

· 综述 ·

青少年特发性脊柱侧弯脊柱前部过度生长的研究进展



全文二维码

冷寒¹ 黄晋² 张辰² 汪娟² 李凯¹ 温剑涛² 何勇²¹ 甘肃中医药大学, 兰州 730000; ² 甘肃省中医院, 兰州 730000

通信作者: 何勇, Email: 1774898257@qq.com

【摘要】 青少年特发性脊柱侧弯 (adolescent idiopathic scoliosis, AIS) 是一种常见于女性的复杂脊柱三维畸形。探索 AIS 的发生、发展机制是治疗该病的关键。脊柱前部过度生长 (relative anterior spinal overgrowth, RASO) 被认为在 AIS 的发生发展过程中起到至关重要的作用。脊柱前部相对生长速度加快以及不对称元素的潜在变化, 可以诱导脊柱侧弯的发生发展, 并伴随脊柱侧弯的进展而恶化, 这是导致 AIS 的关键因素。本文就 AIS 与 RASO 的相关性研究进展进行综述, 为 AIS 的临床及科研工作提供参考。

【关键词】 青少年特发性脊柱侧弯; 脊柱前部过度生长; 椎体; 椎间盘

基金项目: 甘肃省自然科学基金 (22JR5RA632); 甘肃省联合科研基金重大项目 (23JRRA1529)

DOI: 10.3760/cma.j.cn101785-202302024-019

Research progress on anterior spinal overgrowth in adolescent idiopathic scoliosis

Leng Han¹, Huang Jin², Zhang Chen², Wang Juan², Li Kai¹, Wen Jiantao², He Yong²¹ Gansu University of Chinese Medicine, Lanzhou 730000, China; ² Gansu Provincial Hospital of Traditional Chinese Medicine, Lanzhou 730000, China

Corresponding author: He Yong, Email: 1774898257@qq.com

【Abstract】 Adolescent idiopathic scoliosis (AIS) is a common complex three-dimensional spinal deformity that predominantly affects females. Understanding the mechanisms of the onset and progression of AIS is crucial for its treatment. Relative anterior spinal overgrowth (RASO) is believed to play a crucial role in the development of AIS. Accelerated relative growth of the anterior spine and potential asymmetrical changes in elements can induce the onset and progression of spinal curvature, which worsens with the progression of scoliosis, making it a key factor in the development of AIS. This review summarizes the research progress on the correlation between AIS and RASO, providing reference for clinical and research work on AIS.

【Key words】 Adolescent Idiopathic Scoliosis; Relative Anterior Spinal Overgrowth; Vertebra; Intervertebral Disc

Fund program: Natural Science Foundation of Gansu Province (22JR5RA632); Major Project of Gansu Provincial Joint Scientific Research Fund (23JRRA1529)

DOI: 10.3760/cma.j.cn101785-202302024-019

青少年特发性脊柱侧弯 (adolescent idiopathic scoliosis, AIS) 是一种影响脊柱冠状面、矢状面和轴位旋转的复杂脊柱三维畸形^[1]。据不完全统计, AIS 的患病率为 2%~3%, 以女性多见, 给青少年身心健康和生活造成严重影响^[2]。近期有研究表明, 脊柱前部过度生长 (relative anterior spinal overgrowth, RASO) 是由于脊柱发生侧弯时, 为保证人体脊柱平衡而出现的一种前凸畸形, 是特发性脊柱侧弯的一个特征, 也是 AIS 发生发展的一个影响因素。本文围绕 AIS 与 RASO 的相关性研究进展进行综述。

一、脊柱前部过度生长的部位

(一) 椎体

在 AIS 进展中, 脊椎表现为椎体楔变、凹侧椎弓根短小或消失、凸侧椎弓根粗大、椎弓根方向扭转、椎管形态不规则等。其中椎体异常生长模式是一个重要的危险因素, 前后椎体大小不成比例与脊柱侧弯曲线的严重程度相关。Dede 等^[3]研究发现, 无脊柱畸形的儿童椎体纵向生长的高度不会因年龄增长而改变。Pasha 等^[4]认为, 椎体前后高度的差异主要取决于侧弯的形态, 主要差异在顶椎区, 并与脊柱矢状

面形态有关。他们认为,AIS 的矢状面特征是侧弯顶椎区椎体前部高度增加。椎体的差异性生长可能是脊柱侧弯椎体发生楔形变化的主要原因,随着弯曲程度的增加,脊柱凹侧和凸侧的应力也随侧弯的进展而改变,从而形成一种恶性循环。Newell 等^[5]研究发现,AIS 患者存在脊柱前部过度生长,但前部过度生长的程度与侧弯进展和严重程度无关。de Reuver 等^[6]研究发现,胸椎 AIS 患者脊柱前部增长,前后长度存在差异,主要在凸侧。为了维护脊柱平衡,可能会导致后凸增加。此外,研究发现患有脊柱侧弯的鲸鱼腹侧较背侧长 9.4%^[7]。虽然证明了脊柱侧弯患者的脊柱存在前部过度生长改变,但不能明确是 RASO 引起脊柱侧弯的直接原因。Gardner 等^[8]研究发现,无脊柱畸形的儿童后凸和前凸随年龄增长而增加,男性和女性的后凸差异无统计学意义,但女性前凸大于男性。前柱的过度生长对前后柱的高度不对称造成了影响,改变了脊柱侧弯患者的压力分布模式,从而导致脊柱矢状面畸形更为明显。

(二)椎间盘

最新研究发现,椎间盘高度增加是导致 RASO 的重要机制,也是矢状面脊柱侧弯的驱动因素^[9]。de Reuver 等^[10]通过 CT 扫描研究脊柱侧弯,发现前部高度增加主要发生在椎间盘,椎体并未出现过度增长,在不同类型脊柱侧弯中都有类似发现。Schlösser 等^[11]研究发现,脊柱侧弯患者的椎间盘发生扭曲、前部过度生长和楔形性改变比椎骨多出至少 3 倍,且与 Cobb 角存在显著相关性。椎间盘在前部扩张的同时,椎板间和棘间的软组织以小关节为支点向后压缩,导致脊柱被动延长。de Reuver 等^[6]对鲸鱼尸体的脊柱侧弯测量时发现,前部高度增加主要发生在椎间盘上,因为鲸鱼代偿弯中椎间盘的前后长度存在差异,表明椎间盘呈前凸形状,前部长度几乎是后部长度的 2 倍。Brink 等^[9]研究表明,顶椎区椎体和椎间盘存在前后长度差异。Sullivan 等^[12]研究表明,当 AIS 患者存在 RASO 时,伴随后椎间盘生长的限制或由于脊柱不对称应力而导致椎间盘楔入。Addai 等^[13]研究发现,椎间盘楔入可能是由于椎体旋转远离中线产生的机械效应。椎体旋转刚开始时被椎间盘的弹性所吸收,遇到更大阻力时,压力落在椎体,使得一侧的生长受到抑制,从而导致骨骼变形,畸形进一步加重。

二、RASO 可能导致 AIS 的机制

(一)脊柱前后部差异

对 AIS 患儿脊柱进行 CT 测量发现,脊柱前后部差异可能通过前柱延长或后柱缩短来实现^[9]。AIS 胸部畸形明显表现为后凸不足或减退^[14-18]。胸椎后凸减退是保持平衡的重要代偿机制,但也可能导致颈椎退化和功能障碍的风险增加^[15,19]。Newton 等^[14]研究表明,严重胸椎侧弯患者和严重胸腰椎侧弯患者的后凸显著减少,且 RASO 和侧弯曲率的发展及后凸有关。Schlager 等^[20]的研究结果与之一致,表明前后柱之间和内部载荷的分配不均匀。椎体前部在矢状面负荷减少的情况下会被动扩张,从而使椎骨和椎间盘生长出现不对称改变。随着畸形进一步发展,可能会产生恶性循环,

导致椎骨不对称发育^[10]。研究发现,即使在 AIS 早期阶段,胸部与腰椎侧弯的矢状面已明显不同,胸部后倾段更长,由更多的椎骨组成;而腰椎侧弯,后倾段更短且更陡峭^[19]。冠状面弯曲的严重程度与胸部后凸的进行性减退密切相关^[20]。与其他研究结果相似,Cobb 角较大的患者胸椎后凸明显较小^[16]。Schlager 等^[20]通过对 117 名男性和 79 名女性 7 年内脊柱后凸-脊柱前凸差异的测量计算,发现女性比男性具有更高的前凸度、更多的后倾椎骨。随着胸曲角度值的增加,女性胸椎后凸明显减小^[21]。研究发现,女性 AIS 患者胸椎比无症状人群更细长(更高和更薄)^[22-23]。这也可能是导致女性 AIS 病例数量增加的因素之一。

(二)脊柱前后韧带张力差异性

Cheng 等^[24]通过建立三维弹簧模型的研究发现,AIS 患者常伴随韧带松弛,对前柱的影响比后柱更为明显。此外,Crijns 等^[25]研究发现,前后柱张力的差异性可能导致前柱生长快于后柱,前部约束力导致脊柱后凸减少或前凸增加。当脊柱前部张力减小,可以减少脊柱侧弯的发生或进展。研究表明,前柱和后柱之间的差异可能导致后凸畸形,这些因素对于理解 AIS 的发生机制具有重要意义。

(三)RASO 引起前部旋转

AIS 主要与脊柱矢状面和冠状面的不对称有关^[12]。根据 Huter-Volkman 定律,脊柱侧弯凹侧生长板受到的压力比凸侧大,凸侧生长板更具活性,具有更强的成骨能力,从而导致侧弯进行性加重^[26]。不同类型 AIS 的矢状面前后椎体高度差异与曲线类型和椎体轴向旋转相关。在发生脊柱侧弯时,首先出现的是脊柱前凸,随后是侧偏,最后导致脊柱旋转^[27]。根据目前研究,有两种理论可以解释 AIS 前后椎体高度差异的变化:第一,随着前后椎体高度差的增加,椎骨发生旋转,从而导致脊柱侧弯;第二,根据 Hueter-Volkman 定律,椎骨旋转调节了椎骨的机械负荷,并增加了前部生长^[4]。凹部与凸部的距离差异导致椎体朝向脊柱侧弯凹部旋转,这也是脊柱侧弯发展的潜在影响因素^[28]。AIS 的前后长度差异是由于轴向旋转引起,当前凸到达一定程度后,椎体必须通过增加旋转度来维持身体平衡,一旦脊柱失去平衡,就会发生旋转畸形,导致脊柱前部变长。研究表明,脊柱 Cobb 角度与矢状面胸椎后凸角度存在显著相关性^[29]。此外,胸椎后凸较小的患者引起的轴状面旋转较正常胸椎后凸患者更多^[30]。因此,在脊柱侧弯矫形手术过程中,矫正冠状面的同时也需要矫正矢状面畸形。

三、展望

研究表明,椎体、椎间盘及韧带张力等对脊柱的影响均可能导致 RASO^[12]。椎间纤维软骨的硬度与椎骨降低可能导致椎间盘前部生长,降低脊柱固有的稳定性,成为脊柱侧弯畸形的驱动因素^[12]。椎体不是前凸倾向的根源,椎骨异常生长可能是 AIS 曲线进展的结果^[4]。椎体和椎间盘的双重影响导致脊柱前后部差异。在 AIS 生长过程中,椎体楔入对冠状面畸形的贡献更大^[31]。但另一研究表明,椎间盘对前部长度增加的贡献更大,表明前后柱差异性生长适应了改

变的负荷,并非主要的生长障碍^[32]。另外,椎体和椎间盘楔入方式受脊柱部位的影响。Yeung 等^[33]研究发现,在胸椎的曲线中,较多的是椎体楔入;而在腰椎的曲线中,较多的是椎间盘楔入。Labrom 等^[34]研究显示,RASO 最常见于曲线的顶点附近,但不存在于交界区,证实 RASO 是 Cobb 角的影响因素之一。

RASO 主要出现在脊柱的胸椎或胸腰椎段,脊柱前后部相比,前部存在过度生长。AIS 患者的脊柱前部出现骨组织和软骨组织的楔入,形成前部畸形、椎间隙变窄、椎体形态异常及凹凸侧椎弓根不对称发育等,使 RASO 椎间盘比椎体承担更重要的作用;同时,AIS 患者椎弓根直径凹侧小于凸侧,椎弓根的畸形受侧弯角度的影响。AIS 患者前部过长、后部过短使相应脊髓长度相对较短,易形成脊髓栓系。椎体和椎间盘导致的 RASO 可能是对作用在脊柱上的力学适应的结果,生物力学因素对其产生影响的有限元分析证明了这一点。鲍虹达等^[32]研究表明,RASO 也可以出现在非特发性脊柱侧弯,并且可能是被动现象。RASO 可能是一种继发现象,因为在其他类型的脊柱侧弯中也存在。AIS 组和 Chiari I 型畸形组都表现为前柱过度生长,椎体更长,椎弓根更短,两组的前柱过度生长可能有相同的病因^[35]。此外,有研究表明,前后椎体的高度差与 Cobb 角无关,不能确定 RASO 发生于脊柱侧弯之前^[5,35]。

综上所述,脊柱前部过度生长在 AIS 的发生发展中起着重要的作用。除椎体外,任何降低脊柱稳定性的因素,如神经肌肉、韧带也参与脊柱侧弯的发生发展。继发性的椎间盘前部延长是 AIS 前柱和后柱长度差异的主要原因,骨骼自身变化较少,其影响 AIS 进展的程度有待进一步明确。此外,尚未详细研究椎板、层间间隙、棘突和棘突间间隙影响 RASO 的程度。因此,目前对于 AIS 患者,究竟是 RASO 导致脊柱侧弯发生发展,还是脊柱侧弯后导致了 RASO,尚存在争议,二者之间的因果关系还需要进一步明确。RASO 作为 AIS 发生发展机制的一部分,早期发现脊柱前部长度增加、后凸消失或前后高度差异等脊柱生长不平衡的特征性表现,并进行干预,可能减缓 Cobb 角的进展以及椎体旋转程度的增加,从而提高脊柱旋转稳定性。此外,RASO 可能加重术后椎体的旋转和侧弯畸形的复发以及进展,因此,对于具有生长潜能的需要手术干预的 AIS 患者,需根据这种不平衡来综合考虑手术方式,平衡脊柱两侧的不对称压力,以取得良好的矫形效果。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] Sud A, Tsirikos AI. Current concepts and controversies on adolescent idiopathic scoliosis: Part I [J]. Indian J Orthop, 2013, 47 (2): 117-128. DOI: 10.4103/0019-5413.108875.
- [2] Tambe AD, Panikkar SJ, Millner PA, et al. Current concepts in the surgical management of adolescent idiopathic scoliosis [J]. Bone Joint J, 2018, 100-B(4): 415-424. DOI: 10.1302/0301-620X.100B4. BJJ-2017-0846. R2.
- [3] Dede O, Büyükdogan K, Demirkiran HG, et al. The development of thoracic vertebral sagittal morphology during childhood [J]. Spine Deform, 2016, 4 (6): 391-394. DOI: 10.1016/j.jspd.2016.08.001.
- [4] Pasha S, Sankar WN, Castelein RM. The link between the 3D spino-pelvic alignment and vertebral body morphology in adolescent idiopathic scoliosis [J]. Spine Deform, 2019, 7 (1): 53-59. DOI: 10.1016/j.jspd.2018.05.016.
- [5] Newell N, Grant CA, Keenan BE, et al. Quantifying progressive anterior overgrowth in the thoracic vertebrae of adolescent idiopathic scoliosis patients: a sequential magnetic resonance imaging study [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2016, 41 (7): E382-E387. DOI: 10.1097/BRS.0000000000001265.
- [6] de Reuver S, de Block N, Brink RC, et al. Convex-concave and anterior-posterior spinal length discrepancies in adolescent idiopathic scoliosis with major right thoracic curves versus matched controls [J]. Spine Deform, 2023, 11 (1): 87-93. DOI: 10.1007/s43390-022-00566-w.
- [7] de Reuver S, IJsseldijk LL, Homans JF, et al. What a stranded whale with scoliosis can teach us about human idiopathic scoliosis [J]. Sci Rep, 2021, 11 (1): 7218. DOI: 10.1038/s41598-021-86709-x.
- [8] Gardner A, Berryman F, Pynsent P. The development of kyphosis and lordosis in the growing spine [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2018, 43 (19): E1109-E1115. DOI: 10.1097/BRS.0000000000002654.
- [9] Brink RC, Schlösser TPC, van Stralen M, et al. Anterior-posterior length discrepancy of the spinal column in adolescent idiopathic scoliosis-a 3D CT study [J]. Spine J, 2018, 18 (12): 2259-2265. DOI: 10.1016/j.spinee.2018.05.005.
- [10] de Reuver S, Brink RC, Homans JF, et al. Anterior lengthening in scoliosis occurs only in the disc and is similar in different types of scoliosis [J]. Spine J, 2020, 20 (10): 1653-1658. DOI: 10.1016/j.spinee.2020.03.005.
- [11] Schlösser TPC, van Stralen M, Brink RC, et al. Three-dimensional characterization of torsion and asymmetry of the intervertebral discs versus vertebral bodies in adolescent idiopathic scoliosis [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2014, 39 (19): E1159-E1166. DOI: 10.1097/BRS.0000000000000467.
- [12] Sullivan TB, Bastrom TP, Reighard F, et al. Changes in peri-apical vertebral body and intervertebral disc shape in both the sagittal and coronal planes correlate with scoliosis severity: a 3D study of 397 patients [J]. Spine Deform, 2021, 9 (4): 959-967. DOI: 10.1007/s43390-021-00293-8.
- [13] Addai D, Zarkos J, Bowey AJ. Current concepts in the diagnosis and management of adolescent idiopathic scoliosis [J]. Childs Nerv Syst, 2020, 36 (6): 1111-1119. DOI: 10.1007/s00381-020-04608-4.
- [14] Newton PO, Osborn EJ, Bastrom TP, et al. The 3D sagittal profile of thoracic versus lumbar major curves in adolescent idiopathic scoliosis [J]. Spine Deform, 2019, 7 (1): 60-65. DOI: 10.1016/j.jspd.2018.05.003.
- [15] Mak T, Cheung PWH, Zhang T, et al. Patterns of coronal and sagittal deformities in adolescent idiopathic scoliosis [J]. BMC Musculoskelet Disord, 2021, 22 (1): 44. DOI: 10.1186/s12891-020-03937-4.
- [16] Lee TTY, Lai KKL, Cheng JCY, et al. Investigation of the phenomenon of coronal-sagittal curvature coupling on curve progression: an exploratory study using 3-D ultrasound [J]. Ultrasound Med Biol, 2021, 47 (8): 2202-2212. DOI: 10.1016/j.ultrasmedbio.

- 2021.03.037.
- [17] Schlösser TPC, Castelein RM, Grobost P, et al. Specific sagittal alignment patterns are already present in mild adolescent idiopathic scoliosis[J]. *Eur Spine J*, 2021, 30(7): 1881–1887. DOI: 10.1007/s00586-021-06772-w.
- [18] Sullivan TB, Bastrom TP, Bartley CE, et al. More severe thoracic idiopathic scoliosis is associated with a greater three-dimensional loss of thoracic kyphosis[J]. *Spine Deform*, 2020, 8(6): 1205–1211. DOI: 10.1007/s43390-020-00149-7.
- [19] Young E, Regan C, Currier BL, et al. At mean 30-year follow-up, cervical spine disease is common and associated with thoracic hypokyphosis after pediatric treatment of adolescent idiopathic scoliosis[J]. *J Clin Med*, 2022, 11(20): 6064. DOI: 10.3390/jcm11206064.
- [20] Schlager B, Krump F, Boettinger J, et al. Characteristic morphological patterns within adolescent idiopathic scoliosis may be explained by mechanical loading[J]. *Eur Spine J*, 2018, 27(9): 2184–2191. DOI: 10.1007/s00586-018-5622-0.
- [21] Schlösser TPC, Shah SA, Reichard SJ, et al. Differences in early sagittal plane alignment between thoracic and lumbar adolescent idiopathic scoliosis[J]. *Spine J*, 2014, 14(2): 282–290. DOI: 10.1016/j.spinee.2013.08.059.
- [22] Sullivan TB, Reighard FG, Osborn EJ, et al. Thoracic idiopathic scoliosis severity is highly correlated with 3D measures of thoracic kyphosis[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2017, 99(11): e54. DOI: 10.2106/JBJS.16.01324.
- [23] Gardner A, Berryman F, Pynsent P. The kyphosis-lordosis difference parameter and its utility in understanding the pathogenesis of adolescent idiopathic scoliosis[J]. *BMC Res Notes*, 2022, 15(1): 178. DOI: 10.1186/s13104-022-06067-3.
- [24] Kurzeja P, Ogródzka-Ciechanowicz K, Prusak J, et al. Assessment of changes in the sagittal plane of the spine in girls with adolescent idiopathic scoliosis using the moire method[J]. *J Back Musculoskelet Rehabil*, 2022, 35(3): 667–676. DOI: 10.3233/BMR-210206.
- [25] Vergari C, Karam M, Pietton R, et al. Spine slenderness and wedging in adolescent idiopathic scoliosis and in asymptomatic population: an observational retrospective study[J]. *Eur Spine J*, 2020, 29(4): 726–736. DOI: 10.1007/s00586-020-06340-8.
- [26] 崔学锋, 梁文杰, 刘德斌, 等. 青少年特发性脊柱侧凸胸椎形态学 MRI 临床价值[J]. *中国矫形外科杂志*, 2019, 27(18): 1706–1709. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2019.18.16.
- Cui XF, Liang WJ, Liu DB, et al. Clinical value of thoracic vertebra morphological MRI in adolescent idiopathic scoliosis[J]. *Orthop J China*, 2019, 27(18): 1706–1709. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2019.18.16.
- [27] Cheng YJ, Shi YN, Xu B, et al. The uncoupled anterior and posterior spinal ligament tension (UAPLT)-an improvement to three-dimensional spring model of adolescent idiopathic scoliosis (AIS) pathogenesis[J]. *Med Hypotheses*, 2021, 152: 110616. DOI: 10.1016/j.mehy.2021.110616.
- [28] Crijns TJ, Stadhouder A, Smit TH. Restrained differential growth: the initiating event of adolescent idiopathic scoliosis? [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2017, 42(12): E726–E732. DOI: 10.1097/BRS.0000000000001946.
- [29] 王滋润, 肖成伟, 胡虹. SD 大鼠脊柱侧凸模型构建及凸凹方向应力对骨结构发育的影响[J]. *中国组织工程研究*, 2019, 23(31): 5005–5009. DOI: 10.3969/j.issn.2095-4344.1464.
- Wang ZR, Xiao CW, Hu J. Construction of SD rat scoliosis model and the effect of asymmetric tension on bone structure development[J]. *Chin J Tissue Eng Res*, 2019, 23(31): 5005–5009. DOI: 10.3969/j.issn.2095-4344.1464.
- [30] Porter RW. Can a short spinal cord produce scoliosis? [J]. *Eur Spine J*, 2001, 10(1): 2–9. DOI: 10.1007/s005860000188.
- [31] 张伟, 何希, 王季, 等. 青少年特发性脊柱侧凸患者冠状面 Cobb 角与矢状面参数的相关性分析[J]. *临床骨科杂志*, 2021, 24(6): 782–786. DOI: 10.3969/j.issn.1008-0287.2021.06.007.
- Zhang W, He X, Wang J, et al. Correlation analysis of Cobb angle and sagittal parameters in adolescent idiopathic scoliosis patients[J]. *J Clin Orthop*, 2021, 24(6): 782–786. DOI: 10.3969/j.issn.1008-0287.2021.06.007.
- [32] 鲍虹达, 舒诗斌, 施健, 等. 青少年特发性脊柱侧凸患者中同样的冠状面弯型不代表同样的三维畸形: 基于 EOS 三维影像系统的配对研究[J]. *中华医学杂志*, 2018, 98(21): 1691–1696. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2018.21.014.
- Bao HD, Shu SB, Shi J, et al. Similar coronal curvature may not represent the same 3-dimensional deformity in adolescent idiopathic scoliosis: a matched-pair study using EOS imaging system[J]. *Natl Med J China*, 2018, 98(21): 1691–1696. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2018.21.014.
- [33] Yeung KH, Man GCW, Deng M, et al. Morphological changes of Intervertebral Disc detectable by T2-weighted MRI and its correlation with curve severity in Adolescent Idiopathic Scoliosis[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2022, 23(1): 655. DOI: 10.1186/s12891-022-05561-w.
- [34] Labrom FR, Izatt MT, Contractor P, et al. Sequential MRI reveals vertebral body wedging significantly contributes to coronal plane deformity progression in adolescent idiopathic scoliosis during growth[J]. *Spine Deform*, 2020, 8(5): 901–910. DOI: 10.1007/s43390-020-00138-w.
- [35] Brink RC, Schlösser TPC, Colo D, et al. Anterior spinal overgrowth is the result of the scoliotic mechanism and is located in the disc[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2017, 42(11): 818–822. DOI: 10.1097/BRS.0000000000001919.

(收稿日期: 2023-02-16)

本文引用格式: 冷寒, 黄晋, 张辰, 等. 青少年特发性脊柱侧凸脊柱前部过度生长的研究进展[J]. *临床小儿外科杂志*, 2024, 23(10): 997–1000. DOI: 10.3760/cma.j.cn101785-202302024-019.

Citing this article as: Leng H, Huang J, Zhang C, et al. Research progress on anterior spinal overgrowth in adolescent idiopathic scoliosis[J]. *J Clin Ped Sur*, 2024, 23(10): 997–1000. DOI: 10.3760/cma.j.cn101785-202302024-019.