

骨科机器人辅助下 F 钉技术与倒三角平行钉治疗不稳定型股骨颈骨折的疗效比较

赵兴龙¹, 申建军², 冯康虎², 陈志伟², 司元龙², 张璇¹, 王冠德¹, 海祥¹
(1. 甘肃中医药大学, 甘肃 兰州 730000; 2. 甘肃省中医院, 甘肃 兰州 730050)

【摘要】 目的:比较天玑机器人辅助下 F 钉技术与倒三角平行钉内固定治疗不稳定型股骨颈骨折的临床疗效。**方法:**回顾性分析 2019 年 12 月至 2021 年 4 月运用天玑手术机器人经皮置入空心螺钉内固定治疗不稳定型股骨颈骨折 72 例, 其中 37 例采用 F 钉内固定, 男 16 例, 女 21 例; 年龄 47~64(53.87±5.28) 岁; 依据 Pauwels 损伤分型, I 型 1 例, II 型 19 例, III 型 17 例; 合并内科疾病 8 例; 摔伤 17 例, 车祸伤 8 例, 高处坠落伤 12 例; 受伤至手术时间 29~49(35.00±7.34) h。另 35 例采用倒三角平行钉内固定, 男 13 例, 女 22 例; 年龄 46~63(52.36±5.05) 岁; 依据 Pauwels 损伤分型, I 型 2 例, II 型 21 例, III 型 12 例; 合并内科疾病 6 例; 摔伤 15 例, 车祸伤 9 例, 高处坠落伤 11 例; 受伤至手术时间 30~45(33.00±6.83) h。观察比较两组术中出血量、手术时间、术中透视次数、随访时间、骨折愈合时间及术后并发症, 分别于术后 6、12 个月采用 Harris 评分对髋关节功能进行评价。**结果:**两组患者均定期随访, 时间 12~16 个月。两组手术时间、术中出血量, 术中透视次数比较, 差异无统计学意义($P>0.05$); F 钉内固定组在骨折愈合时间、Harris 评分方面均优于倒三角平行钉内固定组($P<0.05$)。F 钉内固定组出现 1 例股骨颈短缩; 倒三角内固定组出现 1 例不愈合, 1 例退钉, 1 例下肢深静脉血栓形成; F 钉内固定组并发症发生率低于倒三角平行钉内固定组($P<0.05$)。**结论:**运用天玑机器人导航定位系统经皮空心螺钉 F 钉技术治疗不稳定型股骨颈骨折患者是安全有效的治疗方式, 能够显著减短骨折愈合时间、减低术后并发症的发生率并明显改善髋关节的功能, 提高患者生活质量。

【关键词】 股骨颈骨折; 生物力学; 骨科机器人; F 钉技术
中图分类号: R683.42
DOI: 10.12200/j.issn.1003-0034.20221191

开放科学(资源服务)标识码(OSID): 

Comparison of the efficacy of TiRobot orthopaedic robot assisted F screw technique and inverted triangle parallel nail internal fixation in the treatment of unstable femoral neck fractures

ZHAO Xing-long¹, SHEN Jian-jun², FENG Kang-hu², CHEN Zhi-wei², SI Yuan-long², ZHANG Xuan¹, WANG Guan-de¹, HAI Xiang¹ (1. Gansu University of Chinese Medicine, Lanzhou 730000, Gansu, China; 2. Gansu Provincial Hospital of Traditional Chinese Medicine, Lanzhou 730050, Gansu, China)

ABSTRACT Objective To compare the effectiveness of TiRobot assisted F screw technique and inverted triangle parallel nail internal fixation in the treatment of unstable femoral neck fractures. **Methods** A retrospective analysis was conducted on 72 patients with unstable femoral neck fractures who were treated with percutaneous cannulated screw fixation assisted with TiRobot Orthopaedic robot from December 2019 to April 2021. Among them, 37 patients were treated with F screw internal fixation, including 16 males and 21 females, aged 47 to 64 years old with an average of (53.87±5.28) years old; According to Pauwels classification, there were 1 case of type I, 19 cases of type II, 17 cases of type III; 8 cases of combined medical diseases; 17 cases of falling, 8 cases of traffic accident and 12 cases of falling from height; The time from injury to operation was 29 to 49 hours with average of (35.00±7.34) hours. Another 35 cases used internal fixation with an inverted triangle parallel nail, including 13 males and 22 females with an average age of 46 to 63 years old (52.36±5.05) years old; According to the Pauwels injury classification: there were 2 cases of type I, 21 cases of type II, 12 cases of type III; 6 cases of medical diseases, 15 cases of falling injury, 9 cases of traffic accident, 11 cases of falling injury; The time from injury to operation was 30 to 45 hours with an average of (33.00±6.83) h. The intraoperative blood loss, operation time, intraoperative fluoroscopy times, follow-up time, fracture healing time, postoperative complications were observed and compared between the two groups. The hip joint function was evaluated by Harris score at 6 months and 12 months after operation. **Results** There was no significant difference in operation

基金项目: 甘肃省卫生行业科研计划项目(编号: GSWSKY-2021-35)
Fund program: Gansu Provincial Health Industry Scientific Research Plan Project (No. GSWSKY-2021-35)
通讯作者: 申建军 E-mail: shjjun2008@163.com
Corresponding author: SHEN Jian-jun E-mail: shjjun2008@163.com

time, intraoperative blood loss, intraoperative fluoroscopy times and other intraoperative data between two groups ($P>0.05$). Both groups were followed up regularly, and the follow-up time was 12 to 16 months. The fracture healing time and Harris score of the F screw internal fixation group were better than those of the inverted triangle parallel nail internal fixation group ($P<0.05$). There was 1 case of femoral neck shortening in the F screw internal fixation group, 1 case of nonunion, 1 case of nail withdrawal, and 1 case of lower extremity deep vein thrombosis in the inverted triangle internal fixation group. The incidence of complications in the F screw internal fixation group was lower than that in the inverted triangle parallel nail internal fixation group ($P<0.05$). **Conclusion** Percutaneous cannulated F screw technique using Tirobot navigation positioning system is a safe and effective treatment for patients with unstable femoral neck fractures. It can significantly shorten the fracture healing time, reduce the incidence of postoperative complications, significantly improve hip joint function, and improve the quality of life.

KEYWORDS Femoral neck fracture; Biomechanics; Orthopaedic robot; F screw technique

股骨颈骨折(femoral neck fractures, FNF)是骨科临床中常见的骨折,通常由高能量创伤引起,具有较高的发病率和死亡率,占全身骨折的 3.6%,占髋部骨折的 48%~54%^[1]。股骨颈骨折绝大多数需要手术治疗,但骨折愈合相关并发症较多,由髋关节生物力学改变引起的术后并发症占绝大多数^[2]。因此,良好的复位和恢复患者正常功能活动是治疗的主要目标^[3]。目前,临床中有很多内固定方式,如传统倒三角平行空心螺钉、动态髋螺钉等^[4],其中传统倒三角空心拉力螺钉是大多数骨科医生治疗 FNF 的最常用的选择,它通过集中压缩骨折断端,消除潜在的骨折间隙,从而促进骨折愈合^[5]。但是在不稳定型股骨颈骨折中,特别是 Pauwels Ⅲ型骨折,由于高剪切力和内翻不稳定性,可以观察到股骨颈缩短和内翻塌陷率的增加^[6]。近年来,随着生物力学的深入研究,双平面双支撑技术(bipiane double-supported screw fixation, BDSF),即 F 钉技术,可以有效地对抗剪切力,从而提高临床治愈率^[7]。本研究回顾性分析 2019 年 12 月至 2021 年 4 月收治的 72 例股骨颈骨折患者,比较天玑机器人辅助下 F 钉技术与倒三角平行钉内固定治疗不稳定型股骨颈骨折患者的临床疗效,报告如下。

1 资料与方法

1.1 病例选择

纳入标准:(1)年龄<65 岁且为单侧患病。(2)适合应用闭合复位空心钉内固定方法治疗。(3)所有患者均为新鲜骨折。排除标准:(1)股骨颈骨折为陈旧

性骨折或病理性骨折。(2)不能闭合复位的患者,合并严重心肾功能障碍及凝血功能障碍。(3)既往存在骨坏死等关节疾病。

1.2 一般资料

本研究其纳入 72 例股骨颈骨折患者,根据手术方式分为两组,其中 37 例采用 F 钉内固定,男 16 例,女 21 例;年龄 47~64(53.87±5.28)岁;依据 Pauwels 分型:Ⅰ型 1 例,Ⅱ型 19 例,Ⅲ型 17 例;合并内科疾病 8 例;摔伤 17 例,车祸伤 8 例,高处坠落伤 12 例;受伤至手术时间 29~49(35.00±7.34) h。35 例采用倒三角平行钉内固定,男 13 例,女 22 例;年龄 46~63(52.36±5.05)岁;Pauwels 分型:Ⅰ型 2 例,Ⅱ型 21 例,Ⅲ型 12 例;合并内科疾病 6 例;摔伤 15 例,车祸伤 9 例,高处坠落伤 11 例;受伤至手术时间 30~45(33.00±6.83) h。两组术前一般临床资料比较,差异无统计学意义($P>0.05$),具有可比性,见表 1。本研究的所有患者及家属签署知情同意书,且本研究经甘肃省中医院伦理委员会许可(编号:2022-187-01)。

1.3 手术方法

1.3.1 手术设备与器械 本研究采用中国第 3 代天玑骨科机器人系统(北京天智航),移动式 C 形臂 X 线机(西门子),采用直径 7.3 mm 中空拉力螺钉。

1.3.2 F 钉内固定组 全身麻醉满意后,患者取仰卧位,将牵引装置安装在手术牵引床上,双下肢置于牵引支架上,患肢伸直,沿着躯体长轴方向牵引,健侧外展打开。复位方法采用 Whitman 法闭合复位,牵引患肢,同时在大腿根部加反牵引,待肢体恢复长度

表 1 两组股骨颈骨折患者术前一般资料比较

Tab.1 Comparison of preoperative general data between two groups of patients with femoral neck fracture

组别	例数	性别/例		年龄($\bar{x}\pm s$)/岁	骨折 Pauwels 分型/例			合并内科疾病/例	受伤原因/例			受伤至手术时间($\bar{x}\pm s$)/h
		男	女		Ⅰ型	Ⅱ型	Ⅲ型		摔伤	车祸伤	高处坠落	
F 钉组	37	16	21	53.87±5.28	1	19	17	8	17	8	12	35.00±7.34
平行钉组	35	13	22	52.36±5.05	2	21	12	6	15	9	11	33.00±6.83
检验值		$\chi^2=0.520$		$t=1.362$	$\chi^2=3.834$			$\chi^2=0.137$	$\chi^2=0.427$			$t=1.235$
P 值		0.753		0.470	0.764			0.651	0.452			0.537

后,行内旋外展复位,使用 C 形臂 X 线机摄患侧髋关节正侧位片,确认骨折复位满意。常规消毒铺巾,在同侧髂前下棘处置入半针并安装示踪器(保持全程勿动),在天玑机器人机械臂上组装无菌套卡环、机械臂示踪器以及标尺,将机器人推至患侧的适当位置,C 形臂 X 线透视定位后,将标尺置于 C 形臂 X 线机与患处之间,启动天玑系统,拍摄髋关节正侧位片,将图像导入天玑程序后,在传输后的图像上规划 F 形螺钉的路径。电脑操作机械臂按照规划的路径进行运动,使导向器运动至相应的皮肤附近。定位准确后小切口切开皮肤及皮下组织,依次在张力侧、垂直骨折线、压力侧置入 3 枚导针。再次透视定位,位置良好后依次置入长度适宜的 3 枚空心螺钉,透视见螺钉位置良好,骨折复位满意固定牢固。大量生理盐水冲洗切口,清点纱条器械无误后,缝合皮肤切口,用无菌纱布块包扎。术毕。

1.3.3 倒三角平行钉内固定组 麻醉方式、复位手法以及天玑机器人操作方式均与 F 钉组一致。不同之处:将图像导入天玑程序后,在传输后的图像上规划平行倒三角行螺钉的路径。透视满意后,依次置入 3 枚长度适宜的空心拉力螺钉。

1.3.4 术后处理 术后常规预防性给予抗生素和抗凝药物,伤口常规碘伏换药处理,密切观察患者双下肢血运、感觉及皮温。术后第 2 天行股四头肌收缩锻炼,术后 4~6 个月根据骨折愈合情况,可拄双拐部分负重,定期门诊复查直至股骨颈完全愈合后全部负重行走。

1.4 观察项目与方法

观察并记录两组手术时间、术中出血量、术中透视次数;定期影像学检查,评估骨折影像愈合时间。分别于术后 6、12 个月采用髋关节 HARRIS^[8]制定的 Harris 评分标准从疼痛、功能、畸形、活动范围 4 个方面评估髋关节功能;观察术后并发症,如感染、深静脉血栓形成、内固定松动、退钉、股骨颈短缩、骨折不愈合等发生情况。

1.5 统计学处理

采用 SPSS25.0 软件进行统计分析。年龄、手术时间、术中出血量、随访时间、骨折愈合时间、Harris 评分等符合正态分布的定量资料采用均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示,两组间比较采用成组设计定量资料 t 检验;两组性别、骨折分型、受伤原因、并发症等定性资料比较,采用 χ^2 检验。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

两组患者均定期随访,随访时间 12~16 个月。两组手术时间、术中出血量,术中透视次数等术中资料比较,差异无统计学意义($P>0.05$),见表 2。F 钉内固定组在骨折愈合时间、Harris 评分方面均优于倒三角平行钉内固定组($P<0.05$)见表 2、表 3。两组术后均未出现严重并发症及伤口感染情况,F 钉内固定组出现 1 例股骨颈短缩,倒三角内固定组出现 1 例不愈合、1 例退钉、1 例下肢深静脉血栓形成;F 钉内固定组并发症发生率低于倒三角平行钉内固定组($P<0.05$)。典型病例图片见图 1、图 2。

表 2 两组股骨颈骨折患者术后一般情况比较
Tab.2 Comparison of clinical observation indicators between two groups of patients with femoral neck fracture

组别	例数	手术时间($\bar{x}\pm s$)/ min	术中出血量 ($\bar{x}\pm s$)/ml	术中透视次数 ($\bar{x}\pm s$)/次	随访时间 ($\bar{x}\pm s$)/月	骨折愈合时间 ($\bar{x}\pm s$)/月	并发症/例
F 钉组	37	40.18±3.20	8.5±2.6	9.8±1.6	13.94±1.93	3.4±0.7	1
平行钉组	35	39.60±3.70	8.3±1.9	10.1±1.2	14.10±2.21	4.3±1.6	3
检验值		$t=0.833$	$t=0.762$	$t=-0.927$	$t=-0.853$	$t=-6.341$	$\chi^2=4.863$
P 值		0.572	0.720	0.513	0.337	0.002	0.034

表 3 两组股骨颈骨折患者术后 Harris 评分比较($\bar{x}\pm s$)
Tab.3 Comparison of Harris scores between two groups of patients with femoral neck fracture($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	疼痛		功能		畸形		关节活动度		总分	
		术后 6 个月	术后 12 个月	术后 6 个月	术后 12 个月	术后 6 个月	术后 12 个月	术后 6 个月	术后 12 个月	术后 6 个月	术后 12 个月
F 钉组	37	37.42±3.31	41.2±4.21	33.25±2.46	39.72±2.65	3.34±0.25	3.76±0.21	3.52±0.14	4.22±0.27	77.73±5.23	88.51±3.92
平行钉组	35	34.25±2.76	39.3±3.95	30.15±3.02	35.95±3.37	3.13±0.34	3.41±0.18	3.31±0.26	3.73±0.23	71.38±4.82	83.77±5.64
t 值		3.652	4.523	3.452	4.326	3.249	2.756	3.342	1.263	3.872	6.470
P 值		0.006	0.012	0.008	0.014	0.036	0.027	0.023	0.006	0.000	0.000



图 1 患者,女,54 岁,右髋部疼痛伴活动受限 6 h,受伤后 37 h 行天玑机器人辅助下 F 钉技术固定 1a,1b,1c. 术前 X 线片及 CT 示右股骨颈骨折(Pauwels II 型、Garden III 型) 1d. 术中螺钉规划 1e. 术中导针置入 1f. 术后 1 周 X 线片示右股骨颈骨折术后内固定稳定 1g,1h. 术后 12 个月 X 线片示骨折线模糊,骨折愈合良好,无短缩退钉

Fig.1 A 54-year-old female patient with right hip pain and limited mobility for 6 hours, TiRobot robot assisted F screw technology fixation was fixed at 37 hours after injury 1a,1b,1c. Preoperative X-ray and CT showed right femoral neck fracture (type Pauwels II ,Garden III) 1d. Intraoperative screw planning 1e. Intraoperative needle placement 1f. X-ray at one week after operation showed stable internal fixation of the right femoral neck fracture 1g,1h. X-rays at 12 months after operation showed fracture line blurred, the fracture has healed well without complications such as nail shortening

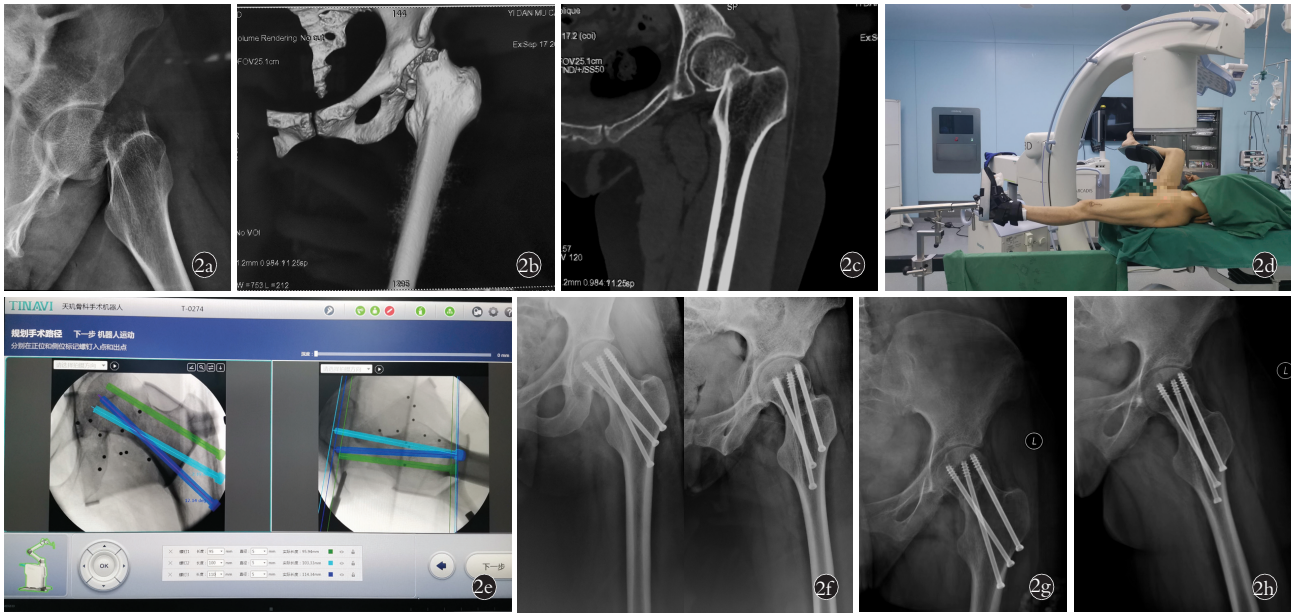


图 2 患者,女,46 岁,左髋部疼痛伴活动受限 3 h,受伤后 32 h 行天玑机器人辅助下 F 钉技术固定 2a,2b,2c. 术前 X 线片及 CT 示左股骨颈骨折 (Pauwels III 型,Garden IV 型) 2d. 术中行闭合复位 2e. 术中螺钉规划 2f. 术后 1 周 X 线片示左股骨颈骨折内固定稳定 2g,2h. 术后 12 个月 X 线片示骨折线模糊,骨折愈合良好,无短缩退钉

Fig.2 A 46-year-old female patient with left hip pain with limited mobility for 3 hours, TiRobot robot assisted F screw fixation was fixed at 32 hour after injury 2a,2b,2c. Preoperative X-ray and CT showed left femoral neck fracture (type Pauwels III ,Garden IV) 2d. Intraoperative closed reduction 2e. Intraoperative screw planning 2f. X-ray at 1 week after operation showed left femoral neck fracture fixation stable 2g,2h. X-rays at 12 months after operation showed fracture line blurred, good fracture healing without complications such as nail shortening

3 讨论

3.1 F 钉的优势

对于股骨颈骨折的治疗方式，一直以来都是临床中比较受关注的话题，本研究基于髋关节生物力学的角度分析^[9-10]，股骨颈骨折根据骨折线与水平面形成的夹角不同，那么股骨颈受到的压应力和剪切力会发生相应变化。其中压力主要存在于水平方向的裂缝中，且倾斜程度较低。剪切应力和内翻力沿着更垂直方向的裂缝增加，倾斜程度较高，骨折线倾斜度低，骨折部位受压，促进愈合^[11]。其中倒三角空心拉力螺钉是临床最常用的内固定方式，特别是在不稳定型股骨颈骨折中，它不能有效地对抗轴向的剪切力，且这种“滑动加压-断端吸收-滑动再加压”的方式会使得股骨颈的长度丢失，继发出退钉、骨折不愈合、髋关节受力不均衡造成跛行等并发症^[12]。基于此，有学者提出 F 钉技术^[13]，其具有以下优势：(1)能够有效对抗骨折断端的剪切力，避免应力的集中，从而促进骨折愈合。(2)双平面双支撑的内固定特点，具有较强的生物学性能优势，对于骨质疏松的患者更好。(3)远端螺钉较大角度的置入，进一步增加了股骨干支撑的力臂，给了足够的支撑空间，从而降低压力负荷。研究显示^[14]，BDSF 与传统的多枚平行螺钉固定技术相比，能够显著提高纵向固定强度，且骨折愈合率更高。LIN 等^[15]通过设计不同的内固定模型治疗 Pauwels III 型 FNF，即传统的倒三角平行空心螺钉模型、F 钉技术空心螺钉模型、动态髋关节螺钉与分层螺钉模型，在相同条件下采用有限元分析，分别比较内固定物和股骨的应力分布，结果表明 F 钉技术配置比其他 3 个模型表现出更小的位移及更强的抗扭效能。此外，特别强调的是，并不是所有的股骨颈骨折患者适用于 F 钉技术，对于骨折移位较大或者粉碎性骨折，尤其是内侧壁缺损较为明显的患者，不适用于此固定方式。

3.2 髋关节的生物力学

髋关节由股骨头和髋臼构成，是人体最大的关节，也是人体最主要的负重装置^[16]。从解剖学形态分析，髋关节看起来像一个球窝关节，作用在髋关节的肌肉有 20 多块，其中髋关节屈伸运动主要为髂腰肌和臀大肌支配，内收运动主要为闭孔外肌、耻骨肌等支配，外展运动主要为臀中肌、臀小肌和阔筋膜张肌支配，外旋运动主要由梨状肌、闭孔内肌和上下孖肌等支配，它们共同维持了髋关节的屈伸、内外收、内外旋等正常活动^[17-18]。当 Pauwels 角为 24°~26°时，此时合力的作用方向与骨折线垂直，即骨折断端受到的是完全的压应力，对于骨折愈合是最佳的，有利于骨组织再生。当骨折倾斜角>30°时，随即会出现剪切

力，而且随着倾斜角增大，剪切力也会随之增加，骨折端修复组织必须不断增强对抗剪切力。Pauwels 在 1976 年指出，骨折断端的压缩力主要存在于水平方向的裂缝中，且受力程度较低^[19]。剪切应力和内翻力沿着更垂直方向的裂缝增加，受力程度较高。随着骨折线和股骨头中心之间的距离的增加，这些力穿过骨折的距离也会增加，通过研究认为倾斜角<30°的骨折为稳定性骨折，一般预后较好。当骨折线倾斜度的增加，伴随着更大的剪切力和内翻力，导致骨折移位和最终不愈合的风险增加。

3.3 天玑手术机器人的优势

随着骨科手术不断追求微创化、精准化，机器人技术是近年来骨科的发展方向，越来越多的外科手术可以通过机器人的辅助来实现。据研究表明^[20]，机器人手术对骨科植入物的放置更准确，术中辐射暴露更少，术后出血和疼痛更少，预后也更好。骨科手术机器人，因其稳定性好、操作灵活、动作精确，而运用到创伤、脊柱等骨科手术中^[21]。特别是临床精确度高，具有手术创伤小，术野直观、恢复较快等微创理念，大大减少术中辐射次数，且术中透视和调整导针次数较少，从而螺钉置入位置及角度将更加精准，极大地缩短了手术时间，从而提高临床疗效^[22]。对于股骨颈骨折来说，传统徒手置钉往往由于导针及螺钉的调整次数较多，导致骨量的丢失，从而增加退钉及螺钉松动的风险。另外，由于人为的不可控因素，反复的穿刺有穿破皮质及创出股骨头的风险。其次，由于 F 钉的置入角度较为分散，徒手置钉的难度将进一步增大，对术者的要求较高，尤其是压力侧螺钉的置入，由于角度较大，很容易在入钉点向前滑动，造成螺钉的位置发生偏差，导致螺钉的位置不理想，增加术后并发症的发生率。而天玑机器人由于在术前已经规划出螺钉的长度，且由于机械臂的辅助从而增加了螺钉置入过程中的稳定性，置入螺钉的位置更加分散，提供了更好的生物学稳定性，避免了滑钉、穿破皮质等风险，为下一步骨折的愈合提供了更好的条件。

虽然天玑机器人能够为手术医生提供更加精确而稳定的螺钉通道，但是对于不同的患者，骨折的类型千差万别，因此术中骨折的复位也起到了非常重要的作用，在术中应当力争解剖复位。另外螺钉的设计规划亦十分重要，只有良好的复位配合精准的螺钉通道，才能获得预期的临床效果。

本研究通过分析髋关节生物力学机制，采用天玑骨科机器人辅助下 F 钉技术治疗不稳定型股骨颈骨折，获得了较好的临床效果，对比传统倒三角平行钉内固定治疗，F 钉治疗在骨折愈合时间、并发症发

生及髋关节功能评分方面优于倒三角平行钉内固定。

参考文献

[1] PUTNAM S M, COLLINGE C A, GARDNER M J, et al. Vascular anatomy of the medial femoral neck and implications for surface plate fixation[J]. J Orthop Trauma, 2019, 33(3): 111–115.

[2] SUNILKUMAR P D, OH K J, CHO H W, et al. Monolithic dual mobility cup total hip arthroplasty has high complication rates with surgical fixation in elderly with femur neck fracture[J]. J Arthroplasty, 2020, 35(12): 3621–3626.

[3] SCIACCA S, LIDDER S S, GRECHENIG C, et al. Variations of treatment in selected proximal femur fractures among surgeons with different surgical experience: a survey at an international AO course[J]. Injury, 2015, 46(Suppl 6): S57–S60.

[4] ZHOU Y Y, ZHANG Y W, LU P P, et al. An overview on the treatment strategies of non-displaced femoral neck fracture in the elderly[J]. Arthroplasty, 2022, 4(1): 8.

[5] 李宁, 刘昊楠, 龚晓峰, 等. 北京某三甲医院股骨颈骨折住院患者现状的流行病学分析[J]. 北京大学学报(医学版), 2016, 48(2): 292–296.

LI N, LIU H N, GONG X F, et al. Epidemiological analysis of hospitalized patients with femoral neck fracture in a firstclass hospital of Beijing[J]. J Peking Univ Heath Sci, 2016, 48(2): 292–296. Chinese.

[6] 苏郁晖, 王博文, 陈瑞松, 等. 空心螺钉加内侧支撑钢板结合同种异体骨植骨治疗伴后内侧粉碎的不稳定性股骨颈骨折[J]. 中国修复重建外科杂志, 2021, 35(11): 1434–1439.

SU Y H, WANG B W, CHEN R S, et al. Treatment of unstable femoral neck fracture with posteromedial comminutions by cannulated screws and medial bracing plate combined with bone allograft[J]. Chin J Reparative Reconstr Surg, 2021, 35(11): 1434–1439. Chinese.

[7] 禹宝庆, 贾建波. 青壮年股骨颈骨折的治疗策略[J]. 中华创伤骨科杂志, 2021, 23(8): 645–650.

YU B Q, JIA J B. Treatment strategies for femoral neck fractures in young adults[J]. Chin J Orthop Trauma, 2021, 23(8): 645–650. Chinese.

[8] HARRIS W H. Traumatic arthritis of the hip after dislocation and acetabular fractures: treatment by mold arthroplasty. An end-result study using a new method of result evaluation[J]. J Bone Joint Surg Am, 1969, 51(4): 737–755.

[9] 何嘉尧, 舒涛, 马季, 等. 动力髋联合空心钉与动力髋联合内侧板治疗 Pauwels Ⅲ型股骨颈骨折的有限元分析比较[J]. 生物骨科材料与临床研究, 2022, 19(3): 7–12.

HE J Y, SHU T, MA J, et al. Finite element analysis and comparison between dynamic hip combined with cannulated screw and dynamic hip combined with medial femoral plate for Pauwels type Ⅲ femoral neck fracture[J]. Orthop Biomech Mater Clin Study, 2022, 19(3): 7–12. Chinese.

[10] 张高伟, 王爱国, 李文祥, 等. 股骨颈系统固定 Pauwels Ⅲ型股骨颈骨折[J]. 中国矫形外科杂志, 2022, 30(12): 1137–1139, 1143.

ZHANG G W, WANG A G, LI W X, et al. Femoral neck system for internal fixation of Pauwels type Ⅲ femoral neck fracture[J]. Or-

thop J China, 2022, 30(12): 1137–1139, 1143. Chinese.

[11] 严坤, 牟利民, 杨晓辉, 等. 三种空心钉构型固定 Pauwels Ⅲ型股骨颈骨折的有限元分析[J]. 中国组织工程研究, 2022, 26(18): 2807–2811.

YAN K, MOU L M, YANG X H, et al. Finite element analysis of Pauwels type Ⅲ femoral neck fracture fixed with three configurations of cannulated screws[J]. Chin J Tissue Eng Res, 2022, 26(18): 2807–2811. Chinese.

[12] SINGH K A, CHANDANKERE V, SHAH H. Does the timing of treatment affect complications of pediatric femoral neck fractures[J]. J Orthop, 2020, 22: 207–212.

[13] FILIPOV O B. Biplane double-supported screw fixation of femoral neck fractures: surgical technique and surgical notes[J]. J Am Acad Orthop Surg, 2019, 27(11): e507–e515.

[14] FILIPOV O, STOFFEL K, GUEORGUEV B, et al. Femoral neck fracture osteosynthesis by the biplane double-supported screw fixation method (BDSF) reduces the risk of fixation failure: clinical outcomes in 207 patients[J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2017, 137(6): 779–788.

[15] LIN S Y, SHANG J, XING B Z, et al. Modified F configuration in the treatment of Pauwels type Ⅲ femoral neck fracture: a finite element analysis[J]. BMC Musculoskelet Disord, 2021, 22(1): 758.

[16] FINK B, MORGAN M, SCHUSTER P. Reconstruction of the anatomy of the hip in total hip arthroplasty with two different kinds of stems[J]. BMC Musculoskelet Disord, 2022, 23(1): 212.

[17] SONG K, GAFFNEY B M M, SHELBURNE K B, et al. Dysplastic hip anatomy alters muscle moment arm lengths, lines of action, and contributions to joint reaction forces during gait[J]. J Biomech, 2020, 110: 109968.

[18] MALDONADO D R, CHEN S L, CHEN J W, et al. Prospective analysis of arthroscopic hip anatomic labral repair utilizing knotless suture anchor technology: the controlled-tension anatomic technique at minimum 2-year follow-up[J]. Orthop J Sports Med, 2020, 8(7): 2325967120935079.

[19] BARTONICEK J. Pauwels' classification of femoral neck fractures: correct interpretation of the original[J]. J Orthop Trauma, 2001, 15(5): 358–360.

[20] KALAVRYTINOS D, KOUTSERIMPAS C, KALAVRYTINOS I, et al. Expanding robotic arm-assisted knee surgery: the first attempt to use the system for knee revision arthroplasty[J]. Case Rep Orthop, 2020, 2020: 4806987.

[21] 叶晓健. 机器人手术在脊柱外科手术中发挥的精准安全和微创高效作用[J]. 中国骨伤, 2022, 35(2): 99–100.

YE X J. Robotic surgery plays a precise, safe, minimally invasive and efficient role in spinal surgery[J]. China J Orthop Traumatol, 2022, 35(2): 99–100. Chinese.

[22] 荆玉龙, 张树栋, 韩紫音, 等. 骨科机器人辅助股骨颈动力交叉钉系统治疗新鲜股骨颈骨折的近期疗效[J]. 中国修复重建外科杂志, 2022, 36(8): 946–950.

JING Y L, ZHANG S D, HAN Z Y, et al. Short-term effectiveness of orthopedic robot-assisted femoral neck system fixation for fresh femoral neck fractures[J]. Chin J Reparative Reconstr Surg, 2022, 36(8): 946–950. Chinese.