

## 强直性脊柱炎患者中下胸椎椎弓根的影像学特征及临床意义

戴亦心, 张 帅, 杨 进, 李 涛, 徐 双, 王高举, 王 清

(西南医科大学附属医院脊柱外科 646000 四川省泸州市)

**【摘要】目的:**比较强直性脊柱炎(ankylosing spondylitis, AS)患者与非 AS 患者 T5~T12 椎弓根 CT 扫描的影像学参数,为 AS 患者椎弓根螺钉置钉提供参考依据。**方法:**选取 2003 年 1 月~2017 年 6 月我科收治的具有完整临床资料及中下胸椎 CT 平扫和三维重建的 AS 男性患者 40 例(AS 组),年龄 34~53 岁(40.5±4.2 岁);选取同期我科收治的具有完整临床资料及中下胸椎 CT 平扫和三维重建的胸椎骨折男性患者 40 例(非 AS 组),年龄 32~48 岁(38.5±3.7 岁)。分别测量 T5~T12 的椎弓根宽度(pedicle width, PW)、椎弓根高度(pedicle height, PH)、椎弓根与椎体正中矢状面夹角即内倾角(pedicle transverse angle, PTA)、椎弓根间距(pedicles distance, PD)和椎弓根钉道长度(pedicle screw path length, PL)。比较两组患者的测量结果。**结果:**AS 组和非 AS 组 PW 从 T5~T12 逐渐增大,AS 组 PW 均小于非 AS 组,两组比较有统计学差异( $P<0.05$ );两组 T5~T12 的 PH 无统计学差异( $P>0.05$ );两组 PTA 变化趋势一致,从 T5~T12 逐渐变为负数(T5~T10 为正, T11~T12 为负),AS 患者在 T5~T10 较非 AS 组小,而在 T11、T12 较非 AS 组大,两组间比较均有统计学差异( $P<0.05$ );两组 PD 和 PL 从 T5~T12 逐渐增大,AS 患者大于非 AS 组患者,两组间比较有统计学差异( $P<0.05$ )。**结论:**AS 患者中下胸椎椎弓根较细长,行中下胸椎椎弓根螺钉内固定时可选用较长椎弓根螺钉以增加内固定强度,但不适宜增加椎弓根螺钉直径,置钉角度接近垂直,必要时可经椎弓根-肋骨途径置钉。

**【关键词】**强直性脊柱炎;椎弓根;影像学参数;CT 三维重建

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2019.02.07

中图分类号:R593.23, R814.42 文献标识码 A 文章编号:1004-406X(2019)-02-0135-06

**Anatomical characteristics of the middle and lower thoracic pedicle in ankylosing spondylitis/DAI Yixin, ZHANG Shuai, YANG Jin, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2019, 29 (2): 135-140**

**【Abstract】 Objectives:** To compare the T5-T12 pedicle parameters in ankylosing spondylitis(AS) with those in normal people on the CT scan, in order to provide reference for pedicle screw placement. **Methods:** A total of 40 males AS(AS group) with complete clinical data, CT scan and three-dimensional reconstruction of the middle and lower thoracic spine from January 2003 to June 2017 was enrolled with the age ranging from 34 to 53 years old. And 40 males of thoracic vertebral fracture with complete clinical data, CT scan and three-dimensional reconstruction of middle and lower thoracic spine were selected (non-AS group), with the age ranging from 32 to 48 years old in the same period. The vertebral pedicle parameters from T5 to T12 were measured, including pedicle width(PW), pedicle height(PH), pedicle transverse angle(PTA) that between the pedicle axis and the median sagittal plane of the vertebral body, pedicles distance (PD), pedicle screw path length(PL). The measurements of two groups were compared. **Results:** The PW in AS and non-AS group increased gradually from T5 to T12. The PW in AS group was significantly smaller than that of non-AS group( $P<0.05$ ). There was no statistical difference of the PH between the two groups( $P>0.05$ ). The variation trend of PTA in the two groups was the same. The PTA gradually became negative (T5-T10 were positive, T11-T12 were negative) and the PTA in AS group was significantly smaller than that in non-AS group, but the results in T11 and T12 were opposite( $P<0.05$ ). The PD of the two groups gradually increased from T5 to

第一作者简介:男(1992-),住院医师,研究生在读,研究方向:脊柱外科

电话(0830)3165441 E-mail:530650764@qq.com

通讯作者:王清 E-mail:wqspine2004@163.com

T12, and it was significantly larger in AS group than that in non-AS group ( $P < 0.05$ ); the PL increased gradually from T5 to T12, and the PL in AS group was significantly larger than that in non-AS group ( $P < 0.05$ ). **Conclusions:** Long pedicle screw can be used to increase the strength of internal fixation in AS patients, but it is not suitable to increase the pedicle screw diameter. The pedicle screw angle is close to vertical. If necessary, it can be placed through pedicle-rib unit.

**【Key words】** Ankylosing spondylitis; Pedicle; Imaging parameters; CT 3D reconstruction

**【Author's address】** The Spinal Department of the Affiliated Hospital of Southwest Medical University, Luzhou, 646000, China

强直性脊柱炎(AS)是一种主要以累及中轴骨及外周大关节为特征的附着点炎和滑膜炎,随着病程进展,脊柱周围肌肉、韧带、肌腱附着点逐渐硬化,脊柱呈现典型竹节样改变,生理曲度消失,后凸畸形加重,患者不能平视前方,心肺功能显著下降,对生活质量造成严重影响<sup>[1,2]</sup>。此外,AS患者僵硬的脊柱常合并骨质疏松,一旦发生骨折,多表现类似于长骨骨折的横断、斜形、螺旋形骨折,多为三柱骨折,极度不稳定<sup>[3]</sup>。无论AS患者行Smith-Peterson截骨(Smith-Peterson osteotomy, SPO)、椎弓根及部分椎体截骨术(pedicle subtraction osteotomy, PSO)<sup>[4]</sup>等截骨矫形术还是脊柱骨折的手术治疗,均需长节段内固定,对椎弓根螺钉固定强度要求高,但AS患者常伴有骨质疏松,极易发生椎弓根螺钉的松动、拔出、断裂,不仅如此,AS患者因免疫性炎症侵蚀关节突、横突、椎弓根等结构,局部形成骨赘、弥漫性骨化等使得指导椎弓根螺钉置入的解剖学标志分辨不清,进一步增加了椎弓根螺钉置入的风险<sup>[5]</sup>。为了尽可能增加椎弓根螺钉固定强度和置钉安全性,术前精确的椎弓根参数测量对于指导术中置钉必不可少。冯宗贤、邱勇等<sup>[6]</sup>通过CT扫描测量了AS患者L1~S1的椎弓根相关参数,但临床工作发现,AS截骨矫形、骨折固定节段往往涉及中下胸椎,而胸椎管狭窄,硬膜外储备空间狭窄,对于椎弓根置钉的准确性要求比腰椎更高,但目前仍缺乏AS患者中下胸椎椎弓根形态相关参数。本研究对我院收治的AS患者的中下胸椎椎弓根的解剖参数进行测量,旨在为AS患者椎弓根螺钉的选择提供参考。

## 1 资料与方法

### 1.1 病例纳入与排除标准

收集2003年1月~2017年6月我科收治的具有胸椎CT影像资料的AS患者(AS组)及不合并AS的胸椎骨折患者(非AS组)的资料。AS诊

断标准采用1984年纽约修订的AS诊断标准。纳入标准:①临床及影像资料完整,诊断明确;②使用64排CT扫描,扫描范围包含T5~T12椎体并具有三维重建;③男性。排除标准:①椎弓根骨折;②椎体有肿瘤、感染或结核等引起的骨质破坏;③合并半椎体及阻滞椎等先天畸形;④脊柱既往有手术史;⑤脊柱侧凸 $>10^\circ$ ;⑥合并其他可能影响椎弓根测量的情况。根据病例纳入及排除标准,AS组及非AS组各纳入40例,AS组年龄34~53岁( $40.5 \pm 4.2$ 岁),非AS组年龄32~48岁( $38.5 \pm 3.7$ 岁)。

### 1.2 CT扫描及参数测量方法

采用美国通用公司Light speed-64排CT机,对T5~T12椎体进行薄层扫描,在ADW4.4工作站利用多平面重建技术(multiplanar reconstruction)对扫描结果进行处理,层厚、层距均为0.625mm,窗宽1300HU,窗位400HU,精度0.1mm。分别对T5~T12双侧椎弓根进行以下测量(图1、2):①椎弓根宽度(PW),利用同步定位坐标首先在矢状位二维图像上使横向标尺平行于椎弓根轴线,在冠状位二维图像上纵向标尺垂直于上下终板并位于椎体中央,然后在同步显示的横断面上从上至下依次调整,可见椎弓根由窄变宽再变窄,双侧基本对称,测量其中最宽的层面内外侧皮质外缘之间的最短距离;②椎弓根高度(PH),椎弓根正中矢状面上下侧皮质外缘之间的最短距离;③椎弓根矢状面夹角(PTA),即内倾角,椎弓根轴线与椎体正中矢状面之间的夹角,夹角位于椎体前方为正,位于椎体后方为负;④椎弓根间距(PD),采用测量椎弓根宽度时相同的标尺定位方式,横断面从上到下逐层调整,可见椎管由大变小再变大,其中最小处双侧椎弓根内侧皮质之间的最长距离,即椎管横径;⑤椎弓根钉道长度(PL),采用Fennell等<sup>[6]</sup>的进钉点,即横突和上关节突外缘线交接区下3mm,首先使用同步定位坐

标在三维重建图像上标定该点,进钉方向与椎弓根轴线平行,进钉点皮质到椎体前缘皮质的距离即为椎弓根钉道长度的理论最大值。

### 1.3 统计学分析

采用 SPSS 22.0 统计软件进行数据处理,各项数据均以  $\bar{x} \pm s$  表示,双侧椎弓根参数对比采用配对  $t$  检验,AS 组与非 AS 组之间比较采用独立样本  $t$  检验;两组间年龄、身高、体重差异均分别采用独立样本  $t$  检验。 $P < 0.05$  为有统计学差异。

## 2 结果

两组患者均为男性,年龄、身高、体重无统计学差异(表 1)。AS 组和非 AS 组各自左右侧椎弓根各参数无统计学差异,合并统计。两组患者 T5~T12 的 PW、PH、PTA 和 PD 见表 2。两组 PW 从 T5~T12 逐渐增大,AS 组 PW 均小于非 AS 组,两组间比较有统计学差异( $P < 0.05$ );两组 T5~T12 的 PH 无统计学差异( $P > 0.05$ );两组 PTA 变化趋势一致,T5~T12 逐渐变为负数(T5~T10 为正,T11~T12 为负),两组间比较有统计学差异( $P < 0.05$ ),AS 患者 PTA 在 T5~T10 较非 AS 组小,在 T11、T12 较非 AS 组大,且均有统计学差异( $P < 0.05$ );

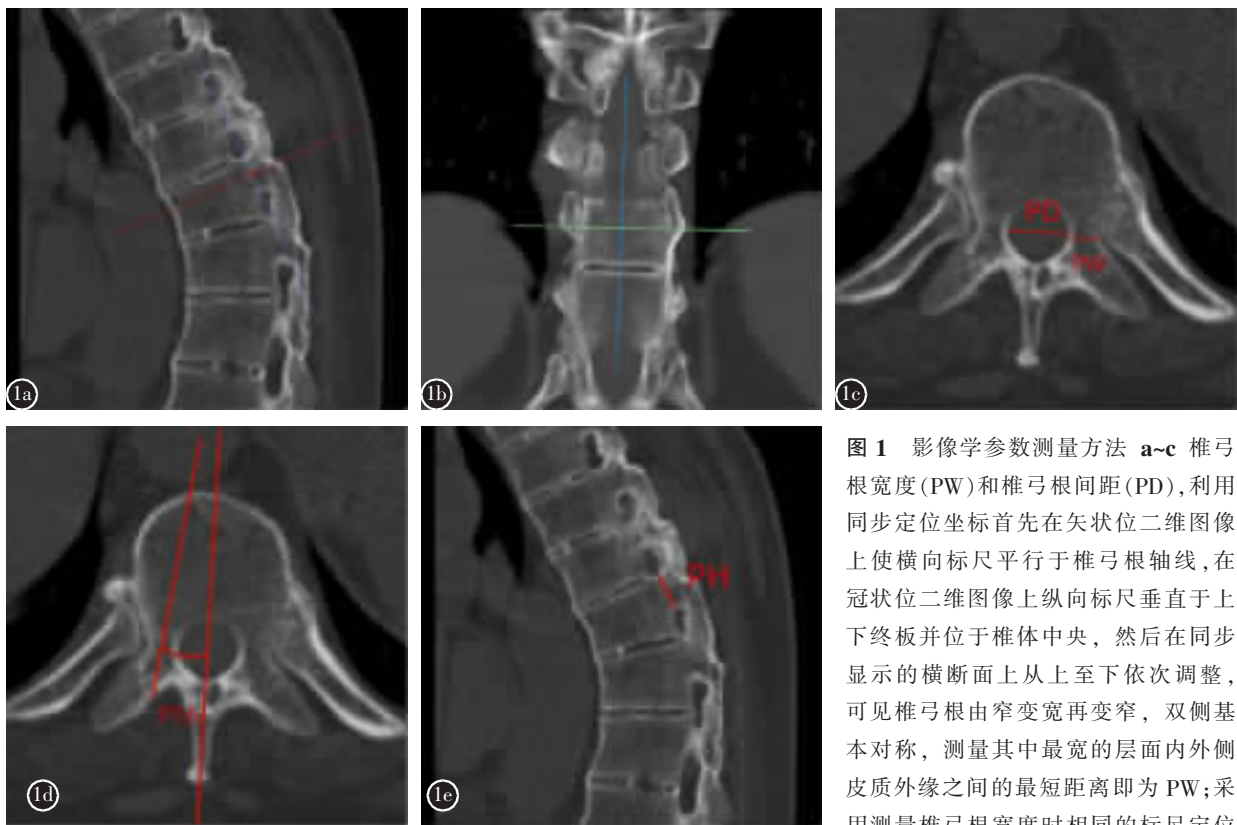


图 1 影像学参数测量方法 a~c 椎弓根宽度(PW)和椎弓根间距(PD),利用同步定位坐标首先在矢状位二维图像上使横向标尺平行于椎弓根轴线,在冠状位二维图像上纵向标尺垂直于上下终板并位于椎体中央,然后在同步显示的横断面上从上至下依次调整,可见椎弓根由窄变宽再变窄,双侧基本对称,测量其中最宽的层面内外侧皮质外缘之间的最短距离即为 PW;采用测量椎弓根宽度时相同的标尺定位

方式,横断面从上到下逐层调整,可见椎管由大变小再变大,其中最小处双侧椎弓根内侧皮质之间的最长距离为 PD d 内倾角(PTA),椎弓根轴线与椎体正中矢状面之间的夹角,夹角位于椎体前方为正,位于椎体后方为负 e 椎弓根高度(PH),椎弓根正中矢状面上下侧皮质外缘之间的最短距离

**Figure 1 a-c** Pedicle width(PW): The horizontal ruler is parallel to the axis of the pedicle on the sagittal two-dimensional image. On the synchronous coronal two-dimensional image, the vertical ruler is perpendicular to the upper and the lower endplates, and moved from top to bottom on the transverse section During the course, the pedicles were seen with a rise and drop in diameter on both sides. The shortest distance between the outer and inner edge of the widest dimension of the pedicle was measured. Pedicle distance (PD): The same ruler was used to measure the width of the pedicle. The transverse section was scanned layer by layer from top to bottom. The spinal canal saw a change from large to small and then to large again. The longest distance between the medial cortex of the bilateral pedicle was the transverse diameter of the spinal canal **d** The pedicle transverse angle (PTA): the angle between the axis of the pedicle and the median sagittal plane of the vertebral body, the angle is positive if it faces forward and negative if it faces backward **e** Pedicle height(PH): the shortest distance between the upper and lower cortex of the median sagittal pedicle



图 2 采用 Fennell 等的进钉点,即横突和上关节突外缘线交接区下 3mm,首先使用同步定位坐标在三维重建图像上标定该点,进钉方向与椎弓根轴线平行;进钉点皮质到椎体前缘皮质的距离即为椎弓根钉道长度(PL)的理论最大值

**Figure 2** Pedicle screw path length (PL): Firstly, Fennell's point was marked on the three-dimensional reconstructed image using synchronous coordinates, and the screw direction was parallel to the pedicle axis. The theoretical maximum length of pedicle screw path was the distance between the screw entry point cortex and the anterior vertebral cortex

表 1 两组患者基线资料对比 ( $\bar{x}\pm s$ )  
**Table 1** Comparison of baseline data between two groups

	AS组(n=40) AS group	非AS组(n=40) non-AS group	t值 t value	P值 P value
年龄(y) Age	40.5±4.2	38.5±3.7	1.35	>0.05
身高(m) Height	1.67±0.60	1.70±0.40	-0.9	>0.05
体重(kg) Weight	69.7±5.2	72.3±6.7	-1.9	>0.05

两组 PD 从 T5~T12 逐渐增大,AS 患者 PD 大于非 AS 组患者 PD,两者间比较有统计学差异 ( $P<0.05$ );两组 PL 从 T5~T12 逐渐增大,AS 组大于非 AS 组,两组间比较有统计学差异( $P<0.05$ )。

### 3 讨论

为了提高椎弓根螺钉的固定强度及置入的准确性,国内外学者通过干骨标本、X线、CT 等对人体椎弓根形态参数进行了大量研究<sup>[7,8]</sup>。而针对 AS 患者的椎弓根形态参数的研究少见。冯宗贤、邱勇等<sup>[5]</sup>采用 CT 三维重建技术测量了 30 例 AS 患者 L1~S1 的椎弓根形态参数。然而在临床工作中发现,AS 患者后凸畸形顶椎常位于 L1~L3 椎体或椎间隙,AS 合并骨折除下颈椎外最常发病部位为胸腰段<sup>[9]</sup>。不仅如此,AS 患者常合并骨质疏松,在截骨矫形、骨折复位、重建脊柱稳定性时常需要延长固定节段,所以椎弓根螺钉固定范围经常涉及中下胸椎。相比腰椎,胸椎由于椎管小,椎管储备

空间有限,对椎弓根螺钉置入的准确性要求更高,术前通过 CT 测量 AS 患者椎弓根形态参数,可以为螺钉规格的选择及置入安全性提供参考。

AS 伴胸腰椎后凸畸形患者因脊柱僵硬,使含有多运动单元的脊柱具有四肢长骨的特性,骨折后因骨折线两端力矩大,往往表现为斜型、横断型、螺旋形骨折,多累及脊柱三柱结构,极度不稳定,同时该类患者往往合并后凸畸形,脊柱矢状面失衡,如果行单纯的骨折复位,常出现拔钉、断钉断棒等内固定失败,甚至造成迟发型脊髓病,所以大多数学者主张,行骨折复位同时重建脊柱矢状面及冠状面平衡尤为重要,此外,针对没有骨折但伴有明显后凸畸形的患者,因脊柱后凸畸形使患者不能平视前方、胸廓活动度降低、过伸髋关节等严重影响生活质量,目前主张在疾病静止后行截骨矫形恢复脊柱矢状面及冠状面平衡,改善患者生活质量。上述情况均需要坚强内固定维持脊柱稳定性。因 AS 多合并骨质疏松,且具有类似长骨骨折后两端力矩大等特点,目前主张行后路长节段椎弓根螺钉内固定,并建议可以适当增加螺钉直径和长度,以此来提高椎弓根螺钉的固定强度,减少远期矫正丢失、螺钉松动、拔出等并发症。本研究发现,在 AS 组患者中下胸椎椎弓根螺钉宽度较非 AS 组小,两组相比有统计学差异,这与冯宗贤、邱勇等<sup>[5]</sup>报道的 AS 患者腰椎椎弓根宽度大于非 AS 组结果相反。分析原因主要有:①AS 患者由于炎症疾病本身及患病后长期服用非甾体类

表 2 两组患者中下胸椎椎弓根测量参数

( $\bar{x}\pm s$ )

Table 2 The parameters of thoracic pedicle from T5 to T8 in AS group and non-AS group

	AS 组 AS group					非 AS 组 Non-AS group				
	PW(mm)	PH(mm)	PD(mm)	PTA(°)	PL(mm)	PW(mm)	PH(mm)	PD(mm)	PTA(°)	PL(mm)
T5	4.12±1.03 <sup>①</sup>	11.30±0.72	16.17±1.32	7.62±2.89 <sup>①</sup>	40.42±5.75 <sup>①</sup>	4.59±0.97	11.35±0.68	15.48±1.02	9.25±3.34	40.23±5.21
T6	4.90±0.53 <sup>①</sup>	11.34±0.78	16.49±1.04	6.95±2.78 <sup>①</sup>	42.14±5.86 <sup>①</sup>	5.34±0.51	11.31±0.63	15.34±0.99	8.56±3.12	39.24±4.77
T7	5.21±0.74 <sup>①</sup>	11.40±0.87	16.41±1.21 <sup>①</sup>	5.82±2.52 <sup>①</sup>	44.51±6.43 <sup>①</sup>	5.82±0.68	11.50±0.79	15.31±1.31	7.14±2.73	41.91±4.51
T8	5.54±0.74 <sup>①</sup>	12.22±0.71	16.48±1.48 <sup>①</sup>	3.94±2.01 <sup>①</sup>	44.79±5.73 <sup>①</sup>	6.29±0.69	12.11±0.57	15.27±1.29	5.10±2.29	41.34±5.71
T9	5.75±0.52 <sup>①</sup>	13.27±0.75	16.35±1.42	2.91±1.85 <sup>①</sup>	45.74±4.44 <sup>①</sup>	6.41±0.70	12.93±0.86	15.18±1.37	3.87±2.14	43.56±4.41
T10	6.51±0.78 <sup>①</sup>	14.48±1.10	17.16±1.75	1.19±2.65 <sup>①</sup>	45.67±4.73 <sup>①</sup>	7.29±0.88	14.52±1.01	15.97±1.56	2.55±3.29	42.75±3.82
T11	7.99±1.29 <sup>①</sup>	16.96±0.61	18.37±1.73 <sup>①</sup>	-1.21±4.45 <sup>①</sup>	43.48±6.87 <sup>①</sup>	8.64±1.03	16.69±0.83	17.24±1.65	-3.39±4.37	38.42±5.21
T12	8.56±0.83 <sup>①</sup>	18.15±0.92	20.95±2.23 <sup>①</sup>	-4.24±4.07 <sup>①</sup>	43.12±5.75 <sup>①</sup>	9.18±0.71	17.95±0.87	18.73±2.04	-8.67±2.56	40.51±4.64

注:PW,椎弓根宽度;PH,椎弓根高度;PD,椎弓根间距;PTA,椎弓根内倾角;PL,椎弓根钉道长度;①与非 AS 组同节段比较  $P<0.05$ 

Note: PW, pedicle width; PH, pedicle height; PD, pedicles distance; PTA, pedicle transverse angle; PL, pedicle screw path length;

①Compared with non-AS group,  $P<0.05$ 

抗炎药物和激素等会使骨密度下降,椎体骨质疏松进行性发展会导致 AS 患者椎弓根宽度较正常人小,这与王高举等<sup>[10]</sup>报道的骨质疏松患者椎弓根细小的研究结果一致。②AS 患者随着后凸畸形加重,脊柱负重力线前移,椎弓根不再是脊柱力核,长期失用导致椎弓根宽度较正常者细小。③脊柱椎体前方有前纵韧带等附着,椎板、棘突、横突结构均有肌肉、韧带肌肉附着,而椎弓根缺少肌肉韧带的附着,在 AS 发病过程中,椎弓根周围缺少附着点骨化等,这可能也是导致椎弓根细小的原因之一。此外,本研究测量 AS 患者椎管横径较非 AS 患者大,间接证明了可能由于双侧椎弓根萎缩细小导致椎管横径增大。所以在中下胸椎为了增加椎弓根固定强度,在增加椎弓根螺钉直径同时,为了避免椎弓根内壁穿破,建议采用通过椎弓根-肋骨途径置钉增加置钉安全性及固定强度。

本研究测量结果显示,AS 患者中下胸椎椎弓根钉道长度大于非 AS 患者,两组患者有统计学差异( $P<0.05$ ),笔者认为导致此种差异主要是因为 AS 患者随着病程进展,椎体、关节突、横突周围肌肉、韧带等附着点骨赘形成,增加了椎弓根钉道长度。既往生物力学研究结果显示椎弓根螺钉进入椎体实质越长,固定强度越大,针对 AS 患者,为了增加内固定置入成功率,推荐在不穿破椎体前壁的情况下选择尽可能长的椎弓根螺钉。既往中下胸椎螺钉长度为 3.5~5.0cm<sup>[11,12]</sup>,本研究发现,AS 患者行椎弓根螺钉内固定时,可以选择长度 5.5cm 的螺钉增加固定强度。此外,T11、T12 因

椎弓根内聚角度数为负,即椎弓根轴线相对于椎体为外倾,所以 T11、T12 钉道反而较短;而目前在 T11、T12 椎体几乎使用垂直进钉法,故长度比该研究结果要长。

本研究结果显示,AS 组患者 PTA 在 T5~T10 较非 AS 组小,而在 T11、T12 较非 AS 组大,说明 AS 患者椎弓根更靠近椎体中矢状线,笔者认为这可能与胸腰椎严重后凸畸形、胸廓肋骨挤压导致肋椎关节受到向后挤压的力量相关。提示此时螺钉置入内倾角需减小才能降低穿破椎弓根内侧壁的几率<sup>[13]</sup>。如果需要增加螺钉直径和长度来加强螺钉的抗拔出及稳定性,可通过经椎弓根-肋骨途径置钉<sup>[14-17]</sup>,文献报道其力学强度可以达到通过椎弓根螺钉固定强度的 64%<sup>[13,18]</sup>。

总之,AS 患者胸椎椎弓根变异较大,常伴有骨质疏松,按照常规置钉标准可能会出现螺钉松动、拔钉、钉棒断裂等并发症,导致内固定失败,增加远期腰痛、畸形进展等并发症。不仅如此,AS 患者因免疫性炎症侵蚀关节突、横突、椎弓根等结构,局部形成骨赘、弥漫性骨化等使指导椎弓根螺钉置入的解剖学标志不易分辨<sup>[19]</sup>,进一步增加了椎弓根螺钉置入的风险。为了尽可能增加椎弓根螺钉固定强度和置钉安全性,术前精确的椎弓根参数测量对于指导术中置钉必不可少。通过术前 CT 及三维重建技术精确测量椎弓根形态参数,个体化选择椎弓根螺钉长度和直径,对于提高 AS 患者椎弓根螺钉固定强度及安全性至关重要。本研究的不足之处在于为单中心研究,样本数少,女

性 AS 患者未做分析, 身高及体重、病程长短亦可能是重要的变异因素, 同时针对 AS 组后凸畸形因例数较少未进行畸形程度分层讨论, 需在以后的研究中进一步论证和探索。

总之, AS 患者合并脊柱后凸畸形行截骨矫形或 AS 患者合并脊柱骨折行手术治疗时可选用较长椎弓根螺钉增加内固定强度, 但不适宜增加椎弓根螺钉宽度, 置钉角度接近垂直, 必要时需要经椎弓根-肋骨途径置钉。

#### 4 参考文献

1. Van DLS, Valkenburg HA, Cats A, et al. Evaluation of diagnostic criteria for ankylosing spondylitis: a proposal for modification of the New York criteria [J]. *Arthritis Rheum*, 1984, 27(4): 361-368.
2. 叶文芳, 刘健, 曹云祥, 等. 强直性脊柱炎患者心功能、肺功能及骨代谢变化的研究进展[J]. *风湿病与关节炎*, 2014, 3(8): 46-48.
3. 钱邦平, 邱勇, 王斌, 等. 强直性脊柱炎患者胸腰椎应力骨折的临床及影像学特点[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2008, 18(10): 747-751.
4. Schwab F, Blondel B, Chay E, et al. The comprehensive anatomical spinal osteotomy classification [J]. *Neurosurgery*, 2014, 74(1): 112-120.
5. 冯宗贤, 钱邦平, 毛赛虎, 等. 强直性脊柱炎伴胸腰椎后凸畸形腰椎及 S1 椎弓根的解剖特征及临床意义 [J]. *中国骨伤*, 2017, 30(2): 132-136.
6. Fennell VS, Palejwala S, Skoch J, et al. Freehand thoracic pedicle screw technique using a uniform entry point and sagittal trajectory for all levels: preliminary clinical experience [J]. *J Neurosurg Spine*, 2014, 21(5): 778-784.
7. 乔拴杰, 韩西城. 胸椎椎弓根的形态测量及其临床意义[J]. *中国临床解剖学杂志*, 1996, 14(3): 193-195.
8. 史亚民, 柴伟, 侯树勋, 等. 胸椎椎弓根形态测量研究[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2002, 12(3): 191-193.
9. 钱邦平, 邱勇, 王斌, 等. 强直性脊柱炎脊柱骨折的临床特征及治疗策略[J]. *中华医学杂志*, 2007, 87(41): 2893-2898.
10. 王高举, 谢胜荣, 杨进, 等. 老年骨质疏松性椎体压缩骨折和中青年胸腰椎骨折患者椎弓根宽度的 CT 观察[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2016, 26(12): 1076-1081.
11. 郭翔, 罗锐, 张伟, 等. 强直性脊柱炎 X 线表现分析[J]. *中华实用诊断与治疗杂志*, 2013, 27(2): 164-165.
12. Datir SP, Mitra SR. Morphometric study of the thoracic vertebral pedicle in an Indian population [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2004, 29(11): 1174-1181.
13. Lehman RA Jr, Kuklo TR. Use of the anatomic trajectory for thoracic pedicle screw salvage after failure/violation using the straight-forward technique: a biomechanical analysis [J]. *Spine*, 2003, 28(18): 2072-2077.
14. 王岩, 毛克亚, 张永刚, 等. 对徒手置入胸椎椎弓根螺钉的安全性评价[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2006, 16(8): 596-599.
15. 马云兵, 夏云祥, 杨庆秋, 等. 经椎弓根-肋骨结构单元途径置入螺钉安全角度的应用解剖学测量 [J]. *昆明医科大学学报*, 2013, 34(1): 11-14.
16. 韦兴, 侯树勋, 史亚民, 等. 胸椎经"椎弓根-肋骨间"螺钉与椎弓根螺钉固定的抗拔出比较 [J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2006, 16(8): 623-625.
17. 盛红枫, 徐卫星, 卢笛, 等. 上中胸椎经椎弓根-肋骨单元途径置钉的安全性及稳定性研究[J]. *中医正骨*, 2017, 29(2): 1-5.
18. Kim YJ, Lenke LG, Bridwell KH, et al. Free hand pedicle screw placement in the thoracic spine: is it safe [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2004, 29(3): 333-342.
19. Li J, Zhao H, Xie H, et al. A new free-hand pedicle screw placement technique with reference to the supraspinal ligament [J]. *J Biomed Res*, 2014, 28(1): 64-70.

(收稿日期: 2018-09-19 末次修回日期: 2018-11-05)

(英文编审 唐翔宇/贾丹彤)

(本文编辑 卢庆霞)