

临床论著

快速成型技术在重度先天性脊柱畸形
矫形手术中的应用

桑宏勋, 雷 伟, 马真胜, 黄鲁豫, 吴子祥, 姚 伟, 李明全

(第四军医大学西京医院骨科 710032 西安市)

【摘要】目的:探讨快速成型技术在重度先天性脊柱畸形矫形手术中的应用价值。**方法:**2005 年 1 月~2007 年 7 月对 34 例重度先天性脊柱畸形患者进行术前 CT 扫描、数字化三维重建,将数据导入 MEM-300-E 熔融挤压快速成型设备构建脊柱模型,直观评估脊柱畸形情况,设计手术方案。其中半椎体畸形 22 例,椎体分节不全、腰椎严重后凸 6 例,半椎体合并分节不全等混合畸形 6 例;胸椎(T2~T10)7 例,胸腰段(T11~L2)18 例,腰椎(L3~L5)9 例;合并脊髓低位或拴系 5 例,脊髓空洞和骨性纵裂 1 例;术前侧凸 Cobb 角 50°~125°(平均 75°),后凸 50°~110°(平均 78°)。均采用单纯后路畸形矫正及全节段椎弓根螺钉固定技术,将消毒后的快速成型脊柱模型于术中指导手术进行。术后复查脊柱 X 线平片及 CT 三维扫描,并于术后再次进行快速成型构建矫形后脊柱模型。**结果:**手术时间 3.5~7h,平均 4.5h;术中失血 400~1500ml,平均 1100ml;未出现脊髓、神经及血管损伤等并发症。术后三维 CT 扫描示矫形和内固定效果满意,椎弓根螺钉位置良好。27 例 42 个先天性半椎体切除彻底,术后侧凸 Cobb 角 5°~25°(平均 16°),侧凸畸形矫正率为 80%~98%,后凸畸形矫正率为 100%,生理曲度恢复正常;7 例经椎弓根楔形截骨矫正的先天性腰椎后凸畸形患者矫形效果满意,腰椎生理前凸恢复正常。术后随访 3~24 个月,平均 9 个月,随访期间矫正率丢失不明显。**结论:**脊柱快速成型能够直观地反映脊柱畸形情况,可指导术前评估、手术计划制定,对手术矫形和内固定操作具有较好的指导意义。

【关键词】 脊柱畸形;快速成型;三维重建;侧凸;后凸

中图分类号:R682.3,R687.3 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2008)-03-0196-06

Application of rapid prototyping in the treatment of severe congenital spinal deformities/SANG Hong-xun, LEI Wei, MA Zhensheng, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2008, 18(3):196~201

【Abstract】 Objective: To evaluate the significance of rapid prototype techniques in clinical treatment of severe congenital spine deformities. **Method:** From January 2005 to July 2007, 34 patients with severe congenital spine deformities were conducted with CT scanning, three-dimensional digital reconstruction and rapid prototyping (RP) modeling of the spine with MEM-300-E melted extrusion manufacturing machine. These RP-based spine models were used to evaluate the severity of the spine deformity visually, as well as to design the surgical procedures. Of these patients, 22 cases were hemivertebrae deformity, 6 cases were severe kyphosis, 6 cases were multiple deformity including hemivertebrae or severe kyphosis in both thoracic and lumbar vertebrae. There were 7 cases in thoracic vertebrae (T2-T10), 18 cases in thoracic-lumbar vertebrae (T11-L2), 9 cases in lumbar vertebrae (L3-L5). Besides 5 cases had the low-set of spinal cord or tethered cord syndrome, 1 case had syringomyelia and myeloschisis. The Cobb's angle of scoliosis ranged from 50° to 125° (mean 75°), and the Cobb's angle of kyphosis was 50° to 110° (mean 78°) before surgery. All the surgical procedures were performed posteriorly with pedicle-screw fixation referred to the sterilized RP spine model during the operation. Plain films and CT scanning were conducted after operation, and the spine model was reconstructed by RP one week after surgery. **Result:** The operating time was 3.5-7h, mean 4.5h. The blood loss was 400-1500ml with mean 1100ml. No complication of spinal cord, nerve or blood vessel injury occurred. Three-dimensional CT scanning demonstrated the deformity correction and the instrumentation were satisfying, with all the pedicle screws in accurate position. 42 hemivertebrae of 27 cases were resected completely, after operation the Cobb's angles of scoliosis were 5° to 25° (mean 16°) with 80%-98% of the

第一作者简介:男(1967-),副主任医师、副教授,硕士导师,研究方向:脊柱畸形、骨移植与脊柱融合、骨肿瘤

电话:(029)84772132 E-mail:hxsang@fmmu.edu.cn

通讯作者:雷伟

correction rate, kyphosis deformity correction rate reached 100%, and the physiological curvature was restored. 7 cases of severe lumbar kyphosis were corrected via transpedicle osteotomy, lumbar lordosis was restored to the normal. The follow-up period was 3 to 24 months (mean 9 months), while significant loss of the deformity correction was not found. **Conclusion:** Rapid prototype of the spine can visually reflect the real condition of spine deformities, help preoperative evaluation and surgical procedure designing, it is an appealing technique of surgical correction and accurate instrumentation for the severe congenital spine deformities.

【Key words】 Spine deformity; Rapid prototype; Three-dimensional reconstruction; Scoliosis; Kyphosis

【Author's address】 Department of Orthopaedics, Xijing Hospital, Fourth Military Medical University, Xi'an, 710032, China

重度先天性脊柱畸形往往由脊柱复合性先天发育异常引起,如完全或不完全半椎体畸形、分节不全、脊髓骨嵴及脊髓纵裂、脊髓低位与脊髓拴系等。由于椎体形态严重失常,脊柱常伴有侧凸、后凸、前凸、旋转等多种复杂畸形,解剖结构与解剖标志严重变异^[1]。术前单凭传统 X 线平片或 CT 与 MRI 二维扫描,很难全面评估脊柱畸形情况及制定周密的手术方案,在手术矫形过程中会遇到相当大的困难和风险,内固定难以精确放置,手术时间长、失血多^[2]。快速成型技术(rapid prototyping, RP)是 20 世纪 80 年代末期发展起来的一门先进制造技术,是指在计算机的控制下,根据物体的计算机辅助设计(CAD)模型或 CT 等数据,通过材料的精确堆积,制造物体原型的一种成型技术^[3]。由于 CT、MRI 断层扫描的数据表示与 RP 切片数据格式的极其相似性,RP 技术在医学中的应用成为一个新的研究领域^[4]。本研究将复杂重度脊柱畸形患者的 CT 扫描三维重建数据通过快速成型技术实现脊柱畸形的真实模拟,快速制造出和患者畸形脊柱尺寸及解剖标志完全一致的模型,探讨其在复杂重度脊柱畸形患者治疗过程中的应用及意义。

1 资料与方法

1.1 临床资料

2005 年 1 月~2007 年 7 月,我院收治的 34 例重度先天性脊柱畸形患者中,男 15 例,女 19 例,年龄 12~20 岁,平均 15 岁。均进行术前 X 线平片、MRI 平扫及 CT 扫描三维重建。半椎体畸形 22 例,其中单一半椎体 12 例,2 个半椎体 6 例,3 个半椎体 4 例;椎体分节不全腰椎严重后凸 6 例;半椎体合并分节不全等混合畸形 6 例。胸椎(T2~T10)7 例,胸腰段(T11~L2)18 例,腰椎(L3~L5)9 例。合并脊髓低位或拴系 5 例,脊髓空洞和骨性纵

裂 1 例。侧凸 Cobb 角 50°~125°,平均 75°;后凸角 50°~110°,平均 78°;后凸大于 90° 8 例,侧凸大于 90° 6 例。

1.2 CT 扫描三维重建及快速成型制造模型

采用西门子 Picker 6000 螺旋 CT 扫描机,层厚 1mm,螺距 1.0,扫描患者脊柱畸形区域及相邻上下区域。将矢量化数据根据脊柱畸形的程度进行三维重建,得到患者脊柱内部及表面轮廓各位相三维图像。逐一调整重建出所需椎体的横断位图像,并显示出最佳椎弓根层面。根据手术需要逐一测量双侧椎板宽度、椎弓根宽度、椎体前缘至椎弓根距离、椎管宽度、椎体旋转角度及椎体前后径等数值,测量所要内固定椎体椎弓根的直径、方向和角度。将准备好的数据导入快速成型机(北京殷华公司 MEM-300-E 熔融挤压快速成型机)。以热塑性材料丙烯腈-丁二烯-苯乙烯(ABS)高分子工程塑料为材料在快速成型机上完成成型过程。系统参数设置:加工层厚 0.1mm,加工速度 500mm/s,温度 40℃±2℃,整个成型过程约 6~20h,平均 9.5h。重建模型经戊二醛熏蒸消毒 4h 后直接手术台上使用,直观指导手术操作。

1.3 手术方法与临床观察

根据术前三维重建及快速成型模型设计的手术计划方案,均在全麻下采用单纯后路畸形矫正及全节段椎弓根螺钉固定技术。27 例切除 42 个先天性半椎体矫正侧凸和后凸畸形;7 例经椎弓根楔形截骨矫正先天性腰椎后凸畸形。术中所见与术前三维重建和快速成型模型显示结果完全一致,按术前设计完成手术矫形和内固定,常规应用术中切除的椎体骨植骨,植骨量不够时混合无菌冻干同种异体骨粒植骨(用量 5~15g),不再另取自体髂骨。术中常规应用自体血回输。术后伤口常规放置负压引流管 24~48h,应用止血剂 1d、脱水剂及激素 1~3d、抗生素 3~5d。拔除引流管后鼓励

患者佩带支具下地行走,术后 7~10d 出院。术后 1 周及术后 3、6、12、24 个月随访复查站立位正、侧位 X 线片,至少复查一次 CT 扫描三维重建,并再次进行快速成型构建矫形后脊柱模型,观察手术后畸形矫正率、矫正丢失率、脊柱矢状面、冠状面和身体整体平衡情况以及骨融合情况。

2 结果

根据术前快速成型脊柱模型施行手术,术中所见与术前三维重建和快速成型模型显示结果完全一致,对复杂难以识别清楚的脊柱畸形解剖结构容易确认,置入的椎弓根螺钉位置良好。手术时间 3.5~7h,平均 4.5h,术中出血 400~1500ml,平均 1100ml,应用自体血回输装置平均回输自体红细胞约 300~700ml。所有病例伤口一期愈合,未出现伤口感染者,无脊髓神经损伤、脑脊液漏、血气胸等并发症发生。随访 3~24 个月,平均 9 个月,27 例 42 个先天性半椎体切除彻底,无残留椎体,术后侧凸 Cobb 角 5° ~ 25° ,平均 16° ,侧凸畸形矫正率 80%~98%,后凸畸形完全矫正,胸椎后凸角度 10° ~ 35° ,腰椎后凸 -30° 至 -50° ,后凸矫正率为 100%,生理曲度恢复正常。7 例经椎弓根楔形截骨矫正先天性腰椎后凸畸形效果满意,腰椎生理前凸恢复正常,后凸矫正率达 100%。脊柱及下肢全长 X 线片显示脊柱矢状面、冠状面和躯干整体平衡情况好,术后 3~6 个月脊柱植骨逐步愈合。随访期间,胸椎侧凸及后凸矫正率无丢失,胸腰段及腰椎侧凸矫正丢失率小于 5%、后凸矫正无明显丢失(表 1 和图 1)。

3 讨论

重度先天性脊柱畸形患者的脊柱解剖结构与解剖标志严重变异^[5,6]。将二维 CT 扫描数据进行

三维重建,通过面片削减、连贯性检测、三维平滑等一系列的处理,可使准确度和视觉效果显著改善^[7-9]。三维重建后在计算机上可以从任意角度、任意方向和任意平面观察脊柱畸形病变情况,更直观和准确地掌握脊柱侧凸和后凸畸形的程度、范围、区域和具体病变情况,并进一步测量所要内固定椎体椎弓根的直径、方向和角度,从而进行术前教学和手术方案设计^[10]。在此基础上,采用计算机辅助快速成型技术,快速制造出和患者畸形脊柱尺寸完全一致的三维立体模型,直接在手术台上使用,与手术中暴露的脊柱畸形进行对照,直接指导手术操作,使复杂难认的脊柱畸形的解剖结构易于辨认,保证畸形椎体的切除、经椎弓根截骨及脊柱畸形矫正更加准确,椎弓根螺钉置入更精确安全。本组 34 例重度脊柱畸形患者,根据术前三维重建和快速成型模型,采用单纯后路畸形矫正及全节段椎弓根螺钉固定技术,脊柱侧凸畸形矫正率达到 85%~98%,后凸畸形完全矫正,生理曲度恢复正常。术中所见与术前三维重建和快速成型模型显示结果完全一致。参照脊柱模型,可使复杂畸形的判断与矫正简单明了化,缩短了手术时间,减少术中失血,未出现脊髓、神经及血管损伤等并发症,矫形和内固定效果十分满意。笔者认为,术前利用快速成型技术构建脊柱模型有助于:①选择内固定种类;②确定螺钉直径、长度、角度,预弯内固定棒;③判断脊髓和神经走行;④确定截骨角度和范围;⑤明确椎弓根缺失及椎体复杂畸形形状。能够最大限度地减少手术创伤,降低手术风险,增加螺钉置入的准确性与稳定性。本组患者术后随访脊柱骨融合良好,畸形矫正率无明显丢失。

快速成型(RP)是 20 世纪 80 年代后期发展起来的一种新型制造技术,它与传统的去除成型和挤压成型不同,通过“分层制造,逐层叠加”来实

表 1 34 例患者脊柱畸形情况及矫形效果

	病例数 (例)	侧凸角 度($^{\circ}$)	后凸角 度($^{\circ}$)	固定节 段(个)	手术时 间(h)	出血量 (ml)	侧凸矫正 率(%)	后凸矫正 率(%)	1年随访侧凸矫 正丢失率(%)
胸椎	7	85±18 (66~107)	89±17 (69~109)	4.7±1.2 (4~7)	3.2±0.4 (3.5~4)	550±160 (400~900)	90±12 (85~98)	100	0
胸腰段	18	105±25 (78~125)	94±22 (74~110)	7.6±2.5 (4~9)	6.5±1.5 (4.5~7)	1200±270 (850~1500)	86±9 (80~95)	100	3±1.4 (2~4.5)
腰椎	9	55±11 (50~77)	65±12 (50~80)	5.5±2.0 (4~8)	4.5±0.9 (3.5~6)	1150±210 (750~1300)	92±13 (81~98)	100	2±0.7 (1~3)
合计	34	75±19 (50~125)	78±17 (50~110)	6.0±2.0 (4~9)	4.5±1.0 (3.5~7)	1100±200 (400~1500)	89±12 (85~98)	100	2±1.2 (1~4.5)

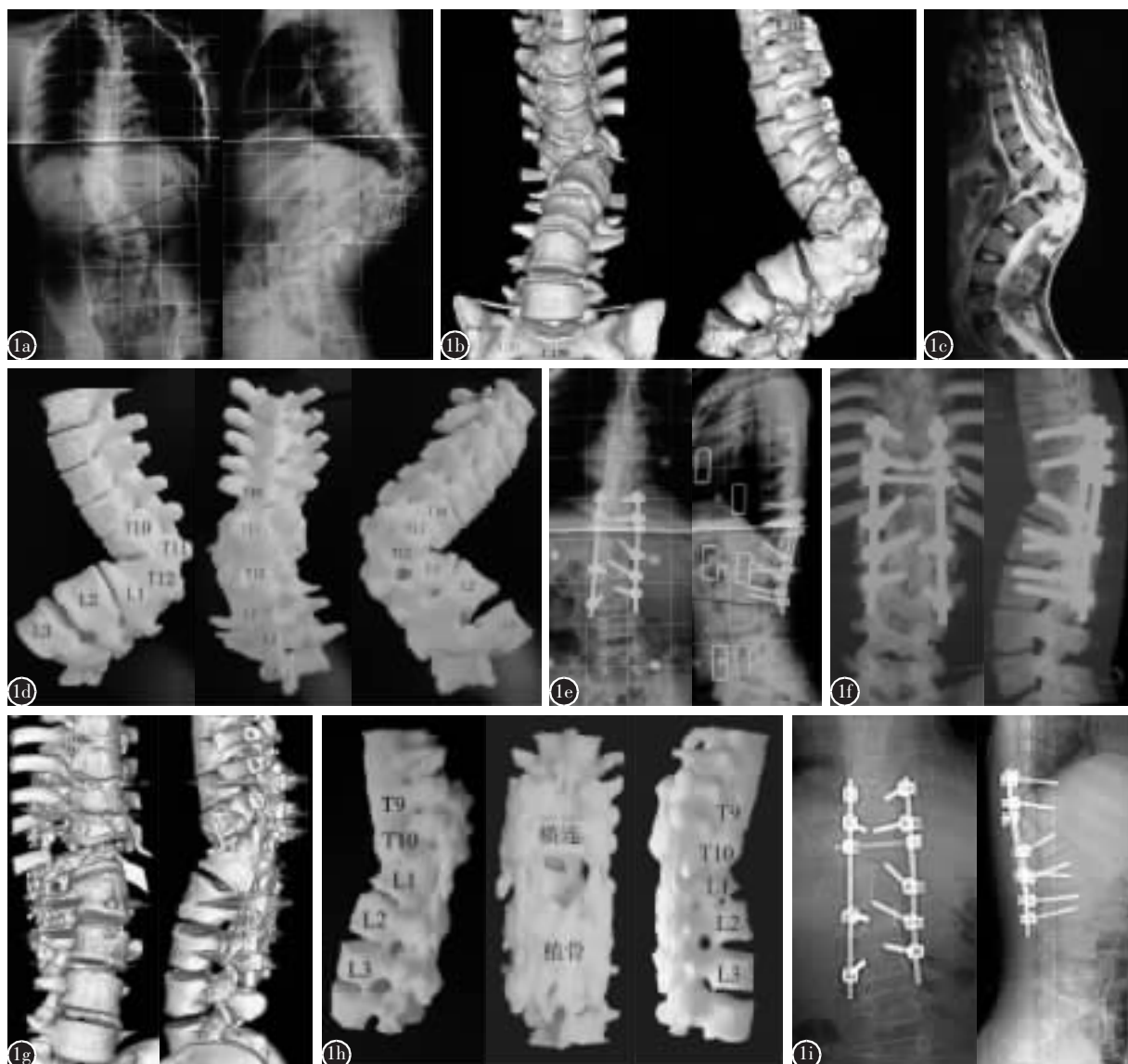


图1 患者男,14岁 a 术前站立位脊柱全长X线片示侧凸Cobb角 20° ,后凸角 100° b 术前CT三维重建示T11、T12半椎体,胸腰段脊柱侧凸并重度后凸畸形 c 术前MRI示胸腰段脊髓受压 d 术前快速成型脊柱模型清楚显示椎体、椎弓根、附件畸形情况及比邻关系 e 一期后路T11、T12半椎体切除,脊柱后凸、侧凸矫正,植骨融合,T9~L3椎弓根螺钉内固定术后1周站立位脊柱全长X线片示侧凸Cobb角 2° ,后凸 18° f、g 术后1周CT扫描三维重建示半椎体切除彻底,螺钉位置良好 h 术后半椎体快速成型脊柱模型示脊柱整体排序及内固定位置良好 i 术后6个月站立位脊柱全长X线片示矫正维持良好,无丢失,植骨融合,内固定位置良好

现对复杂结构的快速建模(rapid tooling, RT)或快速成型制造(rapid prototyping manufacturing, RPM)。其基本过程是:首先对物体的三维CAD实体模型进行分层处理,得到物体的二维截面数据信息,然后根据每一层的截面数据,以特定的方法生成与该层截面形状一致的薄片,这一过程反复进行,逐层累加,直至“生长”出实体模型,其制造精度已经达到 0.1mm 或更小^[11,12]。RP技术较CT三维图像对畸形的显示具有更好的准确性、立体

性和直观性。它可以从任意轴向和角度全面显示畸形情况,直观地观察神经根管、椎弓根等重要结构的位置及周围比邻结构关系,消除X线及CT等二维图像所引起骨性结构重叠的弊端,因而快速成型尤其适用于临床复杂脊柱畸形的病例。本组病例显示,在重度脊柱畸形矫正过程中,RP技术能够在术前辅助确定最佳的手术方案,做好充分的术前准备;术中提高操作的精确程度,缩短手术时间,降低手术风险;辅助术后疗效评估。

近年来随着对脊柱畸形的认识加深和内固定技术的日臻成熟, 脊柱畸形的单纯后路手术矫正和全节段椎弓根螺钉固定技术的应用越来越广泛。其优点在于: 手术损伤小、手术时间短、三维矫正畸形效果良好, 避免前路手术对胸、腹部的损伤和术后粘连等并发症。国内外学者研究报告了单纯后路手术矫治脊柱侧凸 (包括后凸大于 90° 的重度脊柱侧凸畸形) 的有效性和安全性^[13-15], 相对于前后路联合手术, 单纯后路手术尽管存在很多优点, 但也存在着很多风险。对于重度先天性脊柱侧凸、后凸畸形, 因多种畸形复合存在, 解剖结构与解剖标志严重变异, 即使有 CT 和 MRI 等影像学资料, 术中的解剖结构仍难以辨认, 椎弓根螺钉精确放置仍难以达到, 即使十分熟练的脊柱专科医师, 仍可有高达 10% 以上的椎弓根钉置入不良发生率^[16,17]。基于脊柱三维 CT 的快速成型技术制造的脊柱模型, 可进一步精确手术操作, 使手术风险更小, 成功率更高。对于严重、复杂的先天性脊柱畸形, 如何在获得最大矫正效果的同时, 避免最小或“零”概率的脊髓损伤的发生, 达到最大的手术“性价比”, 仍是脊柱外科医生需进一步解决的问题。

总之, 脊柱快速成型模型能够直观地反映脊柱畸形情况, 指导术前评估和手术计划制定, 尤其对重度先天性脊柱畸形, 可直接指导手术操作, 保证置入椎弓根螺钉和矫正脊柱畸形更加准确和安全, 临床应用效果明显, 值得推广。

4 参考文献

- Kim YJ, Lenke LG, Cheh G, et al. Evaluation of pedicle screw placement in the deformed spine using intraoperative plain radiographs: a comparison with computerized tomography [J]. Spine, 2005, 30(18): 2084-2088.
- Suk SI, Kim JH, Kim WJ, et al. Posterior vertebral column resection for severe spinal deformities [J]. Spine, 2002, 27(21): 2374-2382.
- 滕勇, 王臻, 李涤尘. 快速成型技术在医学中的应用[J]. 国外医学生物医学工程分册, 2001, 24(6): 257-261.
- 毛克亚, 陈继营, 毕文志, 等. 数字化人体骨骼重建和快速骨盆重建成型技术的实验研究 [J]. 中国临床康复, 2004, 8(23): 4728-4729.
- Liljenqvist UR, Allkemper T, Hackenberg L, et al. Analysis of vertebral morphology in idiopathic scoliosis with use of magnetic resonance imaging and multi-planar reconstruction[J]. J Bone Joint Surg Am, 2002, 84(3): 359-368.
- Parent S, Labelle H, Skalli W, et al. Thoracic pedicle morphometry in vertebrae from scoliotic spines [J]. Spine, 2004, 29(3): 239-248.
- Nakajima A, Kawakami N, Imagama S, et al. Three-dimensional analysis of formation failure in congenital scoliosis [J]. Spine, 2007, 32(5): 562-567.
- Lehman RA Jr, Lenke LG, Keeler KA, et al. Computed tomography evaluation of pedicle screws placed in the pediatric deformed spine over an 8-year period [J]. Spine, 2007, 32(24): 2679-2684.
- Dumas R, Steib JP, Mitton D, et al. Three-dimensional quantitative segmental analysis of scoliosis corrected by in situ contouring technique [J]. Spine, 2003, 28(11): 1158-1162.
- Hedequist DJ, Emans JB. The correlation of preoperative three dimensional computed tomography reconstructions with operative findings in congenital scoliosis [J]. Spine, 2003, 28(22): 2531-2534.
- 毛克亚, 陈继营, 郝立波, 等. 数字化人体骨骼的初步临床应用 [J]. 中国矫形外科杂志, 2005, 13(1): 67-68.
- Ackerman MJ. The visible human project: a resource for education [J]. Acad Med, 1999, 74(6): 667-670.
- Dobbs MB, Lenke LG, Kim YJ, et al. Anterior/posterior spinal instrumentation versus posterior instrumentation alone for the treatment of adolescent idiopathic scoliotic curves more than 90 degrees [J]. Spine, 2006, 31(20): 2386-2391.
- Kim YJ, Lenke LG, Bridwell KH, et al. Proximal junctional kyphosis in adolescent idiopathic scoliosis after 3 different types of posterior segmental spinal instrumentation and fusions: incidence and risk factor analysis of 410 cases [J]. Spine, 2007, 32(24): 2731-2738.
- Kim YJ, Lenke LG, Bridwell KH, et al. Prospective pulmonary function comparison following posterior segmental spinal instrumentation and fusion of adolescent idiopathic scoliosis: is there a relationship between major thoracic curve correction and pulmonary function test improvement [J]? Spine, 2007, 32(24): 2685-2693.
- Yingsakmongkol W, Hangsaphuk N, Lerdlam S. The accuracy of pedicle screw placement in thoracic spine using the funnel technique in idiopathic scoliosis [J]. J Med Assoc Thai, 2007, 90(1): 96-105.
- Di Silvestre M, Parisini P, Lolli F, et al. Complications of thoracic pedicle screws in scoliosis treatment [J]. Spine, 2007, 32(15): 1655-1661.

(致谢: 感谢西京医院骨科研究所孙龙技师、徐新智技师为术者制作脊柱快速成型模型, 并提供术中脊髓监护技术支持!)

(收稿日期: 2008-01-24 修回日期: 2008-02-05)

(英文编审 郭万首)

(本文编辑 李伟霞)