

DOI: 10.16781/j.CN31-2187/R.20240805

· 规范与共识 ·

## 青少年特发性脊柱侧凸诊疗专家共识

白玉树<sup>1△</sup>, 陈 锴<sup>1△</sup>, 邵 杰<sup>1</sup>, 翟 骁<sup>1</sup>, 陈 铭<sup>2</sup>, 李危石<sup>3</sup>, 许建中<sup>4</sup>, 钱邦平<sup>5</sup>, 朱泽章<sup>5</sup>, 朱 锋<sup>5</sup>, 李淳德<sup>6</sup>, 仇建国<sup>7</sup>, 沈建雄<sup>7</sup>, 郝定均<sup>8</sup>, 朱晓东<sup>9</sup>, 杨军林<sup>10</sup>, 张学军<sup>11</sup>, 张雪松<sup>2</sup>, 张方迺<sup>12</sup>, 王其杰<sup>13</sup>, 张文智<sup>14</sup>, 海 涌<sup>15</sup>, 赵建华<sup>16</sup>, 邱 勇<sup>5</sup>, 王 岩<sup>2</sup>, 邱贵兴<sup>7</sup>, 李 明<sup>1\*</sup>

1. 海军军医大学(第二军医大学)第一附属医院脊柱外科, 上海 200433
2. 中国人民解放军总医院骨科, 北京 100853
3. 北京大学第三医院骨科, 北京 100191
4. 陆军军医大学西南医院骨科, 重庆 400038
5. 南京大学医学院附属鼓楼医院脊柱外科, 南京 210008
6. 北京大学第一医院骨科, 北京 100433
7. 北京协和医院骨科, 北京 100730
8. 西安交通大学医学院附属红会医院脊柱外科, 西安 710054
9. 复旦大学附属华山医院骨科, 上海 200050
10. 上海交通大学医学院附属新华医院小儿骨科, 上海 200092
11. 首都医科大学附属北京儿童医院骨科, 北京 100045
12. 美国华盛顿州立大学附属港景医院骨科, 西雅图 98109
13. 新加坡国立大学医院骨科, 新加坡 117597
14. 香港大学矫形及创伤外科学系, 香港 999077
15. 首都医科大学附属北京朝阳医院骨科, 北京 100020
16. 陆军军医大学陆军特色医学中心(大坪医院)脊柱外科, 重庆 400042

【摘要】 青少年特发性脊柱侧凸(AIS)是一种涉及冠状面、矢状面和轴状面的复杂三维畸形,其发病率不容忽视。随着技术的发展和研究的深入,越来越多的医院和医师开始探索 AIS 的规范化诊疗。对于 AIS,从病因学、筛查与诊断、分型、评估与检查,到治疗方法的选择、热点问题的探讨及生活质量的评估,都需要全面而深入的认识,从而确保诊疗过程科学、规范、及时。基于循证医学的原则,经多位脊柱外科专家多次讨论,达成了关于 AIS 诊疗的共识,旨在为临床工作提供参考与指导。

【关键词】 青少年特发性脊柱侧凸; 诊断; 治疗; 筛查; 手术规划; 生活质量

【引用本文】 白玉树,陈锴,邵杰,等.青少年特发性脊柱侧凸诊疗专家共识[J].海军军医大学学报,2025,46(3): 291-300. DOI: 10.16781/j.CN31-2187/R.20240805.

### Consensus on diagnosis and treatment of adolescent idiopathic scoliosis

BAI Yushu<sup>1△</sup>, CHEN Kai<sup>1△</sup>, SHAO Jie<sup>1</sup>, ZHAI Xiao<sup>1</sup>, CHEN Ming<sup>2</sup>, LI Weishi<sup>3</sup>, XU Jianzhong<sup>4</sup>, QIAN Bangping<sup>5</sup>, ZHU Zezhang<sup>5</sup>, ZHU Feng<sup>5</sup>, LI Chunde<sup>6</sup>, ZHANG Jianguo<sup>7</sup>, SHEN Jianxiong<sup>7</sup>, HAO Dingjun<sup>8</sup>, ZHU Xiaodong<sup>9</sup>, YANG Junlin<sup>10</sup>, ZHANG Xuejun<sup>11</sup>, ZHANG Xuesong<sup>2</sup>, ZHANG Fangyi<sup>12</sup>, WANG Qijie<sup>13</sup>, ZHANG Wenzhi<sup>14</sup>, HAI Yong<sup>15</sup>, ZHAO Jianhua<sup>16</sup>, QIU Yong<sup>5</sup>, WANG Yan<sup>2</sup>, QIU Guixing<sup>7</sup>, LI Ming<sup>1\*</sup>

1. Department of Spinal Surgery, The First Affiliated Hospital of Naval Medical University (Second Military Medical University), Shanghai 200433, China
2. Department of Orthopedics, Chinese PLA General Hospital, Beijing 100853, China
3. Department of Orthopedics, Peking University Third Hospital, Beijing 100191, China

【收稿日期】 2024-11-29

【接受日期】 2025-01-07

【基金项目】 海军军医大学(第二军医大学)第一附属医院科普创新创优专项资助计划(chkppy011). Supported by Science Popularization Innovation and Excellence Support Program of The First Affiliated Hospital of Naval Medical University (Second Military Medical University) (chkppy011).

【作者简介】 白玉树,博士,副主任医师. E-mail: spinebaiys@163.com; 陈 锴,硕士,主治医师. E-mail: spine\_kai@smmu.edu.cn

<sup>△</sup>共同第一作者( Co-first authors ).

<sup>\*</sup>通信作者( Corresponding author ). Tel: 021-81871700, E-mail: limingspine0103@126.com

4. Department of Orthopedics, Southwest Hospital, Army Medical University, Chongqing 400038, China
5. Department of Spinal Surgery, Nanjing Drum Tower Hospital, The Affiliated Hospital of Nanjing University Medical School, Nanjing 210008, Jiangsu, China
6. Department of Orthopedics, Peking University First Hospital, Beijing 100433, China
7. Department of Orthopedics, Peking Union Medical College Hospital, Beijing 100730, China
8. Department of Spinal Surgery, Honghui Hospital Affiliated to Xi'an Jiaotong University School of Medicine, Xi'an 710054, Shaanxi, China
9. Department of Orthopedics, Huashan Hospital, Fudan University, Shanghai 200050, China
10. Department of Orthopedics, Xinhua Hospital Affiliated to Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200092, China
11. Department of Pediatric Orthopedics, Beijing Children's Hospital, Capital Medical University, Beijing 100045, China
12. Department of Orthopedics, Harbor View Hospital, Washington State University, Seattle 98109, USA
13. Department of Orthopedics, National University Hospital, Singapore 117597, Singapore
14. Department of Orthopedics and Traumatology, The University of Hong Kong, Hong Kong 999077, China
15. Department of Orthopedics, Beijing Chao-yang Hospital, Capital Medical University, Beijing 100020, China
16. Department of Spinal Surgery, Army Special Medical Center (Daping Hospital), Army Medical University, Chongqing 400042, China

**[ Abstract ]** Adolescent idiopathic scoliosis (AIS) is a complex three-dimensional deformity involving coronal, sagittal, and axial planes, with a prevalence that should not be overlooked. With advancements in technology and in-depth research, an increasing number of hospitals and physicians are exploring standardized diagnostic and treatment approaches for AIS. Comprehensive and in-depth understanding is required for AIS, including its etiology, screening and diagnosis, classification, assessment and examination, treatment options, exploration of current focus, and evaluation of quality of life. Such understanding ensures that the diagnostic and treatment are scientific, standardized, and timely. Based on the principles of evidence-based medicine, a consensus on the diagnosis and treatment of AIS is reached after multiple discussions among spinal surgery experts, aiming to provide reference and guidance for clinical practice.

**[ Key words ]** adolescent idiopathic scoliosis; diagnosis; treatment; screening; surgery planning; quality of life

**[ Citation ]** BAI Y, CHEN K, SHAO J, et al. Consensus on diagnosis and treatment of adolescent idiopathic scoliosis[J]. Acad J Naval Med Univ, 2025, 46(3): 291-300. DOI: 10.16781/j.cn31-2187/R.20240805.

青少年特发性脊柱侧凸 (adolescent idiopathic scoliosis, AIS) 通常指 10~18 岁青春发育期的青少年脊柱冠状面出现的超过  $10^\circ$  的弯曲<sup>[1]</sup>。AIS 是涉及冠状面、矢状面和轴状面的三维畸形,与先天性、神经肌肉型等脊柱侧凸相比,其病因尚不明确。随着研究的深入,学者们提出 AIS 在时间维度<sup>[2]</sup>、生活质量评价维度<sup>[3]</sup>及体相维度<sup>[4]</sup>也需引起更多人的注意。近年来,人工智能和深度学习的应用也正为 AIS 的诊疗带来变革<sup>[5-6]</sup>。现邀请多位脊柱畸形研究领域的专家进行深入讨论,基于循证医学证据及临床经验,对 AIS 的诊疗热点问题达成共识,以供临床参考。

## 1 AIS 的流行病学特征

AIS 的全球患病率为 1%~3%<sup>[7]</sup>,中国大陆 AIS 的患病率约为 1.20%<sup>[8]</sup>。在 AIS 患者中,男女

比例为 1 : (1.5~11),表明女性有更高的 AIS 发病风险<sup>[9]</sup>。

## 2 AIS 的病因

AIS 发病可能与基因遗传、中枢神经系统异常、生物力学、代谢通路、脊髓发育及骨代谢等因素有关<sup>[10]</sup>,但具体病因尚未有明确定论。Andersen 等<sup>[11]</sup>的研究表明,同卵双胞胎中 AIS 发病一致率为 73%~92%,而异卵双胞胎的一致率为 36%~63%,提示基因遗传是 AIS 发病的重要原因之一。Meng 等<sup>[12]</sup>通过对同卵双胞胎进行基因组及全外显子测序,发现 DNA 甲基化在预测 AIS 患者曲度进展方面具有显著价值。此外,大量研究还表明 AIS 的发生与生长发育不平衡<sup>[13]</sup>、激素(包括雌激素<sup>[14]</sup>、褪黑素<sup>[15]</sup>、钙调蛋白<sup>[16]</sup>等)分泌异常、结缔组织特异性<sup>[17]</sup>及中枢神经系统异常<sup>[18]</sup>有

关。尽管如此, AIS 的具体机制尚未完全明确, 病因学研究仍缺乏准确性和系统性, 需要进一步深入探索。

### 3 AIS 的筛查与诊断

由于青少年正处于快速生长发育期, 脊柱侧凸易加重, 对 AIS 患者而言早发现、早诊断、早干预至关重要。早期发现并及时采取非手术治疗, 能够有效减轻脊柱侧凸的严重程度, 预防或减少功能性残障的发生。对于符合手术指征的 AIS 患者, 早期筛查可以帮助患者及家属正确认识 AIS, 尽早选择合适的手术方案, 避免严重并发症(如肺功能下降、外观严重畸形等)的发生。

目前, 全球范围内主要的 AIS 筛查方法有前弯试验(forward bending test, FBT)、脊柱测量仪检查、莫尔图像法和驼峰图等<sup>[19]</sup>。由于不同筛查方法在灵敏度和操作便捷性方面存在较大差异, 脊柱侧凸研究学会(Scoliosis Research Society, SRS)建议将 FBT(受试者从腰部向前弯曲, 直到脊柱与水平面平行, 检查者通过观察背部判断是否存在脊柱不对称)作为必备的筛查手段, 并认为结合脊柱测量仪(一种手持式非侵入性设备, 可在前屈测试时放置于患者背部, 用于测量轴向躯干旋转)是 AIS 筛查的最佳方法<sup>[7]</sup>。为减少 X 线对青少年健康的影响, 初步筛查阳性的患者应在通过初级保健机构的二级评估后, 才建议前往专科机构进行进一步诊疗<sup>[20]</sup>。与此同时, AIS 诊断的金标准是在脊柱全长正位 X 线片冠状面上发现脊柱有超过 10° 以上的弯曲, 测量可采用 Cobb 角法(X 线片上脊柱侧凸区域的最上端椎体上终板和最下端椎体下终板之间的夹角)<sup>[21]</sup>。此外, 人工智能的出现及深度学习的发展为 AIS 的筛查与诊断提供了极大的便捷<sup>[22-24]</sup>, 尤其提高了筛查效率与精度。

### 4 AIS 的分型

研究 AIS 分型有助于脊柱外科医师理解 AIS 及进行手术规划, 并能有效预测患者的预后。1983 年 King 等<sup>[25]</sup>依据顶椎位置、侧凸严重程度和脊柱柔韧性等特征, 以胸弯为主体将特发性脊柱侧凸分为 5 型, King 分型确立后一度成为研究特发性脊柱侧凸的金标准。而在 2001 年, Lenke 等<sup>[26]</sup>提出

了沿用至今的 Lenke 分型, 该分型囊括了侧凸类型(1~6)、腰弯修正(A、B、C)和矢状面胸弯修正(-、N、+), 还考虑到 AIS 患者在矢状面上的形态并结合侧屈位 X 线片所见, 给出了结构性弯与非结构性弯的定义, 真正明确 AIS 是一种三维畸形。2003 年, 邱贵兴等<sup>[27]</sup>提出了协和分型(PUMC 分型), 该分型依据侧凸顶点的数量将 AIS 分为 I~III 型, 结合畸形的特点及柔韧性分为 13 个亚型, 并针对每个亚型制定了具体的手术入路和融合范围。2011 年, Suk<sup>[28]</sup>完善了后路全椎弓根螺钉固定技术的矫形策略, 将结构性弯分为单胸弯、双胸弯、双主弯和胸腰弯/腰弯, 并结合远端中立椎与端椎的关系、侧屈位上 L<sub>3</sub> 椎体与骶骨中垂线的关系及其旋转度, 协助确定下固定椎及是否采用直接椎体去旋转技术。2019 年, Zhuang 等<sup>[29]</sup>针对原有 PUMC 分型 II C 亚型中难以辨识、记忆及强调近胸弯对于术前规划和术后双肩平衡有重要意义的 2 个方面进行了改良。随着影像学的发展及 3D 技术的革新, 2019 年, Post 等<sup>[30]</sup>根据 EOS® 影像系统针对 AIS 矢状面提出了新型 AIS 矢状面分型, 该分型根据矢状结构曲线的位置描述了 3 种矢状类型, 共有 4 个亚型, 弥补了二维影像信息不足的缺陷。不同医院及医师需结合现有影像技术手段对 AIS 患者进行全面评估, 以便采取适合的治疗方案。

### 5 AIS 的评估与检查

AIS 的诊断需首先排除任何非特发性病因, 并评估侧凸是否会进展及可能出现的长期并发症。因此, 病史采集应包括患者的年龄、出生史、家族史、生理成熟度(如初潮情况)、侧凸发展史及是否伴随疼痛等。除常规的神经系统检查、体格检查外, 还应结合整体姿态, 以评估脊柱弯曲类型、双肩高度、腰部不对称性和骨盆倾斜度等。肋骨旋转畸形可通过 FBT 进行评估。此外, 若发现脊柱中轴皮肤异常、脊柱裂、脑膜脊髓膨出或牛奶咖啡斑(提示神经纤维瘤病), 应考虑非特发性脊柱侧凸的可能性。足畸形可能提示潜在的神经轴异常, 而腹部反射不对称提示需进一步进行 MRI 检查以排除脊髓空洞症。其他危险信号包括剧烈的夜间疼痛、不适性僵硬、快速进展的侧凸、骨骼成熟后侧凸的持续恶化及异常的神经系统表现。

对于 AIS, 需要进行详细的影像学检查, 包括全脊柱 X 线片、双下肢 X 线片、全脊柱三维 CT 和全脊柱 MRI 等。全脊柱 X 线片, 包括标准站立位的后前位和侧位 X 线片 (涵盖颈椎及骨盆), 是初步筛查的基础手段。EOS<sup>®</sup> 影像系统的出现为 AIS 提供了更为有力的检查手段。全脊柱三维 CT 现已广泛应用<sup>[31]</sup>, 对于某些复杂病例结合 3D 打印技术有助于进行 AIS 分类、术前规划及病情进展监测。颈、胸、腰段 MRI 可用于排除 Chiari 畸形、脊髓空洞症、肿瘤、神经纤维瘤病和脊髓栓系综合征等潜在神经系统病变。肺功能评估能够了解脊柱侧凸对患者呼吸功能的影响。骨骼成熟度及脊柱柔韧性的评估对于制定个体化的矫形手术方案至关重要。

**5.1 骨骼成熟度** 骨骼成熟度是评估 AIS 患者脊柱侧凸进展的一个关键因素, 直接影响治疗决策、治疗效果及预后评估。在青少年时期, 脊柱的生长和发育是一个动态过程, 骨骼成熟度可以反映脊柱的生长潜力。目前评估骨骼成熟度的常用方法是通过 Risser 征来评估青少年的生长潜力。Risser 征是将人类骨盆钙化程度作为标准来衡量骨骼成熟度的一种方式, 共分为 6 级: 0 级是指骨盆尚未钙化; I ~ V 级表示 X 线片上骨盆骨化的程度, V 级指示骨盆已发育成熟<sup>[32]</sup>。在所有情况下, 女性脊柱侧凸进展的风险约是男性的 10 倍。骨骼生长速度最快的时期称为峰值速度年龄 (peak height velocity, PHV), 它是预测脊柱侧凸发展的重要因素。在女性中, PHV 发生在 Risser 征 I 级之前及月经初潮之前 (女孩通常在初潮后 1.5 年达到骨骼成熟)<sup>[33]</sup>。患者若达到 PHV 前的脊柱侧凸 Cobb 角大于 30°, 则很可能需要手术<sup>[34]</sup>。

此外, 还有其他分类方法或系统可用于评估骨骼成熟度。Y 三角软骨骨化程度是早期预测 AIS 进展的重要参数, 其骨化多始于 Risser 征 0 级, 与 PHV 关系更为密切<sup>[35]</sup>。Tanner-Whitehouse III 评分系统是根据桡骨远端、尺骨远端、掌骨及腕骨骨骺闭合情况对骨骼成熟度进行评估<sup>[36]</sup>。简化的 Sanders 骨骼成熟度分期系统基于手部小长骨骨骺的渐进生长和融合情况, 确定了从骨骼发育到成熟的 8 个发展阶段<sup>[37]</sup>。

**5.2 脊柱柔韧性** AIS 柔韧性检查在评估脊柱侧凸的可矫正性、选择治疗方案、预测病情进展、评估治疗效果和预后及个体化治疗等方面具有重要意

义。通过这一检查, 医师能够更全面地了解脊柱的柔韧性和矫正潜力, 从而为患者提供最佳的治疗方案和管理策略。目前, 脊柱柔韧性的评估主要基于影像学检查, 通过让患者变换体位拍摄 X 线片进行柔韧性评估, 主要方法有仰卧侧屈位法、仰卧推压法、支点侧屈位法、牵引法、牵引推压法等。

仰卧侧屈位法应用最多, 是在仰卧位下患者自主向左侧或右侧进行躯干最大程度弯曲后拍摄 X 线片以评估脊柱柔韧性的方法, 脊柱柔韧性通过 (站立位 Cobb 角 - 侧屈位 Cobb 角) / 站立位 Cobb 角计算获得。仰卧推压法是指由 2 名医师分别在患者主弯顶椎及凹侧腋窝和骨盆处施加适当压力后拍摄 X 线片来评估脊柱柔韧性的方法<sup>[38]</sup>。由于检查过程中施加的力不能量化, 且 2 名协助检查的医师也需暴露于 X 线, 故该方法未被广泛推广。1997 年, Cheung 和 Luk<sup>[39]</sup>提出了支点侧屈位法, 该方法使患者侧卧于合适尺寸的塑料圆筒上进行 X 线片拍摄, 能产生比仰卧侧屈位法更大的侧屈力, 稳定性好, 且可重复。牵引法主要包括有仰卧牵引法、悬吊牵引法和全身麻醉下牵引法等, 也是目前评估柔韧性的方式<sup>[40]</sup>。牵引推压法是将牵引法与推压法相结合, 是用于评估侧凸柔韧性的一种新方法, 可在麻醉辅助下进行操作。Chen 等<sup>[41]</sup>通过研制的电动牵引推压床对该方法进行了研究, 发现该方法在术后矫形率预测方面与实际手术矫形率一致。

## 6 AIS 的治疗方法

AIS 的主要治疗方法可归纳为 3 种: 随访观察、支具治疗及手术治疗。最佳治疗方案的选择取决于患者的发育成熟程度, 包括年龄、月经、Risser 征、脊柱侧凸类型、脊柱侧凸严重程度及进展情况。目前用于指导治疗的一般原则为: 主弯 Cobb 角 < 25° 的患者, 建议随访观察; 主弯 Cobb 角为 25° ~ 45° 的患者, 建议支具治疗; 主弯 Cobb 角 > 45° 的患者, 建议手术治疗<sup>[42]</sup>。

**6.1 随访观察** 当患者确诊为 AIS 且主弯 Cobb 角 < 25° 时, 可每 6 ~ 12 个月进行一次临床及影像学随访。SRS 的一项针对无需手术患者的长期随访研究显示, 大部分患有轻度脊柱侧凸且骨骼发育较为成熟的患者, 其生理功能良好, 并且在生活或工作中均无特殊不适<sup>[43]</sup>。与健康人群相比, AIS 患者在社会功能、婚姻和生育方面通常并无明显劣

势。对这类患者进行随访观察,旨在监测脊柱侧凸的动态发展,帮助患者及其家庭正确理解疾病进程。患者还可以尝试锻炼疗法<sup>[44]</sup>、物理治疗<sup>[45]</sup>和表面电刺激疗法<sup>[46]</sup>等,以减轻脊柱侧凸的程度,但具体疗效仍待进一步证实。

**6.2 支具治疗** 主弯低于 $T_8$ 水平且Cobb角为 $25^\circ\sim 45^\circ$ 的侧凸存在恶化风险,此时应考虑采取支具治疗,以减缓侧凸随时间的加重。过去,佩戴支具会使患者十分不适并引发心理障碍;如今,胸腰椎支具已发展出多种形状、大小及填充物类型,如Milwaukee支具、Boston支具和Charleston支具,为患者提供了更多选择。Gomez等<sup>[47]</sup>建议,对Risser征为0~2级且Cobb角为 $25^\circ\sim 40^\circ$ 的患者进行支具治疗。Rowe等<sup>[48]</sup>进行的meta分析显示,每天佩戴支具23 h可能会阻止93%的侧凸进展。Lonstein等<sup>[49]</sup>对1 020例佩戴Milwaukee支具的AIS患者进行的研究发现,78%的患者佩戴支具后侧凸Cobb角减小了 $1^\circ\sim 4^\circ$ 。而另有研究表明,尽管支具治疗有效,但患者的依从性通常不佳,且容易伴随心理问题<sup>[50]</sup>。2015年的一项有关支具治疗AIS的文献回顾研究得出,支具治疗并不会改善患者的生活质量,且长期随访发现支具治疗患者的生活质量、背痛、外观及心理问题并未发生改变,支具治疗的主要目的仅是为了阻止侧凸的加重<sup>[51]</sup>。

支具治疗时平均每天需佩戴支具18~23 h,在非全日制或夜间使用时,支具对Cobb角 $<35^\circ$ 的患者有效;Cobb角 $\geq 35^\circ$ 的患者应24 h佩戴,且应一直持续至生长发育期结束<sup>[52]</sup>。一项随机对照试验指出,对于Cobb角为 $25^\circ\sim 45^\circ$ 的AIS患者,全日制佩戴支具者较仅夜间使用者在SRS-22量表的自我形象及疼痛维度方面有明显改善<sup>[53]</sup>。

支具治疗的患者需要定期随访<sup>[54]</sup>,通常每4~6个月进行一次影像学和临床表现评估,以了解畸形进展情况,同时对支具进行适当调整。当骨骼发育成熟时通常可以停止支具治疗:临床上一般在Tanner分型达到5型、月经初潮时间超过2年且6个月内身高增长 $<1$  cm时停止支具治疗;影像学上通常观测到大转子软骨闭合、Risser征为IV~V级及Sanders评分达到7分时停止支具治疗<sup>[55-58]</sup>。在终止支具治疗后,患者需在第1年定期随访,之后每3~5年根据情况进行随访跟踪。

**6.3 手术治疗** 脊柱侧凸矫形手术的目的是为了

矫正三维平面畸形、改善脊柱序列,以恢复平衡及阻止畸形进一步加重。因此,手术入路的选择取决于脊柱侧凸的位置和程度,目前主要的手术方式有前路(开胸或胸腔镜)、单纯后路及前后路联合术式。开放性前路手术能够有效减少融合节段,保持脊柱的活动性,并避免术后曲轴现象。然而,该手术入路较为复杂,可能会对胸壁造成影响,进而影响肺功能。前路胸腔镜手术作为另一选择,能够提供类似于开放性前路手术的矫形效果和良好的外观改善效果,且相较于开放性前路手术,前路胸腔镜手术出血量少且肺功能恢复更快。然而,前路手术也可能伴随一些并发症,如术后脊柱后凸畸形、假关节形成及内固定物失败等<sup>[59]</sup>。

随着椎弓根螺钉的出现,后路内固定技术得到广泛应用,且获得了更好的矫形率,同时能减少并发症。因此,目前普遍采用的AIS手术治疗方法是后路椎弓根螺钉内固定术。一项关于AIS选择性融合手术的10年随访结果显示,无论是前路双棒技术还是后路椎弓根螺钉技术都能得到非融合节段的自发代偿,且在10年内无明显进展<sup>[60]</sup>。对于部分具有剃刀背的AIS患者而言,肋骨成形术可用于改善残留的肋骨隆起,并明显改善外观。此外,手术过程中应用神经电生理监测可有效减少并发症,防止由于矫形引起的脊髓损伤或神经根牵拉<sup>[61]</sup>。目前,AIS患者住院时间通常为8~10 d,术后3~4 d患者即可自行站立或行走。随着新技术和仪器的不断发展,微创外科技术正在普及,但仍需进一步随访评估疗效。

**6.4 手术规划的热点问题** 随着后路手术的普及,相应的随访研究应运而生,术者应考虑如何减少手术对患者产生的创伤、缩短手术节段和保留良好的腰椎活动度,以及如何有效避免目前较为普遍的AIS术后并发症,包括冠状位失平衡<sup>[62]</sup>、双肩失平衡<sup>[63]</sup>、附加现象(adding-on phenomenon)<sup>[64]</sup>及近端交界性后凸<sup>[65]</sup>,都成为了目前的热点问题。此外,由于脊柱侧凸常伴有椎体的旋转,如何安全置钉也是手术的难点。值得注意的是,避免这类并发症的方法仍在于手术规划。

**6.4.1 选择性融合或非选择性融合** 选择性融合的初衷主要是针对主弯结构性弯曲进行融合固定,并通过非融合节段的自发性代偿以得到较为稳定的结果,目前主要包括选择性胸弯融合及胸腰弯/腰

弯融合2种,各自具有较为严格的适应证<sup>[66]</sup>。对于选择性胸弯融合,目前可供选择的参考标准包括:

(1) Lenke分型为1C、2C、3C、4C的患者;(2)主胸弯顶椎偏移距:胸腰弯/腰弯顶椎偏移距、主胸弯顶椎旋转度:胸腰弯/腰弯顶椎旋转度及主胸弯 Cobb角:胸腰弯/腰弯 Cobb角均 $>1.2$ ;(3)矢状面上胸腰段( $T_{10}\sim L_2$ )后凸角 $<10^\circ$ ,且远端融合椎以下椎间盘成角度为前凸;(4)Y三角软骨已闭合;(5)侧屈位上胸腰弯/腰弯 Cobb角 $<25^\circ$ ,胸腰弯/腰弯 Cobb角 $<60^\circ$ ,且骶骨中垂线触及主胸弯下端椎或端椎以下。对于选择性胸腰弯/腰弯融合,目前可供选择的参考标准包括:(1) Lenke分型为5C、6C的患者;(2)胸腰弯/腰弯顶椎偏移距:主胸弯顶椎偏移距、胸腰弯/腰弯顶椎旋转度:主胸弯顶椎旋转度及胸腰弯/腰弯 Cobb角:主胸弯 Cobb角均 $>1.25$ ;(3)矢状面上胸腰段( $T_{10}\sim L_2$ )后凸角 $<10^\circ$ ,且近端融合椎在 $T_{10}\sim L_2$ 之间;(4)Y三角软骨已闭合;(5)侧屈位上主胸弯 Cobb角 $<25^\circ$ ,主胸弯 Cobb角 $<40^\circ$ 。

目前,为了尽可能地保留腰椎活动度,选择性胸弯融合成为外科医师的首选考虑。然而,为了维持冠状面平衡及防止远端附加现象,远端融合椎的选择仍存在争议<sup>[67]</sup>。近年有学者提出最低实质触及椎(last substantially touched vertebra, LSTV)可能是合理的下融合椎<sup>[68]</sup>,LSTV的应用主要针对Y三角软骨闭合也就是骨骼发育相对成熟的患者。由于非融合节段会随着融合节段发生自发代偿,且融合节段的过度矫形可能出现侧凸传导的情况,在矫形手术中不宜过度追求矫形程度。关于选择性胸腰弯/腰弯融合,目前的研究报道相对较少,但由于能减少融合节段、降低手术时间、减少对于患者的创伤,该方式也逐渐步入术者的视野。

**6.4.2 下融合椎的选择:  $L_3$  还是  $L_4$**  由于诸多 AIS 患者需要考虑将胸腰弯/腰弯进行融合,因而选择下融合椎时,应在保持冠状面平衡的同时尽可能减少融合节段。文献报道, $L_{4/5}$ 、 $L_5/S_1$ 椎间盘退变约占腰椎椎间盘退变的80%,且随着后路内固定物的植入易导致内固定物远端应力集中,进而加速椎间盘退变<sup>[69]</sup>。Lee等<sup>[70]</sup>在一项纳入229例 AIS 患者的回顾性研究中指出,远端融合节段的选择在长期随访的影像学及临床结果中无明显差异,当下端椎高于 $L_3$ 且下触及椎高于 $L_4$ 时,胸腰弯/腰弯远端

融合椎选择 $L_3$ 是足够的;但是对于下端椎低于 $L_4$ 或下触及椎低于 $L_5$ 的患者,远端融合椎选择 $L_3$ 需要更为谨慎。Ando等<sup>[71]</sup>在一项以 $L_3$ 为 Lenke 5C 患者最低融合椎时远端邻近节段病变的预测因素分析中提到,术前站立位 $L_3$ 、 $L_4$ 偏移距、 $L_{3/4}$ 椎间盘成角及牵引位 $L_4$ 椎体偏移距对于预测术后冠状面失平衡至关重要。

**6.4.3 如何实现置钉准确性** 目前前路置钉主要使用椎弓根螺钉,但由于前方毗邻大血管,且置钉不准确可损伤脊髓或神经根,易引发灾难性后果,因而手术过程中的置钉准确性不容忽视。脊柱侧凸患者较正常人伴有明显的椎体旋转,置钉的难度大幅增加,仅依靠外科医师的判断及徒手置钉容易产生失误。据统计,在普通脊柱手术置钉时,椎弓根螺钉在腰椎和胸椎的误置率分别为5%~41%和3%~55%<sup>[72]</sup>。术中导航<sup>[73]</sup>、计算机辅助技术<sup>[74]</sup>及手术机器人<sup>[75]</sup>可在标志物与影像学相结合的基础上实时指导外科医师进行置钉。借助这些先进技术,外科医师能够更高效地完成复杂操作,同时降低手术风险和并发症发生率,为患者提供更安全、更个体化的手术治疗方案。

## 7 AIS 的生活质量评估

现代医学模式已转向生物-心理-社会模式,对于 AIS 患者而言,脊柱畸形的治疗主要旨在改善健康相关生活质量(health-related quality of life, HRQoL)。仅凭主观感受或口头评价无法全面量化患者对治疗的反馈,而量表的使用能帮助外科医师更好地理解患者的 HRQoL,并提供治疗前后的客观反馈。对于 AIS 患者,SRS-22 量表和脊柱侧凸外观问卷(scoliosis appearance questionnaire, SAQ)是最主要的评估工具。SRS-22 量表从功能/活动度、疼痛、自我形象/外观、精神健康和治疗满意度5个维度对患者进行全面评估。为匹配中国患者,Li等<sup>[76]</sup>对其进行了跨文化调试,并验证了其具有良好的信度与效度。SAQ主要从总体情况、侧凸程度、脊柱突起、躯干偏倚、腰部、肩部、后凸、胸廓、手术瘢痕等多个方面对患者的外观形象进行评估<sup>[77]</sup>。对中轻度 AIS 患者也可采用伯特·索伯恩海姆压力水平问卷(Bad Sobernheim stress questionnaire, BSSQ)进行 HRQoL 评估,BSSQ 可以动态监测需要佩戴支具患者的心理状态,有助于

提高支具治疗的依从性并确保支具治疗疗效<sup>[78]</sup>。值得注意的是, AIS患者大多无相关神经和疼痛问题, 对其HRQoL的评估仍以外观及心理健康为主, 这也要求脊柱外科医师做出更好的治疗方法及手术方案规划。

## 8 AIS的前沿与未来

目前, AIS诊疗的重点仍然集中在手术层面, 但未来应更加关注人工智能的早期筛查、个体化治疗和微创干预技术的应用。利用人工智能进行影像识别和3D脊柱建模, 有望提高早期筛查和诊断的精准性。个体化支具设计和机器人辅助矫正手术能够有效改善治疗效果, 减轻创伤。同时, 基因与生物力学研究有望揭示疾病的根本机制, 推动更有针对性的预防和治疗手段。未来, 结合数字医疗和生物技术的综合方案, 将进一步提升AIS患者的治疗效果和生活质量。

## [参考文献]

- [1] NEGRINI S, DONZELLI S, AULISA A G, et al. 2016 SOSORT guidelines: orthopaedic and rehabilitation treatment of idiopathic scoliosis during growth[J]. *Scoliosis Spinal Disord*, 2018, 13: 3. DOI: 10.1186/s13013-017-0145-8.
- [2] PERFETTI D, ATLAS A M, GALINA J, et al. Surgeon volume affects short- and long-term surgical outcomes in idiopathic scoliosis[J]. *Spine Deform*, 2020, 8(3): 455-461. DOI: 10.1007/s43390-020-00058-9.
- [3] LLOYD A, HARDING I, COLE A, et al. Patient-reported outcomes following surgery for adolescent idiopathic scoliosis performed in adolescence versus adulthood[J]. *Ann R Coll Surg Engl*, 2024. DOI: 10.1308/rcsann.2024.0067.
- [4] PAGE K, GMELICH C, THAKUR A, et al. 3D surface topographic optical scans yield highly reliable global spine range of motion measurements in scoliotic and non-scoliotic adolescents[J]. *Children*, 2022, 9(11): 1756. DOI: 10.3390/children9111756.
- [5] CHEN K, ZHAI X, WANG S, et al. Emerging trends and research foci of deep learning in spine: bibliometric and visualization study[J]. *Neurosurg Rev*, 2023, 46(1): 81. DOI: 10.1007/s10143-023-01987-5.
- [6] CHEN K, ZHAI X, SUN K, et al. A narrative review of machine learning as promising revolution in clinical practice of scoliosis[J]. *Ann Transl Med*, 2021, 9(1): 67. DOI: 10.21037/atm-20-5495.
- [7] DUNN J, HENRIKSON N B, MORRISON C C, et al. Screening for adolescent idiopathic scoliosis: evidence report and systematic review for the US preventive services task force[J]. *JAMA*, 2018, 319(2): 173-187. DOI: 10.1001/jama.2017.11669.
- [8] XU S, LI K, JIN L, et al. Distribution of scoliosis in 2.22 million adolescents in mainland China: a population-wide analysis[J]. *J Glob Health*, 2024, 14: 04117. DOI: 10.7189/jogh.14.04117.
- [9] KONIECZNY M R, SENYURT H, KRAUSPE R. Epidemiology of adolescent idiopathic scoliosis[J]. *J Child Orthop*, 2013, 7(1): 3-9. DOI: 10.1007/s11832-012-0457-4.
- [10] AULIA T N, DJUFRI D, GATAM L, et al. Etiopathogenesis of adolescent idiopathic scoliosis (AIS): role of genetic and environmental factors[J]. *Narra J*, 2023, 3(3): e217. DOI: 10.52225/narra.v3i3.217.
- [11] ANDERSEN M O, THOMSEN K, KYVIK K O. Adolescent idiopathic scoliosis in twins: a population-based survey[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2007, 32(8): 927-930. DOI: 10.1097/01.brs.0000259865.08984.00.
- [12] MENG Y, LIN T, LIANG S, et al. Value of DNA methylation in predicting curve progression in patients with adolescent idiopathic scoliosis[J]. *EBioMedicine*, 2018, 36: 489-496. DOI: 10.1016/j.ebiom.2018.09.014.
- [13] SMIT T H. On growth and scoliosis[J]. *Eur Spine J*, 2024, 33(6): 2439-2450. DOI: 10.1007/s00586-024-08276-9.
- [14] USHIKI A, SHENG R R, ZHANG Y, et al. Deletion of Pax1 scoliosis-associated regulatory elements leads to a female-biased tail abnormality[J]. *Cell Rep*, 2024, 43(3): 113907. DOI: 10.1016/j.celrep.2024.113907.
- [15] MARYA S, TAMBE A D, MILLNER P A, et al. Adolescent idiopathic scoliosis : a review of aetiological theories of a multifactorial disease[J]. *Bone Joint J*, 2022, 104-B(8): 915-921. DOI: 10.1302/0301-620X.104B8.BJJ-2021-1638.R1.
- [16] MARIE-HARDY L, COURTIN T, PASCAL-MOUSSELLARD H, et al. The whole-exome sequencing of a cohort of 19 families with adolescent idiopathic scoliosis (AIS): candidate pathways[J]. *Genes (Basel)*, 2023, 14(11): 2094. DOI: 10.3390/genes14112094.
- [17] YU H, KHANSHOUR A M, USHIKI A, et al. Association of genetic variation in COL11A1 with adolescent idiopathic scoliosis[J]. *eLife*, 2024, 12: RP89762. DOI: 10.7554/eLife.89762.
- [18] SOH R C, CHEN B Z, HARTONO S, et al. The hindbrain and cortico-reticular pathway in adolescent idiopathic scoliosis[J]. *Clin Radiol*, 2024, 79(5): e759-e766. DOI: 10.1016/j.crad.2024.01.027.
- [19] FONG D Y T, CHEUNG K M C, WONG Y W, et al.

- A population-based cohort study of 394, 401 children followed for 10 years exhibits sustained effectiveness of scoliosis screening[J]. *Spine J*, 2015, 15(5): 825-833. DOI: 10.1016/j.spinee.2015.01.019.
- [20] KADHIM M, LUCAK T, SCHEXNAYDER S, et al. Current status of scoliosis school screening: targeted screening of underserved populations may be the solution[J]. *Public Health*, 2020, 178: 72-77. DOI: 10.1016/j.puhe.2019.08.020.
- [21] CHUI C E, HE Z, LAM T P, et al. Deep learning-based prediction model for the Cobb angle in adolescent idiopathic scoliosis patients[J]. *Diagnostics*, 2024, 14(12): 1263. DOI: 10.3390/diagnostics14121263.
- [22] HURTADO-AVILÉS J, LEÓN-MUÑOZ V J, SANTONJA-MEDINA F, et al. Evaluation of mis-selection of end vertebrae and its effect on measuring Cobb angle and curve length in adolescent idiopathic scoliosis[J]. *J Clin Med*, 2024, 13(15): 4562. DOI: 10.3390/jcm13154562.
- [23] WONG J, REFORMAT M, PARENT E, et al. Validity and accuracy of automatic Cobb angle measurement on 3D spinal ultrasonographs for children with adolescent idiopathic scoliosis: SOSORT 2024 award winner[J]. *Eur Spine J*, 2024. DOI: 10.1007/s00586-024-08376-6.
- [24] OHYAMA S, MAKI S, KOTANI T, et al. Machine learning algorithms for predicting Cobb angle beyond 25 degrees in female adolescent idiopathic scoliosis patients[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2024. DOI: 10.1097/BRS.0000000000004986.
- [25] KING H A, MOE J H, BRADFORD D S, et al. The selection of fusion levels in thoracic idiopathic scoliosis[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1983, 65(9): 1302-1313.
- [26] LENKE L G, BETZ R R, HARMS J, et al. Adolescent idiopathic scoliosis: a new classification to determine extent of spinal arthrodesis[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2001, 83(8): 1169-1181.
- [27] 邱贵兴, 仇建国, 王以朋, 等. 特发性脊柱侧凸的PUMC (协和) 分型系统[J]. *中华骨科杂志*, 2003, 23(1): 1-9. DOI: 10.3760/j.issn:0253-2352.2003.01.001.
- [28] SUK S I. Pedicle screw instrumentation for adolescent idiopathic scoliosis: the insertion technique, the fusion levels and direct vertebral rotation[J]. *Clin Orthop Surg*, 2011, 3(2): 89-100. DOI: 10.4055/cios.2011.3.2.89.
- [29] ZHUANG Q, QIU G, LI Q, et al. Modified PUMC classification for adolescent idiopathic scoliosis[J]. *Spine J*, 2019, 19(9): 1518-1528. DOI: 10.1016/j.spinee.2019.03.008.
- [30] POST M, VERDUN S, ROUSSOULY P, et al. New sagittal classification of AIS: validation by 3D characterization[J]. *Eur Spine J*, 2019, 28(3): 551-558. DOI: 10.1007/s00586-018-5819-2.
- [31] 蔡思逸, 陈峰, 王树杰, 等. 青少年特发性脊柱侧凸后路矫形融合手术加速康复外科实施流程专家共识[J]. *中华骨与关节外科杂志*, 2019, 12(9): 652-662. DOI: 10.3969/j.issn.2095-9958.2019.09.02.
- [32] NAULT M L, PARENT S, PHAN P, et al. A modified Risser grading system predicts the curve acceleration phase of female adolescent idiopathic scoliosis[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2010, 92(5): 1073-1081. DOI: 10.2106/JBJS.H.01759.
- [33] WONG H K, TAN K J. The natural history of adolescent idiopathic scoliosis[J]. *Indian J Orthop*, 2010, 44(1): 9-13. DOI: 10.4103/0019-5413.58601.
- [34] SANDERS J O, BROWNE R H, MCCONNELL S J, et al. Maturity assessment and curve progression in girls with idiopathic scoliosis[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2007, 89(1): 64-73. DOI: 10.2106/JBJS.F.00067.
- [35] SANDERS J O, BROWNE R H, COONEY T E, et al. Correlates of the peak height velocity in girls with idiopathic scoliosis[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2006, 31(20): 2289-2295. DOI: 10.1097/01.brs.0000236844.41595.26.
- [36] TANNER J M, WHITEHOUSE R H. Clinical longitudinal standards for height, weight, height velocity, weight velocity, and stages of puberty[J]. *Arch Dis Child*, 1976, 51(3): 170-179. DOI: 10.1136/adc.51.3.170.
- [37] SANDERS J O, KHOURY J G, KISHAN S, et al. Predicting scoliosis progression from skeletal maturity: a simplified classification during adolescence[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2008, 90(3): 540-553. DOI: 10.2106/JBJS.G.00004.
- [38] MOE J H. Methods of correction and surgical techniques in scoliosis[J]. *Orthop Clin North Am*, 1972, 3(1): 17-48.
- [39] CHEUNG K M, LUK K D. Prediction of correction of scoliosis with use of the fulcrum bending radiograph[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1997, 79(8): 1144-1150. DOI: 10.2106/00004623-199708000-00005.
- [40] TAKAHASHI S, PASSUTI N, DELÉCRIN J. Interpretation and utility of traction radiography in scoliosis surgery. Analysis of patients treated with Cotrel-Dubousset instrumentation[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 1997, 22(21): 2542-2546. DOI: 10.1097/00007632-199711010-00015.
- [41] CHEN Z Q, WANG C F, BAI Y S, et al. Using precisely controlled bidirectional orthopedic forces to assess flexibility in adolescent idiopathic scoliosis: comparisons between push-traction film, supine side bending, suspension, and fulcrum bending film[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2011, 36(20): 1679-1684. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31820e6265.
- [42] HRESKO M T. Idiopathic scoliosis in adolescents[J].

- N Engl J Med, 2013, 368(9): 834-841. DOI: 10.1056/nejmcp1209063.
- [43] WEISS H R, WEISS G, PETERMANN F. Incidence of curvature progression in idiopathic scoliosis patients treated with scoliosis in-patient rehabilitation (SIR): an age- and sex-matched controlled study[J]. *Pediatr Rehabil*, 2003, 6(1): 23-30. DOI: 10.1080/1363849031000095288.
- [44] ANDRADE R M, CALLEGARI FERREIRA M E, PIRAS L, et al. Effect of therapeutic exercises on the progression of adolescent idiopathic scoliosis: a protocol of a systematic review[J]. *BMJ Open*, 2024, 14(12): e083282. DOI: 10.1136/bmjopen-2023-083282.
- [45] WANG Z, ZHU W, LI G, et al. Comparative efficacy of six types of scoliosis-specific exercises on adolescent idiopathic scoliosis: a systematic review and network meta-analysis[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2024, 25(1): 1070. DOI: 10.1186/s12891-024-08223-1.
- [46] WONG C, SHAYESTEHPUR H, KOUTRAS C, et al. Using electric stimulation of the spinal muscles and electromyography during motor tasks for evaluation of the role in development and progression of adolescent idiopathic scoliosis[J]. *J Clin Med*, 2024, 13(6): 1758. DOI: 10.3390/jcm13061758.
- [47] GOMEZ J A, TIMOTHY HRESKO M, GLOTZBECKER M P. Nonsurgical management of adolescent idiopathic scoliosis[J]. *J Am Acad Orthop Surg*, 2016, 24(8): 555-564. DOI: 10.5435/JAAOS-D-14-00416.
- [48] ROWE D E, BERNSTEIN S M, RIDDICK M F, et al. A meta-analysis of the efficacy of non-operative treatments for idiopathic scoliosis[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1997, 79(5): 664-674. DOI: 10.2106/00004623-199705000-00005.
- [49] LONSTEIN J E, WINTER R B. The Milwaukee brace for the treatment of adolescent idiopathic scoliosis. A review of one thousand and twenty patients[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1994, 76(8): 1207-1221. DOI: 10.2106/00004623-199408000-00011.
- [50] MACLEAN W E Jr, GREEN N E, PIERRE C B, et al. Stress and coping with scoliosis: psychological effects on adolescents and their families[J]. *J Pediatr Orthop*, 1989, 9(3): 257-261.
- [51] NEGRINI S, MINOZZI S, BETTANY-SALTIKOV J, et al. Braces for idiopathic scoliosis in adolescents[J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2015, 2015(6): CD006850. DOI: 10.1002/14651858.CD006850.pub3.
- [52] YAMAN O, DALBAYRAK S. Idiopathic scoliosis[J]. *Turk Neurosurg*, 2014, 24(5): 646-657. DOI: 10.5137/1019-5149.JTN.8838-13.0.
- [53] PEIRO-GARCIA A, GARCIA R G, MARTIN-GORGOJO V, et al. Impact on quality of life of full-time and night-time braces in adolescent idiopathic scoliosis: a randomized clinical trial[J]. *Spine*, 2024. DOI: 10.1097/BRS.0000000000005228.
- [54] ANGELLIAUME A, PFIRRMANN C, ALHADA T, et al. Non-operative treatment of adolescent idiopathic scoliosis[J]. *Orthop Traumatol Surg Res*, 2024: 104078. DOI: 10.1016/j.otsr.2024.104078.
- [55] ROYE B D, SIMHON M E, MATSUMOTO H, et al. Establishing consensus on the best practice guidelines for the use of bracing in adolescent idiopathic scoliosis[J]. *Spine Deform*, 2020, 8(4): 597-604. DOI: 10.1007/s43390-020-00060-1.
- [56] JANICKI J A, POE-KOCHERT C, ARMSTRONG D G, et al. A comparison of the thoracolumbosacral orthoses and providence orthosis in the treatment of adolescent idiopathic scoliosis: results using the new SRS inclusion and assessment criteria for bracing studies[J]. *J Pediatr Orthop*, 2007, 27(4): 369-374. DOI: 10.1097/01.bpb.0000271331.71857.9a.
- [57] DOLAN L A, WEINSTEIN S L. Surgical rates after observation and bracing for adolescent idiopathic scoliosis: an evidence-based review[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2007, 32(19 Suppl): S91-S100. DOI: 10.1097/BRS.0b013e318134ead9.
- [58] GAMMON S R, MEHLMAN C T, CHAN W, et al. A comparison of thoracolumbosacral orthoses and SpineCor treatment of adolescent idiopathic scoliosis patients using the Scoliosis Research Society standardized criteria[J]. *J Pediatr Orthop*, 2010, 30(6): 531-538. DOI: 10.1097/BPO.0b013e3181e4f761.
- [59] HOERNSCHEMEYER D G, HAWKINS S D, TWEEDY N M, et al. Anterior vertebral body tethering: a single-center cohort with 4.3 to 7.4 years of follow-up[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2024, 106(20): 1857-1865. DOI: 10.2106/JBJS.23.01229.
- [60] LOUER C Jr, YASZAY B, CROSS M, et al. Ten-year outcomes of selective fusions for adolescent idiopathic scoliosis[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2019, 101(9): 761-770. DOI: 10.2106/JBJS.18.01013.
- [61] CREVECOEUR T S, IYER R R, GOLDSTEIN H E, et al. Timing of intraoperative neurophysiological monitoring (IONM) recovery and clinical recovery after termination of pediatric spinal deformity surgery due to loss of IONM signals[J]. *Spine J*, 2024, 24(9): 1740-1749. DOI: 10.1016/j.spinee.2024.04.008.
- [62] QIAO H, YAN K, LIAO B. Risk of coronal imbalance after posterior surgery for adolescent idiopathic scoliosis of type Lenke 5C[J]. *Curr Med Res Opin*, 2024, 40(10): 1785-1791. DOI: 10.1080/03007995.2024.2391556.
- [63] OHASHI M, WATANABE K, HIRANO T, et al. Neck and shoulder pain in thoracic adolescent idiopathic

- scoliosis 10 years after posterior spinal fusion[J]. *Eur Spine J*, 2024, 33(6): 2522-2529. DOI: 10.1007/s00586-024-08233-6.
- [64] SEO S H, HYUN S J, LEE J K, et al. Selection of optimal lower instrumented vertebra for adolescent idiopathic scoliosis surgery[J]. *Neurospine*, 2023, 20(3): 799-807. DOI: 10.14245/ns.2346452.226.
- [65] ZHAO J, HUANG C, LIU Y, et al. Systematic review and meta-analysis for the proximal junctional kyphosis in adolescent idiopathic scoliosis[J]. *Front Pediatr*, 2024, 12: 1387841. DOI: 10.3389/fped.2024.1387841.
- [66] OBA H, BANNO T, OHBA T, et al. Excessive posterior placement of upper instrumented vertebra relative to lower instrumented vertebra as a predictor of proximal junction kyphosis after selective spinal fusion for adolescent idiopathic scoliosis Lenke type 5C curves[J]. *Eur Spine J*, 2024, 33(10): 3814-3822. DOI: 10.1007/s00586-024-08427-y.
- [67] YANG S, YASZAY B, BAUER J. The clinical significance of the lowest instrumented vertebra in adolescent idiopathic scoliosis[J]. *J Am Acad Orthop Surg*, 2024, 32(18): e889-e898. DOI: 10.5435/JAAOS-D-24-00152.
- [68] YAMAUCHI I, NAKASHIMA H, MACHINO M, et al. Relationship between lumbosacral transitional vertebra and postoperative outcomes of patients with Lenke 5C adolescent idiopathic scoliosis: a minimum 5-year follow-up study[J]. *Eur Spine J*, 2023, 32(6): 2221-2227. DOI: 10.1007/s00586-023-07752-y.
- [69] IRIONDO C, PEDROIA V, MAJUMDAR S. Lumbar intervertebral disc characterization through quantitative MRI analysis: an automatic voxel-based relaxometry approach[J]. *Magn Reson Med*, 2020, 84(3): 1376-1390. DOI: 10.1002/mrm.28210.
- [70] LEE C S, HA J K, HWANG C J, et al. Is it enough to stop distal fusion at L<sub>3</sub> in adolescent idiopathic scoliosis with major thoracolumbar/lumbar curves?[J]. *Eur Spine J*, 2016, 25(10): 3256-3264. DOI: 10.1007/s00586-015-4373-4.
- [71] ANDO K, IMAGAMA S, ITO Z, et al. Predictive factors for a distal adjacent disorder with L<sub>3</sub> as the lowest instrumented vertebra in Lenke 5C patients[J]. *Eur J Orthop Surg Traumatol*, 2016, 26(1): 59-66. DOI: 10.1007/s00590-015-1712-4.
- [72] PERNA F, BORGHINI R, PILLA F, et al. Pedicle screw insertion techniques: an update and review of the literature[J]. *Musculoskelet Surg*, 2016, 100(3): 165-169. DOI: 10.1007/s12306-016-0438-8.
- [73] STRIANO B M, CRAWFORD A M, VERHOFSTE B P, et al. Intraoperative navigation increases the projected lifetime cancer risk in patients undergoing surgery for adolescent idiopathic scoliosis[J]. *Spine J*, 2024, 24(6): 1087-1094. DOI: 10.1016/j.spinee.2024.01.007.
- [74] OBA H, IKEGAMI S, UEHARA M, et al. Reduction in CT scan number with the reference frame middle attachment method in intraoperative CT navigation for adolescent idiopathic scoliosis[J]. *Eur Spine J*, 2023, 32(9): 3133-3139. DOI: 10.1007/s00586-023-07842-x.
- [75] TANAKA M, SCHOL J, SAKAI D, et al. Low radiation protocol for intraoperative robotic C-arm can enhance adolescent idiopathic scoliosis deformity correction accuracy and safety[J]. *Global Spine J*, 2024, 14(5): 1504-1514. DOI: 10.1177/21925682221147867.
- [76] LI M, WANG C F, GU S X, et al. Adapted simplified Chinese (mainland) version of Scoliosis Research Society-22 questionnaire[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2009, 34(12): 1321-1324. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31819812b7.
- [77] WEI X, ZHU X, BAI Y, et al. Development of the simplified Chinese version of the spinal appearance questionnaire: cross-cultural adaptation and psychometric properties evaluation[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2012, 37(17): 1497-1504. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3182407e25.
- [78] KASTRINIS A, KOUMANTAKIS G, TSEKOURA M, et al. Greek adaptation and validation of the Bad Sobernheim stress questionnaire-brace and the Bad Sobernheim stress questionnaire-deformity[J]. *Adv Exp Med Biol*, 2023, 1425: 141-149. DOI: 10.1007/978-3-031-31986-0\_13.

[本文编辑] 杨亚红