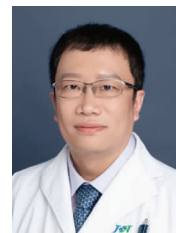


急诊骨科手术机器人辅助经皮固定骶髂关节螺钉治疗不稳定型骨盆后环骨折的临床研究



李宇能¹ 刘昊楠² 赵春鹏¹ 吴宏华¹ 孙旭¹ 谭哲伦¹ 王满宜¹ 吴新宝¹

¹ 北京积水潭医院创伤骨科, 北京 100035; ² 国家儿童医学中心, 首都医科大学附属北京儿童医院骨科, 北京 100045

通信作者: 吴新宝, Email: wuxinbao_jst@126.com

【摘要】目的 探讨急诊骨科手术机器人辅助经皮固定骶髂关节螺钉治疗不稳定型骨盆后环骨折的临床疗效。**方法** 回顾性分析 2018 年 6 月至 2020 年 12 月期间北京积水潭医院创伤骨科急诊接受经皮骶髂关节螺钉固定的 26 例骨盆骨折患者资料。根据术中是否应用骨科手术机器人辅助置钉分为两组: 观察组 14 例, 男 10 例, 女 4 例; 年龄为 (45.9 ± 10.1) 岁; 利用天玑® (TiRobot) 骨科手术机器人辅助置钉。对照组 12 例, 男 9 例, 女 3 例; 年龄为 (49.2 ± 11.3) 岁; 按传统方式在 X 线透视下徒手置钉。所有患者均于伤后 24 h 内完成手术。比较两组患者的螺钉置入时间、导针置入次数、术中出血量、透视时间、术后骶髂关节螺钉位置、骨折复位质量及末次随访时髋关节 Harris 评分等。**结果** 两组患者术前一般资料及随访时间的比较差异均无统计学意义 ($P > 0.05$), 具有可比性。观察组和对照组分别置入 20、18 枚螺钉。观察组患者的螺钉置入时间 $[(16.1 \pm 3.4) \text{ min}]$ 和透视时间 $[(8.1 \pm 3.3) \text{ s}]$ 显著短于对照组患者 $[(26.4 \pm 5.4) \text{ min}、(25.2 \pm 7.4) \text{ s}]$, 导针置入次数 $[1(1, 2) \text{ 次}]$ 显著少于对照组患者 $[6(3, 8) \text{ 次}]$, 术中出血量 $[(10.5 \pm 6.4) \text{ mL}]$ 显著少于对照组患者 $[(24.8 \pm 6.7) \text{ mL}]$, 差异均有统计学意义 ($P < 0.05$)。术后骶髂关节螺钉位置: 观察组优 18 枚, 良 2 枚; 对照组优 14 枚, 良 2 枚, 差 2 枚; 术后骨折复位质量: 观察组优 12 例, 良 1 例, 可 1 例; 对照组优 10 例, 良 1 例, 可 1 例, 以上项目两组比较差异均无统计学意义 ($P > 0.05$)。两组患者末次随访时髋关节 Harris 评分比较差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。**结论** 与传统徒手置钉比较, 急诊骨科手术机器人辅助经皮固定骶髂关节螺钉治疗不稳定型骨盆后环骨折能够有效缩短手术时间、减少手术创伤, 且置钉准确率高。

【关键词】 骨盆; 骨折; 骨折固定术, 内; 骨钉; 外科手术, 微创性; 手术机器人; 急诊

基金项目: 北京市属医院科研培育计划(PX2019016)

DOI: 10.3760/cma.j.cn115530-20211208-00565

Emergency iliosacral screw fixation assisted by TiRobot for unstable posterior pelvic ring fracture

Li Yuneng¹, Liu Haonan², Zhao Chunpeng¹, Wu Honghua¹, Sun Xu¹, Tan Zhelun¹, Wang Manyi¹, Wu Xinbao¹

¹Department of Orthopedics & Traumatology, Beijing Jishuitan Hospital, Beijing 100035, China; ²Department of Orthopaedics, Beijing Children's Hospital, Capital Medical University, National Center for Children's Health, Beijing 100045, China

Corresponding author: Wu Xinbao, Email: wuxinbao_jst@126.com

【Abstract】Objective To evaluate the emergency iliosacral screw fixation assisted by TiRobot for unstable posterior pelvic ring fracture. **Methods** The 26 patients with unstable pelvic fracture were analyzed retrospectively who had undergone emergency iliosacral screw fixation at Department of Orthopedics & Traumatology, Beijing Jishuitan Hospital from June 2018 to December 2020. They were divided into 2 groups depending on whether orthopaedic TiRobot was used to assist screw insertion. In the observation group of 14 cases subjected to TiRobot-assisted insertion of iliosacral screws, there were 10 males and 4 females with an age of (45.9 ± 10.1) years; in the control group of 12 cases subjected to conventional manual insertion of iliosacral screws, there were 9 males and 3 females with an age of (49.2 ± 11.3) years. All the surgeries were conducted within 24 hours after injury. The 2 groups were compared in terms of screw insertion time, pin insertion, intra-operative blood loss, fluoroscopy time, postoperative screw position, fracture reduction and Harris hip score at



the final follow-up. **Results** The 2 groups were comparable because there was no significant difference between them in their preoperative general clinical data or follow-up time ($P > 0.05$). The screw insertion time [(16.1 ± 3.4) min] and fluoroscopy time [(8.1 ± 3.3) s] in the observation group were significantly shorter than those in the control group [(26.4 ± 5.4) min and (25.2 ± 7.4) s], and the pin insertions [1 (1, 2) times] and intraoperative blood loss [(10.5 ± 6.4) mL] in the former were significantly less than those in the latter [6 (3, 8) times and (24.8 ± 6.7) mL] (all $P < 0.05$). Postoperatively, the sacroiliac screw position was excellent in 18 cases and good in 2 in the observation group while excellent in 14 cases, good in 2 and poor in 2 in the control group; the fracture reduction was excellent in 12 cases, good in one and fair in one in the observation group while excellent in 10 cases, good in one and fair in one in the control group, showing insignificant differences in the above comparisons ($P > 0.05$). There was no significant difference either in the Harris hip score at the final follow-up between the 2 groups ($P > 0.05$). **Conclusion** Compared with conventional manual insertion of iliosacral screws, emergency iliosacral screw fixation assisted by TiRobot can effectively decrease surgical time and reduce operative invasion due to a higher accuracy rate of screw insertion.

【Key words】 Pelvis; Fractures, bone; Fracture fixation, internal; Bone nails; Surgical procedures, minimally invasive; Surgical robots; Emergency

Fund program: Scientific Research Cultivation Program for Beijing Municipal Hospitals (PX2019016)

DOI: 10.3760/cma.j.cn115530-20211208-00565

骨盆骨折常继发于高能量损伤,占全身骨折的 2% ~ 8%,多发伤和交通伤中 20.0% ~ 84.5% 的患者可合并骨盆骨折^[1-2]。骨盆骨折患者由于常合并多系统损伤,如何合理选择手术方案仍存在争议。目前主要有两种理论[损伤控制理论(damage control orthopaedics, DCO)和早期全面手术(early total care, ETC)理论]指导手术,前者主张分期手术,后者则主张早期固定骨折^[3-4]。骨盆骨折类型较为复杂,不同类型骨折的治疗方案不尽相同,其中不稳定型骨盆骨折的致死率较高,文献报道为 5% ~ 18%^[5-6]。目前经皮骶髂关节螺钉置入是治疗不稳定型骨盆后环损伤的常用方法,传统方案为 X 线透视下置钉,但置钉过程容易受透视清晰度、肠道气体及解剖变异等多种因素影响,近年来为提高置钉的准确率,骨科机器人辅助技术开始应用于临床,但相关研究仍然较少。本研究回顾性分析 2018 年 6 月至 2020 年 12 月期间北京积水潭医院创伤骨科急诊接受经皮骶髂关节螺钉固定的 26 例骨盆骨折患者资料,旨在探讨 ETC 理论指导下急诊骨科手术机器人辅助经皮固定骶髂关节螺钉治疗不稳定型骨盆后环骨折的临床疗效。

资料与方法

一、病例纳入标准与排除标准

病例纳入标准:①年龄为 18 ~ 60 岁者;②影像学检查显示 Tile B、C 型骨折者;③伤后病情相对平稳,多学科评估后可行手术治疗,且受伤至手术时间 < 24 h 者;④骶髂关节无明显脱位或轻度移位可复位者;⑤骶骨 Denis I 型骨折无明显移位者;⑥患者接受经皮骶髂关节螺钉固定[S₁和(或)S₂固定]治疗者。病例排

除标准:①合并严重心、脑血管疾病或基础情况较差者,②伴有认知功能障碍者。

二、一般资料

本研究共纳入 26 例患者,男 19 例,女 7 例;年龄为 28 ~ 64 岁,平均 47.4 岁;致伤原因:交通伤 17 例,坠落伤 9 例;骨折 Tile 分型:B 型 16 例,C 型 10 例。13 例患者合并其他部位损伤:颅脑损伤 2 例,下肢骨折 7 例,上肢骨折 4 例,肺挫伤和(或)肋骨骨折 3 例。受伤至手术时间为 10 ~ 20 h,平均 14.8 h。

根据术中是否应用骨科手术机器人辅助置钉分为两组:观察组 14 例,男 10 例,女 4 例;年龄为 (45.9 ± 10.1) 岁;利用天玑® (TiRobot)骨科手术机器人辅助置钉。对照组 12 例,男 9 例,女 3 例;年龄为 (49.2 ± 11.3) 岁;按传统方式在 X 线透视下徒手置钉。两组合并骨盆前环骨折或其他部位骨折者均按常规方案进行处理。

本研究得到北京积水潭医院医学伦理委员会批准(积伦科审字第 201709-26),所有患者均知情同意并签署知情同意书。

三、治疗方法

(一)术前准备

急诊按照高级创伤生命支持原则对患者进行评估和治疗,建立静脉通道,快速输液,维持血流动力学稳定,必要时输血。怀疑存在合并伤时,尽早请相关科室会诊,协助救治。尤其注意防治低体温、酸中毒、凝血功能紊乱等情况。患者生命体征基本稳定后,多学科综合评估,若病情允许,则急诊行手术治疗。

(二)手术方式

观察组:患者全身麻醉满意后首先于髂前上棘置



入 2 枚固定钉,安装患者示踪器和机器人机械臂示踪器。将机械臂示踪器置于术野上方,X 线透视确认机械臂示踪器各标记点后将患者影像资料导入系统,于主控台规划置钉方案,如进钉位置、进钉角度、螺钉长度等(图 1)。根据规划结果,机器人机械臂位置自动运行调整,然后通过机械臂导向器将导针置入骶髂关节。C 型臂 X 线机透视导针位置满意后,沿导针置入 1~2 枚骶髂关节螺钉。

对照组患者采用传统手术方案治疗,术中利用 C 型臂 X 线机对骨盆正位、出入口位及骶骨侧位进行透视,确定进针位置准确后置入导针,然后沿导针置入骶髂关节螺钉。置入导针和螺钉过程需反复在 C 型臂 X 线机下透视。

两组患者合并的前环骨折均一期行外固定支架固定。所有手术均由同一名高年资医师主刀完成。

四、观察指标及疗效评估

记录并比较两组患者的术中导针置入次数、螺钉置入时间、术中出血量和透视时间。术后完善 X 线片及 CT 检查,由 2 名未参与手术的医生共同评估骶髂关节螺钉位置的精度,按照以下标准评价:①优:位置安全,螺钉均完全位于松质骨内;②良:位置安全,螺钉未穿出骨面但贴近骨皮质(如骶骨前缘等);③差:位置有误,螺钉穿透皮质骨^[7]。按照 Matta 评分标准^[8]评定术后骨折复位质量:优:移位 < 4 mm;良:移位 5~10 mm;可:移位 11~20 mm;差:移位 > 20 mm。末次随访时根据髋关节 Harris 评分系统评定疗效。

五、统计学处理

应用 IBM SPSS 20.0 统计学软件进行统计分析,计量资料首先应用 Shapiro-Wilk 检验判断数据是否符合正态分布,患者年龄、受伤至手术时间、螺钉置入时间、术中出血量、透视时间、随访时间及髋关节 Harris 评分等符合正态分布,且方差齐性,以 $\bar{x} \pm s$ 表示,两组患者之间采用两独立样本 t 检验进行比较;导针置入次数不符合正态分布,以 $M(Q_1, Q_3)$ 表示,两组患者之间采用秩和检验进行比较;两组患者的性别、致伤原因、骨折 Tile 分型、合并伤情况、螺钉位置和骨折

复位质量等计数资料采用 Fisher 确切概率法进行比较。 $P < 0.05$ 认为差异有统计学意义。

结 果

两组患者的性别、年龄、致伤原因、骨折 Tile 分型、合并伤情况及受伤至手术时间等术前一般资料的比较差异均无统计学意义($P > 0.05$,表 1),具有可比性。

一、两组患者的术中结果比较

所有患者均顺利完成手术,无一例患者发生严重并发症。观察组和对照组分别置入 20、18 枚骶髂关节螺钉。观察组患者的螺钉置入时间 $[(16.1 \pm 3.4) \text{ min}]$ 显著短于对照组患者 $[(26.4 \pm 5.4) \text{ min}]$,差异有统计学意义($t = -5.887, P < 0.001$);导针置入次数 $[1(1,2) \text{ 次}]$ 显著少于对照组患者 $[6(3,8) \text{ 次}]$,差异有统计学意义($Z = -4.464, P < 0.001$);术中出血量 $[(10.5 \pm 6.4) \text{ mL}]$ 显著少于对照组患者 $[(24.8 \pm 6.7) \text{ mL}]$,差异有统计学意义($t = -5.572, P < 0.001$);透视时间 $[(8.1 \pm 3.3) \text{ s}]$ 显著短于对照组患者 $[(25.2 \pm 7.4) \text{ s}]$,差异有统计学意义($t = -7.417, P < 0.001$)。

二、两组患者的术后疗效比较

术后骶髂关节螺钉位置:观察组优 18 枚,良 2 枚;对照组优 14 枚,良 2 枚,差 2 枚,两组比较差异无统计学意义($P = 0.218$)。按照 Matta 评分标准^[8]评定术后骨折复位质量:观察组优 12 例,良 1 例,可 1 例;对照组优 10 例,良 1 例,可 1 例,两组比较差异无统计学意义($P = 1.000$)。

观察组和对照组患者术后随访时间分别为 (19.4 ± 7.4) 、 (21.2 ± 7.7) 个月,差异无统计学意义($t = -0.607, P = 0.550$);末次随访时髋关节 Harris 评分分别为 (84.3 ± 7.4) 、 (85.6 ± 7.0) 分,差异无统计学意义($t = -0.461, P = 0.649$)。所有患者骨折均在术后 3 个月内达到骨性愈合。典型病例图片见图 2。

讨 论

骨盆骨折患者由于病情复杂,一期手术存在较高

表 1 观察组与对照组不稳定型骨盆后环骨折患者的性别、年龄、致伤原因、骨折 Tile 分型、合并伤情况及受伤至手术时间等术前一般资料的比较

组别	例数	性别(例)		年龄(岁, $\bar{x} \pm s$)	致伤原因(例)		骨折 Tile 分型(例)		合并伤(例, %)	受伤至手术时间(h, $\bar{x} \pm s$)
		男	女		交通伤	坠落伤	B 型	C 型		
观察组	14	10	4	45.9 \pm 10.1	10	4	8	6	7(50.0)	14.3 \pm 2.1
对照组	12	9	3	49.2 \pm 11.3	7	5	8	4	6(50.0)	15.3 \pm 3.2
检验统计量	-	-	-	0.673	-	-	-	-	-	-0.945
P 值	-	1.000	-	0.779	0.683	-	0.701	-	1.000	0.354

注:观察组患者术中利用天玑®(TiRobot)骨科手术机器人辅助置钉,对照组患者术中按传统方式在 X 线透视下徒手置钉;“-”表示无数据



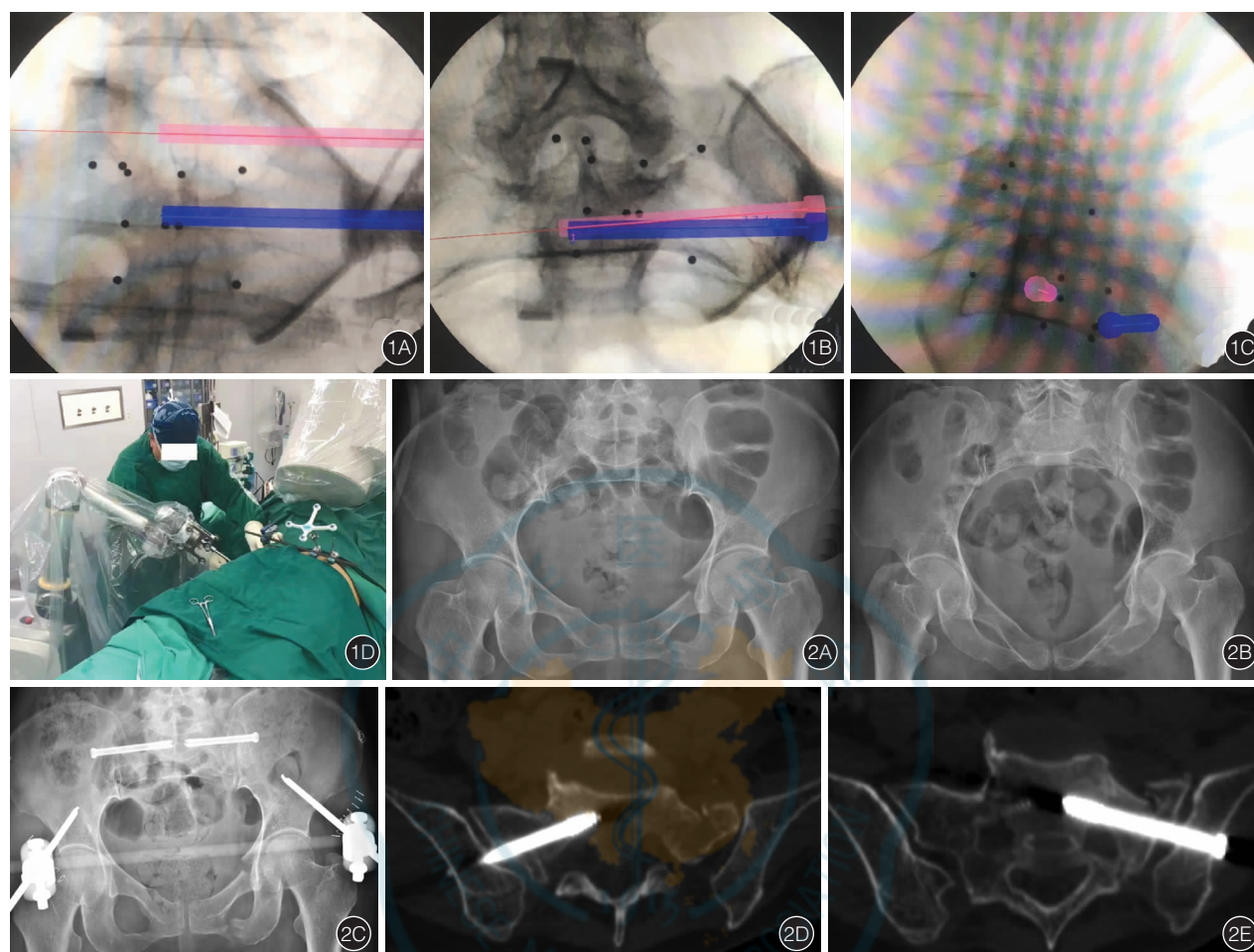


图1 骨科手术机器人辅助置钉:安装示踪器、采集患者术区图像信息后,规划置钉路径(A~C);机器人机械臂自动移动、位置校正后,术者沿向导器置入导针及螺钉(D) 图2 女性患者,40岁,交通伤致骨盆骨折,术前骨盆正位(A)、入口位(B)X线片示骨盆骨折(Tlie B型损伤);急诊采用外固定支架固定骨盆前环,机器人辅助置入骶髂关节螺钉固定后环损伤,术后X线片(C)、CT平扫图片(D,E)示内固定物位置良好

风险。因此,既往多数学者推荐按照 DCO 理论对患者进行分期治疗,即根据患者病情联合多科室挽救患者生命,积极处理合并伤,如脑外伤、腹部损伤等;骨科医生急诊一期尽量采用简单、创伤小的固定技术固定骨折;二期患者转入 ICU 等科室进行支持治疗,稳定患者全身状态,尤其注意防治低体温、凝血功能障碍和酸中毒等“致命三联症”;三期待患者病情稳定后行最终的骨折固定术。虽然 DCO 理论治疗不稳定型骨盆骨折提高了手术的安全性,有效减少了患者的创伤后并发症,但也存在多次手术、治疗时间长、费用高、可能错过最佳手术时机等缺点^[9-11]。为弥补 DCO 的不足,近年来有学者提出了 ETC 理论,即争取早期(伤后 24~48 h)对骨盆骨折进行手术固定,不再强调分期手术。文献报道 ETC 理论指导治疗骨盆骨折也能够取得良好的临床疗效,有助于缩短患者的住院时间,降低肺栓塞、败血症及多器官衰竭等并发症的发生率^[12-13]。因此,其临床应用逐年增多。值得注意的是,我们认为应

用 ETC 需严格评估患者病情,严重创伤患者应用 ETC 理论指导治疗术后可能引发休克、严重头痛、胸肺部损伤等并发症,这可能与急诊手术造成的二次打击有关。本研究 26 例患者采用 ETC 理论指导治疗,术后均未发生严重并发症,可能与本研究纳入患者的损伤程度较轻有关。我们认为无论损伤轻重,医生在 ETC 的临床应用中均需严密观察患者病情变化,及时防治可能出现的并发症。

骨盆后环不稳定骨折既往多采用切开复位内固定术。近年来随着微创技术的不断发展,经皮骶髂关节螺钉固定术逐渐成为首选术式,其具有创伤小、固定可靠、并发症少及费用低等优点^[14]。一些学者甚至认为经皮 S₁ 螺钉固定是唯一重建骨盆后环的微创技术^[15]。但是,由于 S₁ 变异较大且骨折患者对骨盆生物力学稳定性的要求越来越高,近年来 S₂ 螺钉固定技术的临床应用逐渐增多^[7,16]。无论 S₁ 螺钉固定还是 S₂ 螺钉固定,其良好的疗效都依赖于螺钉的准确置入,



置钉不当容易导致医源性损伤和术后骨盆力学稳定性下降。传统骶髂关节螺钉固定术主要依靠 C 型臂 X 线机辅助透视置钉,这对医生的技术和经验要求均较高,文献报道正常患者内固定错位率达 12%,解剖变异者可高达 28%^[17]。近年来,为提高螺钉位置的准确性,多项辅助技术开始应用于临床。Wu 等^[18]利用 3D 打印导航模板辅助置入骶髂关节螺钉,有效提高了螺钉位置的准确率,但此技术的缺点在于需做较长的切口和剥离骨面软组织,一旦骨性标志与导板匹配不佳,二者产生相对移位,就会影响置钉的准确性。宋虎等^[19]研究发现 3D 导航技术辅助置钉能够缩短手术时间,减少术中出血量,降低并发症发生率,其优越性虽然已被多项研究证实,但术中导航的缺点在于可能会发生图像漂移,造成置钉错位。因此,临床亟需开发新型智能手术辅助设备。

针对以往辅助技术的缺陷,近年来骨科机器人的临床应用逐渐增多。天玑®骨科手术机器人系统是我国拥有自主知识产权、已获得中国食品药品监督管理局认证的骨科导航机器人,主要适用于脊柱、创伤等骨科领域。该系统主要由机械臂、光学跟踪相机及手术规划和控制系统构成,患者影像信息采集后将数据上传至控制系统,医生在主控车上完成手术规划,制定螺钉置入路径,自动操控机械臂移至预定入钉点,然后沿导向器置入导针和螺钉^[9]。术中操作应注意:稳定安装示踪器,避免手术过程中发生移位而导致定位失准;调整机械臂位置,合理规划机械臂的移动路径,缩短手术时间;导针置入前需再次校正,适当微调;沿套筒方向置入导针,避免过度用力下压电钻造成导针弯曲,影响导针精确度。目前关于机器人辅助骶髂关节螺钉固定的研究较少,部分研究结果提示该技术治疗骨盆后环骨折的疗效较为满意^[7,9]。韩巍等^[7]研究发现与传统置钉技术相比,利用天玑®骨科手术机器人系统辅助置钉能够有效提高置钉准确率,缩短 X 线辐射时间,减少患者损伤等。这与本研究结果类似,本研究也发现机器人辅助置钉可以有效缩短手术时间,减少术中出血量和 X 线辐射量,且导针和螺钉的置入准确率高。主要原因在于机器人能够精确规划手术路径,避免了传统模式下反复多次透视及图像干扰等不利因素,因此能够更精准、迅速地完成任务。由于两组骨盆后环骨折患者的手术原理相同,均为骶髂关节螺钉固定,因此虽然观察组患者的各项手术指标均优于对照组患者,但两组患者的术后骨折复位质量和末次随访时髋关节 Harris 评分比较差异均无统计学意义($P > 0.05$)。

我们认为天玑®骨科手术机器人系统在急诊治疗

不稳定型骨盆骨折的优势主要体现在以下 2 个方面:

①骶髂关节变异性较大,且创伤后局部解剖结构可能发生变化,利用骨科手术机器人系统可提前规划手术路线,及时校正导针置入过程中的位置偏移,提高置钉精度,降低血管、神经损伤的发生风险;②骨盆骨折接受 ETC 治疗患者术后 24~48 h 内炎症反应较重,可能导致一系列的亚临床反应,骨科手术机器人辅助置钉能够有效缩短患者的手术时间,减少手术创伤,有利于降低患者术后应激反应。因此,骨科手术机器人系统更适合于 ETC 理念下骨盆骨折急诊手术治疗的要求。

虽然急诊应用天玑®骨科手术机器人系统辅助置入骶髂关节螺钉具有一定优势,但其仍存在以下不足:①该系统的应用具有一定学习曲线,术者需对机器人系统和常规手术操作有较深的了解后才能应用于临床;②多数骨盆骨折患者的病情较为复杂,需联合多科室评估病情后确定是否行 ETC,切忌为开展新技术而盲目早期手术;③骨科手术机器人系统对设备和人员的要求相对较高,因此手术的成本相对增加。

本研究尚存在以下不足之处:①样本量偏少;②为回顾性分析,未对患者进行随机分组,研究结果可能存在一定偏倚。

综上所述,急诊骨科手术机器人辅助经皮固定骶髂关节螺钉治疗不稳定型骨盆后环骨折能够有效减少手术创伤,缩短手术时间,降低患者放射暴露时间;且置钉准确率高,值得临床推广应用。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 李宇能、刘昊楠:直接参与、文章撰写;赵春鹏、吴宏华:工作支持;孙旭、谭哲伦:直接参与;王满宜:文章撰写;吴新宝:文章撰写、工作支持

参 考 文 献

- [1] 饶福涛, 曾诗晨. 损伤控制理论在骨盆骨折患者中的应用进展[J]. 医学综述, 2021, 27(3): 550-554. DOI: 10.3969/j.issn.1006-2084.2021.03.025.
Rao FT, Zeng SC. Application progress of damage control theory in patients with pelvic fracture[J]. Medical Recapitulate, 2021, 27(3): 550-554. DOI: 10.3969/j.issn.1006-2084.2021.03.025.
- [2] Smith W, Williams A, Agudelo J, et al. Early predictors of mortality in hemodynamically unstable pelvis fractures[J]. J Orthop Trauma, 2007, 21(1): 31-37. DOI: 10.1097/BOT.0b013e31802ea951.
- [3] Volpin G, Pfeifer R, Saveski J, et al. Damage control orthopaedics in polytraumatized patients -- current concepts[J]. J Clin Orthop Trauma, 2021, 12(1): 72-82. DOI: 10.1016/j.jcot.2020.10.018.
- [4] 李宇能, 孙旭, 吴新宝. 损伤控制技术与早期全面手术在不稳定骨盆骨折治疗中的对比研究[J]. 骨科临床与研究杂志, 2016, 1(1): 18-21. DOI: 10.3969/j.issn.2096-269X.2016.01.004.
Li YN, Sun X, Wu XB. Acute management of unstable pelvic injury: DCO vs. ETC [J]. J Clin Orthop Res, 2016, 1(1): 18-21. DOI:



10. 3969/j. issn. 2096-269X. 2016. 01. 004.
- [5] Norris GR, Checketts JX, Scott JT, et al. Prevalence of deep surgical site infection after repair of periarticular knee fractures: a systematic review and meta-analysis[J]. JAMA Netw Open, 2019, 2(8): e199951. DOI: 10. 1001/jamanetworkopen. 2019. 9951.
- [6] Wong JM, Bucknill A. Fractures of the pelvic ring[J]. Injury, 2017, 48(4): 795-802. DOI: 10. 1016/j. injury. 2013. 11. 021.
- [7] 韩巍, 张腾, 苏永刚, 等. 天玑®骨科手术机器人辅助经皮固定骶髂螺钉治疗不稳定骨盆后环骨折的临床研究[J]. 北京生物医学工程, 2021, 40(3): 257-262. DOI: 10. 3969/j. issn. 1002-3208. 2021. 03. 007.
- Han W, Zhang T, Su YG, et al. Clinical study of S₂ iliosacral screw fixation with TiRobot assistance in unstable posterior pelvic ring fracture[J]. Beijing Biomedical Engineering, 2021, 40(3): 257-262. DOI: 10. 3969/j. issn. 1002-3208. 2021. 03. 007.
- [8] Matta JM, Tornetta P 3rd. Internal fixation of unstable pelvic ring injuries[J]. Clin Orthop Relat Res, 1996(329): 129-140. DOI: 10. 1097/00003086-199608000-00016.
- [9] 王军强, 赵春鹏, 韩巍, 等. 基于损伤控制理论结合骨科机器人微创手术治疗合并骨盆骨折的多发伤[J]. 中华创伤骨科杂志, 2017, 19(4): 293-298. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 1671-7600. 2017. 04. 004.
- Wang JQ, Zhao CP, Han W, et al. Robot-assisted surgery guided by damage control orthopaedics for pelvic fractures in polytrauma patients: preliminary results of 26 patients[J]. Chin J Orthop Trauma, 2017, 19(4): 293-298. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 1671-7600. 2017. 04. 004.
- [10] Han G, Wang Z, Du Q, et al. Damage-control orthopedics versus early total care in the treatment of borderline high-energy pelvic fractures[J]. Orthopedics, 2014, 37(12): e1091-e1100. DOI: 10. 3928/01477447-20141124-57.
- [11] 董志军, 刘福尧, 吴声忠, 等. 损伤控制骨科在 Tile B、C 型骨盆骨折合并四肢骨折治疗中的可行性研究[J]. 中国矫形外科杂志, 2018, 26(16): 1525-1527. DOI: 10. 3977/j. issn. 1005-8478. 2018. 16. 17.
- Dong ZJ, Liu FY, Wu SZ, et al. Feasibility study of injury control orthopedics in the treatment of tile B and C pelvic fractures combined with limb fractures[J]. Orthopedic Journal of China, 2018, 26(16): 1525-1527. DOI: 10. 3977/j. issn. 1005-8478. 2018. 16. 17.
- [12] Pape HC, Leenen L. Polytrauma management - What is new and what is true in 2020? [J]. J Clin Orthop Trauma, 2021, 12(1): 88-95. DOI: 10. 1016/j. jcot. 2020. 10. 006.
- [13] 李宇能, 孙旭, 杨明辉, 等. 早期全面手术在不稳定骨盆骨折治疗中的应用[J]. 中华创伤杂志, 2017, 33(1): 75-78. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 1001-8050. 2017. 01. 016.
- Li YN, Sun X, Yang MH, et al. Application of early total care in treatment of unstable pelvic fractures[J]. Chin J Trauma, 2017, 33(1): 75-78. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 1001-8050. 2017. 01. 016.
- [14] 陈龙, 汪国栋, 刘曦明, 等. 3D 打印技术辅助下微创内固定治疗骨盆前环骨折[J]. 创伤外科杂志, 2018, 20(1): 11-16. DOI: 10. 3969/j. issn. 1009-4237. 2018. 01. 003.
- Chen L, Wang GD, Liu XM, et al. Minimally invasive surgery assisted by 3D printing technology in the treatment of the anterior pelvic ring fractures[J]. J Trauma Surg, 2018, 20(1): 11-16. DOI: 10. 3969/j. issn. 1009-4237. 2018. 01. 003.
- [15] Mendel T, Radetzki F, Wohlrab D, et al. CT-based 3-D visualisation of secure bone corridors and optimal trajectories for sacroiliac screws[J]. Injury, 2013, 44(7): 957-963. DOI: 10. 1016/j. injury. 2012. 11. 013.
- [16] Yin Y, Zhang R, Li S, et al. Computational analysis on the feasibility of transverse iliosacral screw fixation for different sacral segments[J]. Int Orthop, 2019, 43(8): 1961-1967. DOI: 10. 1007/s00264-018-4109-2.
- [17] Long T, Li KN, Gao JH, 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. DOI: 10. 1111/os. 12461.
- [18] Wu C, Deng JY, Li T, et al. Combined 3D printed template to guide iliosacral screw insertion for sacral fracture and dislocation: a retrospective analysis[J]. Orthop Surg, 2020, 12(1): 241-247. DOI: 10. 1111/os. 12620.
- [19] 宋虎, 陈龙, 施建国, 等. 3D 导航辅助下经皮骶髂螺钉联合前环外固定架治疗 Tile B、C 型骨盆骨折[J]. 中华创伤杂志, 2018, 34(6): 497-504. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 1001-8050. 2018. 06. 004.
- Song H, Chen L, Shi JG, et al. Three-dimensional navigation assisted percutaneous sacroiliac screw combined with external fixator for Tile B and C pelvic fractures[J]. Chin J Trauma, 2018, 34(6): 497-504. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 1001-8050. 2018. 06. 004.

(收稿日期:2021-12-08)

(本文编辑:聂兰英)

