

早发型脊柱侧凸非融合矫形术后近端交界性后凸的研究进展

Research progress of proximal junctional kyphosis after non-fusion orthopedics in early-onset scoliosis

杨 柏,徐 亮,蒲小江,朱泽章,王 斌,邱 勇,孙 旭

(南京大学医学院附属鼓楼医院脊柱外科 210000 南京市)

doi:10.3969/j.issn.1004-406X.2023.03.11

中图分类号:R682.3,R687.3,R619 文献标识码:A

文章编号:1004-406X(2023)-03-0265-05

早发型脊柱侧凸(early onset scoliosis,EOS)是指发生在 10 岁以前的脊柱畸形,根据病因学可分为先天性、特发性、神经肌肉性和其他各种综合征性,具有发病年龄小、进展迅速的特点^[1,2]。如不及时治疗,常造成脊柱畸形进行性加重,影响胸廓发育甚至损害心肺功能,降低患者生存质量^[3]。由于非融合矫形技术可以在矫正脊柱畸形的同时,允许脊柱生长,逐渐成为治疗 EOS 的主流术式^[4]。而术后近端交界性后凸(proximal junctional kyphosis,PJK)也逐渐成为非融合技术相关的研究热点之一。笔者通过回顾 EOS 患者接受非融合技术矫形术后 PJK 的研究进展,对 PJK 的定义、发生率、危险因素和干预措施等方面综述如下。

1 PJK 的定义

1994 年,Low 等^[5]发现部分接受脊柱矫形手术的休门氏病后凸畸形患者的近端交界区后凸逐渐增大,并首次将该现象定义为 PJK。1999 年,Lee 等^[6]研究了 69 例接受

后路脊柱融合手术的青少年特发性脊柱侧凸患者后,对 PJK 提出了更详细的定义:即 T2 椎体的下终板和最上端固定椎体(upper instrumented vertebra,UIV)上终板间的后凸角度较正常对应节段增加 5°及以上。2005 年 Glattes 等^[7]回顾性研究了 81 例接受长节段后路融合术的成人脊柱畸形患者后引入了近端交界角(proximal junctional angle,PJA),并将 PJK 的定义修正为术后 PJA $\geq 10^\circ$ 且较术前对应节段增加至少 10°。这是目前文献中最常用的 PJK 诊断标准,众多研究证实了该标准的可靠性和可重复性。

2015 年,脊柱侧凸研究学会(Scoliosis Research Society,SRS)将 PJK 定义为:内固定近端 UIV 下终板与其近端第二个椎体上终板之间的夹角 $>20^\circ$ 。在 PJK 的基础上,Kim 等^[8]提出将影像学上有 PJK 改变并伴有临床症状(如腰背部疼痛和神经功能损伤等)称为近端交界性失败(proximal junctional failure,PJF),其定义为 PJA $>10^\circ$ 且包含下列一个以上表现:近端交界区椎体压缩或骨折脱位、后方韧带损伤、内固定松动等。2013 年,Hostin 等^[9]提出了一个与 PJF 相似的概念——急性交界区失败(acute proximal junctional failure,APJF),指术后 28 周内发生以下任一情况:PJA 增加超过 15°、UIV 或 UIV-1 发生骨折、近端内固定失败或需要延长内固定节段。

第一作者简介:男(1995-),博士研究生在读,研究方向:脊柱外科
电话:(025)68182022 E-mail:15850596761@163.com
通讯作者:孙旭 E-mail:dr.sunxu@nju.edu.cn

E335-E344.

62. Yang H, Liu J, Hai Y, et al. What are the benefits of lateral lumbar interbody fusion on the treatment of adult spinal deformity: a systematic review and meta-analysis deformity[J]. Global Spine J, 2022, 21925682221089876, Online ahead of print.
63. Hyun SJ, Kim YJ, Rhim SC. Patients with proximal junctional kyphosis after stopping at thoracolumbar junction have lower muscularity, fatty degeneration at the thoracolumbar area[J]. Spine J, 2016, 16(9): 1095-1101.
64. Aydogan M, Ozturk C, Karatoprak O, et al. The pedicle screw fixation with vertebroplasty augmentation in the surgical treatment of the severe osteoporotic spines [J]. J Spinal

Disord Tech, 2009, 22(6): 444-447.

65. Martin CT, Skolasky RL, Mohamed AS, et al. Preliminary results of the effect of prophylactic vertebroplasty on the incidence of proximal junctional complications after posterior spinal fusion to the low thoracic spine [J]. Spine Deform, 2013, 1(2): 132-138.
66. Raman T, Miller E, Martin CT, et al. The effect of prophylactic vertebroplasty on the incidence of proximal junctional kyphosis and proximal junctional failure following posterior spinal fusion in adult spinal deformity: a 5-year follow-up study[J]. Spine J, 2017, 17(10): 1489-1498.

(收稿日期:2022-10-30 修回日期:2022-11-29)

(本文编辑 彭向峰)

2 EOS 患儿非融合矫形术后 PJK 的发生率

既往研究报道的关于 EOS 患儿非融合矫形术后 PJK 的发生率约为 7%~56% 不等^[10-12],这可能是由于纳入人群、手术方式和随访时间等因素导致的差异。

传统生长棒(growing rods,GR)技术是目前临床中最常用的治疗 EOS 的撑开式非融合矫形技术,根据内固定方式又可分为单侧和双侧 GR 技术^[13]。Thompson 等^[14]先后对比了单侧和双侧 GR 技术治疗 EOS 的临床疗效,结果显示两种手术方式都能取得满意的矫形效果。Bess 等^[15]按照单棒和双棒将接受传统 GR 技术治疗的 140 例 EOS 患者分为两组,发现这两组患者术后 PJK 的发生率分别为 2.8%(2/71)和 1.4%(1/69)。Chen 等^[16]发现使用单棒和双棒的患儿术后 PJK 的发生率分别为 10%(1/10) 和 26.7%(8/30)。Shah 等^[17]对 34 例行 GR 技术治疗的患儿平均随访 3 年,发现 PJA 角度和 PJK 发生率随着撑开次数的增多而逐渐增加。孙旭等^[18]观察了 80 例接受 GR 技术治疗的早发性脊柱侧凸患儿,平均随访 4.7 年,PJK 的发生率约为 22.5%,并集中发生于生长棒置入手术至第二次撑开手术期间。

混合型生长棒技术(hybrid growing rod)通过一期手术完成顶椎部位的截骨及 GR 技术的置入,最大程度消除脊柱的不对称性生长,可更好地矫正患者的脊柱侧后凸畸形,弥补了传统 GR 技术对于顶椎区矫正不足的局限性。这项技术最早在 2014 年由 Wang 等^[19]报道。截骨后行短节段的融合有助于最大化改善局部畸形并降低内固定相关并发症的发生率,而 GR 技术可以在允许脊柱生长的同时实现较好的整体畸形矫正。孙旭等^[20]按 1:1 比例匹配接受混合型 GR 技术和传统 GR 技术治疗的先天性脊柱侧凸患者各 13 例,经 2 年以上随访,发现混合型 GR 技术较传统 GR 技术不仅能够于初次手术时直接去除畸形主要因素,最大化地矫正脊柱侧后凸畸形,而且可有效降低术后随访期间并发症发生率,其中混合型生长棒组 PJK 的发生率仅为传统生长棒技术组的 1/4。

可撑开型人工钛肋技术 (vertical expandable prosthetic titanium rib,VEPTR)最早由 Campbell 等^[21]报道用于治疗胸廓发育不良综合征 (thoracic insufficiency syndrome,TIS),该技术通过肋骨到脊柱和骨盆的力的传递来控制复杂的脊柱畸形,对伴肋骨融合的先天性脊柱侧凸较为有效^[22,23]。既往文献也报道了 VEPTR 术后 PJK 的发生情况。Thompson 等^[24]报道了 6 例(38%)在 VEPTR 结构上方发生 PJK 的患者。Chen 等^[25]纳入的 11 例接受 VEPTR 治疗的 EOS 患儿中,平均随访 2 年后有 2 例(18.2%)患者发生 PJK,明显低于生长棒治疗组的 22.7%。El-Hawary 等^[26]报道的 40 例 EOS 患儿中有 17%在 VEPTR 内固定术后即刻发生了 PJK,截至末次随访时约 25%的患者发生了 PJK。

磁控生长棒 (magnetic controlled growing rods,MC-GR) 是一种通过体外操控无创撑开生长棒的新型生长棒技术,其畸形矫正率约为 40.6%~56.7%^[27-29]。该技术的优势

在于避免传统生长棒多次撑开手术导致的频繁麻醉和手术损伤。随着研究的不断深入,MCGR 术后发生 PJK 的问题也被相继报道。Hickey 等^[30]报道了 8 例行 MCGR 技术治疗的 EOS 患儿中有 1 例患者发生术后 PJK。Subramanian 等^[31]对 21 例接受传统 GR 治疗的 EOS 患者平均随访 3 年后发现,6 例(28.6%)患者发生了 PJK。Cheung 等^[32]对 10 例行 MCGR 治疗的 EOS 患儿平均随访 6.1 年,结果显示术后 PJK 的发生率为 20%。

Shilla 生长引导式矫形术 (Shilla growth guidance system,SGGS) 的设计允许钛棒在未锁定的多轴螺钉中随儿童自身脊柱的生长自由滑动,实现内固定系统的自行延长,不需要依赖传统生长棒那样不断地手术撑开延长的步骤^[33,34]。Nazareth 等^[35]报道的 20 例接受 SGGS 治疗患者中,仅 2 例(10%)患者发生 PJK。类似的生长导向技术还包括 Luque 棒技术和 Ouellet 等提出的改良 Luque 技术。该类技术应用了节段性脊柱内固定的理念,无需融合。虽然相关研究报道该类技术在保证矫形效果的同时还可以避免重复手术所致的并发症,但金属磨屑和脊柱自发性融合等问题不容忽视。

3 EOS 患者非融合矫形术后 PJK 的机制及危险因素

低龄儿童患者本身和手术因素与成人存在一定的差异,PJK 的发生机制也并不相同。目前的研究认为,EOS 患者 PJK 的发生与脊柱后方软组织破坏和局部应力异常集中存在明显的相关性^[36]。脊柱矫形手术时的广泛解剖暴露过程中损伤了椎旁肌肉系统和小关节,在上端固定椎处放置的椎弓根螺钉或抱钩损害了融合节段上方的关节囊及韧带,破坏了融合节段后部结构的完整性和稳定性,从而导致了 PJK 的发生。

为了更好地评估 PJK,Yagi 等^[37,38]按照 PJK 的病因将其分为三种类型:Ⅰ型,后方韧带损伤;Ⅱ型,骨近端交界区椎体楔形变骨折;Ⅲ型,内固定拔出或失败。在接受后路矫正融合手术的先天性脊柱畸形患者所发生的 PJK 中,Ⅰ型是最常见的类型,未见Ⅱ型 PJK^[39,40]。在 AIS 人群中的研究结果也支持这一观点^[36]。他们认为后方结构的破坏会增加脊柱后凸的趋势。同样的,本中心接受非融合矫形技术治疗的低龄 EOS 患者中,Ⅰ型 PJK 是最常见的类型,鲜见Ⅱ型。

目前关于脊柱矫形术后发生 PJK 的危险因素的研究,大致分为患者本身因素和手术相关因素两个方向。Cammarata 等^[41]建立了脊柱畸形患者的数字脊柱模型以研究 PJK 的生物力学因素,结果显示双侧关节突关节切除和后纵韧带切除均能够显著增加术后 PJA 与近端屈曲力。Bess 等^[15]回顾了 140 例接受传统 GR 技术治疗的患儿后发现,与年龄较大的儿童相比,年龄较小的儿童更容易发生 PJK。这可能与年龄较小的患者皮肤软组织条件、骨质条件均较差有关。同时,低龄儿童需要接受更多次数的撑开手术、治疗周期更长,这也会增加 PJK 发生的风险。El-

Hawary 等^[42]纳入 40 例传统 GR 技术治疗的 EOS 患儿进行观察发现 PJK 组与未发生 PJK 组相比,术前胸椎后凸和骨盆倾斜角较大。Chen 等^[10]将 40 例接受 GR 技术治疗的患儿分为后凸组(胸椎后凸 $>50^{\circ}$)与非后凸组(胸椎后凸 $<50^{\circ}$),平均随访 4.7 年,发现后凸组 PJK 发生率(28.6%)显著高于非后凸组(15.8%)。Watanabe 等^[43]报道传统 GR 技术治疗的 EOS 患者中 PJK 发生率为 26%,并认为胸椎后凸角大于 60° 是术后 PJK 的独立危险因素。可能的原因在于后凸型 EOS 患儿 GR 技术承受较大的应力负荷,当传导至近端以及远端的锚定点时,会显著增加交界区的应力,最终导致 PJK 的发生。Inaparthi 等^[12]认为低龄、男性和综合征型 EOS 是导致接受 MCGR 治疗的患者术后 PJK 发生的危险因素。目前鲜有研究报道不同病因学对接受 GR 技术治疗的患儿术后发生 PJK 的影响。Malick 等^[44]纳入了 50 例接受传统 GR 技术治疗的特发性 EOS 患者,平均随访 5 年,发现仅 2 例患者发生 PJK,发生率仅有 4%。孙旭等^[20]对 13 例接受传统 GR 技术治疗的先天性 EOS 患者进行 2 年以上随访,发现有 4 例患者发生 PJK,发生率为 30.7%。而 Viral 等则在 I 型神经纤维瘤病伴 EOS 患者中发现传统 GR 技术矫形术后平均随访 54 个月的时间段内 PJK 的发生率高达 37.5%。

关于矫形手术因素对术后 PJK 发生的影响,目前的研究主要集中在 UIV/LIV 的选择、内固定类型和弯棒角度等。Watanabe 等^[43]报道术中远端固定椎选择在 L3 以下可以补偿胸椎后凸矫正所带来的局部应力,降低发生 PJK 的风险。Pan 等^[11]则提出 T2 位于颈椎前凸和胸椎后凸的过渡区,近端固定椎位于 T2 以下会导致交界区应力集中增加,最终加速 PJK 的发生。然而,GR 技术的近端固定椎如果选择在 T2 或以上,则存在 UIV 选择过高的可能。对于远离畸形区的 UIV 选择,势必会影响患儿本身相对正常的脊柱的自然生长发育。因此,从这一点而言,盲目地选择 T2 或 T3 作为 UIV 是不可取的。Akbarnia 等^[27]对比单侧和双侧 GR 技术的疗效后提出,双棒技术能提供更稳定的脊柱,减少 PJK 的发生。藏磊等^[45]建立 GR 技术的三维有限元模型,在此模型基础上模拟不同内固定方式的生物力学性能,发现双侧生长棒 8 枚螺钉固定最佳,双侧生长棒 6 枚螺钉、2 枚椎板钩固定次之,而单侧生长棒 8 枚螺钉固定最差。当近端锚定物由椎弓根螺钉更换为椎板钩时,椎体、其他螺钉和生长棒的应力都会增加,提高了术后 PJK 的发生风险。Yang 等^[46]报道近端弯棒角度不足也会导致术后 PJK 的发生,这一结果与 Pasha 等人关于磁控生长棒治疗 EOS 患者的研究结果一致^[47]。

4 EOS 患者非融合矫形术后 PJK 的预防及处理对策

目前对于术后 PJK 的一些常见预防及处理措施包括:(1)软组织保护。术中进行解剖暴露操作时,减少对棘上韧带、棘间韧带和小关节等的破坏;(2)端椎选择。近端固定椎的选择应远离后凸顶点,在近端交界区预留应力过

渡区以避免应力集中,以避免增加交接区应力;对于远端固定椎的选择,需根据个体综合考虑^[48,49]。(3)生长棒预弯。术中弯棒时应注意棒和脊柱生理弧度之间的匹配度,尤其在近端固定区和胸腰交界区,以避免人为地增加交界区应力^[50]。(4)内固定的选择^[51]。对于生长发育不成熟的低龄 EOS 患者,椎板钩在 UIV 处的锚定作用差,导致内固定相关并发症频发,这也是容易发生 PJK 的原因之一,因此应首选多轴万向椎弓根螺钉固定。(5)Hybrid 生长棒技术。对于严重成角畸形和不对称侧凸畸形的患者,首先行局部截骨及短节段融合矫正顶椎区域局部畸形以最大化地去除致畸因素,再置入生长棒控制代偿弯,可以有效降低 PJK 的发生率。(6)支具应用。对于术后发生且后续随访中持续进展的 PJK 患者,可考虑予胸腰骶抗后凸型支具治疗,防止 PJK 的进一步进展^[40]。

虽然 PJK 是脊柱非融合技术治疗 EOS 患儿的一种常见并发症,但并不是每一例患儿在发生 PJK 后都需要接受翻修手术。既往研究显示尽管 PJK 的发生率较高,但其对患儿生活质量的影响并不严重,这也被广大学者所认同。因此,当患儿术后出现无症状 PJK 时一般除定期随访观察外无需特殊处理,佩戴抗后凸型的支具有助于控制 PJK 的进展。当患者存在 PJK 且出现明显症状,后凸持续进展甚至出现 PJF 时,则需要进行翻修手术。此外,PJK 在终末融合手术时可予一并解决。

5 总结

目前治疗先天性 EOS 患者的非融合技术较多,而 PJK 是该类患者接受矫形术后常见的并发症,发生率较高。在临床工作中,应根据患儿的实际情况,术前详细评估后采取合理的手术规划及术后随访,有助于预防 PJK 的发生和进展。

6 参考文献

1. Cunin V. Early-onset scoliosis: current treatment[J]. Orthop Traumatol Surg Res, 2015, 101(1 Suppl): S109-118.
2. Yang S, Andras LM, Redding GJ, et al. Early-onset scoliosis: a review of history, current treatment, and future directions[J]. Pediatrics, 2016, 137(1): doi: 10.1542/peds.2015-0709.
3. Gao R, Sun B, Zhang X, et al. Reliability and validity of the simplified Chinese early onset scoliosis quality of life 24-item questionnaire[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2021, 46(2): E114-E117.
4. Zhang YB, Zhang JG. Treatment of early-onset scoliosis: techniques, indications, and complications[J]. Chin Med J (Engl), 2020, 133(3): 351-357.
5. Lowe TG, Kasten MD. An analysis of sagittal curves and balance after Cotrel-Dubousset instrumentation for kyphosis secondary to Scheuermann's disease: a review of 32 patients[J]. Spine(Phila Pa 1976), 1994, 19(15): 1680-1685.
6. Lee GA, Betz RR, Clements DH, et al. Proximal kyphosis af-

- ter posterior spinal fusion in patients with idiopathic scoliosis [J]. *Spine*(Phila Pa 1976), 1999, 24(8): 795-799.
7. Glattes RC, Bridwell KH, Lenke LG, et al. Proximal junctional kyphosis in adult spinal deformity following long instrumented posterior spinal fusion: incidence, outcomes, and risk factor analysis[J]. *Spine*(Phila Pa 1976), 2005, 30(14): 1643-1649.
 8. Kim HJ, Lenke LG, Shaffrey CI, et al. Proximal junctional kyphosis as a distinct form of adjacent segment pathology after spinal deformity surgery a systematic review[J]. 2012, 37 (22 Suppl): S144-164.
 9. Hostin R, McCarthy I, O'Brien M, et al. Incidence, mode, and location of acute proximal junctional failures after surgical treatment of adult spinal deformity [J]. *Spine* (Phila Pa 1976), 2013, 38(12): 1008-1015.
 10. Gomez JA, Kubat O, Tovar Castro MA, et al. The Effect of spinopelvic parameters on the development of proximal junctional kyphosis in early onset: mean 4.5-year follow-up[J]. *J Pediatr Orthop*, 2020, 40(6): 261-266.
 11. Pan A, Hai Y, Yang J, et al. Upper instrumented vertebrae distal to T2 leads to a higher incidence of proximal junctional kyphosis during growing-rod treatment for early onset scoliosis[J]. *Clin Spine Surg*, 2018, 31(7): E337-E341.
 12. Inaparthi P, Queruz JC, Bhagawati D, et al. Incidence of proximal junctional kyphosis with magnetic expansion control rods in early onset scoliosis[J]. *Eur Spine J*, 2016, 25(10): 3308-3315.
 13. Flynn JM, Tomlinson LA, Pawelek J, et al. Growing-rod graduates: lessons learned from ninety-nine patients who completed lengthening[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2013, 95 (19): 1745-1750.
 14. Thompson GH, Akbarnia BA, Kostial P, et al. Comparison of single and dual growing rod techniques followed through definitive surgery: a preliminary study [J]. *Spine* (Phila Pa 1976), 2005, 30(18): 2039-2044.
 15. Bess S, Akbarnia BA, Thompson GH, et al. Complications of growing-rod treatment for early-onset scoliosis: analysis of one hundred and forty patients [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2010, 92(15): 2533-2543.
 16. Chen Z, Yong Q, Zhu Z, et al. How does hyperkyphotic early-onset scoliosis respond to growing rod treatment [J]. *J Pediatr Orthop*, 2017, 37(8): e593-e598.
 17. Shah SA, Karatas AF, Dhawale AA, et al. The effect of serial growing rod lengthening on the sagittal profile and pelvic parameters in early-onset scoliosis[J]. *Spine*(Phila Pa 1976), 2014, 39(22): E1311-1317.
 18. 杨柏, 孙旭, 徐亮等. 生长棒治疗早发型脊柱侧凸并发症分析[J]. *中国骨与关节杂志*, 2021, 10(1): 24-30.
 19. Wang S, Zhang J, Qiu G, et al. One-stage posterior osteotomy with short segmental fusion and dual growing rod technique for severe rigid congenital scoliosis: the preliminary clinical outcomes of a hybrid technique[J]. *Spine* (Phila Pa 1976), 2014, 39(4): E294-299.
 20. 孙旭, 朱泽章, 徐亮, 等. 混合型生长棒与传统型生长棒技术治疗早发型先天性脊柱侧凸疗效对比[J]. *中华外科杂志*, 2019, 57(5): 342-347.
 21. Campbell RM Jr, Adcox BM, Smith MD, et al. The effect of mid-thoracic VEPTR opening wedge thoracostomy on cervical tilt associated with congenital thoracic scoliosis in patients with thoracic insufficiency syndrome[J]. *Spine*(Phila Pa 1976), 2007, 32(20): 2171-2177.
 22. Murphy RF, Moisan A, Kelly DM, et al. Use of vertical expandable prosthetic titanium rib(VEPTR) in the treatment of congenital scoliosis without fused ribs[J]. *J Pediatr Orthop*, 2016, 36(4): 329-335.
 23. Dayer R, Ceroni D, Lascombes P. Treatment of congenital thoracic scoliosis with associated rib fusions using VEPTR expansion thoracostomy: a surgical technique[J]. *Eur Spine J*, 2014, 23(Suppl 4): 424-431.
 24. Thompson GH, Akbarnia BA, Campbell RM, Jr. Growing rod techniques in early-onset scoliosis [J]. *J Pediatr Orthop*, 2007, 27(3): 354-361.
 25. Chen Z, Song L, Yong Q, et al. Evolution of the postoperative sagittal spinal profile in early-onset scoliosis: is there a difference between rib-based and spine-based growth-friendly instrumentation[J]. *J Neurosurg Pediatr*, 2017, 20(6): 561-566.
 26. El-Hawary R, Kadhim M, Vitale M, et al. VEPTR implantation to treat children with early-onset scoliosis without rib abnormalities: early results from a prospective multicenter study[J]. *J Pediatr Orthop*, 2017, 37(8): E599-E605.
 27. Akbarnia BA, Mundis GM, Jr., Salari P, et al. Innovation in growing rod technique: a study of safety and efficacy of a magnetically controlled growing rod in a porcine model [J]. *Spine*(Phila Pa 1976), 2012, 37(13): 1109-1114.
 28. Obid P, Yiu K, Cheung K, et al. Magnetically controlled growing rods in early onset scoliosis: radiological results, outcome, and complications in a series of 22 patients [J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2021, 141(7): 1163-1174.
 29. Calderaro C, Labianca L, Dolan LA, et al. Early onset scoliosis treated with magnetically controlled growing rods [J]. *Orthopedics*, 2020, 43(6): e601-e608.
 30. Hickey BA, Towriss C, Baxter G, et al. Early experience of MAGEC magnetic growing rods in the treatment of early onset scoliosis[J]. *Eur Spine J*, 2014, 23(Suppl 1): S61-65.
 31. Subramanian T, Ahmad A, Mardare DM, et al. A six-year observational study of 31 children with early-onset scoliosis treated using magnetically controlled growing rods with a minimum follow-up of two years [J]. *Bone Joint J*, 2018, 100-B(9): 1187-1200.
 32. Cheung JPY, Zhang T, Bow C, et al. The crooked rod sign: a new radiological sign to detect deformed threads in the

- distraction mechanism of magnetically controlled growing rods and a mode of distraction failure[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2020, 45(6): E346-E351.
33. McCarthy RE, McCullough FL. Shilla growth guidance for early-onset scoliosis: results after a minimum of five years of follow-up[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2015, 97(19): 1578-1584.
34. Andras LM, Joiner ERA, McCarthy RE, et al. Growing rods versus SHILLA growth guidance: better cobb angle correction and T1-S1 length increase but more surgeries[J]. *Spine Deformity*, 2015, 3(3): 246-252.
35. Nazareth A, Skaggs DL, Illingworth KD, et al. Growth guidance constructs with apical fusion and sliding pedicle screws (SHILLA) results in approximately 1/3rd of normal T1-S1 growth[J]. *Spine Deform*, 2020, 8(3): 531-535.
36. Sun Z, Qiu G, Zhao Y, et al. Risk factors of proximal junctional angle increase after selective posterior thoracolumbar/lumbar fusion in patients with adolescent idiopathic scoliosis [J]. *Eur Spine J*, 2015, 24(2): 290-297.
37. Yagi M, Akilah KB, Boachie-Adjei O. Incidence, risk factors and classification of proximal junctional kyphosis: surgical outcomes review of adult idiopathic scoliosis [J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2011, 36(1): E60-68.
38. Yagi M, King AB, Boachie-Adjei O. Incidence, risk factors, and natural course of proximal junctional kyphosis: surgical outcomes review of adult idiopathic scoliosis: minimum 5 years of follow-up[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2012, 37(17): 1479-1489.
39. Chen X, Chen ZH, Qiu Y, et al. Proximal junctional kyphosis after posterior spinal instrumentation and fusion in young children with congenital scoliosis: a preliminary report on its incidence and risk factors[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2017, 42(20): E1197-E1203.
40. Chen X, Xu L, Qiu Y, et al. Incidence, risk factors, and evolution of proximal junctional kyphosis after posterior hemivertebra resection and short fusion in young children with congenital scoliosis[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2018, 43(17): 1193-1200.
41. Cammarata M, Aubin CE, Wang X, et al. Biomechanical risk factors for proximal junctional kyphosis: a detailed numerical analysis of surgical instrumentation variables [J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2014, 39(8): E500-507.
42. El-Hawary R, Sturm P, Cahill P, et al. What is the risk of developing proximal junctional kyphosis during growth friendly treatments for early-onset scoliosis [J]. *J Pediatr Orthop*, 2015, 37(2): 86-91.
43. Watanabe K, Uno K, Suzuki T, et al. Risk factors for proximal junctional kyphosis associated with dual-rod growing-rod surgery for early-onset scoliosis[J]. *Clin Spine Surg*, 2016, 29(8): E428-433.
44. Malick B, Anna MC, Pawelek JB, et al. Idiopathic early-onset scoliosis: growing rods versus vertically expandable prosthetic titanium ribs at 5-year follow-up[J]. *J Pediatr Orthop*, 2020, 40(3): 142-148.
45. 藏磊, 李永刚, 海涌, 等. 不同生长棒内固定方式治疗早发性脊柱侧凸的有限元分析[J]. *中国矫形外科杂志*, 2019, 27(1): 79-85.
46. Yang B, Xu L, Wang M, et al. Unmatched rod contouring at the proximal end predisposes to occurrence of junctional kyphosis in early-onset scoliosis patients undergoing traditional growing rods treatment[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2022, 23(1): 624.
47. Pasha S, Sturm PF. Contouring the magnetically controlled growing rods: impact on expansion capacity and proximal junctional kyphosis[J]. *Eur J Orthop Surg Traumatol*, 2021, 31(1): 79-84.
48. 邱勇. 采用合理手术方式减少成人脊柱畸形三柱截骨术后并发症[J]. *中国骨与关节杂志*, 2017, 6(1): 1-4.
49. Theologis AA, Burch S. Prevention of acute proximal junctional fractures after long thoracolumbar posterior fusions for adult spinal deformity using 2-level cement augmentation at the upper instrumented vertebra and the vertebra 1 level proximal to the upper instrumented vertebra [J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2015, 40(19): 1516-1526.
50. Yan P, Bao H, Qiu Y, et al. Mismatch between proximal rod contouring and proximal junctional angle: a predisposed risk factor for proximal junctional kyphosis in degenerative scoliosis[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2017, 42(5): E280-E287.
51. Helgeson MD, Shah SA, Newton PO, et al. Evaluation of proximal junctional kyphosis in adolescent idiopathic scoliosis following pedicle screw, hook, or hybrid instrumentation [J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2010, 35(2): 177-181.
- (收稿日期:2022-01-10 末次修回日期:2022-10-09)
(本文编辑 娄雅浩)