

3D 打印辅助 PMMA 骨水泥髓内支撑在肱骨近端骨质 疏松性骨折治疗中的应用

尹伟, 于洋, 宋永财, 黄军刚, 周娟, 杨立峰

(通用医疗汉中三二〇一医院创伤骨科 陕西 汉中 723000)

摘要 目的: 分析 3D 打印辅助聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA) 骨水泥髓内支撑在 Neer II、III、IV 型肱骨近端骨质疏松性骨折治疗中的应用。**方法:** 回顾性分析 2021 年 10 月—2023 年 11 月在通用医疗汉中三二〇一医院接受 3D 打印辅助 PMMA 骨水泥髓内支撑治疗的 90 例老年肱骨近端骨质疏松性骨折患者的临床资料, 根据 Neer 分型将所有患者分为 Neer II 型骨折组 ($n=28$)、Neer III 型骨折组 ($n=37$) 和 Neer IV 型骨折组 ($n=25$), 并观察患者的康复情况。**结果:** 三组患者术前患侧颈干角显著小于健侧颈干角 ($P<0.05$), 而术后 6 个月患侧颈干角与健侧颈干角比较, 差异无统计学意义 ($P>0.05$)。三组患者术中与术后 6 个月的肱骨头高度差值均 <5 mm。三组患者术后不同时间点的 VAS 评分和 Constant-Murley 评分均低于术前, 差异有统计学意义 ($P<0.05$); 各组内不同时间点评分两两比较, 差异有统计学意义 ($P<0.05$)。与术前相比, 三组患者术后 6 个月的生活质量各维度评分明显升高, 差异有统计学意义 ($P<0.05$)。**结论:** 对老年 Neer II、III、IV 型肱骨骨质疏松性骨折患者行 3D 打印辅助 PMMA 骨水泥髓内支撑治疗能有效促进患者术后恢复, 效果良好。

关键词 3D 打印技术; 聚甲基丙烯酸甲酯; 肱骨骨折; 骨质疏松

中图分类号 R683.4 **文献标识码** A **文章编号** 2096-7721 (2025) 03-0373-06

Application of 3D printing-assisted PMMA bone cement intramedullary support in the treatment of osteoporotic fractures of the proximal humerus

YIN Wei, YU Yang, SONG Yongcai, HUANG Jungang, ZHOU Juan, YANG Lifeng

(Department of Traumatic Orthopaedics, General Healthcare Hanzhong 3201 Hospital, Hanzhong 723000, China)

Abstract Objective: Analyze the application of 3D printing-assisted polymethylmethacrylate (PMMA) bone cemented intramedullary support in the treatment of Neer II, III, and IV osteoporotic fracture of the proximal humerus. **Methods:** 90 elderly patients with osteoporotic fractures of the proximal humerus who were treated with 3D printing-assisted PMMA bone cemented intramedullary support in General Healthcare Hanzhong 3201 Hospital from October 2021 to November 2023 were retrospectively selected and divided into the Neer II fracture group ($n=28$), the Neer III fracture group ($n=37$) and the Neer IV fracture group ($n=25$) according to the Neer classification, and the rehabilitation conditions of patients was observed. **Results:** The preoperative humeral neck-shaft angle of the affected side was all significantly smaller than that of the healthy side in the three groups ($P<0.05$), whereas the difference was not statistically significant at 6 months after surgery ($P>0.05$). The differences in humeral head height between intraoperative and postoperative 6-month measurements were all <5 mm in the three groups. VAS scores and Constant-Murley scores at different postoperative timepoints were all significantly lower than those before surgery in the three groups ($P<0.05$), and the scores at different timepoints in pairwise comparisons showed significant differences ($P<0.05$). The scores on quality of life in all dimensions were significantly increased in the three groups at 6 months postoperatively compared with those before surgery ($P<0.05$). **Conclusion:** Application of 3D printing-assisted PMMA bone cement intramedullary support in treating elderly Neer type II, III, and IV osteoporotic fractures of the humerus can effectively promote the postoperative recovery and has a good application effect.

Key words 3D Printing Technology; Polymethyl Methacrylate; Humeral Fracture; Osteoporosis

基金项目: 陕西省重点研发计划项目 (2019-SF-168)

Foundation Item: Key R&D Plan Project of Shaanxi Province(2019-SF-168)

引用格式: 尹伟, 于洋, 宋永财, 等. 3D 打印辅助 PMMA 骨水泥髓内支撑在肱骨近端骨质疏松性骨折治疗中的应用 [J]. 机器人外科学杂志 (中英文), 2025, 6 (3): 373-378.

Citation: YIN W, YU Y, SONG Y C, et al. Application of 3D printing-assisted PMMA bone cement intramedullary support in the treatment of osteoporotic fractures of the proximal humerus[J]. Chinese Journal of Robotic Surgery, 2025, 6(3): 373-378.

通讯作者 (Corresponding Author): 杨立峰 (YANG Lifeng), Email: hunanylf@163.com

人口老龄化使骨质疏松性肱骨上端骨折的发病率显著升高，尤其在 40 岁以后发病率急剧上升。这类骨折约占成人骨折的 5%~6%，超过 70% 的病例集中于 60 岁以上的老年人群，其中女性约占四分之一^[1-2]。骨质疏松性肱骨上端骨折常表现为复杂的粉碎性骨折，严重干扰肱骨头的血液供应^[3-4]。传统钢板治疗在处理这类骨折时难以实现稳固的复位，同时发生术后并发症的风险较高^[5-6]。近年来，3D 打印技术在医疗领域中的应用日益成熟，为解决此类骨折的治疗难题带来了新思路^[7-8]。本研究旨在探讨 3D 打印辅助聚甲基丙烯酸甲酯（PMMA）骨水泥髓内支撑在 Neer II、III、IV 型肱骨近端骨质疏松性骨折治疗中的临床疗效，为此类疾病的治疗提供更多选择。

1 资料与方法

1.1 一般资料 回顾性分析通用医疗汉中三二〇一医院 2021 年 10 月—2023 年 11 月接受 3D 打印辅助 PMMA 骨水泥髓内支撑治疗的 90 例老年 Neer II、III、IV 型肱骨近端骨质疏松性骨折患者的临床资料，各部分骨折的影像学表现如图 1 所示。根据 Neer 分型将所有患者分为 Neer II 型骨折组（ $n=28$ ）、Neer III 型骨折组（ $n=37$ ）和 Neer IV 型骨折组（ $n=25$ ）。纳入标准：①临床资料及随访资料完整；②年龄 ≥ 60 岁；③单侧肱骨近端骨折；④骨密度检查 T 值 <2.5 ；⑤行 3D 打印辅助 PMMA 骨水泥髓内支撑治疗。排除标准：①患有系统性红斑狼疮、类风湿关节炎、全身性免疫性疾病；②合并重要脏器功能障碍；③沟通障碍；④合并精神与心理疾病且长期服用此类药物；⑤开放性骨折及病理性骨折；⑥合并骨代谢疾病；⑦有上肢手术史或肿瘤病史。三组患者一般资料比较，差异无统计学意义（ $P>0.05$ ），见表 1。

1.2 手术方法

1.2.1 术前准备 所有患者术前行双侧肱骨正侧位 X 线检查及三维重建 CT 检查，并应用 A-SiteV 4.0 软件对健侧及患侧肱骨近端颈干角进行测量。将患者双侧肱骨的 CT 扫描数据导入 Mimics Research 20.0 软件进行双侧肱骨 3D 建模，将健侧肱骨 3D 模型镜像处理后与患侧肱骨 3D 模型对比，根据骨缺损范围制定 PMMA 骨水泥占位器模型。将患侧肱骨 3D 模型数据与骨水泥占位器模型数据导入 3D 打印机，

表 1 三组患者一般资料比较 [$\bar{x} \pm s, n(\%)$]

Table 1 Comparison of general data among the three groups of patients [$\bar{x} \pm s, n(\%)$]

组别	例数	性别		年龄（岁）
		男	女	
Neer II 型骨折组	28	15 (53.57)	13 (46.43)	65.5 $\pm$ 4.9
Neer III 型骨折组	37	17 (45.95)	20 (54.05)	65.8 $\pm$ 4.2
Neer IV 型骨折组	25	10 (40.00)	15 (60.00)	65.0 $\pm$ 4.8
F/χ^2 值		1.151		0.226
P 值		0.562		0.798

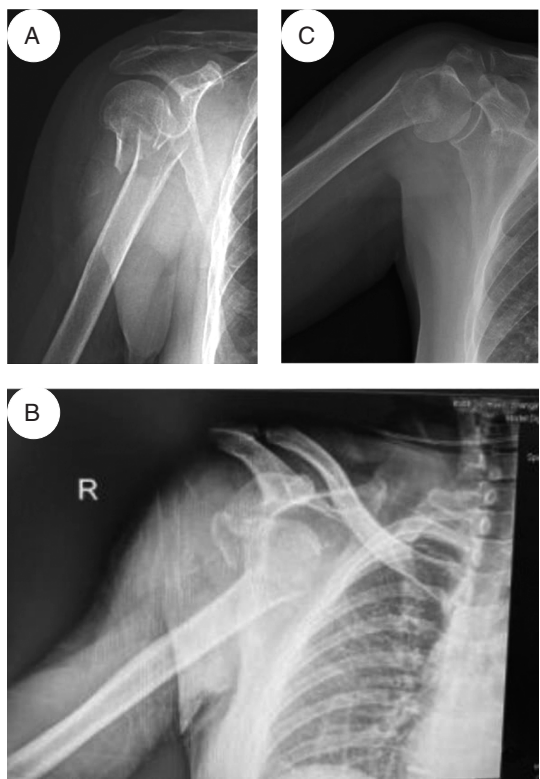


图 1 Neer II、III、IV 型骨质疏松性骨折
Figure 1 Osteoporotic fracture of Neer type II, III and IV
注：A. Neer II 型骨折；B. Neer III 型骨折；C. Neer IV 型骨折

采用光固化树脂材料作为原料制作患侧肱骨 3D 模型与骨水泥占位器模具，将占位器模具置入患侧肱骨近端骨缺损处检测是否匹配，完成匹配后对骨水泥占位器模具灭菌消毒待用。

颈干角与肱骨头高度测量。通过肩关节肱骨头软骨缘的上缘到下缘画一条 AB 线，通过肱骨头中心垂直于 AB 线画 CD 线，再画一条将肱骨干平分两半的 EF 线，CD 线和 EF 线的夹角即为肩关节肱骨近端颈干角。沿肱骨头及钢板上缘处绘制两条线，两条线之间的距离为肱骨头高度。每侧颈干角与肱

骨头高度的测量均由同一位经验丰富的临床医生进行, 每处测量 3 次, 取平均值。

1.2.2 手术步骤 患者取仰卧位, 麻醉满意后将肩部垫高, 常规消毒铺巾贴皮肤保护膜。于喙突尖处作一纵行切口, 沿三角肌与胸大肌间沟向下至肱骨外侧三角肌止点处逐层切开皮肤, 仔细分离并保护头静脉, 分离三角肌胸大肌间沟, 将头静脉与胸大肌共同牵向内侧, 分离肌间隙至三角肌与三角肌粗隆止点处, 沿胸大肌止点外侧纵行切开骨膜, 显露骨折断端。清理骨折断端的血肿与软组织, 显露结节、冈上肌、冈下肌、肩胛下肌止点, 将缝线穿过上述止点备用。将加入单体的 PMMA 骨水泥注入灭菌模具中制作骨水泥占位器, 将固化后的 PMMA 骨水泥占位器插入肱骨髓腔中, 近端支撑肱骨头, 远端插入骨折远端髓腔中支撑肱骨内侧柱, 在透视下提拉缝线促进肱骨大小结节复位, 用克氏针临时固定后安装 Philos 接骨板。对肱二头肌长头腱探查无卡压, 肩袖处无撕裂。打入螺钉, 将冈上肌、冈下肌、肩胛下肌的缝合线穿入接骨板孔后收紧打结。透视确认盂肱关节及骨折断端对位对线良好, 接骨板高度与螺钉长度合适, 冲洗并查看无活动性出血后逐层缝合切口, 放置引流管, 用无菌敷料包扎。

1.2.3 术后管理 术后 3 d 内给予氟比洛芬、七叶皂苷钠注射液静脉滴注。术后当日嘱患者适度活动患侧手指和肘关节, 术后 2 d 在家属的帮助下下床活动, 术后 3 d 拔除引流管。术后 2 周开始康复训练, 行患侧肩关节适度钟摆活动, 术后 3 周行患侧肩关节行内收、内旋等活动, 术后 4 周复查影像学, 观察骨折断端是否形成连续性骨痂。

1.3 观察指标 ①比较患者健侧颈干角、术前颈干角、术后 6 个月颈干角情况。术后颈干角恢复到 $120^{\circ}\sim 150^{\circ}$ 即可认定为解剖复位; 否则认为内固定失效或出现内翻、外翻畸形。②比较术中及术后 6 个月患者肱骨头高度并计算其差值, 超过 5 mm 则认为内固定结构失效可能。③采用疼痛视觉模拟评分法 (Visual Analogue Scale, VAS) 评估患者术前、术后 7 d、术后 1 个月和术后 3 个月的疼痛情况, 得分越高表明疼痛越严重。④采用 Constant-Murley 肩关节功能评分法评价患者术前、术后 1 个月、术后 3 个月和术后 6 个月的肩关节功能, 得分越高表明肩关节功能越差。⑤采用健康调查简表 (the MOS

Item Short from Health Survey, SF-36) 评估患者术前和术后 6 个月的生活质量, 得分越高表明生活质量越高。

1.4 统计学方法 所有数据采用 SPSS 27.0 软件进行统计学分析, 计数资料用例数 (百分比) [n (%)] 表示, 组间行 χ^2 检验; 符合正态分布的计量资料用均数 $\pm$ 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示, 颈干角、肱骨头高度比较采用单因素方差分析, 两两对比采用 LSD- t 检验; 各时点 VAS、Constant-Murley 评分比较采用重复测量方差分析, 两两对比采用 LSD- t 检验; 术前和术后 6 个月的 SF-36 评分比较, 采用配对样本 t 检验, 组间比较采用独立样本 t 检验。 $P < 0.05$ 表示差异有统计学意义。

2 结果

2.1 颈干角 三组患者术前患侧颈干角显著小于健侧颈干角, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$); 术前患侧颈干角均值组间比较、健侧颈干角均值组间比较, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$); 三组患者术后 6 个月患侧颈干角与健侧颈干角比较, 差异无统计学意义 ($P > 0.05$), 见表 2。

2.2 肱骨头高度 三组患者术中与术后 6 个月的肱骨头高度差值均 < 5 mm, 表明内固定有效, 见表 3。

2.3 VAS 评分 三组患者术后不同时间点的 VAS 评分均低于术前, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$); 随时间推移各组 VAS 评分呈下降趋势, 不同时间点的 VAS 评分组内两两比较, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 见表 4。

2.4 Constant-Murley 评分 三组患者术后不同时间点的 Constant-Murley 评分均低于术前, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$); 随着时间推移各组 Constant-Murley 评分呈下降趋势, 不同时间点的评分组内两两比较, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 见表 4。

2.5 生活质量评分 与术前比较, 三组患者术后 6 个月的生活质量各维度评分均明显升高, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 见表 6。

3 讨论

肱骨近端骨折是骨质疏松患者除桡骨远端骨折和椎骨骨折外第三频发的骨折类型^[9-10], 常表现为粉碎性骨折伴骨质缺损, 严重影响肱骨头血运, 治疗

表 2 三组患者颈干角比较 ($\bar{x} \pm s$)

Table 2 Comparison of neck-shaft angle among the three groups of patients ($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	健侧颈干角 (°)	术前患侧颈干角 (°)	术后 6 个月患侧颈干角 (°)
Neer II 型骨折组	28	145.10 ± 1.50	102.30 ± 11.50 ^a	145.50 ± 2.00 ^b
Neer III 型骨折组	37	145.50 ± 1.60	173.50 ± 33.50 ^a	144.80 ± 2.10 ^b
Neer IV 型骨折组	25	146.80 ± 1.30	96.50 ± 14.30 ^a	145.60 ± 1.60 ^b
<i>F</i> 值		9.366	106.388	1.627
<i>P</i> 值		<0.001	<0.001	0.202

注：术前患侧颈干角与健侧颈干角比较，^a*P*<0.05；术后 6 个月患侧颈干角与健侧颈干角比较，^b*P*>0.05

表 3 三组患者肱骨头高度比较 (mm, $\bar{x} \pm s$)

Table 3 Comparison of humeral bone height among the three groups of patients (mm, $\bar{x} \pm s$)

组别	例数	术中	术后 6 个月	差值
Neer II 型骨折组	28	16.68 ± 0.40	16.02 ± 0.19	0.66 ± 0.37
Neer III 型骨折组	37	17.31 ± 0.55	16.25 ± 0.28	1.06 ± 0.46
Neer IV 型骨折组	25	17.85 ± 0.26	15.93 ± 0.38	1.92 ± 0.35

表 4 三组患者各时点 VAS 评分比较 ($\bar{x} \pm s$)

Table 4 Comparison of VAS scores at different timepoints among the three groups of patients ($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	术前	术后 7 d	术后 1 个月	术后 3 个月
Neer II 型骨折组	28	7.60 ± 1.50	5.90 ± 0.90 ^a	3.50 ± 0.60 ^{ab}	1.00 ± 0.20 ^{abc}
Neer III 型骨折组	37	7.70 ± 1.30	6.00 ± 1.10 ^a	3.40 ± 0.80 ^{ab}	1.20 ± 0.50 ^{abc}
Neer IV 型骨折组	25	7.60 ± 1.80	5.80 ± 1.30 ^a	3.30 ± 1.00 ^{ab}	1.10 ± 0.30 ^{abc}
<i>F</i> 值		<i>F</i> _{时点} =2279.315, <i>F</i> _{交互} =0.014, <i>F</i> _{组别} =0.200			
<i>P</i> 值		<i>P</i> _{时点} <0.001, <i>P</i> _{交互} =0.986, <i>P</i> _{组别} =0.819			

注：与术前比较，^a*P*<0.05；与术后 7 d 比较，^b*P*<0.05；与术后 1 个月比较，^c*P*<0.05

表 5 三组患者各时点 Constant-Murley 评分比较 ($\bar{x} \pm s$)

Table 5 Comparison of Constant-Murley scores at different timepoints among the three groups of patients ($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	术前	术后 1 个月	术后 3 个月	术后 6 个月
Neer II 型骨折组 (n=28)	28	12.20 ± 2.50	9.80 ± 1.30 ^a	7.00 ± 2.50 ^{ab}	4.50 ± 1.60 ^{abc}
Neer III 型骨折组 (n=37)	37	12.30 ± 2.80	9.70 ± 1.50 ^a	7.30 ± 3.00 ^{ab}	4.60 ± 1.30 ^{abc}
Neer IV 型骨折组 (n=25)	25	12.50 ± 2.40	9.90 ± 1.80 ^a	7.10 ± 2.60 ^{ab}	4.50 ± 1.80 ^{abc}
<i>F</i> 值		<i>F</i> _{时点} =1447.174, <i>F</i> _{交互} =0.310, <i>F</i> _{组别} =0.040			
<i>P</i> 值		<i>P</i> _{时点} <0.001, <i>P</i> _{交互} =0.734, <i>P</i> _{组别} =0.961			

注：与术前比较，^a*P*<0.05；与术后 1 个月比较，^b*P*<0.05；与术后 3 个月比较，^c*P*<0.05

不当会引发严重后果。因此，多数老年患者在此类骨折后需手术治疗^[11-12]。有研究指出此类骨折术中复位操作难度较高且存在固定不牢的风险^[13-14]。长期的临床实践中已探索过多种手术策略，涵盖不同设计的钢板、髓内钉技术及多种经皮固定方法^[15-16]。3D 打印技术实现了二维影像到三维实体模型的转化，极大提升了手术规划的精准度^[17-18]。医生能够

通过这一技术直观地预演骨折复位过程，事先根据患者的解剖结构定制内固定器材，并优化植入物的位置，为每位患者量身定制手术方案，提高了治疗的个性化程度和手术成功率^[19-20]。

本研究对 90 例行 3D 打印辅助 PMMA 骨水泥髓内支撑治疗的 Neer II、III、IV 型肱骨近端骨质疏松性骨折患者的临床资料分析后发现，患者术后 6

表 6 三组患者生活质量评分比较 ($\bar{x} \pm s$)
Table 6 Comparison of quality of life scores among the three groups of patients ($\bar{x} \pm s$)

组别	时点	生理机能	生理职能	躯体疼痛	一般健康状况	精力	社会功能	情感职能	精神健康
Neer II 型骨折组 (<i>n</i> =28)	术前	77.60 ± 6.80	80.50 ± 8.60	77.20 ± 6.80	81.00 ± 7.50	75.80 ± 4.90	79.50 ± 6.60	76.60 ± 6.30	81.50 ± 7.70
	术后 6 个月	88.90 ± 6.30	89.60 ± 9.00	86.90 ± 7.70	90.00 ± 8.20	86.30 ± 5.60	87.80 ± 6.90	86.60 ± 5.90	90.60 ± 6.90
	<i>t</i> 值	10.096	5.163	5.986	6.966	10.042	7.776	8.339	7.085
	<i>P</i> 值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Neer III 型骨折组 (<i>n</i> =37)	术前	77.00 ± 7.20	80.80 ± 9.40	77.60 ± 7.20	81.50 ± 7.40	76.00 ± 5.20	80.00 ± 6.90	76.30 ± 6.90	81.80 ± 7.80
	术后 6 个月	88.30 ± 7.00	90.00 ± 8.40	86.80 ± 8.10	89.50 ± 8.50	86.50 ± 6.70	88.00 ± 7.30	86.50 ± 6.30	90.50 ± 7.30
	<i>t</i> 值	12.203	7.870	8.455	6.701	11.044	6.016	9.423	6.495
	<i>P</i> 值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Neer IV 型骨折组 (<i>n</i> =25)	术前	77.30 ± 7.00	80.60 ± 9.00	77.50 ± 7.10	81.20 ± 7.00	75.50 ± 5.50	79.30 ± 6.50	76.90 ± 6.10	81.50 ± 8.30
	术后 6 个月	88.60 ± 7.20	89.80 ± 10.20	87.00 ± 8.20	89.90 ± 8.80	86.80 ± 7.00	87.50 ± 7.30	86.90 ± 6.60	90.20 ± 7.20
	<i>t</i> 值	9.073	5.372	7.273	5.778	11.059	6.382	7.523	8.144
	<i>P</i> 值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

个月的患侧颈干角与健侧颈干角比较，差异无统计学意义 ($P>0.05$)，术前和术后肱骨头高度差值均 $<5\text{ mm}$ ，未出现内固定失效情况，这表明该治疗具有较好的临床效果。传统的 PMMA 骨水泥强化螺钉提供髓内支撑时存在聚合反应产热及骨水泥泄漏等问题，且在增强骨骼稳定性方面的效果不尽人意^[21-22]。而 3D 打印技术可使骨水泥在体外精确成形后再植入骨折部位，有效避免了骨水泥在体内产热与渗漏，同时确保 PMMA 骨水泥固化后的强度足以支撑肱骨近端内部结构^[23-24]。本研究应用 3D 打印辅助 PMMA 骨水泥髓内支撑治疗粉碎性骨质疏松性肱骨近端骨折展现出令人满意的治疗效果，具有临床推广价值^[25-26]。本研究中患者的 VAS 评分随时间推移逐渐降低，表明疼痛感随康复进程显著减轻，同时肩关节功能逐步恢复并增强，与他人先前的研究结果一致^[27-28]。随访期间，患者的生活质量也显著提高，进一步证实了该技术在治疗肱骨近端骨质疏松性骨折中的良好疗效^[29-31]。

本研究仍存在一定的局限性。研究纳入的样本量相对较少且属于回顾性研究，未对患者进行长期预后追踪，结果可能存在一定偏倚。在未来的研究中应控制各种可能影响研究结果的混杂因素，同时分析本研究与其他研究的差异，为该病患者预后提供依据。

利益冲突声明：本文不存在任何利益冲突。

作者贡献声明：尹伟、杨立峰负责设计论文框架，起草论文；黄军刚、周娟、杨立峰参与项目具体操作及研究过程的实施；尹伟、于洋、宋永财、黄军刚、周娟、杨立峰负责数据收集，统计学分析，图表绘制；尹伟、于洋、宋永财负责论文修改；尹伟、于洋、杨立峰负责拟定写作思路，指导文章撰写并最后定稿。

参考文献

[1] Rehm A, Novak P L, Newton A, et al. Does radiation exposure during pediatric supracondylar humeral fracture surgery change according to the C-arm position? A comparison of two different techniques[J]. Injury, 2024, 55(3): 111354.

[2] Radaideh A M, Rusan M, Obeidat O, et al. Functional and radiological outcomes of different pin configuration for displaced pediatric supracondylar humeral fracture: a retrospective cohort study[J]. World J Orthop, 2022, 13(3): 250-258.

[3] Lee Y J, Lim J R, Choi J H, et al. Comparing the biomechanical stability of cerclage cable with plate insert versus locking screw in periprosthetic humeral fracture[J]. J Bone Joint Surg Am, 2024, 106(9): 817-822.

[4] Chua N, Onggo J R, Nambiar M, et al. Functional outcomes of reverse total shoulder arthroplasty in Boileau class 1 and class 2 proximal humeral fracture sequelae: a meta-analysis and systematic review[J]. Shoulder Elbow, 2023, 15(3 Suppl): 43-53.

[5] Van Bergen S H, Van Lieshout E M M, Mahabier K C, et al. Publisher correction: Economic evaluation of operative versus nonoperative treatment of a humeral shaft fracture: economic analyses alongside a multicenter prospective cohort study (HUMMER) [J]. Eur J Trauma Emerg Surg, 2023, 49(2): 939.

[6] Hartog D D, Mahabier K C, Van Bergen S H, et al. Functional and clinical outcomes after plate osteosynthesis versus intramedullary nailing of a humeral shaft fracture: the results of the HUMMER multicenter, prospective cohort study[J]. J Bone Joint Surg Am, 2023, 105(14): 1101-1111.

- [7] Shih C A, Huang M T, Chern T C, et al. The use of ultrasound for monitoring reduction and ulnar nerve subluxation in pediatric humeral supracondylar fractures[J]. *Eur J Radiol*, 2024, 170: 111201.
- [8] Panagopoulos A, Solou K, Symeonidis A, et al. Delayed diagnosis of a primary diffuse large B-cell lymphoma of the humeral head, presenting as pathological fracture: a case report and review of the literature[J]. *JSES Rev Rep Tech*, 2024, 4(2): 299–311.
- [9] 纪振中, 张奕, 张明, 等. 3D 打印骨折模型在复杂骨盆骨折手术中的治疗方法及效果探讨[J]. *中国医学装备*, 2022, 19(1): 111–115.
- [10] 张成川, 梁建, 盛雷, 等. 3D 打印联合急诊外侧入路手术治疗创伤性跟骨骨折的有效性及其对炎症因子影响[J]. *临床和实验医学杂志*, 2023, 22(1): 42–47.
- [11] 刘峰, 雷青, 蔡立宏, 等. 改良经皮三维打印导板与传统透视辅助骶髂螺钉固定骨盆后环骨折的疗效比较[J]. *中南大学学报(医学版)*, 2023, 48(11): 1703–1710.
- [12] 王清泽, 罗明星, 曾帅, 等. 3D 打印经皮手术导板在股骨颈骨折闭合复位空心螺钉内固定术中的应用[J]. *中国骨伤*, 2023, 36(3): 209–215.
- [13] 金万通, 薛海鹏, 周大鹏, 等. 3D 打印结合 PMMA 骨水泥髓内支撑技术在老年肱骨近端骨质疏松性骨折中的应用[J]. *中华老年骨科与康复电子杂志*, 2022, 8(5): 276–284.
- [14] Rudran B, Little C, Duff A, et al. Proximal humerus fractures: anatomy, diagnosis and management[J]. *Br J Hosp Med (Lond)*, 2022, 83(7): 1–10.
- [15] Kathagen J C, Koeppe J, Stolberg-Stolberg J, et al. Effects of anti-osteoporosis therapy on the risk of secondary fractures and surgical complications following surgical fixation of proximal humerus fracture in older people[J]. *Age Ageing*, 2023, 52(6): afad097.
- [16] Bieling M, Ellwein A, Lill H, et al. Proximal humerus fracture and acromioclavicular joint dislocation[J]. *Innov Surg Sci*, 2024, 9(2): 67–82.
- [17] 蒋维利, 刘涛, 张青波, 等. 基于 3D 打印技术改良单边经皮穿刺椎体成形术治疗骨质疏松性椎体压缩性骨折[J]. *中国骨伤*, 2024, 37(1): 7–14.
- [18] 韦昌辉, 张伟, 卢俊浩, 等. 3D 打印辅助经皮穿刺椎体成形术治疗重度骨质疏松性椎体压缩骨折的疗效[J]. *局解手术学杂志*, 2023, 32(10): 910–914.
- [19] 常丽鹏, 申军, 赵敏, 等. 3D 打印数字技术辅助经皮穿刺椎体成形术治疗重度骨质疏松性椎体压缩骨折的临床效果[J]. *安徽医学*, 2019, 40(12): 1327–1331.
- [20] 金浪, 石洁, 黄正, 等. 3D 打印数字技术辅助改良交叉 PVP 对重度骨质疏松性椎体压缩骨折脊柱-骨盆矢状面平衡状态的影响[J]. *中华老年骨科与康复电子杂志*, 2023, 9(5): 263–268.
- [21] 王伟斌, 袁欣华, 扶青松, 等. 骨质疏松性肱骨近端骨折 PMMA 骨水泥强化螺钉钢板固定的有限元分析[J]. *中国骨伤*, 2023, 36(3): 262–267.
- [22] 董宇鹏, 高顺红, 张云鹏, 等. Masquelet 技术治疗尺桡骨感染性骨缺损的疗效分析[J]. *中国骨与关节损伤杂志*, 2023, 38(9): 980–982.
- [23] 汤小迪, 虎鑫, 卢敏勋, 等. 3D 打印金属支撑假体联合关节面自体骨植骨治疗股骨远端 Campanacci I、II 级骨巨细胞瘤的早期随访研究[J]. *中国骨与关节杂志*, 2023, 12(3): 168–175.
- [24] 王洪平, 王明友, 杨晓琴, 等. 3D 打印技术在复杂慢性髋关节假体周围感染中的临床研究[J]. *四川医学*, 2023, 44(6): 615–619.
- [25] CHEN N. Embedded 3D printing and pressurized thermo-curing of PMMA for medical implants[J]. *J Mech Behav Biomed Mater*, 2023, 1(46): 106083.
- [26] Csámer L, Csernátó Z, Novák L, et al. Custom-made 3D printing-based cranioplasty using a silicone mould and PMMA[J]. *Sci Rep*, 2023, 13(1): 11985.
- [27] Beitel B, Roytman G R, Parmer G, et al. Evaluating surface coatings to reduce bone cement adhesion to point of care 3D printed molds in the intraoperative setting[J]. *3D Print Med*, 2022, 8(1): 28.
- [28] Hasanzade M, Yaghoobi N, Nematollahi P, et al. Comparison of the marginal and internal fit of PMMA interim crowns printed with different layer thicknesses in 3D-printing technique[J]. *Clin Exp Dent Res*, 2023, 9(5): 832–839.
- [29] de Souza F A, Blois M C, Collares K, et al. 3D-printed and conventional provisional single crown fabrication on anterior implants: A randomized clinical trial[J]. *Dent Mater*, 2024, 40(2): 340–347.
- [30] Barros M C, Mazzon R R, Soto A F, et al. Candida albicans adhesion on 3D-printed and thermopolymerizable polymethyl methacrylate for removable prostheses[J]. *Am J Dent*, 2023, 36(3): 130–135.
- [31] Saini R S, Gurumurthy V, Quadri S A, et al. The flexural strength of 3D-printed provisional restorations fabricated with different resins: a systematic review and meta-analysis[J]. *BMC Oral Health*, 2024, 24(1): 66.

收稿日期: 2024-06-12

编辑: 魏新珂

编 后 语

随着 3D 打印技术的飞速发展,其在骨科领域的应用日益广泛且深入。从个性化植入物的设计到复杂手术的术前规划,3D 打印技术为骨科医生提供了前所未有的精准工具,也为患者带来了更高效、更安全的治疗方案。本期专栏聚焦 3D 打印技术在骨科临床实践中的应用,旨在为读者呈现这一领域的最新进展与未来趋势。

我们特别感谢各位专家学者为本专栏撰写的文章,他们的研究成果不仅展示了 3D 打印技术在骨科中的巨大潜力,也为未来的研究方向提供了宝贵的启示。同时,我们也希望通过这一专栏,能够推动 3D 打印技术在骨科领域的进一步普及与优化。未来,随着材料科学、生物工程和人工智能等技术的不断进步,3D 打印在骨科中的应用将更加多元化、智能化。我们期待更多创新成果的涌现,也欢迎广大读者继续关注并参与到这一充满活力的领域中来。

最后,感谢各位读者对本专栏的支持与厚爱。我们将继续努力,为大家带来更多高质量的内容。