

· 综 述 ·

# 混合现实技术在神经外科临床教学中的探索与实践

刘 将 李明武 曾明慧 贾 力 姜晓峰 凌士营

【关键词】神经外科;混合现实技术;临床教学

【文章编号】1009-153X(2022)09-0784-04

【文献标志码】A

【中国图书资料分类号】R 651

尽管神经导航、立体定向、手术机器人等手术辅助工具应用于临床医疗日益成熟,但神经系统解剖的学习、手术入路的选择、切口的设计以及手术模拟操作仍然是神经外科医师规范化培训(简称规培)、专科培训(简称专培)的基本内容。如何让神经外科规培及专培医师充分理解神经结构之间复杂的空间关系,并完成三维空间的重构,是神经外科临床教学的重点和难点。近年来,虚拟现实(virtual reality, VR)和增强现实(augmented reality, AR)技术已然突破了传统的教学模式,在医学教学领域得到了广泛应用<sup>[1-5]</sup>。混合现实(mixed reality, MR)技术是在 VR 及 AR 基础上的技术延伸,尤其在空间定位、三维信息处理及信息传递交互等方面有进一步提高<sup>[6]</sup>,为神经外科临床教学提供了新的途径。本文就 MR 技术在神经外科临床教学中的探索与实践进行总结。

## 1 MR 技术的概念及其在医疗领域的应用现状

VR 技术是利用计算机生成虚拟的、可体验的数字环境,通过输出设备为用户提供视觉、听觉、触觉等感官模拟,将用户与现实世界隔离,使用户仿佛置身于现实世界之中,但无法与现实环境交互。AR 技术是指在现实世界中添加一个由计算机构建的虚拟环境,相对于 VR 技术,AR 具有虚实结合的特点,达到超越现实的感官体验。MR 技术是 VR 技术的进一步发展和 AR 技术的延伸,是将数字信息利用计算机图形处理技术和可视化技术生成真实环境中不存在的虚拟图像,并通过传感器技术将虚拟图像投射至真实环境中并呈现真实对象的特征。真实的环境

和虚拟的图像实时地显示在同一空间中,实现了现实与虚拟世界的融合。同时,MR 在现实世界、虚拟世界和用户之间搭起一个交互反馈的信息回路,在新的可视化环境里物理和数字对象共存,并实时互动,给用户一种难以置信的现实和虚拟混合沉浸式体验。因此,MR 较 VR、AR 延伸了用户的感知能力,增强了用户体验的真实感<sup>[7,8]</sup>。

MR 系统主要有三个特点:现实世界与虚拟世界的深度契合、虚拟模型与现实世界的精确匹配、环境和用户之间的实时交互性<sup>[8,9]</sup>。多模态 MR 技术将 CT、MRI 等影像数据融合后行三维可视化重建,通过微软 Hololens 眼镜将虚拟立体成像与手术操作区域配准,用作术中定位与引导<sup>[10]</sup>。不同于神经导航的是,MR 技术还有“透视”效果,结合 3D 打印模型,可行无风险、可重复的模拟手术操作。MR 技术的这些特点让其成为应用于医学前沿的流行信息技术,在医学教育培训、医学研究、医患沟通和临床治疗等方面带来了革命性的变化,促进了医学的快速发展。有学者应用 MR 技术辅助颞骨解剖教学及经椎间孔入路腰椎间盘突出切除术的临床教学<sup>[11,12]</sup>。还有学者利用可穿戴 MR 全息影像技术指导经颅穿刺置管,证实其安全、可靠<sup>[13]</sup>。在颅内肿瘤手术、癫痫手术以及脊柱手术中,基于多模态 MR 技术展现的术中可视化技术已经得到了初步应用,手术的准确性与安全性得到了提升,显示出广阔的应用前景<sup>[14-16]</sup>。

## 2 神经外科教学的难点及存在问题

2.1 神经解剖学的学习 传统医学教育依赖于解剖图谱中二维图像以及尸体解剖,但解剖标本短缺,且无法重复利用,导致低年资医师很难将二维图像在脑海中完成空间重构。

2.2 颅内病灶定位及切口设计 颅内病灶的术前影像学检查多以二维图像呈现,低年资医师将影像学的病灶范围与病人颅内病灶的实际位置建立对应的

doi:10.13798/j.issn.1009-153X.2022.09.022

基金项目:中国科学技术大学 2020 年度校级本科质量工程项目(2020xjyxm105)

作者单位:230036 合肥,中国科学技术大学附属第一医院(安徽省立医院)神经外科(刘 将、李明武、曾明慧、贾 力、姜晓峰、凌士营)

关系十分困难,而颅内病灶的定位恰恰是神经外科的重要基础,定位偏差就无法设计出合理的切口。尽管神经导航有助于培养这种视觉空间技能,但难以反复进行临床实践,故学习曲线较长,制约了神经外科青年医师的成长。

2.3 术中解剖识别与操作 神经外科手术操作要求精准、细致,术中在暴露或处理病灶时,术者应对周边结构了然于心。低年资医师在术中对于深在的结构难以识别,对于非直视下操作如脑室穿刺难以灵活把握,由此导致手术并发症增多。

3 MR 技术在神经外科临床教学中的应用及优势

MR 技术通过采集正常的颅脑影像学原始扫描数据,利用计算机软件进行分析重建,将颅脑解剖结构以三维图像呈现在真实环境中(图 1)。由此,把临床解剖教学过程从使用二维图像转变为三维立体结构,可以从不同角度、不同位置进行“透视”,有助于低年资医师直观了解神经解剖及重要解剖结构之间的空间位置关系,缩短学习曲线,提高专培的效率,并节约教学成本<sup>[17]</sup>。另外,MR 技术还可以应用于远程医学教育培训。新型冠状病毒肺炎疫情发生后,很多学生无法返校,有大学应用 MR 技术远程教授解剖学课程,发现 MR 技术有潜力解决成本和获取问题,可望在世界各地实现同质化、高质量的医学教育<sup>[18]</sup>。

神经肿瘤教学是神经外科规培的重要内容。在颅内肿瘤临床教学过程中,可以利用 MR 技术立体呈现颅脑解剖结构及肿瘤在颅内的位置、大小及形态,并与 3D 打印的病人头颅模型进行配准(图 2),进行手术切口设计及手术入路模拟教学,理解手术暴露及切除过程中肿瘤与周边神经、血管、纤维束的毗邻关系,体会手术操作中的注意事项。此外,还可以建立颅脑肿瘤 MR 技术病例数据库,让专培医师通过不同部位的神经肿瘤,理解不同手术入路的精髓。借助 MR 技术进行术前规划和手术模拟练习<sup>[19]</sup>,提供了一种高效、沉浸式的全新教学模式,对病人无任何风险,且可以反复操作、回顾总结,有助于低年资医生增强对颅内肿瘤手术的理解,缩短培养周期<sup>[20,21]</sup>。

经颅穿刺广泛用于脑内血肿、脑积水、脑脓肿以及功能神经外科疾病。由于靶点位置不可见,低年资医师经验匮乏难以把握,是神经外科临床教学的重点难点。MR 技术可以协助术者“看穿大脑”,设计并优化穿刺路径,结合 3D 打印技术即可以实现模拟

手术穿刺教学。有研究表明接受 MR 技术辅助手术模拟训练的医生对相关解剖的掌握程度、穿刺操作的熟练程度、穿刺部位的选择以及模拟操作的自信心均高于接受常规训练的医生<sup>[22]</sup>。一系列研究显示 MR 技术能够提升神经外科穿刺类技能的培训效率,尤其适用于各种以任务为导向的场景,包括侧脑室穿刺<sup>[23]</sup>、椎弓根螺钉的植入和椎体成形手术等<sup>[12]</sup>。经皮卵圆孔穿刺微球囊压迫术是治疗原发性三叉神经痛微创技术之一,术中精准穿刺卵圆孔是手术成功

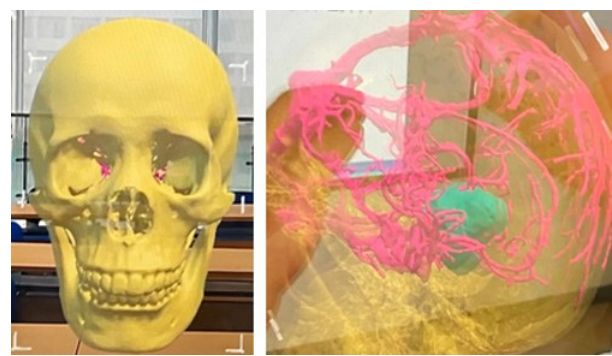


图 1 虚拟模型立体呈现颅脑解剖结构及颅内肿瘤位置与周边解剖

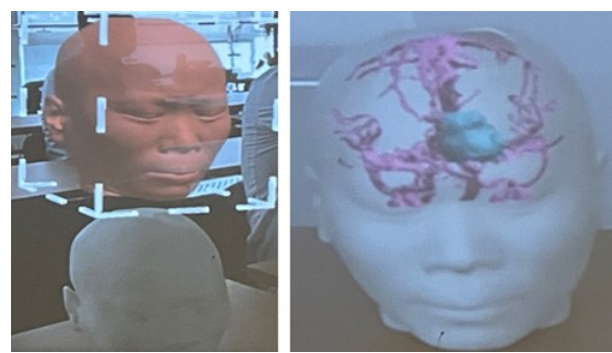


图 2 虚拟模型与 3D 打印的颅骨模型匹配过程以及匹配后形成的“透视”效果

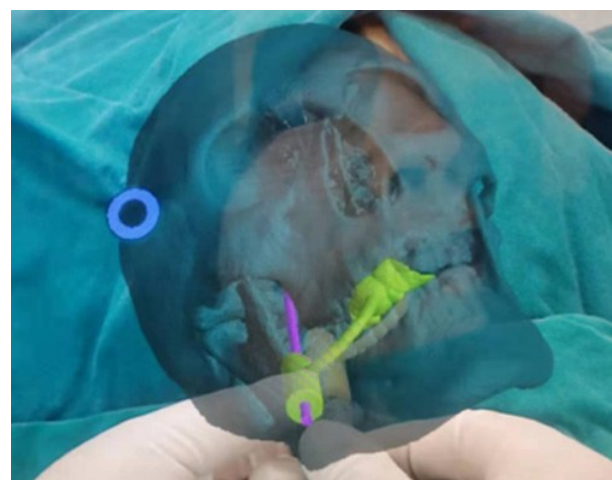


图 3 可穿戴混合现实全息影像技术辅助卵圆孔穿刺治疗“三叉神经痛”



的前提。我科应用可穿戴 MR 全息影像技术辅助术中穿刺置管(图 3),提高了穿刺的准确度和效率。

#### 4 MR 技术的局限性

影像学检查的原始数据是 MR 技术重建虚拟模型的基础,因此影像学的成像质量对模型重建有决定性影响。MR 技术实时交互时,手势操作难以精确调整模型角度,具有一定的滞后性。MR 设备仅有视觉输出,缺乏触觉力反馈和其他感官的模拟。虚拟模型与真实病人难以精准匹配<sup>[24]</sup>,不能解决脑脊液丢失等导致的脑移位问题,限制了 MR 技术的术中应用。佩戴 MR 技术头戴式设备时,不能同时使用显微镜手术。因此,MR 技术的应用目前大多仍处于探索阶段。

#### 5 总结与展望

MR 技术是 VR、AR 技术的进一步延伸,在神经外科临床教学方面大有可为,包括神经解剖的学习、教学查房、术前规划、模拟手术等,通过立体呈现的颅脑解剖及病灶部位,虚拟与现实交互融合,即时干预与反馈,能有效减少学习曲线,增强神经外科医生的视觉空间技能,达到事半功倍的教学效果。随着技术的革新,MR 技术将在医学教育培训、医学研究、医患交流和临床治疗领域带来巨大变革,显示其广泛的应用价值。

#### 【参考文献】

- [1] Ayoub A, Pulijala Y. The application of virtual reality and augmented reality in Oral & Maxillofacial Surgery [J]. BMC Oral Health, 2019, 19(1): 238.
- [2] Eck U, Winkler A. Display technologies for augmented reality in medical applications [J]. Unfallchirurg, 2018, 121(4): 278-285.
- [3] 林伟,陈燕伟,董冀晨,等.虚拟现实技术在神经外科临床教学中的探索和实践[J].医学教育研究与实践,2021,29(3): 482-486.
- [4] Barsom EZ, Graafland M, Schijven MP. Systematic review on the effectiveness of augmented reality applications in medical training [J]. Surg Endosc, 2016, 30: 4174-4183.
- [5] 孙国臣,余新光,陈晓雷,等.基于多模态功能神经导航的虚拟现实及增强现实技术在神经外科教学中的应用[J].中国医学教育技术,2015,29(1): 66-69.
- [6] Hu HZ, Feng XB, Shao ZW, *et al.* Application and prospect of mixed reality technology in medical field [J]. Curr Med Sci, 2019, 39(1): 1-6.
- [7] 推洪波,孙博宇,孙国柱.混合现实技术在神经外科精准诊疗领域应用[J].脑与神经疾病杂志,2021,29: 582-585.
- [8] Zhang C, Gao H, Liu Z, Huang H. The potential value of mixed reality in neurosurgery [J]. J Craniofac Surg, 2021, 32(3): 940-943.
- [9] Ferrari V, Megali G, Troia E, *et al.* A 3-D mixed-reality system for stereoscopic visualization of medical dataset [J]. IEEE Trans Biomed Eng, 2009, 56(11): 2627-2633.
- [10] Qi Z, Li Y, Xu X, *et al.* Holographic mixed-reality neuronavigation with a head-mounted device: technical feasibility and clinical application [J]. Neurosurg Focus, 2021, 51(2): E22.
- [11] Maniam P, Schnell P, Dan L, *et al.* Exploration of temporal bone anatomy using mixed reality (HoloLens): development of a mixed reality anatomy teaching resource prototype [J]. J Vis Commun Med, 2020, 43(1): 17-26.
- [12] 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突出切除术临床教学中的应用[J].基础医学与临床,39(6): 916-920.
- [13] 李 晔,王 宁,张文耀,等.可穿戴混合现实全息影像技术指导经颅穿刺置管的初步研究[J].中华神经外科杂志,2019,35(1): 51-55.
- [14] Chiacchiaretta P, Perrucci MG, Caulo M, *et al.* A dedicated tool for presurgical mapping of brain tumors and mixed-reality navigation during neurosurgery [J]. J Digit Imaging, 2022. doi:10.1007/s10278-022-00609-8. Published online ahead of print.
- [15] Iizuka K, Sato Y, Imaizumi Y, *et al.* Potential efficacy of multimodal mixed reality in epilepsy surgery [J]. Oper Neurosurg (Hagerstown), 2021, 20(3): 276-281.
- [16] Buch VP, Mensah-Brown KG, Germi JW, *et al.* Development of an intraoperative pipeline for holographic mixed reality visualization during spinal fusion surgery [J]. Surg Innov, 2021, 28(4): 427-437.
- [17] Romand M, Dugas D, Gaudet-Blavignac C, *et al.* Mixed and augmented reality tools in the medical anatomy curriculum [J]. Stud Health Technol Inform, 2020, 270: 322-326.
- [18] Wish-Baratz S, Crofton AR, Gutierrez J, *et al.* Assessment of mixed-reality technology use in remote online anatomy education [J]. JAMA Netw Open, 2020, 3(9): e2016271.
- [19] Al Janabi HF, Aydin A, Palaneer S, *et al.* Effectiveness of the HoloLens mixed-reality headset in minimally invasive

surgery: a simulation- based feasibility study [J]. Surg Endosc, 2020, 34(3): 1143-1149.

[20] 刘嘉霖,赵振宇,鲁志浩,等.混合现实技术在神经肿瘤临床教学中的应用[J].重庆医学,2020,49(10):1715-1717.

[21] Gao Y, Tan K, Sun J, *et al.* Application of mixed reality technology in visualization of medical operations [J]. Chin Med Sci J, 2019, 34(2): 103-109.

[22] Chen ZY, Liu YQ, He BW, *et al.* Application of ventricle puncture training system based on mixed reality in medical education and training [J]. Electron J Trauma Emerg, 2019,

7: 5-10.

[23] 杜昌旺,史罗宁,王 玫,等.3D 打印联合混合现实技术在侧脑室穿刺教学中的运用研究[J].中国医学教育技术,2019,33(5):603-605.

[24] Gu W, Martin-Gomez A, Cho SM, *et al.* The impact of visualization paradigms on the detectability of spatial misalignment in mixed reality surgical guidance [J]. Int J Comput Assist Radiol Surg, 2022. Published online ahead of print. doi:10.1007/s11548-022-02602-6.

(2022-02-28 收稿,2022-04-18 修回)

. 个案报告 .

脑底异常血管网病合并豆纹动脉动脉瘤栓塞治疗 1 例

曹 亮 许爱刚 张庆荣 杨咏波

【关键词】脑底异常血管网病;血流相关性动脉瘤;烟雾病;豆纹动脉;血管内栓塞

【文章编号】1009-153X(2022)09-0787-01 【文献标志码】 B 【中国图书资料分类号】R 743; R 815.2

1 病例资料

54 岁女性,因突发头痛、呕吐 12 h 于 2017 年 3 月 1 日入院。头颅 CT 显示双侧脑室及胼胝体出血(图 1A)。CTA 显示血肿旁动脉瘤(图 1B)。DSA 示左侧颈内动脉远端渐进性狭窄伴闭塞,双侧前动脉供血区及左侧中动脉供血区烟雾状血管增生;右侧大脑中动脉结构尚完整,豆纹动脉外侧组有增生血管远端可见内侧指向动脉瘤(图 1C)。抗感染、补液等治疗 1 周,复查 DSA 显示动脉瘤仍存在,遂行栓塞治疗,术后造影确认动脉瘤消失(图 1D)。出院时无神经功能缺损。

2 讨论

脑底异常血管网病合并的血流相关性动脉瘤可分为周围动脉型和主要动脉型,后者多位于 Willis 动脉环附近,多为真性囊性动脉瘤;前者是由于代偿新生的侧支血管形成微小动脉瘤或假性动脉瘤,多位于异常血管网内。豆纹动脉动脉瘤属于周围动脉型。豆纹动脉动脉瘤通常分为 3 型,其中 I、II 型位于蛛网膜下腔,III 型位于脑实质内。约 1/3 的豆纹动脉动脉瘤有自发消失的倾向,可能原因有胶质增生、自发性血栓形成以及细菌感染性末梢假性动脉瘤的抗感染治疗。多数学者认为保守治疗同时进行血管造影监测可作为豆纹

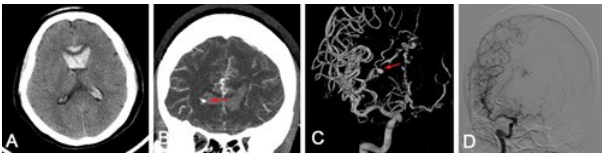


图 1 脑底异常血管网病合并豆纹动脉动脉瘤栓塞治疗前后影像

A. 术前头颅 CT 显示胼胝体压部和脑室出血;B. CTA 显示血肿腔周边存在动脉瘤瘤体(↑示);C. 术前 DSA 显示豆纹动脉动脉瘤(↑示);D. 弹簧圈栓塞后 DSA 显示载瘤动脉及动脉瘤不显影

动脉动脉瘤首选治疗方法,如果动脉瘤持续存在或增大才考虑行外科治疗。有学者认为外科治疗脑底异常血管网病合并豆纹动脉动脉瘤后进行颅内外血运重建术,更加安全。I 型豆纹动脉动脉瘤可以清楚暴露,应首选开颅夹闭;II、III 型豆纹动脉动脉瘤应首选介入治疗。豆纹动脉动脉瘤往往较小,位置深,术中定位困难,且易破裂;当合并脑底异常血管网病时,手术有破坏重要侧支循环的风险。与手术相比,血管内介入治疗对神经组织的损伤较少,还可以规避一些固有的手术风险。由于豆纹动脉和大脑中动脉近端成锐角且豆纹动脉本身细小脆弱,辨别、超选载瘤血管是介入治疗成功的关键,有时需要反复多次超选造影鉴别。但这种反复刺激可诱发脑血管痉挛甚至破裂出血,导致手术失败。

总之,对于对豆纹动脉动脉瘤,除合并大量血肿外,首选保守治疗并复查血管造影。如果动脉瘤持续存在或扩大,则应进行手术或血管内治疗,预后良好。

(2021-01-16 收稿,2021-04-17 修回)

doi:10.13798/j.issn.1009-153X.2022.09.023

作者单位:210000 南京,南京大学医学院附属南京鼓楼医院神经外科(曹 亮、张庆荣、杨咏波);210000 南京,南京大学医学院附属康仙林鼓楼医院神经外科(曹 亮、许爱刚);

通讯作者:杨咏波,E-mail:13813041895@139.com