DOI:10.3969/j.issn.1000-9760.2026.05.010

3D 打印模型辅助规划在逆行髓内钉治疗 AO/OTA C 型股骨远端骨折中的应用

杨茂杰[1]　满在华[2]　郝清海[1]　孟乾[1]　王倩[1]　穆可成[1]　周猛[1]
([1] 滕州市中心人民医院骨外科,滕州 277599;[2] 滕州市级索中心卫生院外科,滕州 277599)

摘　要　目的　探究 3D 打印模型辅助规划在逆行髓内钉治疗 AO/OTA C 型股骨远端骨折中的应用。**方法**　回顾性分析 2024 年 1 月—2025 年 5 月我院 130 例 AO/OTA C 型股骨远端骨折患者临床资料,根据手术方案不同分组,传统组 65 例采取传统钢板内固定术,3D 组 65 例采取 3D 打印模型辅助规划逆行髓内钉内固定术。统计两组术中及术后指标、手术并发症、手术效果,比较手术前后血清 IL-6、IL-8 水平、HSS 膝关节评分及 ROM、LDFA。**结果**　3D 组术中出血量、术中透视次数分别为(178.12±15.66) mL、(6.68±1.01) 次,低于传统组(247.74±18.52) mL、(11.25±1.34) 次,手术时间、术后负重开始时间、影像学愈合时间分别为(80.60±10.23) min、(9.17±1.44) d、(26.01±3.04) 周,短于传统组(122.21±13.77) min、(13.32±2.51) d、(29.52±3.65) 周(P<0.05);术后 1 d,3D 组血清 IL-6、IL-8 水平较传统组低(P<0.05);术后 1 个月、3 个月、6 个月,3D 组 HSS 膝关节评分及 ROM、LDFA 较传统组高(P<0.05);术后 6 个月,两组并发症发生率比较差异无统计学意义(P>0.05);术后 6 个月,3D 组手术优良率 87.69%较传统组 72.31%高(P<0.05)。**结论**　3D 打印模型辅助规划用于逆行髓内钉内固定术,有助于改善术中及术后指标,纠正下肢力线,恢复膝关节功能,是 AO/OTA C 型股骨远端骨折患者的可行性方案之一。

关键词　3D 打印;逆行髓内钉;内固定;AO/OTA 分型;股骨远端骨折
中图分类号:R683.42;R687.3　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-9760(2026)10-442-06

Clinical value of 3D-printed model-assisted preoperative planning for retrograde intramedullary nailing in AO/OTA type C distal femoral fractures

YANG Maojie[1], *MAN Zaihua*[2], *HAO Qinghai*[1], *MENG Qian*[1], *WANG Qian*[1], *MU Kecheng*[1], *ZHOU Meng*[1]
([1] *Department of Orthopedic Surgery, Tengzhou Central People's Hospital, Tengzhou* 277599, *China*;
[2] *Department of Surgery, Jisuo Central Health Center of Tengzhou, Tengzhou* 277599, *China*)

Abstract: Objective　To explore the clinical value of 3D printed model-assisted preoperative planning in the treatment of AO/OTA type C distal femoral fractures with retrograde intramedullary nailing. **Methods**　The clinical data of 130 patients with AO/OTA type C distal femoral fractures admitted between January 2024 and May 2025 were retrospectively analyzed. Patients were divided into two groups according to surgical procedures, with 65 cases in each group. The conventional group underwent conventional plate internal fixation, while the 3D group received retrograde intramedullary nailing with preoperative planning assisted by 3D printed fracture solid models. Intraoperative and postoperative indicators, surgical complications and clinical efficacy were compared between the two groups. Serum levels of IL-6 and IL-8 before and after surgery were detected and compared. The Hospital for Special Surgery (HSS) knee score, range of motion (ROM) and lateral distal femoral angle (LDFA) were evaluated simultaneously. **Results**　The intraoperative blood loss and fluoroscopy times in the 3D group were (178.12±15.66) ml and (6.68±1.01) times respectively, which

[基金项目]枣庄市科技发展计划(2024NS111)
[通信作者]周猛,E-mail:zmjmc0610@126.com

were lower than (247.74±18.52) ml and (11.25±1.34) times in the conventional group. The operative duration, time to postoperative weight-bearing and radiographic fracture healing time in the 3D group were (80.60±10.23) min, (9.17±1.44) d and (26.01±3.04) weeks, respectively, shorter than (122.21±13.77) min, (13.32±2.51) d and (29.52±3.65) weeks in the conventional group, with statistically significant differences ($P<0.05$). On postoperative day 1, serum IL-6 and IL-8 levels in the 3D group were lower than those in the conventional group ($P<0.05$). At 1, 3 and 6 months after surgery, the HSS knee score, knee ROM and LDFA in the 3D group were higher than those in the conventional group ($P<0.05$). There was no statistically significant difference in the incidence of complications between the two groups at 6 months postoperatively ($P>0.05$). At 6 months after surgery, the excellent and good rate in the 3D group was 87.69%, higher than 72.31% in the conventional group ($P<0.05$). **Conclusion** The application of 3D printed model-assisted preoperative planning in retrograde intramedullary nailing can optimize intraoperative procedures, alleviate postoperative inflammatory response, effectively reconstruct lower limb alignment and promote the recovery of knee function. It may be considered a feasible surgical option for patients with AO/OTA type C distal femoral fractures.

Keywords: 3D printed model; Retrograde intramedullary nailing; Plate internal fixation; AO/OTA classification; Distal femoral fracture

股骨远端骨折占股骨骨折的 3%～6%，其中 AO/OTA C 型骨折属于关节内粉碎性骨折，具有骨折块移位复杂、关节面受累严重等特点，复位与固定困难[1]。加以骨折线常延伸至膝关节，甚至累及伸膝装置，影响膝关节功能。内固定物置入是股骨远端治疗首选方案，其中钢板内固定术、逆行髓内钉内固定术均可实现骨折的牢固固定[2-3]，但术后可能因骨折块对位不理想、骨-内固定物贴合不佳等问题，导致内固定失败。相关研究表明，数字化设计为成人股骨远端骨折内固定治疗提供新思路，可优化内固定物置入位置，使得接骨板形态更加贴合骨面，提升整体生物力学性能[4]。3D 打印技术是数字化设计的重要实现形式，可根据患者 CT 影像数据制作出等比例解剖模型，完成精细的术前规划与模型，提高手术精准度[5]。目前，3D 打印模型主要用于 AO/OTA A、B 型股骨远端骨折的术前规划[6]，但对于更复杂的 C 型骨折，其应用效果如何仍缺乏大量循证医学依据，加以高昂打印成本、较长制作周期及现有打印材料在力学仿生性上的局限，导致该技术尚未在临床实践中大规模推广。因此，本研究将分析 3D 打印模型辅助规划在 AO/OTA C 型股骨远端骨折逆行髓内钉治疗中的应用价值，结果如下。

1　资料与方法

1.1　一般资料

回顾性分析 2024 年 1 月—2025 年 5 月我院 130 例 AO/OTA C 型股骨远端骨折患者临床资料。纳入标准：1）经 X 线、CT 确诊新鲜股骨远端骨折；2）单侧骨折，AO/OTA 分型为 C 型；3）病历资料完整。4）择期手术，两组手术均由同一组高年资医师完成。排除标准：1）陈旧性或病理性骨折；2）严重心肝肾功能不全者；3）合并其他部位骨折者；4）罹患其他膝关节疾病者；5）患肢手术史者；6）凝血功能异常者；7）急诊手术者。根据手术方案不同分为传统组和 3D 组，各 65 例。两组一般资料比较，差异无统计学意义（$P>0.05$）。见表 1。本研究获得我院伦理委员会批准通过（2025-伦理审查-33）。

表 1　两组一般资料[n/%、($\bar{x}\pm s$)]

组别	例数	男/女	年龄/岁	受伤原因			受伤部位		AO/OTA 分型	
				车祸	坠落伤	其他	左侧	右侧	C1 型	C2 型
3D 组	65	47/18	47.08±4.32	31(47.69)	21(32.31)	13(20.00)	33(50.77)	32(49.23)	24(36.92)	41(63.08)
传统组	65	43/22	45.99±5.67	30(46.15)	25(38.46)	10(15.39)	35(53.85)	30(46.15)	20(30.77)	45(69.23)
t/χ^2		0.578	1.233	0.751			0.123		0.550	
P		0.447	0.220	0.687			0.725		0.458	

1.2　手术方法

1.2.1　传统组　采取传统钢板内固定术：全麻，取平卧位，屈膝 30°，自膝关节髌骨旁前外侧做一切口，逐层进入，C 臂 X 线机透视下，于股骨颈相应处置入加压螺针，根据骨折类型、骨折线长度选择适宜钢板，确认骨折复位满意后，选择合适长度的锁定螺钉进行钢板两端锁定，冲洗骨折端，关闭切口。

1.2.2　3D 组　采取 3D 打印模型辅助规划逆行髓内钉内固定术：1）3D 模型制作。于术前行 CT 平扫，将扫描数据导入 Mimics21.0 软件中进行三维重建，后以 STL 格式传输至 3D 打印机，获取与实际骨折形态等比例的实物模型；注意 3D 打印模型于术前 1～2 d 完成建模与制作，整个过程耗时 4～6 h，制作周期短，未延误手术时机。2）手术模拟。直视下，进行骨折模拟复位，选取合适长度适宜的髓内钉，并确定髓内钉置入方向和位置，结合术前模拟情况实施手术操作；3）手术方法。麻醉方式及体位同传统组，自髌骨下缘至胫骨结节取纵向切口，长约 3 cm，确定进钉点（胫骨外侧棘的内侧），插入导丝，以导丝远端位于髓腔中心为宜，C 臂 X 线机确认导丝位置满意后，行逐级扩髓，根据术前模拟结果置入适当长度的髓内钉，行远近端螺丝钉锁定，冲洗切口，放置引流管，逐层缝合。术后两组均行消肿、抗感染、止痛治疗，叮嘱患者进行患肢主被动训练。

1.3　观察指标

所有观察指标均源于我院电子病历系统及临床检查报告。1）术中及术后指标。术中出血量为纱布与吸引器血量之和，每块纱布湿透血量约 20 mL。骨痂形成时间为 X 线片正侧位上四层皮质中的一层开始出现骨痂。影像学愈合时间为 X 线片正侧位上四层皮质中的三层出现连续性骨痂。2）血清 IL-6、IL-8 水平。术前、术后 1 d、5 d，采集 4 mL 空腹静脉血，以 3 000 r/min 速度离心 10 min，分离血清，以 ELISA 法测定 IL-6、IL-8，试剂盒购自深圳欣博盛生物科技有限公司。3）美国特种外科医院（HSS）[7] 膝关节评分及膝关节活动度（ROM）、股骨远端外侧角（LDFA）。术后 1 个月、3 个月、6 个月 HSS 膝关节评分标准：含活动度、功能、疼痛等 7 项内容，满分 100 分，得分越高膝关节功能越好。采用人体关节量角器测定膝关节屈曲、伸直度数，计算 ROM，拍摄下肢全长标准 X 线片，测量，即股骨关节线与股骨机械轴的夹角，取 3 次测量均值。4）手术并发症。术后 6 个月，记录轻度膝内翻畸形（畸形度数≤10°）、膝关节疼痛、深静脉血栓[8]（患肢肿胀、疼痛，皮肤呈暗红色，浅静脉怒张，Neuhof 征及 Homans 征阳性，结合静脉造影确诊）等发生情况。5）手术效果。术后 6 个月，根据 HSS 膝关节评分判定，总分≥85 分、70～84 分、60～69 分、<60 分依次提示优、良、可、差。优良率=（优+良）/总例数×100%。

1.4　统计学方法

用 SPSS27.0 处理数据。计量资料以 $\bar{x}\pm s$ 表示，组间比较用独立样本 t 检验，IL-6、IL-8、HSS 膝关节评分、ROM、LDFA 采用重复测量方差分析，计数资料用 χ^2 或 Fisher 确切概率法检验，等级资料采用非参数秩和检验。检验水准 $\alpha=0.05$。

2　结果

2.1　两组术中及术后指标

3D 组手术时间、术后负重开始时间、影像学愈合时间短于传统组，术中出血量、术中透视次数少于传统组（$P<0.05$），两组初次骨痂形成时间比较差异无统计学意义（$P>0.05$）。见表 2。

2.2　两组血清 IL-6、IL-8 水平

重复测量方差分析可知，两组血清 IL-6、IL-8 水平比较，组间与时间存在交互效应（$P<0.05$）。简单效应分析显示，术后 1 d，两组血清 IL-6、IL-8 水平均高于术前，且 3D 组低于传统组（$P<0.05$），术后 5 d，两组血清各指标比较差异无统计学意义（$P>0.05$）。见表 3。

2.3　两组 HSS 膝关节评分及 ROM、LDFA

重复测量方差分析可知，两组 HSS 膝关节评分及 ROM、LDFA 比较，组间与时间存在交互效应（$P<0.05$）。简单效应分析显示，术后 1 个月、3 个月、6 个月，3D 组 HSS 膝关节评分及 ROM、LDFA 均高于术后 1 个月，且 3D 组高于传统组（$P<0.05$）。见表 4。

2.4　两组手术并发症

术后 6 个月，3D 组手术并发症低于传统组，但组间比较差异无统计学意义（$P>0.05$）。见表 5。

2.5　两组手术效果

术后 6 个月，3D 组手术优良率高于传统组（$P<0.05$）。见表 6 和图 1 和图 2。

表 2　两组术中及术后指标($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	术中出血量(mL)	手术时间(min)	术中透视次数(次)	术后负重开始时间(d)	影像学愈合时间(周)	初次骨痂形成时间(周)
3D 组	65	178. 12±15. 66	80. 60±10. 23	6. 68±1. 01	9. 17±1. 44	26. 01±3. 04	9. 98±1. 72
传统组	65	247. 74±18. 52	122. 21±13. 77	11. 25±1. 34	13. 32±2. 51	29. 52±3. 65	10. 34±1. 60
t		23. 143	19. 556	21. 957	11. 562	5. 957	1. 236
P		<0. 001	<0. 001	<0. 001	<0. 001	<0. 001	0. 219

表 3　两组血清 IL-6、IL-8 水平(pg/mL, $\bar{x}\pm s$)

组别	例数	IL-6			IL-8		
		术前	术后 1 d	术后 5 d	术前	术后 1 d	术后 5 d
3D 组	65	10. 56±1. 83	15. 35±2. 46	10. 64±1. 78	48. 85±5. 72	55. 11±6. 23	48. 94±5. 66
传统组	65	11. 74±1. 44	18. 56±2. 09	11. 78±1. 42	47. 12±6. 39	59. 98±6. 71	47. 08±6. 44
$F_{组间}$, P			24. 823, P<0. 001			18. 254, P<0. 001	
$F_{时间点}$, P			86. 528, P<0. 001			46. 901, P<0. 001	
$F_{交互}$, P			8. 043, P<0. 001			26. 972, P<0. 001	

表 4　两组 HSS 膝关节评分及 ROM、LDFA($\bar{x}\pm s$)

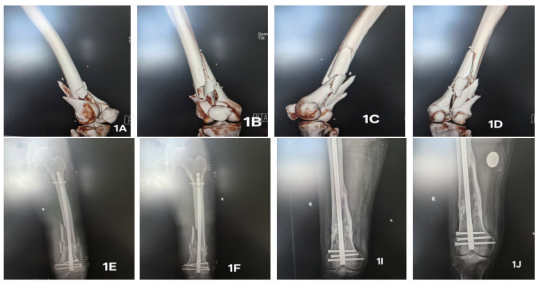
组别	例数	HSS 评分(分)			ROM(°)			LDFA(°)		
		术后 1 个月	术后 3 个月	术后 6 个月	术后 1 个月	术后 3 个月	术后 6 个月	术后 1 个月	术后 3 个月	术后 6 个月
3D 组	65	61. 42±4. 38	70. 63±5. 41	80. 51±5. 77	96. 33±4. 71	115. 78±6. 65	120. 42±12. 23	74. 42±5. 51	80. 84±5. 26	85. 51±6. 33
传统组	65	56. 68±5. 79	64. 49±5. 56	73. 88±6. 29	92. 24±5. 51	100. 23±7. 17	109. 74±13. 35	71. 77±5. 03	75. 66±5. 72	80. 47±5. 95
$F_{组间}$, P		62. 351, <0. 001			48. 726, <0. 001			28. 915, <0. 001		
$F_{时间点}$, P		1258. 642, <0. 001			602. 817, <0. 001			896. 325, <0. 001		
$F_{交互}$, P		5. 728, <0. 001			10. 153, <0. 001			4. 219, <0. 001		

表 5　两组手术并发症[n(%)]

组别	例数	轻度膝内翻畸形	膝关节疼痛	深静脉血栓	总发生率
3D 组	65	0(0. 00)	2(3. 08)	0(0. 00)	2(3. 08)
传统组	65	1(1. 54)	3(4. 62)	1(1. 54)	5(7. 70)
P					0. 435

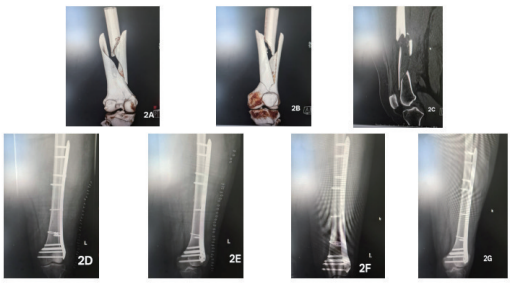
表 6　两组手术效果[n(%)]

组别	例数	优	良	可	差	优良率
3D 组	65	22(33. 84)	35(53. 85)	6(9. 23)	2(3. 08)	57(87. 69)
传统组	65	16(24. 62)	31(47. 69)	11(16. 92)	7(10. 77)	47(72. 31)
χ^2/Z			2. 190			4. 808
P			0. 029			0. 028



注：图 1A~1D：三维 CT 显示为 AO 分型 C2 型骨折，股骨远端关节面为简单骨折，干骺端为复杂骨折。图 1E、1F：采用逆行髓内钉内固定术后 2 d。图 1I、1J：采用逆行髓内钉内固定术后 6 个月，骨折断端基本愈合。

图 1　3D 组典型案例



注：图 2A~2C：CT 显示为 AO 分型 C2 型骨折，股骨远端关节面为简单骨折，干骺端为复杂骨折。图 2D、2E：采用传统钢板内固定术后 2 d。图 2F、2G：采用传统钢板内固定术后 6 个月，骨折断端大部分愈合。

图 2　传统组典型案例

3　讨论

AO/OTA C 型股骨远端骨折多呈粉碎性,常伴随关节软骨剥离、关节面移位、干骺端骨折,给骨折复位精度及内固定稳定性带来巨大挑战[9-10]。钢板内固定术、逆行髓内钉内固定术均是本病有效内固定方案,其效果已得到临床学者肯定[11-12]。

3D 打印技术可立体、客观呈现骨折情况,1∶1 还原骨折断端,帮助骨科医生更好地了解病变部位解剖情况,预先发现围手术期可能出现的问题,制定更加合理的手术方案[13]。3D 打印模型允许术者模拟手术操作,可提前明确手术入路,规划骨折复位和内固定物位置、方向,提高手术操作熟练度,减少术中反复调整与透视次数,缩短手术时间[14]。同时术前模拟使手术操作更为精准,显著提高骨折解剖复位质量,与逆行髓内钉内固定术结合后,可增强骨折端稳定性,加快骨折愈合,为膝关节功能恢复提供生物力学基础[15]。因此,3D 组在手术时间、影像学愈合时间、术中透视次数等方面展现出独特优势。传统钢板内固定术主要通过 X 线和 CT 进行术前规划,但难以全方位呈现 AO/OTA C 型股骨远端骨折的立体细节,需反复多次透视,影响术中复位固定质量和效率同时,延长手术时间,增加术中出血量[16]。统计两组并发症发现,3D 组并发症总发生率低于传统组,这与 3D 打印模型可减少手术过程的盲目操作和不必要组织损伤密切相关,可显著提高手术操作精确度,减少并发症。同时逆行髓内钉采用有限切开复位,无需大范围剥离骨折端骨膜与膝关节周围软组织,减少术后关节粘连、僵硬风险。3D 组出现 2 例膝关节疼痛,分析原因与骨折本身所致的创伤性关节炎或逆行髓内钉钉尾微刺激有关,术后通过规范使用非甾体抗炎药、循序渐进的关节活动训练得到改善。

本研究还发现,术后 1 d,两组患者血清 IL-6、IL-8 水平高于术前,3D 组低于传统组,说明传统钢板内固定术创伤较明显,可引发强烈的全身应激反应,生成过量炎症因子(IL-6、IL-8),增加切口感染、深静脉血栓等并发症发生率,影响术后康复进程。3D 打印技术凭借术前精准模拟规划,可显著减少对周围软组织牵拉与损伤,对机体干扰小,术后炎症反应更加轻微,术后恢复更快。术后 5 d,两组血清各指标水平降至术前水平,说明两种术式引起的炎症应激反应均为一过性,未引起长期慢性炎性损伤。

进一步研究发现,术后 1 个月、3 个月、6 个月,3D 组 HSS 评分高于传统组。LDFA 是反映膝关节解剖力线的敏感指标,其值与骨折复位质量密切相关[17-19]。3D 打印模型通过术前模型可实现精准复位和固定,使得 LDFA 值处于理想范围内,维持膝关节正常力线[20]。同时逆行髓内钉内固定术属于轴心载荷分担固定,符合股骨解剖力线,可有效控制骨折端旋转移位,早期开展膝关节康复运动。传统组多凭借骨科医生自身经验复位,易出现力线偏差,影响膝关节功能[21-22]。钢板内固定术切口大,易破坏周围肌肉、韧带附着点,引起膝关节疼痛、僵硬等并发症,加以该操作属于偏心固定,应力遮挡明显,常延迟负重,影响下肢力线。这可能是 3D 组 LDFA 高于传统组的可能原因之一。另外,股骨远端骨折后常伴随剧烈疼痛,肢体活动严重受限,相关检查配合度较低,进而导致检查结果不准确,影响研究设计的严谨性,故本研究并未统计术前 HSS 评分及 ROM、LDFA,后续可通过疼痛干预和规范操作保证基本测量准确性,满足术前评估需求。尽管 3D 打印模型在股骨远端骨折术前规划中凸显独特优势,但 3D 打印程序较为繁杂,制作时间长达 3~5 d,可能会延误部分患者的最佳手术时机,其次是 3D 打印模型价格相对昂贵,一定程度上增加患者住院成本,在基层医疗机构应用受限。

综上所述,3D 打印模型辅助规划用于 AO/OTA C 型股骨远端骨折患者逆行髓内钉内固定术,有利于减少术中透视次数,改善膝关节功能,恢复下肢力线,提高手术效果。本研究为回顾性单中心研究,受限于样本来源与研究性质,其结果可能存在一定偏倚,日后若能开展多中心前瞻性随机对照研究,并对骨折亚型进行分组分析,持续跟踪随访,进行中远期疗效评价,研究结论将更具说服力,从而为本病临床治疗提供可靠依据。

利益冲突:所有作者均申明不存在利益冲突。

参考文献:

[1] Kursad Bayraktar M, Akdaş Tekin E. Headless cannulated screw and external fixator in the treatment of type C distal femur fractures: effect of early mobilization on clinical outcomes[J]. Acta Orthop Belg, 2023, 89(1): 122-127. DOI: 10. 52628/89. 1. 11119.

[2] Collinge CA, Reeb AF, Rodriguez-Buitrago AF, et al. Analysis of

101 mechanical failures in distal femur fractures treated with 3 generations of precontoured locking plates[J]. J Orthop Trauma, 2023, 37(1): 8-13. DOI: 10.1097/BOT.0000000000002460.

[3] Wilson JL, Squires M, McHugh M, et al. The geriatric distal femur fracture: nail, plate or both? [J]. Eur J Orthop Surg Traumatol, 2023, 33(5): 1485-1493. DOI: 10.1007/s00590-022-03337-5.

[4] Hou ZW, Zheng K, Xu M, et al. Utilization of 3D-printed customized uncemented stem prostheses for revision of aseptic loosening in the distal femoral cemented prostheses: case series and literature review[J]. Orthop Surg, 2025, 17(3): 801-813. DOI: 10.1111/os.14331.

[5] Jia X, Zhang K, Qiang M, et al. Design of well-matched end-structure of anatomical proximal femoral locking plate based on computer-assisted imaging combined with 3D printing technology: a quality improvement study[J]. Int J Surg, 2023, 109(5): 1169-1179. DOI: 10.1097/JS9.0000000000000300.

[6] Scheuermann LM, Kim SE, Lewis DD, et al. Minimally invasive plate osteosynthesis of femoral fractures with 3D-printed bone models and custom surgical guides: a cadaveric study in dogs[J]. Vet Surg, 2023, 52(6): 827-835. DOI: 10.1111/vsu.13925.

[7] Alshahrani AH. Efficacy and safety of robotic-assisted knee reconstruction: a systematic review and meta-analysis[J]. Eur Rev Med Pharmacol Sci, 2024, 28(6): 2250-2262. DOI: 10.26355/eurrev_202403_35729.

[8] 芦重尧, 赵戈, 王韬, 等. 血清 miR-204-5p、miR-199b-5p、miR-181c-5p 联合检测对脊柱骨折患者术后下肢深静脉血栓形成的预测价值[J]. 中华骨与关节外科杂志, 2025, 18(5): 434-440. DOI: 10.3969/j.issn.2095-9958.2025.05.08.

[9] Bliemel C, Cornelius J, Lehmann V, et al. Titanium cable cerclage increases the load to failure in plate osteosynthesis for distal femoral fractures[J]. Medicina (Kaunas), 2024, 60(9): 1524. DOI: 10.3390/medicina60091524.

[10] 郭松华, 张占丰. 下肢轴向牵引器联合闭合复位钢板内固定对股骨远端骨折的疗效观察[J]. 浙江医学, 2023, 45(13): 1397-1400. DOI: 10.12056/j.issn.1006-2785.2023.45.13.2022-3205.

[11] 潘汝南, 唐承杰, 李峰, 等. 两种复位方式锁定加压钢板内固定治疗老年股骨远端骨折的疗效比较[J]. 临床骨科杂志, 2024, 27(5): 712-716. DOI: 10.3969/j.issn.1008-0287.2024.05.034.

[12] Brodke D, Devana S, Hernandez A, et al. Timing of radiographic healing for distal femur fractures treated with intramedullary nails[J]. J Orthop Trauma, 2024, 38(12): 661-667. DOI: 10.1097/BOT.0000000000002915.

[13] 鲍勇钢, 吴彬. 3D 生物打印复合材料骨组织工程支架在骨缺损治疗中的应用[J]. 济宁医学院学报, 2025, 48(2): 185-188. DOI: 10.3969/j.issn.1000-9760.2025.02.018.

[14] 黄余森, 莫勇新, 刘斌, 等. 3D 打印技术辅助下定制型假体修复重建股骨远端骨缺损[J]. 中国微创外科杂志, 2023, 23(12): 939-943. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6604.2023.12.012.

[15] Wall R, Syed F, Arastu M, et al. Treatment of supracondylar periprosthetic femoral fractures with retrograde intramedullary nailing versus distal femoral plating: a systematic review and meta-analysis of current evidence[J]. Orthop Traumatol Surg Res, 2023, 109(5): 103489. DOI: 10.1016/j.otsr.2022.103489.

[16] 黄晨, 徐伟, 谢美明, 等. 术前虚拟规划联合 3D 打印模板预塑形钢板治疗髋臼后壁骨折[J]. 中国骨伤, 2024, 37(2): 135-141. DOI: 10.12200/j.issn.1003-0034.20220508.

[17] 叶子昂, 窦海伟, 王利. 3D 打印截骨导板与传统标准化截骨工具在膝关节双间室置换中的疗效对比研究[J]. 新疆医科大学学报, 2024, 47(6): 831-835, 842. DOI: 10.3969/j.issn.1009-5551.2024.06.011.

[18] 张鹏远, 马明阳, 孔祥朋, 等. MAKO 机器人辅助与传统手工全膝关节置换术后下肢力线的对比研究[J]. 骨科, 2023, 14(2): 155-160. DOI: 10.3969/j.issn.1674-8573.2023.02.012.

[19] 马西耀, 董克芳, 刘晓岚. 个体化力线校正目标与胫骨高位截骨术后疗效的预测模型[J]. 实用骨科杂志, 2025, 31(10): 896-902. DOI: 10.3969/j.issn.1008-5572.2025.10.009.

[20] 吴迪, 司丽娜, 武丽珠, 等. 3D 打印技术与计算机辅助设计应用在全膝关节置换治疗重度膝关节骨关节炎中的可行性[J]. 中国组织工程研究, 2023, 27(13): 2051-2057.

[21] 黄喆, 张志强, 张晓雪, 等. 3D 打印技术结合术前规划指导对治疗胫腓骨远端严重粉碎骨折的临床疗效观察[J]. 罕少疾病杂志, 2023, 30(6): 71-72, 76. DOI: 10.3969/j.issn.1009-3257.2023.06.029.

[22] 何国文, 胡栢均, 高大伟, 等. 3D 打印术前规划联合双反牵引装置治疗 Schatzker Ⅴ、Ⅵ型胫骨平台骨折[J]. 中国组织工程研究, 2022, 26(36): 5764-5769.

(收稿日期　2025-12-30)

(本文编辑: 甘慧敏)