

· 技术创新 ·

## 计算机辅助设计颈胸段半椎体切除术<sup>△</sup>

张镨, 高延征\*, 王红强, 邢帅, 张广泉, 胡巍然, 朱宇

(河南省人民医院脊柱脊髓外科, 河南郑州 450003)

**摘要:** [目的] 介绍计算机辅助设计颈胸段半椎体切除术的手术技术和初步临床效果。[方法] 2016 年 1 月—2020 年 12 月对 14 例先天性颈胸段半椎体畸形患者行计算机辅助设计颈胸段半椎体切除矫形术。术前使用 Mimics 软件行矫形设计并模拟矫形过程, 术中采用神经电生理监测系统确保手术矫形的安全性, 按照术前设计精准置入椎弓根螺钉、切除半椎体、钉-棒系统矫正侧凸畸形。术后佩戴支具, 维持矫形效果。[结果] 患者均顺利完成手术, 未见严重血管、神经及脏器损伤等并发症。共置入 140 枚椎弓根螺钉, 置钉准确率 97.1%。平均随访 (35.5±13.2) 个月。与术前相比, 末次随访时, 颈胸段侧凸 [(53.9±17.9)°, (11.5±2.5)°,  $P<0.001$ ]、局部后凸 Cobb 角 [(27.8±9.8)°, (10.7±1.6)°,  $P<0.001$ ] 均显著改善。末次随访时, 斜颈角、T<sub>1</sub> 倾斜角及锁骨角均较术前显著减少 ( $P<0.05$ )。随访过程无畸形丢失、假关节形成、内固定松动、断裂等发生。[结论] 计算机辅助设计颈胸段半椎体切除矫形术安全有效, 可精准置入椎弓根螺钉并完整切除半椎体, 提高手术效率。

**关键词:** 颈胸椎, 半椎体, 计算机辅助设计, 椎弓根螺钉固定

**中图分类号:** R687 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-8478 (2024) 07-0641-05

**Computer aided design assisted cervicothoracic hemivertebrae resection and deformity correction // ZHANG Kai, GAO Yan-zheng, WANG Hong-qiang, XING Shuai, ZHANG Guang-quan, HU Wei-ran, ZHU Yu. Department of Spina and Spinal Cord Surgery, Henan Provincial People's Hospital, Zhengzhou 450003, China**

**Abstract:** [Objective] To introduce the surgical technique and preliminary clinical results of computer aided design (CAD) assisted cervicothoracic hemivertebrae resection and deformity correction. [Methods] From January 2016 to December 2020, 14 patients with congenital cervicothoracic hemivertebra malformations were treated with CAD assisted cervicothoracic hemivertebra resection and deformity correction. Mimics software was used to perform orthopedic design and simulate the orthopedic process before surgery. Under neuroelectrophysiological monitoring system used during surgery to ensure the safety of surgical correction, pedicle screws were precisely inserted according to the preoperative design, half vertebra was removed, and the scoliotic deformity was corrected by pedicle screw-rod system. The brace was worn after operation to maintain the correction effect. [Results] All patients were successfully operated, with no serious vascular, nerve and organ injuries and other complications. A total of 140 pedicle screws were inserted, with an accuracy of 97.1%. Compared with those preoperatively, the cervicothoracic scoliotic angle [(53.9±17.9)°, (11.5±2.5)°,  $P<0.001$ ], the kyphotic angle [(27.8±9.8)°, (10.7±1.6)°,  $P<0.001$ ] significantly improved at the latest follow-up lasted for (35.5±13.2) months. In addition, the torticollis angle, T<sub>1</sub> inclination and clavicular angle were significantly reduced postoperatively ( $P<0.05$ ). No loss of correction, pseudoarthrosis and loosening of internal fixation occurred in anyone of them during follow-up. [Conclusion] The CAD assisted cervicothoracic hemivertebra resection and deformity correction are safe and effective to insert pedicle screws and complete hemivertebra resection accurately, and improve surgical efficiency.

**Key words:** cervicothoracic spine, hemivertebra, computer aided design, pedicle screw fixation

颈胸段半椎体两侧脊柱生长发育不平衡, 较小的畸形即可导致明显的外观改变, 如斜颈、颜面不对称、双肩不等高等<sup>[1, 2]</sup>。一期后路半椎体切除矫形内固定是最为有效的治疗策略, 具有矫形效果好、创伤小及植骨融合率高等优势<sup>[3]</sup>。但颈胸段半椎体往往合

并蝴蝶椎、椎板缺如等先天性脊柱畸形, 加之毗邻椎动脉、气管、食道等重要组织, 手术难度和风险大, 并发症发生率高<sup>[4]</sup>。计算机辅助设计 (computer assisted design, CAD) 可以在计算机上还原出脊柱三维结构及模拟动画, 为术者提供精确的术前组织解剖资

DOI:10.3977/j.issn.1005-8478.2024.07.12

△基金项目:河南省医学科技攻关计划联合共建项目(编号:LHGJ20220036);河南省科技攻关项目(编号:242102310077)

作者简介:张镨, 副主任医师, 研究方向:脊柱外科, (电话)15838022176, (电子信箱)86057848@qq.com

\* 通信作者:高延征, (电话)0371-65580715, (电子信箱)doctorgao63@163.com

料,明确椎弓根螺钉置入的方向、角度以及所需螺钉的尺寸,设计个体化截骨方案并模拟术后矫形效果,指导术中精准操作,大大提高手术的精确性及安全性<sup>[5,6]</sup>。目前有关计算机辅助设计颈胸段半椎体手术治疗的报道并不多见。本研究介绍计算机辅助设计颈胸段半椎体切除矫形术的手术技术及初步临床效果。

## 1 手术技术

### 1.1 术前准备

所有患者术前完善常规检查,均行站立位脊柱全长正侧位 X 线片、脊柱颈胸段正侧位 X 线片(图 1a, 1b)、CT 平扫及三维重建、MRI 检查。测量并记录颈胸段侧凸、局部后凸、T<sub>1</sub> 倾斜角、锁骨角、斜颈角。排除手术及麻醉禁忌,术前准备妥当后予以安排手术。

### 1.2 模型建立及术前规划

所有患者术前均行脊柱颈胸段 64 排双源 CT 扫描,扫描厚度为 0.64 mm。所得 Dicom 原始影像数据导入 Mimics19.0 软件,运用 Calculate 3D Mask 工具重建脊柱三维模型,在重建模型上设计椎弓根螺钉的最佳位置和通道,后运用 CMF/Simulation 中的 Cut 工具动态模拟截骨及矫形过程,结合 X 线片所得脊柱柔软度,设计能矫形到的最佳状态(图 1c, 1d)。

### 1.3 麻醉与体位

采用气管插管全身麻醉,俯卧位,安装头颅固定架。

### 1.4 手术操作

所有患者手术均由同一位拥有丰富治疗经验的专科医师进行。麻醉成功后,C 形臂 X 线机透视定位,常规行自体血回收。常规消毒铺巾后以半椎体为中心行后正中切口,沿骨膜下剥离拟固定节段的棘突和椎板,常规显露脊柱后方结构。参照术前设计于半椎体上、下正常椎体置入椎弓根螺钉,C 形臂 X 线机透视观察椎弓根螺钉位置,确定置钉准确。采用超声骨刀沿设计的截骨面楔形切除半椎体椎板及上位椎体部分椎板,开口朝向凸侧,然后切除凹侧上、下相邻正常椎间关节。沿椎弓根基底向外前方剥离,尽量显露半椎体外侧,向内剥离直至完整暴露半椎体。临时固定棒置于凹侧,从凸侧使用超声骨刀、普通骨刀、刮匙及髓核钳经半椎体椎弓根将半椎体切除并刮除残留骨质、椎间盘及软骨终板(图 1e)。安装预弯内固定棒,凸侧适当加压,凹侧适当撑开,交替操作闭合楔形截骨空间及后侧椎板(图 1f),C 形臂 X 线

机透视观察侧后凸矫正情况。矫形满意后,于椎板、关节突及横突间行自体骨粒植骨。手术全程均在体感诱发电位和运动诱发电位监测下完成,并在矫形完成后行唤醒试验评估脊髓神经功能。确认双下肢运动正常后,放置引流管并逐层关闭切口,无菌纱布覆盖切口,手术顺利结束。

### 1.5 术后处理

术后常规使用抗生素 24 h,于术后 72 h 内待引流量 <50 ml/24 h 时拔除引流管,拔管后嘱下床活动,佩戴支具保护 3~6 个月。随访以门诊复查的形式,于术后 1 周,3、6 个月,1 年及以后每年复查 X 线片及 CT。按照椎弓根螺钉位置准确性分级系统评价椎弓根螺钉置钉准确率<sup>[7]</sup>,依据 Eck 融合分级标准判断植骨融合情况<sup>[8]</sup>。术前、术后 3 个月及末次随访摄站立位全脊柱正侧位 X 线片评估冠状位、矢状位及颈肩部畸形情况。观察有无假关节形成、植骨不愈合及内固定相关并发症。

## 2 临床资料

### 2.1 一般资料

2016 年 1 月—2020 年 12 月本科收治的先天性颈胸段半椎体畸形患者 14 例,其中男 9 例,女 5 例,年龄 4~15 岁,平均(8.9±3.2)岁。半椎体分布:C<sub>7</sub> 5 例,T<sub>1</sub> 5 例,T<sub>2</sub> 3 例,T<sub>3</sub> 1 例。除先天性单节段半椎体畸形外,均未发现椎管内病变及脊髓结构异常,无明显心、肺、肾脏等重要内脏器官畸形。所有患者外观均存在不同程度斜颈及双肩不等高,5 例面部发育不对称。本研究获得医院伦理委员会批准,患者及家属均知情同意。

### 2.2 初步结果

所有患者均顺利完成手术,术中均未发生神经电生理监测不良事件。手术时间 160~360 min,平均(228.5±41.8)min,术中出血量 250~600 ml,平均(355.6±46.7)ml。本组共置钉 140 枚,其中准确置钉 136 枚,置钉准确率为 97.1%。围术期未发生严重神经、血管及脏器损伤等并发症。随访 24~48 个月,平均(35.5±13.2)个月,随访过程无矫形丢失、假关节形成、内固定松动、断裂等发生。

患者颈胸段侧凸、局部后凸 Cobb 角由术前的(53.9±17.9)°、(27.8±9.8)°显著改善至术后 1 周的(10.8±2.6)°、(9.8±1.9)°、末次随访为(11.5±2.5)°、(10.7±1.6)°(P<0.001)。斜颈、锁骨角、T<sub>1</sub> 倾斜角由术前的(20.6±6.7)°、(19.9±3.7)°、(20.2±

5.8)°显著改善为术后 1 周的 (5.9±2.1)°、(10.8±3.9)°、(10.2±2.3)°及末次随访的 (7.1±1.4)°、(9.2±2.3)°、(9.5±3.0)° ( $P<0.001$ ); 末次随访与术

后 1 周比较, 差异均无统计学意义 ( $P>0.05$ )。术后典型影像见图 1g, 1h。

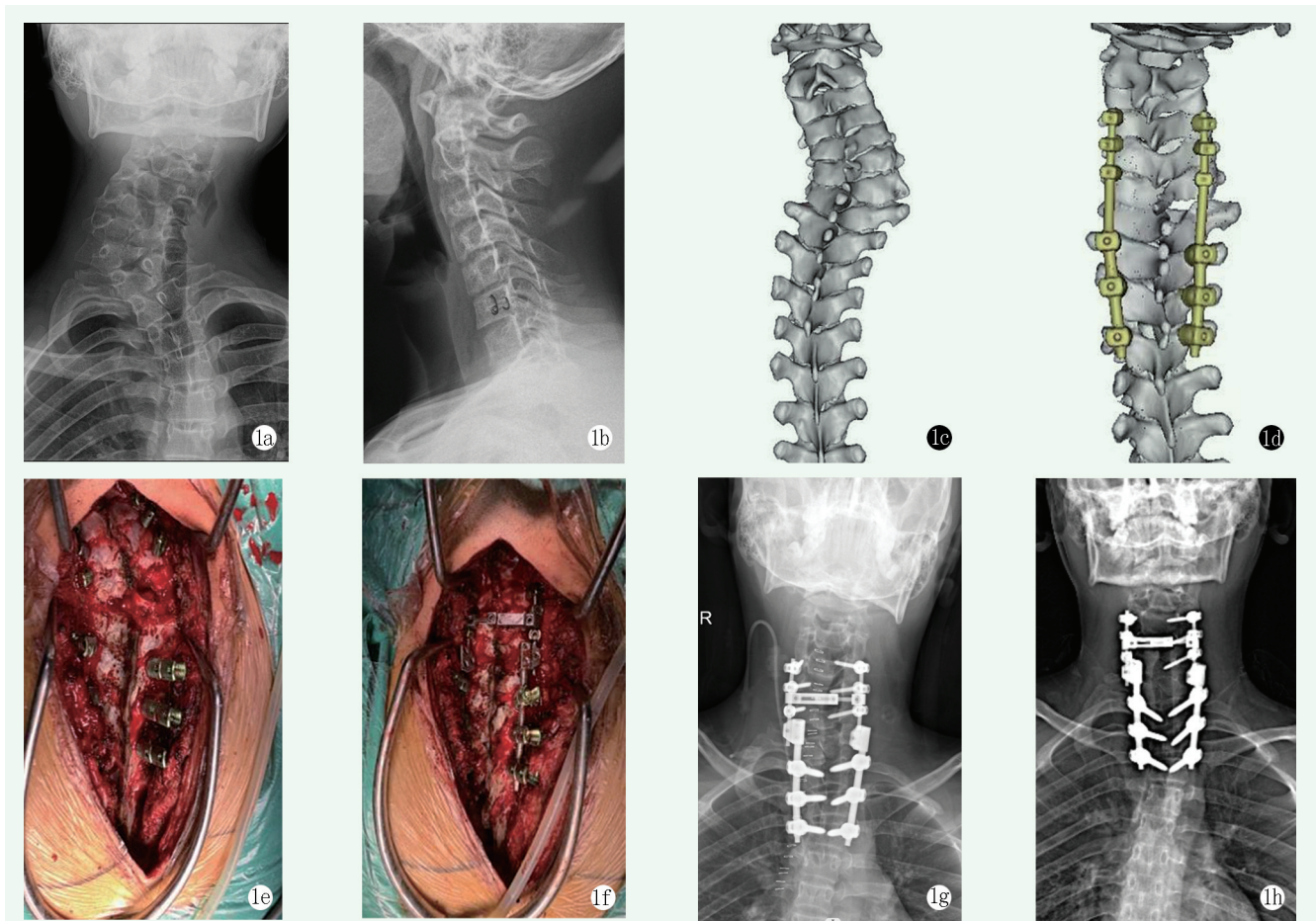


图 1. 患者女性, 10 岁。1a, 1b: 术前颈胸段正侧位 X 线片示 C7 半椎体伴颈胸段侧凸 56°, 局部后凸 24°, 斜颈 15°; 1c, 1d: 术前 CAD 辅助矫形设计及模拟术后效果后面观; 1e: 于半椎体上下正常椎体置入椎弓根螺钉并应用超声骨刀完整切除 C7 半椎体; 1f: 安装预变内固定棒并矫形固定; 1g: 术后 1 周颈胸段正位 X 线片示颈胸段侧凸 15°, 斜颈 4°; 1h: 术后 2 年颈胸段正位 X 线片示颈胸段侧凸 13°, 斜颈 3°, 矫形效果维持良好, 斜颈外观改善明显, 双肩平衡。

Figure 1. A 10-year-old female. 1a, 1b: Preoperative cervicothoracic spine radiographs showed C7 hemivertebra combined with primary cervicothoracic scoliosis of 56°, local kyphosis of 24° and torticollis of 15°; 1c, 1d: Posterior view of preoperative CAD assisted correction design and simulation of postoperative consequence; 1e: Pedicle screws were inserted into the normal vertebral body above and below the hemivertebra, and the C7 hemivertebra was completely resected by ultrasonic osteotome; 1f: Precurved rods were placed and fixed; 1g: Radiographs of the cervicothoracic spine showed scoliosis 15° and torticollis 4° at the first week after surgery; 1h: X-ray of the cervicothoracic spine 2 years after surgery showed cervicothoracic scoliosis of 13° and torticollis of 3°, which presented correction maintained well with improved appearance of torticollis and balanced bilateral shoulders.

### 3 讨论

先天性颈胸段半椎体畸形患者出生时即可出现头颈部歪斜, 通常较小的畸形角度或缓慢进展的畸形, 即可导致明显的斜颈、双肩不平衡、面部发育不对称甚至神经功能障碍<sup>[9, 10]</sup>。文献报道, 对 3~6 岁低龄儿童进行后路半椎体切除术, 矫形结果更佳<sup>[11]</sup>。Smith 等<sup>[12]</sup> 提出对于颈胸段侧凸畸形的手术指征不是基于年龄, 而是基于侧凸曲线的形态和影像学观察

到的畸形种类。明显颈部或躯干倾斜、肩部失衡患者, 手术为最有效的治疗方法<sup>[13]</sup>, 改善头颈部倾斜及双肩失衡状态, 是评价该矫形手术疗效的重要指标<sup>[14]</sup>。但颈胸段半椎体畸形的手术区域是人体最复杂精密的解剖结构之一, 异常的半椎体造成脊椎解剖结构极其不规则, 同时常伴有脊髓、神经、血管及椎弓根的发育畸形, 使复杂而狭小的空间结构产生巨大的变化<sup>[15]</sup>。矫正颈胸段半椎体畸形时, 需完整切除半椎体及阻碍矫形的骨性结构, 单纯经验性置入椎弓根螺钉及截骨往往不能获得足够的螺钉把持力及精准

的矫形效果,甚至引起医源性神经及血管损伤,因此设计合理的手术方案是降低手术并发症、获得良好矫形效果的前提。

CAD 辅助设计颈胸段半椎体切除矫形术具有以下优势:(1)有助于术者对颈胸段半椎体畸形复杂的三维解剖结构做出最真实、准确的评估,CAD 模拟矫形术后效果,可直观充分了解手术难点及技术关键;(2)便于手术团队之间沟通交流,协助术者优化预置钉及截骨方案,制定个性化手术方案;(3)计算机建模进行模拟手术,能够发现手术设计不完善之处,并及时调整手术方案,提高手术的准确性;(4)术前进行模拟截骨,选择最合适的截骨角度,从而避免操作不当造成的脊髓机械性损伤;(5)术前通过精确测量,选择合适进钉点、螺钉直径和长度,提高置钉准确率,并减少组织分离范围,降低术中出血量,节省手术时间;(6)应用超声骨刀按照预设方案精准截骨,避免因外界压力性操作造成偏差,安全范围内完全切除半椎体,降低了该手术的难度及风险。本组患者 14 个半椎体全部完整切除,置钉准确率为 97.1%,双肩平衡得到了显著改善,颈部较术前明显居中,颈胸段侧凸矫正率 78.6%,好于文献报道的前后路联合入路矫正率 64.9%<sup>[16]</sup>。围术期未发生严重神经、血管及脏器损伤等并发症,随访过程无矫形丢失、假关节形成、内固定松动、断裂等发生,总体疗效满意。但颈胸段半椎体畸形发病率较低,导致样本量小,且本组患者大部分年龄不足 10 岁,术后具有较大的生长潜力,半椎体导致畸形的病理改变复杂,长期疗效仍需进一步随访观察。

综上所述,笔者认为计算机辅助设计颈胸段半椎体切除矫形术安全有效,可精准置入椎弓根螺钉并完整切除半椎体,畸形矫正率高,临床和影像学疗效满意,术后未出现严重并发症,随访过程中矫形效果无明显丢失。

#### 参考文献

- [1] Chen Z, Qiu Y, Zhu Z, et al. Posterior only hemivertebra resection for congenital cervicothoracic scoliosis: correcting neck tilt and balancing the shoulders [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2018, 43 (6): 394-401. DOI: 10.1097/BRS.0000000000002325.
- [2] Toll BJ, Samdani AF, Amanullah AA, et al. Congenital scoliosis of the pediatric cervical spine: characterization of a 17-patient operative cohort [J]. *J PediatrOrthop*, 2021, 41 (3): e211-e216. DOI: 10.1097/BPO.0000000000001718.
- [3] Zhang HQ, Du YX, Liu JY, et al. Strategy and efficacy of surgery for congenital cervicothoracic scoliosis with or without hemivertebra osteotomy [J]. *Orthop Surg*, 2022, 14 (9): 2050-2058. DOI: 10.1111/os.13480.
- [4] 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 JM, 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.
- [5] Senkoylu A, Cetinkaya M, Daldal I, et al. Personalized three-dimensional printing pedicle screw guide innovation for the surgical management of patients with adolescent idiopathic scoliosis [J]. *World Neurosurg*, 2020, 144: e513-e522. DOI: 10.1016/j.wneu.2020.08.212.
- [6] 邱锋, 杨进城, 马向阳. CT 动脉血管造影结合计算机辅助设计在重度脊柱畸形矫形中的应用价值 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2014, 22 (7): 647-649. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2014.07.15.
- Qiu F, Yang JC, Ma XY. Application value of CT arterial angiography combined with computer aided design in correction of severe spinal deformity [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2014, 22 (7): 647-649. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2014.07.15.
- [7] Raley DA, Mobbs RJ. Retrospective computed tomography scan analysis of percutaneously inserted pedicle screws for posterior transpedicular stabilization of the thoracic and lumbar spine: accuracy and complication rates [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2012, 37 (12): 1092-1100. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31823c80d8.
- [8] Luo C, Wang X, Wu P, et al. Single-stage transpedicular decompression, debridement, posterior instrumentation, and fusion for thoracic tuberculosis with kyphosis and spinal cord compression in aged individuals [J]. *Spine J*, 2016, 16 (2): 154-162. DOI: 10.1016/j.spinee.2013.11.014.
- [9] 李洋, 史本龙, 朱泽章, 等. 伴有面部不对称的先天性颈胸段/上胸段侧凸畸形后路半椎体切除术后面部再塑形 [J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2021, 31 (5): 387-393. DOI: 10.3969/j.issn.1004-406X.2021.05.02.
- Li Y, Shi BL, Zhu ZZ, et al. Changes in facial symmetry after posterior hemivertebra resection in children with congenital cervicothoracic/upper thoracic scoliosis [J]. *Chinese Journal of Spine and Spinal Cord*, 2021, 31 (5): 387-393. DOI: 10.3969/j.issn.1004-406X.2021.05.02.
- [10] Wang S, Lin G, Yang Y, et al. Outcomes of 360° osteotomy in the cervicothoracic spine (C7-T1) for congenital cervicothoracic kyphoscoliosis in children [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2019, 101 (15): 1357-1365. DOI: 10.2106/JBJS.18.01428.
- [11] 曹江, 杨小红, 吕欣, 等. 不同年龄后路半椎体切除的临床比较 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2022, 30 (10): 865-870. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2022.10.01.
- Cao J, Yang XH, Lv X, et al. Comparison of clinical outcomes of posterior hemivertebrotomy in different age [J]. *Orthopedic Jour-*

- nal of China, 2022, 30 (10) : 865-870. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2022.10.01.
- [12] Smith JS, Shaffrey CI, Lafage R, et al. Three-column osteotomy for correction of cervical and cervicothoracic deformities: alignment changes and early complications in a multicenter prospective series of 23 patients [J]. *Eur Spine J*, 2017, 26 (8) : 2128-2137. DOI: 10.1007/s00586-017-5071-1.
- [13] Bortz C, Passias PG, Pierce KE, et al. Radiographic benefit of incorporating the inflection between the cervical and thoracic curves in fusion constructs for surgical cervical deformity patients [J]. *J Craniovertebr Junction Spine*, 2020, 11 (2) : 131-138. DOI: 10.4103/jcvjs.JCVJS-57-20.
- [14] 张宏其, 杜宇轩, 刘金洋, 等. 先天性颈胸段脊柱侧凸的手术治疗选择及疗效分析[J]. *中华骨科杂志*, 2022, 42 (17) : 1112-1121. DOI: 10.3760/cma.j.cn121113-20220704-00374.  
Zhang HQ, Du YX, Liu JY, et al. Surgical strategy selection and clinical outcome analysis in treatment of congenital cervicothoracic scoliosis [J]. *Chinese Journal of Orthopaedics*, 2022, 42 (17) : 1112-1121. DOI: 10.3760/cma.j.cn121113-20220704-00374.
- [15] 张宏其, 高琪乐, 吴建煌, 等. 先天性颈胸段脊柱侧凸的外科矫治策略和疗效初步分析 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2016, 24 (11) : 961-966. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2016.11.01.  
Zhang HQ, Gao QL, Wu JH, et al. Strategy and efficacy of surgical correction of congenital cervicothoracic scoliosis [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2016, 24 (11) : 961-966. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2016.11.01.
- [16] Yu M, Diao Y, Sun Y, et al. Evaluation of a combined approach to the correction of congenital cervical or cervicothoracic scoliosis [J]. *Spine J*, 2019, 19 (5) : 803-815. DOI: 10.1016/j.spinee.2018.11.006.
- (收稿:2023-05-24 修回:2023-09-25)  
(同行评议专家:毛路,李世梁,朱卉敏, 镐英杰)  
(本文编辑:郭秀婷)

· 读者 · 作者 · 编者 ·

## 本刊严查代写代投稿件等学术不端行为的通告

近期本刊在稿件处理过程中不断发现有涉嫌代写、代投的问题,这种行为严重违反了中国科协等7部门联合印发的《发表学术论文“五不准”》要求,在很大程度上影响了编辑部正常的工作秩序。为了维护学术尊严,保证杂志的学术质量,维护期刊的声誉和广大作者与读者的正当权益,本刊郑重声明如下:

本刊坚决反对由第三方代写、代投、代为修改稿件的行为。自即日起,凡投给本刊的所有稿件必须是作者亲自撰写的,稿件内容和所留作者信息必须是真实的。在稿件处理过程中,本刊的同行评议专家和编辑人员将动态地对文稿反复核对,请作者理解并积极配合。以下情况将被判定为涉嫌代写代投等学术不端行为,无论稿件处理至哪个阶段,均终止稿件进一步处理或直接退稿:(1)作者信息中提供的手机和电子信箱等联系方式非第一作者或通讯作者本人,或无效;(2)不回应我们的问询,或回应不合逻辑;(2)内容描述不专业,或不符合逻辑,不符合医学伦理与规范;(3)数据或统计值不符合逻辑,或明显错误;(4)图片与正文描述不符合;(5)参考文献引用与正文内容不符合。

期待广大作者与读者与我们携手,共同反对学术不端行为,维护医学文献库的圣洁,打造经得起历史考验、值得信赖的诚信期刊。

《中国矫形外科杂志》编辑部