

综述

选择性胸椎融合治疗青少年特发性脊柱侧凸的研究进展

The research progress of selective thoracic fusion for adolescent idiopathic scoliosis

伍宇轩, 潘爱星, 海 涌

(首都医科大学附属北京朝阳医院骨科 100020 北京市)

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2019.07.11

中图分类号: R682.3 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2019)-07-0650-06

青少年特发性脊柱侧凸 (adolescent idiopathic scoliosis, AIS) 是临床上最常见的脊柱畸形, 以脊柱侧凸和旋转畸形为特点, 不伴有脊柱本身以及神经肌肉发育等异常, 多发生于青少年时期。目前 AIS 的发病机制尚不明确, AIS 不但可以导致躯体冠状位或者矢状位失衡, 引发椎体以及躯干的代偿, 引起患者顽固性疼痛, 严重者可影响心肺功能并可导致脊髓损害, 因此在保守治疗无效时, 合理的手术治疗尤为重要。

AIS 的手术治疗原则为矫正畸形以及稳定脊柱, 由于目前的矫形手术需要牺牲脊柱的运动节段, 如何尽可能保留脊柱运动功能, 缩短融合节段成为脊柱外科的热点问题之一, 此外如何减少融合节段远端邻近节段的退变也逐渐受到了广泛关注^[1-3]。

相比于非选择性融合, 选择性胸椎融合 (selective thoracic fusion, STF) 即对于以胸弯为主弯的 AIS 患者, 仅融合固定胸弯, 因其保留脊柱运动功能、减少手术暴露时间、避免远端邻近节段退变等优点逐渐得到了医生们的青睐^[4]。STF 最早由 King 等^[4]于 1983 年首次提出, 随着内固定系统以及手术技术的不断发展, 脊柱外科医生对于 STF 的研究也逐渐深入。笔者将从 STF 治疗 AIS 不同分型下的融合指征、目前值得关注的问题及如何避免术后并发症发生等方面进展进行综述。

1 STF 的融合指征

1.1 King 分型下 STF 融合指征

King 分型为首个关于 AIS 的系统分型方法, 其基于 Harrington 内固定系统^[5], 并根据侧凸的部位、程度、柔韧性将 AIS 分为 5 型。其中 King 建议对于 King II 型 (S 形双弯, 胸弯和腰弯均超过骶骨中线, 胸弯 > 腰弯, 柔韧指数 ≥ 0) 的 AIS 患者, 当胸弯 Cobb 角 $< 80^\circ$ 时, 可考虑行 STF, 但

需保证远端固定椎 (lowest instrumented vertebra, LIV) 既是中立椎也是稳定椎。King 认为此时腰弯可以自动调整代偿至新的平衡, 从而避免了不必要的融合, 以保持腰弯更大的活动性, 并可能避免远端邻近节段退变等远期问题^[4]。这也是首次将侧凸类型与融合节段的选择结合起来, King 分型和 STF 概念的提出使矫形技术迈上了一个新的台阶。

然而随着人们对于 AIS 研究的深入, 以及矫形系统和手术技术的不断演变发展, 三维矫形的概念逐渐为人们熟知。而基于 Harrington 内固定系统的单平面分型方法的 King 分型, 无法在多维度的术者提供三维矫形的影像学依据, 且该分型缺乏严格的数据参数。1992 年, Lenke 等^[6]通过应用第三代三维矫形内固定系统 Cotrel-Dubousset 系统进行 STF 研究, 首次规范了 STF 的融合指征, 即胸弯与腰弯 Cobb 角大小之比 > 1.2 ; 胸弯与腰弯顶椎偏移 (apical vertebral translation, AVT) 之比 > 1.2 ; 胸弯与腰弯顶椎旋转 (apical vertebral rotation, AVR) 之比 > 1.0 。这也为后来 Lenke 分型的提出提供了理论依据。

1.2 Lenke 分型下 STF 融合指征

Lenke 等^[7]在 2001 年提出 Lenke 分型, 为第一个根据二维图像 (矢状面和冠状面) 对 AIS 进行分型的系统, 也是目前应用最为广泛的分型系统。该分型根据侧凸的位置及类型 (是否为结构性)、腰弯的修正、矢状位胸椎的修正将 AIS 分为 6 型。其中腰弯的修正是依据腰弯的顶椎相对骶骨中线的关系来实现的, 矢状位胸椎的修正是测量通过胸椎后凸角的大小来实现的。

该分型基于新一代的内固定系统提出了结构性弯的新定义, 即冠状位凸 bending 像侧凸 $> 25^\circ$ 或矢状位胸椎后凸角 (T2-T5) $> 20^\circ$, 胸腰段后凸角 (T10-L2) $> 20^\circ$, 此时应对结构性弯进行融合。然而对于结构性上胸弯, 当患者表现为术前右肩高时, 尽管上胸弯较僵, 自我矫正能力较差, 矫正胸弯可以使左肩自发代偿, 可使双肩达到平衡, 此时尽管上胸弯失代偿, 且可能存在左肩抬高的风险, 但并不影响患者术后肩平衡, 因此对于此类患者无需绝对融合上胸弯^[8,9]。对于 Lenke 1C 型的患者而言, 认为当符合以下条件时: 胸弯与腰弯 Cobb 角大小之比 > 1.2 ; 胸弯与腰弯 AVT

第一作者简介: 男 (1993-), 住院医师, 硕士研究生, 研究方向: 脊柱外科

电话: (010)85231229 E-mail: drwyx93@163.com

通讯作者: 海涌 E-mail: yong.hai@ccmu.edu.cn

之比 >1.2 ;胸弯与腰弯 AVR 之比 >1.2 ;无胸腰段交界性后凸($T10-L2>10^\circ$),可行 STF 治疗^[10]。该类型侧凸与前文提到的 King II 型侧凸相对应。近几年,有学者提出,Lenke 3C 和 Lenke 4 型的 AIS 患者,同样可适用 STF 治疗^[11,12],Chang 等^[11]将杠杆力法与直接去旋转技术相结合应用于 STF,命名为“灌注法”,并同时扩大了 STF 的适应范围,认为 Lenke 3C 和 Lenke 4C 的 AIS 患者腰弯为代偿性弯,可应用该方法行 STF 治疗。Lenke 分型弥补了 King 分型的不足,客观的对侧凸类型和融合水平进行了划分,相比 King 分型系统可靠性和可重复性更高。但是 Lenke 分型缺乏对于 AIS 中轴状面旋转畸形的问题的解决,无法达到真正意义的三维矫形的目标。

1.3 PUMC(协和)分型下 STF 融合指征

PUMC(协和)分型于 2003 年由邱贵兴等^[13]提出,根据侧凸顶点的数量、三维结构的特点和柔韧性将 AIS 分为 3 大型 13 亚型。其中对于可行 STF 的选择也做出了界定,即 PUMC II b1、III a、以及部分 II c3 型的 AIS 患者中,当胸腰弯或腰弯 $<45^\circ$,胸腰弯或腰弯柔韧性 $>70\%$,AVR $<II$ 度,胸腰弯或腰弯无后凸畸形时,可行 STF,其中针对 III a 型的 AIS 患者,即含有上胸弯、主胸弯和腰弯的患者,尽管上胸弯角度较小,但是对于双肩平衡影响较大,仍建议选择融合上胸弯和胸弯,近端融合椎一般为 T2 或 T3^[14]。该分型系统同时考虑了冠状面、矢状面及轴状面畸形,同时坚持尽可能多地保留活动节段和创伤小的原则,临床指导性强,可信度、可重复性远高于 King 分型。

从 King 分型到 Lenke 分型再到协和分型,STF 的融合指征从单平面逐渐完善至多平面、多维度的综合考量。其中 S 形双弯型 AIS 的患者在各分型系统中最常被建议行 STF 治疗。对于此类患者需满足胸弯为主弯,下方胸腰弯/腰弯柔韧性好且无后凸畸形等基本条件,以及不同分型系统下根据各维度结构特点所设立的特定条件。此外对于三弯型的患者,当其远端腰弯符合上述双弯患者远端弯条件时,同样可适用于 STF 治疗。

2 STF 值得关注的问题

尽管 STF 治疗 AIS 拥有降低围手术期发病率、缩短手术时间、减少出血量、保留腰椎运动节段等优点^[4,15],但是术后远端叠加现象(adding-on)、近远端交界性后凸等脊柱失代偿等问题仍值得人们的重视。

既往研究显示,STF 术后冠状面失代偿的发生率在 11.4%~39.8%^[16-22],而术后即刻失代偿的发生率与末次随访时的失代偿发生率也有较大差异。Ishikawa 等^[16]研究显示,47.6%的患者出现了术后即刻的冠状位失代偿,而术后 2 年随访时,仅有 14.2%的患者出现了失代偿。类似一篇文章报道术后即刻失代偿和两年后失代偿的发生率分别为 15.9%和 20.5%^[23]。此外有研究发现术前向左侧失代偿的患者,术后发生冠状位失代偿的风险更高^[18,24]。随着矫形技术和矫形理念的不断进步,矢状面平衡同样越来越被重

视。矢状面序列在维持舒适的站姿和平衡方面扮演着重要的角色,而脊柱骨盆参数等矢状位参数的评估对评估脊柱畸形严重程度以及术后临床疗效改善方面均有着重要的意义和密切的关联^[25,26]。

2.1 术后冠状面失代偿

腰椎失代偿是术后冠状位失衡值得注意的问题之一,可通过术后腰椎自行矫正率来体现。既往研究发现 STF 后腰椎自行矫正率常不超过 60%^[16-18,20,21,23,27,28],而长期随访研究表明,随着随访时间的延长,腰弯的自行矫正率会产生不同程度的降低^[21,27],这也反映出部分腰弯随着时间的推移可能会发生失代偿。此外研究发现末次随访的代偿腰椎的角度与上方固定的胸弯角度接近^[27]。另有学者研究 STF 术后矢状面胸弯与腰弯 AVT 之比与腰椎自行矫正率的关系,发现术前 AVT 越高,术后的腰椎自行矫正率越低^[29]。

术后远端叠加现象(adding-on)为术后冠状位失代偿的一种,其发生率并不低^[19,23,30-32]。Adding-on 是指在固定远端发生主弯跨度延长、椎体术叠加且主弯 Cobb 角增加 6° 以上^[33],也有学者将其定义为 LIV 下第一个椎体偏离 CSVL 5mm 以上,或 LIV 下第一个椎间盘成角大于 5° ^[34]。Adding-on 现象常发生于 Lenke 1A 型的 AIS 患者中,既往研究表明,LIV 的位置选择、患者的生长发育成熟度、代偿性腰弯的柔韧度、L4 椎体向右倾斜为影响 adding-on 现象的重要因素^[31,34-38],LIV 在稳定椎(stable vertebra,SV)上方 2 个或以上节段时,adding-on 现象的发生率明显增高。近年来有研究发现术前 LIV+1 与骶骨中线(center sacral vertical line,CSVL)偏移距离 $>10\text{mm}$ 、LIV 选择在远端触及椎(lowest touching vertebra,LTV)或以上节段、L4 亚分型(L4 向右倾斜)是术后发生 adding-on 现象的独立危险因素^[39]。而其中合理的 LIV 选择被认为在预防 adding-on 现象中起到了至关重要的作用。近两年有学者提出术前 LIV 的倾斜角度(LIV horizontal angle,LIV-H)与 L5 上终板和双侧髂嵴最高点连线夹角(lumbo-sacral take off,LSTO)不匹配,会增加 adding-on 现象的风险^[40]。

2.2 胸椎后凸(thoracic kyphosis,TK)重建

既往研究表明,TK 与腰椎前凸角(LL)以及冠状面的平衡密切相关,在三维矫形手术中,较好的胸椎后凸矫形利于维持术后脊柱的平衡及良好的中远期疗效^[17,41,42]。尽管内固定系统与矫形技术不断发展,矢状面 TK 的重建仍是当下难点问题。既往研究表明,内固定类型、内固定材质^[43]、种类^[44]、矫形技术等因素均会影响 AIS 患者术后的 TK 重建。随着第三代矫形系统的推广,虽然目前全椎弓根螺钉矫形系统(全钉系统)应用越来越广泛,但是其后凸矫形效果仍有待进一步提高^[45,46],甚至有研究发现,应用全钉系统后,术后 TK 明显小于术前^[47],这也让人们对于其重建的有效性产生了质疑。此外有学者对比了钉钩系统与全钉系统的疗效,发现钉钩系统对于 TK 的重建要优于全钉系统^[48,49],但是对于总体躯干的平衡以及其他矢状面参数的

影响不大^[50]。有关矫形技术方面研究发现,近年来新兴的双棒同时平移矫形技术^[51]、双棒同时去旋转技术^[52]、共平面技术^[53]等较早期技术均获得了良好的矫形效果。平移技术首次由 Luque^[54]提出,其原理为通过椎弓根螺钉或椎板钩与棒连接固定将脊柱依次横向拉至预弯棒以矫正脊柱畸形。双棒同时平移将矫形力同时分布于双棒上,提高了整体矫形能力,并可进行良好的 TK 重建^[51,55]。双棒同时去旋转技术是将矢状面预弯成理想曲度的两棒至于侧凸两侧的椎弓根螺钉内,其中凹侧的预弯角度较凸侧大,以重建理想的 TK,随后将凹侧棒旋转 90°,凸侧棒同时旋转,将冠状面畸形转向矢状面,在纠正冠状面畸形的同时,进行良好的矢状面重建^[52,56]。平移和旋转技术往往相结合以获得理想的矫形效果。共平面技术最早由 Vallespir 等^[57]提出并应用于脊柱侧凸的治疗。该技术在凸侧置入椎弓根螺钉,连接延长杆,并在延长杆中置入两根钢棒,形成椎体-椎弓根螺钉-延长杆固定系统,通过去旋转实现矫形区及非矫形区的共平面化,且延长杆增加了椎体矢状面状态的可视性,可更好地重建矢状面平衡^[53,58,59]。

2.3 近远端交界性后凸 (proximal and distal junctional kyphosis)

STF 术后矢状位交界性后凸等医源性远期并发症由于较高的发生率,同样值得人们关注。近端交界性后凸 (PJK) 的发生率在不用研究中差异较大,研究发现 PJK 的发生与术后 TK 的丢失、RCA (上方固定椎与其下方一个椎体间的夹角) 的减小、近端固定椎 (UIV) 位于上端椎 (UEV) 的下方密切相关^[60,61]。AIS 患者中远端交界性后凸 (DJK) 现象最早由 Richards 等^[62]报道,DJK 可导致腰背部疼痛、椎节不稳及椎间盘退变。既往研究发现 DJK 的发生与术后 TK 和胸腰交界区后凸角度的增大呈正相关^[63],也有学者提出选择矢状面稳定椎 (SSV) 作为 LIV 可有效降低术后 DJK 发生率^[64]。因此进行 STF 时应综合考虑矢状位和冠状位的平衡,选择合适的 LIV 进行选择融合。

3 如何避免术后并发症的发生

3.1 冠状位失衡的解决策略

目前研究认为,与 adding-on 现象最相关的危险因素是 LIV 选择不当,有效合理的选择 LIV 可预防 adding-on 现象的发生,然而目前对于 LIV 的选择尚无统一标准。Wang 等^[64]认为,选择第一个距 CSVL 超过 10mm 的椎体作为 LIV 较合适,可降低术后 adding-on 现象的发生。Suk 等则认为依据中立椎 (NV) 选择 LIV 同样可以有效避免术后 adding-on 现象,即 LIV 选择 NV 或 NV-1 椎体即可^[19]。Parisini 等^[68]则将 SV 作为 LIV 选择的依据,认为对于胸弯下方第一个发生旋转的椎体的旋转方向与侧凸方向一致的 Lenke 1A 型 AIS 患者,当 SV 和下端椎 (LEV) 相差两个或以上节段时,LIV 应向下延伸至 L2 或 L3 椎体,对于胸弯下方第一个发生旋转的椎体的旋转方向与侧凸方向相反的 Lenke 1A 型 AIS 患者,当 SV 和 LEV 相差不足两个

节段时,LIV 可融合至 SV 上 2 或 3 个椎体。然而有学者认为既往依据 SV 和 NV 进行 LIV 选择的手术策略存在一致性和可重复性差等不足,并建议对于 Lenke 1A 型 AIS 患者,LIV 选择在 LTV+1 更加合理^[69]。邱勇等^[69]认为 LIV 的选择应位于最后实质触及椎 (从骶骨往头端最后一个被 CSVL 平分的椎体) 以降低远端附加现象发生率。李明等^[69]也认为选择最后实质触及椎作为 LIV,术后发生远端附加现象的风险最低,同时应该考虑 LIV 距离 CSVL 不应超过 1cm。目前学界认为对于 AIS 患者行 STF 手术的 LIV 选择最后实质触及椎最为合适。此外有学者根据远端未融合椎体的数量提出了 adding-on 指数以预测 adding-on 现象的发生,然而其有效性仍有待进一步证实^[67]。除通过合理选择 LIV 的节段预防 adding-on 现象以外,对于骨骼发育未成熟 (低 Risser 征、Y 软骨开放)、代偿性腰弯柔韧度较好的患者,应适当延长主胸弯远端融合节段以降低 adding-on 的发生风险^[67]。

3.2 矢状位失衡的解决策略

刘臻等^[68]建议在对 Lenke 1 型患者行 STF 时应结合腰弯修正型制定手术策略:对于腰弯柔韧性佳的 Lenke 1A 患者只需融合至 T12 即可,而 Lenke 1B/C 患者的融合范围应延伸至 L1,这样有利于腰弯自行矫正并减小 DJK 的发生率。徐亮等^[64]将 SSV 纳入 LIV 选择时的参考条件,认为对于 Lenke 1A 型 AIS 患者,远端融合至 SSV 或其远端椎体可显著降低术后 DJK 的发生率,更好的维持矢状面平衡。Nohara 等^[69]对 LIV 的选择和远端未融合节段腰椎间盘退变的相关性进行了随访研究,发现保留腰椎活动节段数目越少即 LIV 越靠近尾端的患者椎间盘退变的发生率越高,而当 LIV 位于 L4、5 时,患者往往会现下腰痛现象。Charla 等^[70]则根据椎体的旋转以及 CSVL 对选择 LIV 时,LIV 与 SV 和 NV 的相对位置关系进行了新的分型,为如何选择 LIV 以降低 AO 现象和 DJK 的发生率提供了新的临床依据。

4 总结与展望

尽管选择性融合治疗 AIS 因其增大腰椎活动度、减少手术时长、避免远端邻近节段退变等优点逐渐被提倡,但是仍有许多医生继续选择非选择性融合手术^[3]。研究发现当患者侧凸畸形较轻而改善外观的愿望不强烈时,医生更倾向于选择 STF。这可能与缺乏医患公认的理想 STF 术后临床标准以及不同医生对于 STF 的理解和学习曲线不同有关。

目前为止内固定系统经历了三代的演变,增强了矫形效果,同时也促使矫形技术,但是如何更有效地进行 TK 的重建,仍是当下有待解决的问题之一。此外针对 STF 术后近远端交界性并发症而言,术后 TK 的减小与 PJK 发生成正相关^[61],术后 TK 的增大与 DJK 发生成正相关^[61],如何合理地确定 TK 重建的安全边界,从而降低并发症发生率,同样需要进一步的研究。

近些年来 STF 与术前术后肩平衡的相关性得到了越来越多的关注。目前的观点认为 Lenke II 型的术前肩失衡的患者无需绝对进行上胸弯融合,可依靠上胸弯的自我矫正恢复双肩平衡,而主胸弯的过度矫正是导致术后肩失衡的危险因素之一^[9]。尽管目前有学者提出与肩平衡相关的 STF 标准^[7],但是尚未有学者通过肩平衡的外观定量指标来界定 STF 的手术指征。此外坐位矢状位参数的评估对于 STF 也存在一定的临床意义。目前研究表明,非选择性融合手术的患者坐位时脊柱矫正和骨盆复位相应减少,而 STF 不仅在维持腰椎活动性方面具有重要价值,而且保留了从站立到坐位时骨盆后旋的代偿功能^[72,73]。

5 参考文献

- Bridwell KH. Surgical treatment of idiopathic adolescent scoliosis[J]. Spine, 1999, 24(24): 2607-2616.
- Zachary L, Timothy O, James S, et al. Prevalence and predictors of pain in surgical treatment of adolescent idiopathic scoliosis[J]. Spine, 2011, 36(10): 825-829.
- Crawford CH, Lenke LG, Sucato DJ, et al. Selective thoracic fusion in Lenke 1C curves: prevalence and criteria[J]. Spine, 2013, 38(16): 1380-1385.
- King HA, Moe JH, Bradford DS, et al. The selection of fusion levels in thoracic idiopathic scoliosis [J]. J Bone Joint Surg Am, 1983, 65(9): 1302-1313.
- Harrington PR. Technical details in relation to the successful use of instrumentation in scoliosis [J]. Orthop Clin N Am, 1972, 3(1): 49-67.
- Lenke LG, Bridwell KH, Baldus C, et al. Preventing decompensation in King type II curves treated with Cotrel-Dubousset instrumentation: strict guidelines for selective thoracic fusion[J]. Spine, 1992, 17(8 Suppl): 274-281.
- Lenke LG, Betz RR, Harms J, et al. Adolescent idiopathic scoliosis: a new classification to determine extent of spinal arthrodesis[J]. J Bone Joint Surg Am, 2001, 83-A(8): 1169-1181.
- Suk SI, Kim WJ, Lee CS, et al. Indications of proximal thoracic curve fusion in thoracic adolescent idiopathic scoliosis: recognition and treatment of double thoracic curve pattern in adolescent idiopathic scoliosis treated with segmental instrumentation[J]. Spine, 2000, 25(18): 2342-2349.
- 蒋军, 邱勇, 钱邦平, 等. 选择性胸弯融合治疗右肩高的 Lenke 2 型青少年特发性脊柱侧凸患者术后肩关节平衡的分析[J]. 中华骨与关节外科杂志, 2015, 8(1): 21-26.
- Lenke LG, Edwards CC, Bridwell KH. The Lenke classification of adolescent idiopathic scoliosis: how it organizes curve patterns as a template to perform selective fusions of the spine[J]. Spine, 2003, 28(20): S199-S207.
- Kao-Wha C, Xiangyang L, Wenhai Z, et al. Broader curve criteria for selective thoracic fusion[J]. Spine, 2011, 36(20): 1658-1664.
- Lenke LG, Kelly MP, Vitale M, et al. Thoracic-only fusion for double(type 3) and triple(type 4) major curves in AIS at a minimum 5 year follow up: are they possible and durable [C]? Scoliosis Research Society 52nd Annual Meeting & Course 2017, Philadelphia, USA, 2017.
- 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.
- 邱贵兴. 青少年特发性脊柱侧凸的 PUMC 分型及其手术融合范围的选择[J]. 中华外科杂志, 2007, 45(8): 505-509.
- Chan CYW, Aziz I, Chai FW, et al. A silver medal winner at the 13th World Wu Shu Championship 2015 17 months after selective thoracic fusion for adolescent idiopathic scoliosis[J]. Spine, 2017, 42(4): E248-E252.
- Ishikawa M, Cao K, Pang L, et al. Onset and remodeling of coronal imbalance after selective posterior thoracic fusion for Lenke 1C and 2C adolescent idiopathic scoliosis (a pilot study) [J]. Scoliosis Spinal Disord, 2017, 12(1): 16.
- Celeste PC, Carreon LY, Lenke LG, et al. Sagittal alignment two years after selective and nonselective thoracic fusion for Lenke 1C adolescent idiopathic scoliosis [J]. Spine Deformity, 2015, 3(6): 560-565.
- Satoru D, Burt Y, Bastrom TP, et al. Is decompensation preoperatively a risk in Lenke 1C curves[J]? Spine, 2013, 8 (11): 649-655.
- Se-Il S, Sang-Min L, Ewy-Ryong C, et al. Selective thoracic fusion with segmental pedicle screw fixation in the treatment of thoracic idiopathic scoliosis: more than 5-year follow-up[J]. Spine, 2005, 30(14): 1602-1609.
- Chang MS, Bridwell KH, Lenke LG, et al. Predicting the outcome of selective thoracic fusion in false double major lumbar "C" cases with five- to twenty-four-year follow-up [J]. Spine, 2010, 35(24): 2128-2133.
- A Noelle L, Fletcher ND, Cindy D, et al. Lumbar curve is stable after selective thoracic fusion for adolescent idiopathic scoliosis: a 20-year follow-up[J]. Spine, 2012, 37(10): 833.
- Yu W, Büngrer CE, Zhang Y, et al. Postoperative spinal alignment remodeling in Lenke 1C scoliosis treated with selective thoracic fusion[J]. Spine J, 2012, 12(1): 73-80.
- Kwan MK, Chiu CK, Tan PH, et al. Radiological and clinical outcome of selective thoracic fusion (STF) for Lenke 1C and 2C adolescent idiopathic scoliosis (AIS) patients with a minimum follow-up of 2 years[J]. Spine J, 2018, 18(12): 2239-2246.
- Sullivan TB, Bastrom TP, Bartley CE, et al. Selective thoracic fusion of a left decompensated main thoracic curve: proceed with caution[J]? Eur Spine J, 2017, 27(24): 1-7.
- Frez R, Cheng JC, Wong EM. Longitudinal changes in trunk balance after selective fusion of King II curves in adolescent idiopathic scoliosis [J]. Spine, 2000, 25 (11): 1352-1359.
- Peter B, Susanne H, Ivan P, et al. Thoracal flat back is a

- risk factor for lumbar disc degeneration after scoliosis surgery[J]. *Spine J*, 2014, 14(6): 925-932.
27. Ilgenfritz RM, Burt Y, Bastrom TP, et al. Lenke 1C and 5C spinal deformities fused selectively: 5-year outcomes of the uninstrumented compensatory curves[J]. *Spine*, 2013, 38(8): 650-658.
 28. Chang KW, Chang KI, Wu CM. Enhanced capacity for spontaneous correction of lumbar curve in the treatment of major thoracic-compensatory C modifier lumbar curve pattern in idiopathic scoliosis[J]. *Spine*, 2007, 32(26): 3020-3029.
 29. Pasha S, Flynn JM, Sankar WN. Outcomes of selective thoracic fusion for Lenke 1 adolescent idiopathic scoliosis: predictors of success from the sagittal plane[J]. *Eur Spine J*, 2018, 28(2): 1-10.
 30. Lehman RA Jr, Lenke LG, Keeler KA, et al. Operative treatment of adolescent idiopathic scoliosis with posterior pedicle screw-only constructs: minimum three-year follow-up of one hundred fourteen cases [J]. *Spine*, 2008, 33 (14): 1598-1604.
 31. Schlechter J, Newton P, Upasani V, et al. Risk factors for distal adding-on identified: what to watch out for[J]. *Spine J*, 2009, 8(5): 164S-164S.
 32. Fischer CR, Lenke LG, Bridwell KH, et al. Optimal lowest instrumented vertebra for thoracic adolescent idiopathic scoliosis[J]. *Spine Deformity*, 2018, 6(3): 250-256.
 33. Sponseller P, Betz R, Po, Lenke L, et al. Differences in curve behavior after fusion in adolescent idiopathic scoliosis patients with open triradiate cartilages[J]. *Spine*, 2009, 34(8): 827-831.
 34. Wang Y, Hansen ES, Høy K, et al. Distal adding-on phenomenon in Lenke 1A scoliosis: risk factor identification and treatment strategy comparison[J]. *Spine*, 2011, 36(14): 1113.
 35. Cho RH, Burt Y, Bartley CE, et al. Which Lenke 1A curves are at the greatest risk for adding-on and why [J]? *Spine*, 2012, 37(16): 1384-1390.
 36. Optimal Lowest Instrumented Vertebra to Avoid Adding-On or Distal Junctional Kyphosis for Thoracic Adolescent Idiopathic Scoliosis: PAPER #88 [C]. *Spine Journal Meeting*, 2011.
 37. 孙旭, 邱勇, 孙超, 等. 特发性胸椎侧凸选择性融合术后远端叠加现象[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2013, 23(2): 103-108.
 38. Parisini P, Silvestre MD, Lolli F, et al. Selective thoracic surgery in the Lenke type 1A: King III and King IV type curves[J]. *Eur Spine J*, 2009, 18(1): 82-88.
 39. 施剑雄, 叶峰, 周跃. 主胸弯型特发性脊柱侧凸后路选择性胸弯融合术后远端叠加现象的危险因素分析[J]. *中国修复重建外科杂志*, 2016, 30(10): 1258-1263.
 40. Cho W, Faloony MJ, Essig D, et al. Additional risk factors for adding-on after selective thoracic fusion in adolescent idiopathic scoliosis: implication of lowest instrumented vertebra angle and lumbosacral take off [J]. *Spine Deform*, 2018, 6(2): 164-169.
 41. Newton PO, Burt Y, Upasani VV, et al. Preservation of thoracic kyphosis is critical to maintain lumbar lordosis in the surgical treatment of adolescent idiopathic scoliosis [J]. *Acta Med Iran*, 2010, 35(7): 477-481.
 42. Luk KDK, Srinivasa V, Lu DS, et al. Coupling between sagittal and frontal plane deformity correction in idiopathic thoracic scoliosis and its relationship with postoperative sagittal alignment[J]. *Spine*, 2010, 35(11): 1158-1164.
 43. Angelliaume A, Ferrero E, Mazda K, et al. Titanium vs cobalt chromium: what is the best rod material to enhance adolescent idiopathic scoliosis correction with sublaminar bands[J]. *Eur Spine J*, 2016, 26(6): 1-7.
 44. Lonner BS, Auerbach JD, Oheneba BA, et al. Treatment of thoracic scoliosis: are monoaxial thoracic pedicle screws the best form of fixation for correction[J]. *Spine J*, 2007, 7(5): 94S.
 45. Sucato DJ, Sundeeep A, O'Brien MF, et al. Restoration of thoracic kyphosis after operative treatment of adolescent idiopathic scoliosis: a multicenter comparison of three surgical approaches[J]. *Spine*, 2008, 33(24): 2630-2636.
 46. 鲍虹达, 闫鹏, 刘树楠. 椎弓根螺钉系统重建 Lenke1 型青少年特发性脊柱侧凸患者的胸椎后凸 10 年前后疗效比较 [J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2018, 28(2): 151-157.
 47. Legarreta CA, Carlos B, Rositto GE, et al. Cervical and thoracic sagittal misalignment after surgery for adolescent idiopathic scoliosis: a comparative study of all pedicle screws versus hybrid instrumentation[J]. *Spine*, 2014, 39(16): 1330-1337.
 48. Lonner BS, Lazar-Antman MA, Sponseller PD, et al. Multivariate analysis of factors associated with kyphosis maintenance in adolescent idiopathic scoliosis [J]. *Spine*, 2012, 37(15): 1297-1302.
 49. VVora V, Crawford A, Babekhir N, et al. A pedicle screw construct gives an enhanced posterior correction of adolescent idiopathic scoliosis when compared with other constructs: myth or reality[J]. *Spine*, 2007, 32(17): 1869-1874.
 50. 刘铁, 苏庆军, 藏磊, 等. 选择性胸弯融合中不同矫形系统对矢状面平衡影响的比较[J]. *骨科*, 2014, 5(1): 11-15.
 51. Clement JL, Chau E, Kimke C, et al. Restoration of thoracic kyphosis by posterior instrumentation in adolescent idiopathic scoliosis: comparative radiographic analysis of two methods of reduction[J]. *Spine*, 2008, 33(14): 1579-1587.
 52. Hideki S, Manabu I, Yuichiro A, et al. Surgical treatment of Lenke 1 thoracic adolescent idiopathic scoliosis with maintenance of kyphosis using the simultaneous double-rod rotation technique[J]. *Spine*, 2014, 39(14): 1163-1169.
 53. He S, Bao H, Zhu Z, et al. Vertebral coplanar alignment technique: a surgical option for correction of adult thoracic

- idiopathic scoliosis[J]. Eur Spine J, 2016, 25(2): 417-423.
54. Luque E. The anatomic basis and development of segmental spinal instrumentation[J]. Spine, 1982, 7(3): 256-259.
 55. Clement JL, Chau E, Geoffray A, et al. Simultaneous translation on two rods to treat adolescent idiopathic scoliosis: radiographic results in coronal, sagittal, and transverse plane of a series of 62 patients with a minimum follow-up of two years[J]. Spine, 2012, 37(3): 184-192.
 56. Ito M, Abumi K, Kotani Y, et al. Simultaneous double-rod rotation technique in posterior instrumentation surgery for correction of adolescent idiopathic scoliosis [J]. J Neurosurg Spine, 2010, 12(3): 293-300.
 57. Vallespir GP, Flores JB, Trigueros IS, et al. Vertebral coplanar alignment: a standardized technique for three dimensional correction in scoliosis surgery: technical description and preliminary results in Lenke type 1 curves [J]. Spine, 2008, 33(14): 1588-1597.
 58. 邱勇, 朱锋, 王斌, 等. 特发性胸椎脊柱侧凸共平面矫形的原理与疗效[J]. 中华骨科杂志, 2010, 30(9): 854-859.
 59. 盛飞, 夏超, 薛冰川, 等. 凸侧共平面矫形技术与凹侧平移技术对特发性胸椎侧凸的矫形效果比较[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2019, 29(1): 9-15.
 60. Lonner BS, Ren Y, Newton PO, et al. Risk factors of proximal junctional kyphosis in adolescent idiopathic scoliosis: the pelvis and other considerations [J]. Spine Deformity, 2017, 5(3): 181-188.
 61. Ferrero E, Bocahut N, Yan L, et al. Proximal junctional kyphosis in thoracic adolescent idiopathic scoliosis: risk factors and compensatory mechanisms in a multicenter national cohort[J]. Eur Spine J, 2018, 27(9): 2241-2250.
 62. Richards BS, Birch JG, Herring JA, et al. Frontal plane and sagittal plane balance following Cotrel-Dubousset instrumentation for idiopathic scoliosis[J]. Spine, 1989, 14(7):733-737.
 63. 邱勇, 夏才伟, 王斌, 等. 青少年特发性胸椎侧凸选择性融合术后的远端交界性后凸[J]. 中华骨科杂志, 2009, 29(2): 117-122.
 64. 徐亮, 孙旭, 史本龙, 等. 远端固定椎-矢状面稳定椎位置关系对特发性胸椎侧凸矫形术后远端交界性后凸发生率的影响[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2017, 27(6): 524-531.
 65. Qin X, Sun W, Xu L, et al. Selecting the last "substantially" touching vertebra as lowest instrumented vertebra in Lenke type 1A curve: radiographic outcomes with a minimum of 2-year follow-up[J]. Spine, 2015, 41(12): E742-E750.
 66. Bai J, Chen K, Wei Q, et al. Selecting the LSTV as the lower instrumented vertebra in the treatment of Lenke types 1A and 2A adolescent idiopathic scoliosis: a minimal 3-year follow-up[J]. Spine, 2017, 43(7): E390-E398.
 67. Yang C, Li Y, Yang M, et al. Adding-on phenomenon after surgery in Lenke type 1, 2 adolescent idiopathic scoliosis: is it predictable[J]? Spine, 2016, 41(8): 698-704.
 68. 刘臻, 邱勇, 朱泽章, 等. Lenke1 型特发性脊柱侧凸选择性胸弯融合时的下端融合椎选择: T12 还是 L1[J]. 中国矫形外科杂志, 2012, 20(21): 1921-1925.
 69. Nohara A, Kawakami N, Seki K, et al. The effects of spinal fusion on lumbar disc degeneration in patients with adolescent idiopathic scoliosis: a minimum 10-year follow-up [J]. Spine Deformity, 2015, 3(5): 462-468.
 70. Kim YJ, Lenke LG, Junghoon K, et al. Comparative analysis of pedicle screw versus hybrid instrumentation in posterior spinal fusion of adolescent idiopathic scoliosis [J]. Spine J, 2006, 31(3): 291-298.
 71. Matamalas A, Bagó J, D'Agata E, et al. Does patient perception of shoulder balance correlate with clinical balance [J]? Euro Spine J, 2015, 25(11): 1-8.
 72. Zhu W, Liu Z, Sha S, et al. Postoperative changes in sagittal spinopelvic alignment in sitting position in adolescents with idiopathic thoracic scoliosis treated with posterior fusion: an initial analysis[J]. J Neurosurg Pediatr, 2018, 22(1): 74-80.
 73. 袁倚文, 刘臻, 胡宗杉, 等. 选择性融合对 Lenke 1 型青少年特发性脊柱侧凸患者站立和坐位腰椎与骨盆矢状面平衡的影响[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2019, 29(1): 1-8.

(收稿日期:2019-03-19 修回日期:2019-02-23)

(本文编辑 彭向峰)