

· 专题 · CPT、髋关节疾病及智能矫形 ·

机器人辅助经皮射频消融术治疗
儿童青少年股骨颈骨样骨瘤初探

全文二维码

杨豪 韩雨洋 鲁明 杨征 徐刚

首都医科大学附属北京积水潭医院小儿骨科, 北京 100035

通信作者: 徐刚, Email: cerebralpalsy123@163.com

【摘要】 目的 初步探讨机器人辅助经皮射频消融术治疗儿童青少年股骨颈骨样骨瘤的临床疗效。**方法** 本研究为回顾性病例系列研究, 分析 2025 年 4 月至 2026 年 4 月于首都医科大学附属北京积水潭医院小儿骨科采用机器人辅助经皮射频消融术治疗的 14 例儿童青少年股骨颈骨样骨瘤患者的临床资料。其中男 7 例、女 7 例; 年龄 7~14 岁, 平均 (10.4 ± 2.3) 岁。记录并比较 14 例术前及末次随访时的髋关节疼痛视觉模拟评分法 (visual analogue scale, VAS) 评分、髋关节屈伸活动度、内收外展活动度及旋转活动度。**结果** 14 例均成功实施手术。手术时间 (46.1 ± 8.4) min, 术中出血量 (3.6 ± 1.1) mL, 切口长度 (8.7 ± 1.3) mm, 术中定位克氏针均一次置入成功。14 例随访时间均 ≥ 6 个月。末次随访时, 髋关节 VAS 评分 [末次随访时 (1.1 ± 0.3) 分比术前 (6.8 ± 0.4) 分] 显著降低 ($P < 0.001$); 髋关节屈伸活动度 [末次随访时 $(138.6 \pm 3.6)^\circ$ 比术前 $(99.3 \pm 5.8)^\circ$] 显著增加 ($P < 0.001$); 内收外展活动度末次随访时 $(78.2 \pm 4.2)^\circ$ 比术前 $(42.9 \pm 3.2)^\circ$ 显著增加 ($P < 0.001$); 旋转活动度 [末次随访时 $(94.3 \pm 3.3)^\circ$ 比术前 $(53.6 \pm 4.6)^\circ$] 显著增加 ($P < 0.001$)。随访期间无一例出现手术相关并发症。**结论** 机器人辅助经皮射频消融术是治疗儿童青少年股骨颈骨样骨瘤一种安全、有效、微创的治疗方法。

【关键词】 机器人; 经皮射频消融术; 儿童; 股骨颈; 骨样骨瘤**基金项目:** 北京市自然科学基金资助项目 (L252125)

DOI: 10.3760/cma.j.cn101785-20260814-00359

Preliminary efficacy of robot-assisted percutaneous radiofrequency ablation for femoral neck osteoid osteoma in children and adolescents

Yang Hao, Han Yuyang, Lu Ming, Yang Zheng, Xu Gang

Department of Pediatric Orthopedics, Beijing Jishuitan Hospital, Capital Medical University, Beijing 100035, China

Corresponding author: Xu Gang, Email: cerebralpalsy123@163.com

【Abstract】 Objective To preliminarily evaluate the clinical efficacy of robot-assisted percutaneous radiofrequency ablation for osteoid osteoma of the femoral neck in children and adolescents. **Methods** A retrospective review was conducted for the relevant clinical data of 14 children and adolescents with osteoid osteoma of the femoral neck receiving robot-assisted percutaneous radiofrequency ablation at Department of Pediatric Orthopedics, Beijing Jishuitan Hospital, Capital Medical University from April 2025 to April 2026. This cohort included 7 boys and 7 girls with a mean age of (10.4 ± 2.3) (7–14) year. Preoperative and final follow-up assessments included visual analogue scale (VAS) scores for hip pain, hip flexion-extension range of motion, hip adduction-abduction range of motion and hip rotational range of motion. **Results** All procedures were successfully completed. Mean operative duration was (46.1 ± 8.4) min, intraoperative volume of blood loss (3.6 ± 1.1) ml and incision length (8.7 ± 1.3) mm. Intraoperatively Kirschner wire was successfully placed on the first attempt. Minimal follow-up period was 6 months. At the final follow-up, VAS score dropped significantly to (1.1 ± 0.3) from a preoperative value of (6.8 ± 0.4) ($P < 0.001$). Hip flexion-extension range of motion significantly improved from $(99.3 \pm 5.8)^\circ$ preoperatively to $(138.6 \pm 3.6)^\circ$ at the final follow-up ($P < 0.001$). Hip adduction-abduction range of motion spiked significantly from $(42.9 \pm 3.2)^\circ$ preoperatively to $(78.2 \pm 4.2)^\circ$ at the final follow-up ($P < 0.001$). Hip rotational range of motion also demonstrated significant improve-

ment from $(53.6 \pm 4.6)^\circ$ preoperatively to $(94.3 \pm 3.3)^\circ$ at the final follow-up ($P < 0.001$). No surgery-related complications were observed during follow-ups. **Conclusions** Robot-assisted percutaneous radiofrequency ablation proves to be a safe, effective and mini-invasive therapeutic option for osteoid osteoma of the femoral neck in children and adolescents.

【Key words】 Surgical Robots; Percutaneous Radiofrequency Ablation; Child; Femoral Neck; Osteoid Osteoma

Fund program: Supported by Beijing Natural Science Foundation (1252125)

DOI: 10.3760/cma.j.cn101785-20260814-00359

骨样骨瘤 (osteoid osteoma, OO) 是一种好发于 10 ~ 30 岁人群的良性成骨性肿瘤, 可发生于中轴骨和四肢骨任何部位, 以股骨、胫骨等四肢长骨骨干多见^[1-3]。关节内骨样骨瘤亦非罕见, 其中以髋关节内的股骨颈部位最常受累^[4-6]。股骨颈大部分位于关节囊内, 仅后外侧约 1/3 位于关节囊外, 因此股骨颈骨样骨瘤常引起髋关节肿胀、疼痛、活动受限等关节激惹表现, 保守治疗效果不佳, 需手术干预以快速缓解症状、改善关节功能^[4,7]。开放手术切除和经皮射频消融术 (percutaneous radiofrequency ablation, RFA) 是治疗骨样骨瘤的两种经典方法。开放手术可完整切除瘤巢并获得病理结果, 但骨组织的大量切除增加了术后骨折风险, 延长了恢复时间^[8]。射频消融术通过高温破坏肿瘤组织, 具有创伤小、恢复快、并发症少等优点。目前, CT 引导下的经皮射频消融术 (computed tomography-guided percutaneous radiofrequency ablation, CT-RFA) 已被广泛用于骨样骨瘤的治疗^[9-10], 但术中需经过反复 CT 扫描以引导穿刺, 不仅延长手术时间, 也增加了辐射暴露, 尤其在儿童青少年群体中, 过量辐射的潜在致病风险不容忽视^[11-12]。近年来, 机器人辅助手术因具有微创、操作精准、辐射暴露少等优势而在骨科领域得到越来越多的应用^[13-14]。本研究回顾性分析采用机器人辅助经皮射频消融术治疗的儿童及青少年股骨颈骨样骨瘤的临床资料, 以评价该术式的临床效果, 报告如下。

资料与方法

一、一般资料

回顾性分析首都医科大学附属北京积水潭医院小儿骨科于 2025 年 4 月至 2026 年 4 月采用机器人辅助经皮射频消融术治疗的儿童青少年股骨颈骨样骨瘤患儿的临床资料。病例纳入标准: 经临床表现、影像学检查及病理诊断明确为股骨颈骨样骨瘤; 病灶位于股骨颈内侧皮质; 采用机器人辅助经

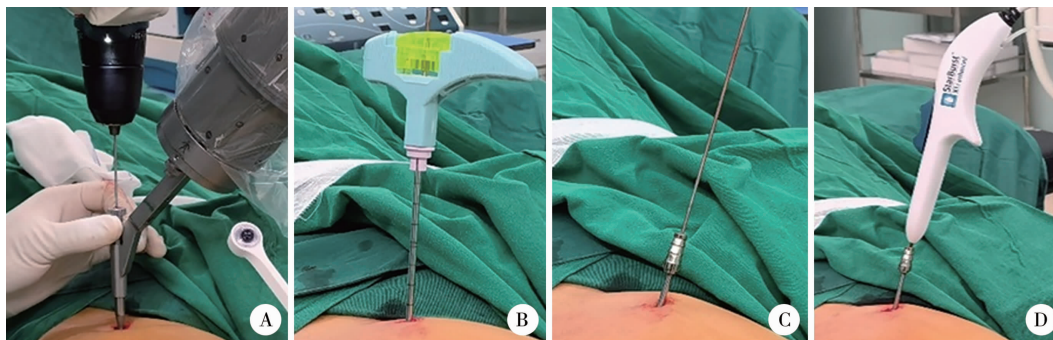
皮射频消融术治疗; 年龄 ≤ 14 岁; 无既往手术病史; 随访时间 ≥ 6 个月且临床资料完整。排除标准: 无法完成随访; 存在全身或局部感染; 合并股骨颈骨折、其他肿瘤、感染或股骨髓臼撞击综合征。共 14 例纳入本研究, 其中男 7 例、女 7 例; 年龄 7 ~ 14 岁, 平均 (10.4 ± 2.3) 岁。本研究经首都医科大学附属北京积水潭医院伦理委员会审核同意 (积伦 [K2025] 第 [150] 号-00)。

二、手术方法

本研究采用 C 臂导航 (西门子, 德国) 联合天玑骨科手术机器人 (北京天智航医疗科技股份有限公司) 辅助经皮射频消融。该机器人由多自由度机械臂、手术规划与控制工作站、光学跟踪设备及定位设备组成。患儿全身麻醉后, 置于全透光碳纤维床上, 常规消毒铺巾。在患侧股骨中下段固定光学示踪器, 然后使用 C 臂对患侧髋关节进行三维扫描以定位病灶, 将获取的三维影像传输到手术规划与控制工作站, 规划穿刺路径。本组患儿病灶均位于股骨颈内侧皮质, 故穿刺路径均采用内侧入路, 以缩短穿刺行程, 避开前方的股神经、股动静脉等重要结构。随后启动机械臂自动导航定位功能, 定位完成后沿机械臂导向器打入 1 枚 2 mm 克氏针, 针尖以不穿透瘤巢为宜。移除机械臂和导向器后, 透视下证实克氏针定位准确, 骨内穿刺深度合适。于定位克氏针入针点处做约 1 cm 长的皮肤切口, 用血管钳沿克氏针分离软组织至骨面。沿克氏针置入活检穿刺针至病灶内, 移除克氏针后利用活检穿刺针的骨组织切割功能, 完成穿刺活检并送病理检查。将活检穿刺针的长套筒更换为短套筒, 经短套筒插入射频消融针 (RITA AngioDynamics, 美国)。透视确认射频消融针尖位于瘤巢内后, 在 90°C 下射频消融 6 分钟 (图 1)。消融完成后, 取出射频消融针和短套筒, 检查切口后缝合皮肤。

三、术后处理及疗效评价指标

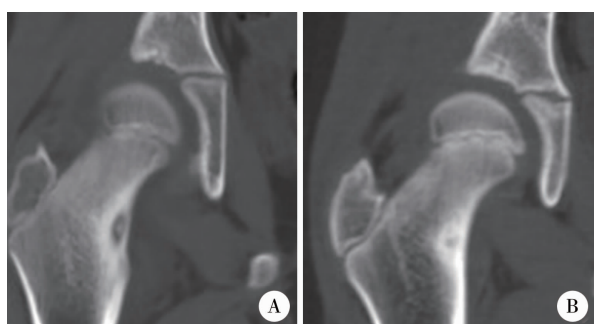
术后当天即开始功能康复锻炼, 术后第 2 天可完全负重行走, 4 周内避免剧烈活动。记录手术时



注 A:机器人辅助下置入克氏针定位病灶;B:沿克氏针置入活检穿刺针取病理;C:将活检穿刺针长套筒更换为短套筒;D:经短套筒插入射频消融针至病灶内进行射频消融

图1 机器人辅助股骨颈骨样骨瘤经皮射频消融术操作流程

Fig.1 Operative procedures of robot-assisted percutaneous radiofrequency ablation for femoral neck osteoid osteoma



注 A:9岁患儿术前CT示右股骨颈内侧皮质骨样骨瘤瘤巢;B:术后9个月CT示病灶明显缩小

图2 机器人辅助经皮射频消融术治疗股骨颈骨样骨瘤典型病例术前及术后影像

Fig.2 Preoperative and postoperative radiographic images of one typical case of femoral neck osteoid osteoma receiving robot-assisted percutaneous radiofrequency ablation

间、术中出血量、定位克氏针穿刺次数、切口长度、术后住院时间及并发症发生情况。其中,手术时间定义为从消毒铺巾开始至切口缝合结束;定位克氏针穿刺次数用于评估机器人辅助手术的精准性。采用视觉模拟评分法(visual analogue scale,VAS)评估术前和末次随访时髋关节疼痛程度。通过临床查体测量术前和末次随访时髋关节屈伸活动度、内收外展活动度和旋转活动度。

四、统计学处理

采用 SPSS 26.0 进行统计学分析。正态分布计

量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,术前和末次随访时资料采用配对 t 检验进行组内比较。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

14 例均成功实施机器人辅助经皮射频消融术。手术时间(46.1 ± 8.4) min,术中出血量(3.6 ± 1.1) mL,切口长度(8.7 ± 1.3) mm。患儿定位克氏针均一次置入成功,术后第 1 天出院。14 例均获得 ≥ 6 个月随访,末次随访时影像学检查均示股骨颈病灶较术前缩小(图 2)。随访期间无一例出现手术相关并发症。末次随访时,髋关节 VAS 评分、屈伸活动度、内收外展活动度及旋转活动度均较术前显著改善,差异均有统计学意义($P < 0.001$),见表 1。

讨 论

骨样骨瘤由中心性瘤巢和周围反应性硬化骨组成,典型症状为疼痛,夜间加重,且服用非甾体抗炎药可缓解^[3,6]。X 线片上表现为皮质内单发透亮病灶,伴周围不同程度骨质硬化^[15]。股骨颈骨样骨瘤多位于髋关节内,临床症状和影像学表现常不典

表 1 机器人辅助经皮射频消融术治疗股骨颈骨样骨瘤患儿术前与末次随访 VAS 评分及髋关节活动度比较($\bar{x} \pm s$)

Table 1 Comparison of VAS scores and hip range of motion between preoperative assessment and the final follow-up in children receiving robot-assisted percutaneous radiofrequency ablation for femoral neck osteoid osteoma ($\bar{x} \pm s$)

分组	VAS	髋关节 屈伸活动度(°)	髋关节 内收-外展活动度(°)	髋关节 旋转活动度(°)
术前	6.8 ± 0.4	99.3 ± 5.8	42.9 ± 3.2	53.6 ± 4.6
末次随访	1.1 ± 0.3	138.6 ± 3.6	78.2 ± 4.2	94.3 ± 3.3
t 值	77.245	23.873	21.927	29.664
P 值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

注 VAS:视觉模拟评分法

型^[4,7,16]。因髋关节囊内无骨膜,股骨颈骨样骨瘤瘤巢周围很少形成反应性硬化骨,X线片上易被误诊或漏诊^[17]。本组病例术前均经CT检查明确存在骨样骨瘤瘤巢。股骨颈骨样骨瘤常伴髋关节腔积液、骨髓水肿和软组织肿胀,这些非特异性炎症反应可增加关节腔内压力,导致疼痛性质改变,并伴髋关节活动受限。股骨颈骨样骨瘤多需手术治疗以快速缓解疼痛并降低复发率,主要方法包括开放手术切除和经皮射频消融术^[8-10]。开放手术可完整、准确切除病灶并获得病理结果,降低复发率;且术中可根据周围组织反应情况进行滑膜清理和软组织松解,以进一步改善髋关节功能。Zeng等^[8]经Smith-Petersen入路对35例股骨近端骨样骨瘤行病灶切除,术后疼痛和髋关节功能均显著改善,未见复发、股神经损伤或股骨头坏死等并发症。但股骨颈位置深、毗邻重要血管神经、解剖结构复杂,因此开放手术创伤大、学习曲线长、术后并发症较多。此外,为避免瘤巢残留,术中常需扩大骨组织切除范围,增加术后骨折风险。

随着微创理念的推广,经皮射频消融术在骨样骨瘤治疗中应用日益广泛。本组病例手术出血量<5 mL,手术时间<1小时,切口长度约1 cm,创伤远小于开放手术。术后即刻开始康复锻炼,显著加快了关节功能恢复,并缩短了住院时间。本组术后疼痛消失和关节功能改善是手术有效的直接证据,末次随访时疼痛基本消失,关节活动恢复至正常,且无明显手术相关并发症,表明射频消融术安全有效。目前最常用的方法为CT引导下射频消融,术中需反复CT扫描以确保射频针准确置入,其安全性和有效性已被大量研究证实。Rosenthal等^[9]对263例骨样骨瘤患者行271次CT引导下射频消融,手术均获成功,约90%的患者术后症状完全缓解,仅2例出现轻微手术相关并发症。该技术基于术者手动操作进行病灶定位,手动操作不稳定易导致穿刺角度偏差,从而增加CT扫描次数和辐射暴露剂量,损害患儿和医务人员的健康^[11-12]。对经验较少的术者,这种辐射暴露风险更为突出,限制了该技术的推广。为克服上述局限,已有研究将术中三维影像实时导航与机器人辅助技术结合用于骨样骨瘤的定位,该技术可显著增加穿刺稳定性,减少辐射暴露^[18-19]。在机器人辅助射频消融中,术者根据术中C臂三维影像设计穿刺路径,机器人系统根据该影像导航机械臂自动、精准地定位病灶。机器人辅助系统通过消除手眼协调误差,克服了传统CT

引导手动操作不稳定的缺点,提高了定位精准度。本组病例穿刺均一次性成功,避免了反复穿刺在股骨颈部造成多个孔道,降低了术后骨折等风险。此外,本组仅需一次三维C臂扫描用于规划路径和导航,之后通过普通C臂透视即可确认射频针位置,显著减少了患者和手术人员的辐射暴露。

总之,术中三维影像实时导航下机器人辅助射频消融治疗股骨颈骨样骨瘤是安全有效的微创方法,在取得显著疗效的同时,能避免过多辐射暴露。该技术有望成为传统CT引导射频消融的替代方案,尤其适用于体积较小或位于特殊解剖位置的瘤巢。本研究存在一定局限性。第一为单中心小样本的回顾性研究,且未与传统开放手术进行对比,有待更大样本、前瞻性对照研究进一步验证机器人辅助技术的优势。第二远期疗效和并发症发生率有待更大样本、更长随访时间的前瞻性研究进一步评估。第三机器人设备成本高昂,在基层医院尚未普及,限制了该技术的推广。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

作者贡献声明 杨豪、徐刚负责研究的设计、实施和起草文章;杨豪、韩雨洋、鲁明进行病例数据收集及分析;杨豪、杨征、徐刚对文章内容进行审阅

参 考 文 献

- [1] May CJ, Bixby SD, Anderson ME, et al. Osteoid osteoma about the hip in children and adolescents[J]. J Bone Joint Surg Am, 2019, 101(6):486-493. DOI:10.2106/JBJS.18.00888.
- [2] Kransdorf MJ, Stull MA, Gilkey FW, et al. Osteoid osteoma[J]. Radiographics, 1991, 11(4):671-696. DOI:10.1148/radiographics.11.4.1887121.
- [3] Cohen MD, Harrington TM, Ginsburg WW. Osteoid osteoma: 95 cases and a review of the literature[J]. Semin Arthritis Rheum, 1983, 12(3):265-281. DOI:10.1016/0049-0172(83)90010-0.
- [4] Szendroi M, Köllö K, Antal I, et al. Intraarticular osteoid osteoma: clinical features, imaging results, and comparison with extraarticular localization[J]. J Rheumatol, 2004, 31(5):957-964.
- [5] Bloem JL, Reidsma II. Bone and soft tissue tumors of hip and pelvis[J]. Eur J Radiol, 2012, 81(12):3793-3801. DOI:10.1016/j.ejrad.2011.03.101.
- [6] Gaeta M, Minutoli F, Pandolfo I, et al. Magnetic resonance imaging findings of osteoid osteoma of the proximal femur[J]. Eur Radiol, 2004, 14(9):1582-1589. DOI:10.1007/s00330-004-2293-5.
- [7] Spiker AM, Rotter BZ, Chang B, et al. Clinical presentation of intra-articular osteoid osteoma of the hip and preliminary outcomes after arthroscopic resection: a case series[J]. J Hip Preserv Surg, 2018, 5(1):88-99. DOI:10.1093/jhps/hnx042.
- [8] Zeng H, He HB, Tong XP, et al. Osteoid osteoma of the proximal femur: pitfalls in diagnosis and performance of open surgical re-

- section[J]. *Front Surg*, 2022, 9: 922317. DOI: 10. 3389/fsurg. 2022. 922317.
- [9] Rosenthal DI, Hornicek FJ, Torriani M, et al. Osteoid osteoma: percutaneous treatment with radiofrequency energy[J]. *Radiology*, 2003, 229 (1): 171 - 175. DOI: 10. 1148/radiol. 2291021053.
- [10] Yang WT, Chen WM, Wang NH, et al. Surgical treatment for osteoid osteoma-experience in both conventional open excision and CT-guided mini-incision surgery[J]. *J Chin Med Assoc*, 2007, 70 (12): 545 - 550. DOI: 10. 1016/S1726-4901(08)70058-3.
- [11] Brody AS, Frush DP, Huda W, et al. Radiation risk to children from computed tomography[J]. *Pediatrics*, 2007, 120 (3): 677 - 682. DOI: 10. 1542/peds. 2007-1910.
- [12] Shah NB, Platt SL. ALARA: is there a cause for alarm? Reducing radiation risks from computed tomography scanning in children[J]. *Curr Opin Pediatr*, 2008, 20 (3): 243 - 247. DOI: 10. 1097/MOP. 0b013e3282ffafd2.
- [13] 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.
- [14] Xu YF, Fu G, Feng C, et al. Robot-assisted percutaneous cannulated screw fixation in the treatment of slipped capital femoral epiphysis[J]. *J Child Orthop*, 2025, 19 (2): 158 - 165. DOI: 10. 1177/18632521251319987.
- [15] Chai JW, Hong SH, Choi JY, et al. Radiologic diagnosis of osteoid osteoma: from simple to challenging findings[J]. *Radiographics*, 2010, 30 (3): 737 - 749. DOI: 10. 1148/rg. 303095120.
- [16] Wenger DE, Tibbo ME, Hadley ML, et al. Osteoid osteomas of the hip: a well-recognized entity with a proclivity for misdiagnosis[J]. *Eur Radiol*, 2023, 33 (11): 8343 - 8352. DOI: 10. 1007/s00330-023-09765-z.
- [17] Ni XY, Zhang ZQ, Xu P, et al. Intra-and juxta-articular osteoid osteoma in children and adolescents[J]. *Transl Pediatr*, 2022, 11 (7): 1105 - 1113. DOI: 10. 21037/tp-21-612.
- [18] Wang TL, Luo YP, Zhou ZF, et al. O-arm-navigated, robot-assisted versus conventional CT guided radiofrequency ablation in treatment of osteoid osteoma: a retrospective cohort study[J]. *Front Surg*, 2022, 9: 881852. DOI: 10. 3389/fsurg. 2022. 881852.
- [19] Li K, Li JM, Li ZH, et al. Robot-assisted percutaneous radiofrequency ablation for the treatment of osteoid osteomas[J]. *Orthop Surg*, 2024, 16 (5): 1246 - 1251. DOI: 10. 1111/os. 14043.

(收稿日期: 2026-08-14)

本文引用格式: 杨豪, 韩雨洋, 鲁明, 等. 机器人辅助经皮射频消融术治疗儿童青少年股骨颈骨样骨瘤初探[J]. 临床小儿外科杂志, 2026, 25 (9): 821 - 825. DOI: 10. 3760/cma. j. cn101785-20260814-00359.

Citing this article as: Yang H, Han YY, Lu M, et al. Preliminary efficacy of robot-assisted percutaneous radiofrequency ablation for femoral neck osteoid osteoma in children and adolescents[J]. *J Clin Ped Sur*, 2026, 25 (9): 821 - 825. DOI: 10. 3760/cma. j. cn101785-20260814-00359.