

DOI:10.16781/j.0258-879x.2020.03.0233

· 规范与共识 ·

退变性脊柱侧凸手术加速康复外科围手术期管理策略专家共识

白玉树^{1△}, 翟 骁^{1△}, 陈自强¹, 魏显招¹, 杨明园¹, 杨 操², 周许辉³, 李危石⁴, 李 利⁵, 吴继功⁶, 许建中⁷, 赵建华⁸, 王达义⁹, 钱邦平¹⁰, 朱泽章¹⁰, 胡 勇¹¹, 孙武权¹², 房 敏¹², 郑召民¹³, 王 征¹⁴, 李淳德¹⁵, 丁文元¹⁶, 夏 磊¹⁷, 沈建雄¹⁸, 仇建国¹⁸, 孙天胜¹⁹, 罗卓荆²⁰, 海 涌²¹, 吕国华²², 郝定均²³, 邱 勇¹⁰, 李 明^{1*}

1. 海军军医大学(第二军医大学)长海医院骨科, 上海 200433

2. 华中科技大学同济医学院协和医院骨科, 武汉 430022

3. 海军军医大学(第二军医大学)长征医院骨科, 上海 200003

4. 北京大学第三医院骨科, 北京 100191

5. 解放军总医院第四医学中心骨科, 北京 100048

6. 战略支援部队特色医学中心骨科, 北京 100101

7. 陆军军医大学重庆西南医院骨科, 重庆 400038

8. 陆军特色医学中心大坪医院脊柱外科, 重庆 400042

9. 湖北医药学院附属太和医院脊柱外科, 十堰 442008

10. 南京大学医学院附属鼓楼医院脊柱外科, 南京 210008

11. 香港大学李嘉诚医学院矫形与创伤外科学系, 香港 999077

12. 上海中医药大学附属岳阳中西医结合医院推拿科, 上海 200437

13. 中山大学第一附属医院脊柱外科, 广州 510080

14. 解放军总医院骨科, 北京 100853

15. 北京大学第一医院骨科, 北京 100433

16. 河北医科大学第三医院脊柱外科, 石家庄 050051

17. 郑州大学第一附属医院骨科, 郑州 510370

18. 中国医学科学院、北京协和医学院北京协和医院骨科, 北京 100730

19. 解放军总医院第七医学中心骨科, 北京 100700

20. 空军军医大学西京医院骨科, 西安 710032

21. 首都医科大学附属北京朝阳医院骨科, 北京 100020

22. 中南大学湘雅二医院脊柱外科, 长沙 410011

23. 西安交通大学附属红会医院脊柱外科, 西安 710054

[摘要] 退变性脊柱侧凸常见于老年患者, 通常合并高血压病、冠心病、糖尿病和骨质疏松等基础疾病, 手术风险高、并发症多。加速康复外科(ERAS)要求综合考量患者的年龄、症状、体征、身体状况和骨质量等因素, 以制定个体化的手术方案和围手术期干预措施, 这对改善患者预后和康复十分重要。经全国多位脊柱外科专家多次讨论, 在循证医学证据支持下, 针对退变性脊柱侧凸手术ERAS围手术期管理策略制定本共识意见, 供临床工作参考和应用。

[关键词] 退变性脊柱侧凸; 外科学; 加速康复外科; 围手术期; 专家共识

[中图分类号] R 682.3 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 0258-879X(2020)03-0233-10

Enhanced recovery after surgery for degenerative scoliosis: consensus on perioperative management strategy

BAI Yu-shu^{1△}, ZHAI Xiao^{1△}, CHEN Zi-qiang¹, WEI Xian-zhao¹, YANG Ming-yuan¹, YANG Cao², ZHOU Xu-hui³, LI Wei-shi⁴, LI Li⁵, WU Ji-gong⁶, XU Jian-zhong⁷, ZHAO Jian-hua⁸, WANG Da-yi⁹, QIAN Bang-ping¹⁰, ZHU Ze-zhang¹⁰, HU Yong¹¹, SUN Wu-quan¹², FANG Min¹², ZHENG Zhao-min¹³, WANG Zheng¹⁴, LI Chun-de¹⁵, DING Wen-yuan¹⁶, XIA Lei¹⁷, SHEN Jian-xiong¹⁸, ZHANG Jian-guo¹⁸, SUN Tian-sheng¹⁹, LUO Zhuo-jing²⁰, HAI Yong²¹, LÜ Guo-hua²², HAO Ding-jun²³, QIU Yong¹⁰, LI Ming^{1*}

[收稿日期] 2020-02-24 **[接受日期]** 2020-03-01

[基金项目] 国家自然科学基金(81972035, 81701199), 重大疑难疾病中西医结合临床协作试点项目[ZY(2018-2020)-FWTX-2005]. Supported by National Natural Science Foundation of China (81972035, 81701199) and Clinical Collaboration Pilot Project of Traditional Chinese Medicine and Western Medicine for Major and Difficult Diseases (ZY[2018-2020]-FWTX-2005).

[作者简介] 白玉树, 博士, 副教授, 副主任医师. E-mail: spinebaiys@163.com; 翟 骁, 博士, 主治医师. E-mail: zhaixiao@smmu.edu.cn

[△]共同第一作者(Co-first authors).

^{*}通信作者(Corresponding author). Tel: 021-31161700, E-mail: limingch@21cn.com

1. Department of Orthopaedics, Changhai Hospital, Naval Medical University (Second Military Medical University), Shanghai 200433, China
2. Department of Orthopaedics, Union Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430022, Hubei, China
3. Department of Orthopaedics, Changzheng Hospital, Naval Medical University (Second Military Medical University), Shanghai 200003, China
4. Department of Orthopaedics, Peking University Third Hospital, Beijing 100191, China
5. Department of Orthopaedics, Fourth Medical Center of PLA General Hospital, Beijing 100048, China
6. Department of Orthopaedics, Special Medical Center of Strategic Support Force, Beijing 100101, China
7. Department of Orthopaedics, Southwest Hospital, Army Medical University, Chongqing 400038, China
8. Department of Spinal Surgery, Army Special Medical Center (Daping Hospital), Chongqing 400042, China
9. Department of Spinal Surgery, Affiliated Taihe Hospital of Hubei University of Medicine, Shiyan 442008, Hubei, China
10. Department of Spinal Surgery, Nanjing Drum Tower Hospital, Nanjing University Medical School, Nanjing 210008, Jiangsu, China
11. Department of Orthopaedics and Traumatology, HKU Li Ka Shing Faculty of Medicine, University of Hong Kong, Hong Kong 999077, China
12. Department of Tuina, Yueyang Hospital of Integrated Traditional Chinese and Western Medicine, Shanghai University of Traditional Chinese Medicine, Shanghai 200437, China
13. Department of Spinal Surgery, the First Affiliated Hospital, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510080, Guangdong, China
14. Department of Orthopaedics, Chinese PLA General Hospital, Beijing 100853, China
15. Department of Orthopaedics, Peking University First Hospital, Beijing 100433, China
16. Department of Spinal Surgery, the Third Hospital of Hebei Medical University, Shijiazhuang 050051, Hebei, China
17. Department of Orthopaedics, the First Affiliated Hospital of Zhengzhou University, Zhengzhou 510370, Henan, China
18. Department of Orthopaedics, Peking Union Medical College Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences & Peking Union Medical College, Beijing 100730, China
19. Department of Orthopaedics, Seventh Medical Center of PLA General Hospital, Beijing 100700, China
20. Department of Orthopaedics, Xijing Hospital, Air Force Medical University, Xi'an 710032, Shaanxi, China
21. Department of Orthopaedics, Beijing Chao-Yang Hospital, Capital Medical University, Beijing 100020, China
22. Department of Spinal Surgery, the Second Xiangya Hospital of Central South University, Changsha 410011, Hunan, China
23. Department of Spinal Surgery, Honghui Hospital, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710054, Shaanxi, China

[Abstract] Degenerative scoliosis is common in the elderly, and is usually accompanied with underlying diseases such as hypertension, coronary heart disease, diabetes, and osteoporosis, resulting in high risk of surgery and many complications. Enhanced recovery after surgery (ERAS) requires the surgical team to draw up individualized surgical plans and perioperative interventions considering comprehensive aspects, including age, symptoms, physical signs, physical condition, and bone quality, so as to improve the prognosis and rehabilitation of patients after surgery. This consensus on the perioperative management procedure of ERAS for degenerative scoliosis has been made by experts of Spinal Surgery Department based on evidence-based medicine, and it can be used for clinical reference and application.

[Key words] degenerative scoliosis; surgery; enhanced recovery after surgery; perioperative period; consensus

[Acad J Sec Mil Med Univ, 2020, 41(3): 233-242]

加速康复外科(enhanced recovery after surgery, ERAS)是在循证医学证据支持下,对围手术期处理措施进行优化,以减少患者生理和心理应激反应和并发症,从而达到加速康复目的的学科。目前,我国ERAS已在多个领域内开展,其不仅缩短了住院时间,减少了医疗费用,而且明显提高了治疗满意度^[1-2]。

退变性脊柱侧凸(degenerative scoliosis, DS)

是指骨骼成熟后(多于40岁以后),由于椎间盘、关节突关节等脊柱结构不对称性退变而引起冠状面Cobb角 $>10^\circ$ 的脊柱侧凸。老年人群中DS的发生率为10%~68%,多数患者侧凸角度较小,且无明显临床症状。部分患者伴有外观畸形、腰痛、下肢放射痛及间歇性跛行等症状。畸形一般较为僵硬,且常伴有腰椎前凸消失等矢状面形态改变。由于患者年龄较大,常合并心脑血管疾病、糖尿病、肺功

能下降及骨质疏松等疾病,存在手术耐受性差、术后并发症多等风险^[3-4]。因此,通过综合评估患者的临床症状、体征、年龄、身体状况和骨质量等因素,制定合理的围手术期优化措施,对于DS手术患者的预后十分重要^[5]。为促进DS手术患者的术后康复,进一步推动ERAS的临床应用,我国多位脊柱外科专家进行讨论,根据现有临床经验和文献,在循证医学证据支持下,针对DS手术患者ERAS围手术期管理策略制定本共识意见。

1 DS手术目的

DS手术的目的是通过选择尽可能短的手术节段、创伤小的治疗方法,解除神经组织压迫,稳定脊柱,适度矫正畸形,重建脊柱冠状面和矢状面平衡。DS手术的目的与青少年脊柱侧凸手术不同,应以提高患者生活质量、充分缓解神经功能障碍为主,以改善外观畸形为辅^[6]。

2 DS手术适应证

DS手术适应证应在考虑患者外观和影像学畸形的基础上,将患者的临床症状作为是否手术的主要考量指标。手术指征包括:(1)腰腿疼痛症状,如单侧或双侧下肢神经根性疼痛、间歇性跛行等,严重影响患者的正常生活,经保守治疗无效。(2)进展性畸形,冠状面Cobb角每年增加 $>10^{\circ}$,椎体移位每年增加 $>3\text{ mm}$ 。若存在畸形进展的高危因素,如腰弯Cobb角 $>30^{\circ}$ 、椎体移位 $>6\text{ mm}$ 、椎体旋转 $>II$ 度,也可考虑手术。(3)显著的冠状面和(或)矢状面失平衡,且症状与影像学检查结果相符。此外,是否手术还需考虑DS患者的一般情况和患者对手术结果的预期^[7]。多数DS患者Cobb角不大且无临床症状,可以选择保守治疗。

3 DS手术特点及影响围手术期康复进程的主要问题

3.1 DS患者平均年龄较大,合并症多,且心理健康亦不容忽视。老年DS患者因常合并高血压病、糖尿病、心脑血管疾病、肺功能下降等,麻醉安全性低。全身麻醉和手术创伤对多器官系统的影响较为明显,老年患者的康复能力也较差,这均不利于术后康复^[8]。DS患者还常伴有骨量减少、骨质疏松症,这可能影响内固定把持力和矫形力。另外,

部分老年患者由于长期受疾病困扰或缺乏亲人陪伴,存在心理和情绪障碍,可能对手术疗效满意度低,也可能影响术后康复^[9]。因此,围手术期治疗和手术方案的制定需综合考量多种因素。

3.2 DS患者手术方式影响术后康复进程。由于DS患者神经压迫的责任节段和脊柱侧凸之间的关系目前尚不十分明确,并且常伴有整体的冠状面和(或)矢状面失平衡,局部的腰椎前凸消失或后凸畸形,以及腰椎管狭窄症、腰椎滑脱等,手术减压范围和内固定节段的策略选择直接影响矫形效果和康复进程。此外,一些重度僵硬畸形患者还需要进行三柱截骨手术,截骨方式和范围直接影响术中失血量和术后并发症的发生率^[10]。因此,术前应通过动态体格检查、影像学分析和神经、关节突阻滞等辅助检查明确患者的症状和责任节段,制定个体化、精准化的手术方案。

4 术前评估

4.1 病史、体征评估。与手术相关的临床初步评估包括完整的病史采集和体格检查。

病史采集的重点是了解患者既往是否有特发性脊柱侧凸病史,排除成人特发性脊柱侧凸可能。症状性质对手术决策至关重要,如疼痛原因和部位、持续时间、加重或缓解的因素、既往的治疗情况等。腰腿疼痛需判断是轴性疼痛还是神经根性疼痛,如果两者均有,则需要仔细评估两者分别所占的比例。轴性疼痛多与椎体滑脱或矢状面失平衡有关,手术侧重矫形、脊柱稳定性和平衡重建;对于神经根性疼痛患者,术中解除神经压迫是手术的重点。对于伴关节炎的患者,需了解关节痛与神经放射痛的比重。此外,与一般的腰椎管狭窄引起的神经源性跛行症状不同,DS患者伴发的间歇性跛行症状未必能通过身体前倾缓解,多数需要患者坐位双臂支撑抬起上身进行缓解。

体格检查的重点是神经功能检查,评估神经根受压的范围和程度。体格检查时患者只着短裤,暴露全身,充分了解头部与骨盆的关系以判断冠状面和矢状面平衡情况,根据前后屈曲和侧方屈曲情况评估脊柱柔韧性。其他体格检查包括肩部和骨盆平衡,双下肢长度,膝关节和髋关节活动度,以及完整的神经系统检查和营养情况评估。

4.2 影像学评估和分型。拍摄脊柱全长正侧位、下肢全长正位、左右Bending位和平卧位X线片

等,评估脊柱矢状面(包括骨盆参数)和冠状面参数、脊柱稳定性(局部滑移、旋转半脱位和骨赘形成等)和柔韧性。X射线影像采集系统(EOS系统)可一次完成脊柱全长扫描,减少了投影和图像拼接误差,用于DS评估更为理想。CT三维重建和腰椎MRI检查对进一步明确责任节段、评价骨性和软组织结构及选择手术方式和内固定融合节段非常重要。对于神经症状无法完全解释或伴有脊柱广泛性退变、重度椎管狭窄、韧带骨化的患者,可行全脊柱MRI检查,排除其他部位的神经病变或压迫,因为这可能影响手术方案和术中体位的选择。由于安装心脏起搏器等原因无法行MRI检查、既往接受内固定手术或MRI金属伪影干扰重要部位判断的患者,可行CT椎管内造影检查。

SRS-Schwab成人脊柱畸形分型纳入了冠状面弯曲类型、骨盆倾斜参数、矢状面垂直轴修正参数、骨盆入射角-腰椎前凸角参数,不仅可以描述侧凸类型,而且可以通过与临床症状高度相关的矢状面骨盆参数预测临床结果^[11]。术前冠状面平衡采用C₇铅垂线与骶骨中垂线之间的水平距离进行判断,该参数<3 cm被认为冠状面平衡,否则为不平衡。冠状面不平衡分为3型:A型,冠状面平衡;B型,不平衡,躯干向腰弯凹侧不平衡;C型,不平衡,躯干向腰弯凸侧不平衡^[12-13]。

4.3 基础疾病评估

4.3.1 心肺功能评估 老年人心肺储备功能较差,手术可能导致心肺功能进一步下降,因此术前应常规行心脏彩色多普勒超声、胸部X线片、肺功能、动脉血气分析等检查评估心肺功能。还可以采用步行试验、踏车或平板运动试验等综合评估心肺功能。

建议术前制定围手术期改善心肺功能的治疗计划。研究表明,手术时间>3 h,年龄>70岁,肥胖,近期有心肌梗死、慢性心力衰竭、阻塞性或限制性肺疾病病史,以及长期吸烟或戒烟时间<8周等,是术后发生呼吸系统并发症的高危因素^[3,14]。术前应充分了解吸烟史,过度吸烟可导致动脉粥样硬化、慢性支气管炎等,容易造成术后肺部感染。对于心肺功能较差的患者,术前应尽早停止吸烟、训练深呼吸运动,术中尽可能缩短手术时间。鉴于前路手术可能导致术后呼吸功能进一步下降,对于术前肺功能较差的患者应注意手术入路的选择。术后可早期下床活动,并给予镇痛治疗等。

4.3.2 高血压病评估 术前了解患者高血压病史,

对于合并糖尿病、高脂血症的老年患者,应控制血压低于130/80 mmHg(1 mmHg=0.133 kPa)。对于血压控制不理想的患者,必要时请相关科室会诊协助平稳控制血压,并排除其他引起顽固性高血压的因素。多数口服降压药物可继续使用至手术当日早晨,复方利血平应于术前停药1周或更换为其他降压药物。

4.3.3 血糖评估 围手术期高血糖会增加术后并发症的发生率,影响神经功能恢复,降低患者远期疗效。建议控制空腹血糖≤10.0 mmol/L,控制随机血糖≤12.0 mmol/L^[15]。糖尿病患者手术当日停用口服降糖药,术前使用胰岛素者应于手术当日早晨检测血糖,酌情减少胰岛素注射量。

4.3.4 凝血功能评估 老年患者常因合并心脑血管疾病而长期口服抗血小板、抗凝药物,术前需权衡停药导致心脑血管事件的风险和不停药导致围手术期出血的风险,并通过病史采集、实验室凝血功能检查等评估围手术期出血相关疾病。阿司匹林、氯吡格雷等抗血小板药物建议术前停用1周;华法林等抗凝药物术前停用至少5 d^[16],停药者可使用低分子肝素进行桥接治疗^[17]。

4.4 营养评估 对拟实施手术的患者,营养支持十分重要,须满足患者新陈代谢需要。推荐术前采用营养风险筛查2002(nutrition risk screening 2002, NRS2002)量表评估患者的营养状态,该量表结合了疾病严重程度、体质量、进食情况、白蛋白、BMI、年龄等综合评估。总评分≥3分表明存在营养不良风险,建议术前营养支持,必要时可咨询营养科医师。血清白蛋白<35 g/L(即低蛋白血症)是死亡、并发症、伤口感染和成人脊柱融合术后血栓形成等的独立危险因素,应予以重视^[18-19]。

4.5 骨质疏松评估 骨质疏松常见于老年DS患者,尤其是绝经后、50岁以上女性^[17,20],并随着年龄增长而加重。推荐使用双能X线吸收法(dual-energy X-ray absorptiometry, DXA)对椎体和股骨颈成分进行评估,有条件时可行定量CT法检测^[21]。虽然骨质疏松与侧凸严重程度无明显相关性,但其与内固定手术并发症如螺钉松动、断钉断棒、假关节形成、交界性后凸畸形、邻近节段退变等关系密切,增加了翻修手术率,影响患者的康复进程^[22]。对于伴骨质疏松的DS患者,建议术前半年开始规范的抗骨质疏松治疗,术中可采用加粗、加长、膨胀螺钉和骨水泥强化螺钉,术后适当

佩戴支具、早期开始康复锻炼^[23]。

4.6 生活质量评价 DS严重影响患者的生活质量,因此需对患者的生理、心理及社会功能状态进行评价。

推荐使用简明健康状况调查(36-item short-form health survey, SF-36)量表进行整体评价。脊柱侧凸研究学会22项(Scoliosis Research Society-22, SRS-22)量表是脊柱畸形领域较为常用的生活质量评价工具。SRS-22量表从5个维度22个条目全面评估了脊柱活动度、疼痛、外观、心理及治疗满意度^[24]。部分腰腿疼痛患者还需要进行功能评估,可采用的评估工具有视觉模拟量表(visual analogue scale, VAS)、腰椎日本骨科协会(Japanese Orthopaedic Association, JOA)评分、Oswestry功能障碍指数(Oswestry disability index, ODI)等。

对于有焦虑和抑郁病史的患者,可采用医院焦虑抑郁量表(hospital anxiety and depression scale, HADS)或广泛性焦虑障碍(seven-item generalized anxiety disorder, GAD-7)量表进行心理状态评估和疏导。

4.7 宣教和术前知情谈话 外科医师术前须充分告知患者手术方案及手术方式可能的获益,并根据术前各项评估结果与患者沟通手术风险,缓解紧张情绪,获得患者及其家属的理解和配合。病房护士除了常规护理外,还需对患者进行充分的护理评估并指导患者咳嗽、咳痰、床上排便训练等,告知患者围手术期饮食、皮肤准备等。麻醉医师尽早对麻醉风险进行评估和建议,充分告知麻醉方案、麻醉过程和注意事项,缓解患者的紧张情绪,获得患者及其家属的配合。康复科医师指导患者进行生活质量自评,提前训练床上排便、排尿,支具佩戴,以及康复锻炼的方法。患者家属的照顾和教育也是ERAS的重要部分,建议患者家属同步实施健康教育,参与患者和治疗团队之间的沟通,起到桥梁作用,积极配合围手术期的注意事项。

5 术中管理

5.1 抗生素使用 手术开始前0.5~1 h预防性使用抗生素,常规使用第1或2代头孢菌素,有循证医学证据的第1代头孢菌素主要为头孢唑啉,第2代头孢菌素主要为头孢呋辛^[25]。在手术开始后不久抗生素即可达到有效的杀菌浓度,防止手术部位感染。一般认为手术时间>3 h、术中失血量>

1 500 mL时,医师应提出术中追加抗生素。术后预防性抗生素使用时间建议<24 h,因为即使延长抗生素使用时间也不能降低感染的发生率^[26]。

5.2 麻醉要点 通常选择全身麻醉。根据患者体质量、年龄、心肺功能、手术难易程度、创面大小和可能的手术时间,选择安全的麻醉诱导和维持方案。若术中需要进行脊髓诱发电位的电生理监测,并选择对生理诱发电位干扰较弱的麻醉药物。术中除了心率、血压、血氧监测外,还建议进行麻醉深度、体温、有创动脉血压或容量监测。

麻醉状态下体温自我调节系统受到抑制,脊柱侧凸患者由于手术时间长、暴露创伤大,极易发生体温下降。体温下降可影响凝血因子的活性,导致创面渗血增加。在脊柱矫形术中,应常规使用加温毯和采取具有加温设备的输血、输液措施,同时监测患者体温并进行控制。

DS手术大多在俯卧位完成,需重视这一特殊体位,保证患者胸廓能够自由扩张,保证通气和腹部没有受压。对于肥胖患者,胸腹部受压影响静脉回流,增加静脉压力,从而增加创面渗血。长时间俯卧位手术会引起眼球结膜水肿甚至影响视力,术前明确高危因素,如青光眼等,术中避免眼球直接受压、长时间低血压、大量失血、静脉输血量过多等。由手术室巡回护士进行皮肤管理,预防压疮。

术中是否进行控制性降压存在争议,尽管控制性降压技术可减少失血量,有利于手术的开展。根据手术节段的长短、术中失血量、患者的耐受程度,可在暴露阶段实施控制性降压,但应维持有效的灌注压,通常为基础血压的70%~80%(平均动脉压60~70 mmHg)。在置钉、截骨及矫形阶段,不建议行控制性降压,避免影响脊髓供血。行重度畸形矫形(如三柱截骨矫形)的患者,存在术前脊髓功能较差等脊髓缺血损伤高危因素的患者,或当脊髓监测信号发生变化时,不建议行控制性降压,应维持平均动脉压>80 mmHg,同时维持血红蛋白>100 g/L。不能在血容量不足甚至低血容量休克情况下实施控制性降压,并且需要注意调控麻醉深度和镇痛程度。

术后是否继续使用呼吸机支持应在术前或在手术结束前做出决定,决策时需考虑患者心肺功能和术中失血量>30 mL/kg等因素。尽可能避免在麻醉苏醒拔管后发现患者情况不佳时再次行气管插管呼吸机支持,以免造成二次插管引发潜在肺功能

损害。

5.3 手术要点 DS的手术治疗应强调以缓解症状为主,通过科学合理的分型尽可能选择简单、创伤小的治疗方法^[27]。要求组织主诊组医师进行规范的术前讨论,仔细阅读患者的影像学资料,统一手术方案,提前准备手术工具和器械。

建议以 Lenke-Silva 分型作为手术干预的基本策略,辅以 Berjano 分型对可行短节段手术的患者选择具体的融合节段。Lenke-Silva 分型根据腰背部疼痛、神经根症状、前方骨赘、侧方滑移、冠状面 Cobb 角、腰椎前凸角、整体平衡 7 个方面将 DS 分为 6 级,对手术进行指导^[28]。I 级行单纯减压,II 级行局部减压内固定,III 级行侧凸畸形内固定,IV 级行前路手术恢复腰椎前凸,V 级行延长至胸椎的长节段内固定,VI 级僵硬性畸形还需要进一步行矫形截骨以恢复整体平衡。该分型系统将症状与影像学参数结合进行综合评估,对 DS 患者手术策略的选择具有重要价值。

Berjano 分型依据顶椎区域与责任节段的关系及矢状面平衡情况进行分型,在一定程度上可以指导融合节段的选择^[29]。其中 I、II、III 型病变均不伴或仅有轻度矢状面失衡。I 型责任节段位于非顶椎区域,建议仅融合病变节段;II 型责任节段位于顶椎区域,建议融合顶椎区;III 型责任节段累及顶椎区和非顶椎区,建议融合主弯,必要时融合伴椎间盘退变的交界区和僵硬的代偿弯;IV 型重度矢状面失衡,伴或不伴冠状面失衡,建议采用三柱截骨技术治疗,常行经椎弓根椎体截骨术 (pedicle subtraction osteotomy, PSO)^[30]。

在融合节段选择方面,近端融合椎应选择稳定区,尽量避开胸腰交界段,且邻近节段应无明显退变^[29]。远端融合椎选择存在一定争议,对于 L₅ 冠状面倾斜严重 (一般认为倾斜角 > 15°)、腰骶段畸形、L₅/S₁ 明显退变或滑脱、严重骨质疏松、骨盆倾斜、下腰椎行三柱截骨、冠状面或矢状面严重失衡的患者,建议远端融合椎延长固定至骶骨。长节段融合 (近端融合至 L₂ 以上) 至骶骨由于有较高的假关节和内固定失败率,可以采用远端椎间融合或增强螺钉固定强度等方式,必要时在长节段固定至骶骨时延长固定至骨盆,建议使用髂骨螺钉或 S₂ 髂嵴螺钉,同时根据情况辅以 L₄/L₅、L₅/S₁ 椎间融合^[31]。

文献报道脊柱矢状面失衡与患者生活质量

显著相关,理想的矢状面形态可参考 SRS-Schwab 分型中提出的矢状面躯干偏移 ≤ 4 cm、骨盆倾斜角 ≤ 20° 和骨盆入射角-腰椎前凸角 ≤ 9°^[11],以上数据存在较大的个体差异,且在不同年龄、不同种族人群中也有明显差异,需要结合患者实际情况综合衡量。因此,术后即使影像学检查获得了理想的参数,也不能提示患者会有满意的治疗效果。

术前 C 型冠状面失衡患者矫形术后再次出现失衡的概率较大,应在术中注意脊柱的整体平衡,腰弯应适度矫形,必要时延长固定至髂骨以利于整体平衡的恢复。

截骨方式的选择是影响手术时间、效果及神经并发症的主要因素,选择何种截骨方式来重建冠状面、矢状面平衡会影响患者术后康复进程。按截骨量和截骨效果,可将脊柱截骨分为 6 级: I 级截骨,切除关节囊和下关节突; II 级截骨,切除上下关节突、黄韧带,也可切除椎板、棘突; III 级截骨,切除椎弓根及椎体后方楔形; IV 级截骨,切除部分椎体、椎弓根、上方终板和椎间盘 (胸椎区切除范围包括肋骨); V 级截骨,切除整个椎体,包括上下椎间盘 (胸椎区切除范围包括肋骨); VI 级截骨,为多个椎体截骨,至少应包括 1 个椎体完全切除和另 1 个椎体部分或完全截骨。截骨的椎体越多、等级越高,手术风险就越大,术后并发症也越多。一般而言,多节段 I、II 级截骨即可满足多数 DS 患者冠状面和矢状面矫形需要,并且有利于减少手术创伤和术后康复^[32]。对于重度僵硬性、复杂的 DS 伴有显著冠状面和 (或) 矢状面畸形的患者,可尝试 III 级及以上截骨,最常用的是 PSO,但应注意截骨椎体邻近节段的坚强固定^[33]。

微创技术是目前外科发展趋势,具有创伤小、恢复快的优势。近年来,椎间孔镜技术、微创经椎间孔入路腰椎椎体间融合术 (minimally invasive-transforaminal lumbar interbody fusion, MIS-TLIF)、经皮椎弓根螺钉技术、极外侧入路椎体间融合术 (extreme lateral interbody fusion, XLIF) / 直接侧方椎体间融合术 (direct lateral interbody fusion, DLIF)、斜外侧入路椎体间融合术 (oblique lateral interbody fusion, OLIF) 和前路椎体序列重排术 (anterior column realignment, ACR) 等微创技术逐渐被用于 DS 的治疗,可明显减少手术创伤,促进术后快速康复^[34]。但是不恰当的微创手术可能无法达到手术目的,不能改善患者的生活质量和外

观畸形,并可能导致腹部脏器损伤、血管损伤、腰丛神经损伤、交感干损伤等,所以应严格掌握微创手术的适应证^[12]。

为指导临床选择合适的微创技术,国际脊柱研究学会提出了成人DS微创治疗决策流程,并分为3级。I级:患者腰痛轻微,伴有由于中央椎管、侧隐窝或神经根管狭窄引起的神经性跛行或神经根病变,脊柱侧凸较轻,柔韧性好,骨盆入射角—腰椎前凸角 $<10^{\circ}$,矢状面躯干偏移 $<6\text{ cm}$,骨盆倾斜角 $<25^{\circ}$,侧方滑移 $<6\text{ mm}$,冠状面Cobb角 $<20^{\circ}$,无过度胸椎后凸,若伴有腰椎滑脱,滑脱程度应 $<II$ 度。此类患者的手术目的是解除压迫,手术通过1~2节段的椎间孔镜、固定端口的通道或可牵开的通道进行。伴有脊柱不稳和椎体滑脱者可行MIS-TLIF,通过间接减压可以达到治疗目的者可行XLIF、DLIF或OLIF,必要时后路辅以经皮螺钉固定。II级:患者在神经症状基础上,较I级患者有更严重的腰痛,骨盆入射角—腰椎前凸角为 $10^{\circ}\sim 30^{\circ}$,侧方滑移 $>6\text{ mm}$,冠状面Cobb角 $>20^{\circ}$,影像学显示前方明显骨桥连接,矢状面躯干偏移 $\leq 6\text{ cm}$ 或 $>6\text{ cm}$ 但较为柔韧,可经肌间隙入路在固定端口通道或可牵开通道进行多节段减压,融合节段需要跨越顶椎,对侧凸节段融合可经肌间隙入路行MIS-TLIF、XLIF、DLIF或OLIF。III级:患者存在腰腿疼痛的同时,伴有明显的冠状面和(或)矢状面失平衡,矢状面躯干偏移 $>7\text{ cm}$,侧凸僵硬、骨盆入射角—腰椎前凸角 $>30^{\circ}$,骨盆倾斜角 $>25^{\circ}$ 或胸椎后凸角 $>60^{\circ}$,此类患者通常需要行三柱截骨,微创手术无法达到手术目的,建议开放手术。

微创技术是一种理念,需要贯彻手术始终。椎弓根螺钉系统在脊柱侧凸手术中的并发症发生率高达36%^[35]。精准置钉可以避免螺钉松动、拔除,减少毗邻血管、神经、肺等组织器官损伤。导航系统、手术机器人等的应用可以明显提高螺钉置入的准确率,减少术中透视次数和手术时间^[36-37]。此外,术中减压时应注意保护神经根和硬膜囊。可通过使用头戴式手术放大镜或显微镜辅助技术使视野更加明亮、清晰。采用可吸收线进行切口皮内缝合,不仅术后切口较美观,避免了术后拆线,而且可加快患者伤口康复。

5.4 血液管理 DS矫形手术创面大,术前贫血需要提前干预。术中以“无血”手术理念进行手术,

熟练操作尽可能减少术中出血。合理摆放体位,术中进行保温控制,应用双极电凝及时止血,骨蜡封闭创面。对于出血较多者可进行成分输血。

术中自体血回输可减少异体血的输入量。目前主要是将患者所失的无菌血液经收集、过滤、抗凝、离心,重新制成红细胞悬液再输入患者体内。目前该方法应用较广泛,但应注意,肿瘤和脊柱感染患者术中禁止自体血回输。外科医师使用吸引管吸引血液时应将吸引器头端浸没在血液平面下,减少空气吸入形成张力破坏红细胞,从而提高血液回收率。

氨甲环酸在矫形手术中的应用及剂量存在争议。研究表明术中使用氨甲环酸可以明显减少术中失血量,并且没有增加患者术后深静脉血栓、神经系统并发症、肾功能不全、心血管事件等不良事件的发生率^[38],但仍应警惕深静脉血栓、继发性大出血、癫痫等神经系统并发症的发生。对手术预计出血较多的患者,排除禁忌后,可于切皮前15~30 min予静脉应用负荷剂量(10 mg/kg)氨甲环酸,术中1 mg/(kg·h)维持。术后及时监测凝血指标,防止继发血栓形成。

5.5 术中神经电生理监测 脊柱侧凸患者常伴有椎体旋转和椎体发育异常,椎弓根螺钉置入难度大,脊髓损伤的风险高,另外矫形、截骨操作也可能造成神经根和脊髓牵拉或损伤。术中神经电生理监测可以连续监测脊髓和神经根的生物电情况,为术者提供可靠信息,有效避免脊髓和神经根的损伤。2009年,脊柱侧凸研究学会发表声明:术中神经电生理监测是脊柱矫形手术中必备的监测手段,其已被证实能有效地监测脊髓结构和功能的完整性^[39]。主要指标为经颅电刺激运动诱发电位(motor evoked potential, MEP)和体感诱发电位(somatosensory evoked potential, SEP)。SEP信号振幅变化 $>50\%$ 或潜伏期变化 $>10\%$ 提示阳性结果,MEP信号消失或下降 $>80\%$ 提示阳性结果。此时应首先立即全面排除硬件(电子元件和连接)问题,排除低血压、低体温、麻醉深度和使用药物等对监测结果的影响,并及时与麻醉医师沟通,升高血压至平均动脉压高于80~90 mmHg,必要时评估血红蛋白和血糖水平,维持体温 $\geq 36.5^{\circ}\text{C}$;术者应结合正在进行的手术操作,排除内固定位置不良,探查硬膜囊(椎管打开时),逆转矫形操作,若神经电生理监测仍未回复基线,应行唤醒试验。

肌松药会降低 MEP 的信号强度,可与麻醉医师紧密配合,以免其干扰检测结果。

6 术后管理

6.1 疼痛管理 疼痛不仅增加患者身体、心理痛苦,也会干扰患者的呼吸、循环等系统,从而影响患者的康复。因此,必须重视疼痛管理。

在缝合皮肤时,切口周围可使用 0.375% 的长效麻醉药如罗哌卡因等进行皮下浸润性局部麻醉,减轻患者术后切口部位疼痛,减少全身镇痛药的使用剂量。

术后根据 VAS 评分等级给予相应的镇痛药物。阿片类药物仍然是目前主要的术后镇痛药物,常通过静脉注射或患者自控输注。非甾体抗炎药 (non-steroidal anti-inflammatory drug, NSAID) 可以有效减少阿片类药物的使用剂量。术后使用 NSAID 时,应警惕突然出现在远离手术创面部位的难以解释的症状,排除胃肠道溃疡、胰腺炎等,另外,也应高度警惕凝血功能异常和心血管安全性。

6.2 引流管与导尿管的管理 留置伤口引流管可以预防切口血肿,对于椎板减压患者可预防血肿压迫神经。建议尽量缩短引流管留置时间,24 h 引流量 < 50 mL 即可拔除引流管。对于术中硬膜撕裂脑脊液漏患者,可适当延长留置时间。

老年男性可能存在前列腺增生等引起的尿道梗阻症状,导尿时应当涂抹足够的润滑剂并轻柔操作,术后随引流管拔除时拔除。对于存在尿潴留高危因素的患者,拔除导尿管前每隔 2~3 h 夹闭导尿管,训练排尿功能。

6.3 深静脉血栓风险评估 脊柱侧凸术后深静脉血栓发生率为 0.3%~31%^[40-41]。高龄、高血压病、肥胖、吸烟、缺乏运动、长期卧床、使用糖皮质激素等是术后发生深静脉血栓的高危因素^[40,42-43]。术前利用个体化深静脉血栓风险评估模型对 DS 患者进行评估,从而给予恰当的深静脉血栓预防措施。深静脉血栓的预防主要有基础预防和物理预防,具体措施包括术后肢体活动、弹力袜和充气加压装置等^[44]。对于高危患者,可以应用药物预防,如低分子肝素等^[45],但应注意硬膜外血肿等并发症可能。

6.4 术后谵妄易感因素评估 接受手术治疗的 DS 患者年龄较高,围手术期存在抑郁和谵妄状态的可能性越大,可采用意识模糊评估方法 (confusion

assessment method, CAM) 予以识别并早期干预^[46]。

6.5 生理功能锻炼 患者术后继续肺功能锻炼,建议用力、有效咳嗽,防止发生全身麻醉后肺不张或肺炎。同时,咳嗽时建议双手轻压腹部,减轻伤口疼痛。

术后恶心呕吐常发生于既往有恶心呕吐病史和术后应用阿片类药物的患者,可通过减少围手术期阿片类药物的使用、给予镇吐和保护胃黏膜药物缓解症状。腹胀、腹痛也是 DS 术后常见的并发症,故应适当控制术后进食时间和进食种类,对于腹胀患者也可进行腹部按摩,服用胃黏膜保护剂和促胃肠动力药。对于术前便秘的患者,可予术前适当使用乳果糖,若术后出现便秘可服用缓泻剂或予以灌肠。

6.6 肢体功能锻炼 术后翻身时采用轴线翻身法,头肩部和腰腿保持一条线,保证脊柱不扭曲,整个身体同时同向翻动。

全身麻醉清醒后,建议在床上做踝泵运动,促进下肢静脉和淋巴回流。术后 1~3 d 进行四肢屈伸功能训练和股四头肌舒缩运动训练,并可摇高床头至 30°左右。根据手术方式和患者基本情况,术后 1~5 d 可佩戴支具后下床站立,在家属陪同下适当行走。站立前,为避免体位性低血压,建立在家人或护工的陪伴和保护下,先于床边端坐 5~10 min,如无不舒适再于床边站立 10 min; 如有头晕、心慌等不适症状,应立即平躺,休息后再重复上述活动。患者能自行站立后,可行全脊柱 X 线片检查,确认内固定位置及矫形效果。

6.7 出院康复指导 患者一般于术后 4~5 d 出院,每隔 2~3 d 换药,术后 2 周拆线。如果伤口出现红肿、渗血、开裂等情况需要及时就医。

结合手术操作和患者骨质情况,患者术后可佩戴支具后下地活动,建议支具佩戴时间为 6~12 周。术后 3 个月内避免扭腰、弯腰、后仰、盘腿等动作。术后 1 个月、3 个月、6 个月、1 年、2 年定期随访。对于老年骨质疏松 DS 患者,需特别注意循序渐进,同时进行持续的抗骨质疏松治疗。

7 小结

DS 常见于老年患者,手术风险高。所有医疗团队成员和家属应当在围手术期及时沟通、通力合作,提高对 ERAS 的认识,制定合理的优化措施,保障患者尽早康复。

[参考文献]

- [1] 孙浩林,越雷,王诗军,张蕾,宋琳琳,蔡思逸,等.腰椎后路长节段手术加速康复外科实施流程专家共识[J].中华骨与关节外科杂志,2019,12:572-583.
- [2] 丁琛,洪瑛,王贝宇,宁宁,陈佳丽,尹子文,等.颈椎前路手术加速康复外科实施流程专家共识[J].中华骨与关节外科杂志,2019,12:486-497.
- [3] WANG Y, HAI Y, LIU Y, GUAN L, LIU T. Risk factors for postoperative pulmonary complications in the treatment of non-degenerative scoliosis by posterior instrumentation and fusion[J]. *Eur Spine J*, 2019, 28: 1356-1362.
- [4] DING J Z, KONG C, SUN X Y, LU S B. Perioperative complications and risk factors in degenerative lumbar scoliosis surgery for patients older than 70 years of age[J]. *Clin Interv Aging*, 2019, 14: 2195-2203.
- [5] ADOGWA O, ELSAMADICY A A, FIALKOFF J, CHENG J, KARIKARI I O, BAGLEY C. Early ambulation decreases length of hospital stay, perioperative complications and improves functional outcomes in elderly patients undergoing surgery for correction of adult degenerative scoliosis[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2017, 42: 1420-1425.
- [6] BESS S, BOACHIE-ADJEI O, BURTON D, CUNNINGHAM M, SHAFFREY C, SHELOKOV A, et al; International Spine Study Group. Pain and disability determine treatment modality for older patients with adult scoliosis, while deformity guides treatment for younger patients[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2009, 34: 2186-2190.
- [7] BIRKNES J K, WHITE A P, ALBERT T J, SHAFFREY C I, HARROP J S. Adult degenerative scoliosis: a review[J]. *Neurosurgery*, 2008, 63(3 Suppl): 94-103.
- [8] PIERCE K E, KAPADIA B H, BORTZ C, BROWN A, ALAS H, NAESSIG S, et al. Operative fusion of patients with metabolic syndrome increases risk for perioperative complications[J]. *J Clin Neurosci*, 2020, 72: 142-145.
- [9] DIEBO B G, LAVIAN J D, MURRAY D P, LIU S, SHAH N V, BEYER G A, et al. The impact of comorbid mental health disorders on complications following adult spinal deformity surgery with minimum 2-year surveillance[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2018, 43: 1176-1183.
- [10] BOACHIE-ADJEI O, YAGI M, NEMANI V M, SACRAMENTO-DOMINGUEZ C, AKOTO H, CUNNINGHAM M E, et al. Incidence and risk factors for major surgical complications in patients with complex spinal deformity: a report from an SRS GOP site[J]. *Spine Deform*, 2015, 3: 57-64.
- [11] SLATTERY C, VERMA K. Classification in brief: SRS-Schwab classification of adult spinal deformity[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2018, 476: 1890-1894.
- [12] 朱泽章,邱勇.退变性脊柱侧凸矫形手术的若干思考[J].中华骨科杂志,2019,39:1229-1231.
- [13] BAO H, YAN P, QIU Y, LIU Z, ZHU F. Coronal imbalance in degenerative lumbar scoliosis: prevalence and influence on surgical decision-making for spinal osteotomy[J]. *Bone Joint J*, 2016, 98-B: 1227-1233.
- [14] WORLEY N, MARASCALCHI B, JALAI C M, YANG S, DIEBO B, VIRA S, et al. Predictors of inpatient morbidity and mortality in adult spinal deformity surgery[J]. *Eur Spine J*, 2016, 25: 819-827.
- [15] 孙天胜,沈建雄,刘忠军,李淳德,洪毅,孙常太,等.中国脊柱手术加速康复——围术期管理策略专家共识[J].中华骨与关节外科杂志,2017,10:271-279.
- [16] PARK J H, AHN Y, CHOI B S, CHOI K T, LEE K, KIM S H, et al. Antithrombotic effects of aspirin on 1- or 2-level lumbar spinal fusion surgery: a comparison between 2 groups discontinuing aspirin use before and after 7 days prior to surgery[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2013, 38: 1561-1565.
- [17] TENNE M, MCGUIGAN F, BESJAKOV J, GERDHEM P, ÅKESSON K. Degenerative changes at the lumbar spine—implications for bone mineral density measurement in elderly women[J]. *Osteoporos Int*, 2013, 24: 1419-1428.
- [18] SCHOENFELD A J, CAREY P A, CLEVELAND A W 3rd, BADER J O, BONO C M. Patient factors, comorbidities, and surgical characteristics that increase mortality and complication risk after spinal arthrodesis: a prognostic study based on 5,887 patients[J]. *Spine J*, 2013, 13: 1171-1179.
- [19] ADOGWA O, MARTIN J R, HUANG K, VERLA T, FATEMI P, THOMPSON P, et al. Preoperative serum albumin level as a predictor of postoperative complication after spine fusion[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2014, 39: 1513-1519.
- [20] ZOU D, JIANG S, ZHOU S, SUN Z, ZHONG W, DU G, et al. Prevalence of osteoporosis in patients undergoing lumbar fusion for lumbar degenerative diseases: a combination of DXA and Hounsfield units[J/OL]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2019, 45: E406-E410. doi: 10.1097/BRS.0000000000003284.
- [21] 中国健康促进基金会专家共识编写专家组.老年骨质疏松脊柱内固定术中国专家共识[J].中华医学杂志,2019,99:1138-1141.
- [22] FU J, YAO Z M, WANG Z, CUI G, NI M, LI X, et al. Surgical treatment of osteoporotic degenerative spinal deformity with expandable pedicle screw fixation: 2-year follow-up clinical study[J]. *Orthop Traumatol Surg Res*, 2018, 104: 411-415.
- [23] TANDON V, KALIDINDI K K V, PACHA S, BHAT M R. A prospective study on the feasibility, safety, and efficacy of a modified technique to augment the strength of pedicle screw in osteoporotic spine fixation[J/OL]. *Asian Spine J*, 2020. doi: 10.31616/asj.2019.0211.
- [24] LI M, WANG C F, GU S X, HE S S, ZHU X D, ZHAO Y C, et al. Adapted simplified Chinese (mainland) version of Scoliosis Research Society-22 questionnaire[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2009, 34: 1321-1324.
- [25] LOPEZ W Y, RIDER S M, NWOSU K, KAZARIAN E R, BLUCHER J A, SCHOENFELD E M, et al. The impact of vancomycin and cefazolin as standard preoperative antibiotic prophylaxis on surgical site infections following instrumented spinal fusion[J/OL]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2019, 44: E366-E371. doi: 10.1097/

- BRS.0000000000002839.
- [26] URQUHART J C, COLLINGS D, NUTT L, KUSKA L, GURR K R, SIDDIQI F, et al. The effect of prolonged postoperative antibiotic administration on the rate of infection in patients undergoing posterior spinal surgery requiring a closed-suction drain: a randomized controlled trial[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2019, 101: 1732-1740.
- [27] IYER S, SHEHA E, F U M C, VARGHESE J, CUNNINGHAM M E, ALBERT T J, et al. Sagittal spinal alignment in adult spinal deformity: an overview of current concepts and a critical analysis review[J/OL]. *JBJS Rev*, 2018, 6: e2. doi: 10.2106/JBJS.RVW.17.00117.
- [28] SILVA F E, LENKE L G. Adult degenerative scoliosis: evaluation and management[J/OL]. *Neurosurg Focus*, 2010, 28: E1. doi: 10.3171/2010.1.FOCUS09271.
- [29] BERJANO P, LAMARTINA C. Classification of degenerative segment disease in adults with deformity of the lumbar or thoracolumbar spine[J]. *Eur Spine J*, 2014, 23: 1815-1824.
- [30] VIEZENS L, SEHMISCH S, LEHMANN W, WEISER L. [Pedicule subtraction osteotomy to correct rigid deformities][J]. *Oper Orthop Traumatol*, 2019, 31: 301-310.
- [31] SHILLINGFORD J N, LARATTA J L, TAN L A, SARPONG N O, LIN J D, FISCHER C R, et al. The free-hand technique for S2-alar-iliac screw placement: a safe and effective method for sacropelvic fixation in adult spinal deformity[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2018, 100: 334-342.
- [32] RAMIERI A, MISCUSI M, DOMENICUCCI M, RACO A, COSTANZO G. Surgical management of coronal and sagittal imbalance of the spine without PSO: a multicentric cohort study on compensated adult degenerative deformities[J]. *Eur Spine J*, 2017, 26(Suppl 4): 442-449.
- [33] BAO H, HE S, LIU Z, ZHU Z, QIU Y, ZHU F. Will immediate postoperative imbalance improve in patients with thoracolumbar/lumbar degenerative kyphoscoliosis? A comparison between Smith-Petersen osteotomy and pedicle subtraction osteotomy with an average 4 years of follow-up[J/OL]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2015, 40: E293-E300. doi: 10.1097/BRS.0000000000000744.
- [34] SWAMY G, LOPATINA E, THOMAS K C, MARSHALL D A, JOHAL H S. The cost effectiveness of minimally invasive spine surgery in the treatment of adult degenerative scoliosis: a comparison of transpoas and open techniques[J]. *Spine J*, 2019, 19: 339-348.
- [35] PEIRO-GARCIA A, TELES A R, OJAGHI R, FERRI-DE-BARROS F. Pedicle screw instrumentation in scoliosis surgery: on site simulation data on accuracy and efficiency with different techniques[J/OL]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2019. doi: 10.1097/BRS.00000000000003358.
- [36] LI H M, ZHANG R J, SHEN C L. Accuracy of pedicle screw placement and clinical outcomes of robot-assisted technique versus conventional freehand technique in spine surgery from nine randomized controlled trials: a meta-analysis[J/OL]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2020, 45: E111-E119. doi: 10.1097/BRS.00000000000003193.
- [37] 翟晓,陈自强,杨明园,赵颖川,倪海键,朱晓东,等.国内首次机器人辅助椎弓根螺钉置入脊柱侧凸矫形手术(附14例报告)[J]. *第二军医大学学报*, 2015, 36: 1161-1166.
- ZHAI X, CHEN Z Q, YANG M Y, ZHAO Y C, NI H J, ZHU X D, et al. Robot-assisted pedicle screw insertion for scoliosis: first 14 cases in China[J]. *Acad J Sec Mil Med Univ*, 2015, 36: 1161-1166.
- [38] COLOMINA M J, KOO M, BASORA M, PIZONES J, MORA L, BAGÓ J. Intraoperative tranexamic acid use in major spine surgery in adults: a multicentre, randomized, placebo-controlled trial[J]. *Br J Anaesth*, 2017, 118: 380-390.
- [39] STRIKE S A, HASSANZADEH H, JAIN A, KEBASHI K M, NJOKU D B, BECKER D, et al. Intraoperative neuromonitoring in pediatric and adult spine deformity surgery[J/OL]. *Clin Spine Surg*, 2017, 30: E1174-E1181. doi: 10.1097/BSD.0000000000000388.
- [40] BUCHANAN I A, LIN M, DONOHO D A, DING L, GIANNOTTA S L, ATTENELLO F, et al. Venous thromboembolism after degenerative spine surgery: a nationwide readmissions database analysis[J/OL]. *World Neurosurg*, 2019, 125: e165-e174. doi: 10.1016/j.wneu.2019.01.029.
- [41] KIM H J, IYER S, DIEBO B G, KELLY M P, SCIUBBA D, SCHWAB F, et al. Clinically significant thromboembolic disease in adult spinal deformity surgery: incidence and risk factors in 737 patients[J]. *Global Spine J*, 2018, 8: 224-230.
- [42] MCLYNN R P, DIAZ-COLLADO P J, OTTESEN T D, ONDECK N T, CUI J J, BOVONRATWET P, et al. Risk factors and pharmacologic prophylaxis for venous thromboembolism in elective spine surgery[J]. *Spine J*, 2018, 18: 970-978.
- [43] LI L, LI Z, HUO Y, YANG D, DING W, YANG S. Time-to-event analyses of lower-limb venous thromboembolism in aged patients undergoing lumbar spine surgery: a retrospective study of 1 620 patients[J]. *Aging (Albany NY)*, 2019, 11: 8701-8709.
- [44] PARK J H, LEE K E, YU Y M, PARK Y H, CHOI S A. Incidence and risk factors for venous thromboembolism after spine surgery in Korean patients[J/OL]. *World Neurosurg*, 2019, 128: e289-e307. doi: 10.1016/j.wneu.2019.04.140.
- [45] STROM R G, FREMPONG-BOADU A K. Low-molecular-weight heparin prophylaxis 24 to 36 hours after degenerative spine surgery: risk of hemorrhage and venous thromboembolism[J/OL]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2013, 38: E1498-E1502. doi: 10.1097/BRS.0b013e3182a4408d.
- [46] WU X, SUN W, TAN M. Incidence and risk factors for postoperative delirium in patients undergoing spine surgery: a systematic review and meta-analysis[J/OL]. *Biomed Res Int*, 2019, 2019: 2139834. doi: 10.1155/2019/2139834.