

青少年特发性脊柱侧凸三维矫形术后冠状面失代偿研究进展

丁 旗, 邱 勇

(南京大学医学院附属鼓楼医院脊柱外科 210008 南京市)

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2011.05.16

中图分类号: R682.3 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2011)-05-0423-04

脊柱侧凸矫形手术治疗的目的在于重建脊柱的平衡和维持脊柱的稳定。近年来,随着各种矫形技术的不断发展,青少年特发性脊柱侧凸(adolescent idiopathic scoliosis, AIS)的手术治疗效果不断提高。但矫形术后失代偿(decompensation)的发生率仍然较高,术后失代偿可以发生在冠状面、矢状面或水平面。越来越多的学者对其发生的原因及预防策略等进行了探讨。笔者就冠状面失代偿的相关研究进展作一综述。

1 冠状面失代偿的概念

脊柱侧凸矫形融合术后,未融合部分通常具有自我矫正或代偿达到再次平衡的能力,如果该部分失去这种代偿能力则称为术后失代偿^[1,2]。冠状面失代偿多表现为躯干失平衡,出现姿势异常、躯干倾斜、双肩不等高、腰部不对称等。躯干失平衡是指冠状面躯干平衡(coronal trunk balance, CTB)丢失, McCance 等^[3]用 T1 对角线中点偏移骶骨中垂线(CSVL)的距离评估躯干偏移,当该距离>2cm 为躯干失平衡。Benli 等^[4]认为在站立位全脊柱正侧位像上,以一个椎体的宽度为单位(vertebra unit, VU),测量 C7 椎体中点至骶骨中线(midsacral line, MSL)的距离 SH(shift of head)以及稳定椎到 MSL 的距离 SS(shift of stable vertebra),当 SH 和 SS 均超过 0.5VU 时为失代偿。Behensky 等^[5]认为术后 2 年内经 C7 椎体中点的铅垂线(C7PL)偏离 CSVL 距离超过 2cm 即为冠状面失代偿。目前大多学者采用 C7PL 与 CSVL 之间的距离>2cm 来界定是否有术后失代偿或躯干失平衡的发生。

严格来说,冠状面失代偿多因下端固定椎(lowest instrumented vertebra, LIV)选择过长或过度矫形所致。相反, LIV 选择过短则会导致叠加现象(adding-on phenomenon)的出现。叠加现象是指原发弯术后跨度延长进入代偿弯,累及椎体数目增多,叠加多发生在手术时年龄较小患者或对结构性弯的判断错误导致融合节段过短者。Sponseller 等^[6]认为,与术后即当时相比,随访过程中,在原发弯的近端或远端出现侧凸跨度延长,椎体叠加且 Cobb 角增加 6° 以上为叠加现象。Robert 等^[7]则认为术后 2 年随访 Cobb 角

增加 5° 以上并且伴有下端椎的远端化或 LIV 下方椎间盘成角大于 5° 以上者为远端叠加现象。

2 冠状面失代偿的发生率

2.1 后路矫形手术

由于侧凸分型、手术方式和内固定器械等选择的不同, AIS 后路脊柱矫形术后冠状面失代偿的发生率报道也各不相同。不少学者^[1,2,8]报道后路运用 CD 全钩内固定系统行选择性胸弯融合术后冠状面失代偿的发生率较高。Lenke 等^[9]报道应用 CD 全钩内固定系统行选择性胸弯融合并随访 2 年以上患者失代偿发生率为 10%(5/50),其中 3 例需翻修手术。Puno 等^[10]对 183 例特发性脊柱侧凸患者术后随访 2 年以上,共有 37 例(20.2%)出现术后冠状面失代偿,其中 A 组 135 例患者根据 Lenke 分型进行手术融合,有 26 例(19.3%)出现失代偿; B 组融合节段选择未依据 Lenke 分型,不同于 A 组,失代偿发生率 22.9%(11/48)。在他的报道中,根据 Lenke 分型其失代偿发生率分别为 Lenke 1 型 18.75%, 2 型 12.5%, 3 型 30.8%, 5 型 26.7%, 6 型 15.4%(Lenke 4 型病例资料不足)。Behensky 等^[5]对 36 例 Lenke 3C 型 AIS 患者行后路选择性胸弯矫正融合术,术后有 10 例(28%)出现冠状面失代偿。Lenke 等报道应用钩或椎弓根螺钉行后路选择性胸椎融合的 AIS 患者 66 例,术后冠状面失代偿发生率为 25.8%^[10]。Suk 等^[11]对 236 例胸弯 AIS 应用节段性椎弓根螺钉行选择性胸椎融合,随访 5 年以上有 27 例(11.4%)出现冠状面失代偿,其中 17 例为叠加现象。Li 等^[12]对 46 例 Lenke 5C 型 AIS 患者中的 24 例行后路椎弓根螺钉固定,随访 2 年以上有 4 例(16.7%)发生失代偿。

2.2 前路矫形手术

与后路矫形相比,前路矫形能通过更短的融合节段得到矫正和重建躯干平衡^[13],但这并不意味着前路矫形术后冠状面失代偿就不会发生。Lenke 等^[14]对 85 例主胸弯 AIS 患者行开放前路选择性胸椎融合手术并随访 5 年以上,有 9 例(11%)出现冠状面失代偿,另有 12 例主胸弯进展 10° 以上,其中 2 例需要再次手术矫正。Sanders 等^[15]对 49 例胸腰弯/腰弯 AIS 患者行选择性前路融合,其中三角软骨闭合组 43 例中 1 例(2.3%)出现胸弯失代偿,三角软骨开放组 6 例中有 3 例(50%)出现胸弯失代偿并需要行

后路融合固定。在 Li 等^[12]报道的 22 例行前路螺钉固定且随访 2 年以上的 Lenke 5C 型 AIS 患者中, 术后失代偿发生率为 18.2%(4/22)。与后路椎弓根螺钉固定组(16.7%, 4/24)相比, 两组间胸弯术后失代偿的发生率相当。通过对术后胸弯失代偿组与非失代偿组比较, 作者发现失代偿组患者的腰胸侧凸 Cobb 角比值(TL/L:T Cobb ratio)更小, 即失代偿病例术前胸弯 Cobb 角相对较大。另外, 失代偿组术前胸弯柔韧性也更差。因此, 他们认为, Lenke 5C 型 AIS 患者术后胸弯自发矫正与术前胸弯 Cobb 角大小及柔韧性有关。

3 冠状面失代偿的危险因素及预防

引起 AIS 三维矫形术后冠状面失代偿的原因较多。融合模式、内固定模式、端固定椎水平的选择、患者的生长潜能、矫正率、继发弯僵硬程度以及 L4 和骨盆倾斜均与术后冠状面失代偿的发生相关。

3.1 融合模式

King 分型系统给出了选择性胸弯融合的概念, 对于 King II 型建议选择性融合至胸弯的稳定椎, 一般不超过 L1。但该分型不全面, 未将腰弯、胸腰弯及三弯包括在内, 临床应用具有局限性, 如果盲目地对 King II 型进行选择性胸弯融合, 术后可能出现腰弯失代偿。因此, Sponseller 等^[10]认为 King II 型侧凸若存在腰椎旋转 $\geq$ II 度, 在左右弯曲位像上旋转不能矫正时, 应同时融合胸弯和腰弯。海涌等^[16]建议 King II A 型行选择性胸弯融合, King II B 型融合胸腰弯。仇建国^[17]认为, 对于腰弯 $<45^\circ$, 腰椎顶椎偏距 $<2\text{cm}$, 顶椎旋转在 I 度以内, 柔韧性 $>70\%$, 并且胸腰段无后凸畸形时, 行选择性胸弯融合是安全有效的。

Lenke 分型提出结构性弯的概念, 并认为结构性弯均应融合。实际上, 对于 Lenke 1C 型病例, 腰弯顶椎明显偏离中线的情况下若行选择性融合, 术后失代偿和失平衡的风险也将大大增加。Bridwell 等^[18]认为选择性胸椎融合时, 融合节段选择错误、下方钩的固定水平在稳定椎以上节段可能是术后失代偿的原因之一。Lenke 等^[19]报道运用 CD 内固定术后冠状面失代偿的危险因素包括术前胸弯与腰弯角度比 ≤ 1.2 、腰弯顶椎旋转(apical vertebrae rotation, AVR) $\leq 35^\circ$ 、腰弯顶椎偏移(apical vertebrae translation, AVT) $\leq 1.2\text{cm}$ 。他们^[18]提出行选择性融合的标准, 认为胸弯与腰弯 Cobb 角比值大于 1.2、胸弯与腰弯 AVT 比值大于 1.0、胸弯和腰弯 AVR 的比值大于 1.0, 可以行选择性胸椎融合而保留远端腰椎的活动度。但如果腰弯大于 60° , 且旋转度超过 II 度, 或 AVT 超过 4cm, 则需融合双弯至 L4。

同样, 对于 Lenke 5 型或 6 型侧凸患者行选择性胸弯/腰弯(TL/L)融合也有出现胸弯失代偿的风险。对于 Lenke 5 型 AIS, 一般行选择性 TL/L 融合即可, 但对于存在相对 Cobb 角较大且柔韧性较差的胸弯侧凸患者应谨慎使用^[21]。而对于 Lenke 6 型侧凸患者, Puno^[20]将其分为选择性融合 TL/L(3 例)及非选择性融合(10 例)两组进行研究,

术后均有 1 例出现胸弯失代偿, 但选择性融合组发生率(33%)显然高于非选择性融合组(10%)。Sanders 等^[19]的研究表明术前胸弯畸形程度及患者骨骼发育成熟程度是预测选择性融合 TL/L 术后胸弯矫正效果的重要指标。

3.2 内固定模式

节段性椎弓根螺钉系统(segmental pedicle screw instrumentation)与传统的全钩系统、钉钩混合系统相比, 其三维矫形效果更好, 融合节段少, 且术后失代偿的发生率较低^[10, 19]。Bridwell 等^[18]认为矫形术中 CD 棒的去旋转操作与哈氏棒相比增加了胸弯的矫正度, 但导致术后失代偿的发生率增加。Lenke 等^[19]报道了 66 例 Lenke 1C 型 AIS 患者, 应用钩或椎弓根螺钉行后路选择性胸椎融合至 T12 或 L1, 术后冠状面失代偿发生率分别为钩组 40.6%(13 例), 椎弓根螺钉组 11.8%(4 例), 后者冠状面失代偿的发生率更低。他们认为, 椎弓根螺钉对端椎固定更加稳定, 可以预防失代偿的发生。Yu 等^[20]通过对 48 例后路行选择性胸弯融合的 AIS 患者进行回顾性分析, 术后失代偿发生率分别为钉钩混合组 23.3%, 全椎弓根螺钉组 16.7%, 他们认为全椎弓根可以获得更好的胸弯和腰弯矫形效果, 且不会增加术后失代偿的发生。椎弓根螺钉固定可以承受来自各方面的力, 因而具有较好的力学基础。经椎弓根钉-棒固定矫正脊柱侧凸比使用钩-棒、钩-钉-棒固定的效果更好, 而且通过加强椎体与矫形结构的连接, 得到更好的矫正控制力, 通过棒的旋转使畸形的脊柱得以节段性的重新排列, 减少了不对称撑开和加压所造成的术后失代偿现象发生^[21, 22]。

3.3 端固定椎水平的选择

一直以来, 对于端固定椎的选择都是讨论的焦点。适当的下端固定椎(LIV)选择可以有效预防远端叠加现象的发生。LIV 的选择需要对下端椎(LEV)、中立椎(NV)及稳定椎(SV)进行有效的评估。通常来说 LIV 多选择 SV, LEV 或 LEV 上方 1 或 2 个椎体^[23]。Suk 等^[22]对 42 例单胸弯 AIS 患者行节段性椎弓根螺钉固定, 术后 14 例叠加现象均发生在 LIV 选择止于 NV 上方 2 个或 2 个以上椎体组。因此他们建议术前 NV 为 LEV 下方 2 个椎体以内, LIV 选择 NV 即可; 当 NV 为 LEV 下方 2 个以上椎体, LIV 选择 NV 上方 1 个椎体即可, 与选择 SV 相比, 可以保留 1 至 2 个运动节段。Salah 等^[24]比较 56 例 Lenke 1A 或 1B 型 AIS 患者 LIV 与左侧屈位片稳定椎(left bending stable vertebra, LBSV)的关系, 发现 LIV 选择 LBSV 或 LBSV 下方椎体的病例均无叠加现象的出现, 而 6 例 LIV 选择 LBSV 上方椎体的患者有 5 例出现叠加现象。他们认为对于 Lenke 1A 或 1B 型 AIS, LBSV 可以作为 LIV 选择的参考标准。张永刚等^[25]认为在确定 LIV 时, 无论是融合单弯或双弯, 都应使 LIV 接触到 CSVL。选择性胸弯融合时以胸弯 NV 为基础, 非选择性融合时以腰弯 EV 为基础。由于目前对 LEV、NV 及 SV 的界定并不容易也不一致, 关于 LIV 的选择仍需进一步研究。

同样, 上端固定椎(upper instrumented vertebra, UIV)

的选择错误也会引起失代偿的发生,如出现融合节段近端的叠加现象,术后双肩失平衡等,尤其是存在具有结构性上胸弯的病例^[26]。按照 Lenke 分型系统,2 型和 4 型患者均存在结构性上胸弯,手术应考虑融合上胸弯。另外,UIV 的选择还需要结合 T1 倾斜情况。一般来说,术前有上胸弯,UIV 选择 T2/T3;术前无上胸弯且 T1 不倾斜,UIV 选择 T2/T4;术前无上胸弯且 T1 负性倾斜,UIV 选择 T4 椎体即可。目前对于端固定椎水平的选择还没有形成统一的标准,主要依赖外科医生的丰富经验和对侧凸类型的充分认识与评估。

3.4 生长潜能

对于骨骼发育未成熟并且侧凸角度大的 AIS 患者行后路固定术后发生失代偿的风险较高^[27]。Sponseller 等^[6]发现,对三角软骨开放的 AIS 患者行单一前路矫形,术后近端叠加现象和矫正丢失的发生风险高于三角软骨闭合患者。Sanders 等^[15]对 49 例胸腰弯/腰弯 AIS 患者行选择性前路融合,也发现三角软骨开放组胸弯失代偿发生率(50%, 3/6)明显高于三角软骨闭合组(2.3%, 1/43),表明失代偿的发生与患者的骨骼发育成熟度有关。在 2010 年的脊柱侧凸研究协会(scoliosis research society, SRS)年会上,Robert 等^[28]通过比较 219 例随访 2 年以上的 Lenke 1A 型 AIS 患者,发现 1AL(L4 左倾斜)亚型中叠加现象组患者年龄和 Risser 征明显低于未出现叠加现象组,说明骨骼未发育成熟是叠加现象发生的危险因素。李明等^[26]报道 121 例 AIS 单纯行后路全椎弓根螺钉固定,其中 1 例术后出现叠加现象,其手术时 Risser 征为 1 级,他们认为对于此类患者选择融合节段时应相应延长。邱勇^[28]认为,对于 Lenke 1C 型胸椎侧凸行选择性融合,腰弯柔韧性差以及偏离骶正中距离大和留有较多的生长潜能是术后发生失代偿的重要因素。可以看出,具有生长潜能的侧凸患者矫形术后出现失代偿的危险明显增加。另外,对于生长潜能较大的低龄儿童,单纯后路脊柱融合术后出现更多的问题可能是曲轴现象(crankshaft phenomenon)的发生^[29],其本质是旋转畸形的加重,同时存在不同程度的冠状面失代偿。因此,对于这些患者,前路骨骺阻滞以及适当的融合节段延长将有助于避免曲轴现象和冠状面失代偿的发生。

3.5 其他危险因素及预防

在 AIS 矫形术中,如果只注重提高胸弯矫正率而忽视腰弯的代偿能力,术后可能出现失代偿现象。矫正率的高低与术后失代偿的发生相关。Suk^[11]认为,胸弯矫正率>75%,术后胸弯 Cobb 角<术前腰弯 Cobb 角的 30%,术后失代偿的发生率高。邱贵兴等^[30]认为,对于腰弯>40°的 King II a 型侧凸,手术中对胸弯的矫正不能过多,否则术后会出现腰弯的角度加大,旋转加重而导致躯干偏移。因此,为了防止术后失代偿的出现,胸弯的矫正程度应小于腰弯可自发矫正的程度^[31]。当然,矫正率过低也会发生失代偿。Miller 等^[32]通过对 908 例矫形术后 2 年的 AIS 患者失代偿组和未失代偿组进行比较,发现矫正率过低是术后失代偿

发生的危险因素,侧凸矫正率是预测冠状面失代偿的有效指标。术前仔细评估主弯和次弯的柔韧度并预计主弯手术矫正后代偿次弯可能代偿的程度十分重要,可以避免术中过度矫正主弯而导致的术后失代偿。

骨盆在术后患者脊柱平衡和活动度代偿上的作用非常重要,Skalli 等^[33]提出应该注重术后骨盆的功能锻炼。持续的骨盆倾斜是术后失代偿的危险因素。Richards 等^[34]回顾性分析了 24 例运用 CD 或 TSRH 内固定的 King II (相当于 Lenke 1C)型侧凸患者,所有患者术前腰椎侧凸 Cobb 角>40°,由于 L4 和骨盆的持续倾斜,术后腰弯残留角度仍然很大。Schwender 等^[35]对 55 例腰椎左侧凸 Cobb 角>40°的 AIS 患者术前躯干不平衡和术后冠状面失代偿原因进行分析,发现在术前存在僵硬腰骶半弯(lumbosacral hemicurve)者,术后出现冠状面失代偿的可能性增加;术前有骶骨和髂骨倾斜者,术后脊柱出现失代偿的可能性也会增加。因此,有学者^[31]认为有腰骶侧凸的 King I ~ V 型患者,若 L4 倾斜>20°、左右侧屈位 X 线片示 L3 不能与髂嵴连线平行时,需融合至 L4。故术前存在僵硬的继发弯者,应谨慎考虑主弯的选择性融合,预防术后失代偿的发生。

综上所述,AIS 患者矫形术后冠状面失代偿的发生仍然是不可忽视的临床问题。详细分析术后失代偿发生的原因,提出相应的预防和应对措施,对 AIS 矫形效果的提高具有重要意义。

4 参考文献

- Richards BS, Birch JG, Herring JA, et al. Frontal plane and sagittal plane balance following Cotrel-Dubousset instrumentation for idiopathic scoliosis[J]. Spine, 1989, 14(7): 733-737.
- Thompson JP, Transfeldt EE, Bradford DS, et al. Decomensation after Cotrel-Dubousset instrumentation of idiopathic scoliosis[J]. Spine, 1990, 15(9): 927-931.
- McCance SE, Denis F, Lonstein JE, et al. Coronal and sagittal balance in surgically treated adolescent idiopathic scoliosis with the King II curve pattern-A review of 67 consecutive cases having selective thoracic arthrodesis[J]. Spine, 1998, 23(19): 2063-2073.
- Benli IT, Akalin S, Kis M, et al. Frontal and sagittal balance analysis of late onset idiopathic scoliosis treated with third generation instrumentation[J]. Kobe J Med Sci, 2001, 47(6): 231-253.
- Behensky H, Cole AA, Freeman BJC, et al. Fixed lumbar apical vertebral rotation predicts spinal decompensation in Lenke type 3C adolescent idiopathic scoliosis after selective posterior thoracic correction and fusion[J]. Eur Spine J, 2007, 16(10): 1570-1578.
- Sponseller PD, Betz R, Newton PO, et al. Differences in curve behavior after fusion in adolescent idiopathic scoliosis patients with open triradiate cartilages[J]. Spine, 2009, 34(8): 827-831.
- Robert H, Burt Yaszay, Carrie E, et al. Which Lenke 1A curves

- are at the greatest risk for adding-on and why[C]?Scoliosis Research Society 45th meeting, Japan: Kyoto, 2010.
8. Lenke LG, Bridwell KH, Baldus C, et al. Preventing decompensation in King type-II curves treated with Cotrel-Dubousset instrumentation-Strict guidelines for selective thoracic fusion [J]. *Spine*, 1992, 17(8): S274-S280.
 9. Puno RM, An KC, Puno RL, et al. Treatment recommendations for idiopathic scoliosis: an assessment of the Lenke classification [J]. *Spine*, 2003, 28(18): 2102-2114.
 10. Dobbs MB, Lenke LG, Kim YJ, et al. Selective posterior thoracic fusions for adolescent idiopathic scoliosis [J]. *Spine*, 2006, 31(20): 2400-2404.
 11. Suk SI, Lee SM, Chung ER, et al. Selective thoracic fusion with segmental pedicle screw fixation in the treatment of thoracic idiopathic scoliosis-More than 5-year follow-up [J]. *Spine*, 2005, 30(14): 1602-1609.
 12. Li M, Ni JQ, Fang XT, et al. Comparison of selective anterior versus posterior screw instrumentation in Lenke 5C adolescent idiopathic scoliosis [J]. *Spine*, 2009, 34(11): 1162-1166.
 13. Bitan FD, Neuwirth MG, Kuflik PL, et al. The use of short and rigid anterior instrumentation in the treatment of idiopathic thoracolumbar scoliosis: a retrospective review of 24 cases [J]. *Spine*, 2002, 27(14): 1553-1557.
 14. Tis JE, O'Brien MF, Newton PO, et al. Adolescent idiopathic scoliosis treated with open instrumented anterior spinal fusion five-year follow-up [J]. *Spine*, 2010, 35(1): 64-70.
 15. Sanders AE, Baumann R, Brown H, et al. Selective anterior fusion of thoracolumbar/lumbar curves in adolescents: when can the associated thoracic curve be left unfused [J]? *Spine*, 2003, 28(7): 706-713.
 16. 陈志明, 海涌, 陈晓明, 等. King II 型特发性脊柱侧凸的手术治疗 [J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2004, 14(4): 211-214.
 17. 仇建国. 对 King I 型特发性脊柱侧凸是行选择性胸椎融合还是非选择性融合 [J]? *中国脊柱脊髓杂志*, 2003, 13(5): 268-269.
 18. Bridwell KH, Mcallister JW, Betz RR, et al. Coronal decompensation produced by Cotrel-Dubousset derotation maneuver for idiopathic right thoracic scoliosis [J]. *Spine*, 1991, 16(7): 769-777.
 19. Kuklo TR, Potter BK, Lenke LG, et al. Surgical revision rates of hooks versus hybrid versus screws versus combined anteroposterior spinal fusion for adolescent idiopathic scoliosis [J]. *Spine*, 2007, 32(20): 2258-2264.
 20. Yu B, Zhang JG, Qiu GX, et al. Posterior selective thoracic fusion in adolescent idiopathic scoliosis patients: a comparison of all pedicle screws versus hybrid instrumentation [J]. *Chin Med Sci J*, 2009, 24(1): 30-35.
 21. Suk SI, Kim WJ, Lee SM, et al. Thoracic pedicle screw fixation in spinal deformities: are they really safe [J]? *Spine*, 2001, 26(18): 2049-2057.
 22. Suk SI, Lee SM, Chung ER, et al. Determination of distal fusion level with segmental pedicle screw fixation in single thoracic idiopathic scoliosis [J]. *Spine*, 2003, 28(5): 484-491.
 23. Erickson MA, Baulesh DM. Lowest instrumented vertebra selection in AIS [J]. *J Pediatr Orthop*, 2011, 31(1): S69-76.
 24. Salah H, Elsebaie HB. Instrumenting proximal to the left bending stable vertebra in Lenke 1A and 1B adolescent idiopathic scoliosis predicts adding on [C]. *International Meeting on Advanced Spine Techniques 17th. Canada: Toronto*, 2010.
 25. 张国莹, 张永刚, 王征, 等. 青少年特发性脊柱侧凸选择性胸弯融合的策略 [J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2009, 19(10): 778-784.
 26. 李明, 赵颖川, 朱晓东, 等. 后路全椎弓根螺钉系统治疗青少年特发性脊柱侧凸疗效分析 [J]. *中华外科杂志*, 2010, 48(6): 410-414.
 27. Davis MA. Posterior spinal fusion versus anterior/posterior spinal fusion for adolescent idiopathic scoliosis: a decision analysis [J]. *Spine*, 2009, 34(21): 2318-2323.
 28. 邱勇. King II 型特发性脊柱侧凸: 选择性融合还是非选择性融合 [J]? *中国脊柱脊髓杂志*, 2003, 13(5): 266-267.
 29. Burton DC, Asher MA, Lai SM. Scoliosis correction maintenance in skeletally immature patients with idiopathic scoliosis. Is anterior fusion really necessary [J]? *Spine*, 2000, 25(1): 61-68.
 30. 邱贵兴, 徐宏光, 王以朋, 等. 青少年特发性脊柱侧凸术后失代偿原因分析及处理 [J]. *中华骨科杂志*, 2003, 23(7): 414-417.
 31. Arlet V, Marchesi D, Papin P, et al. Decompensation following scoliosis surgery: treatment by decreasing the correction of the main thoracic curve or "letting the spine go" [J]. *Eur Spine J*, 2000, 9(2): 156-160.
 32. Miller DJ, Jameel O, Matsumoto H, et al. Factors affecting distal end & global decompensation in coronal/sagittal planes 2 years after fusion [J]. *Stud Health Technol Inform*, 2010, 158: 141-146.
 33. Skalli W, Zeller RD, Miladi L, et al. Importance of pelvic compensation in posture and motion after posterior spinal fusion using CD instrumentation for idiopathic scoliosis [J]. *Spine*, 2006, 31(12): E359-E366.
 34. Richards BS. Lumbar curve response in type-II idiopathic scoliosis after posterior instrumentation of the thoracic curve [J]. *Spine*, 1992, 17(8): S282-S286.
 35. Schwender JD, Denis F. Coronal plane imbalance in adolescent idiopathic scoliosis with left lumbar curves exceeding 40 degrees: the role of the lumbosacral hemicurve [J]. *Spine*, 2000, 25(18): 2358-2363.

(收稿日期: 2010-12-23 修回日期: 2011-1-24)

(本文编辑 彭向峰)