

胸椎半椎体后路切除术后冠状面失代偿的危险因素分析

杨 曦, 宋跃明, 刘立岷, 汪 雷, 周春光, 丰干均, 修 鹏, 周忠杰, 胡博文
(四川大学附属华西医院骨科 610041 成都市)

【摘要】目的:分析胸椎半椎体切除、椎弓根螺钉固定融合术后冠状面失代偿发生的危险因素。方法:回顾性分析 2011 年 1 月~2019 年 1 月在我科行单纯后路半椎体切除、植骨融合椎弓根螺钉内固定术治疗的 57 例胸椎单发半椎体畸形患者的临床资料,按照术后末次随访时是否出现冠状面失代偿分为失代偿组($n=7$)和对照组(无任何继发畸形, $n=50$)。收集两组患者术前及末次随访的临床以及影像学资料,比较两组患者接受手术时年龄、Risser 征、主弯 Cobb 角、近端固定椎(UIV)倾角、UIV 偏距、远端固定椎(LIV)倾角、LIV 偏距以及 LIV 椎间盘开角等,并通过多因素分析以上指标与术后冠状面失代偿发生的相关性,利用 ROC 曲线法计算相关指标的阈值。结果:失代偿组男 4 例、女 3 例,年龄 4~14 岁(11.1 ± 3.5 岁),其中 1 例<10 岁、6 例 10~14 岁;对照组男 27 例、女 23 例,年龄 4~17 岁(10.2 ± 3.6 岁),其中 26 例<10 岁、17 例 10~14 岁、7 例 14~18 岁。两组患者性别分布无显著性差异($P=0.697$),年龄段分布有显著性差异($P=0.032$),失代偿组 10~14 岁比例显著高于对照组。失代偿组患者 Risser 征 0~2 级 6 例,3~6 级 1 例;对照组 0~2 级 20 例,3~5 级 30 例,失代偿组 Risser 征 0~2 级比例显著高于对照组($P<0.05$)。失代偿组患者术前 UIV 倾角与 LIV 倾角分别为 $29.5\pm 10.4^\circ$ 和 $22.1\pm 11.8^\circ$,均显著大于对照组的 $13.2\pm 6.4^\circ$ 和 $14.9\pm 7.5^\circ$ ($P<0.05$)。多因素分析显示年龄(OR 值 1.401)、Risser 征(OR 值 0.357)、术前 UIV 倾角(OR 值 1.230)、术前 LIV 倾角(OR 值 1.309)与术后冠状面失代偿发生显著性相关($P<0.05$);术前 UIV 倾角的阈值为 19.2° ,术前 LIV 倾角的阈值为 17.6° 。结论:10~14 岁、且 Risser 征 0~2 级的胸椎半椎体畸形患者术后易出现冠状面失代偿;术前 UIV 倾角 $\geq 19.2^\circ$ 、LIV 倾角 $\geq 17.6^\circ$ 是术后冠状面失代偿发生的潜在危险因素。

【关键词】先天性脊柱侧凸;胸椎半椎体;冠状面失代偿;半椎体切除术;风险因素

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2021.08.03

中图分类号:R682.1,R687.3 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2021)-08-0693-06

Risk factors of coronal decompensation following posterior hemivertebra resection in patients with thoracic hemivertebra/YANG Xi, SONG Yueming, LIU Limin, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2021, 31(8): 693-698

【Abstract】 Objectives: To analyze the risk factors of coronal decompensation after posterior thoracic hemivertebra resection, pedicle screw fixation and fusion. **Methods:** Data of 57 patients with single thoracic hemivertebra who received posterior hemivertebra resection and pedicle screw fixation and fusion in our department from January 2011 to January 2019, were retrospectively analyzed. Among them, 7 patients occurred coronal decompensation after surgery were included in the decompensation group, while 50 patients without any secondary deformity were included in the control group. Both clinical data and radiographic parameters before surgery and at the last follow-up were collected in this study. The age, Risser sign, main curve Cobb angle, upper instrument vertebra(UIV) tilt angle, UIV translation, lower instrument vertebra(LIV) tilt angle, LIV translation, and LIV disc wedge angle were compared between decompensation and control groups. And the correlation between the above parameters and postoperative decompensation was analyzed by multivariate analysis. The cut-off value was calculated by ROC curve. **Results:** Decompensation group included 4 males and 3 females, averaged 10.2 ± 3.6 years(4 to 14 years old) with 1 patient <10 years old and 6 patients between 10 to

第一作者简介:男(1988-),医学博士,副教授,研究方向:脊柱外科

电话:(028)85422570 E-mail:formosa88@163.com

通讯作者:刘立岷 E-mail:18980601394@163.com

14 years old. Control group included 27 males and 23 females, averaged 10.2 ± 3.6 years (4 to 17 years old) with 26 patients <10 years old, 17 patients between 10 to 14 years old and 7 patients between 14 to 18 years old. There was no difference in gender distribution ($P=0.697$) but significant difference in age distribution between the two groups ($P=0.032$). The decompensation group had more patients between 10–14 years old. Decompensation group included 6 patients of Risser sign grade 0 to 2 and 1 patient of grade 3 to 5, while control group had 20 patients of Risser sign grade 0 to 2 and 30 patients of grade 3 to 5. The ratio of grade 0–2 patients were significant higher in decompensation group ($P=0.029$). The preoperative UIV tilt angle and LIV tilt angle in the decompensation group were $29.5^\circ\pm 10.4^\circ$ and $22.1^\circ\pm 11.8^\circ$ respectively, which were significantly larger than those in the control group ($13.2^\circ\pm 6.4^\circ$ and $14.9^\circ\pm 7.5^\circ$, $P<0.05$). Multivariate analysis showed age (OR=1.401), Risser sign (OR=0.357), preoperative UIV (OR=1.230), preoperative LIV (OR=1.309) were the risk factors for postoperative coronal decompensation ($P<0.05$). The cut-off value of preoperative UIV tilt angle was 19.2° while the preoperative LIV tilt angle was 17.6° . **Conclusions:** The thoracic hemivertebra patients aged 10 to 14 years old with Risser sign between grade 0 to 2 have a very high risk for coronal decompensation; and the preoperative UIV tilt angle $\geq 19.2^\circ$ or LIV tilt angle $\geq 17.6^\circ$ may be the risk factor for coronal decompensation after operation.

【Key words】 Congenital scoliosis; Thoracic hemivertebra; Coronal decompensation; Hemivertebra resection; Risk factors

【Author's address】 Department of Orthopaedics, West China Hospital, Sichuan University, Chengdu, 610041, China

半椎体畸形是最常见的先天性脊柱侧凸畸形。目前, 对这类患者的治疗原则已达成普遍共识, 即尽早发现、尽早手术治疗。自 Ruf 等^[1,2]率先报道用单纯后路半椎体切除、短节段椎弓根螺钉固定融合术治疗先天半椎体畸形获得较理想的治疗效果之后, 这类手术逐渐取代以往的单纯前路或前后路联合半椎体切除等术式, 成为治疗先天半椎体畸形的首选术式^[3,4]。针对单发的先天半椎体畸形患者, 经后路半椎切除、短节段融合术能够解除导致节段畸形进展的先天性因素; 尽量早期接受手术治疗, 理论上也能够避免患者邻近节段的代偿弯发展为结构弯。然而, 既往研究显示, 少部分先天半椎体畸形患者在接受上述手术治疗之后出现融合节段以外侧凸在较短时间内快速进展, 且进展 Cobb 角度 $\geq 20^\circ$ 的现象, 称之为冠状面失代偿^[5-8]。目前术后出现冠状面失代偿机制尚未完全明确, 此类并发症会显著影响患者矫形手术满意度, 少部分畸形进展严重的冠状面失代偿患者可能需要长期佩戴支具、甚至翻修手术治疗。胸段半椎体畸形术后出现冠状面失代偿的情况相对较多, 但至今为止, 其具体危险因素并不确定, 因此临床上对冠状面失代偿缺乏有效的预防措施。本研究通过对比分析半椎体切除短节段融合固定术后出现冠状面失代偿与术后未发生继发畸形的胸椎半椎体畸形患者的临床及影像学资料, 探讨

与冠状面失代偿发生相关的危险因素, 为临床预防此类并发症提供依据。

1 资料和方法

1.1 一般资料

2011 年 1 月~2019 年 1 月, 112 例单发先天半椎体畸形患者在我科行单纯后路半椎体切除、椎弓根螺钉固定融合术治疗。按以下标准筛选病例纳入本研究: (1) 接受手术时年龄 <18 岁; (2) 半椎体所在节段位于 T2~T12; (3) 术后随访时间 ≥ 1 年; (4) 无半椎体畸形以外其他骨科手术史; (5) 无双下肢畸形、双下肢不等长等; (6) 按既往冠状面失代偿诊断标准, 侧凸 Cobb 角术后续进展 $>20^\circ$ 纳入失代偿组; (7) 排除出现内固定失败、植骨融合失败、半椎体切除不充分、近端交界性后凸 (PJK) 等并发症, 无任何继发畸形患者纳入对照组。

所有患者术前资料包含完整的站立位全脊柱正侧位 X 线片、左右 Bending 位 X 线片、胸椎及腰椎三维 CT 以及颈胸腰椎 MRI 检查, 明确整体及局部畸形的情况。术后 3 个月至末次随访之间至少有一次包含手术区域的三维 CT 检查资料, 用以评估植骨融合情况, 末次随访资料包含站立位全脊柱正侧位 X 线片, 明确内固定情况以及畸形矫正情况。

通过筛选, 共有 57 例患者纳入本研究, 男 31

例,女 26 例,年龄 10.3 ± 3.7 岁(2~18 岁),术后平均随访时间为 36.0 ± 2.3 个月(12~96 个月)。其中 7 例患者出现冠状面失代偿(失代偿组),50 例未发生任何继发畸形(对照组)。收集两组患者的一般资料,包括接受手术时年龄、性别、融合固定节段数等。

1.2 影像学评价指标

影像学指标包括:术前 Risser 征分级和主弯减轻位 Cobb 角,术前和术后主弯 Cobb 角、近端固定椎倾斜角(UIV 倾角)、近端固定椎偏移距离(UIV 偏距)、远端固定椎倾斜角(LIV 倾角)、远端固定椎偏移距离(LIV 偏距)、远端固定椎远端椎间盘张开角度(LIV 椎间盘开角)、半椎体节段后凸角。分别由两位高年资主治医师进行测量记录,取两位医师所测结果的平均值为最终测量数据。

1.3 统计学方法

所有数据采用 SPSS 21.0 软件进行统计分析。计量资料以均数 \pm 标准差表示。手术前后各计量资料之间的对比采用配对 *t* 检验(角度、距离等参数),计数资料比较采用卡方检验(如年龄、性别及 Risser 征等参数)。采用二元 Logistic 多因素分析法进一步分析与冠状面失代偿发生密切相关的参数指标。利用受试者工作特征曲线(ROC 曲线)法计算计量指标阈值。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

57 例患者半椎体节段术前 Cobb 角为 $52.0^\circ\pm 14.2^\circ$,末次随访时为 $14.6^\circ\pm 11.8^\circ$ ($P=0.000$);术前节段后凸角为 $34.3^\circ\pm 20.0^\circ$,末次随访时为 $19.2^\circ\pm 9.0^\circ$ ($P=0.000$)。所有患者至末次随访均获得满意植骨融合,无内固定松动断裂失败等情况发生。

两组患者的一般资料和影像学测量指标见表 1。两组患者年龄分布有显著性差异($P<0.05$),失代偿组 10~14 岁所占比例显著性高于对照组。两组性别比和平均融合节段数无显著性差异($P<0.05$)。失代偿组患者术前 Risser 征 0~2 级患者比较例显著高于对照组患者($P<0.05$);失代偿组患者术前及末次随访时的 LIV 倾角、UIV 倾角、LIV 偏距均显著大于对照组($P<0.05$);两组患者术前和术后主弯 Cobb 角、节段后凸角、LIV 偏距、LIV 椎间盘开角等指标无统计学差异($P>0.05$)。57 例患者中有 32 例患者 Risser 征在 0~2 级之间,其

中冠状面失代偿患者 5 例(图 1),对照组 27 例;这部分患者中,发生冠状面失代偿患者的平均年龄为 11.2 ± 4.2 岁,显著大于对照组患者(7.4 ± 3.6 岁, $P<0.05$)。

多因素分析显示,年龄、Risser 征、术前 UIV 以及 LIV 倾角四个指标与冠状面失代偿发生相关,其 OR 值分别为 1.401、0.357、1.230 和 1.309

表 1 冠状面失代偿组与无继发畸形组患者各指标对比分析

Table 1 Comparison of parameters between coronal decompensation patients and normal patients

	失代偿组 Decompen- sation group (n=7)	对照组 Control group (n=50)	P 值 P value
年龄 Age	11.3 \pm 3.5	10.2 \pm 3.6	0.485
<10 岁 <10 yr.	1	26	
10~14 岁 10~14 yr.	6	17	0.032
>14 岁 >14 yr.	0	7	
性别(男/女) Gender(M/F)	4/3	27/23	0.697
融合节段数 Number of fusion segments	4.9 \pm 1.8	5.7 \pm 2.6	0.380
Risser 征 Risser sign			0.029
0~2 级 Grade 0-2	6	20	
3~5 级 Grade 3-5	1	30	
主弯 Cobb 角(°) Main curve Cobb			
术前 Pre-op	57.7 \pm 13.3	51.2 \pm 14.2	0.198
末次随访 Final follow-up	18.5 \pm 14.7	14.1 \pm 11.1	0.138
术前主弯减轻位 Cobb 角(°) Reduce Cobb	42.2 \pm 12.3	42.1 \pm 14.1	0.974
UIV 倾角(°) UIV tilt angle			
术前 Pre-op	29.5 \pm 10.4	17.4 \pm 9.6	0.003
末次随访 Final follow-up	13.2 \pm 6.4	6.2 \pm 5.0	0.013
LIV 倾角(°) LIV tilt angle			
术前 Pre-op	22.1 \pm 11.8	15.2 \pm 8.1	0.024
末次随访 Final follow-up	14.9 \pm 7.5	5.5 \pm 4.8	0.000
UIV 偏距(cm) UIV translation			
术前 Pre-op	1.8 \pm 1.7	1.5 \pm 1.2	0.538
末次随访 Final follow-up	1.6 \pm 1.8	0.5 \pm 1.0	0.532
LIV 偏距(cm) LIV translation			
术前 Pre-op	2.5 \pm 2.0	1.1 \pm 1.1	0.006
末次随访 Final follow-up	2.5 \pm 1.5	0.6 \pm 0.9	0.000
LIV 椎间盘开角(°) LIV disc open angle			
术前 Pre-op	3.5 \pm 2.4	4.6 \pm 3.2	0.245
末次随访 Final follow-up	5.6 \pm 5.7	3.2 \pm 2.9	0.322
节段后凸(°) Segmental kyphosis			
术前 Pre-op	30.6 \pm 14.9	34.8 \pm 20.6	0.611
末次随访 Final follow-up	16.4 \pm 3.0	19.6 \pm 5.5	0.381

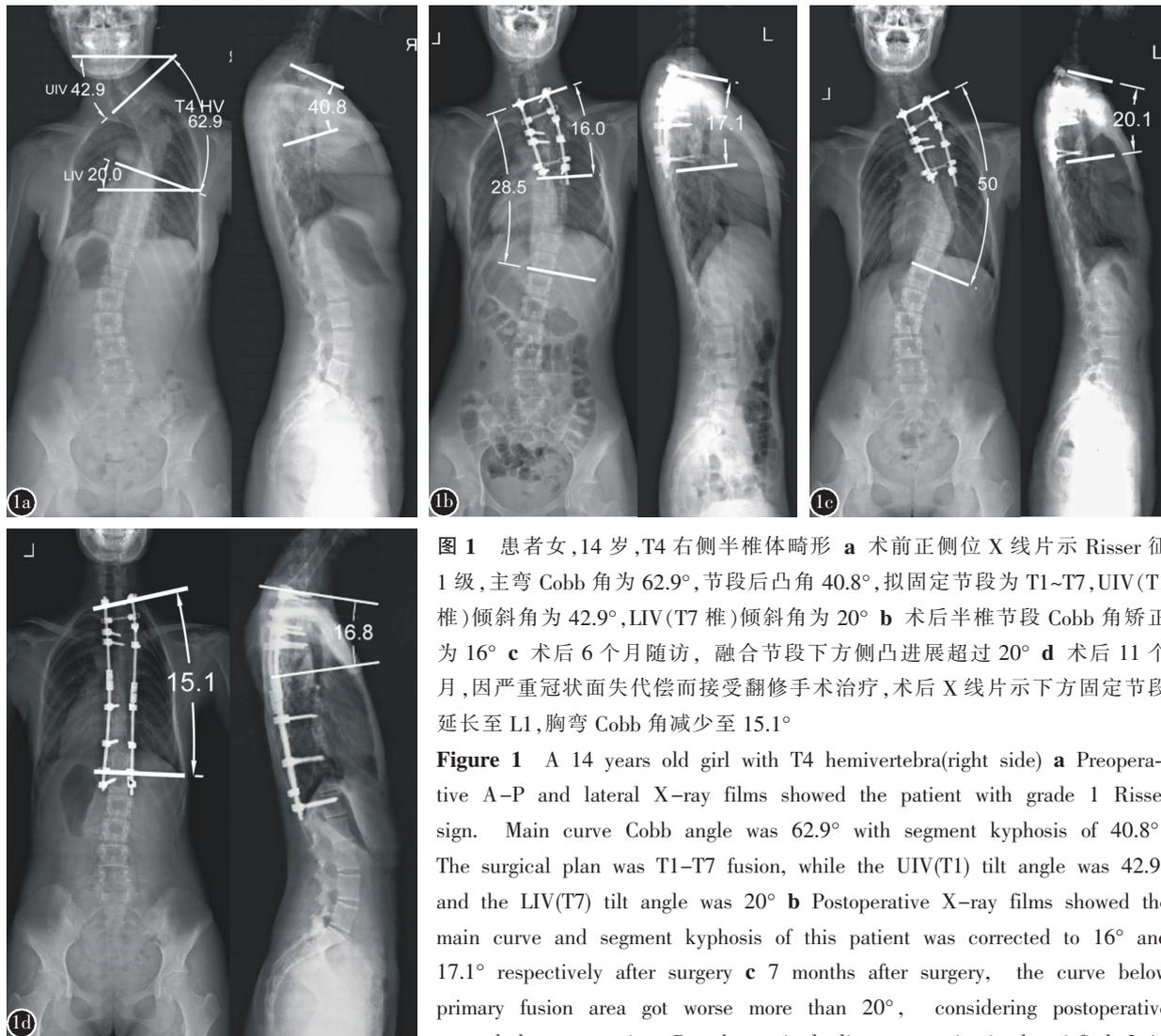


图 1 患者女,14 岁,T4 右侧半椎体畸形 a 术前正侧位 X 线片示 Risser 征 1 级,主弯 Cobb 角为 62.9°,节段后凸角 40.8°,拟固定节段为 T1~T7,UIV(T1 椎)倾斜角为 42.9°,LIV(T7 椎)倾斜角为 20° b 术后半椎节段 Cobb 角矫正为 16° c 术后 6 个月随访,融合节段下方侧凸进展超过 20° d 术后 11 个月,因严重冠状面失代偿而接受翻修手术治疗,术后 X 线片示下方固定节段延长至 L1,胸弯 Cobb 角减少至 15.1°

Figure 1 A 14 years old girl with T4 hemivertebra(right side) a Preoperative A-P and lateral X-ray films showed the patient with grade 1 Risser sign. Main curve Cobb angle was 62.9° with segment kyphosis of 40.8°. The surgical plan was T1-T7 fusion, while the UIV(T1) tilt angle was 42.9° and the LIV(T7) tilt angle was 20° b Postoperative X-ray films showed the main curve and segment kyphosis of this patient was corrected to 16° and 17.1° respectively after surgery c 7 months after surgery, the curve below primary fusion area got worse more than 20°, considering postoperative coronal decompensation. But the sagittal alignment maintained satisfied d 11 months after primary operation, this patient received revision surgery due to severe coronal decompensation. Post-revision X-ray showed the LIV extending to L1, and the main thoracic curve Cobb angle was corrected to 15.1°

11 months after primary operation, this patient received revision surgery due to severe coronal decompensation. Post-revision X-ray showed the LIV extending to L1, and the main thoracic curve Cobb angle was corrected to 15.1°

(表 2, $P < 0.05$)。ROC 曲线计算 UIV 倾角和 LIV 倾角的阈值分别为 19.2°和 17.6°。

3 讨论

目前,后路半椎体切除、短节段融合术已经成为治疗先天半椎体畸形首选方式^[9-10]。大多数先天半椎体畸形患者,尤其对于单发的患者,通过后路半椎体切除、短节段固定融合术均可以获得满意疗效,但术后仍有少部分患者出现继发性畸形,进而影响手术治疗效果^[7,11-14]。

本研究中,我们纳入单一手术团队治疗的胸椎单发半椎体畸形患者,针对同一时期出现冠状面失代偿的患者与术后未出现任何继发畸形的患

表 2 与冠状面失代偿发生相关的各指标的多因素分析

Table 2 Multivariate analysis of postoperative coronal decompensation

	P 值	OR 值	95%CI	
			下限 Lower	上限 Upper
年龄 Age	0.014	1.401	1.077	1.856
Risser 征 Risser sign	0.010	0.357	0.153	0.832
UIV 倾角 UIV tilt angle	0.022	1.230	1.015	1.492
LIV 倾角 LIV tilt angle	0.018	1.309	1.050	1.728
LIV 偏距 LIV translation	0.666	0.772	0.238	2.501
LIV 开角 LIV disc open angle	0.259	0.615	0.264	1.431

者进行多因素分析,发现冠状面失代偿的显著的危险因素包括年龄、Risser 征、术前 UIV 倾角以及术前 LIV 倾角。

3.1 年龄及 Risser 征

既往类似的研究显示,半椎体患者接受初次手术时的年龄可能是术后出现侧凸进展的危险因素之一。本研究中通过多因素分析进一步证实年龄对患者术后冠状面失代偿的影响作用。但值得注意的是,我们直接对比失代偿组与对照组患者的平均年龄基本相当(分别为 11.3 岁和 10.2 岁)。但是,当按年龄层次将患者分为 <10 岁、10~14 岁和 14~18 岁三组,发现 10~14 岁年龄段患者术后更容易出现冠状面失代偿。另一方面数据表明,患者接受初次手术时的 Risser 征 ≤ 2 级,术后出现冠状面失代偿的风险相对 Risser 征 > 2 级的患者显著增加。同时我们发现在所有 Risser 征 ≤ 2 级的胸椎半椎体患者中,术后出现冠状面失代偿的患者平均年龄为 11.2 岁,显著大于对照组患者(7.4 岁)。

以上结果显示,年龄和 Risser 征作为术后冠状面失代偿独立风险因素的同时,其两者之间又存在一定的内在相关性。因此,我们需要将年龄和 Risser 征两个指标结合起来整体考虑。我们认为,对于那些青春期早期,骨生长发育高峰(10~14 岁,且 Risser 征为 0~2 级)的胸椎半椎体畸形患者,其接受半椎体切除、短节段融合术后出现冠状面失代偿的风险会显著增加。

青春期是脊柱生长的第二个生理高峰,低 Risser 征反映患者此时骨骼生长发育潜能较大。快速生长的脊柱是术后发生冠状面失代偿的重要因素之一。本组病例中相对“大龄”的患者(14~18 岁、Risser 征 > 2 级),无一例在术后出现冠状面失代偿并发症。可能的原因是这部分患者就诊时畸形相对较重,故而接受了相对较长节段融合手术;而相对“低龄”的儿童(10 岁以下、Risser 征 0 级)术后发生冠状面失代偿的病例也相对较少,可能的原因是这部分患儿接受初次手术的年龄较小,此时患儿融合节段以外的椎体尚未出现形态结构的显著改变,因此在其半椎体充分切除,短节段固定融合后,其融合节段以近或以远出现侧凸畸形进展的风险也相对较小。

3.2 UIV 及 LIV 倾角

Li 等^[8]在分析幼儿(5 岁以下)半椎体患者术

后继发侧凸畸形的危险因素时发现,当术前 LIV 偏距超过 15.1mm 以及术后 LIV 下方椎间盘开角超过 5.5° 时,患儿术后可能出现冠状面失代偿。Wang 等^[5]在随访研究腰骶段半椎患者时发现,患者术后 UIV 的倾斜程度与术后代偿弯进展密切相关。这些结果均提示,终末固定融合椎的水平化水平可能是术后冠状面失代偿发生的重要影响因素。但是这些因素与胸椎半椎体切除术后冠状面失代偿发生的具体相关性目前尚不明确。

本研究中,我们分析了术前 UIV 和 LIV 的偏距、倾斜角度以及 LIV 下方椎间盘开角等不同影像学参数,最终发现 UIV 和 LIV 倾角两个指标与术后冠状面失代偿有显著相关性。发生冠状面失代偿的患者术前 LIV 偏移距离尽管显著高于未继发畸形组患者(2.5cm 比 1.1cm),但多因素分析时 LIV 偏距与其发生无关,说明该参数所存在的组间差异多系伴随于 LIV 倾斜角组间差异(主要因素)的次要因素,胸段半椎体矫形术后冠状面失代偿的主要危险因素可能还是所选患者的 LIV 倾斜角过大(图 1)。

进一步分析发现,当 UIV 倾斜角 $\geq 19.2^\circ$ 或 LIV 倾斜角 $\geq 17.6^\circ$ 时,患者术后出现冠状面失代偿的风险显著上升。在胸椎半椎体切除矫形术中,拟定的手术终末固定融合椎的倾斜角过大,通常意味着术后也难以很好地实现 UIV 或 LIV 的水平化,进而导致 UIV 上方或 LIV 下方(胸椎均为 LIV)在术后短时间可能出现侧凸的快速进展。这一点类似于胸主弯 AIS 患者矫形术后的 Adding-On 现象。这也提示我们临床上治疗胸椎半椎体畸形的患者时,固定融合的范围可能要适当延长,选择倾斜度不显著的椎体为终末固定融合椎,以降低术后冠状面失代偿出现风险。

此外,在本研究术后出现冠状面失代偿的患者中,我们还注意到其中有 2 例患者术后快速进展的侧凸畸形,其顶椎相对远离初次手术融合节段终末固定椎。这便是既往文献报道的术后新发侧凸畸形(emerging scoliosis, ES)^[5,6];对这类特殊冠状面失代偿类型的患者,其术后新发畸形的出现,排除了半椎体切除不充分、内固定失败等因素,也不能通过终末固定椎术后水平化不理想这一因素来解释。以往的研究认为,ES 的出现多系先天半椎体患者术前主弯以外的代偿弯在术后快速进展,并逐渐发展为结构弯的过程。但至今为

止,其具体致病原因仍未明确。在以后的研究中,还需要多中心、大样本量的数据才能对其特征开展进一步的分析探讨。

通过本研究,我们明确了胸椎半椎体畸形矫正术后冠状面失代偿的一些危险因素,使临床工作中对患者术后是否出现该并发症有一定预判能力,从而在一定程度上能够在术前制定更为合理的手术方案。在临床工作中,我们应该对 10~14 岁且 Risser 征 0~2 级的胸段半椎体畸形患者加以更多关注,在针对其行后路半椎体切除、固定融合手术时,可适当延长固定节段,尽量保证所选择的 UIV 倾斜角 $<19.2^{\circ}$ 、且 LIV 倾斜角 $<17.6^{\circ}$,以降低术后出现冠状面失代偿的风险。

4 参考文献

- Ruf M, Harms J. Hemivertebra resection by a posterior approach: innovative operative technique and first results [J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2002, 27(10): 1116-1123.
- Ruf M, Harms J. Posterior hemivertebra resection with transpedicular instrumentation: early correction in children aged 1 to 6 years[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2003, 28(18): 2132-2138.
- Wang S, Zhang J, Qiu G, 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.
- 仇建国, 邱贵兴, 于斌, 等. 后路半椎体切除术治疗先天性脊柱侧后凸的初步结果[J]. *中华骨科杂志*, 2006, 26(3): 156-160.
- Yang X, Song Y, Liu L, et al. Emerging S-shaped curves in congenital scoliosis after hemivertebra resection and short segmental fusion[J]. *Spine J*, 2016, 16(10): 1214-1220.
- 杨曦, 宋跃明, 刘立岷, 等. 先天性半椎体切除术后新发侧凸畸形的临床分析[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2018, 28(7): 586-592.
- 涂志明, 王冰, 吕国华, 等. 先天性脊柱侧凸半椎体切除短节段融合术后失代偿的研究进展[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2018, 28(7): 648-651.
- Li S, Chen ZH, Qiu Y. Coronal decompensation after posterior-only thoracolumbar hemivertebra resection and short fusion in young children with congenital scoliosis[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2018, 43(9): 654-660.
- 郝定均, 贺宝荣, 王晓东, 等. 后路经椎弓根半椎体切除固定融合治疗完全分节型胸腰椎侧后凸畸形[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2009, 19(3): 188-192.
- Nakamura H, Matsuda H, Konishi S, et al. Single-stage excision of hemivertebrae via the posterior approach alone for congenital spine deformity: follow-up period longer than ten years[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2002, 27(1): 110-115.
- 朱泽章, 邱勇, 王斌, 等. 单一半椎体型先天性脊柱侧后凸初次手术失败的原因分析及翻修方法选择[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2011, 21(9): 740-744.
- Huang Y, Feng G, Liu L, et al. Posterior hemivertebral resection for upper thoracic congenital scoliosis: be aware of high risk of complications[J]. *J Pediatr Orthop B*, 2019, 28(1): 1-9.
- Wang Y, Kawakami N, Tsuji T, et al. Proximal junctional kyphosis following posterior hemivertebra resection and short fusion in children younger than 10 years[J]. *Clin Spine Surg*, 2017, 30(4): E370-E376.
- Chang DG, Suk SI, Kim JH, et al. Surgical outcomes by age at the time of surgery in the treatment of congenital scoliosis in children under age 10 years[J]. *Spine J*, 2015, 15(8): 1783-1795.
- Wang Y, Shi B, Liu Z, et al. The upper instrumented vertebra horizontalization: an essential factor predicting the spontaneous correction of compensatory curve after lumbosacral hemivertebra resection and short fusion[J]. *Spine*, 2020, 45(19): E1272-1278.

(收稿日期:2021-01-26 末次修回日期:2021-06-02)

(英文编审 谭 啸)

(本文编辑 卢庆霞)