumbopelvic lordosis and pelvic balance on repeated standing lateral radiographs of adult volunteers and untreated patients with constant low back pain [J]. Spine, 2000, 25(5): 575-586.
3. Legaye J, Duval-Beaupere G, Hecquet J, et al. Pelvic incidence: a fundamental pelvic parameter three-dimensional regulation of spinal sagittal curves [J]. Eur Spine, 1998, 7(2): 99-103.
4. Jackson RP, McManus AC. Radiographic analysis of sagittal plane alignment and balance in standing volunteers and patients with low back pain matched for age, sex, and size: a prospective controlled clinical study [J]. Spine, 1994, 19(14): 1611-1618.
5. Hammerberg EM, Wood KB. Sagittal profile of the elderly [J]. J Spinal Disord Tech, 2003, 16(1): 44-50.
6. Kobayashi T, Atsuta Y, Matsuno RT, et al. A longitudinal study of congruent sagittal spinal alignment in an adult cohort [J]. Spine, 2004, 29(6): 671-676.
7. Booth KC, Bridwell KH, Lenke LG. Complications and predictive factors for the successful treatment of flatback deformity (fixed sagittal imbalance) [J]. Spine, 1999, 24(16): 1712-1720.
8. Glassman SD, Berven S, Bridwell K, et al. Correlation of radiographic parameters and clinical symptoms in adult scoliosis [J]. Spine, 2005, 30(6): 682-688.
9. Gertzbein SD, Harris MB. Wedge osteotomy for the correction of posttraumatic kyphosis [J]. Spine, 1992, 17(3): 374-379.
10. Lehmer SM, Keppeler L, Buscup RS, et al. Posterior transvertebral osteotomy for adult thoracolumbar kyphosis [J]. Spine, 1994, 19(18): 2060-2067.
11. Berven SH, Deviren V, Smith JA, et al. Management of fixed sagittal plane deformities [J]. Spine, 2001, 26(18): 2036-2043.
12. Dewald CJ, Stanley T. Instrumentation-related complications of multilevel fusion for adult spinal deformity patients over age 65 [J]. Spine, 2006, 31(Suppl 19): 144-151.
13. Jackson RP, McManus AC. The iliac buttress: a computed tomographic study of sacral anatomy [J]. Spine, 1993, 18(10): 1318-1328.
14. Cunningham BW, Lewis SJ, Long J, et al. Biomechanical evaluation of lumbosacral reconstruction techniques for spondylolisthesis: an in vitro porcine model [J]. Spine, 2002, 27(21): 2321-2327.
15. Kuklo TR, Bridwell KH, Lewis SJ, et al. Minimum 2-year analysis of sacropelvic fixation and L5-S1 fusion using S1 and iliac screws [J]. Spine, 2001, 26(18): 1976-1983.

(收稿日期: 2007-01-07 修回日期: 2007-01-30)

(英文编审 陆宁)

(本文编辑 卢庆霞)