

DOI: 10.3969/j.issn.1005-8982.2026.15.002
文章编号: 1005-8982 (2026) 15-0007-07

膝关节疾病专题·论著

混合现实可视化技术在胫骨近端高位截骨治疗 膝关节骨关节炎中的应用研究*

杜明昌, 郭杰, 杨政博, 付恂, 柳柳, 马旭, 翟良全

(沈阳市骨科医院, 辽宁 沈阳 110044)

摘要: **目的** 探讨混合现实可视化技术治疗膝关节骨关节炎的应用效果及安全性, 提高手术治疗膝关节骨关节炎的治疗效率及安全性。**方法** 选取2020年1月—2025年1月沈阳市骨科医院收治的膝关节骨关节炎患者102例, 其中52例采用混合现实可视化技术辅助胫骨高位截骨术(HTO)的患者作为观察组, 50例采用3D导板辅助HTO的患者作为对照组。评估两组患者术前、术后视觉模拟评分法(VAS)评分、膝关节功能Lysholm评分、西安大略和麦克马斯特大学骨关节炎指数(WOMAC), 测量两组患者手术前后胫骨后倾角(PTS)、股胫角(FTA)、胫骨近端内侧角(MPTA)。记录两组手术时间、止血带时间、术中透视X射线剂量。观察两组术后并发症发生情况。**结果** 观察组与对照组术前、术后3个月、术后6个月的静息状态下测量VAS评分比较, 结果: ①不同时间点的VAS评分比较, 差异有统计学意义($P < 0.05$); ②观察组与对照组VAS评分比较, 差异无统计学意义($P > 0.05$); ③观察组与对照组的VAS评分变化趋势比较, 差异无统计学意义($P > 0.05$)。观察组与对照组术后术前、术后3个月、术后6个月的Lysholm、WOMAC评分比较, 结果: ①不同时间点的Lysholm、WOMAC评分比较, 差异均有统计学意义($P < 0.05$); ②观察组与对照组的Lysholm、WOMAC评分比较, 差异均无统计学意义($P > 0.05$); ③观察组与对照组的Lysholm、WOMAC评分变化趋势比较, 差异均无统计学意义($P > 0.05$)。观察组与对照组术前、术后3个月、术后6个月的PTS、FTA、MPTA比较, 结果: ①不同时间点的PTS、FTA、MPTA比较, 差异均有统计学意义($P < 0.05$); ②观察组与对照组的PTS、FTA、MPTA比较, 差异均有统计学意义($P < 0.05$), 观察组与对照组相比PTS、FTA较低, MPTA较高; ③观察组与对照组的FTA、MPTA变化趋势比较, 差异均有统计学意义($P < 0.05$), 观察组与对照组的PTS变化趋势比较, 差异无统计学意义($P > 0.05$)。观察组手术时间、止血带时间均短于对照组($P < 0.05$), 术中透视X射线剂量低于对照组($P < 0.05$)。对照组与观察组并发症总发生率比较, 差异无统计学意义($P > 0.05$)。**结论** 混合现实可视化技术与3D打印导板技术功能疗效同等优异, 安全性均较高, 且可改善患者膝关节功能, 提高手术效率, 减少术中透视X射线剂量。

关键词: 膝关节骨关节炎; 混合现实可视化技术; 胫骨近端高位截骨; 疗效

中图分类号: R687.3

文献标识码: A

Research on the application of mixed reality visualization technology in the treatment of knee osteoarthritis with high tibial osteotomy*

Du Ming-chang, Guo Jie, Yang Zheng-bo, Fu Xun, Liu Ye, Ma Xu, Zhai Liang-quan
(Shenyang Orthopedic Hospital, Shenyang, Liaoning 110044, China)

Abstract: **Objective** To explore the application effect and safety of mixed reality visualization technology in the treatment of knee osteoarthritis (KOA), and to improve the treatment efficiency and safety of KOA surgery.

收稿日期: 2025-07-25

* 基金项目: 辽宁省科学技术计划项目(2023-MS-20)

[通信作者] 柳柳, E-mail: ly33555@163.com

Methods A total of 102 patients with KOA admitted to our hospital from January 2020 to January 2025 were selected. Among them, 52 patients who underwent high tibial osteotomy (HTO) assisted by mixed reality visualization technology were assigned to the observation group, and 50 patients who underwent HTO assisted by a 3D-printed guide plate were assigned to the control group. The visual analogue scale (VAS) scores, knee joint function Lysholm scores, and Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index (WOMAC) scores of the two groups before and after surgery were evaluated. The posterior tibial slope (PTS), femorotibial angle (FTA), and proximal medial tibial angle (MPTA) of the two groups before and after surgery were measured. The operation time, tourniquet time, and intraoperative X-ray radiation dose of the two groups were recorded. The occurrence of postoperative complications was observed in both groups. **Results** For VAS scores at preoperative, 3 months postoperative, and 6 months postoperative: (1) there were significant differences across different time points ($P < 0.05$); (2) there were no significant differences between the two groups ($P > 0.05$); (3) the changing trends of VAS scores did not differ significantly between the two groups ($P > 0.05$). For Lysholm and WOMAC scores: (1) there were significant differences across different time points ($P < 0.05$); (2) there were no significant differences between the two groups ($P > 0.05$); (3) the changing trends of Lysholm and WOMAC scores did not differ significantly between the two groups ($P > 0.05$). For PTS, FTA, and MPTA: (1) there were significant differences across different time points ($P < 0.05$); (2) there were significant differences between the two groups ($P < 0.05$), with the observation group showing lower PTS and FTA and higher MPTA than the control group; (3) the changing trends of FTA and MPTA differed significantly between the two groups ($P < 0.05$), while the changing trend of PTS did not differ significantly between the two groups ($P > 0.05$). The observation group had significantly shorter operation time and tourniquet time, and lower intraoperative X-ray radiation dose than the control group (all $P < 0.05$). There was no statistically significant difference in the overall incidence of complications between the two groups ($P > 0.05$). **Conclusion** Mixed reality visualization technology and 3D-printed guide plate technology have equally excellent functional efficacy and safety profiles. Both can improve knee joint function in patients, enhance surgical efficiency, and reduce intraoperative X-ray radiation dose.

Keywords: knee osteoarthritis; mixed reality visualization technology; high tibial osteotomy; efficacy

膝关节骨关节炎是一种慢性退行性关节疾病,以疼痛、关节僵硬、活动受限为主要表现^[1]。膝关节骨关节炎在老年人中发病率较高,会引起膝关节内、外翻畸形,影响患者正常活动和生活,严重者可能导致残疾^[2]。胫骨高位截骨术(high tibial osteotomy, HTO)是目前临床上治疗内翻型膝关节骨关节炎的主要方法之一,具有较好的临床疗效^[3]。但HTO对外科医生具有较高的要求,如何精确制订术前规划及准确截骨是其难点^[4]。为提升手术精准度,以3D打印导板为代表的新型辅助技术应运而生,并已在临床中取得显著成效。但3D打印导板技术本身存在局限性,如术前设计与术中执行仍存在断层,导板就位可能受软组织干扰,且无法在截骨过程中进行实时调整和可视化反馈^[5]。混合现实(mixed reality, MR)技术可将二维影像转化为三维全息影像,并与实际物体结合产生立体图像,而且能够使外科医生与虚拟模型实时交互,有利于指导手术操作。近年来,MR技术在神经外科、脊柱外科等领域已展现出在术前规划、手术导航和教育培训等

方面的巨大潜力^[6]。在骨科领域,虽有初步探索将其用于骨折复位、肿瘤切除等手术,但关于MR技术在HTO手术中系统性应用及其与3D打印导板等成熟技术进行对比研究的报道尚属缺乏。本研究将混合现实技术应用于HTO治疗膝关节骨关节炎,通过与目前广泛应用的3D打印导板技术进行对比,旨在分析该技术的应用效果及安全性。

1 资料与方法

1.1 一般资料

回顾性选取2020年1月—2025年1月沈阳市骨科医院收治的膝关节骨关节炎患者102例,其中52例采用混合现实可视化技术辅助HTO的患者作为观察组,50例采用3D导板辅助HTO的患者作为对照组。所有患者分组均基于其接受手术的时间点及当时可用的技术,而非随机分配。本研究为一项探索性回顾性队列研究,样本量为在特定研究期间内所有符合纳入标准的可用病例。本研究未进行先验的样本量计算,但通过事后效能分析,在设

定 $\alpha=0.05$ (双侧) 的条件下, 本样本量对于检测两组在主要结局指标上的差异, 其统计效能 $(1-\beta)>80\%$, 表明当前样本量足以识别有临床意义的重要差异。本研究经医院医学伦理委员会批准同意 (2025-KY-001-03 号)。

1.2 纳入与排除标准

1.2.1 纳入标准 ①依据《中国骨关节炎诊疗指南 (2021 版)》^[7] 中相关标准诊断为内侧室间膝关节骨关节炎; ②年龄 <65 岁; ③外侧软骨及半月板功能正常, 韧带存在, 膝关节稳定; ④屈膝在 100° 以上; ⑤屈曲挛缩畸形 $<10^\circ$, 胫骨内翻畸形 $>5^\circ$; ⑥胫骨近端内侧角 (medial proximal tibial angle, MPTA) $<85^\circ$; ⑦单膝病变患者。

1.2.2 排除标准 ①高位髌股关节炎; ②类风湿性关节炎; ③ $\geq 20^\circ$ 畸形; ④存在严重关节退变。

1.3 手术方法

1.3.1 术前规划 所有患者术前行标准双下肢全长负重 X 射线片等影像学检查, 以精确规划目标力线。目标力线设定为自股骨头中心, 经过胫骨平台宽度 62.5% (Fujisawa 点) 至踝关节中心的连线。基于此, 计算得出所需的截骨矫正角度与撑开高度。

观察组行下肢全长 CT 扫描, 将数据导入全息 V3D 建模软件构建三维模型, 并载入混合现实设备 (美国微软公司 HoloLens) 中, 用于术中实时全息导航。对照组基于同样的影像数据, 利用计算机辅助设计软件进行个体化截骨导板的数字化设计, 并通过 3D 打印技术制作实体导航模板, 用于术中引导截骨。

1.3.2 手术过程 为控制手术者相关偏倚, 本研究中的所有 HTO 手术均由同一组具有丰富保膝手术经验的高年资外科医师团队完成。该团队在开展本研究前, 已同时对 3D 打印导板技术和混合现实技术进行了系统地培训与模拟操作, 确保了两种技术均能在学习曲线后的稳定平台上实施。

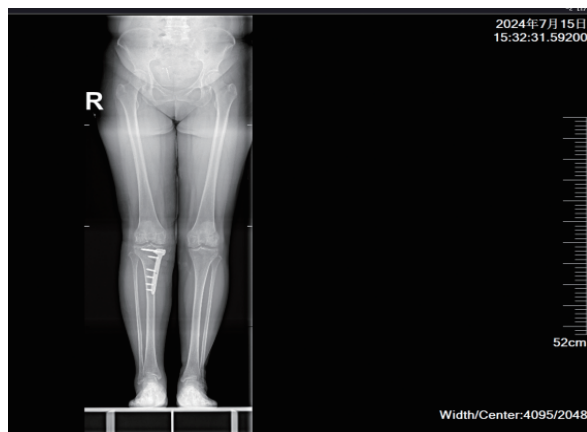
患者常规全身麻醉后取仰卧位, 常规消毒, 于大腿根部佩戴加压止血带。观察组采用 MR 技术辅助。术者佩戴 HoloLens 设备, 调取患者三维模型并将其精准叠加于真实手术视野 (见图 1)。在全息影像的实时导航下, 直接定位并置入截骨导针, 确定截骨平面与方向。后续行胫骨内侧开放式楔形截骨, 根据术前规划撑开截骨间隙, 并置入钢板内固定 (见图 2)。对照组采用 3D 打印导板辅助。将个体化设计的 3D 打印截骨导板置于胫骨预设位置并固定, 沿导板槽进行精确截骨。截骨完成后, 按计划撑开并完成内固定。两组手术过程中均使用 X 射线透视验证关键步骤的准确性。



图 1 混合现实可视化技术辅助 HTO 术中情况



术前



术后 2 周

图 2 术前及术后 2 周 X 射线图

1.4 观察指标

于术前、术后 3 个月、术后 6 个月采用视觉模拟评分法 (visual analogue scale, VAS)^[8] 评估患者疼痛情况, 总分 10 分, 分数越高表示疼痛感越强。采用 Lysholm 评分^[9] 评估患者膝关节功能, 总分 100 分, 分数越高代表膝关节功能越强。采用西安大略和麦马斯特大学骨关节炎指数 (Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index, WOMAC)^[10] 评估患者膝关节骨关节炎病情, 总分 96 分, 分数越高表示病情越严重。测量两组胫骨后倾角 (posterior tibial slope, PTS)、股胫角 (femoral tibia angle, FTA)、MPTA。记录两组手术时间、止血带时间、术中透视 X 射线剂量。观察两组术后感染、内固定断裂、骨不愈合、血管神经损伤等并发症情况。

表 1 两组一般资料比较

组别	n	男/女/例	年龄/(岁, $\bar{x} \pm s$)	BMI/(kg/m ² , $\bar{x} \pm s$)	患膝 例(%)		膝关节 K-L 分级 例(%)		
					左侧	右侧	I 级	II 级	III 级
对照组	50	21/29	58.74 $\pm$ 5.32	22.73 $\pm$ 3.12	20(40.00)	30(60.00)	8(16.00)	28(56.00)	14(28.00)
观察组	52	20/32	59.16 $\pm$ 4.18	22.69 $\pm$ 3.24	19(36.54)	33(63.46)	6(11.54)	30(57.69)	16(30.77)
t/ χ^2 值		0.133	0.444	0.063	0.129		0.449		
P 值		0.716	0.658	0.949	0.719		0.799		

2.2 两组不同时间点静息状态下 VAS 评分比较

两组术前、术后 3 个月、术后 6 个月的静息状态下 VAS 评分比较, 采用重复测量设计的方差分析, 结果: ①不同时间点的 VAS 评分比较, 差异有统计学意义 ($F=260.213, P=0.000$); ②两组 VAS 评分比较, 差异无统计学意义 ($F=0.806, P=0.370$); ③两组 VAS 评分变化趋势比较, 差异无统计学意义 ($F=0.331, P=0.719$)。见表 2。

2.3 两组不同时间点 Lysholm、WOMAC 评分比较

两组术前、术后 3 个月、术后 6 个月的 Lysholm、WOMAC 评分比较, 采用重复测量设计的方差分析, 结果: ①不同时间点的 Lysholm、WOMAC 评分比较,

1.5 统计学方法

数据分析采用 SPSS 20.0 统计软件。计量资料以均数 $\pm$ 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示, 比较采用 t 检验或重复测量设计的方差分析; 计数资料以构成比或率 (%) 表示, 比较采用 χ^2 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组一般资料比较

对照组与观察组性别构成、年龄、体质量指数 (body mass index, BMI)、患膝构成和膝关节 K-L 分级构成比较, 经 χ^2/t 检验, 差异均无统计学意义 ($P > 0.05$), 具有可比性。见表 1。

表 2 两组不同时间点静息状态下 VAS 评分比较
(分, $\bar{x} \pm s$)

组别	n	术前	术后 3 个月	术后 6 个月
对照组	50	5.72 $\pm$ 2.13	2.51 $\pm$ 0.64	1.24 $\pm$ 0.32
观察组	52	5.76 $\pm$ 2.08	2.23 $\pm$ 0.58	1.02 $\pm$ 0.21

差异均有统计学意义 ($F=388.594, 953.904$, 均 $P=0.000$); ②两组的 Lysholm、WOMAC 评分比较, 差异均无统计学意义 ($F=2.408, 3.001, P=0.122, 0.085$); ③两组 Lysholm、WOMAC 评分变化趋势比较, 差异均无统计学意义 ($F=0.189, 2.583, P=0.828, 0.078$)。见表 3。

表 3 两组不同时间点 Lysholm、WOMAC 评分比较 (分, $\bar{x} \pm s$)

组别	n	Lysholm 评分			WOMAC 评分		
		术前	术后 3 个月	术后 6 个月	术前	术后 3 个月	术后 6 个月
对照组	50	51.37 $\pm$ 5.38	74.36 $\pm$ 7.53	81.41 $\pm$ 7.94	46.28 $\pm$ 5.49	23.89 $\pm$ 4.17	18.52 $\pm$ 3.42
观察组	52	52.02 $\pm$ 6.94	76.12 $\pm$ 7.04	83.38 $\pm$ 7.27	47.12 $\pm$ 5.25	21.74 $\pm$ 3.98	16.82 $\pm$ 2.96

2.4 两组不同时间点 PTS、FTA、MPTA 比较

两组术前、术后 3 个月、术后 6 个月的 PTS、

FTA、MPTA 比较, 采用重复测量设计的方差分析, 结果: ①不同时间点的 PTS、FTA、MPTA 比较, 差异均

有统计学意义 ($F=39.121、141.823、588.314$, 均 $P=0.000$); ②两组的 PTS、FTA、MPTA 比较, 差异均有统计学意义 ($F=5.574、51.124、41.303$, $P=0.019、0.000、0.000$), 观察组与对照组相比, PTS、FTA 较低, MPTA

较高; ③两组 FTA、MPTA 变化趋势比较, 差异均有统计学意义 ($F=14.431、9.515$, 均 $P=0.000$), 两组的 PTS 变化趋势比较, 差异无统计学意义 ($F=1.112$, $P=0.331$)。见表 4。

表 4 两组不同时间点 PTS、FTA、MPTA 比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	n	PTS			FTA			MPTA		
		术前	术后 3 个月	术后 6 个月	术前	术后 3 个月	术后 6 个月	术前	术后 3 个月	术后 6 个月
对照组	50	9.34 ± 1.02	8.76 ± 0.54	8.53 ± 0.38	176.82 ± 2.31	174.56 ± 1.98	173.82 ± 1.04	80.17 ± 3.11	87.16 ± 1.21	87.62 ± 1.18
观察组	52	9.31 ± 0.97	8.41 ± 0.41	8.27 ± 0.32	176.91 ± 2.53	172.29 ± 1.76	171.24 ± 1.65	80.23 ± 2.97	89.27 ± 1.13	89.84 ± 1.09

2.5 两组手术时间、止血带时间、术中透视 X 射线剂量比较

两组手术时间、止血带时间和术中透视 X 射线剂量比较, 经 t 检验, 差异均有统计学意义 ($P < 0.05$); 观察组手术时间、止血带时间均短于对照组 ($P < 0.05$), 术中透视 X 射线剂量低于对照组 ($P < 0.05$)。见表 5。

表 5 两组手术时间、止血带时间、术中透视 X 射线剂量比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	n	手术时间/ min	止血带时间/ min	术中透视 X 射线剂 量/(mGy·cm ²)
对照组	50	66.83 ± 8.12	59.37 ± 7.94	97.28 ± 32.84
观察组	52	59.21 ± 6.83	46.92 ± 6.51	43.62 ± 14.73
t 值		5.136	8.675	10.716
P 值		0.000	0.000	0.000

2.6 两组并发症比较

两组并发症总发生率比较, 经 χ^2 检验, 差异无统计学意义 ($\chi^2=0.385$, $P=0.535$)。见表 6。

表 6 两组并发症比较 例(%)

组别	n	感染	内固定 失效	骨不愈合	血管神 经损伤	总发生
对照组	50	0(0.00)	1(2.00)	0(0.00)	1(2.00)	2(4.00)
观察组	52	0(0.00)	1(1.92)	0(0.00)	0(0.00)	1(1.92)

3 讨论

MR 技术是在增强现实技术的基础上发展而来, 不仅可将虚拟图像与真实环境叠加, 还可使两者实时交互^[11]。近年来, 临床工作者正逐步探索 MR 技术在医疗领域中的应用效果, 在外科手术、疾病诊断、医学教育等方面均有 MR 技术应用的相关报

道, MR 技术在骨科手术中的应用已有初步探索, 如用于骶髂关节螺钉植入、脊柱椎弓根钉置入等^[12-14]。然而, 将其系统性地整合于 HTO 这一对力线精度要求极高的截骨手术中, 国内外报道仍相对少见。3D 打印技术具有精确化、个体化的优势, 其在 HTO 中的应用效果已得到广泛认可^[15]。本研究将 MR 技术辅助 HTO 与当前公认精准的 3D 打印导板辅助 HTO 进行了系统比较, 不仅证实了 MR 技术在实现精准截骨方面的潜力, 还首次量化并报道了 MR 技术在提升 HTO 手术效率和降低医患双方辐射暴露方面的显著优势。

本研究对两组患者 VAS 评分、Lysholm 评分及 WOMAC 评分的比较结果显示, 两组组间 VAS 评分、Lysholm 评分及 WOMAC 评分并无差异, 但两组术后 VAS 评分、WOMAC 评分均低于术前, Lysholm 评分均高于术前。表明两种方法均可有效减轻患者疼痛, 提高患者膝关节功能。但两组术后 PTS、FTA、MPTA 均有差异, MR 技术辅助 HTO 治疗的患者 PTS、FTA 更低且 MPTA 更高。PTS 的控制有利于避免胫骨过度后倾, 降低前交叉韧带压力^[16]。3D 导板技术对 PTS 的控制主要依赖于术前规划, 在术中无法实时调整截骨斜面角度, 如果术中与术前参数出现偏差, 则会影响 PTS 的控制效果; 而 MR 系统通过将虚拟的胫骨力学轴线与截骨平面实时叠加于真实视野, 术者可以在摆锯运行过程中, 动态观察并调整截骨方向。FTA 的降低可调整下肢机械轴, 使机械轴通过膝关节中心, 均匀分布压力, 避免膝关节局部压力过高而造成损伤^[17]。3D 导板依赖于导板与骨面的完美贴附, 在骨质疏松或存在骨赘的病例中, 贴附误差可能导致力线矫正偏差。MR 技术则跳出了物理贴附的限制, 通过渲染全息化的下肢力线轴, 允许术者在截骨前和固定前, 从多个视角反

复验证力线通过膝关节的理想位置。这种对整体力线的可视化与空间感知,是实现更佳 FTA 和 MPTA 的根本原因。MPTA 的升高可增加内侧支撑,纠正内翻畸形^[18]。对于骨质疏松或软骨磨损的患者,3D 导板技术导板匹配的准确度会降低,而 MR 技术可动态调整截骨位置,因此 MR 技术对于 MPTA 的校准程度也更高。

本研究结果显示,MR 技术辅助 HTO 治疗的患者手术时间、止血带时间、术中透视 X 射线剂量均更低。既往有研究显示,3D 导板技术相较于传统 HTO,手术时间更短,术中透视次数更少^[19]。由于 3D 导板技术在术前可通过 CT 重建个性化导板并确定导板安装位置,因此术中可直接引导截骨,减少术中调整和透视次数^[20]。而 MR 技术可通过全息影像进行导板定位、调整截骨角度,大大降低了手术难度,且无需反复透视调整。由于既往对于 MR 技术的应用较少,其应用效果也尚不明确,因此本研究在进行 MR 技术的同时,也用 X 射线透视进行确认。当明确 MR 技术应用效果并在临床广泛应用时,或可完全不依赖 X 射线透视。另一方面,全息影像进一步提高了手术精度,相较于 3D 导板技术,其导板定位的误差更小,因此在导板安装时用时更短,MR 技术辅助 HTO 手术时间更短、术中透视 X 射线剂量更低。有研究表明,止血带时间过长可能增加再灌注损伤风险,因此缩短止血带时间有助于患者术后恢复^[21]。3D 导板技术虽然可提前设计导板、减少术中调整,但仍需通过止血带确保清晰的术野以准确截骨及安装导板^[22]。而 MR 技术通过虚拟与现实交互,可由全息影像提供清晰手术视野,无需长时间保持现实的无血手术视野。不仅如此,3D 导板的制作基于术前的 CT 数据,在安装导板时需更大程度剥离局部软组织以确保准确性,因此会给患者带来更大的副损伤。故 MR 技术辅助 HTO 的止血带时间比 3D 导板技术辅助 HTO 更短。本研究观察了两组患者术后并发症情况,两组并发症发生率均较低,表明 MR 技术辅助 HTO 及 3D 导板辅助 HTO 均具有较高的安全性。52 例采用 MR 技术辅助 HTO 的患者中有 1 例发生内固定失效,主要是由于操作者对 MR 技术熟悉度尚有欠缺,截骨时未充分进行触觉验证,截骨面不够平整所致。由于 MR 技术仅能提供视觉反馈,术者容易忽略平面的微小差异,这也

提示在使用 MR 技术时需通过触觉验证以反馈更全面的信息。

MR 技术辅助 HTO 可实现术中精确导航与实时交互,并减少 X 射线透视,在膝关节骨关节炎患者的治疗中具有巨大潜力。但目前 MR 技术在临床上应用还有以下问题:设备及耗材的成本较高;手术操作者需长时间佩戴较重的显示装备而负担较重;医疗人员还需大量培训与实践以熟悉 MR 技术;MR 硬件及算法还有待进一步提高升级。随着 MR 技术的不断发展,未来其可能在临床上广泛应用。

本研究为回顾性研究,纳入例数较少,因此研究数据存在一定局限性。本研究未对患者进行长期随访,未能观察患者远期疗效。后续研究可联合多中心纳入更多样本,并对患者进行长期随访,进行前瞻性研究以明确 MR 技术的应用效果。

综上所述,MR 技术辅助 HTO 治疗膝关节骨关节炎患者,在取得与 3D 打印导板技术同等优异临床功能疗效的基础上,进一步实现了更高的放射学矫正精度、更短的手术时间及更低的术中辐射剂量,展现出良好的应用前景。MR 技术作为一种高效的术中导航工具,有望在 HTO 手术中得到更广泛的应用。

参 考 文 献:

- [1] Giorgino R, Albano D, Fusco S, et al. Knee osteoarthritis: epidemiology, pathogenesis, and mesenchymal stem cells: what else is new? an update[J]. *Int J Mol Sci*, 2023, 24(7): 6405.
- [2] Zhu S Y, Qu W C, He C Q. Evaluation and management of knee osteoarthritis[J]. *J Evid Based Med*, 2024, 17(3): 675-687.
- [3] Zhang B, Qian H G, Wu H F, et al. Unicompartmental knee arthroplasty versus high tibial osteotomy for medial knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Orthop Surg (Hong Kong)*, 2023, 31(1): 10225536231162829.
- [4] Pullen W M, Slone H, Abrams G, et al. High tibial osteotomy in knee reconstruction and joint preservation[J]. *J Am Acad Orthop Surg*, 2024, 32(13): 577-586.
- [5] Márquez-Gómez M, Castaño-Zapatero C M, Mediavilla-Santos L, et al. Femoral extra-articular deformity in the context of prosthetic knee surgery and application of customized treatment using 3D planning and printing techniques[J]. *J Orthop Case Rep*, 2024, 14(12): 78-82.
- [6] Xu Y, Chen X, Wang L, et al. Efficacy of a computer vision-based system for exercise management in patients with knee osteoarthritis: a study protocol for a randomised controlled pilot trial[J]. *BMJ Open*, 2024, 14(11): e077455.

- [7] 中华医学会骨科学分会关节外科学组, 中国医师协会骨科医师分会骨关节炎学组, 国家老年疾病临床医学研究中心(湘雅医院), 等. 中国骨关节炎诊疗指南(2021 年版)[J]. 中华骨科杂志, 2021, 41(18): 1291-1314.
- [8] Åström M, Thet Lwin Z M, Teni F S, et al. Use of the visual analogue scale for health state valuation: a scoping review[J]. Qual Life Res, 2023, 32(10): 2719-2729.
- [9] Samuel A J. Comments on: reliability and validity of a Chinese version of the lysholm score and tegner activity scale for knee arthroplasty[J]. J Rehabil Med, 2022, 54: jrm00360.
- [10] Buyukkusu M O, Misir A, Kirat A, et al. Tibiofemoral subluxation in the coronal plane does not affect WOMAC and KOOS after total knee arthroplasty[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2021, 29(3): 914-920.
- [11] Magalhães R, Oliveira A, Terroso D, et al. Mixed reality in the operating room: a systematic review[J]. J Med Syst, 2024, 48(1): 76.
- [12] Lopez-Espada C, Linares-Palomino J. Mixed reality: a promising technology for therapeutic patient education[J]. Vasa, 2023, 52(3): 139-140.
- [13] Sin J E, Kim A R. Mixed reality in clinical settings for pediatric patients and their families: a literature review[J]. Int J Environ Res Public Health, 2024, 21(9): 1185.
- [14] Goharnejad S, Goharnejad S, Hajesmaeel-Gohari S, et al. The usefulness of virtual, augmented, and mixed reality technologies in the diagnosis and treatment of attention deficit hyperactivity disorder in children: an overview of relevant studies[J]. BMC Psychiatry, 2022, 22(1): 4.
- [15] Miao Z, Li S L, Luo D S, et al. The validity and accuracy of 3D-printed patient-specific instruments for high tibial osteotomy: a cadaveric study[J]. J Orthop Surg Res, 2022, 17(1): 62.
- [16] Singh A, Verma P, Kushwaha N S, et al. Association of posterior tibial slope and functional outcome after total knee arthroplasty: an observational study[J]. Cureus, 2024, 16(11): e74201.
- [17] Zhang W B, Ma Y L, Lu F L, et al. Efficacy and safety of high tibial osteotomy combined with platelet-rich plasma for treating knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis of the Chinese population[J]. BMC Musculoskelet Disord, 2024, 25(1): 876.
- [18] Nejima S, Kumagai K, Yamada S, et al. Potential anatomic risk factors resulting oversized postoperative medial proximal tibial angle after double level osteotomy[J]. BMC Musculoskelet Disord, 2022, 23(1): 1121.
- [19] 金宇杰, 徐人杰, 周晓强, 等. AI术前规划+3D打印导板行胫骨高位截骨术治疗膝关节炎的临床疗效[J]. 生物骨科材料与临床研究, 2024, 21(3): 21-26.
- [20] 李一凡, 孙广峰, 付廷, 等. 3D打印个体化导板辅助下胫骨高位截骨的精准度及临床疗效分析[J]. 解放军医学杂志, 2024, 49(12): 1366-1371.
- [21] Rowe C J, Walsh S A, Dragon A H, et al. Tourniquet-induced ischemia creates increased risk of organ dysfunction and mortality following delayed limb amputation[J]. Injury, 2023, 54(6): 1792-1803.
- [22] Jeong S H, Samuel L T, Acuña A J, et al. Patient-specific high tibial osteotomy for varus malalignment: 3D-printed plating technique and review of the literature[J]. Eur J Orthop Surg Traumatol, 2022, 32(5): 845-855.

(李科 编辑)

本文引用格式: 杜明昌, 郭杰, 杨政博, 等. 混合现实可视化技术在胫骨近端高位截骨治疗膝关节骨关节炎中的应用研究[J]. 中国现代医学杂志, 2026, 36(15): 7-13.

Cite this article as: Du M C, Guo J, Yang Z B, et al. Research on the application of mixed reality visualization technology in the treatment of knee osteoarthritis with high tibial osteotomy[J]. China Journal of Modern Medicine, 2026, 36(15): 7-13.