

临床论著

双生长棒技术治疗早发性脊柱侧凸的中期疗效

王升儒, 仇建国, 邱贵兴, 郭建伟, 张延斌, 杨 阳

(北京协和医学院 北京协和医院骨科 100730 北京市)

【摘要】目的:评估双生长棒技术治疗 5 岁以下早发性脊柱侧凸患儿的中期疗效, 分析相关并发症原因。**方法:**回顾性研究 2004 年 2 月~2012 年 6 月于我科接受双生长棒技术治疗的 14 例(男 4 例, 女 10 例)早发性脊柱侧凸患儿; 平均年龄 3.5 ± 1.2 岁(2~5 岁)。通过复习病历, 对年龄、撑开次数以及并发症进行记录; 同时对影像学资料进行测量分析。测量指标包括侧凸 Cobb 角、胸后凸、腰前凸、T1-S1 距离以及内固定的长度, 对畸形的矫正情况以及脊柱、胸廓的生长指标——坎贝尔的空间供肺比值(Campbell's space available for lung ratio, SAL)进行评估。**结果:**所有患儿平均随访时间为 54.6 ± 22.4 个月(24~100 个月)。14 例患儿共接受 99 次手术, 其中 85 次为撑开术, 平均每例患者经历 6.1 次撑开术。冠状面主弯 Cobb 角术前 $73.8^\circ \pm 19.1^\circ$, 术后 $35.8^\circ \pm 12.8^\circ$, 末次随访时 $34.5^\circ \pm 16.3^\circ$ 。T1-S1 距离从术前 23.9 ± 4.2 cm 增至术后 27.1 ± 4.8 cm, 末次随访时为 33.6 ± 5.2 cm, 平均年增长率 1.61 cm/y。内固定长度初次手术术后为 23.1 ± 5.3 cm, 末次随访时为 28.0 ± 6.2 cm。SAL 术前为 0.90 ± 0.10 , 术后改善至 0.92 ± 0.09 , 末次随访时为 0.96 ± 0.11 。有 4 例患者发生 8 例次并发症, 主要为内固定相关(7 例次)并发症, 均在撑开手术同时进行翻修; 无感染以及神经系统并发症发生。**结论:**双生长棒技术用于治疗 5 岁以下、保守治疗无效的进展性早发性脊柱侧凸患儿, 不仅可以有效地控制脊柱畸形的进展, 保留脊柱的生长潜能, 而且对患儿胸廓畸形也具有一定的矫正作用; 尽管该技术内固定失败发生率较高, 但通过翻修手术仍可以获得满意的临床疗效。

【关键词】早发性脊柱侧凸; 双生长棒技术; 胸廓发育不良综合征; 非融合技术

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2015.08.02

中图分类号: R682.3 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2015)-08-0677-06

The efficacy and complications of dual growing rod technique for early onset scoliosis/WANG Shengru, ZHANG Jianguo, QIU Guixing, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2015, 25(8): 677-682

【Abstract】 Objectives: To evaluate the clinical outcomes of the dual growing rod technique for early onset scoliosis(EOS). **Methods:** 14 patients(4 males, 10 females) undergoing dual growing rod technique for severe rigid congenital scoliosis in our hospital from February 2006 to June 2012 were retrospectively studied. The average age was 3.5 ± 1.2 years(range, 2-5 years). The mean follow-up was 54.6 ± 22.4 (range, 24-100) months. The patients' charts were reviewed. The parameters included age at initial surgery and the final follow-up, number and frequency of lengthening, and complications. Radiographic evaluation included scoliosis Cobb angle, thoracic kyphosis, lumbar lordosis, trunk shift, length of T1-S1 and instrumentation. **Results:** There was a total of 99 surgeries, 85(14 patients) of them were lengthening procedures. The average lengthening was of 6.1cm per patient. The mean scoliosis improved from $73.8^\circ \pm 19.1^\circ$ to $35.8^\circ \pm 12.8^\circ$ after initial surgery and was $34.5^\circ \pm 16.3^\circ$ at the final follow-up. The average T1-S1 length was of 1.61cm per year. The SAL increased from 0.90 ± 0.10 to 0.96 ± 0.11 after initial surgery and was 0.96 ± 0.11 at the final follow-up. Eight complications occurred in 4 patients and most of them were implant-related (7 complications), underwent revision surgery at the same time of lengthening procedures. No infection and complications of nervous system. **Conclusions:** For patients with progressive EOS and age of 5 years, dual growing rod technique can maintain correction achieved at initial surgery while allowing spinal growth. The deformity of thoracic cage can be improved while the growth potential of the thoracic cage is preserved. However, this technique requires multiple numbers of lengthening procedures and thus has higher risk of complications. These factors should be

第一作者简介: 男(1984-), 医学博士, 研究方向: 脊柱外科

电话: (010)69152800 E-mail: 717619703@qq.com

通讯作者: 仇建国 E-mail: jgzhang_pumch@yahoo.com

evaluated carefully before the surgery.

【Key words】 Early onset scoliosis; Dual growing rod technique; Thoracic insufficiency syndrome; Fusionless technique

【Author's address】 Department of Orthopedics, Peking Union Medical College Hospital, Beijing, 100730, China

早发性脊柱侧凸(early onset scoliosis, EOS)通指各种病因所致、5岁之前出现的脊柱畸形。由于此时期为脊柱的第一个快速发育期, EOS多呈进展性,易导致严重的脊柱畸形与胸廓畸形,进而影响胸廓的发育,对心肺功能造成严重不良影响。对于柔韧性较好的畸形,可以采用石膏、支具等保守治疗。但是多数 EOS进展快,保守治疗效果差,需手术干预。对于单发、侧凸弧较锐的脊柱畸形,半椎体切除或者截骨加短节段融合术获得了良好的临床疗效^[1-4]。但是对于累及范围长的畸形,传统的脊柱融合术会导致“短躯干”以及胸廓发育不良综合征(thoracic insufficiency syndrome, TIS),对患儿产生严重的不良影响^[5,6]。对此类畸形非融合技术例如生长棒、纵向可撑开人工钛肋、Shilla等技术,在控制畸形的同时可允许脊柱继续生长,是较理想的选择。目前多项研究^[7-21]证明生长棒治疗特发性脊柱侧凸、神经肌肉型脊柱侧凸、先天性脊柱侧凸等类型的脊柱侧凸是安全而有效的。相关研究^[5,22]证明脊柱及胸廓在5岁之前发育迅速,既往研究关于生长棒技术治疗5岁以下、处于脊柱和胸廓快速发展时期患儿临床效果的报道相对较少。本研究拟通过回顾性病例研究来评估双生长棒技术治疗5岁以下脊柱侧凸患儿的疗效和并发症。

1 资料与方法

1.1 一般资料

回顾性研究 2004 年 2 月~2012 年 6 月于我院接受双生长棒技术手术治疗的 5 岁以下患儿,共 14 例,其中男 4 例,女 10 例;平均 3.2 ± 1.2 岁(2~5 岁)。所有患儿均为长节段的脊柱侧凸,畸形呈进行性发展;均为初次手术。畸形的类型:先天性脊柱侧凸 11 例,特发性脊柱侧凸 1 例;神经肌肉型 1 例,马凡综合征合并脊柱侧凸 1 例。7 例患者存在椎管内畸形,其中脊髓纵裂 3 例,脊髓空洞 1 例,脊髓拴系 2 例,脊柱裂 1 例,椎管内囊肿 2 例(同时存在两种者 2 例)。

所有患者术前均接受全脊柱 CT 及 MRI 检查

明确畸形的类型以及伴随椎管内畸形的情况,行超声检查明确是否伴发其他系统的畸形。所有患儿术前均行行动脉血气分析来评估患儿的呼吸功能(表 1)。

1.2 手术方法

患儿全身麻醉后取俯卧位,预防性静脉使用抗生素。术中使用 C 型臂 X 线机透视定位后根据上下锚定点位置以及拟放置连接器的部位做 2~3 个切口,仅在上、下锚定点行有限骨膜下剥离,上、下方锚定点双侧对称置入 2 对椎弓根螺钉(原则上只要能够置入椎弓根螺钉,优先选择椎弓根螺钉,对于椎弓根发育欠佳或缺如者,可使用椎板合抱钩)。

测量所需钛棒长度。将预弯矢状面曲度的钛棒穿过深筋膜下方肌肉,分别与上、下锚定点、连接阀以及截骨水平上下椎弓根螺钉相连。连接阀置于胸腰段肌肉深筋膜下。首先通过转棒进行矫正,之后通过连接阀行凸侧加压、凹侧撑开进一步提高矫正程度。最终锁紧各螺钉。可吸收线关闭切口。

在本组患者中,有 2 例患者因长范围的侧凸同时伴发局限性矢状面后凸,我们对其进行后凸顶点截骨、短节段融合来矫正短节段的矢状面畸形。手术后患儿佩戴保护性支具 6 个月。避免剧烈运动以及外伤。

初次手术之后 6 个月行第一次撑开术。每次撑开操作时对患儿行全身麻醉,取俯卧位。仅暴露位于胸腰段深筋膜下的连接阀,松开螺钉,使用撑开器在连接阀以及需要撑开的棒之间进行撑开。根据患儿畸形加重程度以及身高增长情况来确定撑开间隔(具体标准:坐高增长超过 2cm 或者畸形加重超过 5°)。

初次手术以及每次撑开术均在脊髓监护下进行,脊髓监护包括同时应用体感诱发电位以及运动诱发电位。一旦术中出现脊髓监测信号变化,应当首先排查有无可能导致神经损伤的因素,并予以相应处理,如放松撑开等;并检查患儿血压、连接通路,以排除手术之外的因素对信号的影响。

1.3 测量指标及随访方法

在撑开治疗过程中,初次矫形术后每 6 个月左右进行随访。随访时进行站立位脊柱全长正侧位 X 线片检查,记录患儿并发症发生情况。

于患儿站立位脊柱全长正侧位 X 线片上测量冠状面矫形指标(包括主弯侧凸 Cobb 角、躯干偏移)、矢状面矫形指标(胸后凸、腰前凸 Cobb 角)、T1~S1 的长度(T1-S1)以及坎贝尔的空间供肺比值(Campbell's space available for lung ratio, SAL)^[21]。SAL 为凹侧与凸侧第一肋顶点至膈肌最高点的距离的比值。所有指标由 2 名医师单独进行测量,结果取其平均值,以减少测量误差。术前、术后以及随访相关指标使用 *T* 检验进行比较, $P<0.05$ 表明有统计学差异。

2 结果

2.1 临床疗效

14 例患儿共接受 99 次手术,其中 85 次为撑开术,平均每例患者经历 6.1 次撑开术。影像学测量结果见表 1,侧凸、胸后凸、腰前凸、T1-S1 距离及 SAL 术后较术前明显改善($P<0.05$);胸后凸、腰前凸、T1-S1 距离及 SAL 末次随访时与术后比较差异有显著性($P<0.05$);内固定长度末次随访时与第一次术后比较差异有显著性($P<0.05$)(表 1、图 1)。

2.2 并发症

至末次随访时,共有 4 例患者发生 8 例次并发症。其中椎板钩松动移位 5 例次、椎弓根螺钉松动 2 例次,交界性后凸 1 例次;所有并发症均在计划撑开的手术同时进行翻修。其中 1 例患者因交

界性后凸出现近端锚定点椎板钩松动移位 3 例次,椎弓根螺钉松动 1 例次,对其进行了翻修手术,在近端交界性后凸定点进行截骨,短节段融合。之后继续对长范围的侧凸畸形使用生长棒,此后未再出现内固定相关并发症。本组患者中无切口感染、神经系统损伤等其他并发症发生。

3 讨论

脊柱以及胸廓的发育在 5 岁之前的发育最快,可反映脊柱生长的坐高在 5 岁时即可达到成年的 60%;胸廓容积在出生时只有成年的 6%,而到 5 岁时其已经达到成年 30%^[5,22]。近年来,多种保留生长潜力的矫形技术被用来治疗 EOS,双侧生长棒技术是最成熟的一种。

3.1 双生长棒技术的临床疗效

Akbarnia 等最早报道使用双生长棒技术治疗早发性脊柱侧凸取得了良好的临床疗效,在保留脊柱生长潜力的同时,侧凸的矫正率达到 28.8%~49.9%,T1~S1 距离年增长率达 1.21~1.46cm/y, SAL 从 0.8 改善至 1.0^[7,8]。2011 年 Elsebai 等^[16]报道应用生长棒技术治疗 19 例先天性脊柱侧凸患者;患者平均年龄 6.2 岁(3.2~10.7 岁),侧凸矫正率为 31.8%,T1~S1 距离的年增长率为 11.7mm/y; SAL 从术前的 0.81 改善到末次随访的 0.96。Zhang 等^[17]在 2012 年报道应用双生长棒技术治疗 30 例先天性脊柱侧凸患儿的临床效果;患者平均年龄 7.2 岁(2~13 岁),侧凸术前平均为 72.3°,初次术后 34.9°,末次随访 36.2°;T1~S1 距离年生长率为 1.49cm/年;SAL 术前 0.81,初次术后 0.95,末次随访为 0.96。

表 1 矫形效果及脊柱的生长情况

Table 1 Results of correction and growth of the spine

	术前 Preoperation	术后 Postoperation	末次随访 Final follow-up
侧凸(Scoliosis)(°)	73.8±19.1	35.8±12.8 ^①	34.5±16.3
躯干偏移(Trunk shift)(mm)	16.5±11.1	18.6±12.1	14.8±12.2
胸后凸(Thoracic kyphosis)(°)	35.2±14.3	22.1±8.6 ^①	32.2±12.1 ^②
腰前凸(Lumbar lordosis)(°)	-53.1±21.3	-37.5±11.3 ^①	-51.6±16.4 ^②
矢状面平衡(Sagittal balance)(mm)	20.3±5.3	24.5±6.7 ^①	9.7±4.9 ^②
T1-S1(mm)	23.9±4.2	27.1±4.8 ^①	33.6±5.2 ^②
内固定长度(Length of instrumentation)(mm)	-	23.1±5.3	28.0±6.2 ^②
SAL(mm)	0.90±0.10	0.92±0.09	0.96±0.11 ^②

注:①与术前比较 $P<0.05$;②与术后比较 $P<0.05$

Note: ①Compared with preoperation, $P<0.05$; ②Compared with postoperation, $P<0.05$

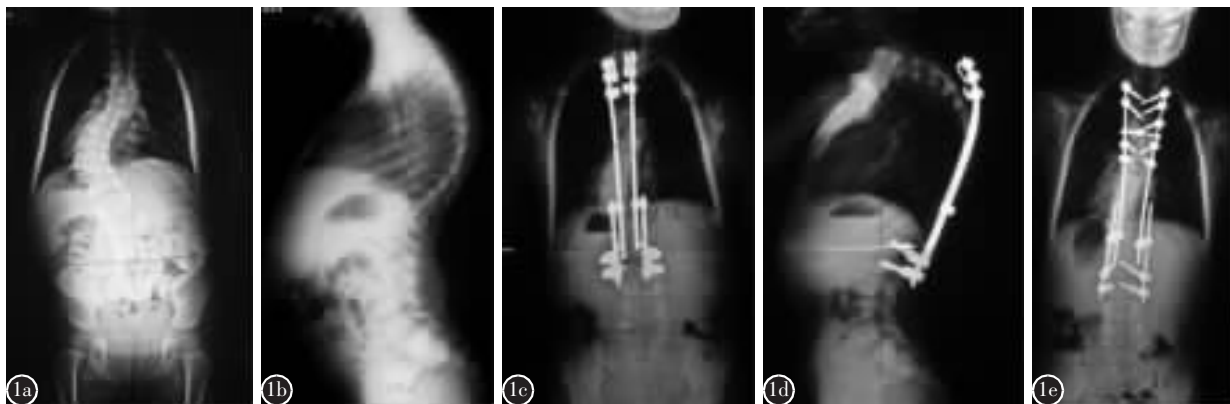


图 1 4 岁女性患儿, 严重早发性脊柱侧凸, 成进展性 **a, b** 术前 X 线片示主弯侧凸 Cobb 角 (T8~L2) 60°, 矢状面 (T2~T12) 70° **c, d** 初次生长棒内固定术后 5 年, 拟行第六次撑开前 X 线片示矫形维持良好, 主弯 Cobb 角 36°, 胸廓发育良好。近端椎板钩脱出, 近端交界性后凸明显 (T2~T6) 80°, (T2~T12) 92° **e, f** 行近端交界性后凸顶点截骨、后凸矫正短节段融合术, 术后 2 年随访 X 线片示矫形维持良好, 冠状面主弯 Cobb 角 30°, 胸廓发育良好, 矢状面 (T2~T8) 20°, (T2~T12) 35°

Figure 1 A 4 years old girl with progressive, severe early-onset scoliosis **a, b** The preoperative X-ray showed that the scoliosis was 60° (T8~L2) and the thoracic kyphosis was 70° (T2~T12) **c, d** Five lengthening procedures were performed during 5 years after the initial surgery. The X ray before the sixth lengthening procedure showed the scoliosis was 36° and the development of thoracic cage was good. However, displacement of the proximal hooks and proximal junctional kyphosis (T2~T6 80°, T2~T12 92°) could be noted. **e, f** Revision surgery was indicated, the osteotomy were performed at the apex vertebra with short segmental fusion to correct the proximal junctional kyphosis. The X-ray showed that the correction maintained well 2 years later. The scoliosis was 30° and the thoracic cage developed well. The kyphosis of T2~T8 and T2~T12 was 20° and 35° respectively.

如前所述, 5 岁之前脊柱、胸廓的发育与其后相比存在不同特点, 而上述研究患者的年龄范围跨度大, 不能准确反映双生长棒技术在治疗处于脊柱、胸廓处于快速发育期的 5 岁以下患儿的疗效。本研究纳入的患儿均为 5 岁以下, 侧凸矫正率达到 51.4%, 在撑开治疗过程中矫形无明显丢失, T1~S1 年增长率可达到 1.61cm/y, SAL 从术前 0.90 改善至 0.96。这些初步结果说明该术式在治疗 5 岁以下的患儿时亦可获得良好的临床疗效。在脊柱快速增长的时期内, 可以在矫正、控制畸形的同时保留畸形脊柱的纵向生长潜力; 对于胸廓畸形亦可获得一定的矫正, 保证胸廓的发育。

近年来, 有学者^[22, 23]对生长棒矫形过程中矢状面力线的变化进行了研究。研究发现, 矢状面胸后凸在初次手术后会减小, 而在撑开过程中会逐渐增加, 但未出现胸后凸异常增大情况; 他们认为在生长棒治疗过程中, 频繁的后路撑开并不会导致胸后凸异常增加, 矢状面力线平衡可以得到良好的维持。在本研究中, 有 1 例患者出现近端交界

性后凸, 继发近端锚定点多次内固定失败, 我们对其进行了翻修手术, 其余患者的矢状面力线在生长棒治疗过程中得到了良好维持。

3.2 双生长棒技术的并发症

非融合技术由于保留了脊柱的生长潜力, 均面临生长应力增大、畸形加重所导致的内固定失败问题, 生长棒技术同样如此。Sanker 等^[24]报道在其接受生长棒治疗的 36 例患者中有 26 例患者发生 72 例次并发症, 其中 49 例次 (68.1%) 为内固定相关并发症。在 Elsebai 等^[16]的报道中, 有 8 例患者发生 14 例次并发症, 11 例次 (78.6%) 为内固定失败。上述两个研究均包含有为单、双棒病例。研究已经证明双生长棒技术与单棒技术相比, 其内固定相关并发症明显下降^[9]。Akbarnia 等^[7]报道使用双生长棒技术治疗 23 例患者, 11 例患者发生并发症, 其中 5 例为内固定相关。Zhang 等^[17]报道使用双生长棒技术治疗 30 例先天性脊柱侧凸患儿的临床结果, 7 例患者共发生 13 例次并发症, 其中 10 例次 (76.9%) 为固定失败。Watanabe

等^[25]报道在其研究的接受生长棒治疗的 88 例患儿中, 50 例患者有并发症发生, 其中内固定失败占 72%。他们分析后认为上胸段后凸、胸后凸增大以及撑开次数与内固定失败发生率呈明显相关性。

在本研究中, 有 4(28.5%) 例患者发生 8 例次并发症, 其中 7 例次为内固定失败, 主要为椎板钩松动移位。脊柱的快速生长、畸形加重所产生的应力、婴幼儿骨质差以及矢状面畸形的存在等因素使得在使用双生长棒治疗 EOS 时内固定相关并发症高发。本组患儿并发症发生率低于现有文献报道, 说明在 5 岁以下患儿施行双生长棒手术不会导致并发症发生率明显增加。但需要指出的是, 由于本组病例大多远尚未达到骨成熟, 在治疗过程中仍然会出现并发症, 导致并发症发生率上升。我们会在以后的随访中密切观察。在临床实践中, 我们发现以下措施可以帮助减少内固定相关并发症: (1) 5 岁以下患儿的椎板发育较差, 使用椎板钩易出现移位现象, 这在本组患者中表现的非常明显。因而应尽量选用椎弓根螺钉来建立锚定点, 锚定点应当进行植骨融合以增强稳定性。(2) 规律进行撑开; 尤其是在快速生长期, 应当每 6~9 个月撑开一次, 及时释放脊柱生长所产生的应力, 减少内固定物所受应力; 此外, 规律的撑开还可通过牵张应力刺激增加脊柱的生长; (3) 对于顶点锐利、存在巨大不对称生长潜力或存在明显后凸的患者, 我们建议行顶椎的截骨, 短节段固定融合, 同时在长范围的畸形两端建立锚定点使用双生长棒技术。通过截骨短节段融合可以很大程度地矫正角状畸形, 减少畸形快速进展对内固定产生的巨大应力, 从而可以减少内固定相关并发症的发生, 同时短节段融合对于脊柱的生长潜力影响较小^[18]。在本组病例中有 1 例患者存在近端交界性后凸, 其反复出现近端锚定点的内固定失败。在翻修手术中, 我们在近端交界性后凸定点进行截骨, 短节段融合。之后继续对长范围的侧凸畸形使用生长棒, 在此后的撑开治疗过程中未再出现内固定相关并发症。(4) 连接棒应当进行适当的预弯, 尤其是上胸段, 后凸明显, 如果棒预弯不充分, 局部应力增大, 容易造成拔钉、断棒等; (5) 建议患儿手术后应佩戴支具。支具在减少内固定所受应力的同时可以为锚定点骨性融合提供稳定的环境。

由于需要多次手术, 局部软组织覆盖条件较

差, 感染是生长棒手术所面临的常见问题。在一项多中心研究中, Bess 等^[20]通过对 140 例患者畸形回顾性分析报道切口相关并发症的发生率高达 15.7%。在本组病例中, 虽然每例患者均存在明显的皮肤瘢痕问题, 但无切口感染发生。一方面与本组病例数较少有关; 另一方面, 我们采取了一些预防措施可能对于预防切口相关并发症有所帮助。我们的经验主要有: 在保证固定强度下选择低切迹的儿童专用脊柱外科器械; 连接器应当置入筋膜下以减少因内固定物突起造成的切口皮肤高张力, 不愈合; 每次手术前均应预防性静脉使用抗生素, 可用至术后第 3 天; 在充分、彻底止血之后不放置引流管, 以减少切口深部逆行性感染的机会; 连接器所在部位皮肤瘢痕多次切开, 血运差, 在切开时避免使用电刀长时间切割; 关闭切口时选择抗菌可吸收缝线, 缝合时应当进行充分的皮下减张, 以减少皮缘的张力, 皮缘对合建议使用细线进行间断缝合, 保护其血运。

4 结论

5 岁之前为脊柱、胸廓的快速发育期, 此时发生的脊柱畸形往往快速进展, 保守治疗效果不佳, 可导致严重的脊柱畸形以及胸廓畸形。对此类患者使用双生长棒技术可获得脊柱畸形的矫正与控制, 在维持矫形的同时, 保留大部分脊柱的生长潜力; 同时可以矫正胸廓畸形并促进胸廓发育。但该技术需多次手术, 并发症发生率较高, 对家庭可造成一定的经济负担, 对患儿心理亦可产生不良影响, 在确定手术指征时需考虑这些因素并与患儿家属进行充分的沟通。需要指出的是, 本组患者均未接受最终融合手术, 双生长棒技术对于脊柱与胸廓发育的影响以及可能出现的新并发症, 需要继续随访观察。

5 参考文献

1. Ruf M, Harms J. Hemivertebra resection by a posterior approach: innovative operative technique and first results [J]. Spine, 2002, 27(10): 1116-1123.
2. Ruf M, Harms J. Posterior hemivertebra resection with transpedicular instrumentation: early correction in children aged 1 to 6 years[J]. Spine, 2003, 28(18): 2132-2138.
3. Zhang JG, Wang SR, Qiu GX, et al. The efficacy and complications of posterior hemivertebra resection[J]. Eur Spine J, 2011, 20(10): 1692-1702.

4. Wang SR, Zhang JG, Qiu GX, et al. Posterior hemivertebra resection with bisegmental fusion for congenital scoliosis: more than 3 year outcomes and analysis of unanticipated surgeries [J]. *Eur Spine J*, 2013, 22(2): 387–393.
5. Campbell RM Jr, Smith MD, Mayes TC, et al. The characteristics of thoracic insufficiency syndrome associated with fused ribs and congenital scoliosis[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2003, 85-A(3): 399–408.
6. Goldberg CJ, Moore DP, Fogarty EE, et al. Long-term results from in situ fusion for congenital vertebral deformity[J]. *Spine*, 2002, 27(6): 619–628.
7. Akbarnia BA, Marks DS, Thompson AG, et al. Dual growing rod technique for the treatment of progressive early-onset scoliosis: a multicenter study[J]. *Spine*, 2005, 30(17 Suppl): S46–S57.
8. Akbarnia BA, Breakwell LM, Marks DS, et al. Dual growing rod technique followed for three to eleven years until final fusion. The effect of frequency of lengthening[J]. *Spine*, 2008, 33(9): 984–990.
9. Thompson GH, Akbarnia BA, Kostial P, et al. Comparison of single and dual growing rod techniques followed through definitive surgery: a preliminary study[J]. *Spine*, 2005, 30(18): 2039–2044.
10. Thompson GH, Akbarnia BA, Campbell RM Jr. Growing rod techniques in early-onset scoliosis [J]. *J Pediatr Orthop*, 2007, 27(3): 354–361.
11. Blakemore LC, Scoles PV, Poe-Kochert C, et al. Submuscular Isola rod with or without limited apical fusion in the management of severe spinal deformities in young children: preliminary report[J]. *Spine*, 2001, 26(18): 2044–2048.
12. Cheung KM, Zhang JG, Lu DS, et al. Ten-year follow-up study of lower thoracic hemivertebrae treated by convex fusion and concave distraction[J]. *Spine*, 2002, 27(7): 748–753.
13. Grass PJ, Soto AV, Araya HP. Intermittent distracting rod for correction of high neurologic risk congenital scoliosis [J]. *Spine*, 1997, 22(16): 1922–1927.
14. Schmitz A, Schulze BD, Schmitt O. Five-year follow-up of intermittent distracting rod correction in congenital scoliosis [J]. *Eur J Pediatr Surg*, 2002, 12(6): 416–418.
15. Klemme WR, Denis F, Winter RB, et al. Spinal instrumentation without fusion for progressive scoliosis in young children[J]. *J Pediatr Orthop*, 1997, 17(6): 734–742.
16. Elsebai HB, Yazici M, Thompson GH, et al. Safety and efficacy of growing rod technique for pediatric congenital spinal deformities[J]. *J Pediatr Orthop*, 2011, 31(1): 1–5.
17. Wang SR, Zhang JG, Qiu GX, et al. Dual growing rods technique for congenital scoliosis: more than 2 years outcomes—preliminary results of a single center [J]. *Spine*, 2012, 37(26): E1639–E1644.
18. Wang SR, Zhang JG, Qiu GX, et al. One stage posterior osteotomy with short segmental fusion and dual growing rod technique for severe rigid congenital scoliosis: the preliminary clinical outcomes of a hybrid technique[J]. *Spine*, 2014, 39(4): E294–E299.
19. Flynn JM, Tomlinson LA, Pawelek J, et al. Growing-rod graduates: lessons learned from ninety-nine patients who completed lengthening[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2013, 95 (19): 1745–1750.
20. 王伟, 仇建国, 邱贵兴, 等. 生长棒脊柱治疗先天性脊柱侧凸疗效以及并发症分析[J]. *中华外科杂志*, 2013, 51(9): 821–826.
21. Dimeglio A. Growth of the spine before age 5 years[J]. *J Pediatr Orthop B*, 1992, 1(2): 102–107.
22. Atici Y, Akman YE, Erdogan S, et al. The effect of growing rod lengthening technique on the sagittal spinal and the spinopelvic parameters[J]. *Eur Spine J*, 2015, 24(22): 1148–1157.
23. Shah SA, Karatas AF, Dhawale AA, et al. The effect of serial growing rod lengthening on the sagittal profile and pelvic parameters in early-onset scoliosis[J]. *Spine*, 2014, 39 (22): E1311–E1317.
24. Sankar WN, Acevedo DC, Skaggs DL. Comparison of complications among growing spinal implants[J]. *Spine*, 2010, 35 (23): 2091–2096.
25. Watanabe K, Uno K, Suzuki T, et al. Risk factors for complications associated with growing-rod surgery for early-onset scoliosis[J]. *Spine*, 2013, 38(8): E464–E468.
26. Bess BS, Akbarnia BA, Thompson GH, et al. The complications of growing-rod technique for early-onset scoliosis. Analysis of one hundred and forty patients[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2010, 92(15): 2533–2543.

(收稿日期:2015-05-26 修回日期:2015-07-24)

(英文编审 蒋欣/贾丹彤)

(本文编辑 彭向峰)