

DOI: 10.3969/j.issn.1005-8982.2024.17.004  
文章编号: 1005-8982 (2024) 17-0022-06

骨折专题·论著

## 机器人导航技术在股骨颈骨折微创内固定治疗中的应用效果分析\*

刘向东, 李辉, 任东良, 马伟松

(保定市第一中心医院 骨外科, 河北 保定 071030)

**摘要:** **目的** 探究机器人导航技术在股骨颈骨折微创内固定治疗中的应用效果。**方法** 选取2020年4月—2023年4月保定市第一中心医院接收的102例股骨颈骨折患者为研究对象。采用随机数字表法分为徒手组(51例, 采用传统徒手空心钉内固定)和机器人组(51例, 采取机器人辅助下空心钉内固定)。比较两组患者手术指标、影像学资料、髋关节功能、股骨颈短缩分级情况以及术后并发症发生率。**结果** 机器人组患者手术时间短于徒手组, 术中出血量低于徒手组, 导针钻孔次数少于徒手组, 住院时间、骨折愈合时间均短于徒手组( $P < 0.05$ ); 机器人组患者前倾角、颈干角偏离度均低于徒手组( $P < 0.05$ ); 两组患者的髋关节退变情况构成比比较, 差异无统计学意义( $P > 0.05$ ); 机器人组患者Harris评分、髋伸屈活动度、髋内旋外旋活动度均高于徒手组( $P < 0.05$ ), Fernandez-Esteve骨痂评分低于徒手组( $P < 0.05$ )。机器人组患者的股骨颈短缩分级情况优于徒手组( $P < 0.05$ )。机器人组的术后感染、退钉、神经损伤、骨折愈合不佳等并发症发生率低于徒手组( $P < 0.05$ )。**结论** 机器人导航技术在股骨颈骨折微创内固定治疗中能够提高手术精准度, 缩短手术和恢复时间, 改善术后股骨颈功能恢复, 降低并发症风险, 提高患者满意度, 具有良好的应用前景。

**关键词:** 股骨颈骨折; 机器人导航技术; 微创内固定; 术后恢复; 并发症

**中图分类号:** R683.42

**文献标识码:** A

## Application analysis of robotic navigation technology in minimally invasive internal fixation treatment of femoral neck fractures\*

Liu Xiang-dong, Li Hui, Ren Dong-liang, Ma Wei-song

(Department of Orthopedics, Baoding First Central Hospital, Baoding, Hebei 071030, China)

**Abstract: Objective** To explore the application effects of robotic navigation technology in the minimally invasive internal fixation treatment of femoral neck fractures. **Methods** From April 2020 to April 2023, 102 patients with femoral neck fractures admitted to the First Central Hospital of Baoding City were selected as the research subjects. They were divided into a manual group ( $n = 51$ , using traditional manual hollow nail internal fixation) and a robot group ( $n = 51$ , using robot-assisted hollow nail internal fixation) by random number table method. Surgical indicators, radiological data, hip joint function, femoral neck shortening, and the incidence of postoperative complications were compared between the two groups. **Results** The robotic group exhibited shorter surgical times, lower intraoperative blood loss, fewer drill passes for guide pins, shorter hospital stays, and reduced fracture healing times compared to the manual group ( $P < 0.05$ ). Anteversion angle and neck-shaft angle deviations were also lower in the robotic group ( $P < 0.05$ ). No significant statistical difference was observed between the two groups regarding the progression of hip degeneration ( $P > 0.05$ ). The robotic group scored higher on the Harris Hip Score and demonstrated greater ranges of motion (ROM) for hip flexion-extension and internal-external rotation compared to

收稿日期: 2024-04-11

\* 基金项目: 河北省自然科学基金青年基金(No: H2022104011)

the manual group ( $P < 0.05$ ). The Fernandez-Esteve callus scoring was lower in the robotic group ( $P < 0.05$ ). Additionally, the incidence of femoral neck shortening was less in the robotic group ( $P < 0.05$ ). Postoperative complications such as infections, nail back-out, nerve damage, and poor fracture healing occurred at a lower rate in the robotic group compared to the manual group ( $P < 0.05$ ). **Conclusion** Robotic navigation technology can improve the precision of surgery, shorten the surgery and recovery time, enhance postoperative femoral neck function recovery, reduce the risk of complications, and increase patient satisfaction in the minimally invasive internal fixation treatment of femoral neck fractures, showing a good application prospect.

**Keywords:** femoral neck fracture; robotic navigation technology; minimally invasive internal fixation; postoperative recovery; complications

股骨颈骨折是常见的骨科疾病,尤其在老年人群中高发。老年人由于骨质疏松等因素导致股骨颈骨折发病率较高,严重影响患者的生活质量和日常活动能力<sup>[1]</sup>。目前,股骨颈骨折的手术治疗已形成共识,包括动力髌螺钉、空心加压螺钉、加压锁定钉板系统及关节置换术等。传统的手术治疗在一定程度上可以恢复骨折部位的解剖结构,但手术精准度不高、创伤大、并发症多,这一直是困扰临床治疗的主要问题。近年来,随着医疗技术的发展,机器人导航技术因其高精度度和微创特点,越来越多的应用于骨折治疗领域<sup>[2]</sup>。股骨颈骨折的微创内固定治疗是一种常见的治疗方法,可减少手术切口和保护周围血管、神经的完整性,有利于患者术后恢复<sup>[3]</sup>。机器人导航技术在微创内固定手术中的应用,可以进一步提高手术精度,减少手术中的不确定性,从而提高治疗效果。此外,机器人导航技术还能够优化植入物的位置和方向,最大程度地恢复骨折部位的解剖结构和功能,缩短骨折愈合时间,降低术后股骨头坏死和关节功能障碍的风险<sup>[4]</sup>。尽管机器人导航技术在股骨颈骨折治疗中展现出巨大的潜力和优势,但目前关于该技术在股骨颈骨折

微创内固定治疗中应用效果的系统评估相对较少。因此,本研究拟通过对比分析机器人导航技术应用与传统手术方法在股骨颈骨折微创内固定治疗中的效果,为临床治疗提供更精准有效的治疗方案。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

选取 2020 年 4 月—2023 年 4 月保定市第一中心医院收治的股骨颈骨折患者 102 例,采用随机数字表法分为徒手组和机器组,各 51 例。纳入标准:①通过 X 射线成像确诊为新近发生的闭合型股骨颈骨折,且为单侧损伤;②患者年龄  $< 65$  岁;③伤后至手术治疗时间  $\leq 1$  周;④有完整的临床和随访资料;⑤患者或家属签署知情同意书。排除标准:①为病理性或陈旧性骨折;②合并严重心脑血管疾病、免疫系统疾病或肿瘤;③存在手术禁忌证;④处于妊娠或哺乳期的女性;⑤无法配合治疗和随访。两组患者的性别构成、年龄、受伤至手术时间及骨折位置比较,差异均无统计学意义 ( $P > 0.05$ ),具有可比性,见表 1。本研究获得医院医学伦理委员会的审查批准。

表 1 两组患者一般资料比较 ( $n=51$ )

组别	男/女/例	年龄/(岁, $\bar{x} \pm s$ )	受伤至手术时间/(h, $\bar{x} \pm s$ )	骨折位置 [例(%)]	
				左侧	右侧
机器组	29/22	45.18 $\pm$ 5.16	18.36 $\pm$ 5.27	28(54.90)	23(45.10)
徒手组	27/24	44.83 $\pm$ 5.27	19.49 $\pm$ 6.31	25(49.02)	26(50.98)
$\chi^2/t$ 值	0.158	0.339	0.982	0.353	
P 值	0.691	0.735	0.329	0.552	

### 1.2 方法

**1.2.1 机器组** 采用北京天智航医疗科技股份有限公司 TiRobot Advance 机器人导航系统辅助下的空心钉内固定治疗。患者先行椎管内麻醉,并被安置

于牵引床上,对患肢进行适当牵引与定位,恢复骨折部位至其正常的解剖状态。经过彻底消毒,机器人的各个组成部分及 C 型臂 X 射线机被摆放到位,保证机械臂能够无障碍地达到手术区域。将光学

跟踪相机放置于患者足端,移动式C型臂X射线机则位于术者的对侧。安装在患者髌前上棘的示踪器有助于建立一个无菌的术中机械臂工作环境,并通过C型臂X射线机获取含有定位标记的影像图像,这些图像随即传输至主机工作站以进行配准运算。依据这些影像采集的数据,主控系统规划软件用于螺钉路径及其长度的精确规划,考虑到螺钉应穿过股骨颈上方的皮质至矩下骨性边界,同时需评估螺钉与骨折线、股骨颈前倾角的相互关系。机械臂在软件的指导下准确地移动到规划的路径目标位置,术者在机械臂末端安装定位套筒并在皮肤上做1 cm长的小切口。当套筒顶端接触到入钉点的骨皮质后,使用C型臂X射线机进行透视,以验证套筒的位置和方向是否与预定路径一致。如遇位置或方向偏差,即通过计算机系统对机械臂进行调整,保证导针的精确钻入,并随后拧入空心螺钉。确认导针位置满意后,撤出导针并对切口进行冲洗和缝合,完成手术。

**1.2.2 徒手组** 采用传统徒手空心钉内固定。患者在麻醉作用下取平卧位并覆以铅衣,保护非手术区域。术区通过常规的消毒和铺设无菌巾准备,随后通过屈髋、外展和内旋动作实现股骨颈骨折的复位。使用C形臂X射线机进行透视,确保股骨颈骨折端对位良好。复位后,根据透视结果在大转子下方确定3枚2.0 mm导针的精确入路,使之通过骨折线直至股骨头下方,并在C形臂X射线机透视下调整至倒“品”字形布局。沿导针路径在皮肤上作3个1 cm长的切口,测量导针在骨内长度,并沿导针钻孔,分别置入长度适当的3枚空心钉。C形臂X射线透视确认骨折端对位及内固定装置的位置满意后结束手术。

### 1.3 观察指标

**1.3.1 手术指标** 统计并比较两组患者的手术时间、术中出血量、导针钻孔次数、住院时间、骨折愈合时间。

**1.3.2 影像学资料** 采用飞利浦64排CT扫描仪检测。在标准位平片上测量股骨颈与股骨轴的夹角确定颈干角,通过CT横断面测量股骨颈相对于冠状面的倾斜角度确定前倾角。采用Tonnis评级评估患者的髋退变情况<sup>[5]</sup>。Tonnis评级是通过X射线骨盆正位片来评价髋关节退变的程度,根据关节间隙

狭窄、骨赘形成及髋臼侧壁变薄等放射学表现,将髋关节退变分为0至Ⅲ级。

**1.3.3 髋关节功能** 采用Harris评分、Fernandez-Esteve骨痂评分、髋关节活动度评分评估患者的髋关节功能。①Harris评分系统<sup>[6]</sup>包括疼痛、功能、缺陷和活动范围4个方面共10项指标;总分100分,评分越高表示患者的髋关节功能越好。②Fernandez-Esteve骨痂评分<sup>[7]</sup>用于评估骨折愈合过程中骨痂的形成和成熟情况,根据X射线影像上骨痂的存在、大小和密度来评分;分为5级,从无骨痂形成(0分)到出现结构性骨痂(4分),评分越高表示骨痂形成和成熟程度越好。③髋关节活动度评分是通过测量患者髋关节的屈伸、内外旋的角度,以评估髋关节的活动度。

**1.3.4 股骨颈短缩分级** 术后立刻及术后12个月时,对股骨颈短缩程度进行分级<sup>[8]</sup>。轻度短缩为<5 mm,中度短缩为5~10 mm,重度短缩为>10 mm。

**1.3.5 术后并发症** 统计并比较两组患者出现感染、退钉、神经损伤、骨折愈合不佳等并发症及其发生率。

### 1.4 统计学方法

数据处理采用SPSS 27.0统计软件。计量资料以均数±标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示,比较采用 $t$ 检验;等级资料以等级表示,比较采用秩和检验;计数资料以构成比或率(%)表示,比较采用 $\chi^2$ 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 两组患者的手术指标比较

两组患者的手术时间、术中出血量、导针钻孔次数、住院时间及骨折愈合时间比较,经 $t$ 检验,差异均有统计学意义( $P < 0.05$ );机器组的手术时间短于徒手组,术中出血量低于徒手组,导针钻孔次数少于徒手组,住院时间及骨折愈合时间均短于徒手组。见表2。

### 2.2 两组患者的影像学资料比较

两组患者的前倾角、颈干角偏离度比较,经 $t$ 检验,差异均有统计学意义( $P < 0.05$ );机器组前倾角、颈干角偏离度均低于徒手组。两组患者的髋关节退变情况构成比比较,差异无统计学意义( $\chi^2 = 1.026, P = 0.305$ )。见表3。

表 2 两组患者的手术指标比较 (n=51,  $\bar{x} \pm s$ )

组别	手术时间/min	术中出血量/mL	导针钻孔次数/次	住院时间/d	骨折愈合时间/月
机器组	56.94 ± 4.06	12.81 ± 1.92	9.57 ± 1.27	8.36 ± 1.14	5.81 ± 0.73
徒手组	71.15 ± 4.58	24.35 ± 2.20	15.14 ± 1.35	11.06 ± 1.33	6.37 ± 1.17
t 值	16.580	28.223	21.461	11.007	2.900
P 值	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005

表 3 两组患者的影像学资料比较 (n=51)

组别	前倾角偏离度/(°)	颈干角偏离度/(°)	髋关节退变情况 [例(%)]			
			0	I	II	III
机器组	2.93 ± 0.72	5.01 ± 1.19	47	2	1	1
徒手组	7.19 ± 1.16	10.07 ± 1.75	44	1	2	4
t/Z 值	22.283	17.075	1.026			
P 值	0.000	0.000	0.305			

### 2.3 两组患者的髋关节功能比较

两组患者的 Harris 评分、Fernandez-Esteve 骨痂评分、髋伸屈活动度及髋内旋外旋活动度比较, 差异均有统计学意义 ( $P < 0.05$ ); 机器组 Harris 评分、髋伸屈活动度及髋内旋外旋活动度均高于徒手组, Fernandez-Esteve 骨痂评分低于徒手组。见表 4。

表 4 两组患者的髋关节功能比较 (n=51,  $\bar{x} \pm s$ )

组别	Harris 评分/分	Fernandez-Esteve 骨痂评分/分	髋伸屈活动度/(°)	髋内旋外旋活动度/(°)
机器组	91.27 ± 1.98	2.64 ± 0.53	108.36 ± 5.14	65.19 ± 4.68
徒手组	87.45 ± 2.11	3.42 ± 0.61	104.72 ± 6.82	60.57 ± 3.92
t 值	9.428	6.893	3.044	5.404
P 值	0.000	0.000	0.003	0.000

### 2.4 两组患者的股骨颈短缩分级比较

治疗后, 机器组与徒手组股骨颈短缩分级比较, 经秩和检验, 差异有统计学意义 ( $Z = 2.072, P = 0.038$ )。见表 5。

表 5 两组患者的股骨颈短缩分级比较 [n=51, 例(%)]

组别	<5 mm	5 ~ 10 mm	>10 mm
机器组	43(84.31)	6(11.76)	2(3.92)
徒手组	34(66.67)	12(23.53)	5(9.80)

### 2.5 两组患者的术后并发症发生率比较

治疗后, 两组患者术后并发症总发生率比较, 经  $\chi^2$  检验, 差异有统计学意义 ( $\chi^2 = 3.991, P = 0.046$ );

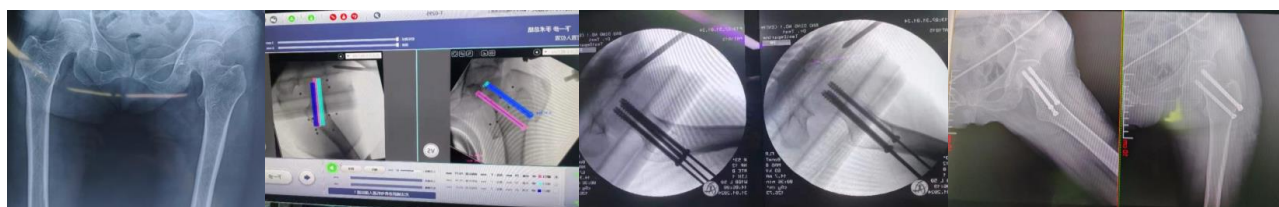
机器组的感染、退钉、神经损伤及骨折愈合不佳的总发生率均低于徒手组。见表 6。

表 6 两组患者术后并发症发生率比较 [n=51, 例(%)]

组别	感染	退钉	神经损伤	骨折愈合不佳	合计
机器组	1(1.96)	0(0.00)	0(0.00)	1(1.96)	2(3.92)
徒手组	2(3.92)	2(3.92)	1(1.96)	3(5.88)	8(15.69)

### 2.6 典型病例

女性, 63 岁, 摔伤致右髋疼痛, 入院诊断: 右侧股骨颈骨折。入院后 2 d 行机器人导航系统辅助下的空心钉内固定术, 术后 DR 正侧位 X 射线片示骨折复位满意, 内固定位置长度良好。见图 1。



右侧股骨颈骨折

术中机器人辅助规划螺钉位置

机器人导航下打入 3 枚空心螺钉

术后 DR 正侧位 X 射线片

图 1 典型病例

### 3 讨论

股骨颈骨折主要发生在股骨的颈部,即股骨头与股骨轴之间的狭窄区域<sup>[9-10]</sup>。股骨颈骨折通常由跌倒或直接撞击造成,特别是对于骨质疏松的老年人来说,即使是轻微的外力也可能导致骨折<sup>[11-12]</sup>。其病理机制主要与骨质的脆弱性增加及老年人较低的跌倒防御能力有关,骨折后可能导致股骨头血供不足,进而引发股骨头坏死等并发症<sup>[13]</sup>。股骨颈骨折对患者的生活影响深远,包括但不限于行动能力的限制、长期疼痛、生活质量的显著下降及对他人护理的依赖,极大地增加患者及其家庭的心理和经济负担<sup>[14-15]</sup>。随着人口老龄化的加剧,股骨颈骨折的发病趋势将持续上升,对公共卫生系统构成重大挑战。常见的治疗方式包括手术治疗和保守治疗,其中手术治疗通过内固定装置修复骨折,旨在恢复股骨的稳定性和功能。然而,传统手术方法存在一定的局限性。近年来,在股骨颈骨折的治疗中引入机器人导航技术,这为传统的内固定手术方法带来创新和精确性的提升<sup>[16]</sup>。黄复铭等<sup>[17]</sup>应用 TiRobot 骨科手术机器人进行的经皮空心螺钉内固定手术,在提高手术操作精确性的同时,降低了放射性辐射对患者的影响,促进了骨折愈合,降低了术后并发症风险。本研究结果显示,机器组患者在手术时间、术中出血量、导针钻孔次数、住院时间、骨折愈合时间方面均优于徒手组,其原因在于机器人导航系统的精确和效率。天智航 TiRobot Advance 机器人导航系统通过高级图像处理与计算机辅助设计,实现对手术路径的精确规划及执行<sup>[18]</sup>。此技术支持的手术通过实时影像导航与机械臂精准定位,直接影响导针穿刺与螺钉置入的精确度,减少对周围软组织的损伤,进而减少术中出血量。FENG 等<sup>[19]</sup>研究发现机器人辅助经皮空心螺钉固定股骨颈骨折可缩短因传统手术中频繁调整导针位置所需的时间与减少 X 射线透视次数,有效缩短手术时间及减少辐射暴露。精确的导针与螺钉置入位置也直接促进骨折的稳定与快速愈合,缩短住院时间。本研究中,机器组患者前倾角和颈干角偏离度更接近正常值的原因主要是机器人导航技术提供的高精度手术规划与执行能力,这与区文欢等<sup>[20]</sup>的研究结论一致。在天智航 TiRobot Advance 机器人辅助下,通过精确的图像采集与配准计算,手术计划软

件能够为每位患者规划出最优的螺钉路径及长度,确保螺钉的位置与角度能最大程度地恢复股骨颈的正常解剖结构。机器人导航系统还能实时监控手术过程,确保手术每一步骤的精确执行,避免传统手法中因人为因素引起的角度偏差,从而显著改善骨折复位的质量,保证前倾角和颈干角的正确性<sup>[21]</sup>。这种精确度的提升,对于预防术后髋关节功能障碍与股骨颈短缩有至关重要的作用。本研究中两组患者髋退变情况的比较无统计学意义,这可能与本研究统计的时间长短有关,长期跟踪可能才能揭示更深层次的益处。本研究中,机器组患者的 Harris 评分及髋关节活动度相较于徒手组有显著改善,同时 Fernandez-Esteve 骨痂评分亦低于徒手组,这与机器人辅助手术的精准性和微创性有关。天智航 TiRobot Advance 机器人导航系统的高度精准定位能力确保螺钉插入路径的最优化,使得螺钉能够精确地沿预定路径穿过股骨颈至矩下骨性边界,而不引起额外的软组织损伤或骨质破坏<sup>[22]</sup>。这种精准性不仅促进骨折的稳定固定,而且能最小化术后疼痛和功能恢复期,有利于髋关节活动度的早期恢复<sup>[23]</sup>。机器人辅助下的微创手术减少组织创伤和术中出血,有助于维持局部血液循环和软组织的完整性,从而优化术后股骨颈和髋关节的生物力学环境,为骨折愈合和关节功能恢复提供有利条件。本研究中,机器组患者股骨颈短缩分级比例的显著减少可归因于机器人导航技术在提高手术精准度和骨折复位质量方面的优势。通过机器人系统进行的精确手术规划和执行,可实现对骨折端的精细操控和复位,降低股骨颈短缩的风险。精确的骨折复位能减少术后不良应力分布,防止骨折愈合过程中的异常骨重塑,维持股骨颈的解剖结构和功能完整性。机器人辅助手术减少对骨折周围软组织的干扰,保持局部血供,有利于骨折的生物学愈合过程,进一步降低股骨颈短缩的发生率<sup>[24]</sup>。本研究中,机器组患者术后并发症发生率低于徒手组,其原因在于机器人导航技术高度精确的手术导航能力。该技术通过精细的图像引导与计算机辅助规划,确保螺钉定位与插入的精确性,从而减少手术过程中对周围软组织和神经的损伤<sup>[25]</sup>。精确的固定减少内固定装置的位移和退钉风险,促进骨折的稳定性和愈合质量。因此,机器人导航技术不仅提高股骨颈骨

折治疗的效率和安全性, 还通过降低并发症风险, 加快患者的术后恢复和改善生活质量。

综上所述, 机器人导航技术在股骨颈骨折微创内固定治疗中的应用能显著提高手术精准度, 减少手术相关并发症, 加快了骨折愈合过程, 促进患者的术后功能恢复, 具有重要的临床意义。

#### 参 考 文 献 :

- [1] COHEN J S, AGARWAL A R, KINNARD M J, et al. The association of postoperative osteoporosis therapy with periprosthetic fracture risk in patients undergoing arthroplasty for femoral neck fractures[J]. *J Arthroplasty*, 2023, 38(4): 726-731.
- [2] KIM W Y, JOUNG S, PARK H, et al. Human-robot-robot cooperative control using positioning robot and 1-DOF traction device for robot-assisted fracture reduction system[J]. *Proc Inst Mech Eng H*, 2022, 236(5): 697-710.
- [3] 徐敏超, 陈明, 勘武生, 等. 小切口人工全髋关节置换术对 GardenIV 型股骨颈骨折患者髋关节功能及应激状态的影响[J]. *中国现代医学杂志*, 2019, 29(9): 115-119.
- [4] QI H F, LI Z, MA T, et al. Robot navigation system assisted PFNA fixation of femoral intertrochanteric fractures in the elderly: a retrospective clinical study[J]. *Clin Interv Aging*, 2024, 19: 11-19.
- [5] KOVALENKO B, BREMJIT P, FERNANDO N. Classifications in brief: Tönnis classification of hip osteoarthritis[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2018, 476(8): 1680-1684.
- [6] VISHWANATHAN K, AKBARI K, PATEL A J. Is the modified Harris hip score valid and responsive instrument for outcome assessment in the Indian population with pertrochanteric fractures?[J]. *J Orthop*, 2018, 15(1): 40-46.
- [7] 王斌, 邓高鹏, 林正坚, 等. 闭合复位空心螺钉内固定结合富血小板血浆注射治疗中青年股骨颈骨折的多中心临床研究[J]. *临床和实验医学杂志*, 2021, 20(12): 1287-1290.
- [8] PARK Y C, UM K S, KIM D J, et al. Comparison of femoral neck shortening and outcomes between in situ fixation and fixation after reduction for severe valgus-impacted femoral neck fractures[J]. *Injury*, 2021, 52(3): 569-574.
- [9] ZELLE B A, SALAZAR L M, HOWARD S L, et al. Surgical treatment options for femoral neck fractures in the elderly[J]. *Int Orthop*, 2022, 46(5): 1111-1122.
- [10] 赵锋, 颜峰, 孟利锋, 等. 股骨颈骨折患者术后爆发痛发生现状及其影响因素分析[J]. *中华全科医学*, 2022, 20(9): 1498-1501.
- [11] MANOSROI W, KOETSUK L, PHINYO P, et al. Predictive model for prolonged length of hospital stay in patients with osteoporotic femoral neck fracture: a 5-year retrospective study[J]. *Front Med (Lausanne)*, 2023, 9: 1106312.
- [12] 吴少明, 谢俊杰, 刘夏莹, 等. 骨质疏松女性股骨颈骨折与股骨转子间骨折的髋部骨密度差异分析[J]. *中国骨质疏松杂志*, 2020, 26(10): 1500-1504.
- [13] CUNHA A P, de COUTO E M S, de PAULA FERNANDES F, et al. Factors associated with the incidence of femur fractures in the elderly[J]. *Res Soc Dev*, 2022, 11(13): e64111334297.
- [14] WANG C, TAN B Y, QIAN Q. The impact of perioperative enhanced recovery nursing model on postoperative delirium and rehabilitation quality in elderly patients with femoral neck fractures[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2023, 24(1): 947.
- [15] LIM K K, MATCHAR D B, TAN C S, et al. The association between psychological resilience and physical function among older adults with hip fracture surgery[J]. *J Am Med Dir Assoc*, 2020, 21(2): 260-266.e2.
- [16] 庞益群, 吴亚玲, 李蒙, 等. C 型臂透视与骨科手术机器人三维成像系统在股骨颈骨折闭合复位内固定术中的应用对比[J]. *西部医学*, 2023, 35(4): 533-537.
- [17] 黄复铭, 张信哲, 李伟雄, 等. 机器人辅助导航与徒手经皮空心螺钉治疗中青年股骨颈骨折的疗效比较[J]. *中华创伤骨科杂志*, 2023, 25(11): 979-985.
- [18] 王军强, 张腾, 吴新宝. 基于骨科手术机器人定位系统的精准微创内固定治疗股骨颈骨折[J]. *骨科临床与研究杂志*, 2019, 4(1): 57-60.
- [19] FENG W, YAO Z M, LIU H N, et al. Robot-assisted cannulated compression screw internal fixation for treatment of femoral neck fracture in children: a case series of ten patients[J]. *Front Pediatr*, 2023, 10: 1105717.
- [20] 区文欢, 黄黎, 刘彦, 等. 机器人辅助空心钉内固定技术治疗股骨颈骨折的临床观察[J]. *创伤外科杂志*, 2022, 24(8): 607-609.
- [21] 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.
- [22] WANG X F, ZHANG Y X, LOU L B, et al. Robotic-assisted systems for the safe and reliable treatment of femoral neck fractures: retrospective cohort study[J]. *J Orthop Surg Res*, 2023, 18(1): 633.
- [23] ADAMSKA O, MODZELEWSKI K, SZYMCZAK J, et al. Robotic-assisted total knee arthroplasty utilizing NAVIO, CORI imageless systems and manual TKA accurately restore femoral rotational alignment and yield satisfactory clinical outcomes: a randomized controlled trial[J]. *Medicina (Kaunas)*, 2023, 59(2): 236.
- [24] 郑宏瑞, 张文杰, 王云华, 等. 股骨颈动力交叉钉系统联合富血小板血浆治疗股骨颈骨折[J]. *中国组织工程研究*, 2023, 27(9): 1390-1395.
- [25] 杨宏志, 胡斌, 朱挺平, 等. 皮外适度撑开联合上半身反弓技术后路短节段伤椎经皮椎弓根螺钉内固定治疗胸腰段骨折的临床研究[J]. *中国现代医学杂志*, 2023, 33(15): 21-25.

(张蕾 编辑)

**本文引用格式:** 刘向东, 李辉, 任东良, 等. 机器人导航技术在股骨颈骨折微创内固定治疗中的应用效果分析[J]. *中国现代医学杂志*, 2024, 34(17): 22-27.

**Cite this article as:** LIU X D, LI H, REN D L, et al. Application analysis of robotic navigation technology in minimally invasive internal fixation treatment of femoral neck fractures[J]. *China Journal of Modern Medicine*, 2024, 34(17): 22-27.