

骨科手术机器人在骨盆骨折手术中的应用

李明, 李强, 段方方

(宿州市第一人民医院骨一科 安徽 宿州 234000)

摘要 **目的:** 分析骨科手术机器人在骨盆骨折手术治疗中的应用价值。**方法:** 回顾性分析 2021 年 2 月—2022 年 11 月收治的 82 例骨盆骨折患者的临床资料, 将其分为研究组 (41 例) 和对照组 (41 例)。两组患者均接受手术治疗, 研究组患者行天玑®骨科手术机器人辅助下内固定术, 对照组患者则行 C 型臂 X 射线机辅助下内固定术。记录两组患者手术时间、术中出血量、螺钉置入透视时间、住院时间、术后 1 周疼痛评分、术后 6 个月 Majeed 骨盆评分、骨盆功能优良率及并发症情况。**结果:** 两组患者的平均住院时间比较, 差异无统计学意义 ($P>0.05$), 与对照组相比, 研究组患者的螺钉置入平均透视时间和平均手术时间更短、平均术中出血量更少 ($P<0.05$); 比较两组患者的平均骨折愈合时间、术后 6 个月平均 Majeed 骨盆评分、术后 6 个月功能优良率、术后 6 个月骨折复位 Matta 评分优良率, 差异无统计学意义 ($P>0.05$); 研究组患者术后 1 周平均 VAS 评分低于对照组 ($P<0.05$); 研究组患者并发症发生率低于对照组 ($P<0.05$)。**结论:** 骨科手术机器人辅助手术在骨盆骨折患者中可有效缩短手术操作时间, 减少术中出血量, 改善术后疼痛程度, 降低并发症发生率。

关键词 骨科手术机器人; 内固定术; 骨盆骨折

中图分类号 R608 R687.3 **文献标识码** A **文章编号** 2096-7721 (2024) 05-0771-06

Application of orthopaedic surgical robot in pelvic fracture

LI Ming, LI Qiang, DUAN Fangfang

(No.1 Department of Orthopedics, Suzhou First People's Hospital, Suzhou 234000, China)

Abstract **Objective:** To analyze the application value of TiRobot® orthopedic robotic system in the treatment of pelvic fracture. **Methods:** Clinical data of 82 patients with pelvic fracture who were treated in Suzhou First People's Hospital from February 2021 to November 2022 were retrospectively analyzed. They were divided into the study group ($n=41$) and the control group ($n=41$). Patients in the study group underwent internal fixation assisted by TiRobot® orthopedic robotic system, while patients in the control group underwent internal fixation with the assistance of C-arm X-ray machine. Operative time, intraoperative blood loss, screw fluoroscopy time, length of hospital stay, pain score 1 week after surgery, Majeed score 6 months after surgery, good-to-excellent rate of pelvic function and complications of patients in the two groups were recorded for comparison. **Results:** There was no significant difference in the average length of hospital stay between the two groups ($P>0.05$). Compared with the control group, the average fluoroscopy time and operative time in the study group were shorter and the average intraoperative blood loss was less ($P<0.05$). No significant difference in the mean fracture healing time, the mean Majeed score half a year after surgery, the superior and good rate of pelvic function half a year after surgery, and the Matta score for good-to-excellent rate of fracture reduction half a year after surgery was found between the two groups ($P>0.05$). The average VAS score of the study group was lower than that of the control group one week after surgery ($P<0.05$). The complication rate of the study group was lower than that of the control group ($P<0.05$). **Conclusion:** Application of TiRobot® orthopedic robotic system in the treatment of pelvic fracture can effectively shorten the operative time, reduce the amount of intraoperative blood loss, alleviate postoperative pain and lower the incidence rate of complications.

Key words Orthopedic Surgical Robot; Internal Fixation; Pelvic Fracture

收稿日期: 2024-04-18 录用日期: 2024-06-18

Received Date: 2024-04-18 Accepted Date: 2024-06-18

基金项目: 2021 年安徽省卫生健康委科研项目 (AHWJ2021b135)

Foundation Item: Scientific Research Project of Anhui Health Commission in 2021(AHWJ2021b135)

通讯作者: 李明, Email: wuyirenjia@126.com

Corresponding Author: LI Ming, Email: wuyirenjia@126.com

引用格式: 李明, 李强, 段方方. 手术机器人在骨盆骨折手术中的应用 [J]. 机器人外科学杂志 (中英文), 2024, 5 (5): 771-776.

Citation: LI M, LI Q, DUAN F F. Application of orthopaedic surgical robot in pelvic fracture[J]. Chinese Journal of Robotic Surgery, 2024, 5(5): 771-776.

骨盆骨折通常由高能量损伤所致，发生率约为3%，以骨盆区域剧烈疼痛、肿胀、淤血以及步行困难为主要症状^[1-3]。由于患者常伴有多脏器损伤，加之骨盆区域的血运较为丰富，促使部分患者在骨折时易出现失血性休克^[4-5]。而在治疗过程中通常需要先进行急诊处理并稳定生命体征后，再择期选择手术治疗。在骨盆骨折中，后环不稳定损伤约占盆骨骨折的20%~30%，既往常采用切开复位内固定术恢复患者盆骨功能，降低致残风险^[6-7]。但该术式的切口较大，且术中软组织剥离较多，易增加术中出血量和术后并发症风险，故而存在局限性。近年来，随着微创外科理念和微创术式的不断发展，经皮骶髂螺钉内固定术在各种骨折疾病中也得以广泛应用^[8-9]。特别是在手术机器人的辅助作用下，促使骨科医生的螺钉置入精准度和置钉能力得到了极大提升，同时手术机器人对优化临床疗效和提高手术安全性方面也具有重要作用^[10-11]。本研究通过分析采用手术机器人和C型臂X射线机辅助下行手术治疗患者的相关资料，对比上述两种手术方法的应用效果，现报道如下。

1 资料与方法

1.1 临床资料 回顾性分析2021年2月—2022年11月于宿州市第一人民医院骨一科收治的82例骨盆骨折患者的临床资料，将其分为研究组（行天玑®骨科手术机器人辅助下内固定术，41例）和对照组（行C型臂X射线机辅助下内固定术，41例）。两组患者临床资料比较，差异无统计学意义（ $P>0.05$ ），见表1。纳入标准：①因外伤致骨盆骨折，通过体征诊断为新鲜骨折者；②按照损伤控制骨科标准进行预处理后行

内固定术治疗者；③符合手术指征，麻醉耐受者；④临床资料齐全，且完成随访者。排除标准：①伴有失血性休克或严重多发伤者；②既往存在髋关节或骨盆损伤者；③术区感染，无法进行手术者；④非创伤性骨盆骨折。本研究已通过医院伦理会批准同意。

1.2 方法

1.2.1 术前处理 入院后先予以患者补液，抗休克，并处理相关合并伤，待生命体征稳定后再行X线、骨盆CT扫描等影像学检查。对患肢进行骨牵引处理，待生命体征稳定后5~14 d行手术治疗。开腹手术：使用钢板、螺钉或其他固定物来稳定骨折部位，确保骨骼的正确对位和愈合。

1.2.2 对照组 行C型臂X射线机辅助下内固定术。对照组使用常规C型臂X射线机透视辅助下经皮骶髂拉力螺钉内固定进行手术。术前进行必要检查，包括三维CT重建患者骨折部位形态，了解骨折类型、骨折移位情况以及螺钉内固定治疗指征，初步确定相关治疗参数（如图1）。术前进行常规准备，并针对垂直不稳定的患者进行下肢牵引以纠正骨折部位。术中进行气管插管确保通气通畅，随后将患者置于仰卧位行全身麻醉，对复位不满意的患者麻醉后进行闭合复位，并借助Starr架顺利完成闭合复位。术中使用常规C型臂X射线机透视导针进行引导，确保准确的操作位置，使用电钻建立通道，选择经皮骶髂拉力螺钉进行内固定，然后使用徒手置钉的方法进行置钉操作。

1.2.3 研究组 行天玑骨科手术机器人辅助下内固定术。术前准备同对照组。①图像采集：将手术机器人转移到手术床旁，然后在足端无菌区

表1 两组患者一般资料比较 ($\bar{x} \pm s$)

Table 1 Comparison of general data between the two groups of patients ($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	性别(例)		居住地(例)		年龄(岁)	致伤原因(例)			损伤类型(例)		受伤至手术时间(d)	ISS评分(分)
		男	女	乡村	城镇		砸伤	坠落伤	交通伤	B型	C型		
研究组	41	26	15	22	19	35.61 ± 6.28	6	11	24	17	24	3.42 ± 0.33	23.14 ± 4.41
对照组	41	23	18	25	16	34.39 ± 5.92	5	9	27	15	26	3.39 ± 0.31	23.25 ± 4.39
t/χ^2 值		0.456		0.449		0.905	0.467			0.205		0.424	0.113
P值		0.499		0.503		0.368	0.791			0.651		0.673	0.910

外放置光学跟踪相机和髌前上棘处放置示踪器。三维 C 型臂放置在术者对侧，并在 C 型臂透视的中央位置放置定位标尺。图像采集时需确保入口和出口位的 5 个定点都清晰可见，术中三维透视影像将被上传至工作站，并进行配准计算。

②路径规划：使用工作站选择相应符合的注册图像，根据骨性标志结构和典型标识点规划螺钉大小、长度、进针位置以及进针角度，另需要注意入针点是否处于骨质斜坡上，以避免精度偏差并预留 1~2 mm 的纠正空间（如图 2A）。③手术机器人置钉：通过启动按钮运行机械臂，通过电脑操作界面点击“运动”，由预设的软件程序控制机械臂按照预定路径移动。然后在患者身体相应位置放置导针套管，并在入针点处做 2 cm 切口，使用钝器将皮下组织和肌肉分离，另将套筒尖端抵在入针点的骨皮质上（如图 2B）。实时校准导针位置并进行位置偏差补偿，在持续微调和透视监测下套筒沿骨性通道插入导针，长度以骶骨中线为宜。随后再次确认导针位置后，将空心螺钉沿着导针拧入切口，待螺钉位置确认后，缓慢撤出导针并进行常规清洁与缝合包扎。

1.2.4 术后处理 所有患者术后回院通过 X 线片及 CT 进行骨盆复查，并保留相关影像学资料（如图 3）。术后予以镇痛、防感染、防血栓形成等干预措施，并根据患者个体情况进行康复训练。

1.3 观察指标 记录所有患者手术时间（复位结束至完成缝皮时间）、术中出血量、螺钉置入透视时间（手术开始到结束手术的累计时间，若患者需置入 2 枚或以上螺钉，则以平均值为准）、住院时间；于患者术后 1 周采用视觉模拟评分法（Visual Analogue Scale, VAS）评估患

者疼痛程度，总分范围 0~10 分，分数越高则提示疼痛更严重；术后 6 个月采用 Majeed 骨盆评分评估患者恢复情况，总分 0~100 分，分数越高则提示恢复情况越好；术后 6 个月根据患者 X 线片及 CT 等复查资料评估骨盆功能优良率；记录患者感染、神经损伤、螺钉松动、血管损伤等并发症发生情况。

1.4 统计学方法 所有数据采用 SPSS 25.0 软件进行统计学分析。采用 Kolmogorov-Smirnov 法进行正态性检验，符合正态分布的计量资料以均数 ± 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示，组间比较采用两独立样本 *t* 检验；组间比较采用非参数秩和检验。计数资料以例数（百分比）[*n* (%)] 表示，组间比较采用 χ^2 检验，以 $P < 0.05$ 表示差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 手术相关指标 两组患者均顺利完成手术。两组患者的平均住院时间比较，差异无统计学意义 ($P > 0.05$)，与对照组相比，研究组的螺钉置入平均透视时间和平均手术时间更短、平均术中出血量更少，差异具有统计学意义 ($P < 0.05$)，见表 2。

2.2 术后相关指标 两组患者的平均骨折愈合时间、术后 6 个月平均 Majeed 骨盆评分、术后 6 个月功能优良率、术后 6 个月骨折复位 Matta 评分优良率比较，差异无统计学意义 ($P > 0.05$)，研究组患者术后 1 周平均 VAS 评分低于对照组，差异具有统计学意义 ($P < 0.05$)，见表 3。

2.3 术后并发症发生率 研究组有 1 例患者发生了感染，并发症发生率为 2.44% (1/41)。对照组有 3 例患者发生了感染，1 例患者发生了神

表 2 两组患者手术相关指标比较

Table 2 Comparison of surgical indicators between the two groups of patients

组别	例数	手术时间 (min)	术中出血量 (mL)	螺钉置入透视时间 (s)	住院时间 (d)
研究组	41	70.53 ± 5.82 ^a	37.43 ± 7.78 ^a	10.60 ± 2.50 ^a	11.55 ± 2.46
对照组	41	80.62 ± 7.41	42.37 ± 7.12	39.30 ± 5.30	12.31 ± 2.73
χ^2 值		6.857	2.999	31.360	1.324
<i>P</i> 值		0.000	0.004	0.000	0.189

注：与对照组相比，^a $P < 0.05$

经损伤，1例患者发生了螺钉松动，1例患者发生了血管损伤，并发症发生率为14.63% (6/41)。研究组患者并发症发生率低于对照组，差异具有统计学意义 ($P < 0.05$)。

3 讨论

骨盆的解剖结构较为复杂，且富含血管和

神经，而骨盆后环是骨盆的重要组成部分，位于骨盆后部，同时在骨盆中发挥了支撑、保护和稳定等作用^[12-13]。传统的切开复位内固定术虽然能够实现骨折复位和骨折固定，但手术创伤大，易损伤骨盆邻近部位的血管和神经，不利于术后康复。近年来，在交通事故、高空坠落等事件的影响下，导致骨盆骨折患病率不断升高，促

表 3 两组患者术后相关指标比较 [$\bar{x} \pm s, n(\%)$]

Table 3 Comparison of postoperative indexes between the two groups of patients [$\bar{x} \pm s, n(\%)$]

组别	例数	VAS 评分 (分)	骨折愈合时间 (月)	Majeed 骨盆评分 (分)	功能优良率	骨折复位 Matta 评分优良率
研究组	41	2.14 ± 0.25 ^a	2.73 ± 0.32	88.73 ± 5.45	35 (85.37)	36 (87.80)
对照组	41	3.02 ± 0.31	2.84 ± 0.43	86.35 ± 5.92	30 (73.17)	33 (80.49)
t/χ^2 值		14.149	1.314	1.894	1.855	0.823
P 值		0.000	0.193	0.062	0.173	0.364

注：与对照组相比，^a $P < 0.05$

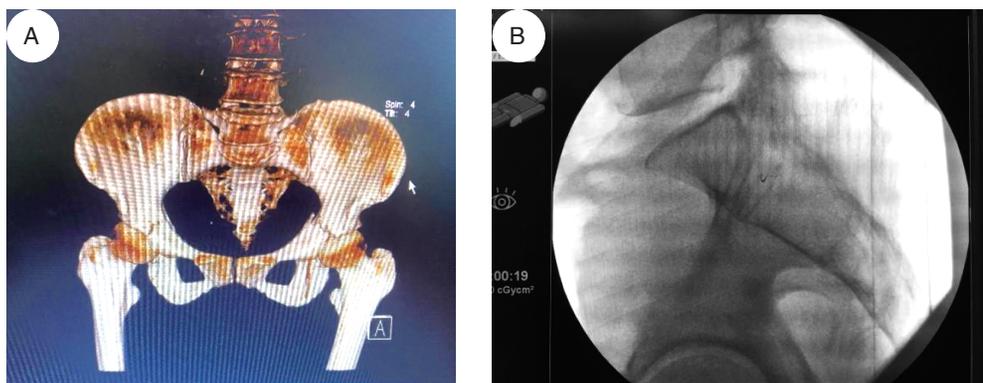


图 1 术前三维 CT 图及术前采集侧位像

Figure 1 Preoperative 3D CT image and preoperative lateral image

注：A. 术前三维 CT 图；B. 术前采集侧位像

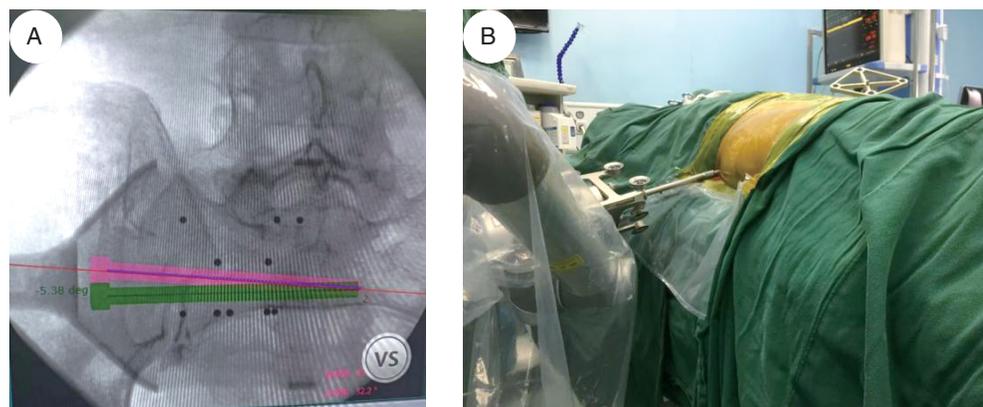


图 2 术中机器人扫描规划进钉路径及导针置入

Figure 2 Intraoperative robotic scanning and planning of nail insertion path and guide needle placement

注：A. 术中机器人扫描规划进钉路径；B. 术中导针置入进行中

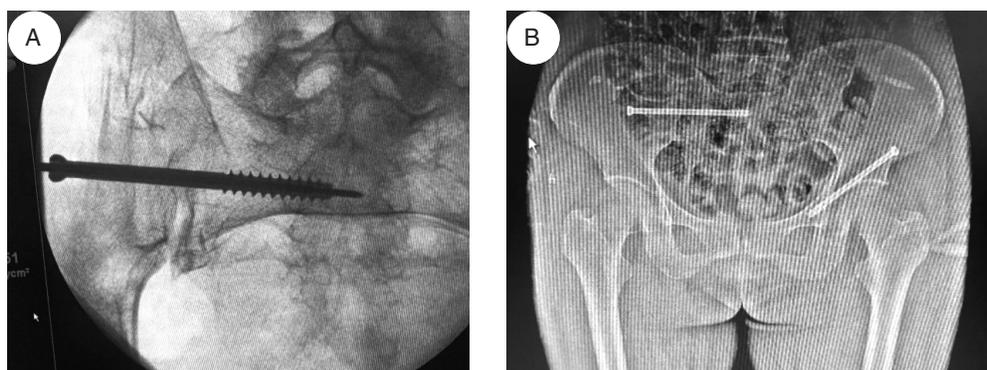


图3 术中透视显示内固定置入情况及术后复查X线片

Figure 3 Internal fixation placement under fluoroscopy during surgery and postoperative X image

使经皮骶髂螺钉内固定逐渐成为骨盆不稳定或骨盆骨折等患者的主流术式^[14-15]。相较于传统的切开复位内固定术，该术式具有创伤小，术后恢复期短等优势，加之术中无需大面积剥离软组织，因而术后疼痛小，创面感染风险较低，有助于缩短患者骨折愈合时间，提高治疗效果^[16-18]。骨盆后环的解剖结构复杂且不规则，加上软组织挤压、骨质损伤、引导针套管位移、患者体型等因素影响，使得螺钉置入操作较为困难，术中难以准确判断螺钉位置和螺钉置入方向，因而需要反复钻孔定位。然而，反复钻孔定位不仅会增加组织损伤程度，延长手术时间，还会破坏周围骨质^[19-20]。因而在骶髂螺钉内固定手术过程中，如何提高螺钉置入的精准度，减少置钉错位和螺钉移位就显得尤为重要。

既往临床中，骨盆骨折患者常接受传统的二维C型臂引导技术辅助骶髂螺钉内固定术，手术过程中需要持续调整二维C型臂摆放位置，并通过多平面摄像观察导航工具位置，但这种操作既复杂又缺乏立体感的图像，导致医生在手术过程中难以实时动态监测螺钉置入部位。近年来，医用机器人在外科手术中的应用逐渐受到广泛关注^[21]。在骨盆骨折微创手术中，相较于二维影像技术，三维C型臂辅助技术能够提供轴向图像，且不受骨骼结构叠加、体位变化以及异常解剖结构等因素影响，且成像质量更高。同时三维C型臂辅助技术还可为术者提供骨折线的形状、方向和程度，骨折片段位置，骨折解剖关系等更为丰富的影像学信息，有助

于术者设计更为适合的置钉点和置钉通道。此外，通过操作手术机器人的机械臂还可实现螺钉的自动精确定位，引导术者顺利完成螺钉置入手术，缩短手术时间，提高手术安全性。既往相关研究在骨盆骨折患者术中予以天玑®骨科手术机器人辅助治疗^[14]发现，90例骨盆骨折患者术中出血量为5~200 mL，术中未出现血管神经损伤，所有患者的术后切口均为I期愈合，由此说明天玑骨科手术机器人辅助治疗具有较好的应用效果。另有研究通过比较采用手术机器人辅助置钉和传统透视下徒手置钉方式在骨盆骨折患者中的临床疗效^[16]发现，实验组患者采用手术机器人辅助置钉的精准度更高，螺钉透视时间和导针调整次数也相对更少。本研究结果发现，研究组患者术中平均出血量少于对照组，平均手术时间、螺钉置入平均透视时间均短于对照组，且VAS评分低于对照组，结果与既往相关报道^[19]具有一致性。分析原因可能为手术机器人辅助治疗提高了术者术中的置钉准确性，继而减少了损伤风险和术中出血量，缩短了手术时间，降低了疼痛程度。此外，本研究结果显示，研究组患者术后并发症发生率明显低于对照组，与既往报道相符^[22]。分析原因可能为手术机器人辅助治疗克服了二维C型臂引导技术辅助下徒手置钉难度大的问题，同时手术机器人辅助治疗亦按照手术规划调整路径，继而确保螺钉置入在更为适合的骨性通道，从而使术者在术中的操作更加精准且稳定，有效减少了术后并发症发生率。

综上所述,天玑[®]骨科手术机器人在骨盆骨折患者中可有效缩短手术操作时间,减少术中出血量,改善术后疼痛程度,降低并发症发生率,具有较好的应用前景。

利益冲突声明: 本文不存在任何利益冲突。

作者贡献声明: 李明负责拟定写作思路,设计论文框架,数据收集,论文修改;李强负责拟定写作思路,指导撰写文章并最后定稿;段方方负责统计学分析,绘制图表;李明、李强、段方方均负责实验操作,研究过程的实施。

参考文献

- [1] 夏睿,徐玮,刘雷,等.天玑骨科机器人Tirobot导航系统在骨盆骨折手术中的应用[J].生物骨科材料与临床研究,2023,20(2):60-64.
- [2] 吴博宇,范志海.机器人辅助手术治疗脊柱骨折伴脊髓神经损伤的研究进展[J].机器人外科学杂志(中英文),2024,5(2):194-198.
- [3] DuBose J J, Burlow C C, Joseph B, et al. Pelvic fracture-related hypotension: a review of contemporary adjuncts for hemorrhage control[J]. J Trauma Acute Care Surg, 2021, 91(4): 93-103.
- [4] Hollwarth A J, Dutton T A G. Retrospective analysis of pelvic limb fracture management in companion psittacine birds (60 Cases)[J]. J Avian Med Surg, 2023, 37(2): 165-174.
- [5] 杨光,祁宝昌,赵天昊,等.TiRobot骨科手术机器人辅助下微创经皮通道螺钉固定治疗骨盆骨折的疗效分析[J].中华创伤骨科杂志,2022,24(3):200-205.
- [6] 周金明.腰椎融合术后骶骨和骨盆骨折风险因素的研究进展[J].颈腰痛杂志,2022,43(6):920-921.
- [7] LONG T, LI K N, GAO J H, et al. Comparative study of percutaneous sacroiliac screw with or without TiRobot assistance for treating pelvic posterior ring fractures[J]. Orthop Surg, 2019, 11(3): 386-396.
- [8] 赵斌,李金奇,赵春鹏,等.基于5G技术的骨科机器人远程导航辅助植入经皮骨盆通道螺钉固定骨盆及髌臼骨折[J].中国修复重建外科杂志,2022,36(8):923-928.
- [9] 拓帅,周子玉.微创经皮inFix内固定支架结合空心拉力螺钉微创内固定术治疗不稳定型骨盆骨折的临床价值及临床疗效[J].贵州医药,2023,47(11):1728-1729.
- [10] 李强,王永胜,王家宝,等.机器人导航下经皮置入实心钉行短节段内固定手术治疗胸腰椎骨折[J].颈腰痛杂志,2022,43(6):863-865.
- [11] 涂志朋,金翔翥,曹昕琪,等.手术机器人在创伤骨科的应用进展[J].实用骨科杂志,2023,29(8):713-716.
- [12] 杨光,祁宝昌,赵天昊,等.TiRobot骨科手术机器人辅助下微创经皮通道螺钉固定治疗骨盆骨折的疗效分析[J].中华创伤骨科杂志,2022,24(3):200-205.
- [13] Orfanos G, Lim J, Youssef B. Pelvic and acetabular fracture management in intravenous drug users[J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2021, 141(3): 419-425.
- [14] 胡添松,何明长,陈水斌,等.影响急诊介入治疗骨盆骨折预后的多因素分析[J].临床急诊杂志,2020,21(04):277-281.
- [15] Krughoff K, Shapiro J, Peterson A C. Pelvic fracture urethral distraction defect[J]. Urol Clin North Am, 2022, 49(3): 383-391.
- [16] 秦斌卫,吴超,曾柏方,等.导板辅助与徒手骶髂钉固定不稳定性骨盆骨折[J].中国矫形外科杂志,2023,31(18):1633-1638.
- [17] 郭迪,马胜,余会林,等.经皮骶髂关节空心螺钉内固定联合支架外固定与切开复位重建钢板内固定治疗Tile B、C型骨盆骨折的比较研究[J].现代生物医学进展,2023,23(16):3107-3112.
- [18] 王小阵,孟乘飞,鲁齐林,等.3D导航技术辅助经皮双节段加长骶髂螺钉内固定治疗Denis II、III型骶骨骨折[J].中国修复重建外科杂志,2023,37(2):136-141.
- [19] 叶海民,邹华春,丁凌华,等.空心螺钉固定骶髂关节脱位的有限元分析[J].中国组织工程研究,2023,27(13):1993-1998.
- [20] Smith D L, Horn G P, Fernhall B, et al. Electrocardiographic responses following live-fire firefighting drills[J]. J Occup Environ Med, 2019, 61(12): 1030-1035.
- [21] 童德迪,王晶晶,王英杰,等.骨科机器人辅助下使用新型嵌合套筒移植自体血管化腓骨治疗股骨头坏死的疗效分析[J].骨科临床与研究杂志,2024,9(2):78-85.
- [22] 杨成志,黄站珠,唐经励,等.骨科手术机器人与“O”型臂X线导航辅助骨盆骨折经皮内固定术的比较[J].中华骨科杂志,2021,41(19):1387-1395.

编辑:赵敏

郑重声明

本刊唯一官方投审稿邮箱:jqrwkxzz@163.com。作者收到关于支付版面费或者收集个人信息等邮件时,请务必先通过官方渠道核实发件人身份。论文返修期间或者录用后,本刊编辑若需要与作者沟通稿件相关事项,会通过编辑工作邮箱与之联系。

返修稿件邮箱分别为,刘静凯:jqrwkxzz_ljk@163.com;魏小艳:jqrwkxzz_wxy@163.com;张笑嫣:jqrwkxzz_zxy@163.com;赵敏:jqrwkxzz_zm@163.com;崔明璠:jqrwkxzz_cmf@163.com。敬请广大作者与读者周知并相互转告,谨防上当受骗。如有疑问,可拨打编辑部电话(029-87286478)核实真伪。

本刊编辑部