

doi:10.3969/j.issn.1005-3697.2023.08.014

❖ 临床研究 ❖

3D 打印结合虚拟仿真技术在腰椎骨折手术患者中的应用价值

江东育¹, 崔跃¹, 吴岳¹, 张钦², 丁涛²

(1. 南京医科大学, 江苏 南京 210000; 2. 南京医科大学附属无锡人民医院骨科, 江苏 无锡 214000)

【摘要】目的: 探讨 3D 打印结合虚拟仿真技术在腰椎骨折手术中的应用价值。**方法:** 选取 80 例腰椎骨折手术患者作为研究对象, 根据手术方式不同分为观察组 ($n=39$) 和对照组 ($n=41$)。观察组患者采用 3D 打印结合虚拟仿真技术置钉治疗; 对照组患者采用常规置钉治疗。比较两组患者手术相关指标 (手术时间、术中出血量、术中透视时间、一次性置钉成功率及住院的时间); 术前及术后 5 个月伤椎复位情况 [矢状位后凸 Cobb 角和前后缘高度比、腰椎 Oswestry 功能障碍指数 (ODI 评分)]; 术后并发症发生情况。**结果:** 观察组患者术中出血量少于对照组; 术中透视及手术时间均短于对照组; 一次性置钉成功率高于对照组, 差异均有统计学意义 ($P < 0.05$)。术后 5 个月, 观察组患者前后缘高度比大于对照组; ODI 评分及矢状位后凸 Cobb 角小于对照组, 差异均有统计学意义 ($P < 0.05$)。两组患者术后并发症发生率比较, 差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。**结论:** 在腰椎骨折手术中, 3D 打印结合虚拟仿真技术可提高一次性置钉成功率, 减少手术时间和透视时间, 减轻疼痛, 促进腰椎功能恢复。

【关键词】 腰椎骨折; 3D 打印; 虚拟仿真技术; 腰椎功能; 并发症

【中图分类号】 R687.3 **【文献标志码】** A

Application value of 3D printing combined with virtual simulation technology in patients undergoing lumbar spine fracture surgery

JIANG Dong-yu¹, CUI Yue¹, WU Yue¹, ZHANG Qin², DING Tao²

(1. Nanjing Medical University, Nanjing 210000; 2. Department of Orthopedics, Wuxi People's Hospital Affiliated to Nanjing Medical University, Wuxi 214000, Jiangsu, China)

【Abstract】Objective: To explore the application value of 3D printing combined with virtual simulation technology in patients undergoing lumbar spine fracture surgery. **Methods:** 80 patients with lumbar fracture surgery were divided into observation group ($n=39$) and control group ($n=41$) according to the different surgical methods. The observation group adopted exploratory 3D printing combined with virtual simulation technology for nail placement, and the control group adopted conventional nail placement. The surgical related indicators (surgical time, intraoperative blood, intraoperative fluoroscopy time, one-time nail placement success rate, and hospitalization time), reduction of the injury cone before and 5 months after surgery [Cobb angle and anterior to posterior height ratio of sagittal kyphosis, lumbar Oswestry dysfunction index (ODI score)], and postoperative complications were compared between the two groups. **Results:** The intraoperative blood loss in the observation group was less than that in the control group, the intraoperative fluoroscopy and postoperative time was shorter than that in the control group, and the success rate of one-time nail placement was higher than that in the control group, the differences were statistically significant ($P < 0.05$). 5 months after surgery, the anterior and posterior edge height ratio in the observation group was higher than that in the control group, and the ODI and sagittal kyphotic Cobb Angle in the observation group were lower than those in the control group, with statistical significance ($P < 0.05$). **Conclusion:** Compared with the conventional napping scheme, 3D printing combined with virtual simulation technology can improve the one-time napping rate, reduce the operation time and fluoroscopy time, promote the functional recovery of lumbar spine and relieve pain.

【Key words】 Lumbar fracture; 3D printing; Virtual simulation technology; Lumbar function; Complication

腰椎骨折是一种常见的创伤性骨折, 手术治疗是主要的治疗方式^[1]。该病具有创伤性、危急性和

复杂性, 手术治疗的难度和风险较高^[2]。因此, 如何提高手术治疗的效果和质量, 是腰椎骨折治疗所

基金项目: 江苏省无锡市卫生健康委科研项目 (M202122)

作者简介: 江东育 (1996 -), 男, 硕士研究生。E-mail: 15706288118@163.com

通讯作者: 丁涛。E-mail: drdingtao@163.com

面临的重要挑战^[3]。目前,腰椎骨折手术多采用传统的手术方式,而实际操作中,在缺乏足够准确的解剖信息下手术会造成较大的风险和误差^[4]。3D 打印技术和虚拟仿真技术可以根据患者的个体特征和腰椎病变程度构建手术计划,有望为腰椎骨折外科手术提供更加精准的个性化治疗方案^[5-7]。本研究旨在探讨 3D 打印结合虚拟仿真技术在腰椎骨折手术中的应用价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取 2018 年 9 月至 2022 年 9 月南京医科大学附属无锡人民医院收治的 80 例腰椎骨折手术患者为研究对象,根据手术方式不同分为观察组($n =$

39)和对照组($n = 41$)。本研究经院伦理委员会审核批准,患者及家属知情同意,两组患者一般资料比较,差异无统计学意义($P > 0.05$)。见表 1。纳入标准:(1)患者均为腰椎骨折,且满足腰椎骨折切开复位内固定手术治疗指征;(2)患者年龄 18 ~ 70 岁;(3)患者无肢体残疾,认知正常;(4)新鲜骨折,单纯闭合性损伤、无神经压迫症状的患者;(5)自愿参与此次研究者。排除标准:(1)严重心、肺、肝、肾等多个系统的器官功能不全的患者;(2)合并有影响手术治疗的相关因素,如癌症、免疫功能疾病及凝血功能障碍等;(3)合并有明显的骨质疏松或其他严重骨病的患者;(4)患者在入组 3 个月内有骨科手术史;(5)孕妇或哺乳期妇女。

表 1 两组患者一般资料比较($\bar{x} \pm s$)

组别	男/女(例)	体质量指数(kg/m ²)	年龄(岁)	骨折至手术时间(d)	受伤原因(例)			骨折部位(例)				
					交通事故	高空坠落	其他	L1	L2	L3	L4	L5
观察组($n = 39$)	26/13	23.07 ± 3.00	50.26 ± 13.04	3.05 ± 0.86	20	12	7	5	6	20	15	3
对照组($n = 41$)	19/22	22.45 ± 1.64	45.88 ± 6.70	3.49 ± 1.14	26	10	5	7	4	26	13	0
t/χ^2 值	3.355	1.155	1.903	1.941		1.251				4.650		
P 值	0.067	0.252	0.061	0.056		0.536				0.325		

1.2 方法

对照组患者采用常规方式制钉治疗:术前对患者进行全面检查,根据患者的临床病史、影像学资料制定合适的手术方案(从二维角度构建手术过程)。全身麻醉,取患者俯卧位(根据腰椎的弧度对俯卧位角度进行调节,使腹部悬空),以腰椎伤椎椎体中心的后正中部位做手术切口,逐层分离皮下肌肉直至到达目标椎体,仔细分离椎旁组织、神经血管部位。置入定位导针,在 C 型臂 X 线透视下确定置钉方向后置入螺钉(人字峰顶点法)。在伤椎上下部位固定 1 ~ 2 个椎体,并在 C 型臂 X 线透视下固定椎弓根螺钉、安装钉尾(撑开伤椎椎体、连接螺帽、再次 X 线透视下确保复位满意)。冲洗切口,并常规放置引流管,逐层将切口缝合。术后患者需要在重症监护室或普通病房观察一段时间,常规进行生素预防感染和镇痛治疗。根据患者的实际情况安排术后康复计划和康复训练,术后 1 个月左右进行康复训练,以便患者尽快恢复到正常日常生活和工作状态。观察组患者采用 3D 打印结合虚拟仿真技术置钉治疗,具体操作如下:术前除常规检查外,另进行高分辨率 CT 和 X 线扫描检查,采集骨骼、肌肉、韧带等相关数据,重建骨窗、软组织窗,以 DICOM 格式保存、导入到 Mimics20.0 软件中进行处理,椎骨

灰度值窗设置为 226 ~ 1 517 HU,擦除多余骨骼组织,保留伤椎。采用 Multiple Slice Edit 模拟出所需要的像素集合,包括最佳的内固定部位、螺钉置入参数,并以 STL 的格式进行数据输出。将 SLT 文件导入 Maker Bot Desktop 软件建立 3D 模型,根据不同的模拟效果确定最合理的螺钉置入方法,设置层厚 0.1 mm,温度 230 °C,添加支撑平台,最终生成 X3g 文件保存。将文件导入 3D 打印机中,使用聚乳酸材料、熔融沉积制造技术制备成 3D 腰椎模型。患者手术体位、麻醉方式、切口位置、螺钉置入方式同对照组。根据术前设计的最优手术方案置入椎弓根螺钉,X 线透视下确保椎弓根螺钉位置固定满意后安装钉尾,再次 X 线透视下确保复位满意。仔细冲洗切口,常规放置引流管,逐层将切口缝合。术后治疗、训练方案同对照组。

1.3 观察指标

(1)手术相关指标:包括手术时间、术中出血量、术中透视时间、一次性置钉成功患者例数以及住院的时间。(2)伤椎复位情况:术前及术后 5 个月采用 X 线检测矢状位后凸 Cobb 角及前后缘高度比;采用腰椎 Oswestry 功能障碍指数(ODI 评分)^[8]评估疼痛程度,共有 10 个评判因子,包括受测者的腰、腿疼痛程度,社会生活、个人生活料理情况、旅

行、行走情况、站立、提举、睡眠、性生活、坐立(每项0~5分),最终得分为回答问题数目(所得分数之和/5),分数越高表示患者的疼痛程度越高。(3)术后并发症在发生情况:包括内固定物松动、脑脊液漏、神经损伤等。

1.4 统计学分析

采用 SPSS 20.0 软件对数据进行分析与处理。计量资料符合正态分布且方差齐性,以($\bar{x} \pm s$)表示,组间比较行独立样本 t 检验,组内比较行配对样本 t 检验;计数资料以[$n(\%)$]表示,组间比较行独

立样本 χ^2 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组患者手术相关指标比较

两组患者术后住院时间比较,差异无统计学意义($P > 0.05$)。观察组患者手术时间和术中透视时间均短于对照组;术中出血量少于对照组;一次性置钉成功率高于对照组,差异均有统计学意义($P < 0.05$)。见表 2。

表 2 两组患者手术相关指标比较[$\bar{x} \pm s, n(\%)$]

组别	手术时间(min)	术中出血量(mL)	一次性置钉成功率	术中透视时间(s)	住院时间(d)
观察组($n=39$)	90.51 ± 10.57	99.04 ± 6.81	36(92.31)	10.95 ± 2.44	7.25 ± 1.06
对照组($n=41$)	116.97 ± 14.02	12.44 ± 15.74	29(70.73)	15.47 ± 3.26	7.81 ± 1.57
t 值	9.495	7.821	6.108	6.993	1.860
P 值	<0.001	<0.001	0.013	<0.001	0.067

2.2 两组患者伤椎复位情况比较

术前,两组患者前后缘高度比、矢状位后凸 Cobb 角及 ODI 评分比较,差异无统计学意义($P > 0.05$)。术后 5 个月,两组患者前后缘高度比均升

高($P < 0.05$),且观察组大于对照组($P < 0.05$);矢状位后凸 Cobb 角及 ODI 评分均减小($P < 0.05$),且观察组小于对照组($P < 0.05$)。见表 3。

表 3 两组患者伤椎复位情况及功能比较($\bar{x} \pm s$)

组别	前后缘高度比(%)		矢状位后凸 Cobb 角(°)		ODI(分)	
	术前	术后 5 个月	术前	术后 5 个月	术前	术后 5 个月
观察组($n=39$)	50.39 ± 3.14	89.64 ± 3.41*	23.04 ± 4.20	10.54 ± 0.48*	22.69 ± 2.55	7.01 ± 1.54*
对照组($n=41$)	52.55 ± 8.70	84.11 ± 5.79*	21.69 ± 1.50	12.76 ± 1.53*	24.01 ± 5.08	10.67 ± 2.06*
t 值	1.462	5.171	1.933	8.663	1.457	8.965
P 值	0.148	<0.001	0.057	<0.001	0.149	<0.001

* $P < 0.05$,与组内术前相比。

2.3 两组患者术后并发症发生情况比较

观察组患者术后并发症发生率低于对照组,差异无统计学意义($P > 0.05$)。见表 4。

表 4 两组患者术后并发症发生情况比较[$n(\%)$]

组别	内固定物松动	神经损伤	脑脊液漏	总发生
观察组($n=39$)	0(0.00)	0(0.00)	1(2.56)	1(2.56)
对照组($n=41$)	2(4.88)	0(0.00)	5(12.2)	7(17.07)
χ^2 值				3.202
P 值				0.074

2.4 典型病例

患者,男性,年龄 53 岁,因高处坠落导致 L_3 、 L_4 椎体爆裂骨折,受伤后 4 h 内送至医院就诊。受伤后第 4 d 进行切开复位内固定手术治疗,手术时间为 98 min,术中出血 90 mL,且一次性置钉成功。术

中透视时间为 9 s,术后复查 X 线,7 d 后出院。见图 1-图 6。



图 1 术前 X 线检查



图 2 骨折椎体模型

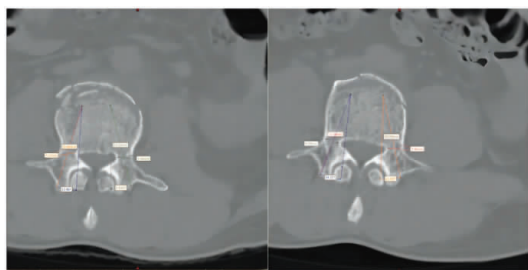


图 3 伤椎椎弓根螺钉置入角度、深度和螺钉宽度

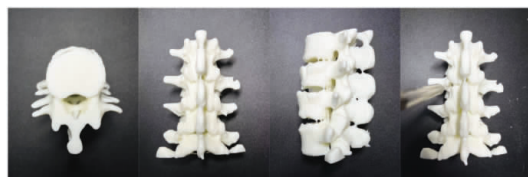


图 4 腰椎 3D 打印 (术前规划螺钉置入位置和方向)

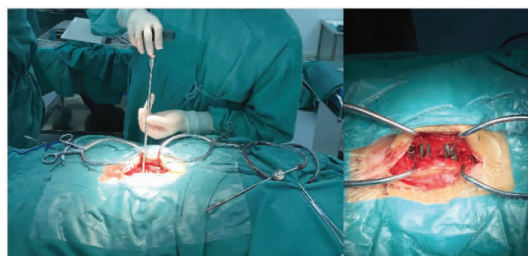


图 5 手术操作

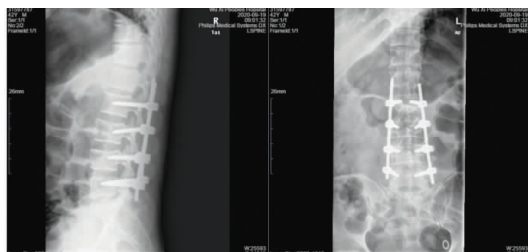


图 6 术后 X 线检查

3 讨论

椎弓根螺钉内固定术是一种常用于治疗腰椎骨折的方式,术中螺钉放置精确度影响治疗效果,但常规影像学技术所提供的多是静态、平面的图像,存在一定的局限性^[9-10]。虚拟仿真技术和 3D 打印技术可作为椎弓根螺钉内置的辅助工具,提高置钉精度^[11-12]。

本研究结果显示,两组患者术后住院时间比较,差异无统计学意义($P > 0.05$),但观察组患者术中手术时间及术中透视时间短于对照组($P < 0.05$),出血量少于对照组($P < 0.05$)。这是因为 3D 打印技术借助影像学检查,提前了解伤椎情况,后通过计算打印出精准化的手术辅助钉,特异性嵌合腰椎、固定钉,可有效防止固定偏差。罗安玉等^[13]关于老年胸腰椎骨折的相关研究指出,3D 打印技术可以有效

缩短手术治疗时间,降低术后并发症发生率,安全性高,手术效果好。同时,虚拟仿真技术可通过传感器、计算机软硬件等设备重现病灶,可协助医生根据患者的个体差异以制定骨折复位最佳方案,同时也能识别手术中可能面临的风险和疑难情况,并模拟出不同的解决方案和应对方法,进一步提高术中置钉的精确性和手术安全性^[14-15]。两种方法联合应用,可更加直观地向医生展现伤椎及周围组织情况,协助其制定更为完善的置钉方案。本研究认为,术前通过 3D 模型打印结合虚拟仿真技术通过术前明确置钉的最佳位置及螺钉的长度、直径、方向,可降低术中周围组织脏器的损伤,避免对腰椎组织的过度分离,最终达到加快手术进度,提高手术精确度的效果。观察组术中一次性置钉成功率为 92.31%,高于对照组的 70.73% ($P < 0.05$)。充分了解椎体解剖结构,不仅有利于明确置钉位置,还能减少术中损伤从而降低术后并发症的发生,但在本研究中,两组患者术后并发症的总发生率比较,差异无统计学意义($P > 0.05$),可能与样本量过少有关。

本研究结果还显示,术后 5 个月,观察组患者前后缘高度比高于对照组 ($P < 0.05$);矢状位后凸 Cobb 角分低于对照组 ($P < 0.05$),表明虚拟仿真技术结合 3D 打印技术制定的方案对患者术后伤椎功能恢复更具优势。术后 5 个月,观察组患者 ODI 评分低于对照组 ($P < 0.05$),提示观察组患者短期内腰椎功能更好。伍汉强等^[16]研究指出,虚拟仿真结合 3D 打印不仅能够提高手术效果,还能促进患者术后功能的恢复。Öztürk 等^[17]研究也指出,3D 打印技术的应用可降低内侧轴间侵犯发生率,缩短手术时间,提高椎弓根螺钉放置准确性。

综上,3D 打印结合虚拟仿真技术可为腰椎骨折手术制定个性化的置钉方案,缩短手术时间和 X 线透视时间,患者短期内恢复更佳,值得临床应用。

参考文献

- [1] 殷浩,余利军,方婷婷.舒筋壮骨汤结合经皮椎体成形术治疗骨质疏松压缩性脊柱骨折对患者腰椎功能和骨代谢水平的影响[J].中国中西医结合外科杂志,2023,29(1):47-51.
- [2] 魏兵,常山.脊柱骨折矢状面不同角度置钉方式的有限元分析[J].中国组织工程研究,2022,26(6):864-869.
- [3] 张庭庭,白曼莫,吉思璇,等.CT 三维重建及薄层扫描联合磁共振表观扩散系数定量诊断良性和恶性脊柱骨折的价值分析[J].中国 CT 和 MRI 杂志,2023,21(2):161-163.
- [4] 邵建树,刘伟峰,叶维,等.经椎弓根椎体内植骨联合短节段固定治疗老年脊柱骨折临床效果及对预后的影响[J].中国老年学杂志,2022,42(20):5001-5004.
- [5] 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.
- [6] 胡勇,袁振山,董伟鑫,等.个性化3D打印“定点-定向”双导板辅助寰枢椎后路椎弓根螺钉置钉技术的安全性和准确性[J].中华创伤杂志,2016,32(1):27-34.
- [7] Lewis GS,Wee H,Vicory J,*et al.* Virtual simulation for interactive visualization of 3D fracture fixation biomechanics[J].The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons,2022,30(1):e51-e58.
- [8] Fairbank JC,Pynsent PB.The Oswestry disability index[J].Spine,2000,25(22):2940-2953.
- [9] 申科律,计李超,成茂华,等.胸腰椎骨折椎弓根螺钉内固定术后椎体高度再丢失的相关影响因素分析[J].中华创伤杂志,2021,37(11):990-996.
- [10] 冯硕,何达,郑山,等.机器人辅助经肌间隙置入椎弓根螺钉在胸腰段骨折手术治疗的临床研究[J].中国骨与关节杂志,2022,11(8):611-616.
- [11] Uchiyama F,Noguchi T,Kamei S,*et al.* The usefulness of vertebral needle targeting simulation training system using ray-summation imaging:experimental study[J].Japanese Journal of Radiology,2022,40(10):1096-1103.
- [12] Éltés PE,Kiss L,Bartos M,*et al.* Attitude of spine surgeons towards the application of 3D technologies-a survey of AOSpine members[J].Ideggyogyaszati Szemle,2019,72(7-8):227-235.
- [13] 罗安玉,李景峰,刘瀚霖,等.3D打印技术结合椎弓根螺钉治疗老年胸腰段脊柱骨折的临床效果[J].中国老年学杂志,2020,40(14):3017-3020.
- [14] Homma Y,Mogami A,Baba T,*et al.* Is actual surgical experience reflected in virtual reality simulation surgery for a femoral neck fracture? [J].European Journal of Orthopaedic Surgery & Traumatology,2019,29(7):1429-1434.
- [15] Guo Q,Li X,Tang Y,*et al.* Augmented reality and three-dimensional plate library-assisted posterior minimally invasive surgery for scapula fracture[J].International Orthopaedics,2022,46(4):875-882.
- [16] 伍汉强,郑仕强,伍家志.虚拟仿真结合3D打印技术在脊柱骨折手术中的应用[J].海南医学,2022,33(19):2500-2503.
- [17] Öztürk AM,Stür O,Govsa F,*et al.* Patient-specific three-dimensional printing spine model for surgical planning in AO spine type-C fracture posterior long-segment fixation[J].Acta Orthopaedica et Traumatologica Turcica,2022,56(2):138-146.

(收稿日期:2023-02-09)

修回日期:2023-04-19)

(上接第1068页)

- [5] 高光剑,王兴,潘耀振.微小核糖核苷酸-21、异常凝血酶原及甲胎蛋白联合检测在肝细胞癌诊断中的价值[J].贵州医科大学学报,2021,46(12):1445-1451.
- [6] 中华人民共和国国家卫生健康委员会医政医管局.原发性肝癌诊疗指南(2022年版)[J].中华肝脏病杂志,2022,30(4):367-388.
- [7] 王贵强,王福生,庄辉,等.慢性乙型肝炎防治指南(2019年版)[J].中国病毒病杂志,2020,10(1):1-25.
- [8] Hanif H,Ali MJ,Susheela AT,*et al.* Update on the applications and limitations of alpha-fetoprotein for hepatocellular carcinoma [J].World Journal of Gastroenterology,2022,28(2):216-229.
- [9] Ahn KS,O'Brien DR,Kim YH,*et al.* Associations of serum tumor biomarkers with integrated genomic and clinical characteristics of hepatocellular carcinoma [J].Liver Cancer,2021,10(6):593-605.
- [10] 朱嫦琳,陈展泽,李启欣.基于决策曲线分析评估血清异常凝血酶原和甲胎蛋白在原发性肝癌中的诊断价值[J].实用医学杂志,2021,37(19):2524-2529.
- [11] 连丽丽,郭睿,张天骄,等.血清5项肿瘤标志物检测对肝癌的临床应用价值[J].临床检验杂志,2021,39(9):668-674.
- [12] Tayob N,Kanwal F,Alsarraj A,*et al.* The performance of AFP, AFP-3,DCP as biomarkers for detection of hepatocellular carcinoma (HCC):a phase 3 biomarker study in the United States[J].Clinical Gastroenterology and Hepatology,2023,21(2):415-423,e4.
- [13] 胡春梅,童玲,刘霞,等.血清异常凝血酶原、甲胎蛋白、铁蛋白和血清淀粉样蛋白A联合检测在原发性肝癌中的应用价值[J].国际检验医学杂志,2022,43(8):967-972.
- [14] 李艳萌,吴西彩,秦燕,等.DCP、CEA联合VEGF检测对原发性肝癌的诊断价值[J].分子诊断与治疗杂志,2021,13(12):1926-1929,1934.

(收稿日期:2023-01-24)

修回日期:2023-03-05)