

智能规划与导航技术辅助髋关节镜下盂唇缝合术1例及文献复习

蒋凌星^{1,2,3}, 郝明¹, 董继祥^{1,2}, 贺琳^{1,2}, 童章华^{1,2}, 康晓琪², 王龙¹, 曹婷^{1,2}, 吴毅东^{1,2}, 甘露^{1,2}, 李春宝¹

¹解放军总医院第四医学中心骨科医学部, 北京 100089; ²解放军医学院, 北京 100853; ³联勤保障部队第923医院骨科, 广西南宁 530021

摘要:背景 髋关节镜下带线锚钉修复盂唇存在较高的软骨穿透风险。计算机导航技术可提升手术的精准性和安全性, 但其应用于髋关节镜下盂唇缝合的报道较少。目的 分析1例行计算机导航技术辅助髋关节镜下盂唇缝合病例的病例资料, 评估该方法的安全性和准确性。方法 1例28岁男性患者因凸轮型股骨髋臼撞击征(femoroacetabular impingement, FAI)伴盂唇损伤(labral tear, LT)及髋臼囊肿于2025年8月在解放军总医院第四医学中心运动医学科住院, 采用自主研发的智能规划与导航系统进行术前三维规划和术中实时引导, 术后通过CT评估锚钉置入位置, 以“锚钉未穿透至关节软骨下骨或骨盆侧”作为安全性评价指标, 以“锚钉实际置入距离和角度与术前规划的一致性”作为精准性评价指标。结果 成功完成缝线锚钉精准置入与盂唇修复, 有效避开髋臼骨内囊肿。共置入锚钉4枚, 均处于术前规划角度范围内, 实际置钉角度平均为(39.32±8.49)°。锚钉插入点至关节软骨下骨的平均距离(2.58±0.50) mm接近术前规划(平均2.05±0.14) mm。结论 智能规划与导航技术辅助的髋关节镜下盂唇缝合术安全可靠, 在髋臼前缘等高穿透风险部位优势显著, 有助于降低穿孔风险, 具有较高的临床推广价值和患者获益前景。

关键词:髋关节镜; 计算机辅助手术; 髋臼盂唇损伤; 股骨髋臼撞击征; 盂唇缝合术; 锚钉置入

中图分类号: R687.4

文献标志码: A

文章编号: 2095-5227(2025)12-1193-07

DOI: 10.12435/j.issn.2095-5227.25102901

引用本文: 蒋凌星, 郝明, 董继祥, 等. 智能规划与导航技术辅助髋关节镜下盂唇缝合术1例及文献复习 [J]. 解放军医学院学报, 2025, 46 (12): 1193-1199.

Arthroscopic labral repair assisted by intelligent planning and navigation technology in hip joint: A case report and literature review

JIANG Lingxing^{1,2,3}, HAO Ming¹, DONG Jixiang^{1,2}, HE Lin^{1,2}, TONG Zhanghua^{1,2}, KANG Xiaoqi², WANG Long¹, CAO Ting^{1,2}, WU Yidong^{1,2}, GAN Lu^{1,2}, LI Chunbao¹

¹Senior Department of Orthopedics, the Fourth Medical Center of PLA General Hospital, Beijing 100089, China; ²Chinese PLA Medical School, Beijing 100853, China; ³Department of Orthopedics, 923rd Hospital of the PLA Joint Logistics Support Force, Nanning 530021, Guangxi Province, China

Corresponding author: LI Chunbao. Email: lichunbao301@163.com

Abstract: Background Hip arthroscopic labral repair using suture anchors carries a relatively high risk of cartilage penetration. While computer navigation technology has the potential to enhance surgical precision and safety, reports on its application in hip arthroscopic labral suturing remain scarce. **Objective** To explore the clinical advantages of intelligent planning and navigation technology in assisting suture anchor placement during hip arthroscopy for labral repair, and evaluate its safety and accuracy. **Methods** In August 2025, a 28-year-old male patient with cam-type femoroacetabular impingement (FAI) accompanied by a labral tear (LT) and an acetabular cyst was admitted to the Department of Sports Medicine of the Fourth Medical Center of PLA General Hospital. A self-developed intelligent planning and navigation system was employed for preoperative three-dimensional planning and intraoperative real-time guidance. Postoperatively, CT was used to evaluate the position of the suture anchors, with "no anchor penetration into the subchondral bone of the joint or the pelvic side" adopted as the safety evaluation criterion, and "the consistency between the actual insertion distance and angle of the anchors and the preoperative plan" used as the accuracy evaluation criterion. **Results** The precise placement of the suture anchor and labral repair was successfully completed, effectively avoiding the intraosseous cyst within the acetabulum. A total of 4 anchor screws were placed, all within the safe angle range planned

收稿日期: 2025-10-29

基金项目: 北京市自然科学基金(L252061)

第一作者: 蒋凌星, 在读硕士, 主治医师。Email: 15111960757@163.com

通信作者: 李春宝, 博士, 博士生导师, 主任医师, 教授。Email: lichunbao301@163.com

preoperatively. The average actual placement angle was $(39.32\pm 8.49)^\circ$. The average distance from the anchor insertion point to the subchondral bone of the joint was (2.58 ± 0.50) mm, close to the preoperative planning (2.05 ± 0.14) mm. **Conclusion** Arthroscopic labral repair assisted by intelligent planning and navigation technology is safe and reliable especially in high-risk areas such as the anterior acetabular rim, which helps reduce the risk of perforation and has high clinical promotion value and patient benefit prospects.

Keywords: hip arthroscopy; computer-assisted surgery; acetabular labral tear; femoroacetabular impingement; labral repair; anchor placement

Cited as: Jiang LX, Hao M, Dong JX, et al. Arthroscopic labral repair assisted by intelligent planning and navigation technology in hip joint: A case report and literature review[J]. Acad J Chin PLA Med Sch, 2025, 46(12): 1193-1199.

盂唇是环绕在髋臼边缘切面的三角状纤维软骨,其通过增强髋臼对股骨头的包容性,在维持关节稳定性、分散应力及保持关节液密封效应方面起重要作用^[1]。髋臼盂唇损伤(labral tear, LT)占所有髋关节疼痛患者的22%~55%,最常见于股骨髋臼撞击征(femoroacetabular impingement, FAI)。髋臼LT后其解剖完整性与生物力学功能受损,会引起髋关节疼痛和功能障碍,进而引发早期骨关节炎^[2]。髋关节镜下带线锚钉缝合术是LT的首选手术方式^[3-4]。然而,髋臼呈不规则的圆凹形,前后壁较薄而上壁较厚,这种解剖结构导致关节镜下精准的钻孔/置钉操作成为手术中的主要技术难点。文献报道,髋关节镜下的锚钉置入的并发症包括软骨损伤^[5]、腰肌隧道穿孔^[6]、锚钉拔出^[7]及盂唇再损伤^[8]等,其中以软骨损伤最常见且后果最严重,穿孔率达4.0%~18.2%^[9],患者后期可能面临髋关节镜二次手术甚至关节置换术^[5]。计算机导航技术辅助骨科手术通过三维可视化手术区域与实时空间定位,能显著提升手术操作精准度和安全性,尤其是在进行一些精细的手术操作,如置钉、钻孔、截骨等^[10-12]。将其应用于关节镜手术,有望提升置钉准确性,降低术后并发症,但截至目前未见其在髋关节镜盂唇修复中的应用研究。本研究报道1例采用智能规划与导航技术成功治疗FAI伴LT及髋臼囊肿的患者,旨在阐述其技术流程并论证其临床价值。

本研究通过解放军总医院医学伦理委员会批准(编号:2025YL004-KS001)。在研究开始前,研究者向受试者详细说明本研究的目的、内容、潜在风险及可能获益;所有检查与评估实施前亦再次告知受试者,并征得其签署知情同意书。

1 病例资料

28岁男性患者,因“运动导致右髋疼痛、活动受限30个月”于2025年8月14日收入解放军总医院第四医学中心运动医学科。曾多次因右髋疼

痛、活动受限在当地医院就诊并予镇痛、理疗等保守措施,效果欠佳,其间症状反复。

2 临床发现

右侧大转子叩击痛(-),右侧腹股沟中点压痛(+),右侧“4”字试验(-),滚动试验(-),屈曲内收内旋试验(+),过屈试验(+),屈髋外旋试验(-)。右髋关节被动活动度:屈/伸:95°/10°;内收/外展:30°/30°;内旋/外旋:20°/20°。术前疼痛视觉模拟评分(visual analogue scale, VAS)6分,改良Harris髋关节功能评分(modified Harris hip score, mHHS)55分。

X线、CT及MRI提示凸轮型FAI,伴前上髋臼盂唇损伤及相邻髋臼囊肿形成(图1)。

3 术前诊断

右侧凸轮型FAI、LT及髋臼囊肿。

4 治疗

经患者充分知情同意后,决定采用自主研发的智能规划与计算机导航系统进行髋关节镜盂唇缝合修复术。

4.1 术前规划

将患者术前薄层CT(层厚1 mm)的DICOM数据导入导航系统。系统采用基于深度学习的自动分割算法实现对骨盆、股骨头等关键结构的快速自动分割,再结合其手动勾画功能,可精确重建包含囊肿的髋关节三维虚拟模型。术者在模型上为盂唇撕裂区域预先规划置钉位置及角度,确保钉道完全位于骨质内并避开囊肿(图2)。

4.2 手术过程

患者仰卧于牵引台上,采用全身麻醉。常规消毒铺单,范围包括手术区域及对侧髂嵴区域。将光学参考架经皮固定于对侧髂嵴,将红外线追踪相机(加拿大NDI Polaris系列)摆放在患者头端位置,确保影像注册器、参考架均在相机视野范围

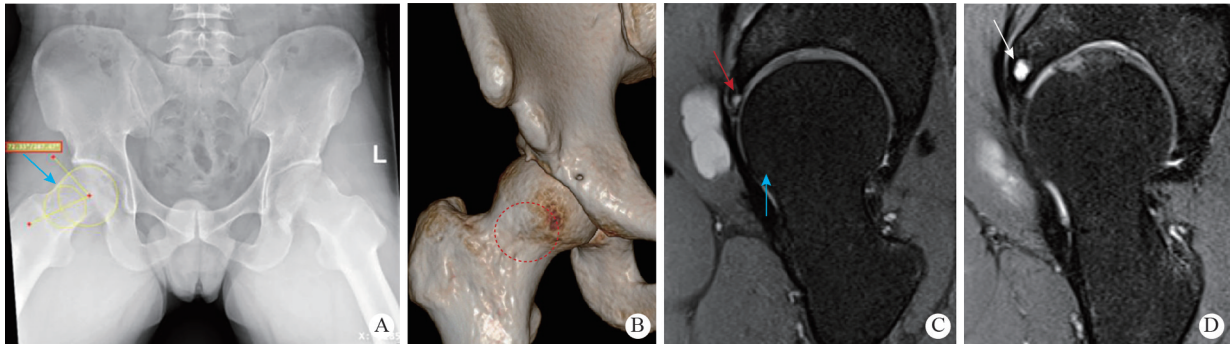


图1 术前影像学评估
A: 骨盆Dunn位片(蓝色箭头); B: 三维CT(红色虚线圆圈)显示股骨头颈交界处凸轮畸形, α 角=72.33°; C: 斜矢状位MRI显示盂唇损伤(红色箭头)伴盂唇旁囊肿(蓝色箭头); D: 髌臼骨内囊肿(白色箭头)。

图1 术前影像学评估

Fig. 1 Preoperative imaging assessment

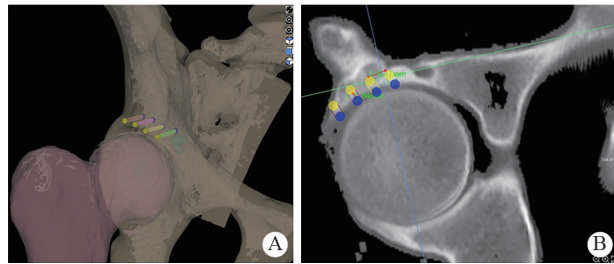


图2 术前三维手术规划
A: 虚拟模型清晰显示了髌臼囊肿(绿色高亮区域); B: 彩色圆柱(直径2.5 mm, 长度20 mm)为模拟的钻孔/置钉路径, 其直径大于锚钉直径, 长度与使用的限深钻一致。圆柱黄色端为钻孔/置钉起点, 绿色端为钻孔/置钉终点, 黄色端下缘距离髌臼边缘平均2 mm。

图2 术前三维手术规划

Fig. 2 Preoperative three-dimensional surgical planning

内且无遮挡(图3A)。在术中通过C臂机采集包含影像注册器在内的正位及侧位X射线透视图像(图4), 系统利用红外线追踪相机获取患者参考架以及影像注册器的空间坐标, 继而通过自主研发且经过验证的配准算法, 将术前三维CT与术中透视图像完成解剖结构的对齐(图4), 配准精度 ≤ 1 mm。系统确定配准结果无误后, 进入导航界面。按无会阴柱牵引技术牵开髌关节^[13], 透视验证髌关节间隙达8~10 mm, 建立标准前外侧入路(anterolateral portal, AL)和中前侧入路(mid- anterolateral portal, MA)。在两入路间横向切开前关节囊, 探查中央间室, 确定盂唇撕裂范围与术前核磁所示一致。用射频刀清除盂唇附近的软组织, 暴露髌臼骨, 用球形磨钻进行髌臼骨质磨除, 为盂唇修复准备骨床。在AL入路远端5~7 cm处建立远端前外侧入路(distal anterolateral portal, DALA), 用于盂唇缝合和带线锚钉置入。将另一参考架安装至套筒上, 在红外线追踪相机视野内通过标定工具进行手术器械的校准注册, 以确保系统能精确识别其尖端在空间中的实时位置(图

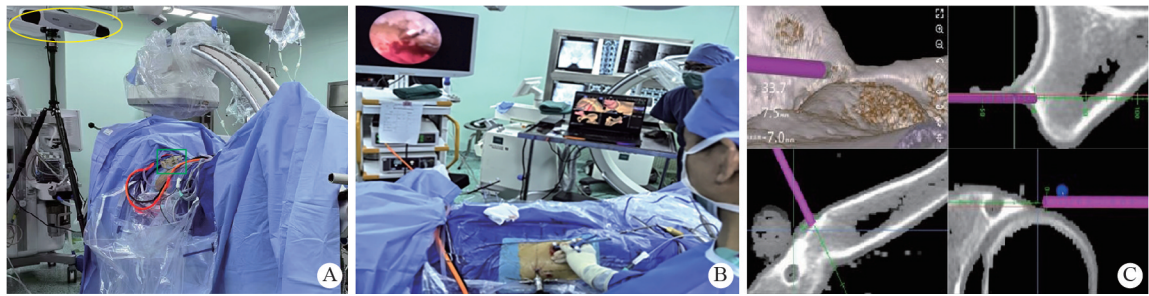
3B、C)。通过DALA入路置入套筒, 术者根据导航界面的反馈, 将导向套筒调整至规划位置, 随后使用2 mm限深导钻钻孔并置入2.3 mm带线锚钉(Smith & Nephew 2.3 mm)进行盂唇缝合(图5)。完成受损盂唇修复后, 探查清理其他中央区病变。之后缓慢松开患肢的牵引。将关节镜从AL入路置入, 通过DALA入路使用射频刀沿股骨颈轴线纵向切开前关节囊, 直至股骨头颈交界处的凸轮型骨赘完全暴露。使用磨钻去除凸轮型骨赘, 并进行股骨头颈成形术。通过关节镜观察确认撞击完全解除。对切开的关节囊进行侧对侧缝合。缝合手术切口后, 手术结束。手术历时110 min, 出血约20 mL。

4.3 术后处理

术后冰袋冷敷手术区域24 h。术后第1天, 指导患者行被动屈髌屈膝活动, 加强股四头肌等长收缩和踝泵功能锻炼, 并口服吲哚美辛50 mg 2次/日, 预防异位骨化。术后康复训练按4个阶段逐步加强锻炼^[14-15](表1), 以实现完全的体育活动恢复。

5 随访评估

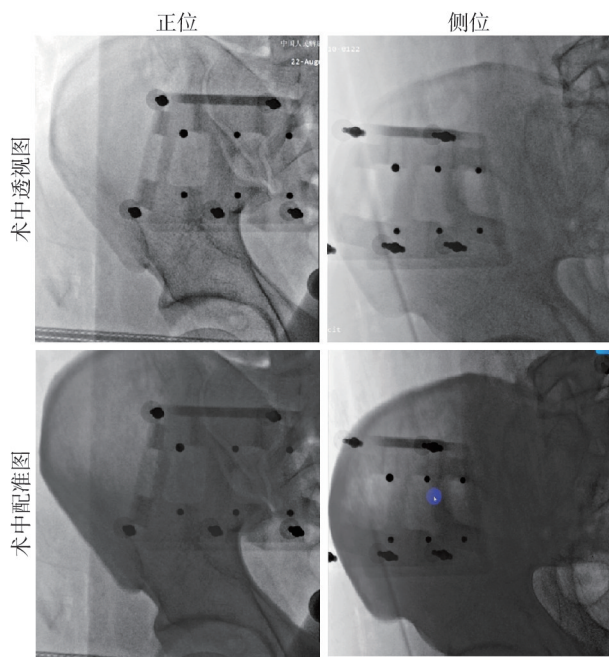
患者术后次日复查CT显示, 4枚锚钉均完全位于骨质内, 无任何关节内或骨盆侧穿透(图6), 于术后第3天顺利出院。置钉位置按国际通用的髌臼钟面法, 以髌臼横韧带中点为6点钟方向(髌臼正下方), 髌臼横韧带中点正对髌臼缘上方为12点, 3点钟方向为髌臼前方, 9点钟方向为髌臼后方^[16]。角度测量在斜矢状位上进行(图7B)。安全角度范围规划参考Lertwanich P等定义的髌臼边缘角^[17], 以锚钉起始点向髌臼骨质两边分别延长20 mm所形成的夹角。实际置钉角度由通过锚钉



A: 红外线追踪相机(黄色: 光学追踪装置NDI; 绿色: 影像注册器); B: 导航实时显示器械位置, 与关节镜下所见一致; C: 导航实时显示器械尖端(紫色圆柱)与髌臼边缘的位置, 指导术者进行精准调整。

图3 术中导航

Fig. 3 Intraoperative navigation



术中透视图需采集包含影像注册器的11个点。

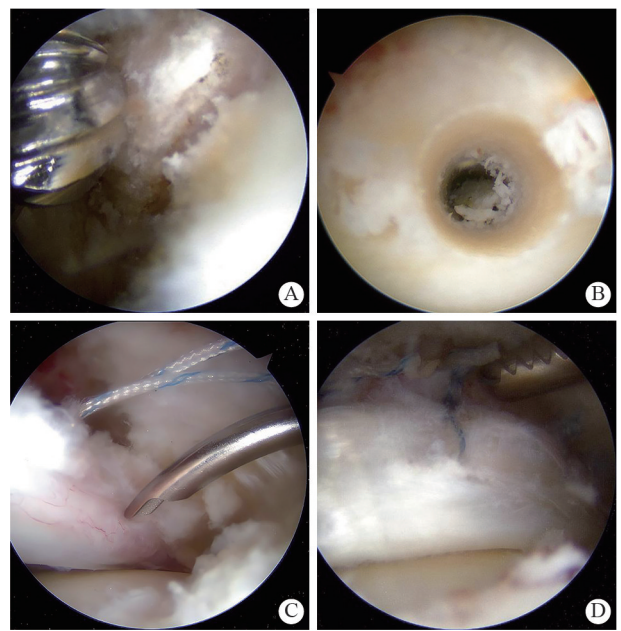
图4 术中透视及配准

Fig. 4 Intraoperative fluoroscopy and registration

起始点的两条线组成, 一条线为通过锚钉的方向, 另一条线为从起始点延伸 20 mm 到与髌臼软骨下骨相切的点的连线。术后锚钉置入的角度和距离均与术前规划接近(表2, 图7)。在术后约3个月的临床随访中, 患者主诉疼痛明显缓解, VAS评分降至2分, mHHS评分提升至80分。

6 讨论

计算机导航技术辅助骨科手术蓬勃发展, 具有定位准确、安全性高等优势, 已广泛应用于关节矫形外科、脊柱外科、骨肿瘤等亚专业中^[18]。然而, 其在关节镜手术领域的应用尤其是髌关节镜中的应用尚处于起步阶段。在髌关节镜领域的研究目前多集中于导航辅助下的凸轮成形术^[19]。



A: 髌臼侧pincer成形; B: 导航引导下钻孔骨道; C: 孟唇缝合; D: 及孟唇缝合完成。

图5 髌关节镜下操作

Fig. 5 Hip arthroscopic procedures

与徒手操作相比, 导航组凸轮成形术的精度更高, 术后非骨关节髌关节评分更高^[20], 但尚未见导航辅助关节镜下髌臼孟唇置钉缝合的报道。Dilbone等^[21]报道, 基于CT的混合现实导航系统辅助全髌关节置换术, 术后臼杯外展角平均误差为 $1.8^{\circ}(0 \sim 5^{\circ})$, 术后髌臼前倾角平均误差为 $2.0^{\circ}(0 \sim 6^{\circ})$ 。Slotkin等^[22]报道, 手持便携式导航系统辅助前入路全髌关节置换术, 92.59%的组件与术后CT测量值的外展角和前倾角均在 5° 以内, 100%在 8° 以内。

髌关节镜孟唇缝合修复术是治疗LT的最主要手术方式, 然而很难平衡精准复位与安全操作。尸体研究显示孟唇在髌臼缘的附着点在前方、前方及上方分别为2.3 mm、2.6 mm和2.4 mm^[23]。

表1 髋关节镜盂唇缝合术后4阶段康复方案

Tab. 1 Four-stage rehabilitation program after hip arthroscopic labral repair

时间	目标	训练内容	训练强度	进阶标准
第1阶段 (保护期, 0~3周)	减轻疼痛与肿胀;保护修复组织;预防肌肉抑制与关节挛缩。	1. 肌肉激活:股四头肌、臀肌等长收缩。 2. 活动度:在限制范围内进行被动环转、足跟滑动等。 3. 负重:使用支具/拐杖,术后2周内不负重,第3周起渐进性负重。	1. 活动度限制:屈髋 $\leq 90^\circ$,伸展 0° ,外展 $25^\circ \sim 30^\circ$,屈髋 90° 时:内旋 0° ,外旋 30° 。避免引起疼痛的主动屈髋。 2. 每天3~4组,每组10~12次,活动度训练在无痛范围内进行。 3. 每次坐立 ≤ 30 min。	1. 实现完全、无痛的负重行走。 2. 疼痛得到有效控制(VAS ≤ 2 分)。
第2阶段 (恢复期, 4~8周)	恢复髋关节全范围无痛活动度;建立正常步态;强化髋、骨盆及下肢力量。	1. 肌力训练:腿举、双腿/单腿深蹲、上下台阶、弹力带抗阻核心训练。 2. 平衡训练:双腿/单腿站立。 3. 有氧训练:术后6~8周开始椭圆机训练。	1. 每组12~15次,每天2~3组,核心训练保持10~30 s/次,有氧训练 ≤ 10 min/次,2/日。 2. 避免冲击性活动。 3. 所有训练应在无痛范围内进行,并注重动作质量。	1. 髋关节全范围无痛主动活动。 2. 无痛的标准步态。 3. 可单腿站立10 s(需辅助)。
第3阶段 (肌力强化期, 9~12周)	提升髋周肌力尤其是屈髋肌力至4+/5级或健侧水平;改善平衡、本体感觉与心肺耐力。	1. 进阶力量:侧重屈髋肌的强化训练(如抗阻直腿抬高)。 2. 功能性训练:三平面踏步、动态平衡训练。 3. 有氧训练:增加椭圆机训练时间与强度。	1. 训练强度同第二阶段,根据个体情况进行调整,可在轻微疼痛内进行,并注重动作质量。 2. 应避免接触性运动。 3. 禁止引起疼痛的过度拉伸。	1. 屈髋肌力达4+/5级,其他下肢肌力达5/5级。 2. 具备良好的动态平衡能力,比如单腿站立(睁眼) > 30 s。
第4阶段 (重返运动期, 12周以后)	获得与专项运动相匹配的髋关节功能、肌力、耐力和神经肌肉控制能力,安全重返运动。	1. 基础肌力强化:同第三阶段。 2. 专项训练:定制化的慢跑进阶、跳跃、敏捷性训练。 3. 功能测试:Y平衡测试、单次/三次跳跃测试、箱子跳下测试等。	1. 基础肌力强化同第三阶段,根据个体情况进行调整。 2. 重返运动(RTP)必须通过系统的功能测试,不可仅依据时间。	1. Y平衡测试:患侧前向到达距离与健侧差 ≤ 4 cm,后向差 ≤ 6 cm。 2. 跳跃测试:肢体对称性 $\geq 90\%$ 。 3. 视频动作分析:深蹲、跳跃落地时无代偿性髋关节内旋或膝内翻,动作控制良好。

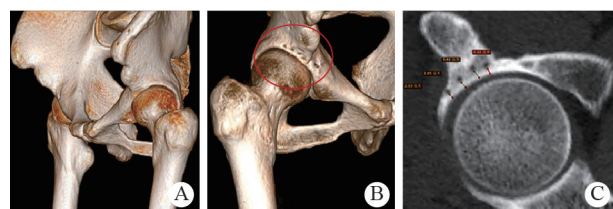


图6 术后影像学评估
A: 术后骨盆CT三维重建内面观,未见骨盆内穿透; B: 术后骨盆CT三维重建侧面观,红色圆圈所示4枚锚钉沿髋臼缘的分布情况; C: 重建短轴位CT图像显示锚钉与软骨下骨的距离(箭头线)。

图6 术后影像学评估

Fig. 6 Postoperative imaging assessment

理论上将缝合锚钉固定于距离髋臼边缘2~3 mm的位置可实现最佳复位。然而缝线锚钉放置距离髋臼边缘过小会面临较大的关节软骨穿透的风险,相反,将缝线锚钉远离髋臼边缘放置虽能降低关节软骨损伤风险,但可能导致盂唇外翻,进而影响其功能。更为关键的是,置钉偏差还可能引发骨盆内或者关节内穿透。一项系统综述显示髋臼缘置钉软骨穿透率为4.0%~18.2%^[9]。软骨穿透会加速骨关节炎进展,患者可能因此接受翻修手术。

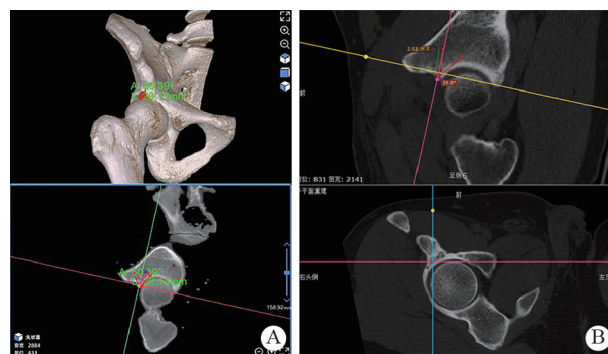


图7 角度测量
A: 术前规划安全角度范围; B: 术后实际置钉角度。

图7 角度测量

Fig. 7 Angle measurement

此外,锚钉穿透骨盆会导致机械症状以及较高的神经血管损伤风险。Gereli等^[24]基于尸体研究发现60次骨盆钻孔中有23.3%的穿刺损伤了神经血管。为此,本病例首次系统性地应用计算机导航技术应用于髋关节镜手术中,旨在探索一种解决方案。

在本病例中,智能规划与导航技术初步展现了其在髋关节镜盂唇缝合术中的独特优势。通过

表 2 患者术前规划与术后置钉位置的角度及距离比较

Tab. 2 Comparison of angles and distances between preoperative planning and postoperative anchor placement positions for patients

置钉位置	置钉角度(°)		置钉起点距软骨下骨距离(mm)	
	术前规划	术后实际	术前规划	术后实际
	范围	角度	距离	距离
1点~1点半	93.26	51.1	2.20	2.03
1点半~2点	60.39	39.8	2.12	2.85
2点~2点半	36.15	34.3	2.04	2.32
2点半~3点	34.94	32.1	1.87	3.14

置钉位置按照髌臼钟面法确定,角度规划及测量参考Lertwanich等^[17]定义的髌臼边缘角。

术前规划、图像配准、实时跟踪以及3D可视化技术,我们得以在避开囊肿前提下,实现安全钻孔及锚钉置入。研究结果显示,所有锚钉均按照术前规划安全置入髌臼内,无任何关节内或关节外穿透发生。患者mHHS从术前55分提升至术后80分,该数值均已超过文献报道的髌关节疾病患者最小临床重要差异阈值(9.5分)和患者可接受的临床状态评分(74分)标准^[25],表明该治疗方式可带来具有临床意义的关节功能改善。

虽然实际置钉的角度和位置与术前稍有偏差,但该误差在临床上是可接受的。我们分析这一偏差的产生可能与导航系统固有误差、操作误差有关。在置钉距离上,本例术前规划的置钉点距髌臼缘约2 mm,这符合孟唇生理附着点的理想区域^[15]。在置钉角度上,我们参考了Lertwanich等^[17]定义的髌臼边缘角进行规划。该研究提出,髌臼边缘角越大,钻孔/置钉的安全范围越大;更重要的是,对髌臼边缘进行骨床准备后,可进一步增大髌臼边缘角^[17]。这一操作本身使得置钉操作的安全边界更大、容错性更高。因此,骨床准备后置钉距离出现微小增加是正常的,且理论上使置钉更为安全。此外,导航系统固有的设备误差亦不容忽视,但本系统表现出的误差水平与既往研究报道的导航精度相一致。首先是配准精度,本系统采用基于图像的2D-3D配准算法,经体模验证其配准精度 ≤ 1 mm。这与Kendoff等^[26]以及Audenaert等^[27]研究中报道的基于图像的配准误差相近,分别为 < 1 mm和 < 0.8 mm。与之不同的是,我们采用了自主研发且经过验证的深度学习图像配准技术,该技术可在保证精度的同时提升配准效率^[28]。系统采用了国际通用的光学追踪系

统设备,其在60Hz下的平均延迟低于16 ms,测量精度为0.12 mm RMS,这能保证术中实时引导的流畅性与真实性。其次是执行精度。研究表明,即使采用精度 < 1 mm的图像配准技术辅助操作,术中执行过程仍可能出现偏差。Micic等^[29]关于导航辅助肩关节镜肩袖修复的研究表明,导航辅助下锚钉置入的角度误差(2°)和平移误差(3 mm)均显著优于无导航组(17°和15 mm)。同样,Larose等^[30]在一项大规模肩关节置换研究中报道,计算机导航辅助下的肩关节孟植入物位置与术前计划的平均偏差仅为 (1.90 ± 1.21) mm。而在导航辅助髌关节镜凸轮成形术中,Koki Abe等^[19]发现91.3%的截骨深度误差在3 mm以内,3.6%出现过度截骨,5.1%出现截骨不足;其中过度截骨的最大偏差为6.3 mm,截骨不足最大偏差为-7.1 mm。上述研究提示,导航技术虽能提升手术精度,但其最终效果仍可能受系统误差及执行精度等多种因素共同影响。就本病例而言,实际置钉角度和位置上存在偏差,这在当前技术条件下难以完全避免。Lertwanich等^[17]研究显示,当置钉深度为20 mm时,髌臼1~3点钟区域的安全角度范围为33.9°至89.1°。本病例中,该区域的实际置钉角度为32.1°至51.1°,均处于术前预设的安全范围内,且与Lertwanich等^[17]报道的范围相近。虽然该导航系统受手术入路限制,导致器械无法完全遵循术前规划,但导航界面提供的多平面实时可视化反馈,可使术者清晰掌握当前器械与规划路径、安全边界的空间关系。这使得术者能够在确保锚钉始终位于安全区的前提下,灵活调整器械角度,探明当前入路下的最优路径。这种术中动态调整能力,是徒手操作和静态透视引导均无法实现的,亦是本系统在复杂情况下保障手术安全的价值所在。

尽管本研究初步证实了智能规划与导航技术在髌关节镜孟唇缝合术中的可行性与精准性,但我们必须审慎看待本研究及其所采用技术的局限性。首先,本研究为病例报告,其结论需未来大样本研究加以验证,且未设置对照组以比较传统手术与导航手术的差异。其次,计算机导航系统目前主要用于骨性结构的定位与引导,对于孟唇等动态软组织的实时形变与位置变化,尚无法进行追踪与补偿,这仍是未来技术发展的方向。此外,文献亦记载了与经皮钉固定放置参考架有关的新并发症,例如钉孔松动、骨折以及相关感染^[31]。最后,本病例缺乏长期影像学随访数据。

尽管短期结果显示锚钉位置良好且临床功能满意,但锚钉的长期稳定性、囊肿的演变情况及孟唇愈合状态仍需更长时间的监测。

综上所述,通过本病例分析,智能规划与导航技术可为髋关节镜下安全置钉提供临床证据及参考方案。该技术通过个体化的三维术前规划和术中实时可视化引导,能最大程度避免关节内外穿透,尤其适用于髋臼前缘等高危置钉区域。未来需要更大规模的研究和更长期的随访来进一步验证其疗效及获益,并推动该技术在髋关节镜领域的标准化应用。

作者贡献 蒋凌星: 论文撰写、数据收集; 郝明、王龙: 技术研发、论文修订; 董继祥、康晓琪、曹婷、吴毅东、贺琳、童章华、甘露: 数据收集与手术辅助; 李春宝: 研究设计、手术实施、技术研发与最终审阅。

利益冲突 所有作者均阅读并认可最终稿件,无利益冲突。

数据共享声明 本论文相关数据可依据合理理由从通信作者处获取。

参考文献

- 1 李自愿, 陈志豪, 胡刚峰, 等. 髋关节镜下治疗孟唇损伤的研究进展 [J/OL]. 中华关节外科杂志 (电子版), 2022, 16 (4): 456-461.
- 2 Berthelot JM, Brulefert K, Arnolfo P, et al. Update on contribution of hip labral tears to hip pain: A narrative review [J]. *Joint Bone Spine*, 2023, 90 (1): 105465.
- 3 Savoye-Laurens T, Verdier N, Wettstein M, et al. Labral tears in hip dysplasia and femoroacetabular impingement: A systematic review [J]. *Orthop Traumatol Surg Res*, 2023, 109 (4): 103539.
- 4 Nwachukwu B, Rasio J, Sullivan S, et al. Surgical treatment of labral tears: debridement, repair, and reconstruction [J]. *Sports Med Arthrosc Rev*, 2021, 29 (1): e1-e8.
- 5 Sabetian PW, Paraschos OA, Harris WT, et al. Anchor arthropathy caused by cartilage penetration: an approach to revision hip arthroscopy with removal of problematic anchors [J]. *Arthrosc Tech*, 2022, 11 (10): e1689-e1694.
- 6 Di Loreto R, Getgood A, Degen R, et al. Bone volumes and trajectory angles for acetabular anchor placement can be optimized [J]. *Arthrosc Phys Med Rehabil*, 2022, 4 (2): e447-e452.
- 7 Byrd JWT, Jones KS, Loring CL, et al. Acetabular All-Suture Anchor for Labral Repair: Incidence of Intraoperative Failure due to Pullout [J]. *Arthroscopy*, 2018, 34 (4): 1213-1216.
- 8 Malempati M, Terle PM, Dhillon J, et al. Residual structural disease and new labral tears are the most common indications for revision hip arthroscopy: a systematic review [J]. *Arthroscopy*, 2025, 41 (12): 5437-5452.
- 9 Shah A, Kay J, Memon M, et al. What makes suture anchor use safe in hip arthroscopy? a systematic review of techniques and safety profile [J]. *Arthroscopy*, 2019, 35 (4): 1280-1293.
- 10 Pojskić M, Bopp M, Alwakaa O, et al. Robotic-Guided Spine

Surgery: Implementation of a System in Routine Clinical Practice-An Update [J]. *J Clin Med*, 2025, 14 (13): 4463.

- 11 Cheng QH, Li PB, Lu TT, et al. Computer-assisted cannulated screw internal fixation versus conventional cannulated screw internal fixation for femoral neck fractures: a systematic review and meta-analysis [J]. *J Orthop Surg Res*, 2021, 16 (1): 687.
- 12 Nashikkar PS, Scholes CJ, Haber MD. Role of intraoperative navigation in the fixation of the glenoid component in reverse total shoulder arthroplasty: a clinical case-control study [J]. *J Shoulder Elbow Surg*, 2019, 28 (9): 1685-1691.
- 13 王耀霆, 王明新, 王龙, 等. 髋关节镜手术中无会阴柱牵引的临床效果观察 [J]. 解放军医学院学报, 2022, 43 (11): 1118-1122.
- 14 张佳, 李春宝, 王江涛, 等. 关节镜术治疗凸轮型髋关节撞击综合征 [J]. 中国矫形外科杂志, 2023, 31 (15): 1374-1379.
- 15 Domb BG, Sgroi TA, VanDevender JC. Physical therapy protocol after hip arthroscopy: clinical guidelines supported by 2-year outcomes [J]. *Sports Health*, 2016, 8 (4): 347-354.
- 16 Philippon MJ, Michalski MP, Campbell KJ, et al. An anatomical study of the acetabulum with clinical applications to hip arthroscopy [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2014, 96 (20): 1673-1682.
- 17 Lertwanich P, Ejnisman L, Torry MR, et al. Defining a safety margin for labral suture anchor insertion using the acetabular rim angle [J]. *Am J Sports Med*, 2011, 39 Suppl: 111S-116S.
- 18 翟志凯, 张国梁. 计算机辅助技术在骨科手术中的应用进展 [J]. 机器人外科学杂志 (中英文), 2021, 2 (6): 485-491.
- 19 Abe K, Oba M, Kobayashi N, et al. Accuracy of computer navigation-assisted arthroscopic osteochondroplasty for cam-type femoroacetabular impingement using the model-to-image registration method [J]. *Am J Sports Med*, 2022, 50 (5): 1272-1280.
- 20 Saito M, Higashihira S, Yukizawa Y, et al. Computer navigation-assisted osteochondroplasty may improve accuracy of resection planning with limited outcome differences compared with freehand hip arthroscopic technique in patients with femoroacetabular impingement syndrome [J]. *Arthroscopy*, 2025, 41 (12): 5151-5163.
- 21 Dilbone ES, Heimann AF, Leal J, et al. Evaluating the accuracy of a computed tomography-based mixed-reality navigation tool for acetabular component positioning in total hip arthroplasty [J]. *J Arthroplasty*, 2025, 40 (8S1): S179-S185.
- 22 Slotkin EM, Cox F, Jones T, et al. A handheld, portable image-based system may outperform computer navigation or robotic platforms in providing accurate acetabular component positioning [J]. *Arthroplast Today*, 2024, 30: 101511.
- 23 HERNANDEZ J D, MCGRATH B E. Safe angle for suture anchor insertion during acetabular labral repair [J]. *Arthroscopy*, 2008, 24 (12): 1390-4.
- 24 Gereli A, Kocaoglu B, Ulku KT, et al. Are pelvic anatomical structures in danger during arthroscopic acetabular labral repair? Definition of safe bone depth [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2017, 25 (1): 45-49.
- 25 Levy DM, Kuhns BD, Cahal J, et al. Hip arthroscopy outcomes with respect to patient acceptable symptomatic state and minimal clinically important difference [J]. *Arthroscopy*, 2016, 32 (9): 1877-1886.
- 26 Kendoff D, Citak M, Stueber V, et al. Feasibility of a navigated registration technique in FAI surgery [J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2011, 131 (2): 167-172.