

临床论著

术前应用 Surgimap Spine 辅助设计截骨矫形治疗
强直性脊柱炎胸腰椎后凸畸形的临床疗效

张 博, 杨 光, 吕东波, 曹 臣, 张敬乙, 高延征

(河南大学人民医院 河南省人民医院脊柱脊髓外科 451100 郑州市)

【摘要】目的:分析术前应用数字化智能软件 Surgimap Spine 辅助设计截骨矫形治疗强直性脊柱炎(ankylosing spondylitis, AS)胸腰椎后凸畸形的临床疗效。**方法:**回顾性分析 2019 年 1 月~2021 年 4 月于河南省人民医院脊柱脊髓外科行截骨矫形治疗 AS 胸腰椎后凸畸形患者的临床资料,男 15 例,女 1 例;年龄 19~46 岁(32.7±8.1 岁)。术前将脊柱全长侧位 X 线片导入 Surgimap Spine 软件,测量骨盆参数、颌眉角(chin-brow vertical angle, CBVA)和矢状面平衡距离(sagittal vertical axis, SVA)等矢状位参数;旋转骨盆倾斜角(pelvic tilt, PT)达到理想数值;连接 C7 椎体中心与 S1 后上角连线,沿拟定截骨椎前方皮质中心将 C7 中心旋转至骶骨正上方,旋转角度 α 即为预测 SVA=0mm 时截骨角度;应用截骨工具模拟 SVA=50mm 时截骨角度 β ;再应用截骨工具分别模拟 CBVA=10°和 20°时所需截骨角度 γ 、 δ ,颈椎受累者 $\delta \leq \text{截骨角度} \lambda \leq \gamma$ 且满足 $\beta \leq \text{截骨角度} \lambda \leq \alpha$;颈椎未受累者 $\beta \leq \text{截骨角度} \lambda \leq \alpha$ 。根据设定截骨角度范围,指导术中截骨。术前、术后 2 周及末次随访时拍摄脊柱全长 X 线正侧位片,测量并比较 CBVA、脊柱整体后凸角(global kyphosis, GK)、胸椎后凸角(thoracic kyphosis, TK)、胸腰椎后凸角(thoracolumbar kyphosis, TLK)、腰椎前凸角(lumbar lordosis, LL)、PT、骨盆入射角(pelvic incidence, PI)、骶骨倾斜角(sacral slope, SS)、骨盆入射角(PI)与腰椎前凸角(LL)之差(PI-LL)、SVA 等参数,采用 SRS-22 评分(Scoliosis Research Society-22 questionnaire)和 Oswestry 功能障碍指数(Oswestry disability index, ODI)评估临床疗效,同时记录手术相关并发症情况。**结果:**患者手术均顺利完成,5 例患者合并颈椎强直,其中 3 例无法同时满足 SVA 和 CBVA 需求,根据术者经验进行权衡。手术时间 350~490min(420±38.9min),术中出血量 900~1900ml(1366.5±337.3ml)。术后随访 6~24 个月,平均 12.6±5.6 个月。手术前、术后 2 周及末次随访时的 CBVA 分别为 33.1°±13.1°、8.2°±3.8°、10.5°±4.2°;GK 分别为 68.5°±28.4°、35.4°±12.0°、36.1°±10.6°;TK 分别为 51.3°±17.3°、35.9°±9.9°、35.7°±8.7°;TLK 分别为 31.5°±16.1°、15.2°±7.4°、14.5°±7.2°;LL 分别为 -2.3°±20.8°、-39.7°±12.9°、-37.8°±8.9°;PT 分别为 36.5°±11.5°、23.2°±9.1°、25.4°±7.9°;SS 分别为 13.2°±8.8°、25.2°±8.5°、26.2°±8.7°;PI-LL 分别为 37.3°±15.6°、8.3°±8.7°、10.5°±9.5°;SVA 分别为 175.3±47.4mm、38.2±10.2mm、44.2±11.3mm。术后 2 周及末次随访时与手术前比较均有显著性改善,差异有统计学意义($P<0.05$)。术前、术后 2 周及末次随访时的 PI 值为 48.2°±13.3°、48.0°±12.7°、48.1°±12.3°,无显著性改变($P>0.05$)。末次随访时的 ODI 和 SRS-22 与术前比较均有显著性改善($P<0.05$)。术后水平视线及生活能力均明显改善,末次随访时未见内固定松动、移位及断裂,植骨融合充分。**结论:**术前应用数字化智能软件 Surgimap Spine 辅助设计截骨治疗 AS 胸腰椎后凸畸形可行,临床疗效满意。

【关键词】强直性脊柱炎;胸腰椎后凸畸形;截骨矫形设计;Surgimap Spine 软件;疗效

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2022.04.02

中图分类号:R682.1, R593.23 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2022)-04-0297-08

Clinical effect of preoperative orthopedic design by Surgimap Spine in the treatment of thoracolumbar kyphosis in ankylosing spondylitis/ZHANG Bo, YANG Guang, LÜ Dongbo, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2022, 32(4): 297-304

【Abstract】 Objectives: To analyze the clinical effect of preoperative osteotomy and orthopedic design by using Surgimap Spine software in the treatment of thoracolumbar kyphosis in ankylosing spondylitis (AS).

基金项目:河南省科技厅省部共建项目(SB201901085)

第一作者简介:男(1994-),在读硕士研究生,研究方向:脊柱脊髓外科

电话:(0371)65580715 E-mail:zhangbo19940810@126.com

通讯作者:高延征 E-mail:yanzhenggaohn@163.com

Methods: The patients who underwent osteotomy and orthopedic correction for AS thoracolumbar kyphosis at the Department of Spine and Spinal Cord Surgery, Henan Provincial People's Hospital, from January 2019 to April 2021, were retrospectively analyzed, which included 15 males and 1 female, aged 19–46 years(32.7 ± 8.1 years). Before operation, a full-length spine lateral radiograph was imported to the Surgimap software, and sagittal parameters such as pelvic parameters, chin-brow vertical angle(CBVA), and sagittal vertical axis(SVA) were measured; the pelvic tilt(PT) angle was revolved to ideal values; the line between the center of the C7 vertebra and the posterosuperior corner of S1 was connected, the center of C7 was rotated to just above the sacrum along the center of the cortex in front of the proposed osteotomy vertebra, and the angle of rotation α was calculated as the angle of osteotomy in prediction of SVA=0mm; The angle (β) at SVA=50mm was simulated using osteotomy tool. The osteotomy tool was then applied to simulate the angles(γ , δ) needed at CBVA=10° and 20°, respectively. Patients with cervical ankylosis $\delta \leq \text{osteotomy angle } \lambda \leq \gamma$ and $\beta \leq \text{osteotomy angle } \lambda \leq \alpha$; Patients without ankylosis of the cervical spine, $\beta \leq \text{osteotomy angle } \lambda \leq \alpha$. Intraoperative osteotomies were guided according to the set range of osteotomy angles. Anteroposterior and lateral radiographs of the entire spine were performed preoperatively, 2 weeks postoperatively, and at final follow-up, and CBVA, global kyphosis(GK), thoracic kyphosis(TK), thoracolumbar kyphosis(TLK), lumbar lordosis(LL), PT, pelvic incidence(PI), sacral slope(SS), the value of PI-LL, SVA and other parameters were measured and compared. Scoliosis Research Society-22 (SRS-22) questionnaire score and Oswestry disability index(ODI) were used to evaluate the clinical efficacy, and the surgical related complications were recorded.

Results: The procedures were uneventful in all patients, and 5 patients were combined with cervical ankylosis, 3 of whom could not meet both SVA and CBVA needs, which were weighed according to the surgeon's experience. The operative time was 350–490min (420 ± 38.9 min) and intraoperative blood loss was 900–1900ml (1366.5 ± 337.3 ml). Postoperative follow-up ranged from 6 to 24 months with a mean of 12.6 ± 5.6 months. Before surgery, 2 weeks after surgery, and at final follow-up, CBVA was $33.1^\circ\pm 13.1^\circ$, $8.2^\circ\pm 3.8^\circ$, and $10.5^\circ\pm 4.2^\circ$; GK was $68.5^\circ\pm 28.4^\circ$, $35.4^\circ\pm 12.0^\circ$, and $36.1^\circ\pm 10.6^\circ$; TK was $51.3^\circ\pm 17.3^\circ$, $35.9^\circ\pm 9.9^\circ$, $35.7^\circ\pm 8.7^\circ$; TLK was $31.5^\circ\pm 16.1^\circ$, $15.2^\circ\pm 7.4^\circ$, $14.5^\circ\pm 7.2^\circ$; LL was $-2.3^\circ\pm 20.8^\circ$, $-39.7^\circ\pm 12.9^\circ$, and $-37.8^\circ\pm 8.9^\circ$, respectively; PT was $36.5^\circ\pm 11.5^\circ$, $23.2^\circ\pm 9.1^\circ$, and $25.4^\circ\pm 7.9^\circ$; SS was $13.2^\circ\pm 8.8^\circ$, $25.2^\circ\pm 8.5^\circ$, and $26.2^\circ\pm 8.7^\circ$; PI-LL was $37.3^\circ\pm 15.6^\circ$, $8.3^\circ\pm 8.7^\circ$, and $10.5^\circ\pm 9.5^\circ$; SVA was 175.3 ± 47.4 mm, 38.2 ± 10.2 mm, and 44.2 ± 11.3 mm, respectively. Significant improvements of the above parameters were observed at 2 weeks postoperatively and at final follow-up compared with those before surgery ($P<0.05$). The PI was $48.2^\circ\pm 13.3^\circ$, $48.0^\circ\pm 12.7^\circ$, and $48.1^\circ\pm 12.3^\circ$ preoperatively, 2 weeks postoperatively, and at final follow-up, respectively, with no significant changes($P<0.05$). Both ODI and SRS-22 at final follow-up were significantly improved compared with their preoperative values($P<0.05$). The horizontal gaze and living ability were improved significantly after the operation, and no internal fixation loosening, displacement or fracture were observed at final follow-up, and the bone graft fusion was sufficient. **Conclusions:** It is feasible to apply digital intelligent software-Surgimap Spine to assist designing osteotomy before operation for the treatment of thoracolumbar kyphosis in AS, and the clinical outcomes can be satisfactory.

【Key words】 Ankylosing spondylitis; Thoracolumbar kyphosis; Osteotomy and othopedic design; Surgimap Spine; Curative effect

【Author's address】 Henan University People's Hospital, Department of Spine and Spinal Cord Surgery, Henan Provincial People's Hospital, Zhengzhou, 450003, China

强直性脊柱炎(ankylosing spondylitis, AS)是一种慢性炎症性自身免疫性疾病,我国发病率约为 0.3%^[1]。该病以侵犯中轴脊柱关节形成骺关节炎和附着点炎为主要特征,最终会引起脊柱及外周关节的骨化强直,脊柱病理性异位成骨是 AS 致残的重要原因,通常与脊柱畸形、心肺功能障碍

等密切相关,严重影响患者生理功能、生活质量、心理健康和工作能力^[2]。近年来,通过手术截骨矫形恢复脊柱序列、重建矢状位平衡、改善颌肩角等进一步提高了 AS 后凸畸形患者的生活质量^[3]。然而,脊柱截骨矫形手术难度较大,神经损伤风险高,单纯经验性截骨往往不能获得精准的矫形效

果,可能导致矫形不足或过度矫正。同时截骨角度以及截骨节段的选择也至关重要,将直接影响术后矫形效果。设计合理的手术方案是降低相应手术并发症、获得预期矫形效果的必要前提。计算机辅助外科手术基于数字化系统对影像学信息进行处理,通过计算机辅助图像数据代替外科手术医生进行手术方案的三维构思,并能合理、精准、个体化制定手术方案^[4]。本研究采用 Surgimap Spine 软件对 AS 胸腰椎后凸畸形患者术前脊柱全长正侧位 X 线片主要参数进行测量,根据 Schwab 等^[5]提出的成人脊柱畸形理想矢状面标准和宋凯等^[6]提出的颌眉角(chin-brow vertical angle, CBVA)最优选择,模拟矫形效果,设计截骨方案,指导术中精准截骨,探索其临床疗效。

1 资料与方法

1.1 一般资料

回顾性分析 2019 年 1 月~2021 年 4 月就诊于河南省人民医院脊柱脊髓外科的 AS 胸腰椎后凸畸形患者的资料,术前均拍摄自然站立位外观大体照片,术前、术后 2 周及末次随访时均拍摄脊柱全长正侧位 X 线片,部分患者拍摄 CT 以及 MRI 检查。术前采用 Surgimap Spine (简称 Surgimap) 软件进行矫形规划。为减少操作误差,由同一组医师规划数据以及完成所有手术操作。

纳入标准:(1)根据 AS 纽约诊断标准,诊断为 AS;(2)合并胸腰椎后凸畸形并接受手术治疗;(3)髋关节无强直且关节活动度良好;(4)身体情况能耐受手术治疗。排除标准:(1)不符合 AS 后凸畸形诊断标准;(2)有神经系统症状者;(3)髋关节、膝关节活动明显受限的患者;(4)合并颈胸段后凸畸形;(5)合并有严重的心肺功能障碍不能耐受手术者;(6)影像或临床资料不完整。

共有 16 例患者纳入本研究,其中男 15 例,女性 1 例;年龄 19~46 岁(32.7 ± 8.1 岁)。依据 301 分型^[7],其中 I 型 3 例,II A 型 3 例,II B 型 2 例,III A 型 5 例,III B 型 3 例。患者均伴有不同程度的腰背部疼痛,胸腰椎后凸畸形,双目不能平视。均为住院患者,且影像学资料完整。

1.2 手术方法

1.2.1 术前矫形设计 根据 Schwab 等^[5]提出的成人脊柱畸形理想矢状面标准:PT<20°,矢状面平衡距离(sagittal vertical axis, SVA)<50mm,

-10°<骨盆入射角(pelvic incidence, PI)-腰椎前凸角(lumbar lordosis, LL)<10°,由于 AS 患者伴随有不同程度的后凸畸形,腰椎前凸消失,胸椎后凸增大,通常 PI-LL 数值并不能达到理想标准,我们将脊柱-骨盆矢状位序列满足:PT<20°,SVA<50mm;颈椎受累者 10°~20°的 CBVA 患者视野相关活动功能及满意度最高^[8];颈椎未受累的 AS 患者满足矢状面需求即可。以 L3 椎体作为腰椎前凸顶点,腰椎前凸存在时选择在 L2 椎体行单节段经椎弓根椎体截骨(pedicle subtraction osteotomy, PSO);腰椎前凸不存在时可选在 L3 椎体行 PSO。双节段截骨通常选择在 T11、T12、L1、L2 及 L3 椎体^[7]。考虑到不同截骨节段的矫形效力及安全性,当不能同时达到矢状面和 CBVA 最优重建时,根据术者经验,在二者之间取得一个较好的平衡点。

1.2.2 Surgimap 截骨设计 ①将图片导入 Surgimap 软件并依次测量出骨盆参数、CBVA、SVA 等参数;②旋转 PT 值达到理想数值 tPT=0.37×PI-7^[8];③依次连接 C7 椎体中心与 S1 后上角连线构造 SVA,沿拟定截骨椎前方皮质中心将 C7 中心旋转至骶骨正上方,旋转角度 α 即为预测 SVA=0mm 时截骨角度;④应用截骨工具模拟 SVA=50mm 时截骨角度 β ;⑤重新回到“②”再应用截骨工具分别模拟 CBVA=10°和 20°时所需截骨角度 γ 、 δ ,根据个体化 CBVA 需求设定截骨范围。颈椎受累: $\delta \leq$ 截骨角度 $\lambda \leq \gamma$ 且满足 $\beta \leq$ 截骨角度 $\lambda \leq \alpha$;颈椎未受累:满足 $\beta \leq$ 截骨角度 $\lambda \leq \alpha$ 。通常单节段 PSO 可以提供 30°~45°截骨安全范围,若单节段 PSO 不能满足个体需求时先确定一个椎体截骨角度后,选择另一椎体再应用该方法模拟截骨。

1.2.3 手术步骤 术中采用导航可视化超声骨刀对截骨椎体进行楔形截骨。患者取俯卧位,全身麻醉,根据脊柱后凸严重程度调整手术床或放置软垫至拱桥状。消毒铺巾,以截骨椎体为中心取后正中切口,逐层切开,充分剥离椎旁肌肉及软组织,暴露脊柱节段、椎板以及双侧关节突。安装导航参考架并注册导航系统,使用“O 型”臂 X 线机扫描包括截骨椎体在内的上方 4 个节段,下方 3 个节段,并于导航引导下分别置入椎弓根螺钉,必要时置入水泥钉强化来增加把持力,避免闭合截骨面时出现螺钉松动甚至截骨椎体滑移等情况。切除

截骨椎体以及相邻椎体的棘突和部分椎板,充分暴露双侧椎弓根并切除,超声骨刀注册导航系统,使其模拟可视于显示器,依照术前截骨规划对截骨椎体行 PSO 截骨,依次缓慢加压截骨处间隙直至截骨面闭合。整个手术过程密切关注神经电生理监测,如有异常波幅立即停止加压并明确是否存在神经损伤。术中行 C 型臂 X 线透视,观察椎弓根螺钉位置情况以及截骨椎体闭合情况,同时验证矫形效果。探查闭合间隙椎管及神经根无明显压迫后,充分冲洗伤口,确切止血,自体骨植骨,放置引流并逐层关闭切口。

1.3 术后处理

术后密切关注生命体征、感觉以及神经功能情况,常规给予抗生素预防感染,定期复查血常规、C 反应蛋白(CRP)、血沉(ESR)、肝肾功能等指标,引流量<50ml/24h 夹闭引流管,无明显渗出后拔除引流管,术后 1 周在支具辅助下下床活动进行康复训练,术后 2 周复查脊柱全长正侧位 X 线片,必要时行 CT、MRI,并叮嘱患者定期复查。

1.4 观察指标

记录手术时间、术中出血量,术中精确截骨角度,手术相关并发症情况。术前及末次随访时采用 Oswestry 功能障碍指数(Oswestry disability index,ODI)及脊柱侧凸研究学会 22 项问卷表(SRS-22)评分评估临床疗效。同时测量术前、术后 2 周及末次随访时的矢状位参数:(1)CBVA,自然站立位眉弓与下颌的连线与铅垂线之间的夹角;(2)脊柱整体后凸角(global kyphosis,GK),T1 上终板与 S1 上终板之间夹角;(3)胸椎后凸角(thoracic kyphosis,TK),T5 上终板与 T12 下终板之间的夹角;(4)胸腰段后凸角(thoracolumbar kyphosis,TLK),T10 上终板与 L2 下终板之间夹角;(5)LL,T12 上终板与 S1 上终板之间的夹角;(6)SVA,C7 铅垂线与 S1 后上角之间的垂直距离;(7)PI,髋轴中心与 S1 上终板中心连线与 S1 上终板垂线的夹角;(8)PT,髋轴中心与 S1 上终板中心连线与矢状垂线的夹角;(9)骶骨倾斜角(sacral slope,SS),S1 上终板与水平线的夹角;(10)PI 与 LL 之差(PI-LL)。通过脊柱全长 X 线片及截骨区域 CT 平扫,观察骨愈合情况。

1.5 统计学分析

应用过 SPSS 22.0 进行统计学分析,符合正态分布的计量资料采用均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,

手术前后相关参数测量值采用方差分析;不符合正态分布的数据以中位数及范围表示,行 Wilcoxon 非参数秩和检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

16 例患者的性别、年龄、截骨部位、固定节段手术时间和术中出血量见表 1。5 例合并颈椎强直,其中 3 例患者无法同时满足 SVA 和 CBVA 需求,术者经验性“丢失”部分 SVA 以“满足”CBVA 需求,术后 CBVA 以及 SVA 得到有效权衡(表 2)。其余患者术后 2 周及末次随访时 SVA 均达标理想数值 $SVA < 50\text{mm}$,CBVA 均能满足患者日常工作需求。末次随访时未见内固定松动、移位及断裂,植骨融合充分。

2.1 临床疗效评价

随访 6~24 个月(12.6 ± 5.6 个月),术前及末次随访时 ODI 和 SRS-22 评分见表 3、4。末次随访时 ODI 的行走、坐、站立及总分均有明显改善,与术前比较差异均有统计学意义($P < 0.05$);SRS-22 评分的功能活动评分、疼痛评分、自我形象评分以及心理健康评分均较术前有明显提高,差异有统计学意义($P < 0.05$)。

表 1 16 例患者基本情况

Table 1 Basic information of patients

患者编号 Patient number	性别 Gender	年龄(岁) Age (years)	截骨节段 Osteotomy segment	固定节段(个) Fixed segment	手术时间(min) Operative time	术中出血量(ml) Blood loss
1	男 M	19	T12	7	355	900
2	男 M	29	L1	7	395	1250
3	男 M	34	L2	7	350	1005
4	男 M	21	L3	7	385	900
5	男 M	43	L3	7	400	925
6	女 F	36	T11-T12	7	405	1035
7	男 M	28	T11+L2	8	425	1450
8	男 M	28	T11+L2	9	490	1900
9	男 M	37	T12+L3	8	420	1500
10	男 M	46	T12+L3	9	440	1800
11	男 M	39	T12+L3	8	480	1700
12	男 M	28	L1+L3	8	435	1600
13	男 M	39	L1+L3	8	460	1500
14	男 M	43	L1+L3	8	440	1200
15	男 M	25	L1+L3	8	425	1550
16	男 M	28	L1+L3	8	415	1650

表 2 16 例患者的截骨规划和实际截骨角度
Table 2 Osteotomy planning and actual osteotomy angle

患者编号 Patient number	颈椎强直 Cervical ankylosis	$\alpha(^{\circ})$	$\beta(^{\circ})$	$\gamma(^{\circ})$	$\delta(^{\circ})$	规划截骨范围 ($^{\circ}$) Planning range	$\lambda(^{\circ})$
1	否 No	≤ 47.0	≥ 34.7	—	—	34.7~47.0	39
2	否 No	≤ 46.2	≥ 32.4	—	—	32.4~46.2	35
3	否 No	≤ 42.1	≥ 29.4	—	—	29.4~42.1	39
4	否 No	≤ 43.5	≥ 31.0	—	—	31.0~43.5	40
5	否 No	≤ 46.3	≥ 35.0	—	—	35.0~46.3	37
6	是 Yes	≤ 44.6	≥ 32.6	≤ 35.0	≥ 25.0	32.6~35.0	35
7	是 Yes	≤ 72.8	≥ 58.6	≤ 66.5	≥ 56.5	58.6~66.5	65
8	否 No	≤ 97.3	≥ 72.8	—	—	72.8~97.3	75
9	否 No	≤ 85.3	≥ 69.2	—	—	69.2~82.3	72
10	否 No	≤ 78.5	≥ 62.0	—	—	53.0~72.5	70
11	否 No	≤ 82.6	≥ 70.1	—	—	70.1~82.6	75
12	是 Yes	≤ 79.7	≥ 67.0	≤ 55.5	≥ 45.5	45.5~55.5	55
13	否 No	≤ 80.4	≥ 63.0	—	—	63.0~80.4	75
14	是 Yes	≤ 82.0	≥ 65.6	≤ 58.9	≥ 45.9	45.9~58.9	55
15	否 No	≤ 78.8	≥ 60.0	—	—	60.0~78.8	72
16	是 Yes	≤ 82.8	≥ 64.0	≤ 51.0	≥ 41.0	41.0~51.0	50

注: α , 预测 SVA=0mm 时截骨角度; β , 模拟 SVA=50mm 时截骨角度; γ , 模拟 CBVA=10° 时截骨角度; δ , 模拟 CBVA=20° 时所需截骨角度; λ , 术中实际截骨角度

Note: α , the osteotomy angle in prediction when SVA=0mm; β , the osteotomy angle in simulation when SVA=50mm; γ , the osteotomy angle in simulation when CBVA=10°; δ , the osteotomy angle in simulation when CBVA=20°; λ , the actual osteotomy angle during operation

表 3 术前及末次随访时 Oswestry 功能障碍指数
($n=16, \bar{x} \pm s$)

Tbale 3 Comparison of Oswestry disability index before operation and at final follow-up

	术前 Preoperation	末次随访 Final follow-up	P值 P value
行走 Walking	2.52±0.72	1.55±0.77	0.001
坐 Sitting	2.16±0.78	0.95±0.45	<0.001
站立 Standing	2.82±0.76	1.57±0.82	0.001
总分 Total score	36.52±2.71	19.2±2.42	<0.001

2.2 影像学指标

术前、术后 2 周及末次随访时的影像学参数见表 5。术后 2 周及末次随访时的 PI 值与术前比较均无明显改变, 差异无统计学意义 ($P>0.05$)。术后 2 周及末次随访时的 CBVA、GK、TK、TLK、LL、PT、SS、PI-LL、SVA 均有明显改善, 差异有统计学意义 ($P<0.05$), 末次随访时 GK 与术后 2 周相对比差异有统计学意义 ($P<0.05$), 其余指标术后 2 周与末次随访时比较差异无统计学意义 ($P>0.05$), 说明患者矫形术后脊柱序列得到明显修复。术后 2 周及末次随访时 SVA 分别为 $38.2 \pm$

表 4 术前及末次随访时脊柱侧凸研究学会-22 评分
($n=16, \bar{x} \pm s$)

Tbale 4 Scoliosis Research Society-22 score before operation and at final follow-up

	术前 Preoperation	末次随访 Final follow-up	P值 P value
功能活动 Functional activities	2.7±0.6	4.1±0.4	0.000
疼痛 Pain	2.8±0.4	4.0±0.3	0.000
自我形象 Self image	1.4±0.4	4.5±0.2	0.000
心理健康 Mental health	2.2±0.5	4.3±0.4	0.000
满意度 Satisfaction	—	4.7±0.3	—

10.2mm、 44.2 ± 11.3 mm 均满足矢状位平衡需求。5 例颈椎强直患者术后 2 周及末次随访时 CBVA 也均在 10°~20° 范围内, 患者术后恢复了良好的活动视野以及最优的满意度。

2.3 并发症

2 例 (11.1%) 患者术中出现脑脊液漏, 给予硬膜缝合修补, 并适当延长切口引流时间。2 例 (11.1%) 患者在术中截骨间隙闭合过程中出现矢

表 5 手术前后影像学观测指标比较 ($n=16, \bar{x} \pm s$)
Table 5 The comparison of imaging indices before and after operation

	术前 Preoperation	术后 2 周 2 weeks post-op	末次随访 Final follow-up
CBVA(°)	33.1±13.1	8.2±3.8 ^①	10.5±4.2 ^①
GK(°)	68.5±28.4	35.4±12.0 ^①	36.1±10.6 ^{①②}
TK(°)	51.3±17.3	35.9±9.9 ^①	35.7±8.7 ^①
TLK(°)	31.5±16.1	15.2±7.4 ^①	14.5±7.2 ^①
LL(°)	-2.3±20.8	-39.7±12.9 ^①	-37.8±8.9 ^①
PT(°)	36.5±11.5	23.2±9.1 ^①	25.4±7.9 ^①
PI(°)	48.2±13.3	48.0±12.7	48.1±12.3
SS(°)	13.2±8.8	25.2±8.5 ^①	26.2±8.7 ^①
PI-LL(°)	37.3±15.6	8.3±8.7 ^①	10.5±9.5 ^①
SVA(mm)	175.3±47.4	38.2±10.2 ^①	44.2±11.5 ^①

注:①与术前比较 $P<0.05$;②与术后 2 周比较 $P<0.05$;后凸角度为正值,前凸角度为负值

Note: ①Compared with preoperation, $P<0.05$; ②Compared with 2 weeks post-op, $P<0.05$; The kyphosis angle is positive and the lordosis angle is negative

状面移位,手术区域神经组织探查未见脊髓及神经根明显损伤。3 例(18.8%)术后诉腹肌紧张疼痛但无明显张力性水泡,约 2 周后紧张感逐渐消失;1 例(6.3%)术后出现切口愈合不良,给予局部清创缝合后伤口愈合满意。随访期间未发生内固定失败、断棒或假关节形成,末次随访 X 线、CT 显示截骨端植骨融合充分,且未发生明显畸形丢失(图 1)。

3 讨论

AS 后凸畸形患者后凸畸形的严重程度以及颈椎、髋关节受累情况各异,经验性的截骨矫形或准备不充分都将导致矫形的失败,甚至带来严重的并发症,例如假关节形成及断棒等。Smith 等^[9]的研究发现有 8.6% 的成人脊柱畸形矫形术后出现内固定断裂,融合不充分的情况,并且在行 PSO 手术的患者中约 15.6% 的患者同样出现了断棒现象,分析原因主要是因为矢状面力线恢复不良导致。因此必须给予个性化的术前设计以求达到个体满意度并降低手术并发症的发生。Surgimap 通过数字化系统对影像学信息进行处理,通过计算机辅助图像数据代替医生进行手术方案的三维构思,能合理、精准、个体化制定手术方案。

在不考虑骨盆旋转代偿影响下,脊柱截骨矫形对水平凝视矫正的影响主要通过 CBVA 测量,

与截骨术水平无关。目前公认的颈椎受累的 AS 患者获得 10°~20° 的 CBVA 可以获得最高的室内外活动满意度。Song 等^[10]针对 25 例合并颈椎强直的 AS 患者根据矫形术后颌眉角差异进行分组,最终获得 10°~20° CBVA 的患者视野相关活动功能及满意度最高;梁鹏展等^[11]也对 32 例患者进行截骨矫形,提出 CBVA 有助于指导 AS 伴胸腰椎后凸畸形的截骨角度的确定。然而不同的生活方式、职业的差异以及个体化审美差异,会导致患者对于 CBVA 的需求不同。在本研究中 1 例合并颈椎受累的 AS 青年女性患者,对于水平视线以及头面部形象要求极高,我们将该患者 CBVA 设定为 0°~10°,尽管术后随访该患者下楼活动以及低头寻物方面存在一定的限制,但是患者对于外在形象的恢复非常满意,达到了预期效果。对于颈椎未受累的患者,因为颈椎本身的屈伸活动范围未受影响,则需着重将矢状面平衡恢复至满意,也可获得显著的临床疗效。

脊柱截骨术对脊柱矢状面平衡的影响同时取决于截骨角度和截骨节段。当在尽可能低的腰椎水平进行干预时,矢状面平衡的校正是最大的。对于合并颈椎强直的 AS 后凸畸形的患者,矢状位平衡并不能完全以 SVA<50mm 作为矫形成功标准。在不考虑骨盆旋转代偿的前提下,术后 SVA 的变化不仅与截骨角度有关,也和截骨节段的选择有着密切的关系。然而 CBVA 的改变只与截骨角度大小有关,相同的截骨角度,近端节段较远端节段能够获得更大的矢状面平衡矫形,而 CBVA 的改变等于截骨角度^[6]。同时 Song 等^[12]提出以髂轴-骶骨棘-肺门作为术后矫形的标准,然而虽然在大体上这种截骨矫形的方案很适用,但对于颈椎受累合并假关节的患者,选择在特定平面进行截骨,调整骨盆中立位所需的截骨角度,并不能满足 CBVA 要求,这样会使患者呈现“仰天”状态。视角的功能恢复是 AS 患者手术干预的最重要的原因。因此要达到合适的 CBVA 只能以牺牲部分 SVA 作为弥补。

在选择最佳截骨水平时,采用的标准就是矢状轴达到最大的矫正、最低的神经功能损伤风险和最靠近畸形顶点的位置。单节段 PSO 是目前治疗 AS 后凸畸形的主要术式,单个椎体推荐截骨角度约 30°~45° 为安全范围,大于 45° 的截骨易发生椎体错位以及脊髓损伤等神经功能损害^[13]。Kim

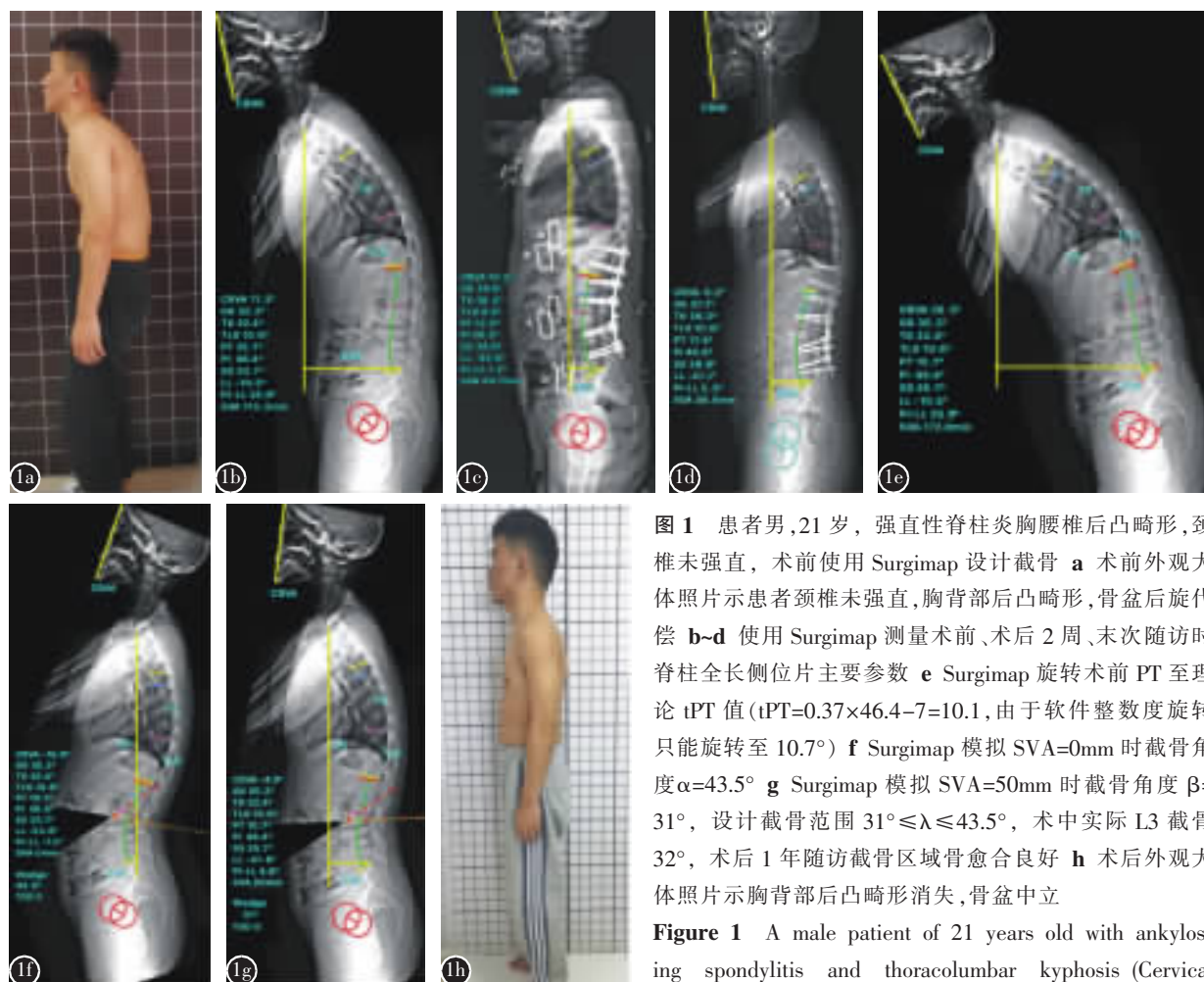


图1 患者男,21岁,强直性脊柱炎胸腰椎后凸畸形,颈椎未强直,术前使用 Surgimap 设计截骨 a 术前外观大体照片示患者颈椎未强直,胸背部后凸畸形,骨盆后旋代偿 b~d 使用 Surgimap 测量术前、术后2周、末次随访时脊柱全长侧位片主要参数 e Surgimap 旋转术前 PT 至理论 tPT 值($tPT=0.37 \times 46.4 - 7 = 10.1$,由于软件整数度旋转只能旋转至 10.7°) f Surgimap 模拟 SVA=0mm 时截骨角度 $\alpha=43.5^\circ$ g Surgimap 模拟 SVA=50mm 时截骨角度 $\beta=31^\circ$,设计截骨范围 $31^\circ \leq \lambda \leq 43.5^\circ$,术中实际 L3 截骨 32° ,术后1年随访截骨区域骨愈合良好 h 术后外观大体照片示胸背部后凸畸形消失,骨盆中立

Figure 1 A male patient of 21 years old with ankylosing spondylitis and thoracolumbar kyphosis (Cervical spine activity). Preoperative osteotomy design using

Surgimap a Gross preoperative appearance showing active cervical spine, thoracic and lumbar spine kyphosis, and compensatory pelvic posterior rotation b~d The main parameters were measured on full-length lateral films of spine by Surgimap before operation, 2 weeks after operation and at final follow-up e The preoperative PT was rotated with Surgimap to the theoretical tPT value ($tPT=0.37 \times 46.4 - 7 = 10.1$, limited to 10.7° due to the software's integer rotation) f Surgimap simulated SVA=0mm, the osteotomy angle $\alpha=43.5^\circ$ g Surgimap simulated SVA=50mm, the osteotomy angle $\beta=31^\circ$. Therefore, the osteotomy range was $31^\circ \leq \lambda \leq 43.5^\circ$. During the operation, the actual L3 osteotomy was 32° , and the osteotomy area healed well after 1 year of follow-up h Gross appearance postoperatively, kyphosis of chest and back was absent and pelvis was neutral

等^[14]报道了单个节段 PSO 治疗 AS 后凸畸形平均取得 36.2° 矫形;Wang 等^[15]报道了通过改良的 PSO 治疗 AS 后凸畸形,单节段行 PSO 可以获得 45° 截骨角度,并获得了良好腰椎前凸改善,且均未发生神经系统并发症。本研究术中单个椎体平均截骨角度为 $34.1^\circ \pm 5.1^\circ$,所有患者术中及术后均未发生神经系统并发症。南京鼓楼医院团队的经验指出,如果没有合并神经损伤的假关节,可以选择在假关节上或下进行截骨^[16]。本研究中1例患者合并假关节并伴随腰背疼痛,我们选在假关

节处进行改良 PSO 截骨术,去除 T11 和 T12 之间椎间盘以及部分椎体以获得更充分的骨愈合。

采用 Surgimap 不仅可以测量精确、全面的矢状位参数,而且充分考虑了脊柱骨盆参数的影响,通过旋转骨盆参数来预测术后实际骨盆代偿后脊柱矢状位情况;Diebo 等^[17]通过调整 Surgimap 不同闭合比例(40/60、50/50、60/40)来获得不同的术后骨盆参数进行比较,最终得出需要根据术者经验评估畸形程度来选择相应的闭合比例。鲍虹达等^[18]的研究通过将设定术后 PT 法和调节比例法

进行比较,最终发现和预期不尽相同的结果,可能是由于退变性脊柱畸形患者未手术节段可能发生了参数的变化。虽然在术前进行数字化模拟规划,但是由于疾病的复杂性往往不能完全按照计划截骨,需要及时调整手术策略,往往不能拘泥于术前规划的理想化策略而造成较差的矫形效果。本研究将截骨角度模拟至一定的区间范围,以提供术者根据术中实际情况灵活把握。然而,在使用 Surgimap 时我们发现必须要精确测量所有角度和长度参数,以免造成结果误差过大。其次在测量任何长度之前,必须执行图像校准,预先在图像上画一条线,然后定义线的实际长度。最后是确保术前计划与手术一致,因此术中应进行 X 线片或 CT 检查,以验证手术位置与 Surgimap 计划一致。同时对于前纵韧带未完全骨化的 AS 患者,可能存在非融合节段参数的误差影响。

总之,Surgimap 软件为 AS 胸腰椎后凸畸形患者的矫形治疗提供了一种可靠、实用的方法来帮助临床医生进行术前计划,为脊柱骨盆参数的评估、模拟分析截骨术提供了一种简便的方法,但是本研究纳入病例有限,且要求术者具有丰富的矫形经验,仍需大样本、多中心、前瞻性的随机对照研究来进一步评估其优缺点。

4 参考文献

1. 杨晓曦, 范天奇, 陈光辉, 等. 强直性脊柱炎后凸畸形截骨矫形手术的研究进展[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2021, 31(4): 347-354.
2. Kim KT, Park DH, Lee SH, et al. Results of corrective osteotomy and treatment strategy for ankylosing spondylitis with kyphotic deformity[J]. Clin Orthop Surg, 2015, 7(3): 330-336.
3. Tominaga R, Fukuma S, Yamazaki S, et al. Relationship between kyphotic posture and falls in community-dwelling men and women: the locomotive syndrome and health outcome in aizu cohort study[J]. Spine, 2016, 41(15): 1232-1238.
4. Jorba-garcía A, González-Barnadas A, Camps-Font O, et al. Accuracy assessment of dynamic computer-aided implant placement: a systematic review and meta-analysis[J]. Clin Oral Investig, 2021, 25(5): 2479-2494.
5. Schwab F, Patel A, Ungar B, et al. Adult spinal deformity—postoperative standing imbalance: how much can you tolerate? an overview of key parameters in assessing alignment and planning corrective surgery[J]. Spine, 2010, 35(25): 2224-2231.
6. 宋凯, 张永刚, 付君, 等. 颌眉角的最优选择及其在强直性脊柱炎后凸畸形矫形设计中的应用 [J]. 中国骨与关节杂志, 2014, 3(10): 732-738.
7. 郑国权, 张永刚, 王岩, 等. 强直性脊柱炎后凸畸形的 301 分型[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2015, 25(09): 769-774.
8. Song K, Zheng G, Zhang Y, et al. A new method for calculating the exact angle required for spinal osteotomy[J]. Spine, 2013, 38(10): E616-620.
9. Smith JS, Klineberg E, Schwab F, et al. Change in classification grade by the SRS-Schwab adult spinal deformity classification predicts impact on health-related quality of life measures: prospective analysis of operative and nonoperative treatment[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2013, 38(19): 1663-1671.
10. Song K, Su X, Zhang Y, et al. Optimal chin-brow vertical angle for sagittal visual fields in ankylosing spondylitis kyphosis[J]. Eur Spine J, 2016, 25(8): 2596-2604.
11. 梁鹏展, 陈晓东, 翟明玉, 等. 颌眉角在强直性脊柱炎伴胸腰椎后凸畸形矫形手术中的意义 [J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2016, 31(9): 915-918.
12. Song K, Zheng G, Zhang Y, et al. Hilus pulmonis as the center of gravity for AS thoracolumbar kyphosis[J]. Eur Spine J, 2014, 23(12): 2743-2750.
13. Hu W, Zhang X, Yu J, et al. Vertebral column decancellation in Pott's deformity: use of Surgimap Spine for preoperative surgical planning, retrospective review of 18 patients [J]. BMC Musculoskelet Disord, 2018, 19(1): 13.
14. Kim K, Lee S, Suk K, et al. Outcome of pedicle subtraction osteotomies for fixed sagittal imbalance of multiple etiologies: a retrospective review of 140 patients[J]. Spine, 2012, 37(19): 1667-1675.
15. Wang Y, Zhang Y, Mao K, et al. Transpedicular bivertebrae wedge osteotomy and discectomy in lumbar spine for severe ankylosing spondylitis[J]. J Spinal Disord Tech, 2010, 23(3): 186-191.
16. 乔木, 吴小涛, 钱邦平, 等. 强直性脊柱炎假关节的形成机制、影像学表现及治疗策略进展 [J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2018, 28(3): 275-278.
17. Diebo BG, Lafage R, Ames CP, et al. Ratio of lumbar 3-column osteotomy closure: patient-specific deformity characteristics and level of resection impact correction of truncal versus pelvic compensation[J]. Eur Spine J, 2016, 25(8): 2480-2487.
18. 鲍虹达, 闫鹏, 朱锋, 等. 退变性脊柱畸形矢状面失平衡的数字化模拟截骨矫形技术[J]. 中华骨科杂志, 2016, 36(6): 321-328.

(收稿日期:2021-11-02 末次修回日期:2022-02-09)

(英文编审 谭 啸)

(本文编辑 卢庆霞)