

特发性脊柱侧凸诊疗相关研究进展

刘青山*, 解京明#

昆明医科大学第二附属医院骨科, 云南 昆明

收稿日期: 2026年2月28日; 录用日期: 2026年3月23日; 发布日期: 2026年3月31日

摘要

特发性脊柱侧凸(Idiopathic Scoliosis, IS)是一类病因不明、以脊柱三维畸形为核心特征的脊柱疾病, 涵盖青少年特发性脊柱侧凸(AIS)、成人特发性脊柱侧凸(AdIS)等亚型, 其中以Lenke 5/6型为代表的腰弯/胸腰弯型IS因术后易出现冠状面失衡、椎间盘退变等并发症, 一直是临床诊疗的重难点。近年来, 国内外学者围绕IS的影像学参数标准化、远端融合椎(Lowest Instrumented Vertebra, LIV)选择策略、术后冠状面失衡的危险因素与防治、椎旁肌失衡的机制及评估等核心问题开展了大量研究, 在手术技术优化、围手术期评估、基础病因探索及椎旁肌分子标志物转化方面取得诸多突破。本文结合最新临床与基础研究成果, 对IS诊疗领域的关键进展进行系统综述, 分析当前研究的不足, 并展望未来研究方向, 为IS的个体化诊疗与基础研究提供参考。

关键词

特发性脊柱侧凸, 远端融合椎, 冠状面失衡, 椎旁肌失衡, 影像学参数

Research Progress in the Diagnosis and Treatment of Idiopathic Scoliosis

Qingshan Liu*, Jingming Xie#

Department of Orthopedics, The Second Affiliated Hospital of Kunming Medical University, Kunming Yunnan

Received: February 28, 2026; accepted: March 23, 2026; published: March 31, 2026

Abstract

Idiopathic scoliosis (IS) is a spinal disorder of unknown etiology primarily characterized by three-dimensional spinal deformity, encompassing subtypes such as adolescent idiopathic scoliosis (AIS)

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 刘青山, 解京明. 特发性脊柱侧凸诊疗相关研究进展[J]. 临床医学进展, 2026, 16(4): 248-255.

DOI: 10.12677/acm.2026.1641246

and adult idiopathic scoliosis (AdIS). Among these, lumbar/thoracolumbar IS, represented by Lenke types 5 and 6, has consistently been a major challenge in clinical diagnosis and treatment due to its susceptibility to postoperative complications such as coronal imbalance and intervertebral disc degeneration. In recent years, scholars worldwide have conducted extensive research on core issues of IS, including the standardization of radiographic parameters, selection strategies for the lowest instrumented vertebra (LIV), risk factors and prevention of postoperative coronal imbalance, and the mechanisms and evaluation of paraspinal muscle imbalance. Numerous breakthroughs have been made in optimizing surgical techniques, perioperative evaluation, exploration of underlying etiologies, and the clinical translation of paraspinal muscle molecular biomarkers. Based on the latest clinical and basic research findings, this article systematically reviews the key advances in the diagnosis and treatment of IS, analyzes the limitations of current research, and looks forward to future research directions, aiming to provide a reference for the individualized management and basic research of IS.

Keywords

Idiopathic Scoliosis, Lowest Instrumented Vertebra, Coronal Imbalance, Paraspinal Muscle Imbalance, Radiographic Parameters

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

特发性脊柱侧凸是指发病原因不明、脊柱在冠状面出现超过 10°侧方弯曲并伴椎体旋转的畸形,是脊柱畸形中最常见的类型之一,发病率约为 2%~3%,其中青少年特发性脊柱侧凸(AIS)占比最高,成人特发性脊柱侧凸(AdIS)则因脊柱柔韧性下降、合并退变等特点,诊疗策略与 AIS 存在显著差异[1]-[3]。IS 不仅会导致患者躯干畸形、运动功能受损,严重者可影响心肺功能,还可能引发慢性疼痛、心理问题等,显著降低患者生活质量[1] [4]。

对于进展性 IS, 脊柱融合手术是主要治疗手段,旨在实现脊柱冠状面与矢状面的平衡重建,同时最大限度保留脊柱活动节段并降低术后并发症风险[5] [6]。近年来,随着影像学技术、脊柱外科手术技术的发展及多组学研究的应用, IS 的诊疗研究取得诸多突破: 骶骨偏斜、LIV 倾斜角等影像学参数测量实现标准化, LIV 选择的个体化策略逐渐形成, 术后冠状面失衡的危险因素被逐步明确, 椎旁肌失衡的原发性机制也得到基础研究证实[1] [3] [7]。但临床中仍存在部分未解决的问题, 如不同亚型 IS 的矫形策略差异有待细化、部分影像学参数的临床阈值尚未统一、椎旁肌失衡的靶向干预尚未转化为临床应用等[2] [3]。本文基于最新研究成果, 对 IS 诊疗的核心进展进行全面综述。

2. IS 关键影像学参数的评估与标准化

影像学参数是 IS 诊断、分型、手术规划及术后疗效评估的核心依据, 近年来研究重点集中在骶骨相关参数、LIV 相关参数及椎旁肌影像学参数的测量标准化与临床意义挖掘, 为不同亚型 IS 的个体化诊疗提供精准量化依据。

2.1. 骶骨偏斜/骶骨倾斜的测量标准化

骶骨偏斜(Sacral Obliquity, SO)/骶骨倾斜(Sacral Slanting)是反映骨盆不对称与脊柱-骨盆平衡的关键

参数, 定义为冠状面中水平线与骶骨上终板的夹角[5][7], 其大小与 IS 术后椎间盘楔角(Disc Wedge Angle, DWA)、冠状面平衡密切相关[5]。由于骶骨椎体形态存在不对称性, 此前 SO 的测量方法缺乏统一标准。Kanie 等[7]的研究表明, S1 终板是评估 SO 最可靠的解剖标志, 其测量的 S1 角临床价值最高, 而 S1 基底角易低估实际 SO 程度, 不建议作为测量标志。

Hwang 等[5]将骶骨倾斜分为高($\geq 5^\circ$)、低($< 5^\circ$)两个等级, 证实术前高骶骨倾斜与术后 LIV 下方椎间盘楔角(DWA)升高及冠状面失代偿密切相关, 明确了该参数的临床阈值。

2.2. 远端融合椎(LIV)相关参数评估

LIV 倾斜角、平移度及骶骨中垂线(Central Sacral Vertebral Line, CSVL)的位置是决定 LIV 选择的关键[1][8], 术前 LIV 倾斜角 $\geq 25^\circ$ 被证实是 Lenke 5C 型 IS 术后持续性冠状面失衡(Persistent Coronal Imbalance, PCI)的重要危险因素[8]-[10], 而 LIV 平移度则与术后 L4 倾斜、整体冠状面平衡显著相关[11]。

传统 LIV 选择主要依靠站立位 X 线片, 而王振[1]的研究发现, 对于 Lenke 5 型 IS 患者, 若最后触及椎近端第一个椎体(LTV-1)在卧位 CT 上可被 CSVL 触及, 选择 LTV-1 作为 LIV 即可在缩短融合范围的同时保障临床疗效。此外, 对于 AdIS 患者, 因其脊柱柔韧性较差, 常需延长融合范围以维持术后平衡[2]。

2.3. 椎旁肌的影像学评估参数

椎旁肌的形态与功能异常是 IS 的重要病理特征, 其横截面积、脂肪浸润程度是评估椎旁肌失衡的核心影像学参数[3][12][13]。Ye 等[12]人发现, IS 主弯凹侧椎旁肌横截面积显著大于凸侧, 且凹侧脂肪浸润程度更高; 脂肪浸润程度与 Cobb 角、病程及 BMI 呈正相关, 可作为监测侧凸进展的潜在指标。

梁瑞歌等[13]在退行性腰椎侧凸患者中也得出了类似结论。此外, 表面肌电的均方根值(RMS)可量化椎旁肌的激活程度。此外, 表面肌电均方根值(RMS)可量化椎旁肌的激活程度, 是评估康复效果的重要功能指标[14]。

3. IS 远端融合椎(LIV)的选择策略优化

LIV 的选择直接关系到矫形效果、活动度保留及并发症发生率, 尤其是对于腰弯/胸腰弯型 IS [6][15]。

3.1. L3 与 L4 作为 LIV 的疗效对比

对于中度 Lenke 5C 型 IS 患者(以 AIS 为主), Li 等[6]发现 L3 作为 LIV 在缩短融合节段、保留腰椎活动度方面具有优势, 且其矫形效果与 L4 相当。然而, 骶骨倾斜程度是重要的修正因素: 高骶骨倾斜($\geq 5^\circ$)患者选择 L4 作为 LIV 时, 易出现进行性冠状面失代偿[5]。横向对比而言, 对于 AdIS 患者, 由于椎体畸形重且合并退变, 更多倾向于选择 L4 作为 LIV 以保证脊柱稳定性[2]。

3.2. LIV 选择的影像学指征与分型原则

除骶骨倾斜、LIV 倾斜角外, 最后触及椎(LTV)、CSVL 的位置及术前柔韧性片参数也是 LIV 选择的重要指征。王振[1]提出了卧位 CT 结合 CSVL 的 LIV 选择策略, 即对于 LTV-1 可被卧位 CT 上的 CSVL 触及的 Lenke 5 型 IS 患者, LIV 可选择 LTV-1, 该策略可在保证矫形效果的前提下缩短融合范围, 尤其适用于年轻 AIS 患者。

Banno 等[15]指出, 当最低终椎(LEV)为 L4 时, 盲目融合至 L3 可能会降低腰弯矫正率并导致曲线进展。对于 Lenke 3C/6C 型 IS 患者, Hamzaoglu 等[16]发现, 全麻下牵引片(TrUGA)相比传统柔韧性片更能准确评估脊柱柔韧性, 基于 TrUGA 的 LIV 选择可帮助保留 L4 节段, 减少融合节段, 且术后无显著的矫形丢失或冠状面失代偿, 为该类分型 IS 的 LIV 选择提供了新手段。

3.3. 成人与青少年 IS 的 LIV 选择差异

与 AIS 相比, AdIS 患者术前脊柱柔韧性更差, 矫形率更低, 且术后椎体旋转矫正率显著低于 AIS [2]。因此, 在制定策略时, AdIS 的 LIV 选择必须倾向于延长融合节段, 并综合考量脊柱 - 骨盆的整体平衡, 切忌生搬硬套 AIS 的短节段融合原则, 以避免因融合不足加速术后腰椎退变[2] [17]。

4. IS 术后冠状面失衡的危险因素与防治策略

术后冠状面失衡是 IS 脊柱融合手术最常见的并发症之一, 尤其是 Lenke 5/6 型 IS, 持续性冠状面失衡(PCI)会显著降低患者生活质量, 其发生率约为 9%~10.7% [9] [18]。近年来的研究已明确 PCI 的独立危险因素, 并开发了一系列术中与术前的防治策略, 显著降低了其发生率。

4.1. 术后冠状面失衡的独立危险因素

冠状面失衡是 IS 融合术后常见的并发症。持续性冠状面失衡(PCI)的发生率约为 9%~10.7%, 严重影响患者预后。独立危险因素: 对于 Lenke 5C 型 AIS 患者, 高龄、术前胸弯柔韧性差、顶椎偏移大、LIV 倾斜角大及术后即刻失衡是 PCI 的独立危险因素[9]。术前顶椎平移度 ≥ 49.5 mm 也是重要的预测阈值 [18]。术前 C 型冠状面模式以及胸腰弯过度矫正同样会增加 PCI 风险[19]。术前弯曲位 L5 倾斜角也被证实是 Lenke 5/6 型 IS 术后即刻冠状面失衡的核心危险因素[20] [21], 其通过影响脊柱 - 骨盆的代偿机制, 增加术后失衡风险。此外, AdIS 患者因代偿能力弱, 术后失衡风险更高[22]。

4.2. 术后冠状面失衡的防治策略

术中横杆冠状面平衡技术临床效果显著。通过术前 α 角指导术中 LIV 倾斜角(β 角)的设置, 并利用横杆对齐 C7 与骶骨中心, 可将 PCI 发生率降至 5.1% [23]。对于高风险患者, 采用近端 Cobb-1 选择性融合策略或适当延长融合节段, 可有效降低失衡风险[19]。此外, 术前影像学参数的筛查可有效识别高风险患者, 对于术前 LIV 倾斜角 $\geq 25^\circ$ 、顶椎平移度 ≥ 49.5 mm 的患者, 可适当延长融合节段或优化术中矫形力度, 以降低 PCI 风险[8] [18]。针对 AdIS, 推荐使用稳健的矫形技术并延长融合节段[2] [22]。

5. IS 椎旁肌失衡的机制与临床意义

椎旁肌失衡是 IS 的重要病理特征, 表现为双侧椎旁肌的激活程度、形态结构、分子表达的不对称性 [3] [12] [14]。此前关于椎旁肌失衡是脊柱畸形的原因还是结果存在争议, 近年来的多组学研究证实, IS 存在原发性椎旁肌失衡, 为该病的病因研究与早期干预提供了新方向。

5.1. 椎旁肌失衡的形态与功能特征

IS 患者的椎旁肌失衡主要体现在功能与形态两个层面, 且该特征在 AIS 与 AdIS 患者中均存在。功能层面, 李柯蓉等[14]发现椎旁肌的不对称激活是导致患者运动功能受损的重要原因。形态层面, 姜横[3]、Ye 等[12]多项研究均发现椎旁肌的形态异常与脊柱侧凸的进展相互影响[3] [12]。对于 AdIS 患者, 鲍虹达[17]的研究发现, 椎旁肌功能状态是影响 AdIS 患者术后疗效的重要因素。

5.2. 椎旁肌失衡的分子机制

王振[1]通过转录组、蛋白质组、代谢组的多组学分析, 证实 IS 的椎旁肌失衡是原发性的, 而非脊柱畸形的继发性改变, 辅肌动蛋白 $\alpha 3$ 、水通道蛋白 4 是 IS 椎旁肌失衡的关键基因/蛋白, 脂肪细胞脂解的调节、醛固酮的合成与分泌是其核心差异通路。姜横[3]的研究则发现, AIS 患者椎旁肌的 miRNA 表达存在双侧不对称, hsa-miR-516a-5p、hsa-miR-517a-3p 的差异表达与 DNA 甲基化修饰相关, 且与 Cobb 角、

手术年龄密切相关, 提示表观遗传调控参与了椎旁肌失衡的形成。这些分子机制的发现为 IS 的早期干预提供了潜在靶点。

5.3. 椎旁肌失衡的临床意义与标志物转化闭环

椎旁肌失衡的研究为 IS 的康复治疗与早期干预提供了重要依据。在康复治疗方面, 李柯蓉等[14]提出 IS 的康复评估应重点关注双侧椎旁肌的平衡; 为使转化医学的逻辑闭环更加严密, 未来的核心在于将当前发现的分子通路上升为临床生物标志物(Biomarkers)检验规范。基于已确认的辅肌动蛋白 $\alpha 3$ 、水通道蛋白 4 以及特定的 miRNA (如 hsa-miR-516a-5p) [1] [3]。研究应致力于开展大样本队列验证。通过提取外周血或术中病变肌肉微小样本, 建立针对这些靶点的标准化多重 PCR 或 ELISA 检测规范, 从而在宏观影像学改变发生之前, 实现对 IS 进展高危人群的早期分子分型与精准预警。此外, 椎旁肌的脂肪浸润程度可作为监测侧凸进展的宏观影像学指标[12]。

6. IS 手术技术的优化与围手术期评估

随着脊柱外科技术的发展, IS 的手术治疗已从单纯的矫形转向“矫形 + 平衡 + 功能保留”的个体化治疗, 术中影像学评估、数字化模拟、微创手术技术的应用, 进一步提高了手术的精准性与安全性; 同时, 围手术期的参数评估也为手术规划与术后疗效预测提供了依据, 且需根据 AIS 与 AdIS 的亚型特点进行个体化调整。

6.1. 术中影像学评估的价值

术中影像学参数的测量可有效预测术后远期疗效, 为术中矫形的实时调整提供依据。Lee 等[24]的 5 年随访研究发现, 术中俯卧位片测量的 LIV + 1 倾斜角与术后远期的 LIV + 1 倾斜角、顶椎平移度密切相关, 当术中 LIV + 1 倾斜角 $\geq 10^\circ$ 时, 患者术后的影像学结局较差, 提示术中需将 LIV + 1 倾斜角控制在 10° 以内, 该标准适用于各亚型 IS 患者。

此外, 术中测量的 DWA 在 L3 组中与术后 5 年的 DWA 显著相关, 可作为术中矫形的重要参考[24]。Barsi 等[25]则发现, 术中透视测量的 LIV 下方椎间盘楔角在术后 2 年仍保持稳定, 而 LIV 倾斜角的改善难以维持, 提示术中需重点控制椎间盘楔角, 以减少术后脊柱退变, 这一发现对 AdIS 患者尤为重要, 因其本身合并退变风险更高。

6.2. 数字化技术在手术规划中的应用

数字化模拟截骨、3D 打印技术已逐渐应用于 IS 的手术规划, 显著提高了手术的个体化与精准性。数字化模拟截骨可有效预测退变性脊柱侧凸患者术后的矢状面重建效果, 联合设定 PT 法与调节比例法的模拟方案, 可显著优化手术规划, 该技术同样适用于 AdIS 患者的复杂矫形手术[17]。对于 AIS 患者, 基于 CT 的 3D 重建可清晰显示脊柱椎体的旋转、倾斜程度, 为椎弓根螺钉的置入与 LIV 的选择提供精准的解剖依据, 减少术中神经损伤、螺钉位置不良等并发[26]。

6.3. 围手术期的临床与影像学评估

围手术期的临床评分与影像学参数结合, 可全面评估手术疗效。脊柱侧凸研究学会 22 项问卷量表 (SRS-22) 是评估 IS 患者术后生活质量的金标准[1] [5], 研究发现, PCI 患者的 SRS-22 满意度与总分显著低于非 PCI 患者[9] [18], 而椎旁肌康复训练可显著提高患者的 SRS-22 评分[14]。对于 AdIS 患者, 除 SRS-22 外, VAS 疼痛评分也是重要的临床评估指标, 其与脊柱畸形程度密切相关[2]。

术前的脊柱柔韧性评估(如全麻下牵引片、侧方弯曲片)可帮助选择合适的融合节段与矫形方式[16],

术后的长期影像学随访需重点关注 LIV 下方 DWA、椎体倾斜度及脊柱-骨盆平衡, 以早期发现脊柱退变与矫形丢失[5][24]。对于 AdIS 患者, 术后还需关注椎旁肌脂肪浸润程度的变化, 以评估康复治疗效果[17]。

7. 当前研究的不足与未来展望

尽管近年来 IS 的诊疗研究取得了诸多进展, 但目前仍存在一些亟待解决的问题, 同时基础研究与临床应用的转化、个体化诊疗的实现是未来的核心研究方向。

7.1. 目前研究的不足

第一, 尽管影像学评估体系不断完善, 但不同诊疗中心对于骶骨偏斜、远端融合椎(LIV)倾斜角等关键参数的测量标准仍存在分歧。诸如骶骨偏斜的高低分级、LIV 倾斜角的危险阈值等核心指标, 尚缺乏多中心、大样本的临床研究加以验证。此外, 目前针对成人特发性脊柱侧凸(AdIS)患者的特异性参数阈值探索仍存在明显空白。第二, 目前学术界对椎旁肌失衡的认识仍多停留在基础研究层面, 其背后的关键调控基因与信号通路的确切功能尚未被彻底解析。这导致潜在的靶向干预手段迟迟无法转化为实质性的临床应用。同时, 我们也缺乏针对不同亚型 IS 患者在椎旁肌失衡表现上差异性的横向对比研究。第三, 成人特发性脊柱侧凸的研究相对匮乏, AdIS 与 AIS 的矫形策略差异、术后并发症的防治缺乏系统的前瞻性研究, 尤其是合并多种基础疾病的老年 AdIS 患者的诊疗研究不足。第四, 现有研究的随访时间多为 2~5 年, 超过 5 年的长期随访研究较少, 关于脊柱融合术后远期椎间盘退变、腰痛的危险因素与防治策略研究不足, 且缺乏不同亚型 IS 远期疗效的对比研究。第五, 目前针对 IS 的早期临床干预手段非常单一, 传统的支具治疗仅能阻断部分患者的畸形进展, 临床上极度缺乏突破性的药物或物理干预新方案。特别是对于那些具有高进展风险的 IS 患者, 如何建立并优化行之有效的早期干预体系, 是我们亟待突破的瓶颈。

7.2. 未来研究展望

第一, 建立多中心、标准化的影像学参数测量体系, 并引入人工智能(AI)实现自动测量, 验证各参数的临床阈值。第二, 深入解析椎旁肌失衡的分子机制, 开发基于 miRNA 靶向治疗或个体化核心训练的早期干预手段。第三, 加强 AdIS 的前瞻性研究, 制定基于年龄、柔韧性及合并症的个体化矫形策略。第四, 开展长期随访研究(≥ 10 年), 探讨不同亚型 IS 脊柱融合术后远期脊柱退变、腰痛的危险因素, 建立术后长期的随访与干预体系。第五, 深度融合 3D 打印、手术导航及机器人技术, 推动 IS 的个性化精准手术发展。第六, 强化多学科协作(骨科、康复科、心理科等), 提供“手术 + 康复 + 心理”的综合治疗方案, 全面提升患者生活质量。

近年来, 特发性脊柱侧凸诊疗在多个维度取得显著进展: S1 终板被确认为骶骨偏斜测量的标准化标志; 卧位 CT 为 LIV 的选择提供了新辅助; 基于骶骨倾斜与 CSVL 位置的个体化 LIV 选择策略已初步形成。在并发症防治方面, 明确了 PCI 的独立危险因素并推广了术中横杆技术; 在病因学方面, 多组学研究揭示了椎旁肌失衡的原发性机制。临床实践中, 必须结合患者亚型、影像学参数及合并症制定个体化策略, 坚持“平衡重建 + 功能保留 + 稳定性保障”的手术核心原则, 并重视术后康复。未来, 随着标准化测量的推广、分子机制的突破与数字化技术的深度应用, IS 诊疗必将朝着“早期干预、精准矫形、综合治疗”的方向迈进, 为患者创造更大的临床获益。

基金项目

云南省科技厅重点研发计划(202403AC100008), 昆明医科大学一流学科团队项目(2024XKTDYS05),

云南省创新团队(202505AS350011)。

参考文献

- [1] 王振. 特发性脊柱侧凸远端融合椎的选择及椎旁肌不平衡的多组学研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 北京协和医学院, 2023.
- [2] Pan, X., Qiao, J., Liu, Z., Shi, B., Mao, S., Li, S., *et al.* (2023) Posterior-only Correction Surgery for Idiopathic Scoliosis Lenke Type 5c: Differences of Strategies and Outcomes between Adult Patients and Adolescent Patients. *Spine Deformity*, **11**, 665-670. <https://doi.org/10.1007/s43390-023-00647-4>
- [3] 姜横. 青少年特发性脊柱侧凸两侧椎旁肌的不平衡及其形成机制研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 第二军医大学, 2017.
- [4] Suk, S.I., Lee, S.M., Chung, E.R., Kim, J.H. and Kim, S.S. (2005) Selective Thoracic Fusion with Segmental Pedicle Screw Fixation in the Treatment of Thoracic Idiopathic Scoliosis: More Than 5-Year Follow-Up. *Spine*, **30**, 1602-1609. <https://doi.org/10.1097/01.brs.0000169452.50705.61>
- [5] Hwang, C.J., Cho, J.H., Park, S., Lee, D., Ahn, T. and Jeong, G. (2026) Effect of Sacral Slanting on Coronal Balance and Residual Curve after Lumbar Curve Correction in Adolescent Idiopathic Scoliosis: A 5-Year Follow-Up Study. *Global Spine Journal*, **2026**, Article 21925682261421188. <https://doi.org/10.1177/21925682261421188>
- [6] Li, Z., Du, Y., Zhao, Y., Lin, G., Zhang, H., Li, C., *et al.* (2023) Lowest Instrumented Vertebra at L3 versus L4 in Posterior Fusion for Moderate Lenke 5C Type Adolescent Idiopathic Scoliosis: A Case-Match Radiological Study. *Neurosurgery*, **20**, 1380-1388. <https://doi.org/10.14245/ns.2346822.411>
- [7] Kanie, Y., Kaito, T., Takenaka, S., Kitahara, T., Furuya, M., Ukon, Y., *et al.* (2026) Optimal Measurement of Sacral Obliquity in Adolescent Idiopathic Scoliosis-Associated Sacral Deformity. *Journal of Neurosurgery: Spine*, **2026**, 1-7. <https://doi.org/10.3171/2025.9.spine25561>
- [8] Shetty, A.P., Suresh, S., Aiyer, S.N., Kanna, R. and Rajasekaran, S. (2017) Radiological Factors Affecting Post-Operative Global Coronal Balance in Lenke 5 C Scoliosis. *Journal of Spine Surgery*, **3**, 541-547. <https://doi.org/10.21037/jss.2017.09.04>
- [9] 高翔成, 都金鹏, 黄云飞, 王江, 李帅, 郝定均, 闫亮, 贺宝荣. Lenke 5C 型青少年特发性脊柱侧凸病人行后路脊柱融合术后持续性冠状面失衡的危险因素分析[J]. 骨科, 2023, 14(1): 19-26.
- [10] Shetty, A.P., Rajasekaran, S., Subramani, S. and Kanna, R. (2016) Preoperative LIV Tilt Affects Post Operative Coronal Imbalance in Patients with Lenke 5C Scoliosis. *Global Spine Journal*, **6**, s-0036-1583048. <https://doi.org/10.1055/s-0036-1583048>
- [11] Yamada, K., Sudo, H., Abe, Y., Kokabu, T., Tachi, H., Endo, T., *et al.* (2023) Influence of Lateral Translation of Lowest Instrumented Vertebra on L4 Tilt and Coronal Balance for Thoracolumbar and Lumbar Curves in Adolescent Idiopathic Scoliosis. *Journal of Clinical Medicine*, **12**, Article 1389. <https://doi.org/10.3390/jcm12041389>
- [12] Ye, H., Xu, Y., Mi, R., Liu, Y., Lyu, Y., Wu, S., *et al.* (2024) Evaluation of Paravertebral Muscle Structure Asymmetry in Idiopathic Scoliosis Using Imaging Techniques. *World Neurosurgery*, **191**, e547-e555. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2024.08.165>
- [13] 梁瑞歌, 张逸, 刘翠, 王维, 张伟. 退行性腰椎侧凸椎旁肌横截面积和脂肪化程度的变化及临床意义[J]. 脊柱外科杂志, 2021, 19(4): 243-246.
- [14] 李柯蓉, 谢登玄, 林姝涵, 赵智, 王玮, 孟繁媛. 青少年特发性脊柱侧凸患者躯干屈伸时椎旁肌表面肌电和运动功能的特征观察[J]. 中国康复, 2025, 40(2): 72-77.
- [15] Banno, T., Yamato, Y., Oba, H., Ohba, T., Hasegawa, T., Yoshida, G., *et al.* (2021) Should L3 Be Selected as the Lowest Instrumented Vertebra in Patients with Lenke Type 5C Adolescent Idiopathic Scoliosis Whose Lowest End Vertebra Is L4? *Journal of Neurosurgery: Spine*, **35**, 330-339. <https://doi.org/10.3171/2020.11.spine201807>
- [16] Hamzaoglu, A., Ozturk, C., Enercan, M. and Alanay, A. (2013) Traction X-Ray under General Anesthesia Helps to Save Motion Segment in Treatment of Lenke Type 3C and 6C Curves. *The Spine Journal*, **13**, 845-852. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2013.03.043>
- [17] 鲍虹达. 脊柱畸形患者的肌肉三维定量分析, 术前影像学评估和术后疗效分析[D]: [博士学位论文]. 南京: 南京大学, 2016.
- [18] Banno, T., Yamato, Y., Oba, H., Ohba, T., Hasegawa, T., Yoshida, G., *et al.* (2022) Risk Factors and Clinical Impact of Persistent Coronal Imbalance after Posterior Spinal Fusion in Thoracolumbar/Lumbar Idiopathic Scoliosis. *Journal of Neurosurgery: Spine*, **37**, 883-892. <https://doi.org/10.3171/2022.5.spine22385>
- [19] Fang, Y., Li, J., Hu, Z., Zhu, Z., Qiu, Y. and Liu, Z. (2024) Postoperative Coronal Imbalance in Lenke 5C Adolescent

- Idiopathic Scoliosis: Evolution, Risk Factors, and Clinical Implications. *Neurospine*, **21**, 903-912. <https://doi.org/10.14245/ns.2448544.272>
- [20] Chen, K., Bai, J., Yang, Y., Shao, J., Yang, M., Zhao, J., *et al.* (2019) Immediate Postoperative Coronal Imbalance in Lenke 5 and Lenke 6 Adolescent Idiopathic Scoliosis: Is It Predictable? *European Spine Journal*, **28**, 2042-2052. <https://doi.org/10.1007/s00586-019-06019-9>
- [21] Yang, C., Zhao, Y., Zhai, X., Li, J., Zhu, X. and Li, M. (2017) Coronal Balance in Idiopathic Scoliosis: A Radiological Study after Posterior Fusion of Thoracolumbar/Lumbar Curves (Lenke 5 or 6). *European Spine Journal*, **26**, 1775-1781. <https://doi.org/10.1007/s00586-016-4844-2>
- [22] Barile, F., Ruffilli, A., Paolucci, A., Violi, G., Manzetti, M., Traversari, M., *et al.* (2023) Risk Factors for Postoperative Coronal Imbalance after Surgical Correction of Adult Spinal Deformities: A Systematic Review with Pooled Analysis. *Journal of Neurosurgery: Spine*, **38**, 558-572. <https://doi.org/10.3171/2023.1.spine22669>
- [23] Kwan, M.K., Lee, S.Y., Leong, V.J., Leong, A.W.Y., Teng, Z.S., Ting, H.C., *et al.* (2026) Prevention of Postoperative Coronal Imbalance in Patients with Adolescent Idiopathic Scoliosis with a Major Lumbar Curve: The Intraoperative Crossbar Coronal-Balancing Technique. *Journal of Bone and Joint Surgery*, **108**, 60-67. <https://doi.org/10.2106/jbjs.25.00597>
- [24] Lee, C.S., Park, K., Hwang, C.J., Cho, J.H., Lee, D. and Park, S. (2022) Prediction of Long-Term Postoperative Results of Disc Wedge and Vertebral Tilt with Intraoperative Prone Radiograph in Posterior Correction of Thoracolumbar/Lumbar Curve in Adolescent Idiopathic Scoliosis: A Minimum 5-Year Follow-Up. *The Spine Journal*, **22**, 463-471. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2021.09.002>
- [25] Barsi, J., Caprio, B., Garg, S., Baulesh, D. and Erickson, M. (2015) Do Intraoperative Liv-Tilt and Disk Angle Remain Stable at 2-Year Follow-Up Compared with Upright Radiographs in Patients with Idiopathic Scoliosis: A Retrospective Cohort Stud. *Journal of Spinal Disorders & Techniques*, **28**, 264-269. <https://doi.org/10.1097/bsd.0b013e3182aa4c4b>
- [26] Qiu, Y., Wang, S., Wang, B., Yu, Y., Zhu, F. and Zhu, Z. (2008) Incidence and Risk Factors of Neurological Deficits of Surgical Correction for Scoliosis: Analysis of 1373 Cases at one Chinese Institution. *Spine (Phila Pa 1976)*, **33**, 519-526.