

3D 打印辅助微创经皮钢板接骨与髓内钉治疗 AO12-C 型肱骨中上段骨折的比较

胡超然, 岑超德, 杨洋, 周城, 黄华先, 袁虹豪, 罗琴, 曹永飞

<https://doi.org/10.12307/2025.844>

投稿日期: 2024-07-16

采用日期: 2024-09-14

修回日期: 2024-11-01

在线日期: 2024-11-15

中图分类号:

R459.9; R318; R687.3

文章编号:

2095-4344(2025)33-07116-07

文献标识码: A

文章快速阅读: 3D 打印辅助微创经皮钢板接骨与髓内钉内固定治疗 AO12-C 型肱骨中上段骨折的疗效差异

研究对象:

36 例 AO12-C 型肱骨中上段骨折患者, 根据手术方式分为 3D 打印辅助微创钢板组和髓内钉组。

观察指标:

(1) 围术期相关指标情况;
(2) 肩关节功能及相关评分;
(3) 并发症情况。

结论:

两种手术方式均可获得良好的临床疗效, 但微创钢板手术在 3D 打印术前辅助下具有手术时间短的优势。

文题释义:

微创经皮钢板接骨术: 该技术不切开骨折断端皮肤, 在远离骨折断端部位切开很小的刀口, 通过骨膜外皮下隧道进行骨折固定, 不破坏骨膜血供, 能够充分保护骨折部位的生物环境, 以利于骨愈合。

3D 打印术前规划: 3D 打印是一种根据数字模型文件的快速原型制造技术, 能够将三维计算机模型直接转化为实体模型, 用可塑性材料或金属粉末等特定材料, 通过逐层打印的方式来构造三维物体。通过 3D 打印技术, 医生可以根据患者的 CT 扫描数据, 制作出准确的骨骼模型。这些模型不仅可以帮助外科医生更好地理解病变部位的解剖结构, 还可以用于模拟手术过程, 从而增加手术的成功率, 并缩短手术时间。

摘要

背景: AO12-C 型肱骨中上段骨折通常由高能量损伤引起, 骨折粉碎, 伴有较多的蝶形骨块, 难以获得良好复位和有效固定; 随着对骨与软组织生物学特征的认识逐渐提高, 目前手术治疗也逐渐向微创钢板和髓内钉内固定等方式转变, 但对于微创经皮钢板接骨和髓内钉哪项是治疗肱骨骨折的最佳技术迄今尚未达成共识。

目的: 比较 3D 打印辅助微创经皮钢板接骨与髓内钉治疗 AO12-C 型肱骨中上段骨折的疗效。

方法: 回顾性分析 2020 年 1 月至 2022 年 12 月北京积水潭医院贵州医院收治的符合纳入标准的 36 例 AO12-C 型肱骨中上段骨折患者, 根据手术方式将患者分为微创钢板组和髓内钉组, 每组 18 例。微创钢板组在 3D 打印辅助进行术前规划的基础上进行微创钢板接骨治疗; 髓内钉组进行髓内钉内固定治疗。比较两组患者手术时间、术中出血量、住院时间及骨折愈合时间; 对比两组术后 1, 3, 6 个月的疼痛目测类比评分、末次随访时肩关节功能、Constant-Murley 评分、快速肩臂手功能障碍评分以及并发症等指标情况。

结果与结论: ①所有患者平均随访(15.56±4.05)个月, 两组患者住院时间和骨折愈合时间相比差异无显著性意义($P > 0.05$), 微创钢板组手术时间更短($P < 0.05$), 髓内钉组术中出血更少($P < 0.05$); ②术后 1, 3 个月时髓内钉组目测类比评分低于微创钢板组($P < 0.05$), 但在长期随访时两组患者目测类比评分、末次随访时 Constant-Murley 评分、快速肩臂手功能障碍评分及肩关节功能均无显著差异($P > 0.05$); ③两组患者均未出现骨不连及伤口感染等并发症, 微创钢板组患者术后出现 2 例桡神经麻痹, 均在术后 3 个月内恢复, 而髓内钉组出现 1 例肩袖损伤; 两组患者的术后并发症发生率无显著差异($P > 0.05$); ④提示微创经皮钢板接骨技术及髓内钉治疗 AO12-C 型肱骨中上段骨折均可获得良好的临床疗效, 能够有效改善患者的肩关节功能, 但微创经皮钢板接骨技术在 3D 打印术前辅助下具有手术时间短的优势, 是治疗 AO12-C 型肱骨中上段骨折一种有价值、有效且安全的方法。

关键词: 3D 打印; 肱骨中上段骨折; 经皮微创接骨板; 髓内钉; 内固定; 桡神经损伤; 肩袖损伤

3D printing assisted minimal invasive plate osteosynthesis versus intramedullary nail for treatment of AO12-C middle-proximal humeral fractures

Hu Chaoran, Cen Chaode, Yang Yang, Zhou Cheng, Huang Huaxian, Yuan Honghao, Luo Qin, Cao Yongfei

Department of Orthopedics, Guizhou Hospital of Beijing Jishuitan Hospital, Guiyang 550014, Guizhou Province, China

Hu Chaoran, MS, Attending physician, Department of Orthopedics, Guizhou Hospital of Beijing Jishuitan Hospital, Guiyang 550014, Guizhou Province, China

Corresponding author: Cao Yongfei, MD, Chief physician, Department of Orthopedics, Guizhou Hospital of Beijing Jishuitan Hospital, Guiyang 550014, Guizhou Province, China

北京积水潭医院贵州医院创伤骨科, 贵州省贵阳市 550014

第一作者: 胡超然, 男, 1991 年生, 江西省宜春市人, 硕士, 主治医师, 主要从事创伤骨科研究。

通讯作者: 曹永飞, 博士, 主任医师, 北京积水潭医院贵州医院创伤骨科, 贵州省贵阳市 550014

<https://orcid.org/0000-0002-7083-6458> (胡超然)

基金资助: 2022 年贵州省卫生健康委员会科学技术基金项目 (gzwkj2022-364), 项目负责人: 胡超然

引用本文: 胡超然, 岑超德, 杨洋, 周城, 黄华先, 袁虹豪, 罗琴, 曹永飞. 3D 打印辅助微创经皮钢板接骨与髓内钉治疗 AO12-C 型肱骨中上段骨折的比较 [J]. 中国组织工程研究, 2025, 29(33):7116-7122.



Abstract

BACKGROUND: The AO12-C type middle-proximal humeral fractures are usually caused by high-energy injuries, accompanied by comminuted fractures and a large number of butterfly-shaped bone fragments. These fractures are difficult to achieve good reduction and effective fixation. With the increasing understanding of the biological characteristics of bone and soft tissue, surgical treatment is gradually shifting towards minimally invasive steel plates and intramedullary nail fixation. However, there has been no consensus on which is the best surgical technique for treating humeral fractures in minimal invasive plate osteosynthesis and intramedullary nail.

OBJECTIVE: To compare the clinical effect of minimal invasive plate osteosynthesis and intramedullary nail for treating AO12-C type middle-proximal humeral fractures.

METHODS: A retrospective analysis was performed in 36 patients with AO12-C type middle-proximal humeral fracture who met the inclusion criteria admitted to the Guizhou Hospital of Beijing Jishuitan Hospital from January 2020 to December 2022. All patients were assigned to minimal invasive plate osteosynthesis group (18 cases) and intramedullary nail group (18 cases) according to the surgical treatment plan. The minimal invasive plate osteosynthesis group received minimally invasive plate osteosynthesis based on preoperative planning assisted by 3D printing, while the intramedullary nail group received intramedullary nail internal fixation. Operation time, intraoperative blood loss, hospital stay, and fracture healing time were compared between the two groups. Visual analog scale score at 1, 3, and 6 months after surgery, shoulder joint function, Constant-Murley score, Quick Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand (QuickDASH) score, and complications of the shoulder joint at the last follow-up were compared between the two groups.

RESULTS AND CONCLUSION: (1) All patients were followed-up for average (15.56±4.05) months, and no difference was observed in hospital stay and fracture healing time between the two groups ($P > 0.05$). The minimal invasive plate osteosynthesis group had shorter operation time compared to the intramedullary nail group ($P < 0.05$). The intramedullary nail group had less intraoperative blood loss between the two groups of patients ($P < 0.05$). (2) In the intramedullary nail group, at 1 and 3 months after operation, the visual analog scale score was significantly lower than the minimal invasive plate osteosynthesis group ($P < 0.05$). No difference was observed in the visual analog scale in long-term follow-up, shoulder joint function, Constant-Murley score, Quick Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand (QuickDASH) score at the last follow-up between the two groups ($P > 0.05$). (3) No complications such as nonunion or wound infection occurred in either group. Two cases of radial nerve palsy occurred in minimal invasive plate osteosynthesis group, both of which recovered within 3 months. The intramedullary nail group had 1 case of rotator cuff injury. There was no significant difference in the rate of complications between the two groups ($P > 0.05$). (4) To conclude, minimal invasive plate osteosynthesis and intramedullary nail can achieve good clinical efficacy in the treatment of AO12-C type middle-proximal humeral fractures, effectively improving shoulder joint function in patients. However, minimal invasive plate osteosynthesis exhibits obvious advantages in shorter surgical time with the assistance of 3D printing, which is a valuable, effective, and safe method for treating AO12-C type middle-proximal humeral fractures.

Key words: 3D printing; middle-proximal humeral fracture; percutaneous minimally invasive bone plate; intramedullary nail; internal fixation; radial nerve injury; rotator cuff injury

Funding: 2022 Science and Technology Fund Project of Guizhou Provincial Health Commission, No. gzwkj2022-364 (to HCR)

How to cite this article: HU CR, CEN CD, YANG Y, ZHOU C, HUANG HX, YUAN HH, LUO Q, CAO YF. 3D printing assisted minimal invasive plate osteosynthesis versus intramedullary nail for treatment of AO12-C middle-proximal humeral fractures. *Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu*. 2025;29(33):7116-7122.

0 引言 Introduction

肱骨干骨折占有所有骨折的 3%^[1], 最常见的骨折部位是中段。切开复位内固定是目前治疗肱骨骨折的常用手术方法之一。然而, 完全切开复位需要广泛的软组织暴露及断端剥离, 常伴有较多的并发症^[2-3]。微创经皮钢板接骨术目前已成为一种先进的手术方法, 通过小切口微创复位骨折, 无需骨折端完全暴露, 在皮下建立隧道进行钢板桥接固定^[4]。髓内钉内固定术同样在治疗肱骨干骨折中应用多年, 其优点在于微创的手术技术以及稳定的生物力学, 但部分肱骨干骨折患者术后仍会并发肩袖损伤、肩关节活动障碍等并发症。两种手术方式均能有效避免因广泛剥离造成的骨折端血运破坏, 有效降低术后并发症发生的风险, 如切口感染和骨不连等^[5], 但临床上对于采用哪种内固定方案更安全有效仍有争议^[6]。而 AO12-C 型肱骨中上段骨折通常由高能量损伤引起, 骨折粉碎, 伴有较多的蝶形骨块, 难以获得良好复位和有效固定^[7], 目前对于此类复杂骨折的微创治疗对比较少, 由于此类骨折的复杂性, 微创经皮钢板接骨术的应用受到限制, 因此作者考虑采用 3D 打印辅助进行术前规划, 以确保微创经皮钢板接骨术的顺利实施。此次研究通过回顾性分析对比微创经皮钢板接骨和髓内钉方式治疗 AO12-C 型肱骨中上段骨折患者的临床效果。

1 对象和方法 Subjects and methods

1.1 设计 回顾性对比分析, 术前术后计量资料比较采用

t 检验, 计数资料比较采用卡方检验。

1.2 时间及地点 试验于 2020 年 1 月至 2022 年 12 月在北京积水潭医院贵州医院创伤骨科完成。

1.3 材料 植入物介绍见表 1。

表 1 | 植入物的材料学特征

Table 1 | Material characteristics of implants

项目	钢板系统	肱骨髓内钉系统
生产厂家	苏州欣荣博尔特医疗器械有限公司	厦门大博医疗科技股份有限公司
批准号	国械注准 20153131769	国械注准 20153131195
材质	钛合金	钛合金
与人的生物相容性	良好	良好
不良反应	无	无

1.4 对象 选择 2020 年 1 月至 2022 年 12 月北京积水潭医院贵州医院收治符合标准的 36 例 AO12-C 型肱骨中上段骨折患者, 根据术式分为 2 组: 其中微创钢板组 18 例, 男 7 例, 女 11 例, 年龄 27-74 岁, 平均 (49.72±13.54) 岁; 髓内钉组 18 例, 男 10 例, 女 8 例, 年龄 29-76 岁, 平均 (53.56±13.42) 岁。两组患者的一般资料相比差异无显著性意义 ($P > 0.05$), 具有可比性。

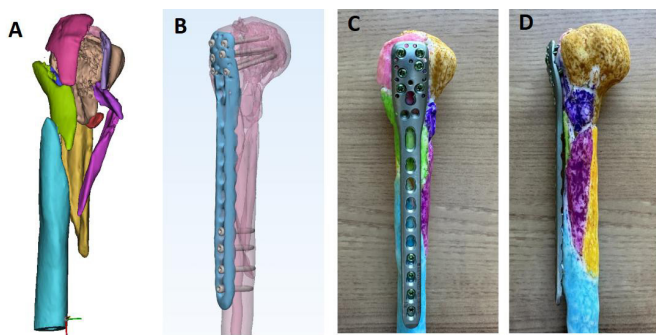
纳入标准: ①闭合性肱骨中上段骨折; ②骨折分型为 AO12-C 型; ③骨折时间少于 3 周; ④无血管神经损伤。

排除标准: ①病理性骨折; ②合并神经损伤; ③开放性骨折; ④既往有认知功能障碍或精神疾病史; ⑤骨骺未闭合的青少年患者; ⑥合并严重器质性疾病者。

此次研究获得了北京积水潭医院贵州医院机构伦理委员会批准(批号:20211019)。所有患者及其家属均对治疗过程完全知情同意,并签署知情同意书。

1.5 方法

1.5.1 微创钢板组术前3D打印模拟手术 对微创钢板组所有肱骨骨折进行CT平扫,将数据导入Mimics 21.0软件中进行三维重建,然后数据以STL格式输入到3D打印机(Lite SLA600),打印出与实际骨折形态等比例的实物模型。利用3-Matic软件进行骨折模拟复位,并选用合适的钢板螺钉进行模拟固定,同时在3D打印的实体模型上进行验证。记录选择的钢板和螺钉,准备2套消毒以备手术使用^[8]。见图1。



图注:图A为患者术前患肢三维CT数据导入Mimics 21.0软件中重建后图像;B为3-Matic软件中模拟复位钢板固定后图像;C、D为骨折在实体模型上的模拟复位固定。

图1 | 微创钢板组患者3D打印术前模拟

Figure 1 | 3D printing preoperative simulation in the minimal invasive plate osteosynthesis group

1.5.2 手术方法 两组患者手术均由同一名高年资主任医师主刀完成。

微创钢板组:待臂丛麻醉生效后,患者取仰卧位,术区常规消毒铺巾,上肢外展于手术桌上,近端采用胸大肌-三角肌入路,切口长约5 cm,逐层切开皮肤、皮下,保护头静脉,沿胸大肌三角肌肌间隙进入,逐层分离暴露肱骨近端,贴骨面向远端剥离,手指探及肱骨中上段断端,另于骨折远端取一长约3 cm纵行切口,肌皮神经位于腋肌表面,劈开腋肌后逐层分离显露桡神经,皮条小心牵开保护桡神经,暴露肱骨中段,建立肌肉下骨膜外通道,牵拉复位骨折端,多枚克氏针或螺钉固定,骨折端较碎,此时仅复位大蝶形骨块,恢复肱骨力线,其他小骨折块保持原位,避免骨折区域暴露过大,于隧道内从近端向远端插入肱骨近端锁定钢板,远近端分别予数枚锁定螺钉固定,术中C臂透视检查见骨折对位对线满意,内固定位置及长度合适,被动活动肩关节可,无撞击感,检查桡神经与钢板无卡压,生理盐水冲洗创面,逐层关闭切口。

髓内钉组:手术由同一主刀医师完成,臂丛神经阻

滞麻醉后,患者取沙滩椅位,上肢常规消毒铺巾,于肩峰前缘外侧取约3 cm纵行切口,逐层切开,纵行劈开三角肌,暴露肱骨大结节和肩袖,取肱骨大结节内侧、结节间沟外侧处为进针点,C臂机正侧位透视均满意后,牵引上肢推顶近端骨折,尽可能闭合复位骨折端,近端开口,插入导针至远端髓腔。根据术前测量并逐号扩髓,顺行插入合适型号的髓内钉,移位明显且较大的蝶形骨块必要时小切口下复位后钛缆捆扎固定,复位时注意显露并保护桡神经;近远端各以数枚锁定螺钉固定。再次C臂透视确认髓内钉、锁钉位置及骨折端复位满意后,被动活动肩关节无受限,无肩峰撞击,缝合肩袖,生理盐水冲洗创面,逐层关闭切口。

1.5.3 术后处理 所有患者术后采取常规颈腕吊带固定,术后第1天开始活动患肢肘关节,术后1周可适当主动行患肩钟摆运动,被动活动肩关节,术后6周开始主动恢复肩关节活动。术后1,3个月以及后期每3个月进行一次随访研究,直到X射线平片证实骨折愈合。

1.6 主要观察指标 (1)比较围术期两组患者的手术时间、术中失血量、住院时间和骨折愈合时间等情况。骨折愈合标准:①按压或叩击骨折端无疼痛感;②患肢活动无限制,无异常活动;③X射线片显示骨折线模糊不清,可见骨痂形成;④外部固定物拆除后,上肢能够举2 kg的重物长达1 min。(2)术后1,3,6个月通过疼痛目测类比评分评估患者疼痛(0分无痛,10分剧痛);末次随访时用Constant-Murley评分、快速肩臂手功能障碍评分(quick disabilities of the arm, shoulder and hand, QuickDASH)及肩关节活动范围评估肩关节功能情况;Constant-Murley评分包括疼痛、肩关节肌力、日常活动、肩关节活动范围4个方面;QuickDASH评分包括日常功能和疼痛两个方面,评分越高表明患者肩关节功能障碍越严重。(3)术中及术后并发症:包括桡神经损伤、骨不连、肩袖损伤和手术切口感染等。

1.7 统计学分析 采用SPSS 24.0软件进行统计学分析,计量资料符合正态分布的用 $\bar{x} \pm s$ 表示,组间比较采用独立样本t检验;两组间计数资料比较采用 χ^2 检验; $P < 0.05$ 被认为差异有显著性意义。文章统计学方法已经北京积水潭医院贵州医院统计学专家审核。

2 结果 Results

2.1 参与者数量分析 纳入AO12-C型肱骨中上段骨折患者36例,根据手术方式分成2组,微创钢板组18例,髓内钉组18例,全部进入结果分析,无脱落数据。

2.2 试验流程图 见图2。

2.3 一般资料比较 两组间一般资料比较差异无显著性意义($P > 0.05$),具有可比性,见表2。

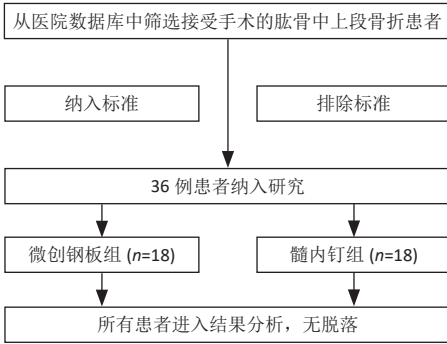


图2 | 试验分组流程图
Figure 2 | Flow chart of patient assignment

表2 | 两组患者一般资料对比 (n=18)
Table 2 | Comparison of general data of patients between the two groups

指标	微创钢板组	髓内钉组	P 值
年龄 ($\bar{x}\pm s$, 岁)	49.72±13.54	53.56±13.42	0.962
性别 (n/%)			0.371
男性	7/39	10/56	
女性	11/61	8/44	
骨折方位 (n/%)			0.234
左侧	8/44	9/50	
右侧	10/56	9/50	
受伤机制 (n/%)			0.423
交通事故	5/28	3/17	
摔伤	13/72	15/83	
AO-OTA 分型 (n/%)			0.879
C1	8/44	9/50	
C2	3/17	2/11	
C3	7/39	7/39	

2.4 术中及术后结果 所有患者均成功完成手术, 平均随访 (15.56±4.05) 个月。两组患者的住院时间及骨折愈合时间相比差异无显著性意义 ($P > 0.05$); 两组患者中微创钢板组手术时间更短 ($P < 0.05$), 髓内钉组术中出血更少 ($P < 0.05$)。见表3。

表3 | 两组患者术中及术后相关情况比较 (n=18)
Table 3 | Comparison of intraoperative and postoperative data of patients between the two groups

指标	微创钢板组	髓内钉组	t 值	P 值
术中出血 (mL)	143.33±39.56	92.22±23.15	4.731	0.045
手术时间 (min)	89.72±6.75	99.44±15.14	-2.489	0.007
住院时间 (d)	4.28±0.67	4.22±0.73	0.238	0.722
骨折愈合时间 (周)	15.28±1.49	14.95±1.21	0.737	0.183

2.5 肩关节功能及相关评分 术后1, 3个月时髓内钉组目测类比评分低于微创钢板组 ($P < 0.05$), 但在长期随访时两组患者目测类比评分、末次随访时 Constant-Murley 评分、QuickDASH 评分及肩关节活动度均无显著差异 ($P > 0.05$), 见表4。

2.6 并发症情况 微创钢板组患者术后出现2例桡神经麻痹, 均在术后3个月内恢复; 而髓内钉组出现1例肩袖损伤; 两组患者的术后并发症发生率无显著差异 ($P > 0.05$), 见表5。

表4 | 两组患者术后肩关节功能情况比较 (n=18)
Table 4 | Comparison of shoulder joint function of patients between the two groups after surgery

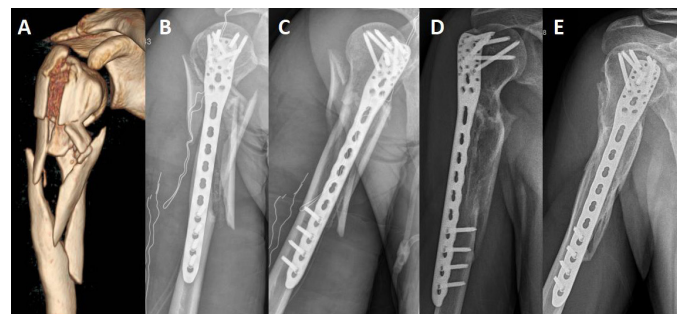
指标	微创钢板组	髓内钉组	t 值	P 值
疼痛目测类比评分				
术后1个月	5.44±1.10	2.89±0.68	8.415	0.009
术后3个月	3.78±1.06	2.17±0.71	5.363	0.045
术后6个月	0.67±0.69	0.33±0.49	1.683	0.084
快速肩臂手功能障碍评分	14.44±8.72	18.42±10.11	-1.264	0.737
Constant-Murley 评分	71.00±11.12	70.44±10.68	0.153	0.940
肩关节活动度 (°)				
前屈	138.89±14.51	129.72±13.66	1.952	0.779
后伸	42.22±8.26	41.11±9.32	0.378	0.541
外展	135.83±19.87	125.00±14.45	1.871	0.199
外旋	60.56±6.84	55.00±7.07	2.397	0.963
内旋	44.17±10.61	40.83±9.89	0.975	0.375

表5 | 两组患者并发症情况比较 (n=18, n)
Table 5 | Comparison of complications of patients between the two groups

并发症	微创钢板组	髓内钉组	χ^2 值	P 值
桡神经损伤 (n)	2	0	2.118	0.146
骨不愈合 (n)	0	0		
肩袖损伤 (n)	0	1	1.029	0.310
切口感染 (n)	0	0		
并发症发生率 (%)	11	6	0.364	0.546

所有植入物生物相容性良好, 未出现植入物周围感染、过敏反应、免疫反应及排斥反应等情况。

2.7 典型病例 见图3, 4。



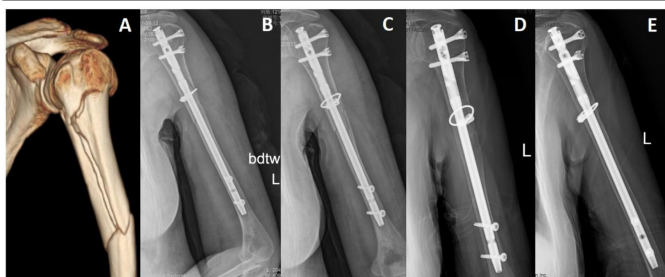
图注: 图A为患者术前患肢三维CT图像, 诊断为右肱骨中上段粉碎性骨折, AO分型为12-C3型; B, C为术后即刻肱骨正、侧位X射线片, 可见肱骨力线良好; D, E为术后1年复查肱骨正、侧位X射线片, 可见骨愈合。

图3 | 微创钢板组33岁男性右肱骨中上段粉碎性骨折患者手术前后影像学资料

Figure 3 | Imaging data of a 33-year-old male patient with comminuted fracture of the middle-proximal right humerus in the minimal invasive plate osteosynthesis group before and after operation

3 讨论 Discussion

肱骨干骨折的治疗目标在于减轻患者痛苦、促进骨折愈合、恢复患肢功能, 以利于患者早日回归正常的社会生活。过去, 肱骨干骨折通常采用肩部悬吊、U形石膏固定等保守治疗, 但由于固定不牢靠, 常常出现骨不连或畸形愈合等并发症, 因此, 目前大多数肱骨干骨折更



图注：图 A 为患者术前患肢三维 CT 图像，诊断为左肱骨中上段粉碎性骨折，AO 分型为 12-C2 型；B、C 为术后即刻肱骨正、侧位 X 射线片，可见髓内钉位置良好，骨折复位满意；D、E 为术后 1 年复查肱骨正、侧位 X 射线片，可见骨愈合。

图 4 | 髓内钉组 73 岁女性左肱骨中上段粉碎性骨折患者手术前后影像学资料

Figure 4 | Imaging data of a 73-year-old female patient with comminuted fracture of the middle-proximal part of the left humerus in the intramedullary nail group before and after operation

倾向于手术治疗^[9]。近年来有许多研究报道了肱骨中上段骨折的治疗，NICOLACI 等^[10]使用螺旋钢板治疗肱骨中上段骨折，并通过螺旋钢板桥接固定，从而减少对桡神经的干扰，改善术后功能的恢复。WANG 等^[11]研究表明，通过 3D 打印技术辅助预塑形钢板可以准确地贴附肱骨干并坚强固定，术后 12 个月随访时的平均 Constant-Murley 评分为 76.8 分。GARCÍA-VIRTO 等^[12]使用了微创经皮钢板接骨技术的螺旋钢板，同样获得了令人满意的功能结果，桡神经损伤的风险低，至最终随访时，肩部外展的平均值为 147°。

因此，在用于治疗肱骨中上段骨折的各种手术方法中，钢板和髓内钉固定仍然是最常见的手术方式^[13]，但是切开复位内固定术通常需要进行广泛的软组织暴露及剥离，对骨膜和周围血供产生一定破坏，其术后并发症发生率较高^[14]，尤其对于 AO12-C 型的肱骨中上段骨折，更是创伤骨科的一大挑战。随着对骨与软组织的生物学特征的认识逐渐提高，目前手术治疗也逐渐向微创钢板和髓内钉内固定等方式转变，以减轻手术创伤，缩短手术时间，减轻患者痛苦，促进骨折快速愈合为主^[15]；但一直以来，微创经皮钢板接骨技术和髓内钉哪项是治疗肱骨骨折的最佳手术技术尚未达成共识。WANG 等^[16]研究发现，在 55 例肱骨中上段骨折患者中，髓内钉组和微创钢板组均具有良好的临床结果和较低的并发症发生率；而王延鹤等^[17]及许志贤等^[18]对肱骨干骨折开展回顾性研究发现，微创经皮钢板接骨技术与髓内钉内固定术治疗肱骨干骨折均能获得较为满意的疗效，但微创钢板组骨折愈合时间更短、术后肩关节功能更优。因此，作者进行了这项回顾性研究，对比分析微创经皮钢板接骨技术和髓内钉治疗 AO12-C 型肱骨中上段骨折的临床效果。

此次研究表明，两组患者的住院时间和骨折愈合时

间差异无显著性意义，所有患者均未出现骨不连及切口感染。髓内钉的优势：①微创且创伤小：此次研究中髓内钉组术中出血少于微创钢板组，这是因为髓内钉采取闭合插针技术，减少对骨折周围软组织的剥离，恢复上肢力线，能够保证骨折处血供，利于患者骨折愈合^[19]。②术后早期体验好，术后疼痛感少：此次研究表明，远期两组患者目测类比评分、QuickDASH、Constant-Murley 评分以及肩关节活动度相近，均能获得良好的临床疗效，但术后前 3 个月髓内钉组目测类比评分显著低于微创钢板组，这是因为钢板治疗术中剥离，软组织损伤的疼痛更为明显，而闭合髓内钉治疗操作微创，对软组织干扰少、疼痛程度轻^[20]。③降低术后并发症率：髓内钉是通过骨干的轴心固定，符合生物力学原理，抗旋转、抗折断优势明显，血供破坏少，因而此组病例并未出现骨不连等并发症。另外，髓内钉远端锁钉设计方向为从前向后，距离桡神经较远，医源性桡神经损伤概率较低^[21]。术后患者疼痛及不适感较轻，可早期行肩关节功能锻炼。

同样，微创经皮钢板接骨技术提供了较高的生物稳定性，并减少了相关并发症^[22-23]，它保留了断端周围软组织和骨膜，避免骨折端完全暴露，以实现间接的骨愈合^[24]。同时，微创经皮钢板接骨技术只需 2 个小切口，显著减少了相关并发症的出现，同时减少了医源性损伤和肩部不适，更有利于术后肩功能的恢复^[25]。

众所周知，微创经皮钢板接骨技术对手术医生技术要求较高，无法全面普及，有时复位困难可能最终转为切开复位内固定治疗，反而延长了手术时间，增加了术后并发症出现的概率；因而此次研究通过 3D 打印术前模拟复位，确保微创经皮钢板接骨手术的成功率，而结果表明，微创钢板组相较于髓内钉组手术时间更短，这可能要归功于术前 3D 打印的辅助。

术前 3D 打印技术的普及为手术操作带来了便利性^[26]：①通过 CT 数据导入重建等比例骨折实体模型，能够让手术医生对骨折的类型、移位方向等有更直观的了解，从而制定更有效的手术入路及手术方案^[27]。②肱骨中上段处钢板与骨面不贴附是术中常出现的问题，往往需要反复塑形及调整位置才能达到满意的效果。通过 3D 打印骨折模型，可以对钢板提前塑形，确定合适的钢板及螺钉消毒备用，便于术中直接使用，可缩短手术时间并提高手术效率，减少术后并发症的发生^[28]。③术前可通过 3D 打印模型直观的对患者讲解骨折情况及相应治疗方案，有助于患者及家属理解病情并取得配合，使医患关系更加融洽。尽管在此次研究中 3D 打印术前模拟显示了一定的优点，但也存在一些局限性：首先，3D 打印通常需要 3-5 d 的制备时间，程序较为繁杂，制作过程时间较长^[29]；

其次, 3D 打印只是一种辅助技术来提高手术效率, 不同经验手术医生需求不一, 并非强制执行, 同时其打印模型价格较高, 增加了患者的治疗费用, 因此限制了其使用^[30]。

并发症方面, 微创钢板组出现了 2 例桡神经损伤, 但均在术后 3 个月内恢复。有文献报道, 肱骨干骨折中医源性桡神经损伤概率为 2.7%–20%, 这主要与暴露不足和过度牵引有关^[31]。作者最近的研究倾向于术前通过 B 超进行精确定位, 尽可能减少医源性桡神经损伤概率^[32–33]。同时, 桡神经从肱骨外侧上髁平均 14 cm 处从后方穿至前外侧^[34], 微创经皮钢板接骨技术治疗的远端入路一般可以直接分离并暴露桡神经, 所以在此次研究中, 钢板位于肱骨前外侧, 远端离桡神经还有一定距离, 同时术中对桡神经均进行了充分暴露及保护, 因此微创经皮钢板接骨技术并不会增加医源性神经血管损伤的风险。髓内钉虽然能够有效避免医源性的桡神经损伤, 但却容易出现肩峰撞击、肩袖损伤等造成肩关节功能的损害^[35–36]。此次研究中髓内钉组出现 1 例肩袖损伤, 可能是由于近端螺钉尾部对肩袖的刺激或粘连性肩关节炎引起^[37]; 然而, 随着新型髓内钉手术技术的发展, 包括肩袖损伤和术后肩关节功能损伤在内的并发症已经逐步改善^[38–40]。

另外此次研究仍然存在许多不足: ①此次研究是回顾性研究, 研究结果方面难免存在一定程度的偏倚性和主观性; ②患者样本量较少, 且对于此类复杂骨折, 主刀医师的手术经验将会对结果造成较大影响, 因此为了得出更明确的结论, 更大的样本量以及更为全面的数据才能进一步证实临床效果。

综上所述, 微创经皮钢板接骨技术及髓内钉治疗复杂肱骨中上段骨折均可获得良好的临床疗效, 能够有效改善患者肩关节功能; 但微创经皮钢板接骨手术在 3D 打印术前辅助下具有手术时间短的优势, 是治疗复杂肱骨中上段骨折的一种有价值、有效且安全的方法。

作者贡献: 胡超然、曹永飞负责研究设计, 全体作者共同参与文章写作, 岑超德负责分析总结, 周城、罗琴负责数据的收集, 曹永飞负责项目指导与最终审核。

利益冲突: 文章的全部作者声明, 在课题研究和文章撰写过程中不存在利益冲突。

开放获取声明: 这是一篇开放获取文章, 根据《知识共享许可协议》“署名-非商业性使用-相同方式共享 4.0”条款, 在合理引用的情况下, 允许他人以非商业性目的基于原文内容编辑、调整和扩展, 同时允许任何用户阅读、下载、拷贝、传递、打印、检索、超级链接该文献, 并为之建立索引, 用作软件的输入数据或其它任何合法用途。

版权转让: 文章出版前全体作者与编辑部签署了文章版权转让协议。

出版规范: 该文章撰写遵守了《观察性临床研究报告指南》(STROBE 指南)。文章出版前已经过专业反剽窃文献检测系统进行 3 次文字和图表查重, 文章经小同行外审专家双盲审稿, 同行评议认为文章符合期刊发稿宗旨。

4 参考文献 References

- [1] VAN DE WALL BJM, OCHEN Y, BEERES FJP, et al. Response to Yin et al regarding: “Conservative vs. operative treatment for humeral shaft fractures: a meta-analysis and systematic review of randomized clinical trials and observational studies”. *J Shoulder Elbow Surg.* 2021; 30(1):e32-e33.
- [2] MAES V, PUTZEYS G. One-year follow-up after treatment of proximal and/or middle one-third humeral shaft fractures with a helical plate: healing rates, complications and functional outcome measures. *BMC Musculoskelet Disord.* 2021;22(1):890.
- [3] VAN DE WALL BJM, BAUMGÄRTNER R, HOUWERT RM, et al. MIPO versus nailing for humeral shaft fractures: a meta-analysis and systematic review of randomised clinical trials and observational studies. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2022;48(1):47-59.
- [4] 征华勇, 高杰, 郭永智, 等. 前外侧入路微创接骨板接骨术治疗肱骨中下段骨折的临床疗效 [J]. *中华创伤杂志*, 2021,37(6):549-554.
- [5] XUE Z, JIANG C, HU C, et al. Effects of different surgical techniques on mid-distal humeral shaft vascularity: open reduction and internal fixation versus minimally invasive plate osteosynthesis. *BMC Musculoskelet Disord.* 2016;17(1):370.
- [6] MAHABIER KC, VAN LIESHOUT EM, VAN DER SCHAAF BC, et al. Reliability and Reproducibility of the OTA/AO Classification for Humeral Shaft Fractures. *J Orthop Trauma.* 2017;31(3):e75-e80.
- [7] BEERES FJ, DIWERSI N, HOUWERT MR, et al. ORIF versus MIPO for humeral shaft fractures: a meta-analysis and systematic review of randomized clinical trials and observational studies. *Injury.* 2021;52(4): 653-663.
- [8] HU C, QIU B, CEN C, et al. 3D printing assisted MIPO for treatment of complex middle-proximal humeral shaft fractures. *BMC Musculoskelet Disord.* 2024;25(1):93.
- [9] 陈飞锋, 陈丽娜, 孟祥博, 等. 肱骨干骨折术后肘关节功能障碍康复及预后分析 [J]. *浙江创伤外科*, 2022,27(5):837-838.
- [10] NICOLACI G, MAES V, LOLLINO N, et al. How to treat proximal and middle one-third humeral shaft fractures: the role of helical plates. *Musculoskelet Surg.* 2023;107(2):231-238.
- [11] WANG Q, HU J, GUAN J, et al. Proximal third humeral shaft fractures fixed with long helical PHILOS plates in elderly patients: benefit of pre-contouring plates on a 3D-printed model—a retrospective study. *J Orthop Surg Res.* 2018;13(1):203.
- [12] GARCÍA-VIRTO V, SANTIAGO-MANIEGA S, LLORENTE-PERIS A, et al. MIPO helical pre-contoured plates in diaphyseal humeral fractures with proximal extension. Surgical technique and results. *Injury.* 2021; 52 Suppl 4:S125-S130.
- [13] DENIES E, NIJS S, SERMON A, et al. Operative treatment of humeral shaft fractures. Comparison of plating and intramedullary nailing. *Acta Orthop Belg.* 2010;76(6):735-742.
- [14] 任东, 邢丹谋, 张明, 等. 桥接组合内固定系统与锁定钉板系统治疗闭合性肱骨干骨折的疗效比较 [J]. *中华骨科杂志*, 2022,42(3): 156-163.
- [15] 熊晨, 何贵平, 张堃, 等. 保守治疗、切开复位及经皮微创接骨板内固定和髓内钉固定治疗肱骨干骨折的网状 Meta 分析 [J]. *中国组织工程研究*, 2021,25(36):5878-5887.

- [16] WANG Y, CHEN H, WANG L, et al. Comparison between osteosynthesis with interlocking nail and minimally invasive plating for proximal- and middle-thirds of humeral shaft fractures. *Int Orthop*. 2021;45(8): 2093-2102.
- [17] 王延鹤, 成金磊, 吕飞飞, 等. 微创钢板接骨术与顺行交锁髓内钉内固定术治疗肱骨干骨折的临床疗效及安全性比较 [J]. *临床和实验医学杂志*, 2023,22(14):1515-1519.
- [18] 许志贤, 何武兵, 柯铁, 等. 微创钢板接骨术和交锁髓内钉内固定术治疗肱骨干骨折的疗效比较 [J]. *创伤外科杂志*, 2022,24(3): 192-197.
- [19] BOILEAU P, D'OLLONNE T, BESSIÈRE C, et al. Displaced humeral surgical neck fractures: classification and results of third-generation percutaneous intramedullary nailing. *J Shoulder Elbow Surg*. 2019; 28(2):276-287.
- [20] 王华松, 姜壮, 秦佳军, 等. 交锁髓内钉与锁定接骨板治疗老年内翻型肱骨近端骨折的疗效比较 [J]. *中华创伤杂志*, 2021,37(12): 1105-1111.
- [21] 王庆伟, 王华松, 石华峰, 等. 闭合复位髓内钉与切开复位锁定接骨板固定治疗肱骨中上段骨折的疗效比较 [J]. *中华创伤骨科杂志*, 2022,24(11):943-949.
- [22] SHETTY MS, KUMAR MA, SUJAY K, et al. Minimally invasive plate osteosynthesis for humerus diaphyseal fractures. *Indian J Orthop*. 2011;45(6):520-526.
- [23] CONCHA JM, SANDOVAL A, STREUBEL PN. Minimally invasive plate osteosynthesis for humeral shaft fractures: are results reproducible? *Int Orthop*. 2010;34(8):1297-1305.
- [24] LODÉ I, NORDVISTE V, ERICHSEN JL, et al. Operative versus nonoperative treatment of humeral shaft fractures: a systematic review and meta-analysis. *J Shoulder Elbow Surg*. 2020;29(12):2495-2504.
- [25] BOGNER R, HÜBNER C, MATIS N, et al. Minimally-invasive treatment of three- and four-part fractures of the proximal humerus in elderly patients. *J Bone Joint Surg Br*. 2008;90(12):1602-1607.
- [26] LI K, LIU Z, LI X, et al. 3D printing-assisted surgery for proximal humerus fractures: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2022;48(5):3493-503.
- [27] CHEN C, CAI L, ZHENG W, et al. The efficacy of using 3D printing models in the treatment of fractures: a randomised clinical trial. *BMC Musculoskelet Disord*. 2019;20(1):65.
- [28] ZHU D, ZHANG Z, ZHANG J, et al. The efficacy of 3D printing-assisted surgery in treating distal radius fractures: systematic review and metaanalysis. *J Comp Ef Res*. 2020;9(13):919-931.
- [29] COOK A, BALDWIN P, FOWLER JR. Incidence of flexor pollicis longus complications following volar locking plate fixation of distal radius fractures. *Hand (N Y)*. 2020;15(5):692-697.
- [30] WAN SX, MENG FB, ZHANG J, et al. Experimental study and preliminary clinical application of mini-invasive percutaneous internal screw fixation for scaphoid fracture under the guidance of a 3D-printed guide plate. *Curr Med Sci*. 2019;39(6):990-996.
- [31] DA SILVA T, RUMMEL F, KNOP C, et al. Comparing iatrogenic radial nerve lesions in humeral shaft fractures treated with helical or straight PHILOS plates: a 10-year retrospective cohort study of 62 cases. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2020;140(12):1931-1937.
- [32] CEN C, CAO Y, ZHANG Y, et al. Preoperative position and protection of radial nerve by B-ultrasound combined with MIPPO for treatment of middle-inferior humerus fractures. *J Orthop Surg Res*. 2022;17(1):260.
- [33] 樊伟, 宋哲, 王晨, 等. 单纯经皮微创钢板内固定技术与结合 B 超定位上臂神经治疗肱骨中上段骨折的疗效比较 [J]. *中华创伤骨科杂志*, 2021,23(8):669-673.
- [34] BENNINGER E, MEIER C. Minimally invasive lateral plate placement for metadiaphyseal fractures of the humerus and its implications for the distal deltoid insertion- it is not only about the radial nerve. A cadaveric study. *Injury*. 2017;48(3):615-620.
- [35] WANG Y, CHEN H, WANG L, et al. Comparison between osteosynthesis with interlocking nail and minimally invasive plating for proximal- and middle thirds of humeral shaft fractures. *Int Orthop*. 2021;45(8): 2093-2102.
- [36] 任敬, 贾斌, 郑世成, 等. 交锁髓内钉内固定治疗肱骨干骨折临床研究 [J]. *陕西医学杂志*, 2021,50(8):966-968,1030.
- [37] 刘涛, 查明建, 柯荣军. 第 3 代 multiloc 髓内针、普通弯型髓内针与肱骨近端锁定钢板治疗复杂肱骨近端骨折的比较 [J]. *中国组织工程研究*, 2023,27(22):3537-3543.
- [38] KONDA SR, SALEH H, FISHER N, et al. Humeral Shaft Fracture: Intramedullary Nailing. *J Orthop Trauma*. 2017;31 Suppl 3:S38.
- [39] FAN Y, LI YW, ZHANG HB, et al. Management of Humeral Shaft Fractures With Intramedullary Interlocking Nail Versus Locking Compression Plate. *Orthopedics*. 2015;38(9):e825-e829.
- [40] CHEN YN, CHANG CW, LIN CW, et al. Numerical investigation of fracture impaction in proximal humeral fracture fixation with locking plate and intramedullary nail. *Int Orthop*. 2017;41(7):1471-1480.

(责任编辑: LJY, GD, ZN, QY)