

临床论著

胸廓入射角对强直性脊柱炎胸腰椎后凸畸形患者
腰椎截骨矫形术后颈椎矢状面序列的影响

陈旭, 钱邦平, 王斌, 邱勇

(南京大学医学院附属鼓楼医院骨科脊柱外科 210008 南京市)

【摘要】目的:探讨不同胸廓入射角(thoracic inlet angle, TIA)下的强直性脊柱炎(ankylosing spondylitis, AS)伴胸腰椎后凸畸形患者腰椎截骨矫形术后颈椎矢状面排序的影像学特征。**方法:**回顾性分析 2012 年 1 月~2020 年 12 月于我院脊柱外科就诊并接受脊柱后路经椎弓根椎体截骨矫形手术(pedicle subtraction osteotomy, PSO)治疗的 AS 伴胸腰椎后凸畸形患者 32 例。收集患者性别、年龄、截骨节段、椎体融合节段等临床资料。在术前、术后即刻、末次随访时的全脊柱侧位 X 线片上测量:颈椎矢状面偏移(cervical sagittal vertical axis, cSVA)、麦氏线倾斜角(McGregor slope, McGs)、上颈椎前凸角(upper cervical lordosis, UCL)、下颈椎前凸角(lower cervical lordosis, LCL)、全颈椎前凸角(cervical lordosis, CL)、C2 椎体倾斜度(C2 slope)、C7 椎体倾斜度(C7 slope)、T1 椎体倾斜度(T1 slope, T1S)、颈部倾斜度(neck tilt, NT)、胸廓入射角(thoracic inlet angle, TIA)、全脊柱整体后凸角(global kyphosis, GK)、胸椎后凸角(thoracic kyphosis, TK)、腰椎前凸角(lumbar lordosis, LL)、骨盆入射角(pelvic incidence, PI)、骨盆倾斜角(pelvic tilt, PT)、骶骨倾斜角(sacral slope, SS)、局部后凸角(local kyphosis, LK)。根据 TIA 值分为 A、B 两组:A 组 TIA<70°, B 组 TIA≥70°。采用独立样本 *t* 检验或卡方检验比较两组患者术前临床资料和术前术后影像学参数的差异,将术前有显著性差异的参数与 TIA 进行 Pearson 相关性分析。**结果:**A 组患者共 15 例,男 13 例,女 2 例,年龄 28.5±5.7 岁;B 组患者共 17 例,男 13 例,女 4 例,年龄 37.7±14.4 岁。A 组患者术前的 cSVA、UCL、CL、TK、GK 分别为 33.6±17.2mm、-14.6°±4.9°、-43.7°±12.9°、32.6°±10.8°、52.3°±10.3°,B 组的分别为 48.0±18.1mm、-22.8°±7.4°、-56.3°±10.9°、50.1°±9.9°、69.8°±11.9°,两组间比较均有统计学差异(*P*<0.05);术前两组间 McGs 与 LCL 无统计学差异(*P*>0.05)。术后即刻 A 组患者的 LCL、CL、TK 分别为 -11.1°±8.9°、-24.4°±10.2°、33.5°±11.3°,B 组分别为 -20.9°±11.9°、-35.0°±9.4°、46.2°±12.0°,两组间比较均有统计学差异(*P*<0.05);术后即刻 cSVA、McGs、UCL、NT 在两组间无显著差异(*P*>0.05)。末次随访时两组影像学参数的矫正丢失无显著差异(*P*>0.05)。术前 TIA 与年龄存在显著正相关性(*r*=0.549, *P*=0.001),与 cSVA(*r*=0.367, *P*=0.039)、TK(*r*=0.392, *P*=0.027)、GK(*r*=0.366, *P*=0.039)呈正相关,与 UCL(*r*=-0.591, *P*<0.001)、CL(*r*=-0.357, *P*=0.045)呈负相关。截骨角的大小(ΔLK)与颈椎前凸角的变化之间没有相关性(*P*>0.05)。**结论:**与 TIA 较小的患者相比,TIA 大的 AS 患者术前存在更大的 UCL,而 LCL 没有差别;行腰椎截骨矫形术后,UCL 与 LCL 均减小,但 TIA 大的 AS 患者存在更大的 LCL,而 UCL 则没有差别。

【关键词】强直性脊柱炎;胸腰椎后凸;椎弓根椎体截骨矫形手术;胸廓矢状面序列;颈椎矢状面序列

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2021.12.05

中图分类号:R687.3,R593.23 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2021)-12-1090-08

The influence of thoracic inlet angle on the cervical sagittal alignment in ankylosing spondylitis patients with thoracolumbar kyphosis following lumbar pedicle subtraction osteotomy/CHEN Xu, QIAN Bangping, WANG Bin, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2021, 31(12): 1090-1097

【Abstract】Objectives: To investigate the radiographic characteristics of cervical sagittal alignment in ankylosing spondylitis (AS) patients with thoracolumbar kyphosis at different thoracic inlet angles(TIA). **Methods:** 32 patients who underwent pedicle subtraction osteotomy (PSO) in our hospital from January 2012 to December 2020 with complete data were included. Clinical data including gender, age, osteotomized level, fusion

第一作者简介:男(1997-),研究生在读,研究方向:脊柱外科

电话:(025)68182022 E-mail:1120586152@qq.com

通讯作者:钱邦平 E-mail:qianbangping@163.com

levels were collected. Preoperative, postoperative, the last follow-up radiological parameters consisting of cervical sagittal vertical axis(cSVA), McGregor slope(McGs), upper cervical lordosis(UCL), lower cervical lordosis(LCL), cervical lordosis(CL), C2 slope, C7 slope, T1 slope(T1S), neck tilt(NT), thoracic inlet angle(TIA), global kyphosis(GK), thoracic kyphosis(TK), lumbar lordosis(LL), pelvic incidence(PI), pelvic tilt(PT), sacral slope(SS), and local kyphosis (LK) were measured. Patients were divided into two groups on the basis of TIA value (Group A: TIA<70°; Group B: TIA≥70°). Independent sample t-test or chi-square test was used to compare the difference of clinical data and preoperative parameters between the two groups, and paired sample t-test was used for the comparison of preoperative and postoperative parameters in group A and group B respectively. Pearson correlation analysis was performed to evaluate the correlations between TIA and clinical data and preoperative parameters. **Results:** There were 15 patients (13 males and 2 females) in group A and 17 patients (13 males and 4 females) in group B. The mean age in group A was 28.5±5.7 years, and that in group B was 37.7±14.4 years. There was significant difference in the age between the two groups($P<0.05$). The preoperative cSVA, UCL, CL, TK and GK in group B were 48.0±18.1mm, -22.8°±7.4°, -56.3°±10.9°, 50.1°±9.9° and 69.8°±11.9° respectively, which were greater than those in group A($P<0.05$). While no significant difference was observed in preoperative McGs and LCL between the two groups ($P>0.05$). The postoperative LCL, CL, TK in group B were -20.9°±11.9°, -35.0°±9.4° and 46.2°±12.0° respectively, which were greater than in group A. While there was no significant difference being observed in postoperative cSVA, McGS, UCL and NT between the two groups($P>0.05$). The loss of correction at the last follow-up showed no significant difference between the two groups($P>0.05$). Preoperative TIA was positively correlated with age($r=0.549$, $P=0.001$), cSVA($r=0.367$, $P=0.039$), TK($r=0.392$, $P=0.027$) and GK($r=0.366$, $P=0.039$). However, TIA was negatively correlated with preoperative UCL($r=-0.591$, $P<0.001$) and CL($r=-0.357$, $P=0.045$). Moreover, no correlation between the change of cervical lordosis and Δ LK was found in both groups ($P>0.05$). **Conclusions:** Compared with AS patients with small TIA, AS patients with greater TIA had larger preoperative UCL, whereas there was no difference in LCL. After lumbar PSO, both UCL and LCL decreased. However, AS patients with greater TIA had larger LCL and there was no significant difference concerning UCL.

[Key words] Ankylosing spondylitis; Thoracolumbar kyphosis; Pedicle subtraction osteotomy; Thoracic sagittal alignment; Cervical sagittal alignment

[Author's address] Division of Spine Surgery, Nanjing Drum Tower Hospital, the Affiliated Hospital of Nanjing University Medical School, Nanjing, 210008, China

强直性脊柱炎 (ankylosing spondylitis, AS) 是一种主要累及骶髂关节与中轴骨的慢性炎症性疾病^[1]。随着炎症活动与异位骨化的不断加重,将逐步发展为严重的胸腰椎后凸畸形,并伴有躯干的前倾和水平视线的丢失。为维持直立姿势与水平视线,患者会产生骨盆后倾、髋关节伸直、膝关节屈曲等一系列代偿^[2-4]。Boulay 等^[5]发现骨盆入射角 (pelvic incidence, PI) 是胸腰椎骨盆矢状面序列中的关键参数。随着对脊柱矢状面序列研究的深入,越来越多的学者开始重视颈椎的矢状面序列,认为其变化在维持水平视线和头部-躯干协调性中有很大的作用^[6,7]。有研究表明,颈椎的矢状面序列是多样化的,受整体矢状面序列的影响较大^[8]。胸廓入口支撑头部重量,是活动度较大的颈椎向活动度较小的胸椎过渡的区域,也是影响颈椎矢状面序列的重要因素,尤其是 C7、T1 椎体

的位置结构和相关韧带^[7,9]。Knott 等^[10]研究发现 T1 倾斜角(T1 slope, T1S)是评估脊柱矢状面平衡的重要参数,在 13°~25°时胸廓入口处的矢状面平衡最佳。随后 Lee 等^[9]提出 T1S、颈部倾斜角(neck tilt, NT)、胸廓入射角(thoracic inlet angle, TIA)等衡量胸廓入口处矢状面序列的指标,证实了在无临床症状人群中 TIA 与颈椎矢状面序列之间存在明显的相关性;同时发现 NT 在大约 44°时颈椎的肌肉韧带所承担的负荷最小。AS 患者因炎症反应引起胸廓各关节的骨化融合、脊柱强直,其颈椎矢状面序列可能不同于正常人和其他脊柱畸形患者^[1]。本研究对 AS 伴胸腰椎后凸畸形患者的临床、影像学资料进行回顾性分析,探讨不同 TIA 的 AS 伴胸腰椎后凸畸形患者颈椎矢状面序列的影像学特征。

1 资料与方法

1.1 一般资料

收集 2012 年 1 月~2020 年 12 月于我院行经椎弓根椎体截骨术 (pedicle subtraction osteotomy, PSO) 治疗的 AS 伴胸腰椎后凸畸形患者的资料。纳入标准: (1) 疾病符合 1984 年纽约修订的 AS 诊断标准^[11]; (2) 患者初次手术年龄 ≥ 18 岁; (3) 具有完整的影像学资料, 且在站立位全脊柱侧位 X 线片上可见完整的颈椎、硬腭上缘及枕骨鳞部最低点; (4) 术后随访时间 ≥ 1 年。排除标准: (1) 既往有脊柱手术或髋关节置换术史; (2) 术前存在寰枢椎脱位或骨折, 存在假关节; (3) 冠状面存在 Cobb 角 $\geq 10^\circ$ 的脊柱侧凸; (4) 合并有髋关节屈曲融合畸形而对脊柱矢状位影响明显; (5) 存在颈椎僵直活动受限。

共纳入符合上述标准的 AS 胸腰椎后凸畸形患者共 32 例, 其中男 26 例, 女 6 例; 手术时年龄 20~67 岁, 平均 33.3 ± 11.9 岁。其中, 2 例患者行 T12 PSO, 6 例行 L1 PSO, 23 例行 L2 PSO, 1 例行 L3 PSO。所有患者融合节段均 ≥ 5 个。

1.2 影像学参数与临床资料

所有的影像学指标采用 Surgimap 软件 (Version: 1.1.2.293) 在术前、术后即刻和末次随访时的站立位全脊柱侧位 X 线片上测量以下参数 (图 1)。(1) 颈椎矢状面偏移 (cervical sagittal vertical axis, cSVA): C2 椎体中心的铅垂线与 C7 椎体后上角之间的水平距离, C2 铅垂线落在 C7 椎体后上角前方为正值, 后方为负值^[12]; (2) 麦氏线倾斜角 (McGregor slope, McGs): 硬腭后缘和枕骨鳞部最低点的连线 (麦氏线) 与水平线之间的夹角, 负值代表颅骨在矢状面上向后倾斜, 是下颌眉垂直角 (chin brow vertical angle, CBVA) 的有效替代值^[7]; (3) 上颈椎前凸角 (upper cervical lordosis, UCL): 麦氏线与 C2 椎体下终板之间的夹角, 负值代表前凸, 正值代表后凸^[7,9]; (4) 下颈椎前凸角 (lower cervical lordosis, LCL): C2 椎体与 C7 椎体下终板之间的夹角, 负值代表前凸, 正值代表后凸^[7,9]; (5) 颈椎前凸角 (cervical lordosis, CL): 麦氏线与 C7 椎体下终板之间的夹角, 负值代表前凸, 正值代表后凸^[7]; (6) C2 椎体倾斜度 (C2 slope): C2 椎体下终板与水平线之间的夹角, 正值代表 C2 椎体在矢状面上向前倾斜^[13]; (7) C7 椎体倾斜度 (C7 slope): C7 椎体下终板与水平线之间

的夹角, C7 椎体在矢状面上向前倾斜取正值^[9]; (8) T1 椎体倾斜度 (T1 slope, T1S): T1 椎体上终板与水平线之间的夹角, 正值代表 T1 椎体在矢状面上向前倾斜^[9]; (9) 颈部倾斜度 (neck tilt, NT): 胸骨柄上缘、T1 椎体上终板中点的连线和经胸骨柄上缘的铅垂线的夹角^[9]; (10) 胸廓入射角 (thoracic inlet angle, TIA): 胸骨柄上缘、T1 椎体上终板中点的连线与 T1 上终板垂线间的夹角^[9]; (11) 全脊柱整体后凸角 (global kyphosis, GK): 最倾斜的上端椎的上终板与最倾斜的下端椎的下终板之间的夹角^[1,2]; (12) 胸椎后凸角 (thoracic kyphosis, TK): T5 椎体上椎板与 T12 椎体下终板之间的夹角^[1]; (13) 腰椎前凸角 (lumbar lordosis, LL): L1 椎体上终板与 L5 椎体下终板之间的夹角, 负值代表前凸, 正值代表后凸^[2]; (14) 骨盆入

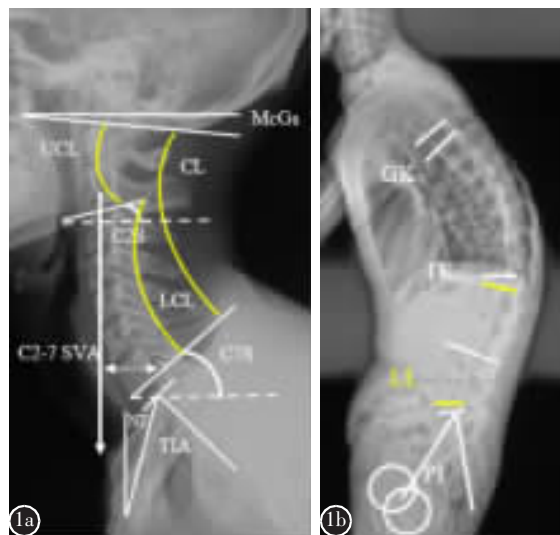


图 1 影像学参数测量方法 a 麦氏线倾斜角 (McGs)、上位颈椎前凸角 (UCL)、下位颈椎前凸角 (LCL)、颈 2 椎体倾斜度 (C2S)、颈 7 椎体倾斜度 (C7S)、胸 1 椎体倾斜度 (T1S)、颈椎矢状面偏移 (cSVA)、胸廓入射角 (TIA)、颈部倾斜度 (NT) 的测量方法 b 胸椎后凸 (TK)、全脊柱最大后凸角 (GK)、骨盆入射角 (PI)、骨盆倾斜度 (PT)、骶骨倾斜度 (SS) 的测量方法

Figure 1 Measurement of radiographic parameters **a** Scheme of measurement of cervical sagittal parameters: McGregor slope (McGs), upper cervical lordosis (UCL), lower cervical lordosis (LCL), C2 slope (C2S), C7 slope (C7S), T1 slope (T1S), cervical sagittal vertical axis (cSVA), thoracic inlet angle (TIA), neck tilt (NT) **b** Scheme of measurement of spinopelvic parameters: thoracic kyphosis (TK), global kyphosis (GK), pelvic incidence (PI), pelvic tilt (PT), sacral slope (SS)

射角 (pelvic incidence, PI): 双侧股骨头中心、S1 上终板中点的连线与 S1 上终板的垂线之间的夹角^[2]; (15) 骨盆倾斜角 (pelvic tilt, PT): 双侧股骨头中心、S1 上终板中点的连线与铅垂线之间的夹角^[2]; (16) 骶骨倾斜角 (sacral slope, SS): S1 上终板与水平线之间夹角^[2]; (17) 局部后凸角 (local kyphosis, LK): 截骨椎上一椎体的上终板与下一椎体的下终板之间的夹角^[13]。截骨角 (osteotomy angle, OA): 术前术后 LK 的差值 (Δ LK)。

1.3 统计学方法

应用 SPSS 23.0 软件进行统计学分析。有研究表明正常人群中 TIA 值约为 70° ^[14], 故本研究根据患者的 TIA 值将患者分为两组: A 组, TIA $<70^{\circ}$; B 组, TIA $\geq 70^{\circ}$ 。采用独立样本 *t* 检验比较连续变量 (影像学参数, 年龄和椎体融合节段) 在 A、B 组之间的差异; 卡方检验分析两组间分类变量 (性别、截骨节段) 的差异; 将有显著性差异的参数与 TIA 作 Pearson 相关性分析。组内术前、术后、随访影像学指标的比较采用配对样本 *t* 检验。所有的计量资料用 $\bar{x} \pm s$ 表示, 双侧 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

A、B 两组患者的一般资料如表 1 所示, 两组间年龄、椎体融合节段存在统计学差异 ($P < 0.05$),

表 1 两组患者的一般资料

Table 1 The general condition of the two groups of patients

	A组 (n=15) Group A	B组 (n=17) Group B
年龄 (岁) Age	28.5 $\pm$ 5.7	37.7 $\pm$ 14.4 ^①
性别 Gender		
男 Male	13	13
女 Female	2	4
截骨节段 Osteotomy level		
T12	0	2
L1	3	3
L2	11	12
L3	1	0
融合节段 Fusion levels	8.1 $\pm$ 0.4	9.4 $\pm$ 1.6 ^①
随访时间 (年) Follow-up time (years)	2.6 $\pm$ 1.2	2.2 $\pm$ 1.0
截骨角度 ($^{\circ}$) Osteotomy angle	40.6 $\pm$ 8.0	37.6 $\pm$ 11.0

注: ①与 A 组比较 $P < 0.05$

Note: ①Compared with group A, $P < 0.05$

随访时间、平均截骨角无统计学差异 ($P > 0.05$)。

A、B 两组患者术前、术后即刻、末次随访的影像学参数见表 2。A 组术后即刻 cSVA、LCL、CL、C7S、T1S、GK、PT、LK 显著性减小 ($P < 0.05$), LL、NT 则显著性增大 ($P < 0.05$); 而 McGs、UCL、C2S、TIA、TK、PI 相对术前无明显改变 ($P > 0.05$); 末次随访时, C7S、T1S、TK、GK、PT 较术后即刻有所增大而 NT 减小 ($P < 0.05$)。B 组术后即刻 cSVA、UCL、LCL、CL、C2S、C7S、T1S、GK、PT、LK 显著性减小 ($P < 0.05$), LL、NT 则显著性增大 ($P < 0.05$); 而 McGs、TIA、TK、PI 相对术前无明显改变 ($P > 0.05$)。末次随访时, T1S、GK、PT 相较于术后即刻有所增大 ($P < 0.05$)。典型病例见图 2、3。

与 A 组患者比较, B 组患者术前 cSVA、UCL、CL、C7S、T1S、TK、GK 更大 ($P < 0.05$), 术前 McGs 与 LCL 没有统计学性差异 ($P > 0.05$); 术后即刻, B 组患者 LCL、CL、C7S、T1S、TIA、TK 更大 ($P < 0.05$), 而 cSVA、McGs、UCL、NT 在两组间无显著性差异 ($P > 0.05$)。此外, 末次随访时胸腰椎影像学参数的矫正丢失在两组间也无统计学差异 ($P > 0.05$); B 组患者随访期间存在更大的 LCL, 但是两组间没有统计学差异 ($P = 0.079$)。

Pearson 相关性分析结果显示, 术前患者 TIA 与年龄存在显著性正相关, 与 cSVA、C7S、T1S、TK、GK 存在正相关, 与 UCL、CL 呈显著性负相关; 术后患者 TIA 与年龄、cSVA、C7S、T1S 存在显著性正相关, 而与 LCL 和 CL 存在显著性负相关 (表 3)。截骨角的大小 (Δ LK) 与颈椎前凸角的变化之间没有相关性 ($P > 0.05$, 表 4)。

3 讨论

AS 伴胸腰椎后凸畸形患者为维持躯干的平衡, 会产生一系列代偿机制, 包括髋关节的伸直、骨盆后倾、膝关节的屈曲等^[2,3]。颈椎矢状面序列的变化在维持水平视线和头部-躯干协调性方面有很大作用^[6,7]。胸廓入口处的脊柱矢状面平衡不仅与全脊柱的矢状面平衡有关, 也与颈椎的矢状面平衡具有相关性^[9,10,12]。胸廓入口处是脊柱节段中活动度最大的颈椎向活动度最小的胸椎过渡的区域, 由双侧第一肋骨、T1 椎体和胸骨的上缘所构成, 理论上是一个没有活动范围的骨性圈, 通过附着在头颈部的肌肉韧带来支撑颈椎^[15]。在成人脊柱畸形 (adult spinal deformity, ASD) 患者中, 也

发现胸廓入口处排列与颈椎和脊柱整体排列明显相关^[9,10]。因此我们推测在 AS 患者中,TIA 值的大小不同会导致不同的颈椎矢状面排列,且在腰椎 PSO 后颈椎矢状面排列的适应性改变有所不同。

本研究发现,TIA 大的 AS 患者具有相对较大的年龄,且术后的融合节段较长($P<0.05$)。通过比较术前两组间影像学指标,将有差异的参数与 TIA 进行 Pearson 相关性分析,发现 TIA 与年龄、T1S、TK 之间存在显著性相关。而 Lee 等^[14]认为 TIA 是一个类似 PI 的形态学参数,并不会受到姿势的改变或 TK 的增减而改变。这可能是由于纳入人群不同造成的结果。我们推测,AS 患者 TIA 在成年以后即保持相对稳定,成年后骨骼发育完

全时的 TK 值决定了 TIA 的大小。TIA 的大小取决于 T1 椎体上终板中点与胸骨上缘间的相对位置,在正常情况下,前者的位置高于后者且在其后方。随着 AS 患者年龄的增长,由于退变导致椎体或椎间盘的楔形变和脊柱高度的丢失^[17],引起 T1 椎体上终板中点和胸骨上缘在垂直方向上的距离减小从而导致 TIA 增大。Berthonnaud 等^[4]曾报道了 CL 与 TK 之间呈正相关性,但相关系数要弱于腰椎和骨盆参数,可能的原因是与颈椎或腰椎相比,胸椎的活动性降低。在本研究中却发现 TK 与 UCL、LCL、CL 之间不存在相关性,这可能是由于 AS 患者存在的异位骨化使得脊柱活动性降低造成。

表 2 术前与术后影像学参数的比较

Table 2 Comparison of radiographic parameters pre- and postoperative parameters

影像学参数 Parameters	A组(n=15) Group A			B组(n=17) Group B		
	术前 Preoperation	术后即刻 Postoperation	末次随访 Final follow-up	术前 Preoperation	术后即刻 Postoperation	末次随访 Final follow-up
颈椎矢状面偏移(mm) Cervical sagittal vertical axis	33.6±17.2	20.3±14.6 ^①	25.9±21.2	48.0±18.1 ^②	29.1±11.6 ^①	32.2±19.4
麦氏线倾斜角(°) McGregor slope	-8.9±11.6	-5.5±9.0	-4.3±13.8	-8.4±11.2	-6.9±6.0	-7.9±10.1
上颈椎前凸角(°) Upper cervical lordosis	-14.6±4.9	-13.5±3.8	-15.4±5.5	-22.8±7.4 ^②	-14.0±6.7 ^①	-15.9±8.4
下颈椎前凸角(°) Lower cervical lordosis	-28.9±12.8	-11.1±8.9 ^①	-14.4±12.9	-33.4±11.7	-20.9±11.9 ^{①②}	-22.9±13.0
全颈椎前凸角(°) Cervical lordosis	-43.7±12.9	-24.4±10.2 ^①	-29.8±15.0	-56.3±10.9 ^②	-35.0±9.4 ^{①②}	-38.8±12.1
C2 椎体倾斜度(°) C2 slope	5.8±12.2	7.6±9.0	11.1±14.1	14.4±14.5	6.4±9.1 ^①	9.5±12.9
C7 椎体倾斜度(°) C7 slope	34.5±7.3	18.8±7.2 ^{①③}	25.6±7.9	47.3±8.7 ^②	28.4±7.0 ^{①②}	30.5±8.8
胸廓入射角(°) Thoracic inlet angle	63.7±5.3	63.8±5.1	64.2±5.2	76.7±6.9 ^②	77.0±7.7 ^②	77.5±7.6 ^②
颈部倾斜度(°) Neck tilt	25.6±7.7	44.5±9.3 ^{①③}	40.3±7.7	29.7±8.9	48.1±6.7 ^①	46.4±9.5
T1 椎体倾斜度(°) T1 slope	38.1±5.8	19.9±6.6 ^{①②}	24.2±6.5	47.1±7.9 ^②	28.9±5.9 ^{①②③}	31.4±7.5
胸椎后凸角(°) Thoracic kyphosis	32.6±10.8	33.5±11.3 ^③	40.9±10.2	50.1±9.9 ^②	46.2±12.0 ^②	47.2±12.1
腰椎前凸角(°) Lumbar lordosis	-4.3±12.8	-43.3±14.4 ^①	-41.3±13.2	-8.8±15.3	-36.6±24.2 ^①	-38.2±16.8
全脊柱整体后凸角(°) Global kyphosis	52.3±10.3	13.9±9.1 ^{①③}	18.6±10.3	69.8±11.9 ^②	22.2±9.3 ^{①②③}	25.2±10.5
骨盆入射角(°) Pelvic incidence	44.8±8.6	44.1±8.5	44.1±8.6	49.6±14.9	51.2±13.0	51.5±13.1
骨盆倾斜角(°) Pelvic tilt	33.6±7.7	16.6±8.5 ^{①③}	20.8±8.9	37.6±12.8	22.9±12.2 ^{①③}	25.7±12.6
骶骨倾斜角(°) Sacral slope	11.2±7.5	27.5±7.0 ^{①③}	23.3±6.2	12.0±10.6	28.2±7.7 ^①	25.8±8.9
局部后凸角(°) Local kyphosis	13.6±8.0	-26.9±9.2 ^①	-27.4±8.9	12.8±11.7	-24.8±8.6 ^①	-25.0±8.7

注:①与术前相比 $P<0.05$;②与 A 组同时间点相比 $P<0.05$;③与末次随访相比 $P<0.05$

Note: ①Compared with preoperation, $P<0.05$; ②Comparison of preoperation, postoperation, final follow-up between groups, $P<0.05$;

③Compared with final follow-up, $P<0.05$

AS胸腰椎后凸畸形患者中,颈椎没有骨化的患者 CL 代偿性增加以维持水平视线^[13]。其中,颈椎前凸的增大以 LCL 改变为主,对胸腰椎后凸畸形并不严重的患者来说,其 UCL 可保持不变^[18],通过 LCL 的代偿性改变,既可以维持视线水平,也可使 UCL 保持在正常范围,而上颈椎有更强的活动性和代偿能力,因此 UCL 的维持对头颅的活动度和水平视线具有重要意义^[19]。Hardacker 等^[20]的研究表明,尽管 LCL 在 CL 中的占比较少,但

LCL 比 UCL 与 CL 的相关性更强;Lee 等^[16]对正常人群的研究也得出相同的结论。本研究中,B 组患者术前的 TK、GK 和 PT 更大($P<0.05$),畸形更为严重,因此 B 组患者通过更大的 CL 以维持水平视线,McGs 是 CBVA 的影像学替代指标^[7],可见 A、B 两组间 McGs($P>0.05$)不存在统计学差异,因此两组患者的水平视线相当。然而,B 组患者具有更大的 UCL 和 cSVA ($P<0.05$),LCL 在两组间没有显著性差异($P=0.312$)。且 TIA、TIS 与 UCL 呈



图 2 患者男,22 岁,AS 胸腰椎后凸畸形,术前以 LCL 代偿维持水平视线,术后颈椎矢状面序列以 LCL 减小为主 **a** 术前 cSVA 为 21.3mm,UCL 为 -11.5° ,LCL 为 -17.3° ,McGs 为 -7.5° ,TIA 为 59.8° ,TIS 为 29° ,NT 为 30.8° ,TK 为 26.1° ,GK 为 45.7° **b** 行 L1 PSO、T9-L4 固定术后 cSVA 为 -7.2mm ,UCL 为 -11° ,LCL 为 -6.1° ,McGs 为 -11.6° ,TIA 为 62.8° ,TIS 为 14.6° ,NT 为 48.2° ,TK 为 26.4° ,GK 为 8.3° **c** 术后 1 年 cSVA 变化为 -10.1mm ,UCL 为 -9.3° ,LCL 为 -7.3° ,McGs 为 -9.3° ,TIA 为 61° ,TIS 为 13° ,NT 为 48° ,TK 为 28.5° ,GK 为 9.6° **图 3** 患者女,28 岁,AS 胸腰椎后凸畸形,术前以 UCL 和 LCL 共同参与水平视线的维持,术后颈椎矢状面序列以 UCL 和 LCL 均减小 **a** 术前 cSVA 为 46mm,UCL 为 -28.9° ,LCL 为 -38.1° ,McGs 为 -10.8° ,TIA 为 73.6° ,TIS 为 48.8° ,NT 为 24.8° ,TK 为 38° ,GK 为 55° **b** 行 L2 PSO、T10-L5 内固定术后 cSVA 为 34.8mm,UCL 为 -17° ,LCL 为 -23.5° ,McGs 为 -2.7° ,TIA 为 76.5° ,TIS 为 35.7° ,NT 为 40.8° ,TK 为 36.6° ,GK 为 16.7° **c** 术后 1 年 cSVA 变化为 34.4mm,UCL 为 -16.6° ,LCL 为 -38.1° ,McGs 为 -7.3° ,TIA 为 76.8° ,TIS 为 44.2° ,NT 为 32.6° ,TK 为 41° ,GK 为 19°

Figure 2 A 22-year-old male patient with AS thoracolumbar kyphosis kept the horizontal sight by increased LCL preoperatively. After L1 PSO, LCL decreased spontaneously while UCL almost remained unchanged. Internal fixation segment was from T9 to L4 **a** Preoperative cSVA, UCL, LCL, McGs, TIA, TIS, NT, TK and GK was 21.3mm, -11.5° , -17.3° , -7.5° , 59.8° , 29° , 30.8° , 26.1° and 45.7° respectively **b** Postoperative cSVA, UCL, LCL, McGs, TIA, TIS, NT, TK and GK was -7.2mm , -11° , -6.1° , -11.6° , 62.8° , 14.6° , 48.2° , 26.4° and 8.3° respectively **c** 1 year after L1 PSO, cSVA, UCL, LCL, McGs, TIA, TIS, NT, TK, GK was -10.1mm , -9.3° , -7.3° , -9.3° , 61° , 13° , 48° , 28.5° and 9.6° respectively **Figure 3** A 28-year-old female patient with AS thoracolumbar kyphosis kept the horizontal sight by increased LCL and UCL preoperatively. After L2 PSO, both of UCL and LCL decreased spontaneously. Internal fixation segment was from T10 to L5 **a** Preoperative cSVA, UCL, LCL, McGs, TIA, TIS, NT, TK and GK was 46mm, -28.9° , -38.1° , -10.8° , 73.6° , 48.8° , 24.8° , 38° and 55° respectively **b** Postoperative cSVA, UCL, LCL, McGs, TIA, TIS, NT, TK and GK was 34.8mm, -17° , -23.5° , -2.7° , 76.5° , 35.7° , 40.8° , 36.6° and 16.7° respectively **c** 1 year after L1 PSO, cSVA, UCL, LCL, McGs, TIA, TIS, NT, TK, GK was 34.4mm, -16.6° , -38.1° , -7.3° , 76.8° , 44.2° , 32.6° , 41° and 19° respectively

表 3 术前胸廓入射角与其他参数之间的 Pearson 相关性分析结果

Table 3 Pearson correlation test between preoperative TIA and other parameters

	术前 Pre operation		术后 Post operation	
	相关系数 Coefficient	P值 P value	相关系数 Coefficient	P值 P value
年龄 (Age)	0.549	0.001	0.564	0.001
颈椎矢状面 偏移(cSVA)	0.367	0.039	0.37	0.037
上颈椎前 凸角(UCL)	-0.591	<0.001	-0.128	0.486
下颈椎前 凸角(LCL)	-0.024	0.894	-0.475	0.006
颈椎前凸 角(CL)	-0.357	0.045	-0.583	0.001
C7 倾斜度 C7 slope	0.439	0.012	0.588	<0.001
T1 倾斜度 T1 slope	0.52	0.002	0.568	0.001
胸椎后凸 角(TK)	0.392	0.027	0.335	0.061
整体后凸 角(GK)	0.366	0.039	0.312	0.083

Note: cSVA, cervical sagittal vertical axis; UCL, upper cervical lordosis; LCL, lower cervical lordosis; CL, cervical lordosis; TK, thoracic kyphosis; GK, global kyphosis

显著负相关而与 LCL 不存在相关性。因此,TIA 小的 AS 患者仅通过 LCL 即可维持水平视线而 TIA 大的患者仅仅依靠 LCL 是不足以维持水平视线的,仍然需要 UCL 的参与。当 UCL 代偿参与水平视线的维持时,UCL 会大于参考值 (17°左右),且正常的头部运动将受到影响^[13]。与此同时,上位颈椎通过颈枕部的肌肉收缩牵拉以进一步增加前凸以保持直视,长期如此导致上颈椎的形态学发生改变,加剧上位颈椎的退变和异位骨化的发生^[21],导致头颅活动受限^[19]。Lee 等^[22]在探究 AS 患者生活质量与颈椎矢状面序列之间的关系时发现 cSVA 是其生活质量的一个重要预测因素,并指出脊柱矢状面排序不良是增加患者疼痛的重要原因。虽然 TIA 大的患者通过进一步增大颈椎前凸来维持水平视线,但这类患者的 cSVA 却>40mm,可能导致其颈部疼痛加重^[22,23]。

本研究中患者在 PSO 术后,脊柱胸腰椎后凸畸形得到了很大改善,颈椎矢状面序列也发生适应性的改变,cSVA 均恢复至 40mm 以内,UCL 恢复至-14°左右,在两组间均无显著性差异,因此可能存在的颈部疼痛和头颅活动受限均得到显著改

表 4 截骨角与颈椎前凸变化量之间的 Pearson 相关性分析

Table 4 Pearson correlation test between variation of cervical lordosis and osteotomy angle

	ΔLCL	ΔCL	OA
ΔUCL	-0.538 ^①	-0.145	-0.067
ΔLCL		0.910 ^①	0.103
ΔCL			0.074

注:ΔUCL,上颈椎前凸角变化量;ΔLCL,下颈椎前凸角变化量;ΔCL,颈椎前凸角变化量;OA,截骨角;①P<0.05

Note: ΔUCL, variation of UCL; ΔLCL, variation of LCL; ΔCL, variation of CL; OA, osteotomy angle; ①P<0.05

善;同时,NT 均增加到 44°左右,与生理状态下 NT 相近,在此时颈椎的肌肉韧带所承担的负荷最小^[9]。但是术后 B 组患者的 LCL/CL 仍大于 A 组患者(P<0.05),且术后 TIA、T1S 与 LCL 呈显著负相关而与 UCL 不存在相关性,可能是术后先恢复 UCL 到正常范围内以减轻颈部的疼痛感、恢复头颅的活动性为主;且此类患者在腰椎 PSO 术后,仅依靠 LCL 即可维持水平视线。在一项 ASD 的研究中,胸椎术后颈椎前凸的变化量与截骨角(OA 即 ΔLK)没有关联^[24]。在本研究中,两组患者中也均并未发现截骨角的大小与颈椎前凸角的变化量有关。

本研究存在以下几点局限性:(1)存在年龄等混杂因素对颈椎矢状面序列的影响;(2)未考虑下肢参数代偿的变化,可能会对颈椎的矢状面序列产生影响;(3)没有考虑颈椎活动度在两组间的影响;(4)没有加入量表对患者生活质量进行量化。

4 结论

本研究发现,与 TIA 较小的患者相比,TIA 大的 AS 患者术前存在更大的 UCL,而 LCL 没有差别;行腰椎截骨矫形术后,UCL 与 LCL 均减小,但 TIA 大的 AS 患者存在更大的 LCL,而 UCL 则没有差别。

5 参考文献

1. Braun J, Sieper J. Ankylosing spondylitis[J]. Lancet, 2007, 369(9570): 1379-1390.
2. Qian BP, Jiang J, Qiu Y, et al. The presence of a negative sacral slope in patients with ankylosing spondylitis with severe thoracolumbar kyphosis[J]. J Bone Joint Surg Am, 2014, 96(22): e188.
3. Debarge R, Demey G, Roussouly P. Radiological analysis of

- ankylosing spondylitis patients with severe kyphosis before and after pedicle subtraction osteotomy[J]. *Eur Spine J*, 2010, 19(1): 65–70.
4. Berthoinaud E, Dimnet J, Roussouly P, et al. Analysis of the sagittal balance of the spine and pelvis using shape and orientation parameters[J]. *J Spinal Disord Tech*, 2005, 18(1): 40–47.
 5. Boulay C, Tardieu C, Hecquet J, et al. Sagittal alignment of spine and pelvis regulated by pelvic incidence: standard values and prediction of lordosis[J]. *Eur Spine J*, 2006, 15(4): 415–422.
 6. Obeid I, Boniello A, Boissiere L, et al. Cervical spine alignment following lumbar pedicle subtraction osteotomy for sagittal imbalance[J]. *Eur Spine J*, 2015, 24(6): 1191–1198.
 7. Cecchinato R, Langella F, Bassani R, et al. Variations of cervical lordosis and head alignment after pedicle subtraction osteotomy surgery for sagittal imbalance[J]. *Eur Spine J*, 2014, 23(Suppl 6): 644–649.
 8. Ames CP, Smith JS, Eastlack R, et al. Reliability assessment of a novel cervical spine deformity classification system[J]. *J Neurosurg Spine*, 2015, 23(6): 673–683.
 9. Lee SH, Kim KT, Seo EM, et al. The influence of thoracic inlet alignment on the craniocervical sagittal balance in asymptomatic adults[J]. *J Spinal Disord Tech*, 2012, 25(2): E41–E47.
 10. Knott PT, Mardjetko SM, Tschy F. The use of the T1 sagittal angle in predicting overall sagittal balance of the spine [J]. *Spine J*, 2010, 10(11): 994–998.
 11. van der Linden S, Valkenburg HA, Cats A. Evaluation of diagnostic criteria for ankylosing spondylitis: a proposal for modification of the New York criteria [J]. *Arthritis Rheum*, 1984, 27(4): 361–368.
 12. Qian J, Qiu Y, Qian BP, et al. Compensatory modulation for severe global sagittal imbalance: significance of cervical compensation on quality of life in thoracolumbar kyphosis secondary to ankylosing spondylitis[J]. *Eur Spine J*, 2016, 25(11): 3715–3722.
 13. Zhao SZ, Qian BP, Huang JC, et al. Variation patterns of cervical alignment in ankylosing spondylitis-related thoracolumbar kyphosis following pedicle subtraction osteotomy in the sitting position: an EOS-based investigation[J]. *J Neurosurg Spine*, 2021, 1–8. doi: 10.3171/2020.11.SPINE201420.
 14. Park JH, Cho CB, Song JH, et al. T1 Slope and cervical sagittal alignment on cervical CT radiographs of asymptomatic persons[J]. *J Korean Neurosurg Soc*, 2013, 53(6): 356–359.
 15. Urschel HC Jr. Anatomy of the thoracic outlet[J]. *Thorac Surg Clin*, 2007, 17(4): 511–520.
 16. Lee SH, Son ES, Seo EM, et al. Factors determining cervical spine sagittal balance in asymptomatic adults: correlation with spinopelvic balance and thoracic inlet alignment [J]. *Spine J*, 2015, 15(4): 705–712.
 17. Liu H, Qian BP, Qiu Y, et al. Vertebral body or intervertebral disc wedging: which contributes more to thoracolumbar kyphosis in ankylosing spondylitis patients: a retrospective study[J]. *Medicine(Baltimore)*, 2016, 95(38): e4855.
 18. Smith JS, Shaffrey CI, Lafage V, et al. Spontaneous improvement of cervical alignment after correction of global sagittal balance following pedicle subtraction osteotomy[J]. *J Neurosurg Spine*, 2012, 17(4): 300–307.
 19. Le Huec JC, Demezon H, Aunoble S. Sagittal parameters of global cervical balance using EOS imaging: normative values from a prospective cohort of asymptomatic volunteers[J]. *Eur Spine J*, 2015, 24(1): 63–71.
 20. Hardacker JW, Shuford RF, Capicotto PN, et al. Radiographic standing cervical segmental alignment in adult volunteers without neck symptoms[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 1997, 22(13): 1472–1480.
 21. Manabe N, Covaro A, Bobinski L, et al. The relationship between the occipitocervical junction and thoracic kyphosis in ankylosing spondylitis: a retrospective cohort study of 86 cervical fractures in surgically treated patients [J]. *Asian Spine J*, 2019, 13(1): 103–110.
 22. Lee JS, Youn MS, Shin JK, et al. Relationship between cervical sagittal alignment and quality of life in ankylosing spondylitis[J]. *Eur Spine J*, 2015, 24(6): 1199–1203.
 23. Tang JA, Scheer JK, Smith JS, et al. The impact of standing regional cervical sagittal alignment on outcomes in posterior cervical fusion surgery[J]. *Neurosurgery*, 2015, 76(Suppl 1): S14–S21.
 24. Oh T, Scheer JK, Eastlack R, et al. Cervical compensatory alignment changes following correction of adult thoracic deformity: a multicenter experience in 57 patients with a 2-year follow-up[J]. *J Neurosurg Spine*, 2015, 22(6): 658–665.
- (收稿日期:2021-09-29 修回日期:2021-12-02)
(英文编审 谭 啸)
(本文编辑 姜雅浩)