·毕业后医学教育·

多模态神经影像三维重建和虚拟现实技术在神经外科专科医师培训中的应用

李文奘　李学刚　何明莲　陈图南　冯华　李飞
陆军军医大学第一附属医院神经外科，重庆　400038
通信作者：李飞，Email：feifly7887@126.com

【摘要】 神经系统解剖复杂、手术风险高，对神经外科医师的基础知识、空间思维、操作经验要求很高。本研究介绍了虚拟现实技术助力神经外科专科医师培训实践。通过神经影像学与虚拟现实技术多模态融合，桥接神经影像与手术视野，为医师提供了全息三维空间影像，使其能够在肉眼直视下进行手术规划和操作模拟；为下一步现实手术过程提供定位依据和实践指导，可显著缩短神经外科专培医师的培养周期并提高学习成效；从多个层面提高专培医师的能力水平，并对神经外科专科医师培训产生深远影响。

【关键词】 多模态虚拟现实；　增强现实；　神经外科专科医师培训
【中图分类号】 R74
基金项目：国家自然科学基金青年项目（81901213）；军队医学科技青年培育计划（21QNPY013）
DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20200904-01251

化评价方式，有效地促进教与学双方的互动，积极营造以学生为中心的教学和评价环境；同时评价过程中创造了相互学习的宽松氛围，让学生对知识有更深的理解与认识，充分调动了学生的学习热情[10]。故基于多元评价的综合教学有助于提高实习生对教学的满意度，具有普及推广意义。

利益冲突　所有作者声明无利益冲突
作者贡献声明　乔鹏飞：教学设计及实施；张好刚：论文撰写；王夫景：修改论文

参考文献

[1] Esperandio MRG, de Souza YQ, Nadalin O, et al. Spirituality in clinical practice: the perspective of Brazilian medical students [J]. J Relig Health, 2021, 60(3): 2154-2169. DOI: 10.1007/s10943-020-01141-1.
[2] 赵宝成，王振军. 案例教学法在普外科临床带教思维能力培养中的应用[J]. 继续医学教育，2018，32(7)：36-37. DOI: 10.3969/j.issn.1004-6763.2018.07.020.
[3] 韩思阳，滕珺. 培养儿童全球意识促进国际理解合作：顾明远对话霍华德·加德纳与霍普·莱克特[J]. 比较教育研究，2021，43(3)：3-7. DOI: 10.3969/j.issn.1003-7667.2021.03.001.
[4] 谷鸿喜，韩玉霞，王丽娟，等. 基于多元综合评价体系的课堂教学质量评价实践与思考[J]. 医学教育管理，2020，6(1)：6-10. DOI: 10.3969/j.issn.2096-045X.2020.01.002.
[5] Moyo M, Shulruf B, Weller J, et al. Effect of medical students' values on their clinical decision-making [J]. J Prim Health Care, 2019, 11(1): 64-74. DOI: 10.1071/HC18055.
[6] 郜玉峰，李家斌. 基于真实诊疗实践的多元评价体系在抗菌药物合理应用培训中的作用[J]. 蚌埠医学院学报，2021，46(7)：937-939. DOI: 10.13898/j.cnki.issn.1000-2200.2021.07.024.
[7] 王燕，吴小青，雷桂花. 问题式学习教学管理模式在普外科临床带教管理中的应用价值分析[J]. 中国药物与临床，2019，19(6)：996-997. DOI: 10.11655/zgywylc2019.06.065.
[8] 崔颖，陈扬，王文婷，等. PBL结合LBL教学模式在临床输血实习带教中的应用与体会[J]. 临床输血与检验，2020，22(1)：36-38. DOI: 10.3969/j.issn.1671-2587.2020.01.009.
[9] 张兰，文方，黄华平. 微课结合情境演练对手术室实习医生的带教效果观察[J]. 中华医学教育探索杂志，2021，20(9)：1004-1007. DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20210310-00617.
[10] 黄丽春. PCMC与多元评价教学模式在妇科临床带教中的应用[J]. 中国卫生产业，2019，16(20)：131-132. DOI: 10.16659/j.cnki.1672-5654.2019.20.131.

（收稿日期：2021-09-21）
（本文编辑：唐宗顺）

Application of multi-modal neuroimaging three-dimensional reconstruction and virtual reality in neurosurgical specialists training

Li Wenyan, Li Xuegang, He Minglian, Chen Tunan, Feng Hua, Li Fei

Department of Neurosurgery, The Southwest Hospital, Army Medical University, Chongqing 400038, China

Corresponding author: Li Fei, Email: feifly7887@126.com

【Abstract】 Neurosurgery is considered as one of the most difficult areas in the field of medicine, and the complexity of nervous system is a leading cause. Therefore, it demands neurosurgeons possess basic knowledge, spatial thinking, and practical experiences. Here, we introduce a rapid developing technique applying multi-modal neuroimaging reconstruction and virtual reality, which constitutes a novel learning model for boosting the growth of neurosurgeons. The incorporation of multi-modal neuroimaging and virtual reality builds a bridge from two-dimensional image to actual surgical view. Neurosurgeons are able to perform surgical planning and simulation with naked eyes under the constructed three-dimensional hologram. The technique also provides evidence of accurate localization and guidance for operation. Therefore, multi-modal neuroimaging reconstruction and virtual reality are expected to tremendously promote the progress of young trainees, and can further enhance their all-round abilities. In short, this revolutionary learning model would impact the neurosurgical specialists training profoundly.

【Key words】 Multi-modal virtual reality;　Augmented reality;　Neurosurgical specialists training

Fund program: The National Natural Science Foundation of China Youth Project (81901213); Military Medical Science and Technology Youth Training Program (21QNPY013)

DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20200904-01251

神经系统是人体最为复杂的系统之一，在脑和脊髓中，灰质、白质、神经、动静脉等毗邻关系复杂。而在临床实践中，计算机断层扫描（computerized tomography，CT）、磁共振成像（magnetic resonance imaging，MRI）等神经影像学检查多提供二维图像信息。因此，要求神经外科医师具备很强的空间思维能力将各部位的结构关系梳理清晰，在制定手术方案时根据图像想象出病灶的位置及其与重要组织结构的位置关系，而误差的产生便在所难免。这种经验性过程给神经外科专科培训医师带来较大困扰，从而延长了其学习成长的周期。陆军军医大学第一附属医院神经外科实践运用的多模态神经影像三维重建和虚拟现实技术将为打破这一困局提供革命性技术手段，直接将二维图像与三维现实进行桥接，构建了革新性的学习路径，能够极大提高神经外科专培医师的学习效率，并从多个维度提高专培医师的能力水平。

1　多模态神经影像三维重建和虚拟现实技术

多模态神经影像三维重建是医学影像领域的技术突破，是利用计算机将不同种类的图像进行融合叠加（如头颅MRI、白质纤维束成像、功能磁共振等）。这种技术需要对不同图像信息进行大量分析计算，从而实现正确匹配，使图像具备多个维度的信息，为医生提供便捷、直观而丰富的决策依据。虚拟现实（virtual reality，VR）是近年来发展迅猛的新兴技术，它利用计算机构造出数字化虚拟环境，提供给使用者多种感觉（如视、触、听等）综合的沉浸式体验，而且使用者能够通过特定的输入设备，与该虚拟环境实现互动[1]。这种技术作为桥梁，连接虚拟和现实世界，极大地拓展了人们的认知手段，并在医学、通信、军事、教育、娱乐等国民生活诸多方面实现广泛应用[2-4]。

2　多模态神经影像三维重建和虚拟现实技术在神经外科中的应用

在神经外科实践过程中，操作视野受限，加之使用显微镜、体位改变、术区出血等因素，青年培训学员很容易在手术过程中迷失方向感、空间感，或者混淆病变组织与正常组织，以至于难以充分理解手术操作目的，从而被动进行操作，久而久之影响学习效果。因此，帮助专培医师建立立体思维，对提高学习效果非常重要。

利用多模态融合技术，可将所需的MRI、CT等图像数据导入3DIGO服务器进行虚拟建模，随后借助虚拟现实技术，通过在线模式进行三维视野下的手术规划和决策辅助。学员在阅读二维影像后，通过该虚拟现实系统，可直接在虚拟现实模拟的多模态三维影像上做手术操作模拟，直观看到不同深度的解剖毗邻关系；可以从多角度进行观察，便于规

划手术操作，将虚拟现实技术模拟的手术视野精确还原在实际视野下，从而能够在安全范围内操作，以避开重要的神经系统结构，确保在达到预期手术操作的同时，尽可能保护正常功能并减少术后的并发症[5]。

3　利用多模态神经影像三维重建和虚拟现实技术指导专培医师的实践

3.1　术前规划

以某中年女性患者为例，经头颅MRI检查提示右侧顶叶中央沟附近占位，考虑胶质瘤可能（图1A）。将其影像学检查进行多模态融合之后，学员即可直观地从不同角度、深度观察颅内结构的三维影像，特别是能够区分与肿瘤关系密切的中央后回和中央沟静脉，从而更好地制定手术方案（图1B）。在教学过程中，传统学习路径依靠影像学图片、图谱、教材结合空间构想形成术前规划思路，同时高度依赖上级医师指导。而在多模态虚拟现实技术组成的革新路径中，将获取的神经系统二维影像利用多模态融合，将皮肤、脑组织、血管、神经、病变组织等结构叠加于同一三维空间中，专培学员即可对病变组织、正常组织及相互间毗邻关系进行多角度直观观察，随后确定手术入路，对于如何切除病变组织和保护重要结构做到心中有数，实现了自主性、具象化手术规划（图2）。因此，相比较传统学习路径，革新路径能够使神经外科专培学员更加深入、生动地学习、应用神经系统病变的解剖、病理生理等理论知识，并且快速提升实际操作能力（手术规划、入路选择等）。

3.2　模拟手术

在该病例中，需要体会病灶区域重要组织的毗邻关系，充分暴露病变，确保在正式手术时能够尽可能切除肿瘤组织，同时尽可能保护中央后回、中央沟静脉等结构，避免术后并发症。教学实践中，学员在传统路径学习中主要依靠上级医师的口头指导，个人很难进行手术模拟操作。而在革新路径中，借助虚拟现实技术，学员可以通过视觉、触觉等输入反馈，全程、自主、生动体验到主刀手术操作的过程，上级医师在模拟系统中协助指导时也能够更为直观和高效（图2）。因此，在模拟手术阶段，革新学习路径能够极大提高学员手术操作水平，而在传统学习中，几乎无法进行手术前的模拟操作练习。

3.3　实践总结

学员在传统路径的学习中，往往在手术过程中被动地进行辅助操作，术中及术后依靠上级医师的指导和点评对学习成效进行总结，知识技能的积累较为片面和缓慢。而借助革新路径，学员得以在术中将模拟所得体验还原到具体操作中，时刻把握立体视野和组织毗邻的关系，对比模拟系统和现实操作的异同，协助上级医师进行手术。术后，上级医师根据专培学员术中表现进行评价指导，学员根据模拟和实践效果进行总结并进行针对性练习。由此，不断进行术前规划模拟—操作模拟—手术实践—对比总结—专项练习的学习流程，获得螺旋式提高。在该实践阶段，借助革新路径的学员可对模拟手术和实际手术操作体验进行相互反馈印证，对手术技能水平的提高大有裨益，并从下游至上游进一步夯实基础知识。另外，革新路径涉及神经外科学、影像学前沿、虚拟现实技术、计算机人机交互等多学科领域，提供了交叉学科成果突破的潜力。专培学员在实践总结中，若充分利用这个学习平台，将有望从各方面开拓研究思路、提高科研水平，产出神经外科临床研究、影像学研究、虚拟现实技术研究等成果。

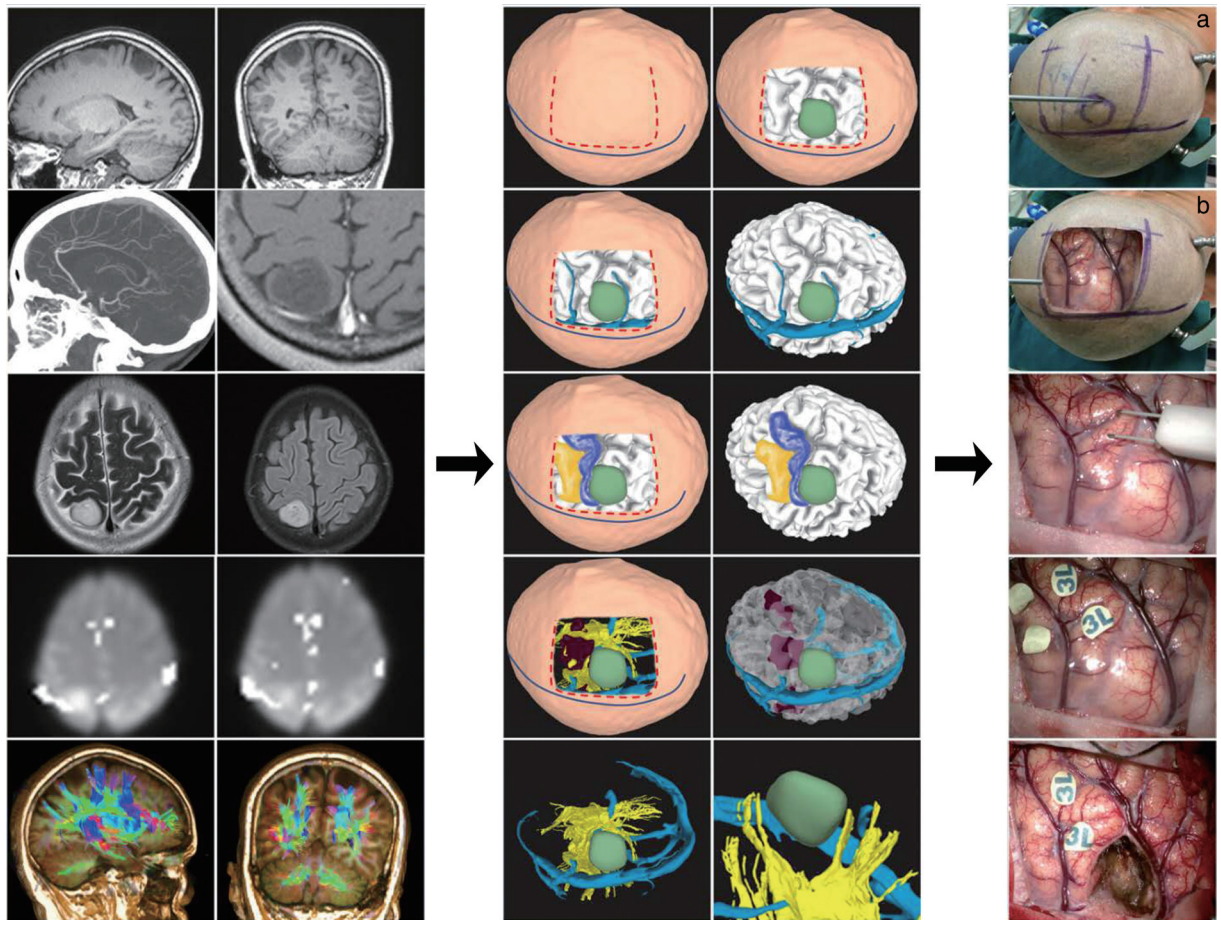
4　讨论

4.1　多模态神经影像三维重建和虚拟现实技术对专科医师学习过程的影响

多模态神经影像三维重建和虚拟现实技术的“主动性获取”和“交互性反馈”，改变了传统临床医学教学中以教师为中心，以教材、板书、幻灯片为媒介，以被动辅助主刀医师的教学方式；形成了以学员为中心，以临床问题为主导，以模拟现实技术为媒介，以直观主导模拟手术为实施方法的新型教学方式[6]。在既往的学习模式中，复杂的神经系统解剖、病变与正常组织的毗邻关系、神经影像到手术视野的转换等神经外科学习难点，常为学员带来枯燥、艰难、漫长的学习体验；而这种新型模式，提供了具有交互性和趣味性的培训体验，可极大激发学员的学习兴趣，促使学员将自身视为主刀医师、从主刀医师的角度进行手术规划、从多维度进行术区观察及模拟手术，提供了无限的试错空间，对于实际操作中的各种情况有更好的预见性，极大地促进了专培学员的学习成长速度[7]。

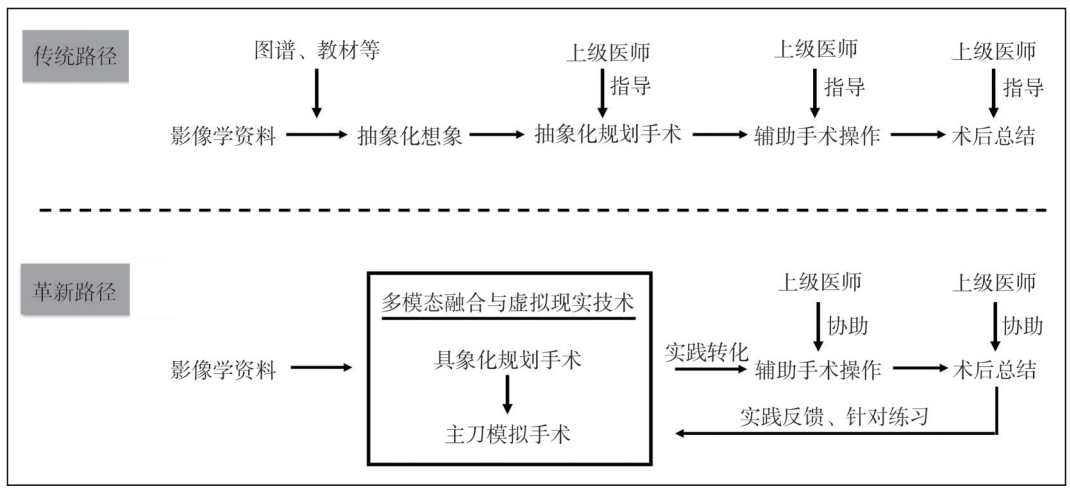
4.2　多模态神经影像三维重建和虚拟现实技术对临床实践的影响

在神经外科临床的传统实践中，医师在获取患者影像学资料后，依靠经验或上级医师指导，想象出病灶在患者体内的形态，构思出手术入路、切除



A. 病例中患者的头颅MRI影像　　B. 多模态重建模拟的病灶及与重要组织的毗邻　　C. 实际手术视野

图1　多模态神经影像三维重建和虚拟现实技术作为连接二维与三维的桥梁示意图



注：传统路径以上级医师指导为主导，学习材料及过程抽象化。革新路径以专培学员自身为主导，学习过程生动直观，并可高效反馈练习。

图2　神经外科学习路径示意图

方案等，随后在手术中根据实际情况进行比对和修正。这一过程对于经验不多的年轻医师而言，往往需要常年的日积月累甚至经验教训，才能达到术前认知与术中所见的偏差小、手术规划与实际操作的偏差小、手术预后与实际效果的偏差小，并妥善处理各种突发复杂状况[8]。相反，借助多模态虚拟现实技术对患者影像学资料进行重建处理，有助于学员全面规划手术操作并提供可靠的决策依据，从二

维影像顺利过渡到三维手术视野。在术前直观地从多维度对病灶进行观察，并模拟手术操作，可在短时间内达到练习与实操近乎“零差别”，极大提高手术效果和手术安全性。

4.3 多模态神经影像三维重建和虚拟现实技术对医患沟通的影响

神经外科的医患沟通是医师面临的日常问题，同时也是棘手问题，在近年医患矛盾恶化、伤医事件频出的背景下，需要尤其引起专培学员重视。非医学背景的患方人员对神经系统疾病的理解往往比较抽象，对神经外科手术的理解更为困难。这些认知差异可能造成患方依从性差或者激化医患矛盾，甚至导致恶性后果[9]。在借助多模态虚拟现实技术的情况下，专培医师能够将患者病灶直接展示在患方面前，使其短时间内在全维度对病情构建认知；医师对病灶部位、手术入路、操作方法、并发症等讲解都将游刃有余，甚至可以让患方看到模拟手术的过程，增加患方对病情的认识和对医师的理解，有助于双方的良好沟通和互信关系建立，改善医患关系。

5　结语

多模态神经影像三维重建和虚拟现实技术对神经外科的教授方式进行了革新。

在教学培训过程中，由于多模态神经影像三维重建和虚拟现实技术具备主动性获取、交互性反馈、高效性实操、直观性呈现等突出特色，对专培学员的学习认知、临床操作实践和医患沟通处理均会带来深远影响。其促进被动学习变为主动学习，极大降低了学习神经外科的门槛，增强了学员学习的主动性，并提供了类似于视频游戏的沉浸感和交互性反馈操作，提高了练习成效。多模态影像虚拟现实技术通过提供可靠的决策依据并全面规划手术操作，使学员练习和实践体验高度匹配，降低了神经外科手术的学习难度，提高了学员的手术操作水平。同时，这种先进技术对神经系统解剖的直观性呈现，建立了医患沟通的新平台，将改变以往的“医方强势主导，患方弱势防备”的局面，促进形成医患双方充分有效沟通、相互信任合作的新格局。这对于神经外科专培学员规避医疗事故、提高自信、树立形象大有裨益。然而该技术的推广运用还面临一些问题：其一，由于成本较高，基层医疗机构对开展这种高技术辅助设备可能动力不足，其应用将主要集中在大型医院，因此其培训受众范围将减少；其二，目前缺乏规范的培训教程，学员练习时主要依照带教医师的个人指导，缺乏系统化、标准化的教学流程。总体而言，多模态影像重建和虚拟现实技术是极具应用潜力的神经外科专培医师培训工具，对专培医师素质水平的全面提高具有重要意义。

利益冲突　所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明　李文奘、李学刚：构思论文、撰写论文；何明莲、陈图南：收集、总结相关文献资料；冯华、李飞：总体把关、审订论文

参考文献

[1] Bernardo A. Virtual reality and simulation in neurosurgical training [J]. World Neurosurg, 2017, 106: 1015-1029. DOI: 10.1016/j.wneu.2017.06.140.

[2] Zhang MWB, Ho RCM. Smartphone applications for immersive virtual reality therapy for Internet addiction and Internet gaming disorder [J]. Technol Health Care, 2017, 25(2): 367-372. DOI: 10.3233/THC-161282.

[3] 王俊丽. 计算机通信中虚拟现实技术的运用[J]. 电子技术与软件工程, 2019(17): 21-22.

[4] 牛增瑞. 基于系统仿真与虚拟现实的军事体系对抗探究[J]. 无线互联科技, 2019, 16(7): 15-16. DOI: 10.3969/j.issn.1672-6944.2019.07.008.

[5] 陈图南, 尹训涛, 李学刚, 等. 多模态融合的3D虚拟现实技术在中央区胶质瘤切除术中的应用[J]. 中华医学杂志, 2018, 98(17): 1302-1305. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2018.17.004.

[6] Pelargos PE, Nagasawa DT, Lagman C, et al. Utilizing virtual and augmented reality for educational and clinical enhancements in neurosurgery [J]. J Clin Neurosci, 2017, 35: 1-4. DOI: 10.1016/j.jocn.2016.09.002.

[7] 孔祥溢, 王任直. 虚拟现实技术在神经外科手术规划及教学培训中的应用[J]. 中国医学物理学杂志, 2017, 34(6): 641-643. DOI: 10.3969/j.issn.1005-202X.2017.06.020.

[8] Akhigbe T, Sattar M. Attitudes and perceptions of medical students toward neurosurgery [J]. World Neurosurg, 2014, 81(2): 226-228. DOI: 10.1016/j.wneu.2013.08.023.

[9] 于伯洋, 伍琳, 许苹, 等. 某军队医院神经外科医患关系现状[J]. 解放军医院管理杂志, 2017, 24(5): 455-458. DOI: 10.16770/J.cnki.1008-9985.2017.05.020.

（收稿日期：2020-09-04）

（本文编辑：唐宗顺）