

## ·专题·机器人手术在小儿外科的应用·

机器人手术系统辅助经皮原位固定术治疗  
儿童股骨头骨骺滑脱的比较研究

全文二维码



开放科学码

马 洪 汤显能 郭跃明



手术视频码

**【摘要】 目的** 观察儿童股骨头骨骺滑脱在机器人导航下经皮原位固定的临床应用效果。 **方**  
**法** 以 2010 年 1 月至 2021 年 1 月佛山市中医院收治的 20 例儿童股骨头骨骺滑脱病例为研究对象。  
根据治疗方法不同分为试验组( $n=8$ )和对照组( $n=12$ )。试验组患者采用机器人导航下经皮原位固定  
治疗,共 8 例(8 髋),其中男 5 例(62.5%),女 3 例(37.5%),平均年龄为( $10.7 \pm 2.9$ )岁;对照组患者  
采用传统经皮闭合原位固定治疗,共 12 例(12 髋),其中男 8 例(67%),女 4 例(33%),平均年龄( $11.9$   
 $\pm 1.6$ )岁。术前及末次随访时,采用 Harris 髋关节评分评估髋关节功能,测量术后 X 线片上的 South-  
wick 角。 **结果** 20 例(20 髋)均获得随访,随访时间最短 2 个月,最长 37 个月,平均随访时间( $15.3$   
 $\pm 6.0$ )个月。试验组 Harris 髋关节功能评分从术前的( $35.1 \pm 15.7$ )分提高到末次随访时的( $86.6 \pm$   
 $8.60$ )分,髋关节功能改善,差异有统计学意义( $t = -8.23, P < 0.05$ );术后 Southwick 角较术前平均减小  
 $29.7^\circ$ (95%  $CI: 16.9^\circ \sim 42.4^\circ, P < 0.05$ )。对照组 Harris 髋关节功能评分从术前( $50.8 \pm 22.2$ )分提高到  
末次随访时( $82.2 \pm 7.9$ )分,髋关节功能改善,差异有统计学意义( $t = 5.50, P < 0.05$ );术后 Southwick 角  
较术前平均减小  $16.5^\circ$ (95%  $CI: 2.2^\circ \sim 30.8^\circ, P < 0.05$ )。截至末次随访时无一例伤口感染、断钉、骨不  
连、股骨头缺血坏死等不良事件及并发症发生。 **结论** 机器人导航下经皮原位固定治疗儿童股骨头  
骨骺滑脱安全有效,具有精准、微创、操作方便的优势,可最大程度减少儿童髋部医源性损伤,预后优良。

**【关键词】** 机器人手术; 股骨头骨骺滑脱症/外科学; 临床研究

**【中图分类号】** R681.8 R726.8

**Comparative study of percutaneous in situ fixation of slipped capital femoral epiphysis assisted by surgi-  
cal robotic system.** Ma Hong, Tang Xianneng, Guo Yueming. Department of Pediatric Orthopedics, Foshan  
Hospital of Traditional Chinese Medicine Foshan 528000, China. Corresponding author: Guo Yueming, Email:  
guo\_yueming2008@126.com

**【Abstract】 Objective** To evaluate the clinical efficacy of percutaneous in situ fixation of femoral head  
epiphyseal slip in children under robot navigation. **Methods** From January 2010 to January 2021, a total of 20  
children with femoral head epiphyseal slippage were recruited. According to different treatment, they were divid-  
ed into experimental group: 8 children (8 hips) undergoing percutaneous orthotopic fixation under robot naviga-  
tion, including 5 males (62.5%) and 3 females (37.5%); The mean age was ( $10.7 \pm 2.9$ ) years. Control  
group: 12 children (12 hips) traditional percutaneous orthotopic fixation, including 8 males (67%) and 4 fe-  
males (33%); The mean age was ( $11.9 \pm 1.6$ ) years. At preoperation and the final follow-up, hip function was  
assessed using the Harris hip score and Southwick Angle on postoperative radiographs was measured.  
**Results** All 20 patients (20 hips) were followed up for a mean period of (2–37) ( $15.3 \pm 6.0$ ) months. At  
the last follow-up, Harris hip function score in experimental group recovered from ( $35.1 \pm 15.7$ ) points preop-  
erative surgery to ( $86.6 \pm 8.60$ ) points and hip function significantly improved with statistical significance ( $P$   
 $< 0.05$ ). Postoperative Southwick Angle declined by  $29.7^\circ$  (95%  $CI: 16.9^\circ \sim 42.4^\circ$ ) as compared with pre-op-  
eration ( $P < 0.05$ ). Harris hip function score in control group recovered from ( $50.8 \pm 22.2$ ) points at pre-op-

DOI: 10.12260/lcxewkzz.2021.08.005

基金项目: 佛山市卫生健康委员会科研课题(编号: 20200446)

作者单位: 广州中医药大学附属佛山市中医院小儿骨科(广东省佛山  
市, 528000)

通信作者: 郭跃明, Email: guo\_yueming2008@126.com

eration to  $(82.2 \pm 7.9)$  points at the last follow-up and hip function improved with statistical significance ( $P < 0.05$ ). Postoperative Southwick Angle dropped by  $16.5^\circ$  ( $95\% CI: 2.2^\circ - 30.8^\circ$ ) as compared with pre-operation ( $P < 0.05$ ). Until the last follow-up, there was no occurrence of such adverse complications as wound infection, screw fracture, bone nonunion and necrosis of femoral head. **Conclusion** Percutaneous in situ fixation of pediatric femoral head epiphyseal spondylolisthesis under robot navigation is both safe and effective. With a decent prognosis, it offers the advantages of precision, mini-invasiveness and operative convenience. Compared with traditional operation, it may reduce the number of anesthetics, minimize blood loss and iatrogenic hip injury and lower the frequency of C-arm fluoroscopy in children.

**【Key words】** Robotic Surgical Procedures; Slipped Capital Femoral Epiphyses/SU; Clinical Study

股骨头骨骺滑脱 (slipped capital femoral epiphysis, SCFE) 是青少年常见的髋关节疾病之一, 常表现为股骨颈自股骨头的骺板向上向前移位, 而股骨头向下向后滑脱。该病起病隐匿, 病因不明, 易被误诊、漏诊<sup>[1]</sup>。国外曾有多中心研究报道, SCFE 高发于 9~16 岁男性儿童, 发病率为  $0.02\% \sim 0.03\%$ , 其发病率与种族、性别、年龄和地理位置有关。此外, 有文献报道 SCFE 在肥胖儿童中发病率较高, 中重度患者滑脱症状更为严重, 畸形明显, 并发症发生率更高, 残留畸形的可能性更大<sup>[2-7]</sup>。有学者认为 SCFE 的治疗原则是尽可能早地恢复股骨头颈的正常解剖位置、减轻患者症状、恢复受累髋关节功能、减少术后并发症以及预防再次滑脱的发生<sup>[8]</sup>。目前对于 SCFE 的标准治疗方法尚未统一, 以手术治疗为主, 手术方式主要分为经皮原位固定和股骨近端切开截骨术两大类, 各有利弊, 相关术后并发症包括股骨头坏死 (avascular necrosis of the femoral head, AVN)、髋臼撞击综合征 (femoroacetabular impingement syndrome, FAI)、髋关节炎、髋关节不稳、软骨溶解等<sup>[9,10]</sup>。国际认可度较高的治疗方法是经皮原位内固定, 该方法具有较高的安全性和较好的预后, 并发症的发生率较低<sup>[11,12]</sup>。

目前国内外对于外科手术的追求逐步趋于微创, 随着二维、三维数字化影像的普及, 计算机导航和机器人手术系统辅助微创内固定术在骨科的应用日益广泛, 尤其是精准定位和微创方面, 与传统手术相比, 具有手术耗时短、射线辐射损害小的优点, 故被越来越多骨科医生青睐并在临床中逐步推广应用<sup>[13,14]</sup>。佛山市中医院于 2017 年 9 月在骨科引进机器人手术系统, 先后对骨盆骨折、股骨颈骨折、股骨粗隆间骨折进行机器人辅助经皮空心螺钉内固定治疗, 取得良好的临床效果。本研究以机器人导航下经皮原位固定和传统经皮原位固定治疗 SCFE 的病例为研究对象, 旨在评价其治疗的有效性和操作的安全性。

## 材料与方法

### 一、研究对象及分组

以 2010 年 1 月至 2021 年 1 月佛山市中医院收治的 20 例儿童股骨头骨骺滑脱病例为研究对象。病例纳入标准: ①结合患者病史, 临床表现及术前 X 线、CT、MRI 等影像学检查被确诊为 SCFE 的患者; ②采用机器人手术系统辅助下经皮原位固定或传统经皮闭合原位固定治疗的患者; ③能配合随访且随访资料完整的患者。排除标准: 有髋部手术史的患者。

根据治疗方法不同分为试验组 ( $n = 8$ ) 和对照组 ( $n = 12$ )。试验组采用机器人手术系统辅助下经皮原位固定治疗, 共 8 例 (8 髋), 其中男 5 例 (62.5%), 女 3 例 (37.5%), 平均年龄为  $(10.7 \pm 2.9)$  岁; 急性 SCFE (病程  $\leq 3$  周, 症状明显) 2 髋, 慢性 SCFE 急性发作 (病程  $> 3$  周, 突然出现急性加重) 6 髋; 稳定型 SCFE (可独立行走或借助拐杖能够行走) 5 髋, 不稳定型 SCFE (疼痛严重致不能行走, 甚至借助拐杖也不能行走) 3 髋。

对照组采用传统经皮闭合原位固定治疗, 共 12 例 (12 髋), 其中男 8 例 (67%), 女 4 例 (33%), 平均年龄  $(11.9 \pm 1.6)$  岁; 左侧 7 髋 (58%), 右侧 5 髋 (42%); 急性 SCFE 4 髋, 慢性 SCFE 急性发作 8 髋; 稳定型 7 例, 不稳定型 5 例。并在髋关节蛙式位或侧位 X 线片上测量 Southwick 角<sup>[15-17]</sup>。

### 二、治疗方法

1. 传统经皮闭合原位固定: 患者麻醉生效后取平卧位, 置于骨科牵引床上, 患肢予牵引, 内收内旋约  $15^\circ$ , 躯干向健侧侧偏约  $10^\circ$ 。C 型臂 X 光机置于患者健侧, 透视下见股骨头骨骺滑脱, 由两名副高职称以上的医师进行手术。消毒, 铺无菌巾, 于患髋外侧开孔后打入两颗适宜长度的空心钉固定股骨头骨骺, 在 C 型臂 X 光机透视下检查患髋正侧

位,置钉满意,股骨头颈对位对线可,冲洗术野,缝合关闭伤口。无菌敷料外敷,手术完毕。

2. 机器人导航下经皮原位固定:患者麻醉生效后取平卧位,置于骨科牵引床上,患肢予牵引,内收内旋约  $15^\circ$ ,躯干向健侧侧偏约  $10^\circ$ 。C 型臂 X 光机置于患者健侧,透视下见股骨头骨骺滑脱,由两名副高职称以上的医师进行手术,消毒,铺无菌巾。在患侧髂前上棘切开切口,放置示踪器,由 C 型臂 X 光机定位患侧髋关节,数据导入机器人电脑系统,在系统中设计路径,规划空心钉入针方向及深度,计算机上测量拟置入空心钉长度(适宜长度)。由机器人机械臂导航定位至规划入针点,切开大腿上段外侧皮肤,放置套筒并抵至股骨粗隆外侧骨皮质,然后在计算机中进行机械臂的微调,钻入导针。由 C 型臂 X 光机透视检查导针位置适宜,长度适宜,分别置入 2 枚适宜长度的空心钉,取出导针,再次透视检查患侧髋关节正侧位,空心钉完全在钉道内,置钉满意,股骨头颈对位对线可,空心钉位置达到术前规划路径位,冲洗术野,逐层缝合关闭伤口,无菌敷料外敷,手术完毕。

术后按常规对症处理,对于稳定型 SCFE 可在辅助器械帮助下部分负重,当体征和疼痛症状消失,髋关节可自如活动,可不在辅助下进行负重(一般 2~3 周);对于不稳定型滑脱者,在辅助器械帮助下维持部分负重(一般 6~8 周);髋板闭合前禁止患者进行剧烈体育活动及其他活动<sup>[20]</sup>。推荐术后佩戴 6~8 周髋关节“人”字形支具,6~8 周后可拆除支具在床上活动,术后 12 周可在辅助下逐步负重活动。

### 三、疗效评价

1. 有效性评价:术后复查 X 线片,必要时复查 CT。末次随访时进行 Harris 髋关节功能评分,评价髋关节功能活动<sup>[18]</sup>。根据髋关节蛙式位或侧位 X 线片上 Southwick 角来评价<sup>[15-17,19]</sup>:  $<30^\circ$  为轻度,  $30^\circ\sim60^\circ$  为中度,  $>60^\circ$  为重度。

2. 安全性评价:记录随访期间是否发生不良事件及并发症,如伤口感染、断钉、神经血管损伤、骨不连、股骨头缺血性坏死、软骨溶解、跛行等。

### 四、统计学分析

本研究采用 SPSS 22.0 (IBM 美国)统计软件对数据进行整理与分析。采用独立样本  $t$  检验比较两组术后末次随访时的 Southwick 角和 Harris 髋关节功能评分;采用配对  $t$  检验比较组内术前及末次随访时的 Southwick 角和 Harris 髋关节功能评分。以

$P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 结 果

### 一、置钉评价

试验组机器人手术系统辅助经皮穿钉原位内固定 8 例(8 髋),共放置 16 枚空心钉;置钉评价:12 枚为优,4 枚为良,优良率达 100%。对照组传统经皮闭合原位固定 12 例(12 髋),手术共放置 24 枚空心钉;置钉评价:16 枚为优,8 枚为良,优良率达 100%。

### 二、Harris 髋关节功能评分

试验组 Harris 髋关节功能评分从术前( $35.1 \pm 15.7$ )分提高到末次随访时( $86.6 \pm 8.60$ )分,髋关节功能显著改善,差异有统计学意义( $t = -8.23$ ,  $P < 0.05$ ),见表 1。对照组 Harris 髋关节功能评分从术前( $50.8 \pm 22.2$ )分提高到末次随访时( $82.2 \pm 7.9$ )分,髋关节功能改善,差异有统计学意义( $t = -3.287$ ,  $P = 0.022$ ),见表 2。

表 1 试验组(8 髋)SCFE 患者手术前后关节功能及影像学评价( $\bar{x} \pm s$ )

Table 1 Joint functions and imaging evaluations of 8 children (8 hips) with SCFE before and after surgery ( $\bar{x} \pm s$ )

时期	Harris 评分(分)	Southwick 角( $^\circ$ )
手术前	$35.1 \pm 15.7$	$71.0 \pm 4.2$
手术后	$86.6 \pm 8.6$	$41.3 \pm 13.6$
$t$ 值	-8.23	5.50
$P$ 值	<0.001	<0.001

表 2 对照组(12 髋)SCFE 患者手术前后关节功能及影像学评价( $\bar{x} \pm s$ )

Table 2 Joints function and imaging evaluations of 12 children (12 hips) with SCFE before and after surgery ( $\bar{x} \pm s$ )

时期	Harris 评分(分)	Southwick 角( $^\circ$ )
手术前	$50.8 \pm 22.2$	$66.1 \pm 8.7$
手术后	$82.2 \pm 7.9$	$49.7 \pm 10.3$
$t$ 值	-3.287	2.964
$P$ 值	0.022	0.031

### 三、Southwick 角评价

试验组复查 X 线片显示,股骨头颈对位对线良好,无股骨头坏死的影像学征象,髋关节间隙正常;术前 Southwick 角为( $71.0 \pm 4.2$ ) $^\circ$ ,术后 Southwick 角为( $41.3 \pm 13.6$ ) $^\circ$ ,较术前平均减小  $29.7^\circ$  (95% CI:  $16.9^\circ \sim 42.4^\circ$ ),差异有统计学意义( $t = 5.50$ ,  $P < 0.001$ ),见表 1。对照组复查 X 线片显示股骨头颈对位对线良好,无股骨头坏死的影像学征象,髋



关节间隙正常;术前 Southwick 角为 $(66.1 \pm 8.7)^\circ$ ,术后 Southwick 角为 $(49.7 \pm 10.3)^\circ$ ,较术前平均减小 $16.5^\circ$ (95% CI: $2.2^\circ \sim 30.8^\circ$ ),差异有统计学意义( $t = -2.964, P = 0.031$ ),见表 2。

20 例均获得随访,随访时间最短 2 个月,最长 37 个月,平均随访 $(15.3 \pm 6.0)$ 个月。末次随访时,大部分患者能够下地行走,未予辅助行走,未见明显跛行;除一些剧烈的跑步、蹦跳等运动外,其余正常活动均能参加。两组术后髋关节功能评分和 Southwick 角比较均无统计学意义( $P < 0.05$ ),见表

3。截至末次随访时,两组均无伤口感染、断钉、骨不连、股骨头缺血坏死等不良事件及并发症发生。

表 3 两组(20 髋)SCFE 患者术后  
后关节功能及影像学评价( $\bar{x} \pm s$ )

Table 3 Joint function and imaging evaluation of 20 children  
(20 hips) with SCFE before and after surgery( $\bar{x} \pm s$ )

分组	例数	Harris 评分(分)	Southwick 角( $^\circ$ )
试验组	8	$86.6 \pm 8.6$	$41.3 \pm 13.6$
对照组	12	$82.2 \pm 7.9$	$49.7 \pm 10.3$
$t$ 值	-	0.993	-1.252
$P$ 值	-	0.34	0.23

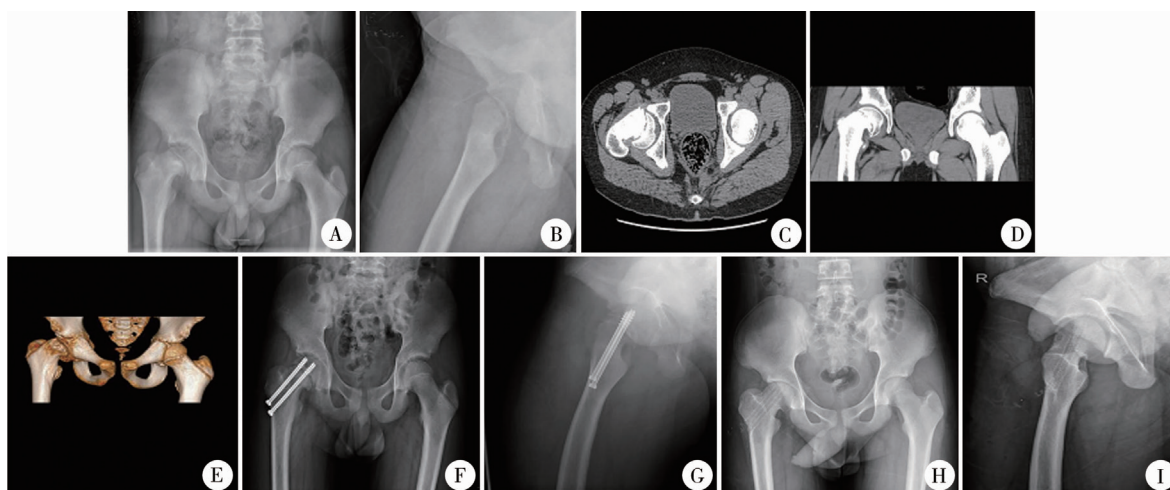


图 1 试验组典型病例 X 线片 注 男性,12 岁,慢性 SCFE 急性加重,伴右下肢跛行;A、B:术前 X 线片;C-E:CT 及三维重建提示右侧股骨头骨骺滑脱;F、G:术后 X 线片;H、I:术后 28 个月拆除内固定装置后复查 X 线片提示股骨头颈对位对线可,骨骺线闭合

Fig.1 Radiological film of a typical case in experimental group

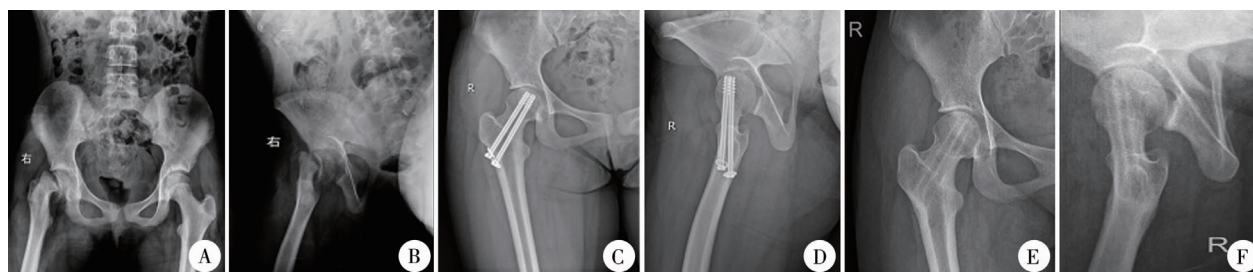


图 2 对照组典型病例 X 线片 注 女性,11 岁,慢性 SCFE 急性加重,伴右下肢跛行;A、B:术前 X 线片提示右侧股骨头骨骺滑脱;C、D:术后 X 线片;E、F:术后 25 个月拆除内固定装置后复查 X 线片提示股骨头颈对位对线可,骨骺线闭合

Fig.2 Radiological film of a typical case in study group

## 讨论

早在二十世纪六十年代,SCFE 的诊治和预后问题就引起了当时学者的广泛关注。据文献报道约 1/3 的 SCFE 患者最初表现以膝关节疼痛为主,而不是髋部疼痛,这种症状表现导致其延误诊治的风险增加<sup>[5,21]</sup>。早发现、早诊断、早治疗是减少并发症,改善 SCFE 患者预后的关键。随着临床上对

SCFE 发病原因和发病机制研究的不断探索,其诊治方法也逐渐完善。SCFE 的整体治疗原则是阻止股骨头骨骺滑脱进一步发展,尽可能在早期恢复股骨头颈的解剖形状,避免缺血性坏死、软骨溶解等严重并发症的发生。目前,SCFE 的治疗方法主要包括经皮原位固定和股骨近端切开截骨术两大类,此外还包括其他个人经验的方法(对侧预防性固定、植骨、石膏固定等)<sup>[12,22,23]</sup>。

经皮原位螺钉内固定是目前治疗 SCFE 常用、

安全的手术方法,也是多数国内外学者一致认可的治疗方法,具有操作简单、并发症少等优点<sup>[24,25]</sup>。有报道称,原位单枚或多枚螺钉固定是治疗 SCFE 的首选方法,甚至是治疗 SCFE 的“金标准”<sup>[26]</sup>。其优点包括手术风险低、创伤小、操作简便,术后 AVN 的发生率较低、短期并发症少,能使患者短期内恢复活动等。一般来说,空心螺钉置入后会阻滞骺板的生长,造成股骨颈长度减小,股骨偏心距减小,导致髋关节外展肌肌力下降,从而影响髋关节的活动功能。Örtengren 等<sup>[27]</sup>为避免上述并发症的发生,对 54 例 SCFE 病例采用 Hansson 钉原位固定治疗,骨骺闭合后平均随访 33.6 个月,发现这种无螺纹内固定装置能最大程度保留骺板的生长潜力,使股骨颈长度和股骨偏心距基本正常,髋关节功能获益显著。李浩等<sup>[8]</sup>认为,Hansson 钉虽然存在一定优势,但没有阻滞骺板的生长作用,且其固定强度不及空心螺钉,考虑到术后存在再次滑脱或股骨头骨骺进一步滑脱的可能,最终仍选用空心螺钉作为原位固定的内固定物。结果发现股骨颈在术后仍保持一定的生长潜力,股骨偏心距也获得相应增长,治疗效果令人满意,同时也保证了髋外展肌具有一定的力臂,这对髋关节的功能恢复十分重要。此类手术需要解剖基础扎实、手术经验丰富的高年资医师才能做到对螺钉进针的方向、深度的精准把控,以防止螺钉穿破关节软骨,导致软骨下骨的破坏溶解以及对局部骨骺的再次创伤甚至更严重的其他损伤。

随着计算机科技的不断发展以及精准医学的推广,越来越多的学者开始大胆尝试将计算机与临床手术相结合。计算机辅助技术目前已经广泛应用于脊柱、关节置换、运动医学及创伤等骨科手术的各个领域,包括术前计划及模拟手术、术中导航系统和机器人辅助系统等<sup>[28,29]</sup>。传统经皮原位固定治疗 SCFE 需要徒手操作,不断透视,将患者摆置一个合适的有利 C 型臂 X 光机投照的体位,增加术者及患者的透视次数以及术中出血量等;另外,传统手术方式可能需反复调整进针方向及深度,这样会增加骨骺再损伤的风险。而医用机器人辅助手术系统具有操作精确、稳定及重复性强的特征。本研究对比分析机器人手术系统辅助与传统经皮闭合复位固定术的置钉优良率,发现机器人辅助手术更加具有安全性、有效性和可靠性,且该术式学习曲线短,治疗效果好。目前的机器人手术系统可以达到毫米级别以下的精确度<sup>[14]</sup>。但是,受人体自身的生理条件的限制,当术者单靠手持工具操作时容

易因操作不稳而出现偏差,导致导航手术系统的精度下降。为了减少人为失误,高精度及稳定性的医用机器人手术系统应运而生。我国香港威尔斯亲王医院早在上世纪九十年代末就开始了机器人辅助手术系统的研发和应用,完成了上百台的手术,涉及创伤、关节、脊柱,并取得了令人满意的临床效果<sup>[30,31]</sup>。

本院骨科于 2017 年引进机器人手术系统,先后开展了数百台机器人手术系统辅助下的骨科手术,也取得了满意的效果。本研究机器人手术系统辅助下经皮原位螺钉内固定治疗 SCFE 的 8 例(8 髋)中,Harris 髋关节功能评分也从术前( $35.1 \pm 15.7$ )分恢复到末次随访时( $86.6 \pm 8.60$ )分,复查 X 线片显示股骨头颈对位对线良好,无股骨头坏死的影像学征象,髋关节间隙正常。截至末次随访时无伤口感染、断钉、骨不连、股骨头缺血坏死等不良事件及并发症发生。所有患者在术后随访中可正常独立行走活动,无明显跛行。有学者报道称,术后 Southwick 角度的大幅减小有可能与术者术中在骨科牵引床上摆置体位时造成骨骺滑脱无意复位有关<sup>[8]</sup>。笔者认为,在术中复位摆置患者体位时手法应轻柔缓和,牵引力度应适中,尽可能避免对股骨头骨骺及髋关节周围血管等其他组织的二次损伤,减少股骨头缺血性坏死、髋关节炎等严重并发症的发生。

本研究虽然基本达到预期目的,但存在一定的局限性:①病例样本量小,数据的统计分析可能存在一定偏倚;②部分病例的随访时间较短,有研究报道称,AVN 的发生往往在发病后 1 年内出现<sup>[32,33]</sup>,故应延长随访时间,观察患者至成年,评价远期治疗效果;③开展小儿骨科机器人手术系统的病例数不足,对于系统的操作运用存在个人差异,对于术后的疗效评价不一,仍需要加强对医生操作运用能力的培养;④需要进一步开展临床随机对照试验,以期获得循证等级更高的证据及疗效评价。

## 参考文献

- 1 Örtengren J, Österman J, Tiderius CJ. Patients' delay is the major cause for late diagnosis of slipped capital femoral epiphysis[J]. J Pediatr Orthop B, 2021, 30(2): 105-110. DOI: 10.1097/BPB.0000000000000738.
- 2 Loder RT. The demographics of slipped capital femoral epiphysis. An international multicenter study[J]. Clin Orthop Relat Res, 1996, (322): 8-27.
- 3 Lehmann CL, Arons RR, Loder RT, et al. The epidemiology

- of slipped capital femoral epiphysis: an update[J]. J Pediatr Orthop, 2006, 26(3): 286-290. DOI: 10. 1097/01. bpo. 0000217718. 10728. 70.
- 4 Jerre R, Billing L, Hansson G, et al. The contralateral hip in patients primarily treated for unilateral slipped upper femoral epiphysis. Long-term follow-up of 61 hips[J]. J Bone Joint Surg Br, 1994, 76(4): 563-567. DOI: 10. 1111/j. 1365-2591. 1994. tb00257. x.
  - 5 Herngren B, Stenmarker M, Vavruch L, et al. Slipped capital femoral epiphysis: a population-based study[J]. BMC Musculoskelet Disord, 2017, 18(1): 304. DOI: 10. 1186/s12891-017-1665-3.
  - 6 Witbreuk M, van Kemenade FJ, van der Sluijs JA, et al. Slipped capital femoral epiphysis and its association with endocrine, metabolic and chronic diseases: a systematic review of the literature[J]. J Child Orthop, 2013, 7(3): 213-223. DOI: 10. 1007/s11832-013-0493-8.
  - 7 Aversano MW, Moazzaz P, Scaduto AA, et al. Association between body mass index-for-age and slipped capital femoral epiphysis: the long-term risk for subsequent slip in patients followed until physeal closure[J]. J Child Orthop, 2016, 10(3): 209-213. DOI: 10. 1007/s11832-016-0731-y.
  - 8 李浩, 刘柱, 张自明, 等. 儿童中重度股骨头骨骺滑脱的手术治疗[J]. 骨科临床与研究杂志, 2018, 3(1): 27-33. DOI: 10. 19548/j. 2096-269x. 2017. 06. 007.  
Li H, Liu Z, Zhang ZM, et al. Comparison of different surgical treatments for moderate-severe slipped capital femoral epiphysis[J]. Journal of Clinical Orthopedics and Research, 2018, 3(1): 27-33. DOI: 10. 19548/j. 2096-269x. 2017. 06. 007.
  - 9 Upasani VV, Birke O, Klingele KE, et al. Iatrogenic hip instability is a devastating complication after the modified dunn procedure for severe slipped capital femoral epiphysis[J]. Clin Orthop Relat Res, 2017, 475(4): 1229-1235. DOI: 10. 1007/s11999-016-5094-7.
  - 10 Aprato A, Leunig M, Massé, A, et al. Instability of the hip after anatomical re-alignment in patients with a slipped capital femoral epiphysis[J]. Bone Joint J, 2017, 99-B(1): 16-21. DOI: 10. 1302/0301-620X. 99B1. BJJ-2016-0575.
  - 11 Örtengren J, Björklund-Sand L, Engbom M, et al. Continued growth of the femoral neck leads to improved remodeling after in situ fixation of slipped capital femoral epiphysis[J]. J Pediatr Orthop, 2018, 38(3): 170-175. DOI: 10. 1097/BPO. 0000000000000797.
  - 12 Souder CD, Bomar JD, Wenger DR. The role of capital re-alignment versus in situ stabilization for the treatment of slipped capital femoral epiphysis[J]. J Pediatr Orthop, 2014, 34(8): 791-798. DOI: 10. 1097/BPO. 0000000000000193.
  - 13 Honl M, Dierk O, Gauck C, et al. Comparison of robotic-assisted and manual implantation of a primary total hip replacement. A prospective study[J]. J Bone Joint Surg Am, 2003, 85(8): 1470-1478. DOI: 10. 2106/00004623-200308000-00007.
  - 14 邓宁, 吴伟坚, 梁国穗. 机器人和计算机辅助骨科手术[J]. 中华创伤骨科杂志, 2005, 7(7): 620-624. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 1671-7600. 2005. 07. 007.  
Deng N, Wu WJ, Liang GS. Robotic and computer assisted orthopedic surgery[J]. Chinese Journal of Orthopaedic Trauma, 2005, 7(7): 620-624. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 1671-7600. 2005. 07. 007.
  - 15 Jones CE, Cooper AP, Doucette J, et al. Southwick angle measurements and SCFE slip severity classifications are affected by frog-lateral positioning[J]. Skeletal Radiol, 2018, 47(1): 79-84. DOI: 10. 1007/s00256-017-2761-z.
  - 16 徐易京, 杨劼, 郭源, 等. 牵引加原位穿针(钉)治疗儿童股骨头骨骺滑脱[J]. 中华小儿外科杂志, 2009, 30(1): 31-34. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 0253-3006. 2009. 01. 010.  
Xu YJ, Yang J, Guo Y, et al. Traction with in situ screw or pin fixation for children with slipped capital femoral epiphysis[J]. Chin J Pediatr Surg, 2009, 30(1): 31-34. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 0253-3006. 2009. 01. 010.
  - 17 Loder RT. Correlation of radiographic changes with disease severity and demographic variables in children with stable slipped capital femoral epiphysis[J]. J Pediatr Orthop, 2008, 28(3): 284-290. DOI: 10. 1097/BPO. 0b013e3181653bbd.
  - 18 Harris WH. 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. DOI: 10. 2106/00004623-196951040-00012.
  - 19 徐易京, 傅刚, 张建立, 等. Southwick 角和 Klein 线在股骨头骨骺滑脱诊断中的作用[J]. 中国矫形外科杂志, 2010, 18(9): 709-711.  
Xu YJ, Fu G, Zhang JL, et al. Role of Southwick angle and Klein line in the diagnosis of slipped capital femoral epiphysis[J]. Orthopedic Journal of China, 2010, 18(9): 709-711.
  - 20 唐佩福, 王岩, 卢世璧, 等. 《坎贝尔骨科手术学(第13版)第3卷: 儿童骨科》[M]. 北京: 北京大学医学出版社, 2018: 1410-1411.  
Tang PF, Wang Y, Lu SB, et al. Campbell's Operative Orthopaedics, Edition XIII, Volume III: Pediatric Orthopaedics[M]. Beijing: Beijing University Medical Press, 2018: 1410-1411.



- 21 Wilson PD, Jacobs B, Schechter L. Slipped capital femoral epiphysis: an end-result study [J]. J Bone Joint Surg Am, 1965, 47: 1128-1145. DOI: 10. 1007/BF02617486.
- 22 Weiner DS, Weiner SD, Melby A. Anterolateral approach to the hip for bone graft epiphysodesis in the treatment of slipped capital femoral epiphysis [J]. J Pediatr Orthop, 1988, 8(3): 349-352. DOI: 10. 1097/01241398-198805000-00019.
- 23 Ganz R, Gill TJ, Gautier E, et al. Surgical dislocation of the adult hip a technique with full access to the femoral head and acetabulum without the risk of avascular necrosis [J]. J Bone Joint Surg Br, 2001, 83(8): 1119-1124. DOI: 10. 1302/0301-620X. 83b8. 11964.
- 24 Palocaren T, Holmes L, Rogers K, et al. Outcome of in situ pinning in patients with unstable slipped capital femoral epiphysis: assessment of risk factors associated with avascular necrosis [J]. J Pediatr Orthop, 2010, 30(1): 31-36. DOI: 10. 1097/BPO. 0b013e3181c537b0.
- 25 Mathew SE, Larson AN. Natural History of Slipped Capital Femoral Epiphysis [J]. J Pediatr Orthop, 2019, 39 ( Suppl 1 ): S23-S27. DOI: 10. 1097/BPO. 0000000000001369.
- 26 Southwick WO. Osteotomy through the lesser trochanter for slipped capital femoral epiphysis [J]. J Bone Joint Surg Am, 1967, 49(5): 807-835. DOI: 10. 2106/00004623-196749050-00001.
- 27 Örtengren J, Björklund-Sand L, Engbom M, et al. Continued Growth of the Femoral Neck Leads to Improved Remodeling After In Situ Fixation of Slipped Capital Femoral Epiphysis [J]. J Pediatr Orthop, 2018, 38(3): 170-175. DOI: 10. 1097/BPO. 0000000000000797.
- 28 Honl M, Dierck O, Gauck C, et al. Comparison of robotic-assisted and manual implantation of a primary total hip replacement. A prospective study [J]. J Bone Joint Surg Am, 2003, 85(8): 1470-1478. DOI: 10. 2106/00004623-200308000-00007.
- 29 Finley DS, Nguyen NT. Surgical robotics [J]. Curr Surg, 2005, 62(2): 262-272. DOI: 10. 1016/j. cursur. 2004. 11. 005.
- 30 Perlick L, Tingart M, Wiech O, et al. Computer-assisted cannulated screw fixation for slipped capital femoral epiphysis [J]. J Pediatr Orthop, 2005, 25(2): 167-170. DOI: 10. 1097/01. bpo. 0000150805. 05300. 61.
- 31 Oetgen ME, Litrenta J, Koutena BA, et al. A novel surgical navigation technology for placement of implants in slipped capital femoral epiphysis [J]. Int J Med Robot, 2020, 16(1): e2070. DOI: 10. 1002/rcs. 2070.
- 32 Loder RT. Controversies in slipped capital femoral epiphysis [J]. Orthop Clin North Am, 2006, 37(2): 211-221. DOI: 10. 1016/j. ocl. 2005. 09. 003.
- 33 Azegami S, Kosuge D, Ramachandran M. Surgical treatment of femoroacetabular impingement in patients with slipped capital femoral epiphysis: A review of current surgical techniques [J]. Bone Joint J, 2013, 95-B(4): 445-451. DOI: 10. 1302/0301-620X. 95B4. 30245.

(收稿日期: 2021-02-25)

**本文引用格式:** 马洪, 汤显能, 郭跃明. 机器人手术系统辅助经皮原位固定术治疗儿童股骨头骨骺滑脱的比较研究 [J]. 临床小儿外科杂志, 2021, 20(8): 724-730. DOI: 10. 12260/lxewkzz. 2021. 08. 005.

**Citing this article as:** Ma H, Tang XN, Guo YM. Comparative study of percutaneous in situ fixation of slipped capital femoral epiphysis assisted by surgical robotic system [J]. J Clin Ped Sur, 2021, 20(8): 724-730. DOI: 10. 12260/lxewkzz. 2021. 08. 005.

## 本刊报道范围

①对小儿外科疾病诊疗策略、研究方向、技术方法以及基础理论研究的现状与目标的见解、建议或发展思路; ②小儿外科各专业临床诊疗实践、手术运用以及相关基础与实验研究成果; ③小儿外科各专业疾病诊疗指南、专家共识、指南解读; ④小儿微创外科、腔镜内镜技术以及机器人手术的临床应用; ⑤小儿外科新技术、新器械、新方法、新手术、新靶标、新诊断、新模型、新预测、新试验的介绍与探讨(欢迎提供手术或方法视频); ⑥小儿外科疾病流行病学调查、随访评价、预后评估以及康复经验; ⑦小儿外科疾病诊治的临床多中心研究方案、系统综述、meta 分析; ⑧针对小儿外科理论与实践意义重大或认识分歧较多的问题展开的学术争鸣与讨论; ⑨复杂疑难危重罕见病例报道、病例讨论、文献复习; ⑩一些经典或者创新手术演示(欢迎提供视频资料); ⑪小儿外科相关专业理论与实践的研究进展及研究成果; ⑫针对学术文献或学术讨论中概念、观点、方法、结果、结论的思考与评价。

本刊编辑部