

· 综 述 ·

先天性脊柱侧弯半椎体切除的研究进展

刘威, 陈文昊*

(浙江大学医学院附属儿童医院骨科, 浙江杭州 310051)

摘要: 先天性脊柱侧弯是脊柱胚胎发育异常所导致的一种先天性脊柱畸形, 半椎体切除术是其主要的治疗方式。近年来, 半椎体切除术在手术分期、手术入路、融合方式等方面发生了转变。为此, 本文介绍了半椎体切除术的演变、椎弓根螺钉内固定技术的联合、相关的新技术新理念以及半椎体切除术的常见失败原因和改进方案, 并就半椎体切除术在治疗先天性脊柱侧弯 (congenital scoliosis, CS) 方面的研究进展作一综述。

关键词: 半椎体切除术, 先天性脊柱侧弯, 椎弓根螺钉内固定术, 外科策略, 二次干预

中图分类号: R682.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-8478 (2024) 19-1776-05

Research progress of hemivertebra resection for congenital scoliosis // LIU Wei, CHEN Wen-hao. Department of Orthopaedics, Children's Hospital, School of Medicine, Zhejiang University, Hangzhou 310051, China

Abstract: Congenital scoliosis is a congenital spinal deformity caused by abnormal embryonic development of the spine, while hemivertebrae resection is the main treatment. In recent years, hemivertebrae resection has changed in terms of operation stage, surgical approach and fusion mode. For this reason, the evolution of hemivertebrae resection, the combination of pedicle screw internal fixation techniques, relevant new techniques and concepts, as well as common causes of failure and improvement plans for hemivertebrae resection are described in this paper, and the research progress of hemivertebrae resection in the treatment of congenital scoliosis (CS) is also reviewed.

Key words: hemivertebrae resection, congenital scoliosis, pedicle screw fixation, surgical strategy, secondary intervention

先天性脊柱侧弯 (congenital scoliosis, CS) 是妊娠 4~6 周脊柱发育异常而导致的一种先天性脊柱畸形, 目前认为遗传和环境是其主要的致病因素^[1]。根据发育异常的情况可分为 3 种类型: 椎体形成障碍、椎体分节障碍和两者混合。其中, 椎体形成障碍又称为半椎体型, 是 CS 最常见的一种类型。外科手术是治疗 CS 的主要手段, 在众多的外科技术中, 半椎体切除术是一种安全有效的手术方式, 具有更好的畸形矫正效果^[2, 3]。近年来随着手术条件和技术的发展, 半椎体切除术在手术分期方面逐渐从分期手术向一期根治转变, 在手术入路方面逐渐从前后路联合向单纯后路转变, 在融合技术方面逐渐从非器械融合向器械融合转变。为此, 本文就半椎体切除术在治疗 CS 方面的研究进展作一综述。

1 半椎体切除术的演变

自 1928 年 Royle 首次采用半椎体切除术治疗 CS

患者以来, 该术式经历了一个由繁到简的演变过程: 从最初的分期经前后路联合的方式逐渐向一期经前后路联合、单纯一期后路的方式演变。与前后路联合相比, 单纯后路手术在矫正率方面没有差别, 同时具有手术时间短、术中出血少、术后并发症发生率低等优势^[4]。更为重要的是, 单纯后路手术避免了对胸腹腔脏器的损伤, 扩大了可行切除手术的椎体节段范围, 几乎包括了从颈胸段至腰骶段的所有半椎体畸形^[5]。因此, 目前该术式被多个中心采用。

为降低术后复发风险, 最大程度上实现冠状面上的矫正, 外科医生通常采用完全性半椎体切除术治疗 CS, 但同时伴随的是高比例的神经系统并发症和高难度的手术操作要求^[6]。Liu 等^[7]基于脊柱截骨术分类系统提出了部分性半椎体切除术^[8], 并比较了部分性半椎体切除和完全性半椎体切除在治疗 CS 患者上的差异, 结果证实部分半椎体切除术是一种安全、有效、创伤小的治疗方法, 矫正效果与完全性半椎体切除术相似, 但该术式适用于特定的侧弯畸形, 主要包

DOI:10.20184/j.cnki.issn1005-8478.100643

作者简介: 刘威, 硕士研究生, 住院医师, 研究方向: 儿童骨科, (电子信箱)scmcliuwei@sjtu.edu.cn

* 通信作者: 陈文昊, (电子信箱)whchenortho@zju.edu.cn

括：楔形椎体、完全分节型半椎体、部分分节型半椎体的CS患者，且凹侧缺陷小于椎体横径的一半，能够进行骨对骨的关闭，并能够在截骨处获得稳定的支撑。

2 半椎体切除联合椎弓根螺钉内固定技术

半椎体切除术常需联合各种内固定技术，以增加脊柱的稳定性，提高手术矫形效果，同时降低术后复发可能。其中半椎体切除术联合椎弓根螺钉内固定技术是备受欢迎的手术方式。

2.1 半椎体切除联合椎弓根螺钉内固定技术的疗效

椎弓根螺钉可以将矫正力矩传递到脊柱的前柱和中柱，增加前柱和中柱的抗压能力，从而延缓椎体的生长，防止曲轴现象的发生。刘福云等^[9]回顾性比较单纯半椎体切除和半椎体切除联合椎弓根螺钉内固定治疗CS的差异，结果发现，内固定组的主弯矫正率明显高于单纯切除组，该技术在冠状面和矢状面均可实现更好的畸形矫正，患者术后外形获得改善。Benedikt等^[10]对17例由于颈椎段半椎体导致脊柱侧弯的患者行一期后路半椎体切除椎弓根螺钉内固定术，结果发现主弯Cobb角从术前的 $(48.1 \pm 12.2)^\circ$ 下降至 $(17.6 \pm 11.5)^\circ$ ，同时患者头部歪斜、躯干不正的外观也得以改善。Bao等^[11]对27例行一期后路胸腰段半椎体切除椎弓根螺钉内固定术的患者进行长期随访，发现节段弯曲角度、总弯曲角度等影像学指标在手术后明显改善。Gao等^[12]采用一期后路半椎体切除椎弓根螺钉内固定术治疗21例继发于腰骶部半椎体的CS患者，经过平均6.7年的随访，发现矫正效果依然可以保持。由此可见，上至颈椎下至骶椎的侧弯畸形均可采用该技术治疗，且可以获得令人满意的结果。

2.2 单侧内固定和双侧内固定的比较

传统的椎弓根螺钉内固定技术在脊柱两侧均置入内固定装置，但近年来有学者认为单侧椎弓根螺钉内固定也可为CS患者提供足够的矫正力度，且与双侧内固定相比，是一种更加简单、创伤更小的手术方式，减少了手术时间和术中出血量，此外，未融合的凹侧为后续脊柱畸形的矫正提供了机会^[13, 14]。He等^[15]发现半椎体对侧的椎弓根和椎体在一部分CS患者中发育较差，因此他们采用半椎体切除联合单侧椎弓根螺钉内固定技术治疗这部分患者，并与采用双侧内固定的患者进行了对比，结果发现单侧内固定可以达到双侧内固定的效果，且保留了对侧脊柱的生长

潜力，是一种可行的手术方法，为因单侧椎弓根发育不良或无椎弓根而无法实施双侧固定的CS患者提供了替代方案，外科医生在术前可结合患者情况和手术指征选择合适的内固定技术。Xue等^[16]根据年龄大小决定单侧或双侧内固定技术的选择：若患者年龄>10岁，则采用双侧内固定，因为年龄越大，CS患者侧弯的僵硬程度越大，半椎体切除完成后需要更大的闭合力量；若患者年龄<10岁，则采用单侧内固定，目的是为了让凹侧继续生长以矫正后续的畸形。术后结果对比发现，两组在冠状面和矢状面参数的改善情况上没有差异。但对于严重的CS患者，单侧内固定常常无法达到满意的矫正效果，术后容易发生侧弯进展而需要二次手术^[17]。

2.3 椎弓根螺钉内固定技术的改进

临床实践发现，由于CS患者的某些椎弓根经常发生形变或缺失，导致行螺钉内固定的风险增高，有研究报告，可用椎板钩代替椎弓根螺钉实现内固定^[18]。但Wang等^[19]对比了接受对称螺钉内固定和接受不对称螺钉内固定患者的术后结局，发现两组矫正效果相似，随访期间接受不对称内固定的患者也没有出现侧弯复发。因此，Wang等认为，对于螺钉固定困难的椎弓根，可选择相邻节段进行螺钉固定，不行内固定的椎体节段只要≤3个椎弓根都是安全有效的。这样不仅降低了手术时间和手术难度，也减少了对儿童脊柱生长发育的负面影响。在融合节段方面，有研究发现2个节段融合和>2个节段融合在矫正效果、并发症发生率等方面没有差异，因此研究者建议外科医生应该考虑对完全节段的半椎体畸形进行创伤更小的2个节段融合^[20]。

小年龄CS患者的椎体仍处于发育阶段，通常不能承受椎弓根固定点的压力，因此在采用椎弓根螺钉内固定技术时很难获得良好的内固定效果。Guo等^[21]在进行半椎体切除联合椎弓根螺钉内固定术的同时，利用椎板钩实现截骨部位的压缩，成功矫治了14例年龄<5岁的半椎体型CS患者。Guo等认为，在没有骨性终板保护的情况下，截骨术很容易破坏凸侧残余椎弓根内的螺钉稳定性，在完成半椎体切除后，需同时联合椎弓根螺钉和椎板钩，以提供更大的力量来闭合切除间隙，并稳定相邻的椎体。除了对内固定器械类型有着特殊要求外，小年龄CS患者在器械型号大小方面也有特殊要求，常需要儿童专用的椎弓根螺钉。但在经济欠发达的地区，受成本和使用范围的限制，常无法获得儿科专用的内固定器械。Zarei等^[22]使用成人颈椎侧块螺钉和棒作为椎弓根螺钉

来治疗 5 岁以下的 CS 患者，术后效果满意，主冠状面矫正率达 74.8%，为资源相对匮乏的地区提供了治疗思路。

3 半椎体切除术的新技术、新理念

近年来，随着外科技术的进步和外科医生的探索，出现了许多有关半椎体切除的新技术和新理念，为 CS 的治疗提供了新的思路。

为避免半椎体切除不完全以及术中脊髓神经损伤等问题，CT 辅助的导航系统被引入手术中。在导航系统的帮助下，外科医生在术前可以确定截骨水平，术中可以安全有效地完成截骨并准确地将螺钉置入狭窄的椎弓根^[23]。但 CT 的使用增加了患者的辐射暴露，Fisahn 等^[24]提出了锥形波束导航系统，也称 O 臂系统。在 O 臂系统的辅助下，患者术前无需行 CT 检查，术中使用 O 臂系统进行扫描，同样可以在 3D 重建中生成类似 CT 的图像，同时外科医生可以使用指针来确定需要切除的准确位置，提高了手术的精准度，术后效果满意。此外，术中即时三维导航系统也已应用到脊柱外科领域，该系统可自动采集并生成手术区域的三维图像，有望在半椎体切除方面发挥巨大作用^[25]。

除了技术上的进步，半椎体切除的外科理念也发生了改变。Bixby 等^[26]认为 CS 是一种复杂的脊柱畸形，半椎体切除术难度较大，需要骨科、神经外科医生共同协作。他们呼吁研究人员应进一步探究多学科合作下的术后矫正效果，并与骨科医生独立完成的半椎体切除术作比较。Zhou 等^[27]提出将微创脊柱外科的原则应用于先天性颈胸段脊柱侧弯的治疗，主要包括三个方面：(1) 把握手术时机，早期干预可减少融合节段和椎弓根螺钉的使用；(2) 对于有多个半椎体的先天性颈胸段脊柱侧弯，首先处理活动性好的远端半椎体，随后处理活动性差的近端半椎体；(3) 在进行半椎体切除之前，对邻近半椎体的椎管内静脉丛进行电烫烧灼可有效减少截骨时的出血。此外，对于生长发育阶段的脊柱侧弯患者，术前相应的心理干预对于保障医疗安全、提高患者配合度有着重要作用^[28]。

4 半椎体切除术失败原因及解决办法

随着半椎体切除术的广泛应用，有关手术失败需要二次干预的案例报道也相应增多。常见手术失败的原因：(1) 半椎体切除不彻底，导致侧弯进展；(2)

大范围截骨、截骨间隙闭合不全等，导致置入物失效；(3) 固定的上椎体和下椎体不平行或腰骶平衡重建不佳，导致躯干不平衡；(4) 螺钉位置不佳，内固定松动。相应的二次干预方案如下：(1) 彻底切除半椎体并联合坚强的内固定装置；(2) 大量骨移植，同时更换失效的内固定装置，必要时延长融合节段；(3) 平行固定上、下椎体，扩大融合节段至结构代偿曲线；(4) 在 O 臂系统的辅助下，重新调整螺钉位置，直到准确置入^[29-31]。

5 小结

经后路半椎体切除联合椎弓根螺钉内固定术适应证范围广泛、矫正效果满意，是治疗 CS 的主要手术方式。但有关内固定装置置入的操作细节尚存在争议，需要改进，外科医生应根据患者年龄、半椎体的类型、位置和数量等制定个体化的治疗方案。同时结合新技术的使用，争取更加精准、微创的手术效果。

参考文献

- [1] 杨涛, 赵继荣, 马同, 等. 先天性脊柱侧弯遗传及环境病因学研究进展 [J]. 中国矫形外科杂志, 2020, 28 (15): 1399-1403. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2020.15.13.
Yang T, Zhao JR, Ma T, et al. Progress in genetic and environmental etiology of congenital scoliosis [J]. Orthopedic Journal of China, 2020, 28 (15): 1399-1403. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2020.15.13.
- [2] Ruf M. Surgical treatment of congenital scoliosis [J]. Oper Orthop Traumatol, 2023, 36 (1): 4-11. DOI: 10.1007/s00064-023-00827-5.
- [3] Xia B, Wang H, Dong Y, et al. Posterior hemivertebra resection without internal fixation in the treatment of congenital scoliosis in very young children [J]. Front Surg, 2023, 9: 1018061. DOI: 10.3389/fsurg.2022.1018061.
- [4] Barik S, Mishra D, Gupta T, et al. Surgical outcomes following hemivertebrectomy in congenital scoliosis: a systematic review and observational meta-analysis [J]. Eur Spine J, 2021, 30 (7): 1835-1847. DOI: 10.1007/s00586-021-06812-5.
- [5] Bao B, Yan H, Tang J. A review of the hemivertebrae and hemivertebra resection [J]. Br J Neurosurg, 2022, 36 (5): 546-554. DOI: 10.1080/02688697.2020.1859088.
- [6] Hengwei F, Xueshi L, Zifang H, et al. Is vertebral column resection necessary in correcting severe and rigid thoracic kyphoscoliosis? A single-institution surgical experience [J]. World Neurosurg, 2018, 116: e1-e8. DOI: 10.1016/j.wneu.2017.10.002.
- [7] Liu D, Shi B, Shi B, et al. Partial hemivertebra resection (Grade 4 osteotomy) for congenital scoliosis: a comparison with radical hemivertebra resection [J]. World Neurosurg, 2019, 130: e1028-

- e1033. DOI: 10.1016/j.wneu.2019.07.070.
- [8] Schwab F, Blondel B, Chay E, et al. The comprehensive anatomical spinal osteotomy classification [J]. *Neurosurgery*, 2014, 74 (1) : 112–120. DOI: 10.1227/NEU.0000000000001820.
- [9] 刘福云, 贺盼盼, 夏冰, 等. 半椎体切除治疗儿童先天性脊柱侧弯疗效分析 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2014, 22 (9) : 775–778. DOI: 10.3977/j.issn.1005–8478.2014.09.02.
- Liu FY, He PP, Xia B, et al. Curative effect analysis of posterior hemivertebra resection in young children with congenital scoliosis [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2014, 22 (9) : 775–778. DOI: 10.3977/j.issn.1005–8478.2014.09.02.
- [10] Burkhardt BW, Meyer C, Wagenpfeil G, et al. The effect of cervico-dorsal hemivertebra resection on head tilt and trunk shift in children with congenital scoliosis [J]. *J Pediatr Orthop*, 2020, 40 (4) : e256–e265. DOI: 10.1097/BPO.0000000000001506.
- [11] Bao B, Su Q, Hai Y, et al. Posterior thoracolumbar hemivertebra resection and short-segment fusion in congenital scoliosis: surgical outcomes and complications with more than 5-year follow-up [J]. *BMC Surg*, 2021, 21 (1) : 165. DOI: 10.1186/s12893-021-01165-8.
- [12] Gao R, Zhang X, Guo D, et al. Medium-term and long-term follow-up surgical outcomes of the 1-stage posterior-only lumbosacral hemivertebra resection with short-segment fusion in children [J]. *J Pediatr Orthop*, 2023, 43 (2) : e120–e126. DOI: 10.1097/BPO.0000000000002263.
- [13] Feng Y, Hai Y, Zhao S, et al. Hemivertebra resection with posterior unilateral intervertebral fusion and transpedicular fixation for congenital scoliosis: results with at least 3 years of follow-up [J]. *Eur Spine J*, 2016, 25 (10) : 3274–3281. DOI: 10.1007/s00586-016-4556-7.
- [14] Peng X, Chen L, Zou X. Hemivertebra resection and scoliosis correction by a unilateral posterior approach using single rod and pedicle screw instrumentation in children under 5 years of age [J]. *J Pediatr Orthop B*, 2011, 20 (6) : 397–403. DOI: 10.1097/BPB.0b013e3283492060.
- [15] He JT, Liu FY, Hu WM, et al. Comparison of the curative efficacy of hemivertebra resection via the posterior approach assisted with unilateral and bilateral internal fixation in the treatment of congenital scoliosis [J]. *Front Surg*, 2022, 9: 821387. DOI: 10.3389/fsurg.2022.821387.
- [16] Xue X, Zhao S, Miao F, et al. Posterior-only lumbosacral hemivertebrae resection and fusion in paediatric scoliosis with minimum two year follow-up [J]. *Int Orthop*, 2020, 44 (5) : 979–986. DOI: 10.1007/s00264-020-04537-6.
- [17] Xue X, Zhao S. Posterior hemivertebra resection with unilateral instrumented fusion in children less than 10 years old: preliminary results at minimum 5-year follow-up [J]. *J Orthop Surg Res*, 2018, 13 (1) : 240. DOI: 10.1186/s13018-018-0946-3.
- [18] 李洋, 邱俊荫, 史本龙, 等. 后路半椎体切除矫形内固定术治疗颈胸段半椎体畸形的疗效分析 [J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2018, 28 (7) : 580–585. DOI: 10.3969/j.issn.1004-406X.2018.07.02.
- Li Y, Qiu JY, Shi BL, et al. Outcome analysis of posterior hemivertebra resection and correctional surgery for the treatment of cervicothoracic hemivertebra deformity [J]. *Chinese Journal of Spine and Spinal Cord*, 2018, 28 (7) : 580–585. DOI: 10.3969/j.issn.1004-406X.2018.07.02.
- [19] Wang C, Meng Z, You DP, et al. Individualized study of posterior hemivertebra excision and short-segment pedicle screw fixation for the treatment of congenital scoliosis [J]. *Orthop Surg*, 2021, 13 (1) : 98–108. DOI: 10.1111/os.12838.
- [20] Gomez JA, Ge DH, Boden E, et al. Posterior-only resection of single hemivertebrae with 2-level versus >2-level fusion: Can we improve outcomes [J]. *J Pediatr Orthop*, 2022, 42 (7) : 354–360. DOI: 10.1097/BPO.0000000000002165.
- [21] Guo D, Yao Z, Qi X, et al. Short fixation with a 3-rod technique for posterior hemivertebra resection in children younger than 5 years old [J]. *Pediatr Investig*, 2020, 4 (2) : 104–108. DOI: 10.1002/ped4.12206.
- [22] Zarei M, Ghadimi E, Bagheri N, et al. Posterior hemivertebra resection and short-segment fusion with lateral mass screws in congenital scoliosis: a novel strategy for the resource-limited setting [J]. *J Orthop Surg Res*, 2021, 16 (1) : 271. DOI: 10.1186/s13018-021-02419-0.
- [23] Takahashi J, Ebara S, Hashidate H, et al. Computer-assisted hemivertebra resection for congenital spinal deformity [J]. *J Orthop Sci*, 2011, 16 (5) : 503–509. DOI: 10.1007/s00776-011-0134-3.
- [24] Fisahn C, Lindemann C, Burgess B, et al. Lumbar hemivertebra resection in congenital scoliosis utilizing cone-beam navigation: less radiation, more accuracy—proof of concept [J]. *Childs Nerv Syst*, 2021, 37 (6) : 2081–2086. DOI: 10.1007/s00381-021-05055-5.
- [25] 周纪平, 申霞, 刘彬, 等. 脊柱侧弯矫正术中三维导航椎弓根钉置入的意义 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2023, 31 (18) : 1682–1687. DOI: 10.3977/j.issn.1005–8478.2023.18.09.
- Zhou JP, Shen X, Liu B, et al. Intraoperative three-dimensional navigation used in pedicle screw placement for correction of scoliosis [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2023, 31 (18) : 1682–1687. DOI: 10.3977/j.issn.1005–8478.2023.18.09.
- [26] Bixby EC, Skaggs K, Marciano GF, et al. Resection of congenital hemivertebra in pediatric scoliosis: the experience of a two-specialty surgical team [J]. *J Neurosurg Pediatr*, 2021, 28 (3) : 250–259. DOI: 10.3171/2020.12.PEDS20783.
- [27] Zhou ZG, Liu F, Lei YX, et al. Minimally invasive spine surgery strategy for congenital cervicothoracic scoliosis in children: Less blood loss and shortened segmental fusions/fewer pedicle screws [J]. *Front Surg*, 2023, 10: 1137675. DOI: 10.3389/fsurg.2023.1137675.
- [28] 荀琳, 刘敏, 李娜, 等. 生长发育期脊柱侧弯患者围手术期心理疏导 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2021, 29 (14) : 1333–1335. DOI: 10.3977/j.issn.1005–8478.2021.14.20.
- Xun L, Liu M, Li N, et al. Perioperative psychological counseling for patients with scoliosis in growth and development stage [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2021, 29 (14) : 1333–1335. DOI: 10.3977/j.issn.1005–8478.2021.14.20.

(下转 1785 页)