

DOI: 10.3969/j.issn.1005-8982.2025.20.015
文章编号: 1005-8982 (2025) 20-0089-07

临床研究·论著

3D个体化打印导向器在强直性脊柱炎 胸腰椎骨折中的应用*

陈华瑾¹, 俞阳¹, 林书², 唐六一²

[1. 西南医科大学附属医院 骨科, 四川 泸州 646000; 2. 四川省医学科学院·四川省
人民医院(电子科技大学附属医院) 骨科, 四川 成都 610072]

摘要: **目的** 评估3D个体化打印椎弓根螺钉导向器在强直性脊柱炎患者胸腰椎骨折中的应用效果。**方法** 回顾性选取2019年1月—2022年10月在西南医科大学附属医院治疗的104例强直性脊柱炎合并胸腰椎骨折患者的临床资料。根据不同置钉方式分为观察组和对照组, 分别有53、51例。观察组进行3D打印椎弓根导板辅助置钉; 对照组采用传统X射线辅助徒手置钉。比较两组患者围手术期指标、术后1 d的应激指标 [血清促肾上腺皮质激素 (ACTH)、皮质醇 (Cor)], 并对比术前和术后12个月的视觉模拟评分法 (VAS)、日本骨科协会腰椎功能评分 (JOA)、骨代谢指标 [骨钙素、骨碱性磷酸酶 (BALP)], 脊柱三维运动范围、伤椎Cobb角、伤椎前缘高度和后缘高度。**结果** 观察组手术时间、置钉时间、切口长度短于对照组 ($P<0.05$), 术中出血量低于对照组 ($P<0.05$), 螺钉调整次数少于对照组 ($P<0.05$)。观察组术后1 d ACTH、Cor水平均低于对照组 ($P<0.05$)。观察组手术前后 ACTH、Cor 的差值均低于对照组 ($P<0.05$)。观察组术后12个月 VAS 评分均低于对照组 ($P<0.05$), JOA 评分、骨钙素、BALP 均高于对照组 ($P<0.05$)。观察组患者手术前后 VAS 评分、JOA 评分、骨钙素、BALP 的差值均高于对照组 ($P<0.05$)。观察组术后12个月脊柱前屈、后伸、侧屈和旋转范围均大于对照组 ($P<0.05$)。观察组手术前后脊柱前屈、后伸、侧屈和旋转范围的差值均高于对照组 ($P<0.05$)。观察组术后12个月的伤椎前缘高度、后缘高度均高于对照组 ($P<0.05$), 伤椎Cobb角低于对照组 ($P<0.05$)。观察组手术前后伤椎Cobb角、伤椎前缘高度和后缘高度的差值均高于对照组 ($P<0.05$)。**结论** 3D个体化打印导向器引导的椎弓根置入有助于强直性脊柱炎患者胸腰椎骨折后的恢复。

关键词: 强直性脊柱炎; 3D个体化打印; 胸腰椎骨折; 椎弓根钉内固定; 伤椎Cobb角

中图分类号: R593.23

文献标识码: A

Personalized 3D-printed guides for the management of thoracolumbar fractures in ankylosing spondylitis*

Chen Hua-jin¹, Yu Yang¹, Lin Shu², Tang Liu-yi²

[1. Department of Orthopedics, The Affiliated Hospital of Southwest Medical University, Luzhou, Sichuan 646000, China; 2. Department of Orthopedics, Sichuan Academy of Medical Sciences & Sichuan Provincial People's Hospital (Affiliated Hospital of University of Electronic Science and Technology of China), Chengdu, Sichuan 610072, China]

Abstract: Objective To evaluate the effectiveness of personalized 3D-printed pedicle screw guides in the treatment of thoracolumbar fractures in patients with ankylosing spondylitis. **Methods** The clinical data of 104 patients with ankylosing spondylitis complicated by thoracolumbar fractures treated at the Affiliated Hospital of Southwest Medical University from January 2019 to October 2022 were retrospectively collected. Based on different

收稿日期: 2025-04-17

* 基金项目: 四川省科技厅支撑项目 (No: 2022YFS0019)

[通信作者] 俞阳, E-mail: yuyanghuaxi1021@163.com, Tel: 13540264476

pedicle screw placement methods, the patients were divided into an observation group and a control group, with 53 and 51 cases in each group, respectively. The observation group received pedicle screw placement assisted by personalized 3D-printed guides, while the control group underwent conventional pedicle screw placement guided by X-ray imaging. Perioperative indicators and stress indicators 1 day postoperatively [serum adrenocorticotrophic hormone (ACTH), cortisol (Cor)], along with pain scores, Japanese Orthopaedic Association (JOA) lumbar function scores, bone metabolism markers [osteocalcin, bone-specific alkaline phosphatase (BALP)], spinal three-dimensional range of motion, Cobb angle of the injured vertebra, and anterior and posterior heights of the injured vertebra before and 12 months after surgery, were compared between the two groups. **Results** Compared with the control group, the observation group had shorter operative duration, screw placement time, and incision length ($P < 0.05$), lower intraoperative blood loss ($P < 0.05$), and fewer screw adjustments ($P < 0.05$). On postoperative day 1, ACTH and Cor levels were lower in the observation group than in the control group ($P < 0.05$), and the pre- to post-operative changes in ACTH and Cor were smaller in the observation group ($P < 0.05$). At 12 months postoperatively, the observation group exhibited lower VAS scores and higher JOA scores as well as osteocalcin and BALP levels compared with the control group ($P < 0.05$). The pre- to post-operative changes in VAS and JOA scores and osteocalcin and BALP levels were greater in the observation group than in the control group ($P < 0.05$). The spinal range of motion, including flexion, extension, lateral bending, and rotation at 12 months postoperatively, was greater in the observation group than in the control group ($P < 0.05$), and the corresponding pre- to post-operative changes were also larger in the observation group ($P < 0.05$). At 12 months postoperatively, the injured vertebra's anterior and posterior heights were higher and the Cobb angle was lower in the observation group compared with the control group ($P < 0.05$). Similarly, the pre- to post-operative changes in Cobb angle, anterior height, and posterior height of the injured vertebra were greater in the observation group than in the control group ($P < 0.05$). **Conclusion** The use of personalized 3D-printed guides for pedicle screw placement facilitates the recovery of patients with ankylosing spondylitis after thoracolumbar fractures.

Keywords: ankylosing spondylitis; personalized 3D printing; thoracolumbar fractures; pedicle screw internal fixation; Cobb angle of injured vertebra

强直性脊柱炎是一种慢性炎症性疾病，主要侵犯脊柱和骶髂关节，导致脊柱僵硬和运动功能障碍^[1-2]。在临床实践中，胸腰椎骨折是强直性脊柱炎患者常见的并发症之一，且治疗难度较大^[3-4]。传统的X射线辅助徒手置钉方法存在一定的局限性，如手术时间长、出血量大、术后恢复缓慢等^[5]。近年来，随着3D打印技术的快速发展，3D个体化打印椎弓根螺钉导向器的应用，为精准定位椎弓根螺钉置入提供了新的技术手段。目前的研究表明，相比传统方法，3D打印导向器能够根据患者具体的解剖结构进行个性化设计，从而提高手术精确度，加快术后恢复^[6]。本研究通过回顾性分析，探讨了3D个体化打印导向器在强直性脊柱炎胸腰椎骨折治疗中的应用效果，旨在为临床提供更为有效、安全的治疗方案。

1 资料与方法

1.1 一般资料

回顾性分析2019年1月—2022年10月在西南

医科大学附属医院进行治疗的强直性脊柱炎合并胸腰椎骨折患者的临床资料，根据样本量计算公式 $N = [(Z\alpha/2 + Z\beta) \times \sigma/\delta]^2$ ， $Z\alpha/2 = 0.59$ ， $Z\beta = 1.11$ ， $\sigma = 19.14$ ， $\delta = 3.22$ ， $N = 102.11$ ，最终纳入104例^[7]。根据不同置钉方式分为观察组和对照组，分别为53、51例。观察组患者进行3D打印椎弓根导板辅助置钉；对照组患者采用传统X射线辅助徒手置钉。纳入标准：①通过影像学检查，诊断为强直性脊柱炎合并胸腰椎骨折；②胸腰椎单椎骨折，且初次进行脊柱骨折手术；③研究期间在本院接受治疗，且临床资料完整。排除标准：①开放性损伤或神经损伤；②心脏、肾脏、肝脏等器官功能障碍；③恶性肿瘤、凝血功能障碍或免疫功能障碍；④沟通交流障碍，或依从性较差。两组患者性别构成、年龄、体质指数（body mass index, BMI）、强直性脊柱炎病程、骨折病程和骨折部位构成比较，经 χ^2/t 检验，差异均无统计学（ $P > 0.05$ ）（见表1）。本研究已获得医院医学伦理委员会审核通过[No：伦审（研）2021年第214号]。

表 1 两组患者术前一般资料比较

组别	n	男/女/ 例	年龄/(岁, $\bar{x} \pm s$)	BMI/(kg/m ² , $\bar{x} \pm s$)	强直性脊柱炎病程/ (年, $\bar{x} \pm s$)	骨折病程/ (h, $\bar{x} \pm s$)	骨折部位/例	
							T10/11/12	L1/2/3
对照组	51	29/22	52.49 ± 6.26	23.66 ± 3.24	5.31 ± 1.22	41.26 ± 5.08	25	26
观察组	53	27/26	52.78 ± 6.51	23.70 ± 3.18	5.28 ± 1.16	41.35 ± 5.12	28	25
χ^2 / t 值		0.366	0.231	0.064	0.129	0.090	0.151	
P 值		0.545	0.817	0.949	0.898	0.928	0.698	

1.2 方法

1.2.1 观察组 患者采用 3D 打印椎弓根导板辅助置钉, 通过 64 排螺旋 CT 薄层扫描获取 AS 患者颈椎三维 CT 数据, 并以 DICOM 格式导入 Mimics 17.0 软件中进行 3D 模型重建, 覆盖颅底至 C7 椎体。在软件中确定最佳螺钉进钉点和通道, 并测量虚拟螺钉长度。设计与颈椎背侧解剖相匹配的个体化 3D 打印导板, 包含定位、导向功能。使用 ideaMaker 软件准备 3D 打印数据, 通过 raise 3d N2 plus 3D 打印机将 PLA 材料打印出颈椎模型和导向模板, 完成打印后去除支撑材料, 进行匹配测试, 确保模型与导板的精准贴合。模拟患者俯卧位, 将 3D 打印颈椎模型固定, 并使用匹配的 3D 打印导板辅助定位和导向, 按照预设通道置入 2.0 mm 克氏针, 再进行开路椎扩孔、丝锥攻丝, 并根据软件测量的长度置入 3.5 mm 颈椎椎弓根螺钉。通过 X 射线机验证螺钉位置后完成置钉。

1.2.2 对照组 患者采用传统 X 射线辅助徒手置钉, 模拟患者俯卧位, 将颈椎模型固定并充分暴露颈椎后路解剖结构, 利用解剖参考点确定进钉点。在 X 射线机引导下置入定位针, 确保定位针的角度和方向准确。使用开路椎扩孔工具进行钉道扩展, 并用椎弓根探针仔细检查钉道的顶端及四壁, 确认钉道完全位于椎弓根骨质内。利用丝锥进行攻丝, 使用钉道测深器确定螺钉长度, 最后在透视引导下拧入 3.5 mm 椎弓根螺钉, 完成置钉过程。

1.3 观察指标

1.3.1 围手术期指标 记录患者手术时间、切口长度、术中出血量、置钉时间、螺钉调整次数。

1.3.2 应激指标 在术前后 1 d 分别抽取患者空腹外周静脉血, 通过酶联免疫吸附试验测定血清促肾上腺皮质激素 (adrenocorticotrophic hormone, ACTH) 和皮质醇 (Cortisol, Cor) 水平。

1.3.3 疼痛情况 比较患者术前、术后 12 个月的

视觉模拟评分法 (visual analogue scale, VAS)^[8], 总分 10 分, 分数越高表示疼痛越剧烈。

1.3.4 腰椎功能 患者术前、术后 12 个月分别利用日本骨科协会腰椎功能评分 (Japanese Orthopaedic Association, JOA)^[9] 评估腰椎功能, 满分 29 分, 分数越高表示腰椎功能越好。

1.3.5 骨代谢指标 患者分别在术前、术后 12 个月测量骨钙素、骨碱性磷酸酶 (bone-specific alkaline phosphatase, BALP)。

1.3.6 三维运动范围 患者分别在术前、术后 12 个月测量脊柱前屈、后伸、侧屈和旋转的三维运动范围。

1.3.7 影像学检测 患者分别在术前、术后 12 个月通过影像检查测量伤椎 Cobb 角、伤椎前缘高度和后缘。

1.4 统计学方法

数据分析采用 SPSS 22.0 统计软件。计量资料以均数 ± 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示, 比较用 t 检验。计数资料以构成比表示, 比较用 χ^2 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组患者围手术期指标比较

两组患者手术时间、术中出血量、切口长度、置钉时间和螺钉调整次数比较, 经 t 检验, 差异均有统计学意义 ($P < 0.05$), 观察组手术时间、置钉时间、切口长度均短于对照组, 术中出血量低于对照组, 螺钉调整次数少于对照组。见表 2。

2.2 两组患者手术前后应激指标的变化

两组患者术前 ACTH、Cor 水平比较, 经 t 检验, 差异均无统计学意义 ($P > 0.05$)。两组患者术后 1 d ACTH、Cor 水平比较, 经 t 检验, 差异均有统计学意义 ($P < 0.05$), 观察组均低于对照组。两组患者手术前后 ACTH、Cor 的差值比较, 经 t 检验, 差异均有统计学意义 ($P < 0.05$), 观察组均低于观察组。见表 3。

表 2 两组患者围手术期指标比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	<i>n</i>	手术时间/min	术中出血量/mL	切口长度/cm	置钉时间/min	螺钉调整次数
对照组	51	160.97 ± 21.35	328.15 ± 42.06	28.27 ± 3.13	8.89 ± 1.12	4.28 ± 0.69
观察组	53	118.26 ± 10.41	210.45 ± 33.94	23.71 ± 2.96	3.35 ± 0.78	1.76 ± 0.23
<i>t</i> 值		13.043	15.734	7.636	29.365	25.718
<i>P</i> 值		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

表 3 两组患者手术前后强直性脊柱炎胸腰椎骨折患者应激指标比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	<i>n</i>	ACTH/(ng/L)			Cor/(ng/mL)		
		术前	术后 1 d	差值	术前	术后 1 d	差值
对照组	51	40.28 ± 4.15	69.72 ± 7.23	29.42 ± 3.82	252.47 ± 33.45	368.79 ± 43.62	117.39 ± 25.72
观察组	53	40.54 ± 4.20	56.14 ± 6.33	17.13 ± 2.49	255.08 ± 34.26	279.92 ± 40.11	35.95 ± 5.69
<i>t</i> 值		0.318	10.202	19.509	0.393	10.804	22.491
<i>P</i> 值		0.752	0.000	0.000	0.695	0.000	0.000

2.3 两组患者手术前后疼痛、腰椎功能、骨代谢的变化

两组患者术前 VAS 评分、JOA 评分、骨钙素、BALP 比较,经 *t* 检验,差异均无统计学意义 ($P > 0.05$)。两组患者术后 12 个月 VAS 评分、JOA 评分、骨钙素、BALP 比较,经 *t* 检验,差异均有统计学

意义 ($P < 0.05$),观察组 VAS 评分均低于对照组,JOA 评分、骨钙素、BALP 均高于对照组。两组患者手术前后 VAS 评分、JOA 评分、骨钙素、BALP 的差值比较,经 *t* 检验,差异均有统计学意义 ($P < 0.05$),观察组均高于观察组。见表 4。

表 4 两组患者手术前后疼痛、腰椎功能、骨代谢指标比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	<i>n</i>	VAS 评分			JOA 评分		
		术前	术后 12 个月	差值	术前	术后 12 个月	差值
对照组	51	6.76 ± 1.12	2.02 ± 0.65	4.73 ± 1.03	13.45 ± 2.61	24.98 ± 2.23	11.59 ± 2.06
观察组	53	6.84 ± 1.15	1.39 ± 0.52	5.51 ± 1.26	13.70 ± 2.74	27.02 ± 2.39	14.68 ± 2.15
<i>t</i> 值		0.359	5.468	3.449	0.476	4.496	7.479
<i>P</i> 值		0.720	0.000	0.001	0.635	0.000	0.000

组别	骨钙素/(μg/L)			BALP/(μg/L)		
	术前	术后 12 个月	差值	术前	术后 12 个月	差值
对照组	4.01 ± 0.68	5.92 ± 0.82	1.87 ± 0.26	2.56 ± 0.48	4.54 ± 0.71	2.12 ± 0.45
观察组	3.94 ± 0.65	6.51 ± 0.90	2.99 ± 0.45	2.54 ± 0.49	5.74 ± 0.78	3.24 ± 0.69
<i>t</i> 值	0.537	3.491	15.462	0.210	8.195	9.764
<i>P</i> 值	0.593	0.000	0.000	0.834	0.000	0.000

2.4 两组患者手术前后脊柱三维运动范围的变化

两组患者术前脊柱前屈、后伸、侧屈和旋转范围比较,经 *t* 检验,差异均无统计学意义 ($P > 0.05$)。两组患者术后 12 个月脊柱前屈、后伸、侧屈和旋转范围比较,经 *t* 检验,差异均有统计学意义 ($P < 0.05$),观察组均高于对照组。两组患者手术前后脊柱前屈、后伸、侧屈和旋转范围的差值比较,经 *t* 检验,差异均有统计学意义 ($P < 0.05$),

观察组均高于观察组。见表 5。

2.5 两组患者手术前后影像学评估的变化

两组患者术前伤椎 Cobb 角、伤椎前缘高度和后缘高度比较,经 *t* 检验,差异均无统计学意义 ($P > 0.05$)。两组患者术后 12 个月的伤椎 Cobb 角、伤椎前缘高度和后缘高度比较,经 *t* 检验,差异均有统计学意义 ($P < 0.05$),观察组伤椎伤椎前缘高度、后缘高度均高于对照组,伤椎 Cobb 角低于对

表 5 两组患者手术前后脊柱三维运动范围比较 (°, $\bar{x} \pm s$)

组别	n	脊柱前屈范围			脊柱后伸范围		
		术前	术后 12 个月	差值	术前	术后 12 个月	差值
对照组	51	30.12 ± 3.85	41.26 ± 4.36	11.16 ± 2.75	13.14 ± 2.36	24.55 ± 2.82	11.38 ± 2.36
观察组	53	30.06 ± 3.61	46.38 ± 4.75	16.59 ± 3.03	13.28 ± 2.42	26.81 ± 3.14	14.71 ± 2.58
t 值		0.082	5.730	9.558	0.299	3.856	6.860
P 值		0.935	0.000	0.000	0.766	0.002	0.000

组别	n	脊柱侧屈范围			脊柱旋转范围		
		术前	术后 12 个月	差值	术前	术后 12 个月	差值
对照组	51	18.52 ± 2.14	30.25 ± 3.11	12.04 ± 2.11	31.24 ± 3.19	47.60 ± 4.81	17.43 ± 2.59
观察组	53	18.39 ± 2.26	32.19 ± 3.34	15.11 ± 2.49	31.51 ± 3.30	50.03 ± 5.01	20.14 ± 3.01
t 值		0.301	3.067	6.771	0.424	2.524	4.913
P 值		0.764	0.003	0.000	0.673	0.013	0.000

照组。两组患者手术前后伤椎 Cobb 角、伤椎前缘高度和后缘高度的差值比较, 经 *t* 检验, 差异均有统计学意义 ($P < 0.05$), 观察组均高于观察组。见表 6 和图 1。

表 6 两组强直性脊柱炎胸腰椎骨折患者影像检查结果比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	n	伤椎 Cobb 角/(°)			伤椎前缘高度/%			伤椎后缘高度/%		
		术前	术后 12 个月	差值	术前	术后 12 个月	差值	术前	术后 12 个月	差值
对照组	51	19.14 ± 3.22	12.23 ± 2.41	7.10 ± 1.61	43.83 ± 2.18	74.22 ± 4.30	31.14 ± 3.13	54.50 ± 3.29	80.28 ± 5.17	25.24 ± 3.17
观察组	53	19.07 ± 3.18	7.16 ± 1.23	12.03 ± 2.42	43.62 ± 2.14	91.21 ± 3.15	48.63 ± 4.21	54.39 ± 3.16	95.14 ± 5.03	40.63 ± 5.63
t 值		0.112	13.434	12.183	0.496	22.914	23.969	0.174	14.849	17.087
P 值		0.911	0.000	0.000	0.621	0.000	0.000	0.862	0.000	0.000

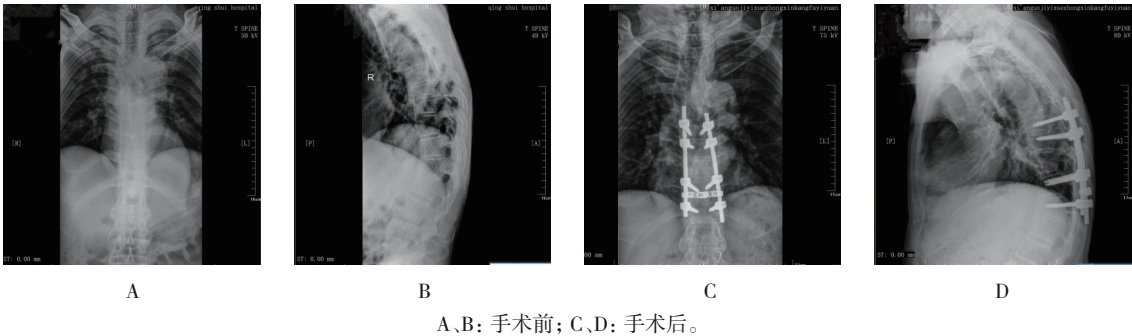


图 1 强直性脊柱炎胸腰椎骨折患者手术前后 CT 图

3 讨论

强直性脊柱炎会导致脊柱僵硬和融合, 从而限制患者的运动范围^[10-11]。也有学者指出, 长期的炎症反应会使脊柱变得脆弱, 增加了患者胸腰椎骨折的风险^[12]。由于患者的脊柱已经发生了结构上的改变, 从而限制了常规脊柱固定技术的使用, 增加了治疗难度^[13]。近年来, 3D 个体化打印技术在脊柱手术中的应用日益广泛。相比传统徒手置

钉、计算机导航和 C 型臂实时导航等其他辅助技术, 3D 个体化打印导向器在强直性脊柱炎手术中更具优势, 其通过术前精准匹配患者解剖结构, 可减少术中透视次数, 显著提高置钉准确性, 尤其适用于脊柱融合畸形等复杂病例^[14-15]。本研究结果显示, 观察组患者利用 3D 打印椎弓根导板辅助置钉, 其手术时间、置钉时间、切口长度短于对照组, 术中出血量低于对照组, 螺钉调整次数少于对照组。因为个体化的 3D 打印导板不仅能精确

匹配患者的解剖结构,还为手术提供了清晰的导向^[16]。刘正蓬等^[17]曾在研究中指出,基于患者特定解剖结构的定制设计能提高导板形状与患者颈椎的后方结构的契合度,减少了术中对解剖标志的依赖,从而降低了定位误差。此外,导板上预设的通道直接指引螺钉的正确进入点和方向,避免了反复调整和测量,有助于缩短手术时间。SANTOS 等^[18]研究也表明,预先确定的螺钉长度和路径减少了术中的不确定性,也避免了传统方法中因解剖标志不明显而需要频繁调整定位的情况,从而减少了组织损伤所致的出血量。手术过程中对组织的损伤会触发机体的急性应激反应,导致下丘脑-垂体-肾上腺轴释放 ACTH,进而刺激肾上腺皮质分泌 Cor^[19-20]。ACTH 和 Cor 的上升可以促进能量代谢、增强心血管系统的应激能力,但根据 JIANG 等^[21]研究结果,过高的应激指标也可能导致免疫抑制,延缓创伤愈合并增加术后并发症的风险。在本研究结果中,观察组患者术后 ACTH、Cor 水平均较对照组低,这主要归因于 3D 打印技术的高精度和个体化优势,从而降低了手术创伤。

根据 DOU 等^[22]研究,术后炎性介质的释放会刺激痛觉神经末梢,导致术后疼痛的产生。而 3D 打印椎弓根导板辅助置钉,通过对置钉路径的精准控制减少了手术对周围软组织的损伤,从而降低了观察组患者的术后疼痛。此外,个体化导板的使用减少了术中对螺钉位置的调整,进一步降低了术中引起的机械性和炎症性刺激,也有助于减轻术后疼痛^[23]。LIANG 等^[24]研究中利用 3D 打印钻孔导向模板提高了脊柱畸形手术中椎弓根螺钉放置精度,结果显示螺钉置入优秀率是徒手置钉的 2.22 倍,螺钉置入合格率是徒手置钉的 3.66 倍,而螺钉放置不当的比率降低了 23%。此外,减少的机械性损伤也有利于术后骨组织的修复和新骨形成,促进了骨形态发生蛋白等骨再生相关因子的活性^[25],进而刺激了骨代谢标志物骨钙素和骨碱性磷酸酶表达。骨钙素和 BALP 均是骨形成过程中的关键酶类,其活性反映了成骨细胞的功能状态。因此,这些生物标志物水平的上升反映了观察组在 3D 打印技术辅助下更有效的骨修复过程。FAN 等^[26]研究则表明,3D 打印导向器辅助手术有助于维持脊柱周围骨组织的微环境稳定,促进骨细胞

活性和骨质再生,从而加速术后脊柱的稳定性和功能恢复。同时,这种精准定位减少了术中的软组织损伤和骨结构的破坏,有助于保留更多的脊柱稳定性和灵活性,从而在术后实现更好的脊柱运动范围^[27-28]。因此,本研究中观察组患者的 JOA 评分及脊柱三维运动范围均大于对照组。ZHU 等^[29]研究结果也显示,手术创伤的减少有助于缩短术后恢复时间,使得患者能够更早期地开始康复训练,从而更快地恢复机体功能,且并发症风险可降低 24%。此外,观察组患者末次随访时伤椎 Cobb 角更小,而伤椎前缘和后缘高度均高于对照组,这反映了脊柱几何对位的改善程度和椎体结构的恢复情况。因为 3D 打印技术的个体化导向器基于患者特定的解剖结构精确规划置钉路径和深度,减少了骨折复位过程中的额外损伤,保护了椎体的结构完整性^[30-31]。因此 3D 打印椎弓根导向器的个体化设计显著提升了置钉精准度,减少组织损伤并优化骨代谢,从而促进脊柱稳定性重建及功能恢复

综上所述,个体化 3D 打印导向器有助于提升脊柱手术精确性,并促进术后脊柱结构恢复,在强直性脊柱炎合并胸腰椎骨折患者中具有较高的应用价值。但需注意严重骨质疏松或广泛异位骨化可能影响导板贴合精度,建议术前结合定量 CT 评估骨密度及三维重建验证适配性。同时本研究作为回顾性研究可能存在数据完整性不足、随访时间较短及未控制混杂因素等偏倚风险。单中心设计及有限的样本量也可能影响结论的推广性。未来需开展多中心前瞻性随机对照研究,延长随访时间,以进一步验证该技术的临床价值并优化手术方案。

参 考 文 献:

- [1] 于翱瑞,曹亚飞,林文平,等.强直性脊柱炎患者外周血不同类型单核细胞极化与病情严重程度的关系[J].中国现代医学杂志,2023,33(24):74-79.
- [2] 郑锦畅,向旻,孙杰聪,等.二甲双胍治疗强直性脊柱炎模型小鼠后的骨密度与关节炎评分变化[J].国际医药卫生导报,2023,29(24):3642-3644.
- [3] 姬洪全,周方,田耘.强直性脊柱炎脊柱骨折的延误诊断[J].中国矫形外科杂志,2022,30(4):309-313.
- [4] 康志杰,曹振华,许阳阳,等.强直性脊柱炎腰椎-骶骨椎间盘有限元模型建立及应力分析[J].中国组织工程研究,2024,28(6):

- 840-846.
- [5] ISHII M, OHNISHI A, YAMAGISHI A, et al. Freehand screw insertion technique without image guidance for the cortical bone trajectory screw in posterior lumbar interbody fusion: what affects screw misplacement?[J]. *J Neurosurg Spine*, 2022, 36(1): 1-7.
 - [6] 丁祥, 李超, 牛国旗, 等. 个体化3D打印导向模板辅助强直性脊柱炎颈椎椎弓根螺钉置入的实验研究[J]. *实用医学杂志*, 2020, 36(8): 1072-1076.
 - [7] LANDSMAN V, FILLERY M, VERNON H, et al. Sample size calculations for blinding assessment[J]. *J Biopharm Stat*, 2018, 28(5): 857-869.
 - [8] ZHAN Z H, LI R, FU D M, et al. Clinical efficacy and influencing factors of percutaneous kyphoplasty for osteoporotic vertebral compression fractures: a 10-year follow-up study[J]. *BMC Surg*, 2024, 24(1): 29.
 - [9] ZHANG F, YE D D, ZHANG W, et al. Efficacy of lumbar decompression under large-channel spinal endoscope in elderly patients with segmental lumbar spinal stenosis[J]. *J Orthop Surg Res*, 2024, 19(1): 16.
 - [10] 陈旭, 钱邦平, 王斌, 等. 强直性脊柱炎矫形术中截骨椎脱位的危险因素、预防及远期预后研究进展[J]. *中华骨科杂志*, 2022, 42(3): 188-194.
 - [11] 王友志, 张景艺, 梅玉峰, 等. 强直性脊柱炎动物模型研究进展[J]. *重庆医学*, 2023, 52(10): 1565-1569.
 - [12] 于晶晶, 李慧敏, 马瑞瑞, 等. 类风湿关节炎合并骨质疏松的发病机制和治疗进展[J]. *中国现代医学杂志*, 2020, 30(24): 51-56.
 - [13] BÖREKCI A, KURU BEKTAŞOĞLU P, RAMAZANOĞLU A F, et al. Surgical management thoracolumbar fractures in patients with ankylosing spondylitis: technical note with case series[J]. *World Neurosurg*, 2023, 176: 3-9.
 - [14] 周俊德, 范智荣, 苏海涛, 等. 3D打印辅助椎弓根钉置入与传统手术治疗腰椎滑脱的Meta分析[J]. *中国组织工程研究*, 2020, 24(30): 4898-4904.
 - [15] HABIB A, JOVANOVIĆ N, MUTHIAH N, et al. 3D printing applications in spine surgery: an evidence-based assessment toward personalized patient care[J]. *Eur Spine J*, 2022, 31(7): 1682-1690.
 - [16] 周建国, 段永壮. 3D打印导向器椎弓根螺钉固定寰枢椎骨折脱位[J]. *中国矫形外科杂志*, 2021, 29(12): 1087-1090.
 - [17] 刘正蓬, 王雅辉, 明颖, 等. 基于3D打印的椎弓根螺钉置钉技术治疗胸腰段脊柱骨折的价值[J]. *实用医学杂志*, 2019, 35(9): 1453-1457.
 - [18] SANTOS R B, RIBEIRO C M, GRADE D, et al. Accuracy and safety of 3D printed surgical guides combined with monitored guidewires for placement of cervicothoracic pedicle screws: technical note[J]. *Neurochirurgie*, 2023, 69(2): 101418.
 - [19] CHEN Z B, ZHANG Y T, ZENG W J, et al. Myocardial injury before noncardiac surgery[J]. *Front Cardiovasc Med*, 2023, 10: 1207124.
 - [20] BASU T, MAGUIRE J, SALPEKAR J A. Hypothalamic-pituitary-adrenal axis targets for the treatment of epilepsy[J]. *Neurosci Lett*, 2021, 746: 135618.
 - [21] JIANG Y, GAO S J, SUN H, et al. Targeting NEDD8 suppresses surgical stress-facilitated metastasis of colon cancer via restraining regulatory T cells[J]. *Cell Death Dis*, 2024, 15(1): 8.
 - [22] DOU B M, LI Y N, MA J, et al. Role of neuroimmune crosstalk in mediating the anti-inflammatory and analgesic effects of acupuncture on inflammatory pain[J]. *Front Neurosci*, 2021, 15: 695670.
 - [23] CHEN X, LI X, YU Z X, et al. Accuracy and digital screw path design of TiRobot-assisted pedicle screw placement for lumbar spondylolisthesis[J]. *Int Orthop*, 2023, 47(2): 309-317.
 - [24] LIANG W S, HAN B, HAI J J, et al. 3D-printed drill guide template, a promising tool to improve pedicle screw placement accuracy in spinal deformity surgery: a systematic review and meta-analysis[J]. *Eur Spine J*, 2021, 30(5): 1173-1183.
 - [25] VANTUCCI C E, GUYER T, LEGUINECHE K, et al. Systemic immune modulation alters local bone regeneration in a delayed treatment composite model of non-union extremity trauma[J]. *Front Surg*, 2022, 9: 934773.
 - [26] FAN M J, QIANG L, WANG Y W, et al. 3D bioprinted hydrogel/polymer scaffold with factor delivery and mechanical support for growth plate injury repair[J]. *Front Bioeng Biotechnol*, 2023, 11: 1210786.
 - [27] 连学辉, 肖红利, 卢涛, 等. 3D打印体外导板辅助经皮椎弓根螺钉固定术治疗胸腰椎骨折的临床疗效观察[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2022, 32(8): 704-712.
 - [28] RONCA A, ABBATE V, REDAELLI D F, et al. A comparative study for material selection in 3D printing of scoliosis back brace[J]. *Materials (Basel)*, 2022, 15(16): 5724.
 - [29] ZHU R Q, YANG F Q, LI C Y, et al. Effect of enhanced recovery after surgery on the prognosis of patients with hip fractures: a systematic review and Meta-analysis[J]. *J Trauma Nurs*, 2023, 30(5): 271-281.
 - [30] KASHYAP A, KARIM A, ARORA S, et al. Accuracy of patient-specific, 3D-printed laminofacetal based trajectory-guide for pedicle screw placement in subaxial cervical and thoracic spine[J]. *Neurol India*, 2023, 71(2): 260-266.
 - [31] 王建华, 吴迪, 孙贺, 等. 3D打印人工椎体辅助颈前路椎体次全切减压术对脊髓型颈椎病患者假体沉降率及应激反应的影响[J]. *中国老年学杂志*, 2021, 41(24): 5561-5564.

(李科 编辑)

本文引用格式: 陈华瑾, 俞阳, 林书, 等. 3D个体化打印导向器在强直性脊柱炎胸腰椎骨折中的应用[J]. *中国现代医学杂志*, 2025, 35(20): 89-95.

Cite this article as: CHEN H J, YU Y, LIN S, et al. Personalized 3D-printed guides for the management of thoracolumbar fractures in ankylosing spondylitis[J]. *China Journal of Modern Medicine*, 2025, 35(20): 89-95.