

· 临床论著 ·

机器人辅助空心钉固定 Pauwels II~III 型股骨颈骨折

吴骥鸿, 王俊文*, 吴晨尧, 韩乐奇, 祁师亮, 黄玉成

(江汉大学附属武汉市第四医院, 湖北武汉 430030)

摘要: [目的] 比较机器人辅助与传统徒手经皮空心螺钉内固定股骨颈骨折的临床疗效。[方法] 回顾性分析 2021 年 4 月—2022 年 4 月本科手术治疗 Pauwels II~III 型股骨颈骨折 69 例患者的临床资料。根据医患沟通结果, 39 例采用机器人辅助下置入空心螺钉 (机器人组), 30 例采用徒手经皮置入空心螺钉 (徒手组)。比较两组围手术期、随访和影像资料。[结果] 机器人组手术时间 [(61.9±13.5) min vs (87.0±14.4) min, $P<0.001$]、切口总长度 [(2.2±0.4) cm vs (5.2±0.4) cm, $P<0.001$]、术中失血量 [(29.3±4.8) ml vs (33.0±7.8) ml, $P=0.018$]、术中透视次数 [(6.7±1.2) 次 vs (9.8±1.1) 次, $P<0.001$]、导针调整次数 [(4.5±1.1) 次 vs (7.9±0.9) 次, $P<0.001$] 均显著优于徒手组。机器人组完全负重时间 [(104.6±4.3) d vs (108.7±8.1) d, $P<0.001$] 显著早于徒手组。术后随时间推移, 两组 VAS 评分、Harris 评分、髋伸-屈 ROM、髋内-外旋 ROM 均显著改善 ($P<0.05$); 机器人组 Harris 评分 [术后 1 个月, (85.3±3.4) vs (82.2±3.3), $P<0.001$; 术后 6 个月, (87.0±2.6) vs (82.8±4.2), $P<0.001$]、髋伸-屈 ROM [术后 1 个月, (89.6±7.2)° vs (86.6±5.0)°, $P=0.045$; 术后 6 个月, (105.2±4.6)° vs (102.8±4.0)°, $P=0.030$] 及术后 1 个月的髋内-外旋 ROM [(58.0±2.7)° vs (54.7±2.5)°, $P<0.001$] 均显著优于徒手组。影像方面, 机器人组在 Garden 对线指数、空心钉离散度、股骨颈短缩方面均显著优于徒手组 ($P<0.05$), 但两组颈干角和空心钉平行度、骨折愈合时间、Ficat 评级的差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。[结论] 与徒手经皮置入空心钉内固定相比, 采用机器人辅助行空心钉内固定治疗股骨颈骨折具有手术时间短、置钉效果好、离散度大, 早期髋关节功能恢复好等优点。

关键词: 机器人辅助技术, 股骨颈骨折, 空心螺钉, Pauwels 分型

中图分类号: R683.42 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-8478 (2024) 22-2035-06

Robot-assisted cannulated screw fixation of Pauwels type II-III femoral neck fractures // WU Qi-hong, WANG Jun-wen, WU Chen-yao, HAN Le-qi, QI Shi-liang, HUANG Yu-cheng. Wuhan Fourth Hospital, School of Medicine, Jianghan University, Wuhan 430030, China

Abstract: [Objective] To compare the clinical efficacy of robot-assisted versus traditional freehand percutaneous cannulated screw fixation for femoral neck fracture. [Methods] A retrospective analysis was performed on 69 patients who received surgical treatment for Pauwels type II-III femoral neck fractures in our hospital from April 2021 to April 2022. According to doctor-patient communication, 39 patients were treated with robot-assisted fixation (the robot group), while other 30 patients underwent conventional free-hand percutaneous cannulated screw (the free hand group). The perioperative, follow-up and imaging data of the two groups were compared between the two groups. [Results] The robot group proved significantly superior to the free hand group in terms of operation time [(61.9±13.5) min vs (87.0±14.4) min, $P<0.001$], the total length of incision [(2.2±0.4) cm vs (5.2±0.4) cm, $P<0.001$], intraoperative blood loss [(29.3±4.8) ml vs (33.0±7.8) ml, $P=0.018$], intraoperative fluoroscopy times [(6.7±1.2) times vs (9.8±1.1) times, $P<0.001$] and guide pin adjustment times [(4.5±1.1) times vs (7.9±0.9) times, $P<0.001$]. In addition, the robot group resumed full weight-loading activity time significantly earlier than the free hand group [(104.6±4.3) days vs (108.7±8.1) days, $P<0.001$]. The VAS score, Harris score, hip extension-flexion ROM, and hip internal-external rotation ROM significantly improved in both groups over time ($P<0.05$). The robot groups was significantly better than the free hand group in terms of Harris score [(85.3±3.4) vs (82.2±3.3), $P<0.001$] a month postoperatively, [(87.0±2.6) vs (82.8±4.2), $P<0.001$] 6 months postoperatively; hip flexion-extension ROM [(89.6±7.2)° vs (86.6±5.0)°, $P=0.045$] a month postoperatively, [(105.2±4.6)° vs (102.8±4.0)°, $P=0.030$] 6 months postoperatively; and hip internal-external rotation ROM [(58.0±2.7)° vs (54.7±2.5)°, $P<0.001$] a month postoperatively. Regarding image, the robot group was also significantly better than the free hand group in term of Garden alignment index, cannulated screw dispersion and femoral neck shortening ($P<0.05$), but there were no statistically significant differences in femoral neck-shaft angle

DOI:10.20184/j.cnki.issn1005-8478.100408

作者简介: 吴骥鸿, 硕士研究生在读, 研究方向: 关节与创伤矫形, (电子信箱) DexterWu@stu.jhun.edu.cn

* 通信作者: 王俊文, (电子信箱) wjw0713@163.com

and cannulated screw parallelism, fracture healing time and Ficat grade between the two groups ($P>0.05$). **[Conclusion]** Compared with hands-free technique, the robot-assisted cannulated screw fixation of femoral neck fracture has the advantages of shorter operation time, better screw placement with greater dispersion, and better early hip function recovery.

Key words: robot-assisted technique, femoral neck fracture, cannulated screw, Pauwels classification

全世界每年约有 160 万髋部骨折发生，其中以股骨颈骨折为主，占髋关节骨折的 53%^[1, 2]。髋关节股骨颈的生物力学特点表明了其在承受较大的剪切力和扭转应力的状况下容易导致骨折^[3, 4]。因此良好的解剖复位和稳定的内固定被认为是青壮年股骨颈骨折的两大重要影响因素^[5]。临床上以手术治疗为主，但术后并发症中常出现股骨颈短缩、骨折不愈合、髓内外翻畸形、股骨头坏死等情况^[6-8]。临床上有种类繁多的股骨颈内固定器材，但在选择方面却没有统一的标准^[9, 10]。随着技术和器械的不断发展，空心螺钉和内固定物在股骨颈手术中的应用逐渐增多^[11]。如今临床常用的手术方法是三角形排列方式的 3 枚平行拉力螺钉固定^[12, 13]，但在术中螺钉的固定和精确定位是困难的，其螺钉的定位和固定质量也与患者的预后密切相关。近年来，机器人辅助技术开展得如火如荼，为骨科手术提供了一个新的思路，也存在着较大的研究空间^[14]。然而，目前徒手经皮置钉与机器人辅助下经皮置钉疗效的循证证据研究尚不成熟，还有待于外科医生在实践中去批判性地采用这种方式去测试该技术的优点和局限性^[15, 16]。本研究通过比较两种手术方式治疗股骨颈骨折的临床疗效，拟探究机器人辅助下手术的精确性、稳定性与可靠性，为后续股骨颈骨折的治疗方式提供一些思路与参考。

1 资料与方法

1.1 纳入与排除标准

纳入标准：(1) 明确外伤史，单侧闭合性损伤；(2) 影像学检查证实为股骨颈骨折，骨折类型为 Pauwels II~III 型；(3) 年龄 18~60 岁；(4) 患者资料完整，随诊依从性好。

排除标准：(1) 隐匿性股骨头骨折、髓臼骨折、股骨粗隆间骨折及转子间骨折；(2) Pauwels I 型骨折患者；(3) 病理性骨折；(4) 陈旧性骨折；(5) 既往类风湿性关节炎、髋关节骨性关节炎；(6) 存在下肢深静脉血栓或陈旧性股骨头缺血性坏死；(7) 既往患有严重心血管疾病、肝肾功能不全、长期服用激素药物；(8) 病历资料不全，依从性差。

1.2 一般资料

回顾性分析 2021 年 4 月—2022 年 4 月在本院行股骨颈骨折内固定术患者的临床资料，共 69 例符合上述标准，纳入本文研究，按照术前医患沟通结果，分为两组，39 例采用机器人辅助下置入空心螺钉（机器人组）；30 例采用徒手经皮置入空心螺钉（徒手组）。两组患者术前一般资料比较见表 1，两组年龄、性别、损伤至手术时间、侧别、骨折分型等一般资料的比较差异均无统计学意义 ($P>0.05$)，本研究经武汉第四医院医学伦理委员会审批（批准号：KY2023-046-01），所有患者均对治疗知情同意。

表 1. 两组患者术前一般资料比较

Table 1. Comparison of preoperative general data between the two groups

指标	机器人组 (n=39)	徒手组 (n=30)	P 值
年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$)	51.1±6.9	51.9±7.4	0.644
性别 (例, 男/女)	15/24	18/12	0.078
损伤至手术时间 (d, $\bar{x} \pm s$)	5.5±1.3	5.8±0.9	0.259
侧别 (例, 左/右)	19/20	15/15	0.917
Pauwels 分型 (例, II/III)	25/14	19/11	0.948

1.3 手术方法

麻醉成功后患者取仰卧位，置于牵引床上，使患肢先外展外旋再内收内旋，透视监测复位效果，必要时行克氏针撬拨骨折辅助复位。

机器人组：在患肢髌前上棘上安放示踪器并妥善固定，手术野放置机械臂示踪器，C 形臂 X 线机透视复位后的股骨颈正侧位，并将图像上传至主机工作站，在正侧位图像上规划导针位置。机械臂定位导针位置后，做 3 个 0.5~1 cm 的小切口，在机械臂套筒引导下，经皮置入导针，透视显示针尖距离软骨下骨约 5 mm 并测深。沿导针依次置入 3 枚均平行于股骨颈轴且长度合适的螺钉，根据术中情况加压固定，C 形臂 X 线机透视确认复位及固定效果满意后，逐层关闭切口，不放置引流。

徒手组：C 形臂 X 线机透视复位后股骨颈正侧位图像，大致定位进针点；在患侧大转子下 3~4 cm 处，切口约 5 cm，于大粗隆下方外侧沿股骨颈方向打入 3 枚导针；透视示导针位置满意后。测深后沿导

针拧入空心拉力螺钉 3 枚，必要时延长切口。

所有手术均由武汉第四医院创伤骨科同一组医生完成。术后两组均行抗生素治疗预防感染。术后 48 h 均行髋关节正侧位 X 线片检查，两组均在麻醉作用消失后进行双下肢气压治疗并嘱患者行踝泵运动。围手术期间定期查房查看患肢肿胀情况并复查双下肢深静脉彩超排除血栓形成。术后 2 周拆线，出院后定期门诊复查，根据骨折愈合情况逐渐负重，定期随访。

1.4 评价指标

记录围手术期指标，包括手术时间、切口总长度、术中失血量、术中透视次数、导针调整次数、切口愈合等级、住院时间及早期并发症。采用完全负重活动时间、疼痛视觉模拟评分 (visual analogue scale, VAS)、Harris 评分、髋关节伸-屈活动度 (range of motion, ROM)、内-外旋 ROM 评价临床效果。行影像学检查，计算 Garden 对线指数、颈干角、空心螺钉平行度、空心螺钉离散度、股骨颈短缩程度、骨折愈合时间。采用 Ficat 等级评价股骨头坏死程度。

1.5 统计学方法

采用 SPSS 25.0 软件进行统计学分析。计量数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示，资料呈正态分布时，组间比较采用独立样本 *t* 检验，组内比较采用单因素方差分析，两两比较采用 *LSD* 法；资料呈非正态分布时，采用非参数统计。计数资料采用 χ^2 检验或 Fisher 精确检验。等级资料采用秩和检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 围手术期情况

两组患者均顺利完成手术，无血管神经损伤等并发症。两组围手术期资料见表 2。机器人组手术时间、切口总长度、术中失血量、术中透视次数、导针调整次数均显著优于徒手组 ($P < 0.05$)。但两组切口愈合等级、住院时间的差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。两组均无下肢深静脉血栓等早期并发症。

2.2 随访结果

术后均获随访 12 个月。两组随访资料见表 3。机器人组完全负重时间显著早于徒手组 ($P < 0.05$)。术后随时间推移，两组 VAS 评分显著减少 ($P < 0.05$)，Harris 评分、髋伸-屈 ROM、髋内-外旋 ROM 均显著增加 ($P < 0.05$)，机器人组术后 1、6 个月 Harris 评分、髋伸-屈 ROM 及术后 1 个月的髋内-外旋 ROM 均显著优于徒手组 ($P < 0.05$)，其他相应时间点，两组间 Harris 评分、髋伸-屈 ROM、髋内-外旋

ROM 的差异均无统计学意义 ($P > 0.05$)。

表 2. 两组患者围手术期资料比较
Table 2. Comparison of perioperative data between the two groups

指标	机器人组 (n=39)	徒手组 (n=30)	P 值
手术时间 (min, $\bar{x} \pm s$)	61.9±13.5	87.0±14.4	<0.001
切口总长度 (cm, $\bar{x} \pm s$)	2.2±0.4	5.2±0.4	<0.001
术中失血量 (ml, $\bar{x} \pm s$)	29.3±4.8	33.0±7.8	0.018
术中透视次数 (次, $\bar{x} \pm s$)	6.7±1.2	9.8±1.1	<0.001
导针调整次数 (次, $\bar{x} \pm s$)	4.5±1.1	7.9±0.9	<0.001
切口愈合 (例, 甲/乙/丙)	39/0/0	30/0/0	ns
住院时间 (d, $\bar{x} \pm s$)	7.2±1.1	7.5±1.1	0.379

表 3. 两组患者随访资料 ($\bar{x} \pm s$) 与比较
Table 3. Comparison of follow-up data between the two groups ($\bar{x} \pm s$)

指标	机器人组 (n=39)	徒手组 (n=30)	P 值
完全负重活动时间 (d)	104.6±4.3	108.7±8.1	0.017
VAS 评分 (分)			
术后 1 个月	7.5±1.1	7.1±1.0	0.093
术后 6 个月	2.8±1.1	3.1±1.0	0.374
末次随访	0.8±0.8	0.8±0.9	0.835
P 值	<0.001	<0.001	
Harris 评分 (分)			
术后 1 个月	85.3±3.4	82.2±3.3	<0.001
术后 6 个月	87.0±2.6	82.8±4.2	<0.001
末次随访	94.0±2.5	93.2±2.5	0.202
P 值	<0.001	<0.001	
髋伸-屈 ROM (°)			
术后 1 个月	89.6±7.2	86.6±5.0	0.045
术后 6 个月	105.2±4.6	102.8±4.0	0.030
末次随访	130.7±3.8	131.2±3.4	0.567
P 值	<0.001	<0.001	
髋内-外旋 ROM (°)			
术后 1 个月	58.0±2.7	54.7±2.5	<0.001
术后 6 个月	65.3±2.5	65.2±1.9	0.897
末次随访	73.0±1.5	72.5±1.5	0.200
P 值	<0.001	<0.001	

至末次随访时，所有患者均恢复伤前生活与工作能力，两组患者均无股骨头坏死等并发症，无翻修手术。

2.3 影像评估

两组影像评估结果见表 4。机器人组 Garden 对线指数、空心钉离散度、股骨颈短缩均显著优于徒手组 ($P < 0.05$), 但两组颈干角和空心钉平行度的差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。两组骨折愈合时间多在 12~26 周, 差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。与术后 1

个月相比, 术后 6 个月及末次随访时, 两组 Ficat 评级无显著变化 ($P > 0.05$), 相应时间点, 两组 Ficat 评级的差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。术后 1 年复查, 均无明显螺钉松动、移位发生。两组患者典型影像见图 1、2。



图 1. 患者男性, 48 岁, 左 Pauwels III 型股骨颈骨折, 行机器人经皮空心钉固定。1a, 1b: 术前髋关节正侧位 X 线片示左股骨颈骨折; 1c, 1d: 术后 1 年髋关节正侧位 X 线片示内固定位置良好, 股骨头无坏死征象。

Figure 1. A 48-year-old male received robotic percutaneous cannulated screw fixation for the left Pauwels type III femoral neck fracture. 1a, 1b: Preoperative X-rays showed the fracture; 1c, 1d: X-rays 1 year after operation revealed fracture healing with the implants in good position.



图 2. 患者女性, 52 岁, 右 Pauwels II 型股骨颈骨折, 行徒手经皮空心钉固定。2a, 2b: 术前髋关节正侧位 X 线片示右股骨颈骨折; 2c, 2d: 术后 1 年髋关节正侧位 X 线片示内固定位置良好, 股骨头无坏死征象。

Figure 2. A 52-year-old female underwent free-hand percutaneous cannulated screw fixation of the right Pauwels type II femoral neck fracture. 2a, 2b: Preoperative radiographs demonstrated the fracture; 2c, 2d: Radiographs 1 year postoperatively showed that the screws remained in good position without signs of femoral head necrosis.

3 讨论

一百多年来, 全球骨科医生应用多种治疗手段来治疗股骨颈骨折, 从保守治疗到手术治疗, 从各式各样的内固定到关节置换, 但治疗效果与其他部位的骨折相比一直都差强人意^[17]。股骨颈骨折最经典的内固定方式是空心拉力螺钉固定, 但是在空心螺钉的置入分布、构型及角度方面仍存在一定的争议。近年来有文献提出^[17], 在构型方面, “三角形”构型具有更

稳定的内固定效果。在螺钉分布方面, 3 枚螺钉离散对骨折端成面状加压, 分布面积很重要, 前后螺钉越分散, 骨不连发生率越低。

螺钉间的离散度是骨折复位达到最佳的滑动加压效果和抗扭作用的关键^[18]。由于外科医生的视力和操作方式不一样, 往往需要在术中进行多次调整, 从而对手术效果产生一定影响, 也增加了手术时间。另外, 合适的置钉位置和置钉深度也是手术的关键因素^[19-21]。本研究中, 机器人组因为计算机辅助, 使

置钉尽可能的分散，虽然术者将螺钉的平行度和离散度达到与机器人组相近程度，但整体来看精确性仍旧低于机器人组。徒手组不仅花费更多时间去找满意的置钉方向，但在实际操作中很大可能存在导针的偏移，从而偏离了最佳置钉分布。机器人组通过术前计算机规划，科学准确地保证了螺钉间的平行度和离散度。机器人组在手术时间、术中失血量、术中透视次数、导针调整次数等方面均显著优于徒手组 ($P < 0.05$)，使得术中对肌肉的反复侵入性小，操作更加简便，避免多次重复尝试钻孔，从而减少损伤和术中出血量。

表 4. 两组患者辅助检查资料比较

Table 4. Comparison of radiographical data between the two groups

指标	机器人组 (n=39)	徒手组 (n=30)	P 值
术后正位 Garden 对线 ($^{\circ}$, $\bar{x} \pm s$)	160.7 \pm 4.6	156.8 \pm 4.4	<0.001
术后侧位 Garden 对线 ($^{\circ}$, $\bar{x} \pm s$)	178.1 \pm 2.1	176.4 \pm 3.5	0.029
术后颈干角 ($^{\circ}$, $\bar{x} \pm s$)	132.0 \pm 4.1	132.3 \pm 6.5	0.842
空心钉平行度 ($^{\circ}$, $\bar{x} \pm s$)	1.9 \pm 0.5	2.1 \pm 0.4	0.241
空心钉离散度 (%), $\bar{x} \pm s$)	73.3 \pm 1.2	69.8 \pm 1.5	<0.001
股骨颈短缩 (mm, $\bar{x} \pm s$)	4.6 \pm 0.7	5.2 \pm 0.6	<0.001
骨折愈合 [例 (%)]			0.343
<12 周	1 (2.5)	0 (0)	
12~26 周	38 (97.5)	30 (100.0)	
\geq 26 周	0 (0)	0 (0)	
Ficat 评级 (例, 0/I/II/III)			
术后 1 个月	39/0/0/0	30/0/0/0	ns
术后 6 个月	39/0/0/0	29/1/0/0	0.326
末次随访	39/0/0/0	29/1/0/0	0.326
P 值	ns	0.326	

Zlowodzki 等^[22]报道，股骨颈短缩 <5 mm 相对于短缩 >5 mm 的患者具有更高的术后 SF-36 评分，且分值与短缩程度呈负相关。此外股骨颈的短缩会使股骨偏心距缩短，从而影响髋关节的稳定性和平衡能力。所以患者在行走时必须增加外侧肌的力量来代偿，导致跛行，进而引起股骨头坏死等远期并发症^[23]。本研究两组术后复查虽然均有股骨颈短缩、颈干角的改变，但机器人组股骨颈短缩程度比徒手组少 ($P < 0.05$)，术后 1 年复查，均无明显螺钉松动、移位，两组均未发生股骨头坏死等并发症。通过机器人辅助手术可提高手术效果，在一定程度上避免术后畸形和其他并发症的发生。股骨颈骨折临

床上的复位标准多根据股骨近端骨小梁的排列和角度来评判，根据随访结果显示，本研究虽然两组均为 I 级复位 (正位 160° ; 侧位 180°)，但机器人组的复位效果比徒手组更好 ($P < 0.05$)。在活动方面，机器人组术后 1 个月的髋伸-屈、髋内-外旋 ROM 也显著优于徒手组 ($P < 0.05$)。但随着时间推移，两组之间的差异越来越小，也由此可以看出机器人辅助对于骨折早期的疗效比传统手术方式更好，更有利于患者早期康复锻炼，显示出了明显的临床价值。既往研究表明^[24, 25]，机器人辅助下治疗股骨颈骨折手术并发症少、术后稳定性强、预后较好，可有效减少术后并发症的发生，从而减轻了患者的痛苦和医疗负担。

机器人辅助骨科手术，可提高手术的准确性，减少手术时间，克服了人工操作的不稳定性和因理念不同造成的差异，但对患者产生的经济负担相对更重，且对医院平台和设备成本要求更高，也需要相应专业的人员培训。由于本研究为回顾性分析，样本量小，随访时间不够长，其结论还需要大样本、前瞻性、远期随访的对照试验进一步验证。

参考文献

- [1] Thorngren KG, Hommel A, Norrman PO, et al. Epidemiology of femoral neck fractures [J]. Injury, 2002, 33 (Suppl 3): C1-7. DOI: 10.1016/s0020-1383(02)00324-8.
- [2] 中华医学会骨科学分会创伤骨科学组, 中国医师协会骨科医师分会创伤专家工作委员会. 成人股骨颈骨折诊治指南 [J]. 中华创伤骨科杂志, 2018, 20 (11): 921-928. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-7600.2018.11.001.
- [3] 王富洋, 刘宇宸, 程亮亮, 等. 股骨颈骨折常用内固定方式的生物力学研究进展 [J]. 中国修复重建外科杂志, 2022, 36 (7): 896-901. DOI: 10.7507/1002-1892.202204040.
- [4] 陆慧. 计算机辅助下股骨颈骨折空心钉内固定的生物力学分析与临床应用研究 [D]. 重庆: 重庆医科大学, 2019.
- [5] 庄至坤, 许志庆, 郭金花, 等. 中青年股骨颈骨折内固定术后股

- 骨头坏死的相关因素[J]. 中国矫形外科杂志, 2018, 26(22): 2044-2049. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2018.22.06.
- Zhuang ZK, Xu ZQ, Guo JH, et al. Factors associated with femoral head necrosis after internal fixation of femoral neck fracture in young and middle-aged [J]. Orthopedic Journal of China, 2018, 26(22): 2044-2049. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2018.22.06.
- [6] 毕郑刚, 王旭明. 再谈老年股骨颈骨折的手术治疗策略[J]. 中华外科杂志, 2019, 57(11): 804-806. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0529-5815.2019.11.002.
- Bi ZG, Wang XM. Revisiting surgical treatment strategies for femoral neck fractures in the elderly [J]. Chinese Journal of Surgery, 2019, 57(11): 804-806. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0529-5815.2019.11.002.
- [7] Duffin M, Pilson HT. Technologies for young femoral neck fracture fixation [J]. J Orthop Trauma, 2019, 33(Suppl 1): S20-S26. DOI: 10.1097/BOT.0000000000001367.
- [8] Slobogean GP, Stockton DJ, Zeng BF, et al. Femoral neck shortening in adult patients under the age of 55 years is associated with worse functional outcomes: Analysis of the prospective multi-center study of hip fracture outcomes in China (SHOC) [J]. Injury, 2017, 48(8): 1837-1842. DOI: 10.1016/j.injury.2017.06.013.
- [9] Panteli M, Rodham P, Giannoudis PV. Biomechanical rationale for implant choices in femoral neck fracture fixation in the non-elderly [J]. Injury, 2015, 46(3): 445-452. DOI: 10.1016/j.injury.2014.12.031.
- [10] Morochovič R, Takáčová K, Tomčovič L, et al. Factors influencing femoral neck fracture healing after internal fixation with dynamic locking plate [J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2019, 139(5): 629-638. DOI: 10.1007/s00402-018-03103-5.
- [11] Florschütz AV, Langford JR, Haidukewych GJ, et al. Femoral neck fractures: current management [J]. J Orthop Trauma, 2015, 29(3): 121-129. DOI: 10.1097/BOT.0000000000000291.
- [12] Kunapuli SC, Schramski MJ, Lee AS, et al. Biomechanical analysis of augmented plate fixation for the treatment of vertical shear femoral neck fractures [J]. J Orthop Trauma, 2015, 29(3): 144-150. DOI: 10.1097/BOT.0000000000000205.
- [13] Yang JJ, Lin LC, Chao KH, et al. Risk factors for nonunion in patients with intracapsular femoral neck fractures treated with three cannulated screws placed in either a triangle or an inverted triangle configuration [J]. J Bone Joint Surg Am, 2013, 95(1): 61-69. DOI: 10.2106/JBJS.K.01081.
- [14] 段文禹, 焦录, 吴启润, 等. 股骨颈骨折内固定的全球研究现状的可视化分析[J]. 中国矫形外科杂志, 2023, 31(10): 892-895. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2023.10.06.
- Duan WY, Jiao L, Wu QR, et al. Visual analysis of the global research status of internal fixation of femoral neck fractures [J]. Orthopedic Journal of China, 2023, 31(10): 892-895. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2023.10.06.
- [15] Shoham M, Lieberman IH, Benzel EC, et al. Robotic assisted spinal surgery—from concept to clinical practice [J]. Comput Aided Surg, 2007, 12(2): 105-115. DOI: 10.3109/10929080701243981.
- [16] Cahill KS, Wang MY. Evaluating the accuracy of robotic assistance in spine surgery [J]. Neurosurgery, 2012, 71(2): N20-21. DOI: 10.1227/01.neu.0000417535.07871.36.
- [17] 周方. 股骨颈骨折治疗的热点与创新[J]. 中华创伤骨科杂志, 2021, 23(9): 742-747. DOI: 10.3760/cma.j.cn115530-20210823-00389.
- Zhou F. Hot spots and innovations in the treatment of femoral neck fractures [J]. Chinese Journal of Orthopaedic Trauma, 2021, 23(9): 742-747. DOI: 10.3760/cma.j.cn115530-20210823-00389.
- [18] 吴研飞, 马剑雄, 赵兴文, 等. 两种构型空心钉固定股骨颈骨折的荟萃分析[J]. 中国矫形外科杂志, 2023, 31(6): 515-519. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2023.06.07.
- Wu YF, Ma JX, Zhao XW, et al. Meta-analysis of two configurations of hollow nails for fixation of femoral neck fractures [J]. Orthopedic Journal of China, 2023, 31(6): 515-519. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2023.06.07.
- [19] Weil YA, Qawasmī F, Liebergall M, et al. Use of fully threaded cannulated screws decreases femoral neck shortening after fixation of femoral neck fractures [J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2018, 138(5): 661-667. DOI: 10.1007/s00402-018-2896-y.
- [20] Zielinski SM, Keijsers NL, Praet SF, et al. Femoral neck shortening after internal fixation of a femoral neck fracture [J]. Orthopedics, 2013, 36(7): e849-858. DOI: 10.3928/01477447-20130624-13.
- [21] Ly TV, Swiontkowski MF. Treatment of femoral neck fractures in young adults [J]. J Bone Joint Surg Am, 2008, 90(10): 2254-2266.
- [22] Zlowodzki M, Brink O, Switzer J, et al. The effect of shortening and varus collapse of the femoral neck on function after fixation of intracapsular fracture of the hip: a multi-centre cohort study [J]. J Bone Joint Surg Br, 2008, 90(11): 1487-1494. DOI: 10.1302/0301-620X.90B11.20582.
- [23] Zlowodzki M, Ayeni O, Petrisor BA, et al. Femoral neck shortening after fracture fixation with multiple cancellous screws: incidence and effect on function [J]. J Trauma, 2008, 64(1): 163-169. DOI: 10.1097/01.ta.0000241143.71274.63.
- [24] Duan SJ, Liu HS, Wu WC, et al. Robot-assisted percutaneous cannulated screw fixation of femoral neck fractures: preliminary clinical results [J]. Orthop Surg, 2019, 11(1): 34-41. DOI: 10.1111/os.12430.
- [25] 陈金雄, 周观明, 陈希聪, 等. 机器人辅助经皮空心钉固定股骨颈骨折[J]. 中国矫形外科杂志, 2023, 31(4): 295-299. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2023.04.02.
- Chen JX, Zhou GM, Chen XC, et al. Robot-assisted percutaneous cannulated screw fixation of femoral neck fractures [J]. Orthopedic Journal of China, 2023, 31(4): 295-299. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2023.04.02.

(收稿:2023-06-09 修回:2024-06-22)

(同行评议专家:侯存强,高加智)

(本文编辑:郭秀婷)