

# 强直性脊柱炎胸腰椎后凸畸形脊柱-骨盆矢状面影像学参数的研究进展

李耀辉<sup>1</sup>, 卢汪钰<sup>2</sup>, 李明东<sup>2</sup>, 高聪<sup>3</sup>, 马虎升<sup>2</sup>

(1. 河南中医药大学研究生院, 河南 郑州 450046;

2. 河南省洛阳正骨医院/河南省骨科医院, 河南 郑州 450016;

3. 中国人民解放军联勤保障部队第九八九医院, 河南 洛阳 471032)

**摘要** 胸腰椎后凸畸形是强直性脊柱炎(ankylosing spondylitis, AS)晚期的严重并发症, 脊柱-骨盆矢状面影像学参数能够量化 AS 患者的胸腰椎后凸畸形, 对于制定手术方案、评估手术疗效等具有重要意义。本文概述了脊柱-骨盆矢状面的影像学参数, 并从临床特点和临床意义两个方面对 AS 胸腰椎后凸畸形的脊柱-骨盆矢状面影像学参数的研究进展进行了综述, 以期为临床上 AS 胸腰椎后凸畸形的诊治提供参考。

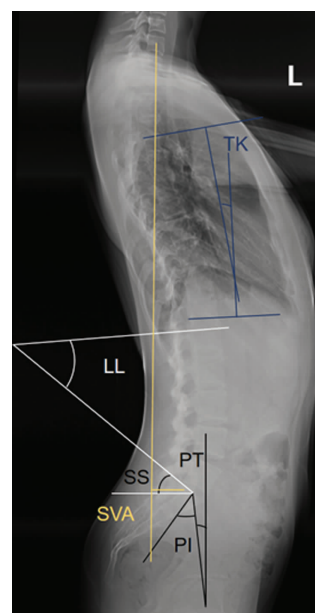
**关键词** 脊柱炎; 强直性; 脊柱后凸; 脊柱; 骨盆; 影像学参数; 综述

胸腰椎后凸畸形是强直性脊柱炎(ankylosing spondylitis, AS)晚期的严重并发症, 会压迫腹腔内脏, 影响消化、呼吸等功能, 严重者可能危及生命<sup>[1-2]</sup>。AS 胸腰椎后凸畸形患者的脊柱-骨盆形态存在明显异常<sup>[3-4]</sup>。脊柱-骨盆矢状面影像学参数能够量化患者脊柱-骨盆的形态异常, 对于制定手术方案、评估手术疗效等具有重要意义<sup>[5-6]</sup>。本文概述了脊柱-骨盆矢状面的影像学参数, 并从临床特点和临床意义两个方面对 AS 胸腰椎后凸畸形的脊柱-骨盆矢状面影像学参数的研究进展进行了综述, 以期为临床上 AS 胸腰椎后凸畸形的诊治提供参考。

## 1 脊柱-骨盆矢状面影像学参数概述

目前, 临床上常用的脊柱-骨盆矢状面影像学参数有骨盆入射角(pelvic incidence, PI)、骨盆倾斜角(pelvic tilt, PT)、骶骨倾斜角(sacral slope, SS)、腰椎前凸角(lumbar lordosis, LL)、PI-LL 匹配度、胸椎后凸角(thoracic kyphosis, TK)、矢状面轴向距离(sagittal vertical axis, SVA)等。PI 为两股骨头中心连线中点和 S<sub>1</sub> 上终板中点的连线与 S<sub>1</sub> 上终板垂线的夹角; PT 是两股骨头中心连线中点和 S<sub>1</sub> 上终板中点的连线与铅垂线的夹角; SS 是 S<sub>1</sub> 上终板与水平线的夹角; LL 是 L<sub>1</sub> 上终板延长线与 S<sub>1</sub> 上终板延长线之间的夹角; PI-LL 匹配度是 PI 与 LL 的差值; TK 是 T<sub>4</sub> 上终板的垂线与 T<sub>12</sub> 下终板的垂线的夹角; SVA 是 S<sub>1</sub> 后上缘到

经 C<sub>7</sub> 椎体中心的铅垂线的距离(S<sub>1</sub> 后上缘位于经 C<sub>7</sub> 椎体中心铅垂线的前方, SVA 为正值, 反之则为负值)。脊柱-骨盆矢状面影像学参数测量示意图见图 1。



PI 为骨盆入射角, PT 为骨盆倾斜角, SS 为骶骨倾斜角, LL 为腰椎前凸角, TK 为胸椎后凸角, SVA 为矢状面轴向距离。

图 1 脊柱-骨盆矢状面影像学参数测量示意图

我国健康成年人的 PI、PT、SS、LL、TK、SVA 依次为  $46.4^{\circ} \pm 9.6^{\circ}$ 、 $9.4^{\circ} \pm 6.8^{\circ}$ 、 $37.2^{\circ} \pm 7.6^{\circ}$ 、 $50.6^{\circ} \pm 10.6^{\circ}$ 、 $24.2^{\circ} \pm 9^{\circ}$ 、 $(17.24 \pm 32.36) \text{ mm}$ <sup>[7]</sup>。PI 不受骨盆旋转及站立姿势变化影响, 是骨盆的解剖参数, 与患者年龄、性别和种族等因素具有相关性<sup>[8-9]</sup>。SS 是

骨盆的姿势参数,PT 和 SS 随着姿势的变化而变化,但 PT 与 SS 的和始终等于 PI。Vialle 等<sup>[10]</sup>研究发现,LL 与 SS 呈正相关。PI-LL 匹配度是能够反映脊柱与骨盆匹配程度的参数;PI 是相对固定的解剖参数,因此 LL 是影响 PI-LL 匹配度的关键因素<sup>[11]</sup>。SVA 能够反映脊柱-骨盆矢状面的失衡程度,且 SVA 与 AS 胸腰椎后凸畸形患者术后生活质量密切相关<sup>[12]</sup>。Lafage 等<sup>[13]</sup>提出,矫正 SVA 是成人脊柱畸形矫形术的首要目标;此外,由于 SVA 受年龄的影响较大,在脊柱畸形矫形术中矫正 SVA 应考虑患者的年龄因素。

## 2 AS 胸腰椎后凸畸形脊柱-骨盆矢状面影像学参数的临床特点

脊柱-骨盆矢状面的正常曲度是维持正常站立、行走的基础。由于脊柱炎症导致脊柱结构损伤,AS 晚期患者会出现胸腰椎后凸畸形,导致脊柱-骨盆矢状面失衡。Debarge 等<sup>[3]</sup>比较了 28 例 AS 胸腰椎后凸畸形患者和 154 名健康志愿者的脊柱-骨盆矢状面影像学参数,结果显示,AS 胸腰椎后凸畸形患者的 PI、PT 均大于健康志愿者,SS 小于健康志愿者,且 PI 与胸腰椎后凸畸形的程度呈正相关;认为 PI 过大会增加脊柱截骨矫形手术的难度。Song 等<sup>[14]</sup>比较了 94 例 AS 胸腰椎后凸畸形患者和 30 例健康成年人的脊柱-骨盆矢状面影像学参数,结果显示,AS 胸腰椎后凸畸形患者的 PI、PT、TK、SVA 均大于健康成年人,SS、LL 均小于健康成年人。上述结果提示,PI 和 SVA 能够作为评估 AS 患者胸腰椎后凸畸形的重要指标。张乐等<sup>[15]</sup>比较了 50 例 AS 患者和 50 例健康成年人的脊柱-骨盆矢状面影像学参数,结果显示,AS 患者 PT、TK、SVA 大于健康成年人,LL、PI、SS 小于健康成年人。

AS 胸腰椎后凸畸形与退行性胸腰椎后凸畸形的脊柱-骨盆矢状面影像学参数存在显著差异。Sato 等<sup>[16]</sup>比较了 50 例 AS 胸腰椎后凸畸形患者和 30 例退行性胸腰椎后凸畸形患者的脊柱-骨盆矢状面影像学参数,结果显示,对于 SVA 相同的患者,AS 胸腰椎后凸畸形患者的 PT 小于退行性胸腰椎后凸畸形患者,TK 大于退行性胸腰椎后凸畸形患者。AS 胸腰椎后凸畸形多见于青年男性患者,退行性腰椎后凸畸形则以老年女性患者居多<sup>[17]</sup>。Oe 等<sup>[18]</sup>分析了 656 名老年人的脊柱-骨盆影像学参数,结果显示,在老年人群中,女性的 PT 大于男性。因此,性别因素可能是 AS 胸腰椎后凸畸形患者的 PT 小于退行性胸腰椎后

凸畸形患者的原因之一。此外,PT 代表了骨盆对胸腰椎后凸畸形的代偿能力,而 AS 胸腰椎后凸畸形患者更多的通过膝关节屈曲和踝关节跖屈代偿胸腰椎后凸畸形<sup>[19]</sup>。这也可能是 AS 胸腰椎后凸畸形患者的 PT 小于退行性胸腰椎后凸畸形患者的原因。然而,对于 AS 胸腰椎后凸畸形患者的 TK 大于退行性腰椎后凸畸形患者的原因,目前尚无相关研究。

## 3 AS 胸腰椎后凸畸形脊柱-骨盆矢状面影像学参数的临床意义

### 3.1 辅助制定手术方案

合并严重胸腰椎后凸畸形的 AS 患者,常需要行脊柱截骨矫形手术<sup>[20-21]</sup>。脊柱截骨矫形手术能够矫正脊柱-骨盆矢状面失衡,恢复身体直立、平视等功能,解除胸腹腔器官压迫,提高生活质量<sup>[22]</sup>。脊柱-骨盆矢状面影像学参数能够用于个体化脊柱截骨矫形手术方案的制定<sup>[23]</sup>。Luo 等<sup>[24]</sup>构建了基于脊柱-骨盆矢状面影像学参数的 AS 胸腰椎后凸畸形矫正预测模型,通过录入患者的脊柱-骨盆矢状面影像学参数和基本信息,能够对胸腰椎后凸畸形的矫正情况进行预测。Van Royen 等<sup>[25]</sup>研发了一款基于脊柱-骨盆矢状面影像学参数预测脊柱截骨矫形手术效果的软件(ASKyphoplan),该软件能够为手术方案的制定提供参考。张博等<sup>[26]</sup>在脊柱截骨矫形手术前,利用 Surgimap Spine 软件对术后的脊柱-骨盆影像学参数进行模拟,并以模拟结果为依据制定了 16 例 AS 胸腰椎后凸畸形患者的矫形手术方案,手术结果显示所有患者均获得满意的疗效;认为基于计算机模拟软件和脊柱-骨盆矢状面影像学参数的矫形效果模拟能够为手术方案的制定提供一定的参考,进而优化手术方案、提高手术疗效。

### 3.2 辅助评估手术疗效

临床上可以通过脊柱-骨盆矢状面影像学参数定量评价矫形手术的效果。目前,椎弓根椎体截骨术(pedicle subtraction osteotomy, PSO)是临床上广泛使用的脊柱截骨矫形术,能够有效矫正 AS 胸腰椎后凸畸形,重建脊柱-骨盆矢状面平衡<sup>[27]</sup>。乔木等<sup>[28]</sup>回顾性分析了 39 例采用 PSO 治疗的 AS 胸腰椎后凸畸形患者的病例资料,患者 LL 由术前  $19.32^{\circ} \pm 19.99^{\circ}$  增大到术后  $51.62^{\circ} \pm 16.08^{\circ}$ ,SVA 由术前  $(120.77 \pm 48.34)$  mm 减小到术后  $(26.56 \pm 41.12)$  mm。Li 等<sup>[29]</sup>纳入了 229 例行 PSO 的 AS 胸腰椎后凸畸形患

者,患者 PT 由术前  $37.8^{\circ} \pm 9.8^{\circ}$  减小至术后  $22.1^{\circ} \pm 7.0^{\circ}$ , SS 由术前  $3.6^{\circ} \pm 10.4^{\circ}$  增加到术后  $19.7^{\circ} \pm 9.5^{\circ}$ , SVA 由术前  $(15.8 \pm 5.6)$  cm 减小到术后  $(5.2 \pm 6.5)$  cm,且患者生活质量显著提高。罗建周等<sup>[30]</sup>回顾性分析了 85 例采用脊柱截骨矫形手术治疗的 AS 胸腰椎后凸畸形患者的病例资料,通过比较患者术后及末次随访时的脊柱-骨盆矢状面影像学参数发现,矫形术后 PI-LL 匹配度  $\leq 10.5^{\circ}$  的患者末次随访时 PT、SVA 小于矫形术后 PI-LL 匹配度  $> 10.5^{\circ}$  患者;提示 PI-LL 匹配度较小能够预防术后脊柱后凸畸形再发生。Lv 等<sup>[31]</sup>回顾性分析了采用不同 PSO 治疗的 AS 胸腰椎后凸畸形患者的病例资料,其中 24 例采用 1 节段 PSO、19 例采用 2 节段 PSO、11 例采用 3 节段 PSO,结果显示,多节段 PSO 能够增加 SVA 的矫正值,但同时也会增加手术时间和术中出血量。Luan 等<sup>[32]</sup>采用 Meta 分析系统评价了脊柱去松质骨截骨术 (vertebral column decancellation, VCD) 和 PSO 治疗 AS 胸腰椎后凸畸形的脊柱-骨盆矢状面影像学参数的改变情况,结果显示采用 VCD 治疗的 AS 胸腰椎后凸畸形患者的 SVA 变化较采用 PSO 治疗的更显著,且 VCD 术中出血量更少。不同术式恢复脊柱-骨盆矢状面平衡的效果不同,临床上应考虑患者的年龄、凝血功能和耐受程度等因素,选择合适的矫正手术,制定最佳的手术方案,以获得满意的疗效。

#### 4 小 结

临床上常用的脊柱-骨盆矢状面影像学参数有 PI、PT、SS、LL、PI-LL 匹配度、TK、SVA 等。AS 胸腰椎后凸畸形患者的脊柱-骨盆矢状面影像学参数与健康成年人有显著差异,其中 PI 和 SVA 是评估 AS 患者胸腰椎后凸畸形的重要指标。AS 胸腰椎后凸畸形与退行性胸腰椎后凸畸形的脊柱-骨盆矢状面影像学参数存在差异,主要体现在 PT 和 TK 的改变上。AS 胸腰椎后凸畸形的脊柱-骨盆矢状面影像学参数能够用于辅助制定手术方案和评估手术疗效。通过基于脊柱-骨盆矢状面影像学参数的数学模型或计算机软件评估预后、制定手术方案,对于提高手术疗效具有重要作用,可能是未来发展的重要方向。

#### 参考文献

[1] 吴林飞,钱邦平,鲍虹达,等. 强直性脊柱炎胸腰椎后凸畸形患者不同体位下主动脉相对椎体位置变化的 MRI 观察[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2023, 33(8): 682-690.

[2] 吴正楠,钱邦平,黄季晨,等. 后路经椎弓根截骨矫形术治疗合并食管裂孔疝的强直性脊柱炎胸腰椎后凸畸形的疗效评估[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2022, 32(1): 28-33.

[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] QIAN B P, 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.

[5] KAWAHARA N, TOMITA K, BABA H, et al. Closing-opening wedge osteotomy to correct angular kyphotic deformity by a single posterior approach[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2001, 26(4): 391-402.

[6] QIAN B P, WANG X H, QIU Y, et al. The influence of closing-opening wedge osteotomy on sagittal balance in thoracolumbar kyphosis secondary to ankylosing spondylitis: a comparison with closing wedge osteotomy[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2012, 37(16): 1415-1423.

[7] HU P, YU M, SUN Z, et al. Analysis of global sagittal postural patterns in asymptomatic Chinese adults[J]. Asian Spine J, 2016, 10(2): 282-288.

[8] ZHOU S, XU F, WANG W, et al. Age-based normal sagittal alignment in Chinese asymptomatic adults: establishment of the relationships between pelvic incidence and other parameters[J]. Eur Spine J, 2020, 29(3): 396-404.

[9] OUCHIDA J, NAKASHIMA H, KANEMURA T, et al. Racial differences in whole-body sagittal alignment between Asians and Caucasians based on international multicenter data[J]. Eur Spine J, 2023, 32(10): 3608-3615.

[10] VIALLE R, LEVASSOR N, RILLARDON L, et al. Radiographic analysis of the sagittal alignment and balance of the spine in asymptomatic subjects[J]. J Bone Joint Surg Am, 2005, 87(2): 260-267.

[11] GUO J, XIE D, ZHANG J, et al. Characteristics of the paravertebral muscle in adult degenerative scoliosis with PI-LL match or mismatch and risk factors for PI-LL mismatch[J]. Front Surg, 2023, 10: 1111024.

[12] LIU C, ZHU W, LI Y, et al. How does cervical sagittal profile change after the spontaneous compensation of global sagittal imbalance following one-or two-level lumbar fusion[J]. BMC Musculoskelet Disord, 2024, 25(1): 387.

[13] LAFAGE R, SCHWAB F, CHALLIER V, et al. Defining spi-

- no-pelvic alignment thresholds; should operative goals in adult spinal deformity surgery account for age? [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2016, 41(1): 62 – 68.
- [14] SONG D, ZHENG G, WANG T, et al. Increasing pelvic incidence is associated with more global sagittal imbalance in ankylosing spondylitis with thoracolumbar kyphosis; an observational retrospective study of 94 cases [J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2020, 21(1): 192.
- [15] 张乐, 潘彬, 郑欣, 等. 强直性脊柱炎患者矢状面脊柱骨盆参数与生活质量的相关性研究 [J]. *中国骨与关节损伤杂志*, 2020, 35(11): 1136 – 1139.
- [16] SATO T, YONEZAWA I, INOUE H, et al. Relationship between characteristics of spinopelvic alignment and quality of life in Japanese patients with ankylosing spondylitis: a cross-sectional study [J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2020, 21(1): 41.
- [17] KATZMAN W B, PARIMI N, GLADIN A, et al. Sex differences in response to targeted kyphosis specific exercise and posture training in community-dwelling older adults: a randomized controlled trial [J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2017, 18(1): 509.
- [18] OE S, TOGAWA D, NAKAI K, et al. The influence of age and sex on cervical spinal alignment among volunteers aged over 50 [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2015, 40(19): 1487 – 1494.
- [19] BOT S D, CASPERS M, VAN ROYEN B J, et al. Biomechanical analysis of posture in patients with spinal kyphosis due to ankylosing spondylitis: a pilot study [J]. *Rheumatology (Oxford)*, 1999, 38(5): 441 – 443.
- [20] LUAN H, LIU K, KAHAER A, et al. Pedicle subtraction osteotomy for the corrective surgery of ankylosing spondylitis with thoracolumbar kyphosis: experience with 38 patients [J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2022, 23(1): 731.
- [21] YANG C, ZENG Z, YAN H, et al. Application of vertebral body compression osteotomy in pedicle subtraction osteotomy on ankylosing spondylitis kyphosis: finite element analysis and retrospective study [J]. *Front Endocrinol (Lausanne)*, 2023, 14: 1131880.
- [22] ZHANG W, YIN W, CUI X, et al. Operative strategies for ankylosing spondylitis-related thoracolumbar kyphosis; focus on the cervical stiffness, coronal imbalance and hip involvement [J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2023, 24(1): 723.
- [23] MONTANARI S, GRIFFONI C, CRISTOFOLINI L, et al. Correlation between sagittal balance and mechanical distal junctional failure in degenerative pathology of the spine: a retrospective analysis [J]. *Global Spine J*, 2023: 21925682231195954.
- [24] LUO J, YANG Z, DUAN C, et al. Prediction formulae of sagittal alignment in thoracolumbar kyphosis secondary to ankylosing spondylitis after osteotomy [J]. *Sci Rep*, 2023, 13(1): 7747.
- [25] VAN ROYEN B J, DE GAST A, SMIT T H. Deformity planning for sagittal plane corrective osteotomies of the spine in ankylosing spondylitis [J]. *Eur Spine J*, 2000, 9(6): 492 – 498.
- [26] 张博, 杨光, 吕东波, 等. 术前应用 Surgimap Spine 辅助设计截骨矫形治疗强直性脊柱炎胸腰椎后凸畸形的临床疗效 [J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2022, 32(4): 297 – 304.
- [27] QIAO M, QIAN B P, QIU Y, et al. Coronal deformity in ankylosing spondylitis with concomitant thoracolumbar kyphosis: patterns, manifestations and surgical strategies [J]. *Eur Spine J*, 2024, 33(8): 2935 – 2951.
- [28] 乔木, 钱邦平, 邱勇, 等. 顶椎远端截骨治疗强直性脊柱炎胸腰椎后凸畸形 [J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2019, 29(10): 868 – 874.
- [29] LI X, KIM Y C, KIM S M, et al. Determining the vertebra for pedicle subtraction osteotomy in surgical correction for ankylosing spondylitis with thoracolumbar kyphosis [J]. *J Neurosurg Spine*, 2024, 41(3): 325 – 331.
- [30] 罗建周, 吴太林, 杨子立, 等. 骨盆入射角与腰椎前凸角匹配度对强直性脊柱炎后凸畸形矫形术后矢状面平衡的影响 [J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2022, 32(7): 577 – 585.
- [31] LV X, NUERTAI Y, WANG Q, et al. Multilevel pedicle subtraction osteotomy for correction of thoracolumbar kyphosis in ankylosing spondylitis: clinical effect and biomechanical evaluation [J]. *Neurospine*, 2024, 21(1): 231 – 243.
- [32] LUAN H, PENG C, LIU K, et al. Comparison of pedicle subtraction osteotomy and vertebral column decancellation for the correction of thoracolumbar kyphotic deformity in ankylosing spondylitis: a systematic review and meta-analysis [J]. *J Neurosurg Spine*, 2023, 39(3): 370 – 379.

(收稿日期: 2024-06-16 本文编辑: 吕宁)