

儿童下腰椎和腰骶段半椎体畸形冠状面平衡状况与外科矫形选择

王孝宾, 王 冰, 吕国华, 李 晶, 李亚伟, 卢 畅, 康意军

(中南大学湘雅二医院脊柱外科 410011 湖南省长沙市)

【摘要】目的:评估儿童下腰椎及腰骶段半椎体畸形冠状面平衡情况,分析不同外科矫形方式的选择和临床疗效。**方法:**回顾分析 2005 年 1 月~2013 年 12 月我院收治的 14 例先天性脊柱侧凸患者,平均年龄 7.8 ± 3.3 岁(3~10 岁)。L4 半椎体 4 例,L5 半椎体 7 例,S1 半椎体 3 例。根据术前冠状面平衡情况分为 3 组:A 组冠状面平衡,C7 铅垂线偏离骶骨正中平分线(CSVL) ≤ 2 cm;B 组为 C7 铅垂线位于半椎体的对侧(偏离 CSVL >2 cm);C 组为 C7 铅垂线位于半椎体的同侧(偏离 CSVL >2 cm)。所有患者均采用一期后路半椎体切除联合椎弓根螺钉内固定矫形植骨融合术式。矫形方式:A 组中凸侧与凹侧撑开、压缩力均等;B 组半椎体侧单纯压缩;C 组增加 L5/S1 节段“反向”凸侧撑开、凹侧压缩的矫形操作。随访观察各组患者畸形矫正情况。**结果:**所有病例随访 24~68 个月,平均 33 ± 12 个月。术前冠状面排列中平衡 4 例(29%),失平衡 10 例(71%)。术前冠状面 Cobb 角平均 36.8° ,末次随访时平均 $12.1^\circ\pm 8.0^\circ(P=0.000)$,最终矫正率 67.1%。术前的冠状面平衡为 6~53mm,平均 30.6 ± 14.9 mm,末次随访时冠状面平衡为 0~44mm,平均 10.7 ± 10.9 mm($P=0.001$)。其中,A 组患者 4 例,术前与术后均维持了冠状面平衡;B 组患者 6 例,术后有 1 例患者冠状面仍然失平衡;C 组患者 4 例,术后均恢复了冠状面平衡。**结论:**儿童下腰椎和腰骶段的半椎体畸形冠状面失平衡发生率较高,一期后路半椎体切除联合椎弓根内固定、结合不同冠状面排列情况采取恰当矫形方式,可能获得满意的冠状面平衡和临床疗效。

【关键词】 儿童脊柱畸形;先天性侧凸;冠状面平衡;腰骶椎;半椎体

doi:10.3969/j.issn.1004-406X.2015.08.06

中图分类号:R682.1 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2015)-08-0699-06

Coronal balance and surgical strategy of pediatric lumbar and lumbosacral hemivertebrae/WANG Xi-aobin, WANG Bing, LÜ Guohua, et al/Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2015, 25(8): 699-704

【Abstract】 Objectives: To assess the coronal balance in pediatric lumbar and lumbosacral hemivertebrae(HV), and to evaluate the surgical outcome of one stage posterior hemivertebra resection and pedicle screw instrumentation. **Methods:** A retrospective review of 14 pediatric patients receiving surgical treatment in our department from January 2015 to December 2013 was carried out. The mean age at the time of surgery was 7.8 ± 3.3 years (range, 3-10 years). The hemivertebrae involved L4 in four cases, L5 in seven cases and S1 in three cases. Patients were classified into three groups according to the preoperative coronal balance. Group A had coronal balance, the distance between C7 plumb line and central sacral vertical line(CSVL) was less than 2cm. Group B was termed as C7 plumb line located at contralateral side of HV and deviated from CSVL of more than 2cm. Group C was also C7 plumb line deviated from CSVL of more than 2cm but located at ipsilateral side of HV. All patients underwent one stage posterior HV resection and pedicle screw instrumentation. In group A, distraction at concavity and compression at convex side were used equally to maintain coronal balance. In group B, compression and gap closing following HV resection was the main procedure. In group C, additional distraction at convex and compression at concave side were used at L5-S1 segment, following HV resection and gap closing. **Results:** The mean follow-up period was 33 ± 12 months(range, 24-68 months).

基金项目:本课题受“国家自然科学基金”项目(编号:81371919)资助

第一作者简介:男(1983-),主治医师,博士研究生,研究方向:脊柱外科基础与临床研究

电话:(0731)85295624 E-mail: wxbspine@icloud.com

通讯作者:王冰 E-mail: bingwang20021972@aliyun.com

4 cases (29%) had preoperative coronal balance, while the other 10 cases had preoperative imbalance. The coronal Cobb angle improved from $36.8^{\circ} \pm 6.9^{\circ}$ at preoperation to $12.1^{\circ} \pm 8.0^{\circ}$ at final follow-up ($P=0.000$), with a correction rate of 67.1%. The coronal balance improved from 30.6mm (range, 6–53mm) at preoperation, to 10.7 ± 10.9 mm (range, 0–4mm) at final follow-up ($P=0.001$). There were 4 cases in group A, 6 cases in group B, 4 cases in group C. All patients retained coronal balance except one case in group B developed coronal decompensation postoperatively. **Conclusions:** There is a high rate of coronal imbalance in pediatric lumbar and lumbosacral hemivertebra patients. One stage posterior hemivertebra resection and pedicle screw instrumentation is of highly satisfied.

[Key words] Pediatric spinal deformity; Congenital scoliosis; Coronal balance; Lumbosacral vertebra; Hemivertebrae

[Author's address] Department of Spine Surgery, the Second Xiangya Hospital of Central South University, Changsha, 410011, China

先天性脊柱侧凸是由于椎体先天性发育异常,脊柱左右侧和/或前后方纵向生长不平衡而引起的脊柱畸形。先天性脊柱侧凸是否会进展成严重的侧后凸畸形,与患者的年龄、畸形椎体的形态和发生部位密切相关。其中,下腰椎和腰骶段半椎体(L4~S1)是一种特殊的病理类型,单一、完全分节的儿童腰骶段半椎体,每年大约会引起 1.5° 的侧凸进展^[1]。由于半椎体远端活动节段缺乏,不能通过形成一个代偿弯来维持平衡,在生长发育阶段易造成躯干偏移和冠状面失平衡。因此,本研究通过总结我院 14 例儿童下腰椎和腰骶段半椎体畸形的临床资料,旨在评价畸形对冠状面平衡的影响及其矫形方式的选择与疗效。

1 资料与方法

1.1 一般资料

回顾性分析 2005 年 1 月~2013 年 12 月间在我院接受治疗的先天性脊柱侧凸患者。病例入选标准:(1)年龄 10 岁以下;(2)畸形部位在 L4 或以下;(3)至少 2 年以上随访。共有 14 例患者纳入研究,包括男性 8 例,女性 6 例,平均年龄 7.8 ± 3.3 岁(3~10 岁)。完全分节半椎体 8 例,不完全分节 6 例。L4 半椎体 4 例,L5 半椎体 7 例,S1 半椎体 3 例。同时合并有胸椎半椎体畸形 3 例,合并心血管畸形 4 例,合并泌尿系畸形 2 例,未见神经系统畸形及合并症。所有患者双下肢发育对称,无双下肢不等长引起骨盆倾斜的情况,患者术前的骨盆均水平。

根据术前冠状面平衡情况将患者分为 3 组,A 组为冠状面基本平衡,C7 铅垂线偏离骶骨正中平分线(CSVL) ≤ 2 cm;B 组为 C7 铅垂线位于半椎

体的对侧(偏离 CSVL >2 cm);C 组为 C7 铅垂线位于半椎体的同侧(偏离 CSVL >2 cm)。

1.2 影像学测量与数据分析

影像学测量指标包括:(1)冠状面 Cobb 角:半椎体上方相邻椎体与下方相邻椎体的夹角;(2)冠状面平衡:C7 铅垂线距离骶骨正中平分线(CSVL)的距离;(3)矢状面角度:半椎体上方相邻椎体的上终板沿线与下方相邻椎体的下终板沿线的交角;(4)矢状面平衡:C7 铅垂线距离骶骨后上角的距离(位于骶骨后上角前方为正值,后方为负值)。

术前与术后随访的比较采用重复测量的方差分析,数据分析采用统计软件 SPSS 22.0 (Inc., Chicago, IL), P 值小于 0.05 时认为差异有统计学意义。

1.3 手术方法

所有患者均采用一期后路半椎体切除、椎弓根螺钉内固定矫形植骨融合术。

全麻气管插管以后,取俯卧位,以半椎体为中心做一长度合适的正中切口,骨膜下剥离椎旁软组织至横突尖端以显露椎板、关节突关节以及横突。术中透视定位确认半椎体以后,于畸形部位上、下相邻椎体行小儿椎弓根螺钉固定。然后咬除畸形椎的相应椎板、横突,沿椎弓根骨膜下剥离至半椎体侧方。再用磨钻和刮匙经椎弓根采用“蛋壳”技术将半椎体去松质骨,将椎体外侧和前侧的皮质骨由内向外磨薄并切除,然后向两端扩大并突破上下终板,将与其连接的椎间盘组织完全切除。待畸形节段获得足够的活动度以后,缓慢在凸侧压缩切除畸形半椎体所留空隙以矫正脊柱畸形,并用术中正侧位透视判断矫形情况。

对于 A 组患者(图 1),在凸侧与凹侧的撑开、压缩操作应尽可能均等,以免引起术后冠状面失平衡。B 组患者将半椎体切除,通过凸侧压缩矫正畸形以后,冠状面平衡通常能得到恢复(图 2)。对于 C 组患者,C7 铅垂线位于半椎体的同侧(图 3),凸侧压缩闭合的操作会使 C7 铅垂线偏离更远,加重躯干的失平衡。此时术者选择在 L5/S1 节段行“反向”凸侧撑开,凹侧压缩的操作,使 L4、L5 椎体“水平化”,从而避免术后冠状面失平衡。

矫形完毕后取自体髂骨植入椎体间残余间隙,同种异体骨或自体碎骨植入固定范围以内的椎板、横突间。术中唤醒试验证实双下肢感觉运动无异常,伤口内放置引流管,逐层闭合伤口。本组最高固定节段 T10,最低固定节段 S1,平均融合 4.7 个椎节。

对于合并胸椎半椎体的患者,按照一般半椎体的处理原则。如果半椎体生长潜力较大或者已经出现明显畸形,则同期或分期行后路半椎体切除内固定(本组 2 例,图 2);如果半椎体嵌合在胸廓内,通过观察随访发现其短期内稳定,可以单纯处理腰骶段畸形,胸椎半椎体予以密切观察(本组 1 例,图 3)。

1.4 术后随访

术后 3 个月内在固定支具保护下活动,3 个月及 1 年、2 年、3 年、5 年随访时复查站立位脊柱全长正侧位 X 线片,观察脊柱融合、畸形矫正和内固定稳定情况。当对 X 线片判断融合不确定或者怀疑有假关节时,行三维 CT 检查。

2 结果

手术时间 110~230min,平均 155 ± 54 min,术中出血量 300~1200ml,平均 650 ± 210 ml。所有病例随访时间 24~68 个月,平均 33 ± 12 个月。无内固定失败及假关节形成。所有患者的影像学测量结果见表 1,术前冠状面排列中平衡 4 例,失平衡 10 例。冠状面 Cobb 角术后平均 $11.0^\circ \pm 7.6^\circ$,末次随访时平均 $12.1^\circ \pm 8.0^\circ$,均较术前明显改善 ($P < 0.05$),角度丢失 1.1° ,最终矫正率 67.1%(29.3%~100%)。矢状面角度术后平均 $-23.4^\circ \pm 4.2^\circ$,末次随访时平均 $-22.1^\circ \pm 4.8^\circ$,均较术前明显改善 ($P < 0.05$),角度丢失 1.3° ,最终矫正率 41.8%(0~91.7%)。术前骨盆倾斜角平均 $4.5^\circ \pm 2.1^\circ$ ($0^\circ \sim 7^\circ$),末次随访时平均 $1.1^\circ \pm 1.2^\circ$ ($0^\circ \sim 3^\circ$, $P = 0.002$)。

所有患者术前与术后的矢状面平衡均落于正常范围(表 1)。末次随访时的冠状面平衡及矢状面平衡均较术前明显改善 ($P < 0.05$,表 1)。

根据术前冠状面平衡情况,A 组患者 4 例,术前与术后均维持了冠状面平衡,B 组患者 6 例,术后有 1 例患者冠状面仍然失平衡(图 4)。C 组患者 4 例,术后均恢复了患者的冠状面平衡。

表 1 患者术前和末次随访时的影像学结果比较

Table 1 Comparison of pre-operative and last follow-up radiographic results

	术前 Pre-operation	末次随访 Last follow-up
冠状面 Cobb 角 Coronal Cobb angle ($^\circ$)	36.8 ± 6.9 (30~56)	$12.1 \pm 8.0^{\text{①}}$ (0~29)
冠状面平衡 Coronal balance (mm)	30.6 ± 14.9 (6~53)	$10.7 \pm 10.9^{\text{①}}$ (0~44)
矢状面角度 Sagittal angle ($^\circ$)	-16.4 ± 4.4 (-11~-24)	$-22.1 \pm 4.8^{\text{①}}$ (-14~-33)
矢状面平衡 Sagittal balance (mm)	-7.2 ± 17.6 (-34~-21)	$2.9 \pm 14.8^{\text{①}}$ (-16~-33)

注:①与术前比较 $P < 0.05$

Note: Compared with preoperation, $P < 0.05$

3 讨论

外科手术技术治疗腰骶段畸形可以分为三类:原位融合、凸侧骨骺阻滞和半椎体切除^[4]。从既往文献报道的经验来看,单纯后路融合的方法治疗儿童先天性脊柱畸形效果并不佳。由于矫正能力有限和曲轴现象的原因,15%的患者畸形还会进展,当年龄小于 4 岁时畸形进展率更是高达 36%^[5]。治疗先天性畸形的另一种方法——凸侧骨骺阻滞适用于凹侧还有生长潜力的患儿,通常要求年龄在 5 岁以前,侧弯 Cobb 角度小于 40° 。其主要作用是阻止畸形进展,然而矫正侧凸的能力有限,并且术后畸形继续进展的发生率较高^[6,7]。

1979 年 Leatherman 等报道了分期前后路手术治疗先天性脊柱畸形以后^[8],逐渐有作者报道一期或者分期前后路半椎体切除的技术^[9,10]。而腰骶段畸形由于发生率较低,文献报道较少。1980 年 Slabaugh 等随访了 24 例腰骶段半椎体患者的治疗方法,包括观察、支具、后路融合、后路融合并 Harrington 内固定以及分期半椎体切除,发现半椎体切除的治疗效果最好^[11]。1993 年香港学者 Leong 对 6 例腰骶段半椎体的患儿采取一期前后路手术切除^[12],术前腰骶弯角度 35° ,平均 9 年的随访过程中腰骶弯维持在 19° ,矫正率为 46%。

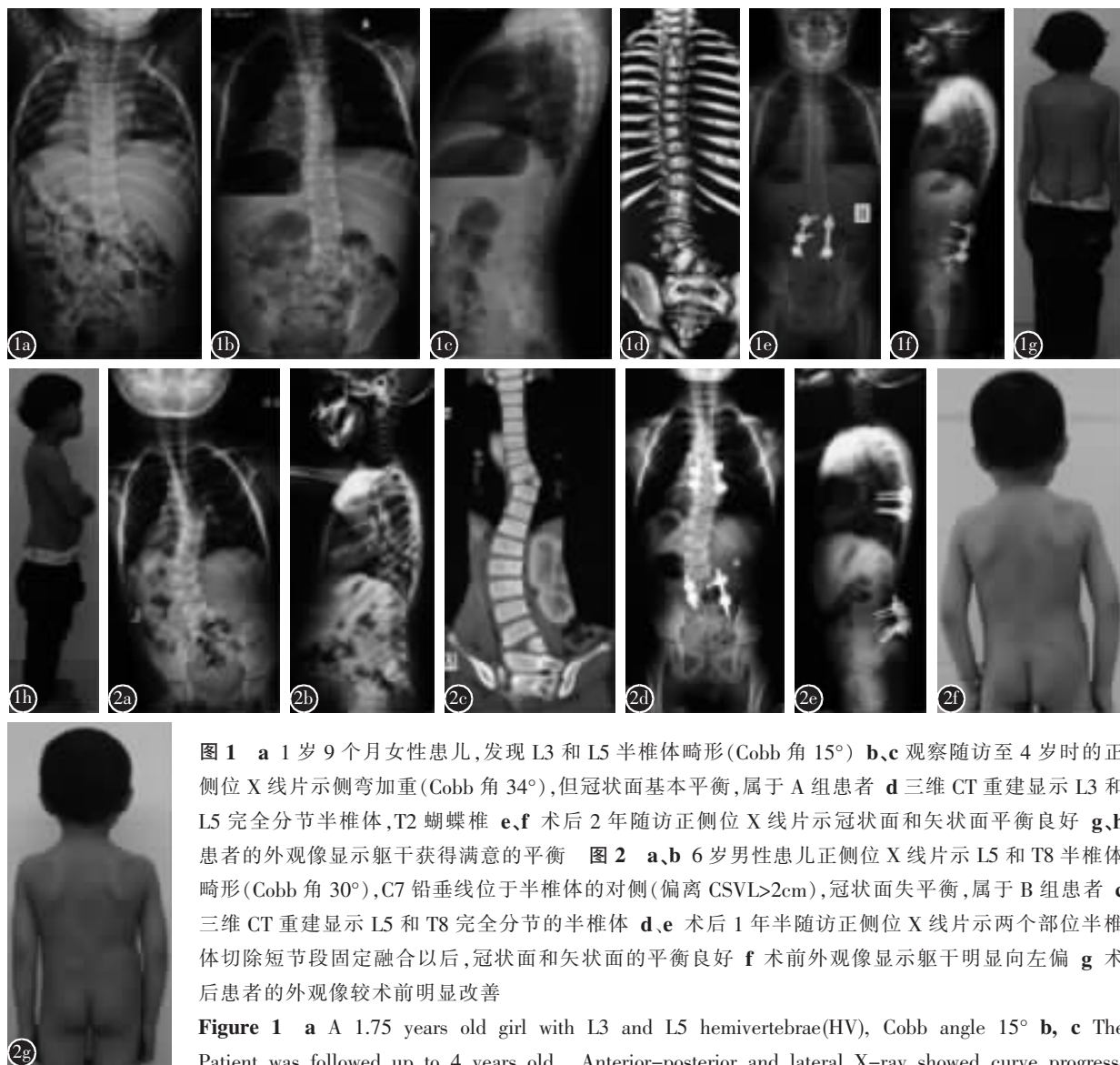


图 1 a 1 岁 9 个月女性患儿,发现 L3 和 L5 半椎体畸形(Cobb 角 15°) b、c 观察随访至 4 岁时的正侧位 X 线片示侧弯加重(Cobb 角 34°),但冠状面基本平衡,属于 A 组患者 d 三维 CT 重建显示 L3 和 L5 完全分节半椎体,T2 蝴蝶椎 e、f 术后 2 年随访正侧位 X 线片示冠状面和矢状面平衡良好 g、h 患者的外观像显示躯干获得满意的平衡 **图 2** a、b 6 岁男性患儿正侧位 X 线片示 L5 和 T8 半椎体畸形(Cobb 角 30°),C7 铅垂线位于半椎体的对侧(偏离 CSVL $>2\text{cm}$),冠状面失平衡,属于 B 组患者 c 三维 CT 重建显示 L5 和 T8 完全分节的半椎体 d、e 术后 1 年半随访正侧位 X 线片示两个部位半椎体切除短节段固定融合以后,冠状面和矢状面的平衡良好 f 术前外观像显示躯干明显向左偏 g 术后患者的外观像较术前明显改善

Figure 1 a A 1.75 years old girl with L3 and L5 hemivertebrae(HV), Cobb angle 15° b, c The Patient was followed up to 4 years old. Anterior-posterior and lateral X-ray showed curve progressing(Cobb angle 34°), but coronal plane was balance, classified into group A d Three dimensional CT showed full segmental L3 and L5 HV, and T2 butterfly vertebrae e, f 2 years post operation X-ray showed good balance both in coronal and sagittal plane g, h The clinic appearance also showing good balance **Figure 2** a, b A 6-year-old boy with L5 and T8 HV(Cobb angle 30°). Anterior-posterior X-ray showed C7 plumb line at contralateral side of HV and deviating from CSVL more than 2cm, classified into group B c Three dimensional CT showed full segmental L5 and T8 HV d Preoperative clinic photo showing left shift of trunk e, f Eighteen months follow-up X-ray showing good balance both in coronal and sagittal plane g The clinic appearance also improved significantly

1995年 Holte 采用前后路联合切除的方法治疗了 17 例腰骶段半椎体畸形,认为半椎体切除以后使用内固定能够更好地维持冠状面平衡^[13]。2006 年 Bollini 等^[14]总结了前后路联合切除腰骶段半椎体的经验,17 例患儿的手术年龄为 4.9 岁,平均随访 7.6 年,术前侧凸角度 27.5° ,随访时 8.9° ,平均矫正 67.6%,有 3 例患者的冠状面平衡较术前加重。

本组患者的术前冠状面角度平均 36.8° ,末次随访时 12.1° ,最终矫正率 67.1%,与以往的研究结果相近。

目前半椎体切除治疗儿童腰骶段畸形已经被普遍接受,然而,切除半椎体后如何恢复冠状面平衡是面临的难题。腰骶段半椎体发生以后,在直立状态下为了维持头在骨盆的正中央,上方容易形

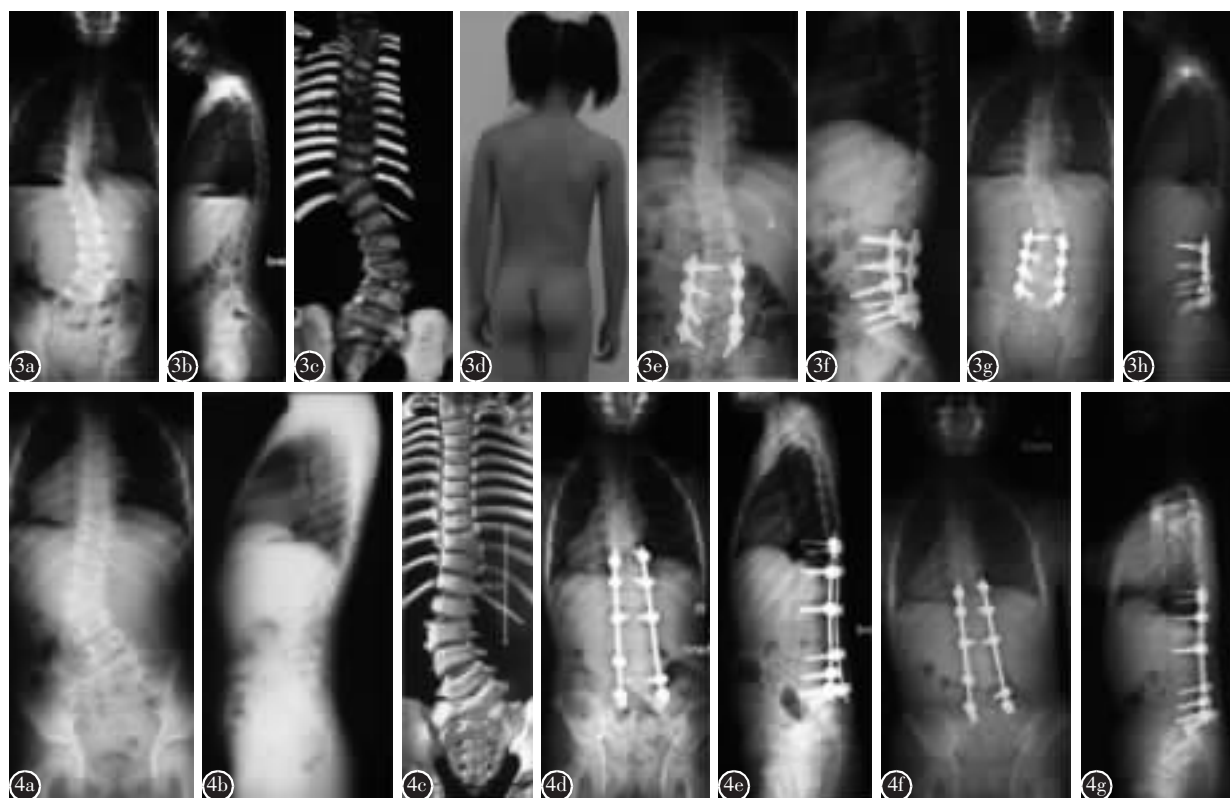


图 3 a、b 8 岁女性患儿 X 线片示 L4 和 T10 半椎体畸形 (Cobb 角 42°), C7 铅垂线位于半椎体的同侧 (偏离 CSVL $>2\text{cm}$), 冠状面失平衡, 属于 C 组患者 c 三维 CT 重建显示 L4 和 T10 完全分节的半椎体 d 术前外观像显示躯干明显右偏 e、f 术后 1 年随访正侧位 X 线片示 L4 半椎体切除固定融合以后, 冠状面和矢状面的平衡良好 (Cobb 角 9°) g、h 术后 2 年随访正侧位 X 线片示平衡得到维持 **图 4** a、b 7 岁女性患儿, 术前正侧位 X 线片示 L3、S1 和 T10 半椎体畸形, C7 铅垂线位于半椎体的对侧 (偏离 CSVL $>2\text{cm}$), 冠状面失平衡, 属于 B 组患者 c 三维 CT 重建显示三个半椎体均为不完全分节 d、e 术后 6 个月随访 X 线片显示冠状面失平衡 (CSVL 31mm) f、g 术后 3 年随访 X 线片仍然显示冠状面失平衡

Figure 3 a, b A 8-year-old girl with L4 and T10 HV (Cobb angle 42°). Anterior-posterior X-ray showed C7 plumb line at ipsilateral side of HV and deviating from CSVL of more than 2cm, classified into group C c Three dimensional computer tomography showed full segmental L4 and T10 HV d Preoperative clinic photo showed right shift of trunk e, f 12 months follow-up X-ray showed good balance both in coronal and sagittal plane (Cobb angle 9°) g, h Correction maintained at 24 months follow-up **Figure 4** a, b A 7-year-old girl with L3, S1 and T10 HV. Anterior-posterior X-ray showed C7 plumb line at contralateral side of HV and deviating from CSVL of more than 2cm, classified into group B c Three dimensional computer tomography showed incomplete segment HVs d, e 6 months follow-up X-ray showed coronal decompensation (CSVL 31mm) f, g 36 months follow-up X-ray showed coronal decompensation not improved

成一个长的结构性弯曲。而在下方由于缺少活动节段而无法代偿, 常会通过腰骶部和骨盆肌群的收缩, 从而引起骨盆倾斜。因此即便是单一腰骶部半椎体, 也很容易导致躯干失平衡。相反, 对于多发半椎体, 由于左右两侧的半椎体互相“抵消”, 躯干反而容易维持平衡。本组患者术前的冠状面平衡平均为 30.6mm ($6\sim 53\text{mm}$)。为了矫正已经出现的失平衡以及避免术后发生新的冠状面失平衡, 作者根据术前的状况将患者分成 3 种类型, 分别采取了不同的矫形策略。

由于腰骶段是整个脊柱的基底部, 在 L4~S1 进行撑开操作, 将会使冠状面平衡向对侧平移, 而压缩操作会使冠状面平衡向同侧平移。因此, 对于术前冠状面平衡的 A 组患者, 凸侧与凹侧的撑开、压缩操作应尽可能均等, 以防止脊柱一侧短缩另一侧延长导致躯干偏移失平衡。对于术前冠状面平衡位于半椎体对侧的 B 组患者, 则通过压缩半椎体被切除以后形成的空隙, 来使躯干向半椎体一侧平移, 从而恢复冠状面平衡。如果术前冠状面平衡与半椎体位于同侧 (C 组), 半椎体切除以

后的压缩闭合的操作会使 C7 铅垂线偏离更远,加重躯干的失平衡,此时需要在 L5/S1 节段行“反向”凸侧撑开,凹侧压缩的操作,使 L4、L5 椎体“水平化”,从而避免术后冠状面失平衡。本研究中的 14 例患者采用上述矫形策略,术后有 13 例均获得了满意的冠状面平衡(C7 铅垂线距离 CSVL 平均 10.7mm),骨盆倾斜也较术前改善(平均 1.1°)。仅 1 例术前 B 组失衡的患者术后仍然失平衡,作者认为可能与半椎体切除范围不足,L4/5 和 L5/S1 之间的压缩不够,未能将 L4、L5 椎体完全水平化所致。

总之,儿童腰骶段半椎体畸形冠状面失平衡发生率较高,一期后路半椎体切除联合椎弓根内固定,并结合不同冠状面排列情况采取恰当矫形方式,能够获得满意的冠状面平衡和临床疗效。

4 参考文献

- McMaster MJ, Ohtsuka K. The natural history of congenital scoliosis: a study of two hundred and fifty-one patients[J]. J Bone Joint Surg Am, 1982, 64(8): 1128-1147.
- McMaster MJ, Singh H. Natural history of congenital kyphosis and kyphoscoliosis: a study of one hundred and twelve patients[J]. J Bone Joint Surg Am, 1999, 81(10): 1367-1383.
- 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.
- Tis JE, Karlin LI, Akbarnia BA, et al. Early onset scoliosis: modern treatment and results[J]. J Pediatr Orthop, 2012, 32(7): 647-657.
- Kesling KL, Lonstein JE, Denis F, et al. The crankshaft phenomenon after posterior spinal arthrodesis for congenital scoliosis: a review of 54 patients[J]. Spine, 2003, 28(3): 267-271.
- Thompson AG, Marks DS, Sayampanathan SR, et al. Long-term results of combined anterior and posterior convex epiphysiodesis for congenital scoliosis due to hemivertebrae[J]. Spine, 1995, 20(12): 1380-1385.
- Marks DS, Sayampanathan SR, Thompson AG, et al. Long-term results of convex epiphysiodesis for congenital scoliosis [J]. Eur Spine J, 1995, 4(5): 296-301.
- Leatherman KD, Dickson RA. Two-stage corrective surgery for congenital deformities of the spine [J]. J Bone Joint Surg Br, 1979, 61-B(3): 324-328.
- Bradford DS, Boachie-Adjei O. One-stage anterior and posterior hemivertebral resection and arthrodesis for congenital scoliosis[J]. J Bone Joint Surg Am, 1990, 72(4): 536-540.
- Ruf M, Jensen R, Letko L, et al. Hemivertebra resection and osteotomies in congenital spine deformity [J]. Spine, 2009, 34(17): 1791-1799.
- Slabaugh PB, Winter RB, Lonstein JE, et al. Lumbosacral hemivertebrae: a review of twenty-four patients, with excision in eight[J]. Spine, 1980, 5(3): 234-244.
- Leong JC, Day GA, Luk KD, et al. Nine-year mean follow-up of one-stage anteroposterior excision of hemivertebrae in the lumbosacral spine[J]. Spine, 1993, 18(14): 2069-2074.
- Holte DC, Winter RB, Lonstein JE, et al. Excision of hemivertebrae and wedge resection in the treatment of congenital scoliosis[J]. J Bone Joint Surg Am, 1995, 77(2): 159-171.
- Bollini G, Docquier PL, Viehweger E, et al. Lumbosacral hemivertebrae resection by combined approach: medium- and long-term follow-up[J]. Spine, 2006, 31(11): 1232-1239.

(收稿日期:2015-04-26 修回日期:2015-08-01)

(英文编审 蒋欣/贾丹彤)

(本文编辑 彭向峰)

(上接第 698 页)

- distraction on vertebral growth in immature pigs: an experimental simulation of growing rod technique[J]. Spine, 2010, 35(7): 730-733.
- Campbell RM Jr, Hell-Vocke AK. Growth of the thoracic spine in congenital scoliosis after expansion thoracoplasty [J]. J Bone Joint Surg Am, 2003, 85(3): 409-420.
- Olgun ZD, Ahmadiadli H, Alanay A, et al. Vertebral body growth during growing rod instrumentation: growth preservation or stimulation[J]. J Pediatric Orthop, 2012, 32(2): 184-189.
- 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 Suppl): S46-57.

- Campbell RM Jr, Adeox BM, Smith MD, et al. The effect of mid-thoracic VEPTR opening wedge thoracostomy on cervical tilt associated with congenital thoracic scoliosis in patients with thoracic insufficiency syndrome[J]. Spine, 2007, 32(20): 2171-2177.
- 邓益, 张宏其, 郭超峰, 等. 单侧生长棒技术治疗早发性脊柱侧凸的近期临床疗效研究[J]. 中国矫形外科杂志, 2013, 21(5): 448-454.
- 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.

(收稿日期:2015-04-28 末次修回日期:2015-06-08)

(英文编审 郑国权/贾丹彤)

(本文编辑 卢庆霞)