

· 技术创新 ·

智能机器人辅助经皮固定骨盆骨折[△]王学霖¹, 吴征杰^{1, 2*}, 曾焰辉², 李灿辉², 周健生², 洪石², 司徒晓鹏², 廖江波¹

(1. 广州中医药大学第八临床医学院, 广东佛山 528000; 2. 佛山市中医院, 广东佛山 528000)

摘要: [目的] 介绍智能机器人辅助骨盆复位后经皮固定骨盆骨折的手术技术和初步临床疗效。[方法] 2022年6月—2023年1月, 15例骨盆骨折患者均接受了智能机器人辅助经皮固定治疗。术前采集患者骨盆CT资料, 固定示踪器, 将术中CT数据与术前CT图像配准后, 分别在骨盆两侧置入相应的Schantz钉, 通过规划设计复位路径后, 机械臂自动运转将患侧骨盆移动到目标位置, 实现骨盆闭合复位。最后根据骨盆类型采用空心螺钉、INFIX内固定等方式固定。[结果] 所有患者均顺利完成手术, 未出现神经血管损伤、切口感染等并发症。手术时间平均(339.9±116.2) min, 术中出血量平均(140.4±102.6) ml。残留移位平均(6.6±3.4) mm。Matta评分优良率为86.7%。[结论] 机器人智能复位能够实现大多数移位性骨盆骨折的闭合复位, 其操作安全、疗效显著, 具有临床推广意义, 值得进一步深入研究。

关键词: 骨盆骨折, 机器人, 闭合复位, 经皮螺钉固定**中图分类号:** R683.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-8478(2024)16-1507-04

Intelligent robot-assisted percutaneous fixation of pelvic fractures // WANG Xue-lin¹, WU Zheng-jie^{1,2}, ZENG Yan-hui², LI Can-hui², ZHOU Jian-sheng², HONG Shi², SITU Xiao-peng², LIAO Jiang-bo¹. 1. The Eighth Clinical College, Guangzhou University of Chinese Medicine, Foshan 528000, China; 2. Foshan Hospital of Traditional Chinese Medicine, Foshan 528000, China.

Abstract: [Objective] To describe the surgical technique and preliminary clinical outcomes of intelligent robot-assisted percutaneous fixation of pelvic fractures. [Methods] A total of 15 patients underwent intelligent robot-assisted percutaneous fixation for pelvic fractures from June 2022 to January 2023. Preoperative CT data of the patient's pelvis were collected and the tracer was fixed. As intraoperative CT data were matched with the preoperative CT images, the corresponding Schantz pins were placed on both sides of the pelvis. After planning and designing the path of the pelvic reduction, the robotic arm was automatically operated to pull the affected pelvic side aiming the target position to achieve closed pelvic reduction. Finally, pelvic fixation was conducted by placement of cannulated screws, INFIX internal fixation or external frame depending on the concrete condition of pelvis. [Results] All patients had the surgery completed successfully, without postoperative complications such as neurovascular injury or incision infection, whereas with operation time of (339.9±116.2) min, intraoperative blood loss of (140.4±102.6) ml, and residual fracture displacement on images of (6.6±3.4) mm. According to the Matta criteria, the excellent and good rate of fracture reduction was of 86.7%. [Conclusion] This intelligent robotic-assisted reduction does achieve satisfactory closed reduction of displaced pelvic fracture in most cases, is a safe and efficient tool, which deserves to be studied furtherly in-depth.

Key words: pelvic fracture, robot, closed reduction, percutaneous fixation

骨盆骨折约占成人骨折的1.5%^[1], 死亡率高达6.2%^[2]。对于移位性骨盆骨折患者而言, 骨盆的残留移位可能会出现双下肢不等长、行走困难、性功能障碍等并发症, 严重影响患者的生活质量^[3]。移位性骨盆骨折需要通过手术使其前后环复位并恢复其稳定性^[4]。实现骨盆环的解剖复位是良好预后的唯一预测因素^[5]。切开复位容易造成周围神经、血管的损

伤^[6]。而经皮空心螺钉固定能够有效避免切开复位带来的相关并发症^[7]。如今, 越来越多的学者尝试使用经皮螺钉技术治疗骨盆骨折^[8]。然而目前机器人在骨盆骨折方面的主要作用仍是辅助置钉, 提高精准性^[9]。骨科手术机器人在骨折复位方面的报道较少。北京积水潭医院研发了的一款全新用于辅助骨盆复位的智能机器人^[10]。本院2022年6月—2023年1月采

DOI:10.20184/j.cnki.Issn1005-8478.100512

△基金项目: 佛山市自筹经费类科技创新项目(项目编号:2220001004441); 国家重点研发计划资助项目(编号:2022YFC2407500)**作者简介:** 王学霖, 硕士研究生在读, 研究方向: 创伤骨科, (电子信箱)1147534643@qq.com***通信作者:** 吴征杰, (电子信箱)13902414988@163.com

用机器人智能复位后经皮内固定治疗 15 例骨盆骨折患者，疗效良好，报告如下。

1 手术技术

1.1 术前准备

术前所有患者均行骨盆前后位、入口位、出口位 CT 平扫及三维重建检查（图 1a），了解骨盆骨折情况，根据骨折情况采用不同手术策略。单纯性前环损伤通过空心螺钉固定耻骨支，后环损伤通过经皮骶髂空心螺钉固定，复杂的骨盆环损伤可以在通道螺钉固定的基础上采用 INFIX 内固定支架或切开复位钢板内固定的方式完成骨盆环的固定。

1.2 麻醉和体位

所有患者采用全身麻醉，仰卧位。

1.3 手术操作

将罗森博特骨折复位手术机器人（北京罗森博特科技有限公司）设备如图摆放（图 1b）。将机器人系统的两个被动把持臂的 U 形底座与骨盆环健侧手术床相连，组装并固定两个被动把持臂。两个 U 形托臂底座距离骨盆 60 cm，以确保术中可进行图像采集、透视验证、内固定物置入时有充足的操作空间。对于手术区域进行常规消毒和铺巾。在两侧髂前上棘部位先后用一短一长 2 根克氏针固定示踪器，以确保达到稳定固定。通过术中 C 形臂 CT 机采集获取骨盆及示踪器的锥体束 CT（CBCT）数据。采集完成后将所采集的数据上传至计算机主控系统中，并将术前的 CT 三维重建影像资料与 CBCT 数据进行配准，配准完成后通过光学跟踪系统最终骨盆位置在主控界面实时显示（图 1c）。通过光学跟踪系统可以追踪在手钻上的示踪器，实时显示 Schantz 针的深度和位置（图 1d）。在健侧半骨盆环髂骨翼最宽部位和髂前下棘（LC-2 螺钉位置）各放置 1 枚直径 5 mm 的 Schantz 钉。在患侧半骨盆除了放置 2 枚与健侧相同的螺钉外，在髌臼顶上方水平置入第 3 枚 Schantz 钉。将所有的 Schantz 针与把持臂和机械臂末端连接杆组装连接（图 1e）。

对于有垂直移位患者行股骨髁上牵引，并与弹性牵引装置组装连接。根据主控屏幕上显示的三维图像变化设置牵引力大小，并保持牵引力不变。在主控界面的骨盆三维模型上设计患侧骨盆的复位运行路径，并最终移动到目标位置。设置完成后机械臂根据规划路径自动缓慢移动，直至患侧半骨盆移动到目标位置。整个复位过程均可以在 3D 监控下实时展现在主

控屏幕上。当骨盆移动到指定位置，机器人自动复位完成，再次进行透视验证骨盆环复位情况。最后根据骨折的类型采用经皮空心螺钉、INFIX 内固定支架、外固定支架等方式实现骨盆前后环的固定（图 1f）。再次 X 线透视检查验证内固定物的位置，逐层缝合皮下层及皮肤，完成手术。

1.4 术后处理

术后完成前后位、入口位和出口位的 X 线检查，完善术后 CT 获取实际复位情况。术后常规应用抗生素抗感染，第 2 d 即可在床上行踝、趾关节全范围屈伸活动及股四头肌收缩训练。在无痛或微痛情况下行髋、膝关节主、被动屈伸活动，鼓励患者尽早扶拐下地活动，并注意保护。术后 6~8 周拄拐部分负重运动，术后 10~12 周复查骨折愈合后可尝试完全负重。

2 临床资料

2.1 一般资料

对 2022 年 6 月—2023 年 1 月在佛山市中医院接受智能机器人辅助经皮固定的 15 例不稳定性骨盆骨折患者进行回顾性分析。所有患者均为闭合性骨盆骨折。受伤至手术的时间 6~21 d，平均 (11.5 ± 3.7) d。男 9 例，女 6 例，年龄 30~81 岁，平均 (55.2 ± 17.4) 岁，其中 14 例合并其他部位的骨折或脏器损伤。Tile 分型：B 型 2 例，C 型 13 例。本研究经医院伦理委员会审批，所有患者均知情同意。

2.2 初步结果

所有患者均顺利完成手术。手术时间 100~525 min，平均 (339.9 ± 116.2) min，术中出血量 50~400 ml，平均 (140.4 ± 102.6) ml。残留移位 2.1~12.5 mm，平均 (6.6 ± 3.4) mm。Matta 评分 5 例为优，8 例为良，2 例为一般，优良率 86.7%。所有患者均未发生神经血管损伤、医源性骨折、切口感染、螺钉松动等并发症。

3 讨论

随着手术机器人技术的不断发展，在骨科多个领域已经成功实现运用机器人辅助完成手术。而面对骨盆骨折，机器人即使在 CT 导航下也仅适用于移位小于 5 mm 的骨盆骨折，并不适用于移位较大的骨盆骨折^[11]。此次依据骨盆镜像对称理论，将健侧骨盆模型作为患者半骨盆的复位参考，计算最终的复位位

置, 再经过系统分析和规划设计复位路径, 实现骨盆环解剖结构的恢复^[12]。同时为了避免出现匹配不良

的情况, 需要术前 CT 与术中 CT 三维重建模型数据匹配合格后才可进行下一步路径规划。

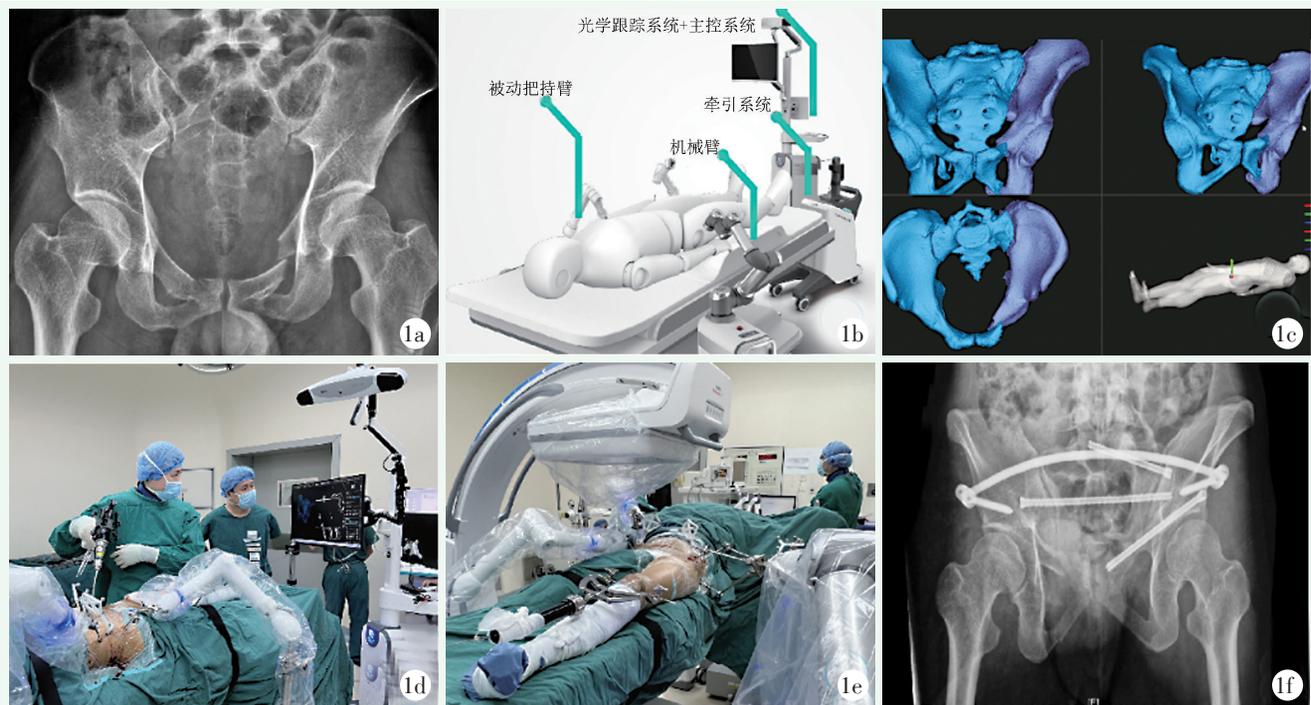


图 1. 患者男性, 30 岁。1a: 术前骨盆 X 线片示骨盆骨折; 1b: 骨盆复位手术机器人相关设备示意图; 1c: 术中 CT 扫描匹配后获取的未复位前的骨盆三维模型; 1d: 在骨盆环相应位置置入 Schantz 针; 1e: 所有 Schantz 针置入完成并与机械臂和把持臂末端相连; 患侧下肢行股骨髁上牵引并与弹性牵引装置相连; 1f: 复位后采用经皮空心螺钉及 INFIX 内固定支架固定骨盆环。
Figure 1. A 30-year-old male. 1a: Patient's preoperative pelvic radiographs; 1b: Schematic diagram of equipment related to pelvic reduction surgical robots; 1c: Three-dimensional model of the pelvis before pelvic reduction obtained after matching intraoperative CT scans; 1d: Placement of Schantz pins in the appropriate position in the pelvic ring; 1e: All Schantz pins are inserted and connected to the robotic arm and the end of the holding arm. Supracondylar femoral traction of the affected lower limb and attachment to a elastic traction device; 1f: After pelvic reduction, the pelvic ring was fixed with percutaneous cannulated screws and INFIX internal fixation frame.

以往的经皮固定骨盆骨折需要通过 X 线反复透视获得骨盆情况, 其二维图像并不能很好地呈现骨盆的三维立体结构, 需要能够识别所有解剖结构以避免偏差的情况出现^[13]。此次通过在骨盆环两侧各放置 1 个示踪器, 经过数据配准后, 光学摄像头可以实时跟踪监控骨盆两侧的示踪器, 从而将骨盆的三维图像实时显示在主控界面, 实现对整个智能化闭合复位过程的可视化, 能够更加清晰直观地查看整个手术过程中骨折端的复位情况。避免了术中需要通过 X 线机反复透视获取影像资料以判断骨折端复位情况。

通过手钻导航可以确保术中所有 Schantz 钉处于最佳位置, 保证 Schantz 钉稳定固定于骨盆上, 避免术中出现松动以及在复位过程中出现医源性骨折的情况。同时整个复位过程并非简单的直线复位, 在图像采集后规划复位路径时需要从三维空间角度考虑分离、旋转、平移等多个方向的移动, 以达到最终复位的目的。同时为了更好地实现复位, 可以调节下

肢牵引装置增加垂直牵引力; 以及根据主控屏幕上的 X、Y、Z 轴上的受力分析, 可以人工手动辅助调节患侧半骨盆环受力情况, 减少机械臂复位骨盆所需要的力, 使得复位过程更加灵活, 更好的确保骨盆闭合复位的顺利进行。

综上所述, 智能化骨盆骨折复位机器人可以实现大多数移位性骨盆骨折的闭合复位。其操作安全、疗效显著, 具有临床推广意义, 值得进一步深入研究。

参考文献

- [1] Melhem E, Riouallon G, Habboubi K, et al. Epidemiology of pelvic and acetabular fractures in France [J]. Orthop Traumatol Surg Res, 2020, 106 (5): 831-839. DOI: 10.1016/j.otsr.2019.11.019.
- [2] Dodd AC, Bulka C, Jahangir A, et al. Predictors of 30-day mortality following hip/pelvis fractures [J]. Orthop Traumatol Surg Res, 2016, 102 (6): 707-710. DOI: 10.1016/j.otsr.2016.05.016.
- [3] Verma V, Sen RK, Tripathy SK, et al. Factors affecting quality of life after pelvic fracture [J]. J Clin Orthop Trauma, 2020, 11 (6):

- 1016-1024. DOI: 10.1016/j.jcot.2020.08.011.
- [4] Stahel PF, Hammerberg EM. History of pelvic fracture management: a review [J]. *World J Emerg Surg*, 2016, 11: 18. DOI: 10.1186/s13017-016-0075-4.
- [5] Mullis BH, Sagi HC. Minimum 1-year follow-up for patients with vertical shear sacroiliac joint dislocations treated with iliosacral screws: does joint ankylosis or anatomic reduction contribute to functional outcome [J]. *J Orthop Trauma*, 2008, 22 (5) : 293-298. DOI: 10.1097/BOT.0b013e31816b6b4e.
- [6] Küper MA, Trulsson A, Minarski C, et al. Risks and strategies to avoid approach-related complications during operative treatment of pelvic ring or acetabular fractures [J]. *Zeitschrift Fur Orthopadie Und Unfallchirurgie*, 2021, 159 (2) : 144-152. DOI: 10.1055/a-1023-4756.
- [7] Verbeek DO, Routt MJ. High-energy pelvic ring disruptions with complete posterior instability: contemporary reduction and fixation strategies [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2018, 100 (19) : 1704-1712. DOI: 10.2106/JBJS.17.01289.
- [8] 王新国, 赵杰, 徐宪超, 等. 老年脆性骨盆骨折经皮逆行耻骨支螺钉固定 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2023, 31 (12) : 1134-1137. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2023.12.16.
Wang XG, Zhao J, Xu XC, et al. Percutaneous retrograde pubic ramus screw for fixation of fragile fractures of pelvis in the elderly [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2023, 31 (12) : 1134-1137. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2023.12.16.
- [9] 李小娟, 张元智, 胡旭锋, 等. 机器人辅助与徒手经皮螺钉固定髌臼骨折 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2023, 31 (6) : 498-503. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2023.06.04.
Li XJ, Zhang YZ, Hu XF, et al. Robot-assisted versus freehand percutaneous screw fixation of acetabulum fractures [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2023, 31 (6) : 498-503. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2023.06.04.
- [10] Zhao C, Cao Q, Sun X, et al. Intelligent robot-assisted minimally invasive reduction system for reduction of unstable pelvic fractures [J]. *Injury*, 2023, 54 (2) : 604-614. DOI: 10.1016/j.injury.2022.11.001.
- [11] Takao M, Hamada H, Sakai T, et al. Clinical application of navigation in the surgical treatment of a pelvic ring injury and acetabular fracture [J]. *Adv Exper Med Biol*, 2018, 1093: 289-305. DOI: 10.1007/978-981-13-1396-7_22.
- [12] Zhao C, Wang Y, Wu X, et al. Design and evaluation of an intelligent reduction robot system for the minimally invasive reduction in pelvic fractures [J]. *J Orthop Surg Res*, 2022, 17 (1) : 205. DOI: 10.1186/s13018-022-03089-2.
- [13] Rommens PM, Nolte EM, Hopf J, et al. Safety and efficacy of 2D-fluoroscopy-based iliosacral screw osteosynthesis: results of a retrospective monocentric study [J]. *Eur J Trauma Emerg Surg*, 2021, 47 (6) : 1687-1698. DOI: 10.1007/s00068-020-01362-9.

(收稿:2023-07-20 修回:2024-01-29)

(同行评议专家: 张开亮, 韩巍, 赵春鹏)

(本文编辑: 闫承杰)

读者 · 作者 · 编者

《中国矫形外科杂志》网站增设在线发表栏目的公告

为了更好地为广大作者服务,自 2024 年 2 月下旬起,《中国矫形外科杂志》网站将增设在线发表栏目。该栏目将经审定拟刊用的定稿稿件,以 PDF 的形式在本刊网站在线发表(由于技术原因,目前只能发表文章首页),比正式出版时间提前 1 个月左右,以方便作者了解稿件的刊用情况,后续我们将争取做到稿件全文在线发表,此举可为作者提供更便捷的投稿体验,以提升杂志的为读者和作者服务的整体水平。

未来本刊网站将继续着力于为广大读者提供更多优质的内容和服务,感谢您的关注和支持,让我们一起为《中国矫形外科》杂志的不断发展贡献力量。

敬请关注《中国矫形外科杂志》网站, <http://jxwk.ijournal.cn>

《中国矫形外科杂志》编辑部

2024 年 2 月 22 日