

退变性腰椎侧凸患者腹主动脉与腰椎椎体相对位置的影像学测量

徐 帅, 梁 彦, 朱震奇, 夏威夷, 刘海鹰

(北京大学人民医院脊柱外科 100044 北京市)

【摘要】目的:探讨退变性腰椎侧凸(degenerative lumbar scoliosis, DLS)患者腰椎左侧凸和右侧凸情况下,腹主动脉与腰椎椎体的解剖关系。**方法:**回顾性分析我院 2015 年 1 月~2018 年 6 月 142 例 DLS 患者和 132 例无脊柱侧凸的正常人群(对照组),DLS 患者包含 80 例左侧凸患者(左侧凸组)和 62 例右侧凸患者(右侧凸组),观察对象均处于矢状位平衡,两组在性别、年龄和体重指数(body mass index, BMI)上与对照组匹配。通过 X 线片测量 DLS 患者腰椎侧凸方向、Cobb 角、顶椎位置及冠状位偏移距离;通过 MRI T1 加权像建立笛卡尔坐标系,测量主动脉-椎体角度(α)、旋转角度(γ)、主动脉-椎体距离(d)及主动脉后壁-椎体前缘间隙(Int)。 α 、 γ 、d 和 Int 分别在左侧凸组与对照组、右侧凸组与对照组的组间对比采用独立样本 *t* 检验;Cobb 角及冠状位偏移距离与 α 、 γ 、d 和 Int 的相关性检验采用 Pearson 相关分析。**结果:**左侧凸组 Cobb 角为 $23.7^\circ \pm 12.7^\circ$ ($10.4^\circ \sim 42.5^\circ$), 冠状位偏移距离为 45.2 ± 10.7 mm ($25.5 \sim 77.7$ mm); 右侧凸组 Cobb 角为 $20.8^\circ \pm 10.4^\circ$ ($11.0^\circ \sim 48.4^\circ$), 冠状位偏移距离为 47.8 ± 15.1 mm ($25.4 \sim 77.5$ mm), 两侧凸组的顶椎分布($P=0.280$)、Cobb 角($P=0.311$)和冠状位偏移距离($P=0.394$)均无统计学差异。对照组 α 平均为 $-2.96^\circ \pm 6.40^\circ$, 从 T12~L4 逐渐减小, 而左侧凸组 α ($-2.57^\circ \pm 6.14^\circ$) 无该规律, 两组 α 比较无统计学差异($P=0.554$); 左侧凸组 γ 平均为 $5.57^\circ \pm 5.32^\circ$; 左侧凸组 d (4.62 ± 0.57 cm) 自 T12~L4 逐渐增大, 且与对照组 (4.44 ± 0.43 cm) 比较有统计学差异($P<0.001$); 左侧凸组 Int 与对照组比较无统计学差异($P=0.832$), 即相对于正常人群, DLS 左侧凸患者腹主动脉相对于椎体角度无改变, 但距离稍远离左侧椎体。右侧凸组 α ($-3.41^\circ \pm 9.44^\circ$) 自 T12~L4 逐渐减小, 与对照组比较无统计学差异($P=0.762$); γ 为 $-9.02^\circ \pm 6.71^\circ$; d 为 4.54 ± 1.84 cm, 与对照组比较无统计学差异($P=0.530$); Int 与对照组比较无统计学差异($P=0.807$), 即相对于对照组, DLS 右侧凸患者腹主动脉与椎体的角度和距离无明显变化。Pearson 相关分析显示, 左侧凸组和右侧凸组 Cobb 角和冠状位偏移距离与 γ 均存在相关性(均为 $P<0.001$), 而与 α 、d 和 Int 无明确相关性。**结论:** DLS 右侧凸患者腹主动脉与椎体相对位置维持正常的解剖关系, 左侧凸患者腹主动脉稍远离左侧椎弓根。DLS 患者腹主动脉与腰椎相对解剖关系较正常人变化不大, 但腰椎手术尤其是侧凸矫形过程中仍需要警惕腹主动脉损伤。

【关键词】 退变性腰椎侧凸; 腹主动脉; 主动脉-椎体角度; 主动脉-椎体距离; 旋转角度

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2019.01.04

中图分类号: R682.3 文献标识码 A 文章编号: 1004-406X(2019)-01-0021-08

The position of the abdominal aorta relative to lumbar vertebrae in patients with degenerative lumbar scoliosis/XU Shuai, LIANG Yan, ZHU Zhenqi, et al/Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2019, 29(1): 21-28

【Abstract】 Objectives: To investigate the anatomic position of the abdominal aorta relative to spine in degenerative lumbar scoliosis (DLS) patients with left or right lumbar scoliosis. **Methods:** A retrospective analysis was performed in 142 patients with DLS and 132 patients without spine deformity(control group) from January 2015 to June 2018 in our hospital. The DLS patients were divided into 80 cases with left lumbar scoliosis(left group) and 62 cases of right scoliosis(right group), which were matched to control group in terms of gender, age and body mass index(BMI). Direction of lumbar scoliosis(left or right), Cobb angle, apical vertebra position and coronal trunk shift were measured by using X-ray plain radiography in DLS patients.

基金项目:国家重点研发计划(课题批准号:2016YFC0105606)

第一作者简介:男(1991-),住院医师,博士研究生,研究方向:脊柱退变性疾病

电话:(010)88324110 E-mail:1204649202@qq.com

通讯作者:刘海鹰 E-mail:liuhaiying1131@sina.com

The measurements of aorta-vertebra angle(α), rotation angle(γ), aorta-vertebra distance(d) and the interval between anterior vertebral cortex and posterior aorta wall(Int) for each level at T12-L4 were obtained by using a Cartesian coordinate system established based on T1-weighted cross-sectional images of MRI. Independent sample t test was performed on comparison of α , γ , d and Int between the left group and control group, as well as the right group and control group, then Pearson correlation analysis was used to investigate the association between the Cobb angle and the coronal and α , γ , d and Int of the two scoliosis groups. **Results:** The average Cobb angle was $23.7^\circ \pm 12.7^\circ (10.4^\circ - 42.5^\circ)$ and the coronal horizontal displacement distance was $45.2 \pm 10.7 \text{ mm} (25.5 - 77.7 \text{ mm})$ in the left group while they were $20.8^\circ \pm 10.4^\circ (11.0^\circ - 48.4^\circ)$ and $47.8 \pm 15.1 \text{ mm} (25.4 - 77.5 \text{ mm})$ respectively in the right group, and there were no statistical differences in the apical vertebra position($P=0.280$), Cobb angle($P=0.311$) and coronal trunk shift($P=0.394$) between the two scoliosis groups. The mean angle α ($-2.96^\circ \pm 6.40^\circ$) gradually decreased from T12 to L4 in the control group while irregular in the left group($-2.57^\circ \pm 6.14^\circ$) and there was no difference between the two groups($P=0.554$). The mean γ was $5.57^\circ \pm 5.32^\circ$ and the mean d was $4.62 \pm 0.57 \text{ cm}$ with a gradual increase from T12 to L4 and with statistical difference with control group($4.44 \pm 0.43 \text{ cm}$)($P<0.001$) but with no difference in Int($P=0.832$). Thus, the abdominal aorta had no statistical angle change but a slightly longer distance away from lumbar vertebrae in left scoliosis compared with the normal ones. That mean α ($-3.41^\circ \pm 9.44^\circ$) gradually decreasing from T12 to L4 in right group was of no statistical difference with the control group($P=0.762$). The mean γ was $-9.02^\circ \pm 6.71^\circ$ and the mean d was $4.54 \pm 1.84 \text{ cm}$, with no difference with the control group($P=0.530$) as well as Int($P=0.807$). Therefore, there was no significant variation in the angle and distance between the abdominal aorta and vertebrae in right curvature of DLS compared with the control group. Pearson correlation analysis showed that there was a correlation between rotation angle γ and Cobb angle along with coronal horizontal displacement distance (both $P<0.001$), regardless of the left or right scoliosis, but not in α , d and Int. **Conclusions:** In the right group, a relative normal position relationship is maintained between the abdominal aorta and vertebrae while the aorta is slightly away from the left pedicle in left scoliosis patients. Although not so much difference of the relative position between DLS and normal people is found in this study, it is still of necessity to be alert to aorta injury.

【Key words】 Degenerative lumbar scoliosis; Abdominal aorta; Aorta-vertebrae angle; Aorta-vertebrae distance; Rotation angle

【Author's address】 Department of Spinal Surgery, Peking University People's Hospital, Peking University, Beijing, 100044, China

成人退变性脊柱侧凸 (adult degenerative scoliosis, ADS) 是指发生于骨骼成熟以后的原发性脊柱侧凸, 冠状面上 Cobb 角 $>10^\circ$, 因其多见于 40 岁以上的人群且主要发生在腰椎, 又被称为退变性腰椎侧凸 (degenerative lumbar scoliosis, DLS), DLS 在中老年人群中患病率高达 $8.9\% \sim 12.4\%$ ^[1,2]。脊柱侧凸的出现通常会伴有邻近组织器官解剖位置的变化, 腰椎前侧方的腹主动脉为最重要的器官之一, 如果在进行腰椎手术过程中不慎损伤腹主动脉, 后果将是灾难性的^[3-5]。既往针对青少年特发性脊柱侧凸 (adolescent idiopathic scoliosis, AIS) 患者主动脉位置的研究结果发现, AIS 右胸弯患者的主动脉相对于椎体向远侧和后侧移位, 降主动脉在侧凸水平向侧方和后方移位^[6,7], 但研究主要集中在胸主动脉或腹主动脉

起始段。而 DLS 主要集中在腰段, 病理机制及主动脉的解剖走行和 AIS 有所不同^[8], 所以明确 DLS 患者腹主动脉和椎体位置的关系, 对于了解腹主动脉的走行、指导脊柱医师术中规范操作、减少血管相关并发症具有重要意义。本研究旨在探讨 DLS 患者与无脊柱侧凸的正常人群腹主动脉与腰段椎体的解剖关系的差异。

1 资料与方法

1.1 研究对象

本研究为单中心回顾性研究。研究纳入了 2015 年 1 月~2018 年 6 月我科门诊随访的 142 例 DLS 患者和 132 例无脊柱侧凸的正常人群 (对照组), 其中 DLS 患者包含 80 例左侧凸患者 (左侧凸组) 和 62 例右侧凸患者 (右侧凸组), 观察对

象均处于矢状位平衡。纳入标准:(1)DLS 患者顶椎位于胸腰段或腰段(T12~L4);(2)纳入对象有完整的脊柱全长正侧位 X 线片和胸腰椎及腰骶椎 MRI 影像学资料。排除标准:(1)存在先天血管畸形;(2)既往有胸腰椎手术或血管手术史;(3)存在矢状位失衡(骶骨后上缘距离 C7 铅垂线大于 5cm);(4)明显的胸腰段后凸或腰椎曲度改变者。

对照组男 20 例,女 112 例;左侧凸组男 12 例,女 68 例;右侧凸组男 14 例,女 48 例。左侧凸组和右侧凸组的性别构成与对照组比较无统计学差异(分别为 $P=0.634$ 和 $P=0.318$)。左侧凸组和右侧凸组年龄分别为 67.2 ± 7.3 岁和 68.1 ± 8.5 岁,与对照组(66.3 ± 8.4 岁)比较无统计学差异(分别为 $P=0.577$ 和 $P=0.203$)。左、右侧凸组体重指数(body mass index,BMI)与对照组比较均无统计学差异(分别为 $P=0.271$ 和 $P=0.754$)。

1.2 参数测量

1.2.1 X 线片参数测量 所有研究对象均行脊柱全长正侧位 X 线拍摄,在脊柱全长正位片上获得腰椎侧凸方向、Cobb 角、顶椎位置以及冠状位偏移距离(顶椎侧凸最远顶点到骶骨垂直平分线的垂直距离);在脊柱全长侧位片上检测研究对象是否处于矢状位平衡。由 2 名观察员分别独立测量,结果取其平均值。

1.2.2 MRI 参数测量 所有 274 例研究对象均行胸腰段和腰骶段 MRI 检查,患者取仰卧位,使用 1.5T 的 MRI(Gyrosan;Philips Medical Systems,

Bothell,Washington)进行 5mm 薄层扫描获得完整的自 T12~L4 的 T1 加权像,矢状位和横断位图像上传至工作站(PACS Magic View 1000;Siemens, Erlangen,Germany),由 2 名观察员分别独立测量相关参数以减少测量误差。在 T12~L4 水平 MRI 横断位 T1 加权像上采取如下方式建立笛卡尔坐标系^[9](图 1):以各椎体双侧上关节突内缘连线作为 X 轴,经左侧上关节突背侧缘于 X 线垂直的线为 Y 轴,两者交点为原点 O,其中测量平面为 T12~L4 模拟椎弓根进钉水平平面。测量参数包括:(1)主动脉-椎体角度(α),原点 O 与主动脉中心的连线与 Y 轴所呈角度($^\circ$),连线位于第一象限 α 为正值,位于第二象限 α 为负值;(2)椎体旋转角度(γ),为椎管前缘中点与椎体前缘中点连线形成的主轴与矢状面形成的夹角,连线位于铅垂线右侧 γ 为正值,否则为负值;(3)主动脉-椎体距离(d),为原点 O 至主动脉中心连线与主动脉后缘交点和原点 O 之间的距离;(4)主动脉后壁-椎体前缘间隙(interval,Int),为上述 d 线方向上的椎体前纵韧带前缘至主动脉后壁的最短距离(图 1)。

1.3 统计分析

数据通过 SPSS 22.0 进行统计分析。相关变量采用平均值 $\pm$ 标准差($\bar{x}\pm s$)表示, α 、 γ 、d 和 Int 分别在左侧凸组与对照组、右侧凸组与对照组的组间对比均采用独立样本 t 检验;Cobb 角及冠状位偏移距离与 α 、 γ 、d 和 Int 的相关性检验采用

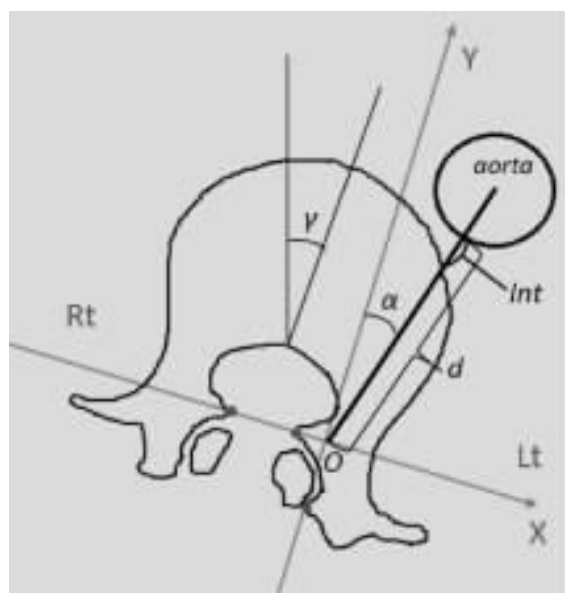


图 1 坐标系的建立及 α 、 γ 、d 和 Int 参数测量示意图。主动脉-椎体角度(α):原点 O 与主动脉中心的连线与 Y 轴所呈角度;椎体旋转角度(γ):椎管前缘中点与椎体前缘中点连线形成的主轴与矢状面形成的夹角;主动脉-椎体距离(d):为原点 O 至主动脉中心连线与主动脉后缘交点和原点 O 之间的距离;主动脉后壁-椎体前缘间隙(interval,Int):上述 d 线方向上的椎体前纵韧带前缘至主动脉后壁的最短距离

Figure 1 Illustration of Cartesian coordinate system and α , γ , d and Int. Left pedicle-aorta angle (α): The angle formed by the Y-axis and a line connecting the origin and the center of the aorta; Vertebral rotation angle (γ): It was defined as the angle subtended by a straight line through the posterior central aspect of the vertebral foramen and the middle of the vertebral body and the sagittal plane; Left pedicle-aorta distance(d): This distance was defined as a line connecting the origin O and the nearest edge of the aorta; The aorta-vertebrae interval (Int):

The shortest distance between anterior vertebral cortex and posterior aortic wall along the direction of d line

Pearson相关分析。 $P<0.05$ 为有统计学差异。

2 结果

2.1 X 线片相关参数

左侧凸组,顶椎在 T12~L4 均有分布,最常见位于 L3 (40.0%) 和 L2 (35.0%), Cobb 角为 $23.7^\circ \pm 12.7^\circ$ ($10.4^\circ \sim 42.5^\circ$), 冠状位偏移距离为 $45.2 \pm 10.7\text{mm}$ ($25.5 \sim 77.7\text{mm}$); 右侧凸组,顶椎在 T12~L4 均有分布,主要集中在 L2 (35.5%) 和 L3 (30.6%), Cobb 角为 $20.8^\circ \pm 10.4^\circ$ ($11.0^\circ \sim 48.4^\circ$), 冠状位偏移距离为 $47.8 \pm 15.1\text{mm}$ ($25.4 \sim 77.5\text{mm}$)。两侧凸组在顶椎分布 ($P=0.280$, 表 1)、Cobb 角 ($P=0.311$) 和冠状位偏移距离 ($P=0.394$) 上均无统计学差异。

2.2 MRI 相关参数

2.2.1 左侧凸组 α 、 γ 、d 和 Int 左侧凸组与对照组 T12~L4 各节段 α 、 γ 、d 和 Int 的测量结果见表 2。对照组 α 从 T12~L4 逐渐减小,即腹主动脉自上而下由椎体左侧逐渐向右侧走行,而左侧凸组 α 无该规律,左侧凸组与对照组比较无统计学差异 ($P=0.554$)。左侧凸组 γ 平均为 $5.57^\circ \pm 5.32^\circ$, 在 L3 和 L2 最大。对照组 d 自 T12~L4 逐渐增大(图

2),在左侧凸组 d 同样遵循该规律,而且两者之间有统计学差异 ($P<0.001$)。对照组 Int 最大值出现在 T12 水平,而左侧凸组出现在 L1 和 L2 节段,两组 Int 无明显规律,且不存在统计学差异 ($P=0.832$)。所以相对于无脊柱侧凸的正常人群,DLS 左侧凸患者腹主动脉相对于椎体角度无改变,但距离稍远离左侧椎体(图 3)。

2.2.2 右侧凸组 α 、 γ 、d 和 Int 右侧凸组与对照组 T12~L4 各节段 α 、 γ 、d 和 Int 的测量结果见表 3。相对于无脊柱侧凸的正常人群,右侧凸组 α 自 T12~L4 逐渐减小,自上而下由椎体左侧逐渐向右侧走行,但与对照组比较无统计学差异 ($P=0.762$)。右侧凸组 γ 平均为 $-9.02^\circ \pm 6.71^\circ$, 在 L2 和 L3 最大。d 同样自 T12~L4 逐渐增大,但与对照组之间无统计学差异 ($P=0.530$)。Int 在右侧凸组最大值分布在 L1~L2 水平,与对照组之间无统计学差异 ($P=0.807$)。所以相对于无脊柱侧凸的正常人群,DLS 右侧凸患者腹主动脉与椎体的角度和距离无明显变化(图 4)。

2.3 相关性分析

左侧凸组 Cobb 角和冠状位偏移距离与 γ 均存在相关性(均为 $P<0.001$),提示随着 Cobb 角增大和冠状位偏移距离的增大,椎体旋转逐渐增加;而两者与 α 、d 和 Int 均无明确相关性。右侧凸组的 Cobb 角和冠状位偏移距离与 γ 同样均存在相关性(均为 $P<0.001$),而与 α 、d 和 Int 亦无明确相关性(表 4)。

3 讨论

ADS 或 DLS 是由于椎间盘不对称性楔形变,症状严重者常会接受手术治疗。因 DLS 患者会伴

表 1 左侧凸组和右侧凸组顶椎分布

Table 1 Apical vertebrae distribution in the left and the right(convex) group

顶椎 Apical body	左侧凸组 Left group	右侧凸组 Right group
T12	1	4
L1	7	8
L2	28	22
L3	32	19
L4	12	9

表 2 左侧凸组与对照组 T12~L4 各节段 α 、 γ 、d 和 Int 的对比

Table 2 Comparisons on α , γ , d and Int from T12 to L4 between the left(convex) group and the control group

	$\alpha(^{\circ})$		$\gamma(^{\circ})$		d(cm)		Int(cm)	
	左侧凸组 Left group	对照组 Control group	左侧凸组 Left group	对照组 Control group	左侧凸组 Left group	对照组 Control group	左侧凸组 Left group	对照组 Control group
T12	1.71 ± 10.25	1.06 ± 7.02	2.36 ± 4.13^{①}	-0.44 ± 1.25	4.03 ± 0.61	4.02 ± 0.39	0.37 ± 0.07	0.44 ± 0.12
L1	-1.78 ± 7.14	0.30 ± 5.2	4.39 ± 4.72^{①}	-0.32 ± 1.56	4.41 ± 0.43^{②}	4.26 ± 0.29	0.43 ± 0.04	0.40 ± 0.13
L2	-4.40 ± 5.85	-3.17 ± 4.81	6.57 ± 5.59^{①}	0.06 ± 1.47	4.74 ± 0.36^{①}	4.50 ± 0.30	0.43 ± 0.02	0.41 ± 0.10
L3	-2.31 ± 7.83^{②}	-5.41 ± 5.82	8.00 ± 4.80^{①}	-0.14 ± 1.51	4.91 ± 0.43^{①}	4.70 ± 0.33	0.44 ± 0.15	0.39 ± 0.12
L4	-6.00 ± 6.13	-7.63 ± 6.13	6.38 ± 5.54^{①}	-0.10 ± 1.57	4.95 ± 0.40^{①}	4.71 ± 0.38	0.39 ± 0.11	0.40 ± 0.14
平均 Mean	-2.57 ± 6.14	-2.96 ± 6.40	5.57 ± 5.32^{①}	-0.18 ± 1.48	4.62 ± 0.57^{①}	4.44 ± 0.43	0.41 ± 0.10	0.41 ± 0.12

注:与对照组比较,① $P<0.01$;② $P<0.05$

Note: Compared to control group, ① $P<0.01$; ② $P<0.05$

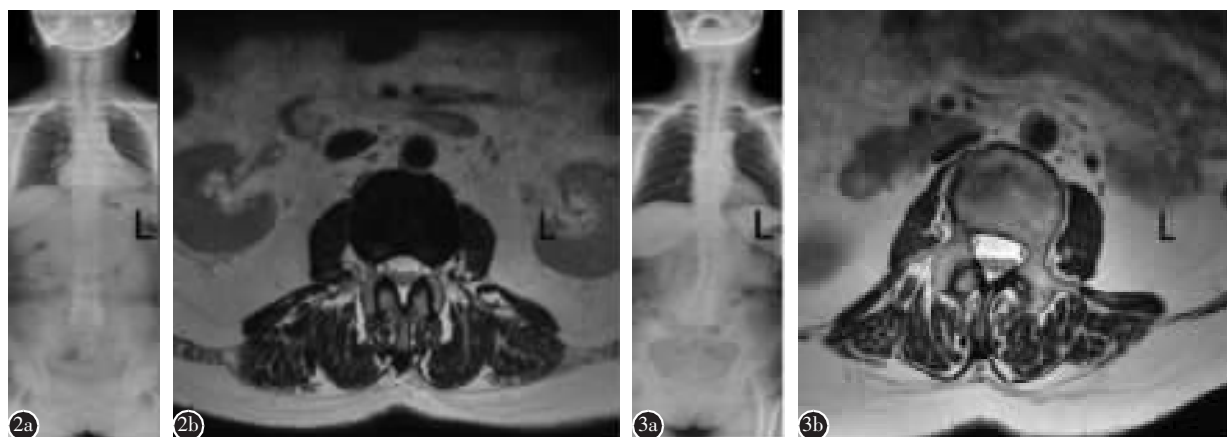


图 2 对照组,63 岁女性 a 脊柱全长正位 X 线片显示患者无脊柱侧凸及冠状位失衡 b L3 水平 MRI 横断面 T2 加权像显示 α 为 -4.1° , d 为 4.60cm, Int 为 0.44cm 图 3 左侧凸组,61 岁女性患者 a、b 脊柱全长正位 X 线片和 MRI 横断面 T2 加权像示顶椎为 L3, Cobb 角 21.3° , α 为 -4.5° , γ 为 15.6° , d 为 5.32cm, Int 为 0.42cm

Figure 2 The standard standing whole spine posterior–anterior X–ray and lumbar spine MRI T2–weighted axis–image of a case from the control group **a** The whole spine X–ray showed the case of 63 years old in control group with no lumbar scoliosis and in coronal balance **b** L3 level MRI in control group was with α of -4.1° , d of 4.60cm and Int of 0.44cm **Figure 3** The standard standing whole spine posterior–anterior X–ray and lumbar spine MRI T2–weighted axis–image in the Left group **a, b** The whole spine X–ray and L3 level MRI of a 61 year–old women in the Left group. The apical vertebrae is L3 and Cobb angle is 21.3° with α of -4.5° , γ of 15.6° , d of 5.32cm and Int of 0.42cm

表 3 右侧凸组与对照组 T12~L4 各节段 α 、 γ 、d 和 Int 的对比

Table 3 Comparisons on α , γ , d and Int from T12 to L4 between the right group(convex) and control group

	$\alpha(^{\circ})$		$\gamma(^{\circ})$		d(cm)		Int(cm)	
	右侧凸组 Right group	对照组 Control group	右侧凸组 Right group	对照组 Control group	右侧凸组 Right group	对照组 Control group	右侧凸组 Right group	对照组 Control group
T12	2.11 ± 12.85	1.06 ± 7.02	-6.86 ± 4.42^{①}	-0.44 ± 1.25	4.09 ± 0.67	4.02 ± 0.39	0.38 ± 0.10	0.44 ± 0.12
L1	0.28 ± 8.20	0.30 ± 5.2	-9.04 ± 6.84^{①}	-0.32 ± 1.56	4.35 ± 0.97	4.26 ± 0.29	0.43 ± 0.13	0.40 ± 0.13
L2	-1.01 ± 6.61	-3.17 ± 4.81	-11.48 ± 7.80^{①}	0.06 ± 1.47	4.53 ± 2.11	4.50 ± 0.30	0.41 ± 0.15	0.41 ± 0.10
L3	-4.47 ± 8.81	-5.41 ± 5.82	-10.49 ± 6.88^{①}	-0.14 ± 1.51	4.60 ± 3.27	4.70 ± 0.33	0.41 ± 0.20	0.39 ± 0.12
L4	-8.37 ± 6.76	-7.63 ± 6.13	-7.20 ± 6.25^{①}	-0.10 ± 1.57	5.12 ± 0.47^{①}	4.71 ± 0.38	0.39 ± 0.16	0.40 ± 0.14
平均 Mean	-3.41 ± 9.44	-2.96 ± 6.40	-9.02 ± 6.71^{①}	-0.18 ± 1.48	4.54 ± 1.84	4.44 ± 0.43	0.40 ± 0.15	0.41 ± 0.12

注:①与对照组相比 $P < 0.01$

Note: ①Compared to control group, $P < 0.01$

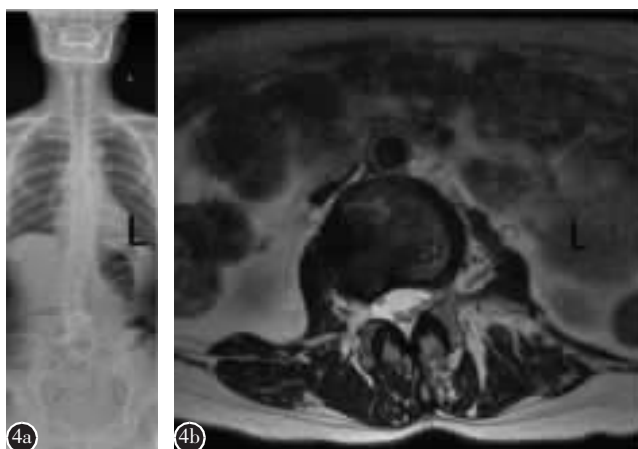


图 4 右侧凸组,63 岁女性患者 a、b 脊柱全长正位 X 线片和 L3 水平 MRI 横断面 T2 加权像:顶椎为 L3, Cobb 角 22.3° , α 为 -4.8° , γ 为 -13.8° , d 为 4.73cm, Int 为 0.44cm

Figure 4 The standard standing whole spine posterior–anterior X–ray and lumbar spine MRI T2–weighted axis–image of a 63–year–old female in the Right group **a, b** The whole spine X–ray and L3 level MRI scan. The apical vertebrae is L3 and Cobb angle is 22.3° with α of -4.8° , γ of -13.8° , d of 4.73cm and Int of 0.44cm

表 4 Cobb 角及冠状位偏移距离与 α 、 γ 、 d 和 Int 的 Pearson 相关性分析
Table 4 Pearson correlation analysis between Cobb angle along with the horizontal displacement distance and α , γ , d and Int of the two scoliosis groups

	平均 α Mean α		平均 γ Mean γ		平均 d Mean d		平均 Int Mean Int	
	相关系数 r	P 值 P value	相关系数 r	P 值 P value	相关系数 r	P 值 P value	相关系数 r	P 值 P value
Cobb角 Cobb angle								
左侧凸组 Left group	0.010	0.949	0.569	0.000	0.012	0.942	-0.011	0.931
右侧凸组 Right group	0.048	0.798	-0.767	0.000	0.140	0.453	0.031	0.831
冠状位移位 Horizontal displacement distance								
左侧凸组 Left group	-0.003	0.987	0.674	0.000	0.017	0.918	0.194	0.138
右侧凸组 Right group	-0.071	0.705	-0.728	0.000	0.350	0.053	0.043	0.907

有椎体移位和旋转，相对于正常人其椎体与主动脉的解剖关系尚不明确。由于 Khamanarong 等^[10]的研究显示腹主动脉分叉主要在 L4 椎体下半部及 L4/5 椎间隙，因而本研究测量下端椎体至 L4。Jiang 等^[9]指出在胸腰椎及腰椎按照本文提及的方法建立坐标系，坐标系原点和 d 线方向模拟了椎弓根螺钉的进钉点和钉道方向，能客观提供临床指导意义。

有学者^[11,12]发现 AIS 患者主动脉到椎体平均侧向距离增加而垂直距离减小。Sucato 等^[7]的研究也表明，AIS 右胸弯患者的主动脉相对于椎体侧方距离更远且趋向于背侧，而在 DLS 患者中变化不明显。AIS 手术的主要目的在于矫正尤其是对于剃刀背畸形的改善，而 DLS 患者手术主要是为了进行椎管减压，去除神经根压迫，并适当矫正脊柱畸形，恢复脊柱的稳定性^[13,14]。这或许也解释了 DLS 畸形程度较 AIS 轻微，椎体与主动脉解剖关系变化不大^[15]。AIS 患者中，胸主动脉随着脊柱在冠状面上序列的变化，趋向于沿着脊柱的凹侧走行，即主动脉迁移的束缚效应。该理论认为，主动脉受结缔组织或器官所限制，遵循自主动脉弓至膈肌主动脉裂孔的最短距离^[16-18]。Milbrandt 等^[5]描述了主动脉在 AIS 右胸弯患者中迁移至椎体的左侧和后侧，而在左胸弯患者中向右移。Munoz 等^[19]通过 MRI 测量显示腹主动脉自主动脉裂孔起向下移行，在腰椎部位主动脉略微位于中线的左侧，在 L2 和 L3 椎体逐渐移行至椎体前方。相对于胸主动脉，腹主动脉位于腹膜后，活动度相对较大，并且发出腰动脉等重要结构和脊柱关联。DLS 患者血管发育已成熟，且老年人结缔组织束缚能力减弱，在 DLS 患者中主动脉可能随着分支到脊柱

的血管牵拉而尽可能保持与椎体的正常解剖关系。

影像学测量发现，相对于正常椎体，椎体向左侧旋转后左侧椎弓根向背侧移动而右侧椎弓根向腹侧移位，椎体向右侧旋转时相反^[20]。这样在 DLS 左侧凸患者中，虽然椎体发生冠状位左侧偏移而相对靠近腹主动脉，但因椎体旋转和坐标系的建立使得坐标原点 O 与主动脉距离增加，从而使得 d 平均增加 1.8mm。右侧凸患者中，椎体右侧旋转，冠状位上虽然远离主动脉，但由于周围组织和器官的牵拉以及坐标原点 O 向腹侧移动导致距离减小，因而整体上使得 d 与正常人无异。

相对于椎弓根到主动脉的距离，在 d 线方向上椎体前缘与主动脉后壁或侧后壁的最短间隙更具有临床意义^[20]，尤其是评估椎弓根螺钉的置入深度或评估椎体前侧方操作中主动脉损伤时，可对医生提供指导性建议。Bullmann 等^[21]对右胸弯 AIS 患者进行手术前后测量发现，椎前和主动脉侧后壁间隙从术前的 0.55cm 缩小为 0.37cm ($P=0.014$)，提示虽然置椎弓根钉时理论上允许突破椎体前方 0.5cm，但矫形过程中会划破主动脉，造成严重后果。本研究首次针对退变性患者进行测量，发现不论左侧凸组还是右侧凸组，相对于腰椎序列正常的人群，在各节段该间隙均无明显变化。本研究的意义在于：提示手术前后该间隙可能不会出现显著性变化，但仍尽量避免椎弓根螺钉过多地穿破前方皮质骨，降低矫形过程中划破主动脉的风险；对于非椎弓根螺钉置入和椎前方操作时，因或多或少存在解剖变异和病理生理变异，需更加谨慎^[14]；此外，该研究为 DLS 患者提供了椎体前方-主动脉间隙的数据支持。

明确主动脉和脊柱的相对解剖位置,对于脊柱外科医师是极为重要的。Szolar 等^[22]回顾性分析了 8099 例腰椎间盘突出手术,其中 4 例发生与腰椎手术相关的血管并发症。Inamasu 等^[3]报道 6 例腰椎手术中损伤了髂总动脉,主动脉及分支血管损伤可能导致急性出血、假性动脉瘤或者动静脉瘘^[5]。由于脊柱侧凸患者椎体的旋转和序列改变,脊柱侧凸矫正过程中椎体螺钉的置入可能会使患者面临主动脉损伤的风险增加^[7,12,23]。Jiang 等^[9]通过对侧凸患者椎体和主动脉的位置关系得出,两者之间存在高度相关性,提醒外科医生尤其需注意当将螺钉置于脊柱侧凸的凹侧时,主动脉损伤风险相对较高。Ayca 等^[24]通过研究 ADS 与主动脉的直径和血管粥样斑块的相关性发现,主动脉随着脊柱畸形发生弯曲,使得流体力学特征和管壁结构发生变化,认为 ADS 患者主动脉直径和主动脉脆性均显著增加,使得主动脉更易受损。

老年人相对青少年,存在较严重的骨质疏松, Sadat-Ali 等^[25]对 ADS 患者骨密度进行测定,发现 ADS 患者骨密度值的降低程度与脊柱侧凸的严重程度呈明显的相关性。对于 ADS 患者手术多采用后入路,椎体前缘脆弱的骨皮质使得探针和椎弓根螺钉向前突破的风险大大增加;随着脊柱失衡状态的加重,小关节增生、黄韧带钙化以及前纵韧带退变薄弱,在使用铰刀处理椎间结构时,更易损伤前方韧带结构而导致腹主动脉损伤几率的增加^[24];对于部分老年 DLS 患者,腰椎正常序列的丢失使得椎体与周围组织失去正常解剖关系而出现粘连,DLS 患者主动脉和前纵韧带牢固粘连,使得主动脉活动性降低和活动范围有限,在椎弓根螺钉置入和截骨术过程中可能更容易发生主动脉损伤^[26]。

对于部分重度 DLS 或僵硬性 DLS 患者,截骨是改善畸形的唯一有效方法,单纯 Smith-Petersen 截骨(Smith-Petersen osteotomy, SPO)有时无法达到满意的矫形,需配合前方截骨,此时必须明确主动脉与椎体的相对位置^[27],而且前柱的张开和伸长使得主动脉张力增加甚至有内壁撕裂的风险,既往有大量关于前路截骨配合内固定手术损伤主动脉造成严重后果的报道^[3,22]。有报道认为经椎弓根截骨术后主动脉平均长度增加 2.8cm;此外,当在截骨水平出现椎骨滑脱或骨赘形成时,主动脉将承受更大的压力。因此,如果在截骨部位主动脉

相对靠近腰椎,则主动脉可能会被拉伸而变得更加脆弱^[28]。既往研究报道,在 L1~L2 或 L2~L3 水平进行截骨时可能发生主动脉损伤风险更大^[29]。因此建议术前借助 MRI 测量明确各节段内固定放置位置及螺钉长度,或者进行术中 CT 导航,以减少主动脉损伤的风险^[30]。

本研究尚存在一些不足:(1)DLS 是三维脊柱畸形,排除标准之一是冠状位失衡或严重的后凸畸形,该结论并不代表所有 DLS 患者,对于退变性侧后凸患者的主动脉走行需要进一步研究;(2)DLS 患者可存在侧方滑移和矢状位滑脱,可能会影响椎体与主动脉相对位置,在本研究中并未详述;(3)本研究坐标原点主要依据后路椎弓根螺钉进行点确定,对于前方操作或侧方置钉的临床意义不大,而且坐标原点的变化可能会影响测量结果;(4)患者 MRI 检查是仰卧位,而后路手术为俯卧位,一些关于 AIS 的研究报道,身体位置可以影响主动脉的位置,且俯卧位在椎体旋转严重的情况下,置钉风险要高于仰卧位^[9,31],但 Qu 等^[26]对强直性脊柱炎患者测量发现,当患者从仰卧位转为俯卧位时,在 T9~L3 水平主动脉相对于脊柱没有显著变化,是否适用于 DLS 患者需进一步探究。

综上所述,本研究结果提示,在 DLS 右侧凸患者中腹主动脉与椎体相对位置维持正常的解剖关系,左侧凸患者中主动脉稍远离左侧椎弓根;主动脉-椎体成角及主动脉-椎体距离与侧凸程度和冠状位偏移距离无明显相关性。尽管腹主动脉与腰椎相对解剖关系较无脊柱侧凸的健康人群变化不大,但术中仍需要警惕主动脉损伤。

4 参考文献

1. Ailon T, Smith JS, Shaffrey CI, et al. Degenerative spinal deformity[J]. Neurosurgery, 2015, 77(Suppl 4): S75-S91.
2. Schwab F, Farcy JP, Bridwell K, et al. A clinical impact classification of scoliosis in the adult [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2006, 31(18): 2109-2114.
3. Inamasu J, Guiot BH. Vascular injury and complication in neurosurgical spine surgery[J]. Acta Neurochir(Wien), 2006, 148(4): 375-387.
4. Kulkarni SS, Lowery GL, Ross RE, et al. Arterial complications following anterior lumbarinterbody fusion: report of eight cases[J]. Eur Spine J, 2003, 12(1): 48-54.
5. Milbrandt TA, Sucato DJ. The position of the aorta relative to the spine in patients with left thoracic scoliosis: a comparison with normal patients[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2007, 32(12):

- E348-E353.
6. Takeshita K, Maruyama T, Sugita S, et al. Is a right pedicle screw always away from the aorta in scoliosis[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2011, 36(23): E1519-E1524.
 7. Sucato DJ, Duchene C. The position of the aorta relative to the spine: a comparison of patients with and without idiopathic scoliosis[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2003, 85(8): 1461-1469.
 8. Grauers A, Rahman I, Gerdhem P. Heritability of scoliosis[J]. *Eur Spine J*, 2012, 21(6): 1069-1074.
 9. Jiang H, Qiu X, Wang W, et al. The position of the aorta changes with altered body position in single right thoracic adolescent idiopathic scoliosis: a magnetic resonance imaging study[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2012, 37(17): E1054-E1061.
 10. Khamanarong K, Sae-Jung S, Supa-Adirek C, et al. Aortic bifurcation: a cadaveric study of its relationship to the spine [J]. *J Med Assoc Thai*, 2009, 92(1): 47-49.
 11. Liljenqvist UR, Allkemper T, Hackenberg L, et al. Analysis of vertebral morphology in idiopathic scoliosis with use of magnetic resonance imaging and multiplanar reconstruction[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2002, 84(3): 359-368.
 12. Sevastik B, Xiong B, Hedlund R, et al. The position of the aorta in relation to the vertebra in patients with idiopathic thoracic scoliosis[J]. *Surg Radiol Anat*, 1996, 18(1): 51-56.
 13. Pichaisak W, Chotiyarnwong C, Chotiyarnwong P. Facet joint orientation and tropism in lumbar degenerative disc disease and spondylolisthesis[J]. *J Med Assoc Thai*, 2015, 98(4): 373-379.
 14. Chang DG, Yang JH, Suk SI, et al. Importance of distal fusion level in major thoracolumbar and lumbar adolescent idiopathic scoliosis treated by rod derotation and direct vertebral rotation following pedicle screw instrumentation[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2017, 42(15): E890-E898.
 15. Cho KJ, Kim YT, Shin SH, et al. Surgical treatment of adult degenerative scoliosis[J]. *Asian Spine J*, 2014, 8(3): 371-381.
 16. Pasha S, Cahill PJ, Dormans JP, et al. Characterizing the differences between the 2D and 3D measurements of spine in adolescent idiopathic scoliosis[J]. *Eur Spine J*, 2016, 25(10): 3137-3145.
 17. Wang G, Hu J, Liu X, et al. Surgical treatments for degenerative lumbar scoliosis: a meta analysis [J]. *Eur Spine J*, 2015, 24(8): 1792-1799.
 18. Liu J, Shen J, Zhang J, et al. The position of the aorta relative to the spine for pedicle screw placement in the correction of idiopathic scoliosis[J]. *J Spinal Disord Tech*, 2012, 25(4): E103-E107.
 19. Munoz JJ, Rodriguez J, Artero I, et al. Thoracic and Abdominal Aorta[J]. *Learning Imaging*, 2010, 4(1): 147-178.
 20. Takeshita K, Maruyama T, Nakao Y, et al. Aorta movement in patients with scoliosis after posterior surgery [J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2010, 35(26): E1571-E1576.
 21. Bullmann V, Fallenberg EM, Meier N, et al. The position of the aorta relative to the spine before and after anterior instrumentation in right thoracic scoliosis [J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2006, 31(15): 1706-1713.
 22. Szolar DH, Preidler KW, Steiner H, et al. Vascular complications in lumbar disk surgery: report of four cases[J]. *Neuroradiology*, 1996, 38(6): 521-525.
 23. Maruyama T, Takeshita K, Nakamura K, et al. Spatial relations between the vertebral body and the thoracic aorta in adolescent idiopathic scoliosis[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2004, 29(18): 2067-2069.
 24. Ayca B, Rakici T, Atici Y, et al. Adult degenerative scoliosis associated with increased aortic diameter and plaque burden and composition[J]. *Vascular*, 2016, 24(3): 315-322.
 25. Sadat-Ali M, Al-Othman A, Bubshait D, et al. Does scoliosis causes low bone mass? a comparative study between siblings[J]. *Eur Spine J*, 2008, 17(7): 944-947.
 26. Qu Z, Qian BP, Qiu Y, et al. Does the position of the aorta change with the altered body position in ankylosing spondylitis patients with thoracolumbar kyphosis? a magnetic resonance imaging investigation[J]. *Clin Spine Surg*, 2017, 30(7): 328-334.
 27. Liang Y, Zhao Y, Liu H, et al. The position of the aorta relative to the spine in patients with Pott's thoracolumbar angular kyphosis[J]. *J Orthop Sci*, 2018, 23(2): 289-293.
 28. Matsuzaki H, Tokuhashi Y, Wakabayashi K, et al. Penetration of a screw into the thoracic aorta in anterior spinal instrumentation: a case report[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 1993, 18(15): 2327-2331.
 29. Woolsey RM. Aortic laceration after anterior spinal fusion[J]. *Surg Neurol*, 1986, 25(3): 267-268.
 30. Qiao J, Zhu F, Xu L, et al. Comparison of the aorta impingement risks between thoracolumbar/lumbar curves with different convexities in adolescent idiopathic scoliosis: a computed tomography study[J]. *Eur Spine J*, 2012, 21(10): 2043-2049.
 31. Huitema GC, Cornips EM, Castelijns MH, et al. The position of the aorta relative to the spine: is it mobile or not [J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2007, 32(12): 1259-1264.
- (收稿日期: 2018-09-18 修回日期: 2018-11-08)
(英文编审 庄乾宇/贾丹彤)
(本文编辑 李伟霞)