

临床论著

双生长棒固定治疗重度早发型脊柱侧凸的疗效分析

王云生, 海涌, 孟祥龙, 李冬月

(首都医科大学附属北京朝阳医院骨科 100020 北京市)

【摘要】目的:分析应用双生长棒固定治疗重度早发型脊柱侧凸患者的临床效果,评估其临床应用的临床疗效及安全性。**方法:**2007 年 1 月~2015 年 6 月我科收治的重度早发型脊柱侧凸并行双生长棒矫形术治疗的患者 25 例(男 12 例,女 13 例),初次术前主弯 Cobb 角均大于 80° 且 Risser 征 $\leq$ I 级。测量初次手术前、手术后以及末次随访时冠状面主弯 Cobb 角、T1~S1 高度、矢状面最大后凸角,分析患者的矫形效果及脊柱高度变化。同时收集患者初次术前、初次术后 6 月及末次随访的肺功能指标及胸部 CT,测量患者初次术前、初次术后及末次随访时的肺容积,分析患者肺功能变化情况。**结果:**入组患者初次术前年龄 7.8 ± 1.4 岁(5~9 岁),随访时间 40.3 ± 13.1 个月(22~54 个月),撑开手术次数平均 3.2 次(3~7 次)。冠状面主弯 Cobb 角初次术前为 $96.7^\circ \pm 15.5^\circ$,初次术后改善为 $50.7^\circ \pm 16.1^\circ$,至末次随访时改善为 $40.3^\circ \pm 10.9^\circ$;T1~S1 高度由初次术前 23.2 ± 3.5 cm 增至初次术后 31.1 ± 3.8 cm,而末次随访时增至 36.5 ± 4.2 cm,矢状面最大后凸角初次术前为 $73.2^\circ \pm 18.9^\circ$,初次术后改善为 $47.7^\circ \pm 15.8^\circ$,末次随访时改善为 $41.2^\circ \pm 11.6^\circ$ 。患者末次随访时肺功能指标及胸廓容积较初次术前明显改善。入组患者共 9 例出现并发症,其中内固定相关并发症 7 例(8 次),近端交界性后凸 4 例。**结论:**双生长棒应用于重度早发型脊柱侧凸患者的治疗可以获得良好的矫形效果,有助于改善和维持患者肺功能,但仍存在一定的手术并发症风险。

【关键词】早发型脊柱侧凸;生长棒;肺功能;并发症

doi:10.3969/j.issn.1004-406X.2017.06.06

中图分类号:R682.3 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2017)-06-0506-06

Dual growing rod in the treatment of severe early onset scoliosis: a clinical study/WANG Yunsheng, HAI Yong, MENG Xianglong, et al/Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2017, 27(6): 506-511

【Abstract】 Objectives: To analyze the clinical effect of dual growing rod in the treatment of severe early onset scoliosis patients(Cobb $>80^\circ$), and to evaluate the feasibility and safety of application. **Methods:** From January 2007 to June 2015, 25 patients(12 males and 13 females, Risser $\leq$ I) who were diagnosed with severe early onset scoliosis and undergone the operation by using dual growing rod in our department were selected in our study. The Cobb angle of major curve, T1~S1 height, the maximum kyphosis angle in sagittal plane were measured. After all, the changes of these parameters were analyzed. Meanwhile, pulmonary function tests of all patients were collected before the initial operation, 6 months after the initial operation and at final follow-up. And the lung volumes of patients were measured before the initial operation, after the initial operation and at final follow-up. Then the change of pulmonary function were analyzed. Complications occurred during the period of treatment were analyzed. **Results:** The age of patients was 7.8 ± 1.4 years old (range, 5-9 years old), while the follow-up period was from 22 months to 54 months, and the mean was 40.3 ± 13.1 months. All the patients had undergone surgery for 3 to 7 times(mean, 3.2 times). The Cobb angle improved from $96.7^\circ \pm 15.5^\circ$ to $50.7^\circ \pm 16.1^\circ$ after initial surgery and to $40.3^\circ \pm 10.9^\circ$ at final follow-up. Similarly, the T1~S1 height improved from 23.2 ± 3.5 cm to 31.1 ± 3.8 cm after initial surgery and to 36.5 ± 4.2 cm at fi-

基金项目:国家自然科学基金资助项目(编号:81372008)

第一作者简介:男(1990-),博士生在读,研究方向:脊柱外科

电话:(010)85231229 E-mail:wys66167976@sina.com

通讯作者:海涌 E-mail:spinesurgeon@163.com

nal follow-up. While the maximum kyphosis angle in sagittal plane decreased from $73.2^{\circ} \pm 18.9^{\circ}$ to $47.7^{\circ} \pm 15.8^{\circ}$ and to $41.2^{\circ} \pm 11.6^{\circ}$ at final follow-up. At final follow-up, the pulmonary function and lung volume improved significantly. While, complications related with fixation occurred in 7 patients (8 times). **Conclusions:** The dual growing rod is effective in treatment for severe early onset scoliosis and appropriate for improving and maintaining the pulmonary function as well. The rate of incidence of complication is acceptable.

【Key words】 Early onset scoliosis; Growing rod; Pulmonary function; Complication

【Author's address】 Department of Orthopedics, Beijing Chaoyang Hospital, 100020, Beijing, China

早发型脊柱侧凸(early onset scoliosis, EOS)是指发病于 10 岁之前的各种类型的脊柱侧凸^[1]。其特点是发病年龄小,侧凸进展快且发病年龄段处于胸廓和肺的发育时期,严重影响患者肺功能的发育。对于 EOS 患者,在其起病早期脊柱柔韧性良好且肺功能未受严重影响的情况下,可采用石膏、支具及牵引等保守治疗^[2,3]。然而,对于保守治疗依从性不良或出现皮肤破溃等并发症的患者,通常需要手术治疗^[4]。尤其对于重度 EOS (Cobb 角 $>80^{\circ}$)患者,手术治疗多不可避免。EOS 手术治疗的原则是矫正畸形,同时保留脊柱生长潜能,改善并维持胸廓和肺的生长发育。生长棒技术对于控制侧凸进展以及维持肺功能发育具有明显优势,其包括早期的单生长棒和目前广泛应用的双生长棒^[5-7]。既往对于冠状面主弯 Cobb 角 $>80^{\circ}$ 的重度 EOS 患者,由于单生长棒矫正效果不理想,且对椎体旋转和后凸畸形矫正不佳以及治疗过程中并发症发生率较高等原因,较少应用单生长棒进行矫正^[8]。随着双生长棒的广泛应用以及围术期牵引技术的改进,对于重度 EOS 患者,双生长棒已成为主要的手术方法。目前对于双生长棒应用于重度 EOS 患者的相关临床研究较少,本文通过对双生长棒治疗的重度 EOS 的患者进行回顾性分析,评估双生长棒应用于重度 EOS 患者治疗的临床效果。

1 资料与方法

1.1 一般资料

我科 2007 年 1 月至 2015 年 6 月采用双生长棒治疗的重度 EOS 患者 25 例(男 12 例,女 13 例),其中先天性脊柱侧凸 12 例,特发性脊柱侧凸 10 例,神经纤维瘤病性脊柱侧凸 3 例。患者初次术前年龄为 5~9 岁(7.8 ± 1.4 岁)。入选标准:初次术前脊柱全长正位片冠状面主弯 Cobb 角 $>80^{\circ}$,侧凸进行性加重,Risser 征 $\leq$ I 级,术后随访时间大于 18 个月且至少行 3 次生长棒延长手术。排除标

准:年龄小于 5 岁,Risser 征 $>$ I 级,随访时间小于 18 个月或延长手术不足 3 次,资料不全或失访病例。

1.2 术前准备

术前完善脊柱全长正侧位及左右 bending 位 X 线片、脊柱全长 CT 及三维重建、脊柱 MRI、心肺功能检查。术前常规行枕颌带双下肢对抗皮牵引 1 周,起始重量为患者体重的 1/7,根据牵开距离逐渐增加重量,最大至体重的 1/5,每日 3~4 次,每次 30~45min,牵引 7 天后拍摄牵引下脊柱全长正侧位 X 线片评估牵引效果,若牵引时出现双下肢感觉或运动异常,则停止牵引。

1.3 手术方法

患者全身麻醉后行气管插管,取俯卧位,后正中入路,C 形臂 X 线机透视确定上下固定椎水平,分别于上下固定椎处确定切口,依次切开皮肤、皮下组织,剥离肌肉,充分显露上、下固定椎的棘突、横突、关节突关节及椎板。分别于上、下固定椎置入椎弓根螺钉,根据术中情况可在上固定椎置入横突钩代替椎弓根螺钉,预弯一根固定棒后将棒穿过凹侧深筋膜及肌肉组织,固定于上端固定椎。同样方法固定另一根棒于凹侧下端固定椎,生长棒连接凹侧两根固定棒,进行适度撑开矫形,锁紧螺母。同样方法在凸侧置入生长棒并矫形固定。用 3000ml 生理盐水冲洗伤口后,放置引流管 1 根,逐层缝合。术中全程行神经电生理监测。术后 48~72h 拔除引流管,拔除引流管后拍摄卧位脊柱全长正侧位 X 线片。术后 6~9d 佩戴支具下地活动,初次术后佩戴支具至少 6 个月。

1.4 术后随访

初次术后每 3 个月门诊随访 1 次,每次随访均拍摄患者外观大体像及站立位脊柱全长正侧位 X 线片,初次术后每 6~12 个月进行 1 次撑开手术,如随访发现主弯 Cobb 角增加大于 10° 或出现内固定松动、脱出、断裂等并发症,及时进行手术。至患者 Risser 征 $>$ II 级或女性患者月经初潮半年

以上,行终末融合手术。所有手术均由同一组手术医师完成,患者随访时间均大于 18 个月且至少行 3 次延长手术。

1.5 评估指标及统计学方法

根据患者初次术前、初次术后、末次随访时站立位脊柱全长正侧位 X 线片,测量冠状面主弯 Cobb 角、T1~S1 高度及矢状面最大后凸角,并根据 T1~S1 高度变化计算每年脊柱增长长度,以上指标用于评估患者侧凸矫正效果^[9]。

初次术前、初次术后 6 个月及末次随访时测定患者的肺功能指标:第 1 秒用力呼气容积(forced expiratory volume in one second, FEV1)、用力肺活量(forced vital capacity, FVC)、一秒率(FEV1/FVC)、功能残气量(functional residual capacity, FRC)、肺总量(total lung capacity, TLC)、残气量(residual volume, RV)及残总比(RV/TLC),收集患者初次术前、初次术后及末次随访时胸部 CT 资料,基于胸部 CT 资料根据 Smith 等提出的方法测算肺容积(lung volume, LV),综合评估患者肺功能变化^[10]。同时统计患者在治疗过程中所发生的并发症。

应用 SPSS 19.0 统计软件进行数据处理,计量数据用均数±标准差表示。对初次术前、初次术后及末次随访数据结果进行配对资料 *t* 检验。*P*<0.05 表示差异有统计学意义。

2 结果

患者随访时间为 22~54 个月(40.3±13.1 个月),初次手术年龄 5~9 岁(7.8±1.4 岁)。累积手术 121 次,其中初次手术 25 次,撑开手术 80 次(平均 3.2 次,3~7 次),终末融合手术 16 次。患者初次术后及末次随访时冠状面主弯 Cobb 角明显小于初次术前;患者初次术后 T1~S1 高度明显大于初次术前,而末次随访 T1~S1 高度明显大于初次术后(*P*<0.05);同时患者初次术后和末次随访的矢状面最大后凸角均较初次术前明显减小(*P*<0.05)(表 1)(图 1)。除去延长手术撑开的 T1~S1 高度增加量外,T1~S1 每年增长速度为 1.33±0.9cm。

患者初次术后 6 个月时 FEV1 和 FEV1/FVC%较初次术前有所降低,末次随访时肺功能指标较初次术前明显改善(*P*<0.05),对比 CT 测算的肺容积,患者初次术后和末次随访时肺容

积较术前明显增加(*P*<0.05)(表 2)。

所有患者均未出现脊髓神经损伤、大血管损伤等严重并发症,无死亡病例。共 9 例患者出现并发症(并发症发生率 36.0%)。其中内固定相关并发症 7 例(共 8 次,断棒 7 次,脱钩 1 次),均行翻修手术更换内固定。有 4 例出现近端交界性后凸,其中 1 例合并脱钩,手术更换上端内固定。1 例患者出现融合术后脑脊液漏及切口愈合不良,予以抗炎及伤口定期换药后治愈;1 例患者出现自发性融合,行融合手术,术后出现气胸,予以胸腔闭式引流后治愈。

表 1 手术矫形效果指标 (n=25, $\bar{x}\pm s$)
Table 1 Results of the Surgery

	初次术前 Before initial surgery	初次术后 After initial surgery	末次随访 Final follow-up
主弯 Cobb 角(°) Cobb angle of major curve(°)	96.7±15.5	50.7±16.1 ^①	40.3±10.9 ^②
T1~S1 高度(cm) Height of T1~S1(cm)	23.2±3.5	31.1±3.8 ^①	36.5±4.2 ^②
T1~S1 高度增加(cm) Increase of T1~S1(cm)	/	7.9±0.8	13.3±1.4 ^②
侧凸矫正率(%) Correction rate(%)	/	47.6±9.1	58.3±7.4 ^②
矢状面最大后凸角(°) Kyphosis in(°)	73.2±18.9	47.7±15.8 ^①	41.2±11.6

注:①与初次术前比较 *P*<0.05;②与初次术后比较 *P*<0.05
Note: ①Compared with preoperation, *P*<0.05; ②Compared with postoperation, *P*<0.05

3 讨论

EOS 发病年龄小,侧凸进展快,发病年龄正处于胸腔及肺发育时期,多影响肺功能的发育。因此,EOS 的治疗原则是在矫正脊柱畸形的同时,保留脊柱生长能力,以保证肺的正常发育^[2]。对于 Cobb 角>80°的重度 EOS 患者,脊柱畸形早期对胸廓发育及肺功能发育即有明显影响。据文献报道,0~5 岁期间及青春期是脊柱纵向生长发育最快的两个时期,而 EOS 发病时期与脊柱纵向生长发育的第一个高峰期相吻合^[11,12],因此,脊柱侧凸在这一时期进行性加重,伴随椎体旋转及肋骨移位成角,进一步导致胸廓变形和发育受限,胸廓容积减小,进而使得胸廓和躯干出现塌陷。同时,文献报道在 8 岁之前为肺泡发育高峰期,至 8 岁左



图 1 患者男性,重度早发型脊柱侧凸,初次手术年龄 8 岁 **a, b** 初次术前主弯 Cobb 角 129.2°,T1~S1 高度 16.7cm,矢状面最大后凸角 93° **c, d** 初次术前左右 bending 像:主弯柔韧性 23.2% **e, f** 术前牵引下摄片主弯 Cobb 角 76°,T1~S1 高度 20.7cm,矢状面最大后凸角 65° **g, h** 初次术后主弯 Cobb 角 60.5°,T1~S1 高度 24.3cm,矢状面最大后凸角 37° **i, j** 末次随访主弯 Cobb 角 54.4°,T1~S1 高度 30.5cm,矢状面最大后凸角 43°

Figure 1 The 8 years old boy was diagnosed with severe early onset scoliosis **a, b** Before the initial operation, Cobb angle was 129.2°, T1-S1 height was 16.7cm, the maximum kyphosis angle in sagittal plane was 93° **c, d** Bending view before the initial operation showed the flexibility was 23.2% **e, f** Traction view Cobb angle was 76°, T1-S1 height was 20.7cm, the maximum kyphosis angle in sagittal plane was 65° **g, h** After the initial operation Cobb angle was 60.5°, T1-S1 height was 24.3cm, the maximum kyphosis angle in sagittal plane was 37° **i, j** Final follow-up Cobb angle was 54.4°, T1-S1 height was 30.5cm, the maximum kyphosis angle in sagittal plane was 43°

右,肺泡及支气管发育接近完全^[13],在此阶段的胸廓发育异常直接导致肺泡发育受限,可使肺泡受压而停止发育,肺泡数目减少,肺组织结构异常,最终导致肺功能受损^[14]。

目前,对于 EOS 患者进行生长棒手术干预的指征一般认为是主弯 Cobb 角 $>50^{\circ}$,支具保守治疗不能控制侧凸进展,侧凸进行性加重,患者脊柱柔韧性好且纵向生长潜力大 (Risser 征 $\leq$ I 级)。Dimeglio 等^[15]的研究表明,肺泡及胸廓发育在 8 岁可达到成年水平 50%,而在 10 岁之后,脊柱生长进入第二个高峰期,患者侧凸进展快,因此,国内外学者目前倾向于 10 岁之前,Risser 征 $\leq$ I 级时对 EOS 患者进行首次生长棒内固定手术。本研究入组病例首次手术年龄平均为 7.8 ± 1.4 岁 (5~9 岁),Risser 征 $\leq$ I 级且冠状面主弯 Cobb 角 $>80^{\circ}$,

符合生长棒技术治疗的指征。

本研究中,患者初次术后及末次随访的主弯 Cobb 角均明显小于初次术前,初次术后侧凸矫正率为 $47.6\%\pm 9.1\%$,而末次随访时侧凸矫正率为 $58.3\%\pm 7.4\%$,作者认为对于重度 EOS 患者,初次手术后的每次撑开手术可提供进一步的矫正,且末次融合手术也提高了矫形率。同时,分析患者 T1~S1 高度值变化可见相比于初次术前,初次术后及末次随访 T1~S1 高度值明显增大,且除去每次延长手术外,对比末次随访与初次术前 T1~S1 高度,计算本组病例 T1~S1 增长速度为 $1.33\pm 0.9\text{cm}$,结合既往文献报道^[16,17],证实本组病例治疗过程中,脊柱生长速度与同龄儿童相似,证实了生长棒治疗重度 EOS 患者可使脊柱的纵向生长得到保持。同时,本研究中生长棒术后患者矢状面最

表 2 肺功能指标 (n=25, $\bar{x}\pm s$)
Table 2 Results of pulmonary function

	初次术前 Before initial surgery	初次术后 6 个月 6 months after initial surgery	末次随访 Final follow-up
肺容积 LV	1.43±0.30	1.53±0.26 ^①	1.76±0.31 ^②
第 1 秒用力呼 气容积(L) FEV1	1.33±0.38	1.18±0.40 ^①	1.55±0.41 ^②
用力肺活量(L) FVC(L)	1.56±0.49	1.44±0.43	1.81±0.48 ^②
一秒率 FEV1/FVC(%)	85.26±3.41	81.94±3.83 ^①	85.64±3.89 ^②
功能残气量 FRC(L)	1.18±0.47	1.03±0.35	1.29±0.32 ^②
肺总量 TLC(L)	2.21±0.77	1.95±0.66	2.38±0.79 ^②
残气量 RV(L)	0.68±0.28	0.59±0.27	0.74±0.38 ^②
残总比 RV/TLC(%)	30.77±4.27	30.26±7.51	31.09±7.23

注:LV,肺容积;FEV,第 1 秒用力呼气体积;FVC,用力肺活量;
FRC,功能残气量;RV,残气量;TLC,肺总量;RV,残气量^①与
初次术前比较 $P<0.05$; ^②与初次术后比较 $P<0.05$
Note: LV, lung volume; FEV, forced expiratory volume in
one second; FVC, forced vital capacity, FRC, functional
residual capacity, TLC, total lung capacity, RV, residual vol-
ume; ^①Compared with preoperation, $P<0.05$; ^②Compared
with postoperation, $P<0.05$

大后凸角度明显减小,且末次随访时矢状面后凸
矫形无丢失,证实生长棒技术矫正后凸的效果良
好。

Jiang等^[18]的研究表明,应用生长棒技术治疗的
EOS 患者,其术后第一秒用力呼气容积及肺活
量较术前有明显提高,肺功能得到显著改善。然
而,早期有文献报道^[19]脊柱侧凸术后患者在短期
内肺功能出现下降,术后 1~2 年才会恢复至术前
水平,这可能与手术引起短期内胸廓容积变化和
疼痛相关。同时,过早的融合手术对患者的胸廓及
肺部发育可产生较大影响。有研究显示,如果在 8
岁之前胸椎的融合超过 T1~T12 高度的 60%或 8
个节段以上,则术后肺活量将降低 50%^[20]。从年龄
上看,T1~T12 的高度达到成人的 80%的年龄点
在 10 岁左右。所以,对于 EOS 的治疗应根据脊柱
生长发育的规律和特点,延迟融合手术的时间。生

长棒技术可以在保留脊柱生长能力的同时,避免
侧凸进行性加重,进而延缓终末手术时间,维持肺
功能发育。在本研究中,根据患者术前术后的胸部
CT,计算患者肺容积,发现术后肺容积较术前明
显增加,提示生长棒手术使患者胸廓得到支撑,改
善了胸廓的纵向塌陷,从而增大了患者的肺容积。
这与术后肺功能指标的变化存在一定差异。以往
认为对于肺功能评估而言,常规肺功能检查为有
效的评估方法,然而考虑到 EOS 患者年龄偏小,
对于肺功能检查的配合程度差,因此肺功能检查
结果有所偏差。结合患者末次随访的肺功能指标
和胸部 CT 肺容积测量值,提示患者的远期肺功
能明显增加,达到了维持并改善正常肺功能的目
的。

生长棒治疗 EOS 的并发症主要包括内固定
相关并发症、近端交界性后凸、自发性融合、切口
感染等,而内固定相关并发症较为常见,诸如螺钉
松动、断棒、断钉、脱钩等。早期文献报道^[7]单棒技
术中该并发症发生率可高达 48%。而双棒技术推
广后,文献报道^[21,22]其术后内固定相关并发症的
发生率为 15%~53.1%不等。在本研究中,25 例患
者共接受 121 次手术(初次置棒手术 25 次,撑开
手术 80 次,融合手术 16 次),共有 9 例患者在治
疗过程中出现并发症,并发症发生率 36.0%,其中
内固定相关并发症共 7 例(8 次),发生率 28.0%,
与文献报道相似,无明显增加。本研究中出现内固
定相关并发症的病例,均行翻修手术更换内固定,
伴有矫正丢失的则同期行撑开延长手术。有研究
表明^[23,24]术中避免过度撑开可降低此类并发症发
生的风险。Teli 等^[25]的研究表明生长棒的平均撑
开距离以 1.2cm 为最佳。作者认为对于重度 EOS
患者,初次术前充分牵引并谨慎选择上下固定椎,
术中注意保护椎旁软组织,术后患者严格佩戴支
具,每次撑开手术避免过分延长,以此避免内固定
相关并发症的发生。所有患者并无脊髓神经损伤、
大血管损伤等严重并发症及死亡病例。本研究中
应用双生长棒治疗重度 EOS 患者,其并发症发生
率为 36.0%,与文献报道无明显增加,临床应用安
全性良好。

4 结论

双生长棒技术是治疗重度 EOS 的重要方法,
然而治疗过程中需要多次手术是制约其临床应用

的重要因素。本研究入组患者术后矫形效果良好, 术后肺功能改善明显, 但尚需要远期随访及大样本病例研究。总体而言, 双生长棒技术应用于重度 EOS 患者的治疗, 临床矫形效果良好, 保持了患者良好的脊柱纵向生长能力, 可以维持并改善患者肺功能, 其术后并发症发生率与文献报道无明显增加。

5 参考文献

- Waldron SR, Poe-Kochert C, Son-Hing JP, et al. Early onset scoliosis: the value of serial risser casts[J]. J Pediatr Orthop, 2013, 33(8): 775-780.
- Cunin V. Early-onset scoliosis: current treatment[J]. Orthop Traumatol Surg Res, 2015, 101(1 Suppl): S109-118.
- Mehta MH. Growth as a corrective force in the early treatment of progressive infantile scoliosis [J]. J Bone Joint Surg Br, 2005, 87(9): 1237-1247.
- Dede O, Sturm PF. A brief history and review of modern casting techniques in early onset scoliosis[J]. J Child Orthop, 2016, 10(5): 405-411.
- Sturm PF, Anadio JM, Dede O. Recent advances in the management of early onset scoliosis [J]. Orthop Clin North Am, 2014, 45(4): 501-514.
- Skaggs DL, Akbarnia BA, Flynn JM, et al. A classification of growth friendly spine implants[J]. J Pediatr Orthop, 2014, 34(3): 260-274.
- Moe JH, Kharrat K, Winter RB, et al. Harrington instrumentation without fusion plus external orthotic support for the treatment of difficult curvature problems in young children [J]. Clin Orthop Relat Res, 1984, 185(185): 35-45.
- Xu GJ, Fu X, Tian P, et al. Comparison of single and dual growing rods in the treatment of early onset scoliosis: a meta-analysis[J]. J Orthop Surg Res, 2016, 11(1): 80.
- Sun ZJ, Qiu GX, Zhao Y, et al. Dual growing rod treatment in early onset scoliosis: the effect of repeated lengthening surgeries on thoracic growth and dimensions[J]. Eur Spine J, 2015, 2(47): 1434-1440.
- 郝冉, 吴志宏, 韩江娜, 等. 影响脊柱侧凸患者肺功能的脊柱胸廓畸形指标[J]. 中国医学科学院学报, 2011, 33(2): 194-196.
- Akbarnia BA, Marks DS, Boachie-Adjei O, et al. Dual growing rod technique for the treatment of progressive early-onset scoliosis: a multicenter study[J]. Spine, 2005, 30(17): S46-57.
- DiMeglio A, Canavese F, Charles YP. Growth and adolescent idiopathic scoliosis: when and how much[J]. J Pediatr Orthop, 2011, 31(1 Suppl): S28-36.
- Boyden EA. Development of the pulmonary airways[J]. Minn Med, 1971, 54(11): 894-897.
- Day GA, Upadhyay SS, Ho EK, et al. Pulmonary functions in congenital scoliosis[J]. Spine, 1994, 19(9): 1027-1031.
- Dimeglio A, Canavese F. The growing spine: how spinal deformities influence normal spine and thoracic cage growth[J]. Eur Spine J, 2012, 21(1): 64-70.
- Dimeglio A. Growth of the spine before age 5 years[J]. J Pediatr Orthop B, 1993, 1(1): 102-107.
- Canavese F, Dimeglio A. Normal and abnormal spine and thoracic cage development[J]. World J Orthop, 2013, 4(4): 167-174.
- Jiang Y, Zhao Y, Wang YP, et al. Lung function after growing rod surgery for progressive early-onset scoliosis: a preliminary study[J]. Chin Med J(Engl), 2011, 124(23): 3858-3863.
- Sankar WN, Acevedo DC, Skaggs DL. Comparison of complications among growing spinal implants[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2010, 35(23): 2091-2096.
- Karol LA, Johnston CE, Mladenov K, et al. Pulmonary function following early thoracic fusion in non-neuromuscular scoliosis[J]. J Bone Joint Surg Am, 2008, 90(6): 1272-1281.
- Yang JS, Sponseller PD, Thompson GH, et al. Growing rod fractures risk factors and opportunities for prevention [J]. Spine(Phila Pa 1976), 2011, 36(20): 1639-1644.
- Bess S, Akbarnia BA, Thompson GH, et al. Complications of growing-rod treatment for early-onset scoliosis: analysis of one hundred and forty patients [J]. J Bone Joint Surg Am, 2010, 92(15): 2533-2543.
- Watanabe K, Uno K, Suzuki T, et al. Risk factors for complications associated with growing-rod surgery for early-onset scoliosis[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2013, 38(8): E464-468.
- Schroerlucke SR, Akbarnia BA, Pawelek JB, et al. How does thoracic kyphosis affect patient outcomes in growing rod surgery[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2012, 37(15): 1303-1309.
- Teli M, Grava G, Solomon V, et al. Measurement of forces generated during distraction of growing-rods in early onset scoliosis[J]. World J Orthop, 2012, 3(2): 15-19.

(收稿日期:2017-03-07 修回日期:2017-05-12)

(英文编审 蒋欣/贾丹彤)

(本文编辑 姜雅浩)