·教育研究·

混合现实技术在骨科专科手术实践教学中的应用研究

李晓祥[1]　王俊杰[2]　樊俊俊[3]
[1]空军军医大学第二附属医院骨科，西安　710032；[2]空军军医大学基础医学院学员三大队十队，西安　710032；[3]空军军医大学第一附属医院骨科，西安　710032
通信作者：樊俊俊，Email：fanjunjunys@163.com

【摘要】 本研究通过分析当前骨科专科手术教学特点、教学现状及混合现实技术的优势，从骨科不同病种领域角度出发，探讨混合现实技术（mixed reality，MR）在骨科临床手术教学中应用，并分析其在教学实践中的局限性，为MR技术在骨科临床教学中的实践应用提供参考。

【关键词】 混合现实技术；　骨科；　专科手术；　实践教学
【中图分类号】 R-05
基金项目：陕西省重点研发计划（2021SF-178）；西京医院助推计划（XJZT24LY06）
DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20240128-01828

Application of mixed reality technology in practical teaching of orthopedic surgery

Li Xiaoxiang[1], Wang Junjie[2], Fan Junjun[3]
[1]Department of Orthopedics, The Second Affiliated Hospital of Air Force Medical University, Xi'an 710032, China; [2]Tenth Squad, Student Third Team, Basic Medical Science Academy of Air Force Medical University, Xi'an 710032, China; [3]Department of Orthopedics, The First Affiliated Hospital of Air Force Medical University, Xi'an 710032, China
Corresponding author: Fan Junjun, Email: fanjunjunys@163.com

【Abstract】 This article analyzes the characteristics and current status of orthopedic surgery teaching, as well as the advantages of mixed reality technology. We explore the application of mixed reality technology in the clinical surgery teaching of orthopedics from the perspective of different diseases in orthopedics. Additionally, we analyze its limitations in teaching practice, providing reference for the practical application of mixed reality technology in clinical teaching of orthopedics.

【Key words】 Mixed reality technology;　Orthopedics;　Specialized surgery;　Practical teaching
Fund program: Shaanxi Province Key Research and Development Program (2021SF-178); Xijing Hospital Promotion Program (XJZT24LY06)
DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20240128-01828

骨科专科手术教学是外科临床教学中的重要分支内容，骨骼肌肉系统解剖结构、手术入路选择等内容的学习既是重点也是难点，其对教学方法、教学条件及学员的空间结构的想象能力都有着较高的要求[1]。近年来，混合现实技术（mixed reality，MR）的出现为骨科专科手术实践教学提供了新的思路和借鉴，相较于传统教学，MR技术在骨科手术教学中的应用也备受期待[2]。本文重点针对MR技术在骨科专科手术实践教学中的应用现状进行分析和探讨。

1　MR技术的概念

MR技术最早起源于多伦多大学教授Steve Mann提出的介导现实概念，也称为Mediated Reality。早在20世纪，为增强视觉效果，Steve Mann设计研发出可穿戴智能硬件，也为其在临床教学中的应用奠定了基础[3]。

MR技术作为AR和VR技术的进一步发展，是继虚拟现实技术（virtual reality，VR）、增强现实技术（augmented reality，AR）之后出现的全新数字全息影

像技术。该技术通过在现实场景中呈现虚拟场景信息，在现实世界、虚拟世界和用户之间搭建起一个交互反馈的信息回路[4]。相较于 VR 和 AR 技术，MR 技术最核心的优势是打破了数字虚拟世界与真实物理世界间的界限，能够最大程度上增强用户体验感和真实感[5]。

2 MR 技术在外科临床教学中的优势

2.1 能够有效提升学员学习兴趣度

MR 技术作为一种新型智能教学手段，能够基于患者的个体化 Dicom 影像数据重建 3D 模型，保证病例真实性的同时，立体展示损伤、病变部位的毗邻结构，能够有效克服学员学习兴趣较低、理解偏差等传统教学方式的缺陷[6]。

2.2 具有较好的可重复性

基于 MR 技术构建的三维模型不仅能够如同实体教具一样直观易懂，帮助年轻医生更好地理解复杂解剖的空间结构，还可将复杂的手术方案变得更加简单明了[7]。MR 技术也完美解决了传统教学标本的不可重复性问题，允许学员参与虚拟手术操作流程，针对不熟悉或是操作失误的环节，可以反复训练，最大程度提升教学效果。

2.3 MR 技术能够为学员提供增强全息实时的教学场景

如标准病人或人体模具等，能够给学员带来一种数字虚拟世界与物理真实医疗教学环境融合的场景，合并现实世界和虚拟世界产生新的可视化环境，使操作体验更加逼真，提高实际操作时的成功率。

3 骨科专科手术教学特点及现状

具备良好的解剖结构空间认知能力是开展骨科手术的前提。骨科专科手术以复位、固定、假体植入、重建、修复为主要思路，辅助少量切除手术，目的在于恢复骨骼及软组织形态结构。其中，术中最重要的环节是清晰暴露需要处理的关键结构，例如四肢骨折的骨折断端、脊柱椎体、关节周围的重要神经、血管等。此外，术中还需要特别注意避免造成周围血管神经等关键结构的损伤[8]。因此，对于结构的空间认知训练在骨科医师教学中是至关重要的。骨科医师成长周期较长，需要进行长时间反复的临床基本技能训练。对于一名骨科医师而言，临床手术技能的差异也往往是造成患者预后效果差异的主要原因。因此，除了应具备扎实的理论功底外，还需要通过长期的模拟训练、临床实操等途径不断积累手术经验。

近年来，随着高等教育教学体制的不断改革，高等医学院校规模及学生规模也随之扩大，这也在一定程度上导致教学资源日益紧张。此外，受制于传统思维，高等教育在资源配置过程中，不同医疗机构之间也存在资源配置不充分、不科学等问题，也会制约教学、科研活动的正常有序开展。在骨科专科手术传统教学实践环节，往往是在面对面讲授的基础上，结合标本、模具等手段开展教学，其在反映手术毗邻部位的复杂解剖学关系上的优势尚显不足。不同的学员在学习过程中，由于其空间理解、图像解构能力不同，可能会对真实病损的三维结构出现理解上的偏差，进而影响学习的效果。此外，由于术者与助手视野角度的差异和手术时间的限制，低年资医师很难在较短的时间内对局部解剖结构形成相对清晰的概念。加之部分知识内容较为抽象，传统教学方法难以达到预期效果。加之骨科手术种类复杂，尤其是对于脊柱手术来说，手术风险也相对较高。临床实践教学中的试错成本较高。尤其是对于青年医师而言，实践操作是锻炼骨科医生基本技能及完备的临床思维的关键环节。在实际教学过程中，面对面讲授多，动手操作机会非常宝贵，这也会在一定程度上影响教学效果。

4 MR 技术在骨科专科手术教学中的应用

4.1 MR 技术在脊柱外科手术教学中的应用现状

脊柱脊髓功能重要且解剖结构复杂，手术风险高，对于术者而言，精细解剖结构的识别能力尤为重要。MR 技术在脊柱外科手术教学中已得到广泛应用。Winkler 等[9]研究表明，利用 MR 技术可以实现解剖结构（椎弓根）的可视化，且具有较高的准确性，为骨科青年医师的临床教学培训提供良好的技术支撑。余可谊等[10]发现，MR 技术在经皮椎间孔入路腰椎间盘切除术教学实践中，能够提升教学的三维空间感和学员兴趣度，具有较好的应用前景。蒋佳霖等[11]将 MR 技术应用于脊柱脊髓损伤的本科生教学中，能够显著提升课堂氛围及学员学习的主动性。国内有学者将 MR 技术应用于经皮椎间孔入路腰椎间盘切除术的教学中，通过头戴式虚拟现实设备创设学习情境，将三维立体空间结构直观呈现出来，在增强课堂趣味性，提升学员学习主动性和三维立体想象力等方面具有独特优势。多项研究均表明，借助 MR 技术可模拟瘤体切除、椎弓根螺钉置入、神经根阻滞等操作，可以显著提高参训学员对脊柱常见手术操作的熟练程度，降低青年医师操作

试错的成本及对实体标本的需求[12-13]。此外，万磊等[14]发现，借助MR技术来呈现颅颈交界部位的三维构象，可以帮助年轻医生更好地理解颅底凹陷症的分型及诊断。

4.2　MR技术在创伤骨科手术教学中的应用

创伤骨科的损伤类型程度复杂多变，加之损伤的不可预见性，术中容易造成重要结构的损伤。利用MR技术模拟内固定及复位等操作，能够提升手术的安全性及准确度。Lee等[15]借助MR技术创建了一种能够实现骨科手术螺钉放置的混合现实操作环境，能够为手术操作者更加清晰地展现解剖结构，显著提升螺钉的植入效果和准确度。郝晓东等[16]通过HoloLens平台构建骶骨骨折的三维解剖模型并用于临床实习教学，能够有效增强学生的操作能力并提升学习效率，在骨科临床教学中具有较好的应用前景。高凡茹等[17]在分析实体骨折模型结合数据处理技术的基础上，开发出新的实体骨折模型，可实现手法复位与断端信息同步进行，有效解决了手法复位教学难度大这一实际问题。有学者借助虚拟仿真技术建立了桡骨远端伸直型骨折虚拟三维复位模型，在手法操作过程中，可以清楚地观察到正骨手法效应改善骨折断端的移位情况，为正骨手法的推广及对效应机制研究提供了支撑。赵志球等[18]建立了基于虚拟现实技术的股骨远端骨折复位虚拟手术系统，可用于手术培训和术前规划。李宇晟和肖文峰[19]利用Visual Volume三维重构软件制作骨折及毗邻组织的典型病例模型，通过混合现实眼镜进行病例解剖，显著提升学生的临床应用实践能力。此外，MR技术还可以从形态学角度出发，针对骨性结构、软组织等进行建模，帮助骨科医师更好地理解手术原则及入路选择等问题，进而降低实践操作过程中的手术风险。

4.3　MR技术在关节外科手术教学中的应用

关节系统解剖是骨科专科领域中较为复杂的部分，手术实践性较强。当前，关于MR技术在关节置换术教学中的应用效果已被证明，尤其是在提升受训者手术实践技能方面，可作为一种理想的手术技能训练工具[20-21]。Condino等[22]借助Holo Lens混合现实技术开展髋关节置换手术教学，在感觉反馈及语音交互方面获得了积极反馈。Erickson等[23]将混合现实技术应用于肩关节置换术前培训，可提升住院医师术中导丝置入的准确性。此外，随着新技术、新理念的更新迭代，以关节镜为代表的手术技术也在不断进步，基于虚拟现实技术、增强现实技术的教学也在关节镜手术教学中得到了初步应用[24]，而有关MR技术在关节镜手术教学中的应用值得进一步探索。

4.4　MR技术在微创手术教学中的应用

近年来，骨科微创手术随着技术、设备的发展更新也在不断进步发展，也更加强调手术的微创化和精细化。当前，以MR技术为基础的模拟化医学教学模式已经在微创手术教学活动中得到了广泛应用。李欢等[25]学者采用头戴式全息眼镜MR方式开展腓骨瓣制备教学，在有效提升医师基础理论水平同时，还能够锻炼其动手操作能力，在显微外科教学中具有较好的应用前景。Gottschalk等[26]将MR技术应用于颈椎侧位螺钉固定模拟训练中，结果发现，基于3D导航系统的模拟训练可以显著提升螺钉置入效果。Yu等[27]发现，MR技术可被应用于经皮椎间孔镜椎间盘切除术培训及术前规划训练，能够有效减少穿刺及透视时间，可作为一种标准化的培训方法。Wucherer等[28]学者利用MR技术创设虚拟场景，并将其引入到经皮椎体成形术临床教学中，结果发现此种教学方式能够有助于提升医师对于术中突发事件的应对和处置能力，同时能够改善模拟训练质效。此外，MR技术还可以在模拟训练中提高穿刺位点定位的准确性，缩短手术时间并减少额外的辐射暴露[29]。

5　MR技术在骨科专科手术教学中的局限性

综合骨科各亚专业的手术教学实践情况来看，MR技术在结合真实人体直观展示重要解剖结构、提高学习者解剖认识层次、理解手术设计和形态认知、模拟手术入路和高风险手术教学练习等方面均具有很大优势。但MR技术在骨科手术培训中仍存在一定的局限性：①设备成本较高，普及难度大。混合现实教学所需的仪器设备比较昂贵[30]，且需要专业技术人员对数据模型进行充分的准备，对硬件及软件的要求较高；②MR技术对于软组织的模拟效果欠佳，混合现实技术的数据主要来源于临床影像学资料（CT、MRI等），对于软组织结构的模拟较少；③虚拟图像与实体结构匹配欠佳，缺少在实际操作过程中的触觉体验，这也是导致模拟训练和真实操作间差异的原因之一；④虚拟模型的实践操作学习需要花费一定的时间，对于临床教学活动来说，如何合理安排教学时间还需要深入探讨。未来随着手术导航、手术机器人、3D打印等多种新技术的应用，新的数字影像技术也将会为医学教学领域革新带来新的机遇和挑战，其在骨科手术实践教学中的应用也值得进一步推广和探索。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 李晓祥：查阅文献资料、撰写论文；王俊杰：查阅文献资料；樊俊俊：提出论文构思、修改指导论文撰写

参考文献

[1] 章晓云，曾浩，刘桦，等. 3D技术结合CBL及PBL教学模式在骨科手术学教学中的应用价值[J]. 山西中医药大学学报，2023，24(6)：691-695. DOI: 10.19763/j.cnki.2096-7403.2023.06.22.

[2] Su S, Wang R, Zhou R, et al. The effectiveness of virtual reality, augmented reality, and mixed reality training in total hip arthroplasty: a systematic review and meta-analysis [J]. J Orthop Surg Res, 2023, 18(1): 121. DOI: 10.1186/s13018-023-03604-z.

[3] 彭歆，章文博. 混合现实技术在口腔颌面部肿瘤诊疗中的应用[J]. 口腔疾病防治，2024，32(6)：401-410. DOI: 10.12016/j.issn.2096-1456.2024.06.001.

[4] Verhey JT, Haglin JM, Verhey EM, et al. Virtual, augmented, and mixed reality applications in orthopedic surgery [J]. Int J Med Robot, 2020, 16(2): e2067. DOI: 10.1002/rcs.2067.

[5] 王祎，王峻峰，杨超，等. 数字医学技术在肝脏分段及解剖性肝切除中的应用现状[J]. 中华肝脏外科手术学电子杂志，2023，12(1)：16-21. DOI: 10.3877/cma.j.issn.2095-3232.2023.01.004.

[6] 白文博，陈华. 计算机辅助技术在颅颌面部整形中应用的研究进展[J]. 中国美容医学，2021，30(11)：182-186. DOI: 10.15909/j.cnki.cn61-1347/r.004765.

[7] 李龙倜，周庆焕，陈新，等. 多模态视角下虚拟现实技术在骨科护理临床实践教学中的应用[J]. 卫生职业教育，2023，41(24)：92-95. DOI: 10.20037/j.issn.1671-1246.2023.24.28.

[8] 毛宁波，张煜，侯雨潇，等. 扩展现实技术在骨科手术实践及教学培训中的应用研究进展[J]. 中华骨与关节外科杂志，2021，14(10)：890-896. DOI: 10.3969/j.issn.2095-9958.2021.10.15.

[9] Winkler D, Kropla F, Busse M, et al. Mixed reality for spine surgery: a step into the future with a human cadaveric accuracy study [J]. Neurosurg Focus, 2024, 56(1): E10. DOI: 10.3171/2023.10.FOCUS23619.

[10] 余可谊，李子全，蔡思逸，等. 混合现实技术在经皮椎间孔入路腰椎间盘切除术临床教学中的应用[J]. 基础医学与临床，2019，39(6)：916-920. DOI: 10.3969/j.issn.1001-6325.2019.06.030.

[11] 蒋佳霖，孙璟川，罗溪，等. 混合现实技术应用于脊柱外科教学的效果分析[J]. 中国医学教育技术，2020，34(2)：230-232，243. DOI: 10.13566/j.cnki.cmet.cn61-1317/g4.202002028.

[12] Coelho G, Defino HLA. The role of mixed reality simulation for surgical training in spine: phase 1 validation [J]. Spine, 2018, 43(22): 1609-1616. DOI: 10.1097/BRS.0000000000002856.

[13] Wu X, Liu R, Yu J, et al. Mixed reality technology launches in orthopedic surgery for comprehensive preoperative management of complicated cervical fractures [J]. Surg Innov, 2018, 25(4): 421-422. DOI: 10.1177/1553350618761758.

[14] 万磊，庾伟中，王建华，等. 基于混合现实的三维测量技术辅助诊断颅底凹陷症[J]. 中国骨科临床与基础研究杂志，2018，10(5)：280-284.

[15] Lee SC, Fuerst B, Tateno K, et al. Multi-modal imaging, model-based tracking, and mixed reality visualisation for orthopaedic surgery [J]. Healthc Technol Lett, 2017, 4(5): 168-173. DOI: 10.1049/htl.2017.0066.

[16] 郝晓东，张元智，吴超，等. 混合现实技术在骶骨骨折固定术教学中的应用效果[J]. 中国骨科临床与基础研究杂志，2021，13(3)：97-102. DOI: 10.3969/j.issn.1674－666X.2021.03.006.

[17] 高凡茹，魏德健，张俊忠，等. 虚拟中医正骨系统实体骨折模型的制备[J]. 山东中医杂志，2017，36(5)：379-382.

[18] 赵志球，谢叻，王丹，等. 股骨远端骨折复位虚拟手术的研究[J]. 系统仿真学报，2009，21(S1)：242-244.

[19] 李宇晟，肖文峰. 基于混合现实技术的骨科教学模式的构建及应用[J]. 继续医学教育，2021，35(6)：28-30.

[20] Goh GS, Lohre R, Parvizi J, et al. Virtual and augmented reality for surgical training and simulation in knee arthroplasty [J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2021, 141(12): 2303-2312. DOI: 10.1007/s00402-021-04037-1.

[21] Mandal P, Ambade R. Surgery training and simulation using virtual and augmented reality for knee arthroplasty [J]. Cureus, 2022, 14(9): e28823. DOI: 10.7759/cureus.28823.

[22] Condino S, Turini G, Parchi PD, et al. How to build a patient-specific hybrid simulator for orthopaedic open surgery: benefits and limits of mixed-reality using the microsoft HoloLens [J]. J Healthc Eng, 2018, 2018: 5435097. DOI: 10.1155/2018/5435097.

[23] Erickson J , Schneider G , Amer K ,et al.Mixed reality holographic assisted placement of glenoid guidewire in shoulder arthroplasty: comparison to patient specific instrumentation in A B2 glenoid [J].J Shou Elbow Surg, 2022, 31(3): e161-e162.

[24] 翟吉良，金迪，杨波. 虚拟现实技术在膝关节镜手术教学中的应用探索[J]. 中华骨与关节外科杂志，2020，13(10)：840-843. DOI: 10.3969/j.issn.2095-9958.2020.10.09.

[25] 李欢，杨子桧，许立志，等. 混合现实技术在腓骨瓣制备临床教学中的应用[J]. 中华口腔医学杂志，2021，56(7)：693-696. DOI: 10.3760/cma.j.cn112144-20201210-00609.

[26] Gottschalk MB, Yoon ST, Park DK, et al. Surgical training using three-dimensional simulation in placement of cervical lateral mass screws: a blinded randomized control trial [J]. Spine J, 2015, 15(1): 168-175. DOI: 10.1016/j.spinee.2014.08.444.

[27] Yu H, Zhou Z, Lei X, et al. Mixed reality-based preoperative planning for training of percutaneous transforaminal endoscopic discectomy: a feasibility study [J]. World Neurosurg, 2019, 129: e767-e775. DOI: 10.1016/j.wneu.2019.06.020.

[28] Wucherer P, Stefan P, Abhari K, et al. Vertebroplasty performance on simulator for 19 surgeons using hierarchical task analysis [J]. IEEE Trans Med Imaging, 2015, 34(8): 1730-1737. DOI: 10.1109/TMI.2015.2389033.

[29] Hu MH, Chiang CC, Wang ML, et al. Clinical feasibility of the augmented reality computer-assisted spine surgery system for percutaneous vertebroplasty [J]. Eur Spine J, 2020, 29(7): 1590-1596. DOI: 10.1007/s00586-020-06417-4.

[30] 刘书中，吴昀效，刘勇，等. 混合现实技术在脊柱微创手术术前规划及教学培训中的应用现状及前景[J]. 中国骨与关节杂志，2022，11(6)：461-464. DOI: 10.3969/j.issn.2095-252X.2022.06.010.

（收稿日期：2024-01-28）
（本文编辑：唐宗顺）