

应用移动AR定位系统辅助高血压脑出血定位穿刺引流的临床研究

杨健炳¹, 李晓军¹, 曾宪冬¹, 孙 梦¹, 洪文瑶^{2*}

¹福建省霞浦县医院神经外科, 福建 宁德

²福建省立医院神经外科, 福建 福州

收稿日期: 2025年9月27日; 录用日期: 2025年10月21日; 发布日期: 2025年10月28日

摘 要

目的: 探讨移动增强现实(AR)定位系统在高血压脑出血(HICH)定位穿刺引流的临床应用价值。方法: 回顾性分析16例移动AR定位系统辅助HICH定位穿刺引流的临床资料。术前将CT薄层扫描并用3D-Slicer软件对DICOM格式的头颅CT资料进行三维模型重建, 测量穿刺深度、血肿体积, 并模拟穿刺路径。利用移动AR定位系统投影三维重建模型与患者头颅位置吻合, 标记血肿体表与穿刺路径投影, 辅助血肿穿刺。结果: 16例均成功穿刺血肿达目标位置, 顺利完成穿刺引流手术操作。本组病例靶点偏移小于2 mm共13例, 平均手术时间(30 ± 4.5) min, 平均术中失血(12 ± 3.0) ml; 术后72小时与术前意识状态、肌力、GCS评分均有显著改善, P 值 < 0.05 ; 未发现穿刺道再出血及穿刺相关性颅内感染并发症。结论: 移动AR定位系统可为HICH血肿穿刺引流手术提供更为精确的穿刺定位, 提高手术穿刺成功率。

关键词

高血压脑出血, 移动AR定位系统, 血肿穿刺

Clinical Study on the Application of Mobile AR Positioning System to Assist the Positioning Puncture and Drainage of Hypertensive Intracerebral Hemorrhage

Jianbing Yang¹, Xiaojun Li¹, Xiandong Zeng¹, Meng Sun¹, Wenyao Hong^{2*}

¹Department of Neurosurgery, Xiapu County Hospital, Ningde Fujian

²Department of Neurosurgery, Fujian Provincial Hospital, Fuzhou Fujian

Received: September 27, 2025; accepted: October 21, 2025; published: October 28, 2025

*通讯作者。

文章引用: 杨健炳, 李晓军, 曾宪冬, 孙梦, 洪文瑶. 应用移动 AR 定位系统辅助高血压脑出血定位穿刺引流的临床研究[J]. 临床医学进展, 2025, 15(10): 2449-2456. DOI: 10.12677/acm.2025.15103031

Abstract

Objective: To explore the clinical application value of mobile augmented reality (AR) positioning system in localized puncture and drainage of hypertensive intracerebral hemorrhage (HICH). **Methods:** The clinical data of 16 cases of HICH positioning puncture and drainage assisted by mobile AR positioning system were analyzed retrospectively. Before operation, CT thin-slice scanning and 3D-Slicer software were used to reconstruct the 3D model of DICOM-formatted skull CT data, measure the puncture depth and hematoma volume, and simulate the puncture path. The three-dimensional reconstruction model projected by mobile AR positioning system is consistent with the patient's skull position, marking the projection of hematoma body surface and puncture path, and assisting hematoma puncture. **Results:** All the 16 cases successfully punctured hematoma to reach the target position, and successfully completed the puncture and drainage operation. In this group, the target deviation was less than 2 mm in 13 cases, with an average operation time of (30 ± 4.5) min and an average blood loss of (12 ± 3.0) ml. 72 hours after operation and before operation, the conscious state, muscle strength and GCS score were significantly improved ($P < 0.05$). No complications of rebleeding and puncture-related intracranial infection were found. **Conclusion:** Mobile AR positioning system can provide more accurate puncture positioning for HICH hematoma puncture and drainage operation, and improve the success rate of puncture.

Keywords

Hypertensive Intracerebral Hemorrhage, Mobile AR Positioning System, Hematoma Puncture

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

高血压性脑出血(Hypertensive intracerebral hemorrhage, HICH)为神经外科常见病症,具有发病危急、致残率高和致死率高的特点[1]。手术清除血肿是目前治疗的主要方式,其中开颅手术虽可直观地展示血肿位置及血肿量,但对头皮、颅骨及脑组织的损伤较大,且耗时较长,尤其大骨瓣开颅术后恢复缓慢且并发症风险高[2]。内镜手术可在直视下、短时间内清除大量血肿,但视野受限、难以处理深部血肿,存在伤及重要白质纤维束等潜在风险[1][3]。相较之下,血肿穿刺引流术更具有微创优势,但传统的CT引导下穿刺依赖术者经验,定位精准度有限,易致神经损伤或血肿清除不彻底[4]。尽管神经导航(Image-guided neurosurgery, IGNS)定位精准[5],但设备昂贵、操作复杂,难以在基层医院普及。立体定向穿刺[6]则需专用框架,操作繁琐,不适于急救场景下使用。移动增强现实(Augmented Reality, AR)技术[7]不仅可通过AR将患者CT或MRI影像实时叠加至术野,提供三维可视化引导,显著提升穿刺精准度,减少人工测量误差,从而降低神经损伤风险,同时摆脱传统神经导航对复杂设备的依赖,仅需移动终端(如智能手机、AR眼镜),可简化术前规划与术中操作,缩短手术时间,降低学习曲线,尤其适用于急诊场景[8]。本研究采用移动AR技术辅助引导高血压性脑出血血肿穿刺,现报道如下。

2. 材料与方法

2.1. 研究人群

回顾性收集 2023 年 5 月至 2025 年 5 月在霞浦县医院神经外科住院、接受移动 AR 定位系统(mobile

augmented reality neuronavigation system, MARNS)辅助脑出血定位穿刺引流的 16 例患者。

2.2. 纳入标准

(1) 年龄 ≥ 18 岁; (2) 经 CT 确诊为脑出血; (3) 急性发病并行急诊手术; (4) 随访 3 个月以上。

2.3. 排除标准

(1) 双侧瞳孔散大; (2) 合并恶性肿瘤、风湿性疾病、动静脉畸形、动脉瘤、烟雾病、严重心肺疾病、糖尿病、肾功能不全和凝血功能障碍; (3) 随访资料不完整。

2.4. AR 配准

(1) 标志物的放置与识别技术: 根据摄像头视觉系统的搭建原则, 分别以眉心、眶上缘、外耳道和枕外隆突连线, 正中中线以及双侧外耳道连线, 作为标志物放置的 3 个纬度基准线。对摄像头所拍摄的图像序列进行高斯模糊以及直方图均衡化预处理后, 利用多边形逼近方法对二维码进行识别处理并做一次透视变换, 同时分割出二维码内部黑色和白色方格进行编码, 最后对编码进行验算, 当确认为目标二维码, 用一个灰色线框框出标记物。

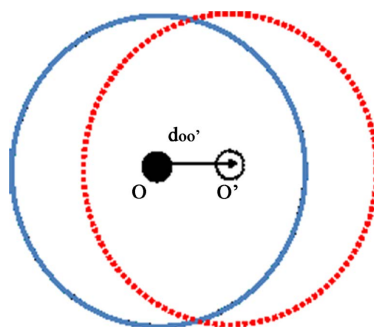


Figure 1. The solid blue circle is the scalp projection of intracranial lesions, and the solid point O is the center point; The dotted red circle is the positioning contour of mobile AR, and the dotted hollow circle O' is its center point; doo' is the distance between two center points

图 1. 实线蓝色圆形为颅内病变的头皮投影, 实心点 O 为中心点; 虚线红色圆形为移动 AR 定位轮廓, 虚线空心圆 O' 为其中心点; doo' 为两中心点之间的距离

(2) 定位误差测量: 为便于测量定位误差值, 故模型的病变结构设计为球形, 其头皮投影为圆形(以实线表示)。移动 AR 定位系统定位后, 以标记笔标记病变轮廓(以虚线表示)测量两个轮廓中心之间的差距, 即为定位误差值(如图 1)。误差值等级设定如下, 不超过神经导航系统的最大误差值, 即 ≤ 2 mm 为优良; 2 mm $<$ 误差值 < 5 mm 为合格; 误差值 ≥ 5 mm 为不合格。由 3 个神经外科医师在不同时间在实体模型上应用移动 AR 系统, 并测量定位误差值。

(3) 靶点偏移测量: 靶点偏移定义为术前定位血肿最大层面几何中心与术后影像中实际穿刺针位置之间的三维空间直线距离(mm)。术前术后 CT 影像扫描体位一致, 以听眦线(Orbitomeatal Line, OM)为基准线, 以冠状面、矢状面、横断面分别建立 X 轴、Y 轴、Z 轴坐标。利用 3D-Slicer 软件(比利时, 4.11 版本)坐标拾取功能, 在术前影像中以目标穿刺靶点为原点构建直角坐标系 $P_0(X_0, Y_0, Z_0)$, 在术后影像中以实际穿刺针尖位置为远点构建指标坐标系 $P_1(X_1, Y_1, Z_1)$, 通过如下公式计算靶点偏移距离(D), 测量结果保留小数点后 1 位:

$$D = \sqrt{(X_1 - X_0)^2 + (Y_1 - Y_0)^2 + (Z_1 - Z_0)^2}$$

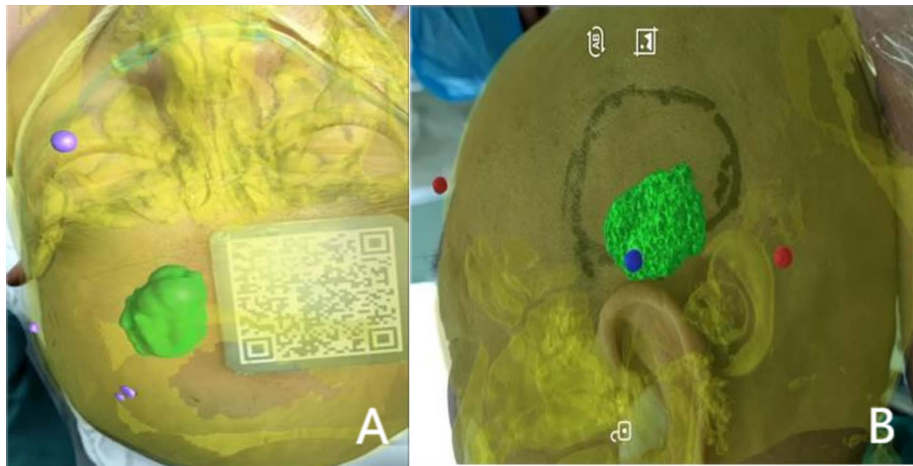


Figure 2. Application of MARNS to assist hematoma location and puncture path design. (A) MARNS recognizes two-dimensional code to realize the fusion of virtual and real models; (B) Determine the location of hematoma according to MARNS
图 2. 应用 MARNS 辅助血肿定位以及穿刺路径的设计。(A) MARNS 识别二维码实现虚实模型的融合；(B) 根据 MARNS 所示确定血肿的位置

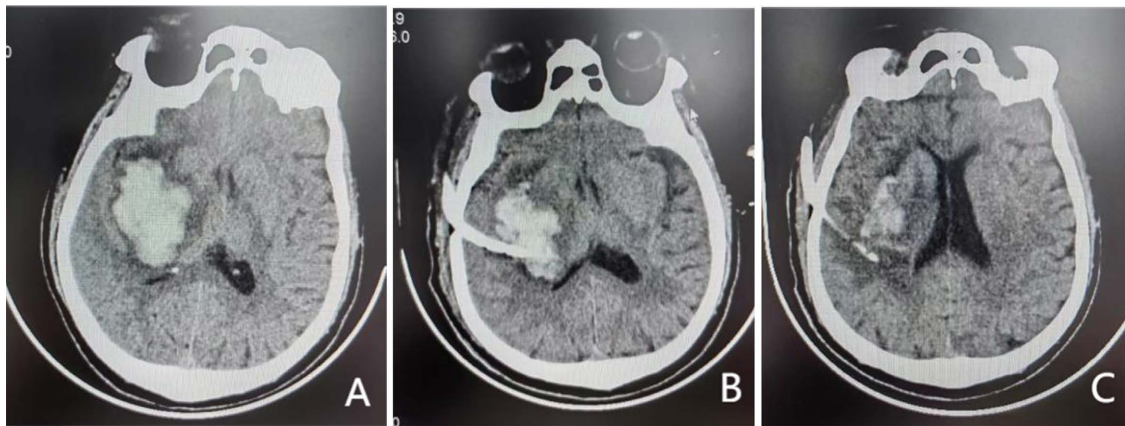


Figure 3. CT image changes of hematoma before and after operation. (A) preoperative CT images; (B) On the first day after operation, CT images showed that the drainage tube was in place; (C) CT images on the third day after operation
图 3. 术前术后血肿的 CT 影像变化情况。(A) 术前 CT 影像；(B) 术后第 1 天 CT 影像，引流管在位；(C) 术后第 3 天 CT 影像

2.5. 研究过程

- (1) 在计算机中运行 3D-Slicer 软件(比利时, 4.11 版本), 导入 CT 扫描所获得的 CT 影像 DICOM 数据, 重建包括头皮、颅骨及血肿在内的三维模型。在该软件中进一步设计穿刺路径并予以标记, 最终以 STL 格式导出模型。
- (2) 将 STL 格式模型导入 Unity 平台(美国, 版本 5.3.1), 设置二维码图片与模型之间的空间位置关系, 并生成专用的应用程序(APP)。将该 APP 安装于指定型号的智能手机(华为 NTH-AN00), 即集成了 MARNS。
- (3) 术中, 将预先设定的二维码图片放置于注册位置, 通过 MARNS 应用程序进行扫描, 实现三维虚拟模型与患者头部实际位置的匹配。匹配满意后, 医生可通过智能手机屏幕实时观察虚拟模型与实际解剖结构叠加的效果, 进而精确定位病变并规划手术切口及穿刺路径(见图 1)。在引导下按预设路径植入引流管, 到达目标位置后回抽见暗红色血液以确认进入血肿腔, 缓慢抽吸 25%~50% 的血肿量后留置引流管,

最后缝合头皮并固定引流管。

- (4) 术后 8 h 内复查 CT 明确穿刺靶点在位，未见穿刺道出血后联合血肿腔注射尿激酶(见图 2)。
- (5) 入组病例采用格拉斯哥昏迷评分法(Glasgow Coma Scale, GCS)评价意识状态。
- (6) 术后 3 个月随访采用日常生活活动指数(Activity of Daily Living Scale, ADL)进行评价，ADL 评分 61~100，生活完全自理；ADL 评分 21~60，生活需要他人帮助；ADL 评分 <20，完全残疾，生活不能自理。

2.6. 统计学方法

研究获取的全部数据采用 MedCalc 软件(版本 17.9.7.0)进行统计学处理，年龄、时间、血肿量等定量资料用平均数 ± 标准差表示，性别、并发症等定性资料用%表示。采用 Wilcoxon 符号秩检验对术前与术后 72 小时意识状态、患侧肢体肌力及 GCS 评分统计分析， $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

3. 结果

本研究共纳入病例 16 例，临床特征见表 2。出血部位均位于基底节区，右侧 9 例，左侧 7 例，破入脑室 3 例，均采取离血肿最近入路成功穿刺血肿至预设位置完成穿刺引流。术后 72 小时患者意识、GCS 评分较术前有明显改善， P 值 < 0.001 (术前术后对比见表 2)，其中 GCS 评分恢复至 15 分共 9 例，16 例患者术后均未出现颅内再出血及穿刺相关性颅内感染并发症。

Table 1. Clinical characteristics of subjects
表 1. 研究对象临床特征

临床资料	值
性别(男)/n (%)	12 (75.0%)
年龄/岁	46~82 (59.4 ± 10.6)
发病至手术时间/h	3~8 (8.69 ± 4.78)
术前血肿量/ml	34~74 (45.5 ± 11.1)
术中失血量/ml	10~20 (12 ± 3.0)
术后 72 h 残余血肿量/ml	1.2~10 (6.3 ± 2.0)
术后并发症/n(%)	6 (37.5%)
住院时长/天	2~30 (18.1 ± 6.7)
3 个月 ALD 评分 ≥ 61 分/n (%)	11 (68.8%)

Table 2. Comparison and statistical analysis of clinical data of subjects (72 hours before and after operation)
表 2. 研究对象临床资料对比及统计分析(术前、术后 72 小时)

查体项目	术前(例)	术后 72 小时(例)	z 值	P 值
意识状态	意识清楚	0	-3.325	<0.001
	嗜睡	2		
	昏睡	3		
	意识模糊	4		
	浅昏迷	4		
	中度昏迷	2		
	深昏迷	1		

续表

患侧肢体肌力	0 级	9	3	-2.699	0.007
	1 级	3	2		
	2 级	3	6		
	3 级	1	5		
GCS 评分	4 分	1	0	-3.530	<0.001
	6 分	2	1		
	7 分	1	0		
	8 分	3	2		
	9 分	1	0		
	10 分	2	1		
	11 分	1	1		
	12 分	2	1		
	13 分	1	0		
	14 分	2	1		
	15 分	0	9		

4. 讨论

本研究针对于高血压性脑出血发病急、病情重、进展快等特点提出移动增强现实定位系统辅助血肿穿刺引流术的应用。所纳入研究的 16 例病例均采用移动 AR 定位系统辅助定位, 穿刺更为精准, 偏离靶点小, 均小于 5 mm, 其中 13 例偏移小于 2 mm, 均达优良合格率, 较传统 CT 引导下穿刺更为精准, 这与先前的研究结果较为一致[9]。相较于神经导航系统引导下穿刺引流术[10], 移动 AR 定位系统辅助下穿刺准确率也未显逊色, 其优势在于缩短穿刺定位及手术时间。由于智能手机技术的进步, AR 可以通过移动设备实现, 从而简化了 CT 影像的预处理与配准、AR 图像生成等过程, 且此方法不需要额外的成本及技术复杂性。Hou 等人[11]的研究中将整个移动 AR 辅助过程缩短至 10 分钟内执行, 此方法既可以减少术前准备时间, 同时在紧急手术中辅助临床医师准确定位穿刺通道。库洪彬等人[12]提出应用智能手机等简化的移动设备完成 AR 技术的辅助定位引流术, 在治疗老年幕上高血压性脑出血中较立体定向引流术明显缩短手术时间, 且操作简便, 无需引用其他设备辅助。

由于移动 AR 技术的便利性与精准性的提高, 使得高血压脑出血患者在病情急重的情况下得以快速完成穿刺引流术, 释放颅内压力, 改善患者预后。本研究中的 16 例患者术后 72 h 患者意识、肢体情况、GCS 评分较术前有改善, 且患者术后未出现颅内再出血。3 个月随访中预后良好共 11 例, 占 68.7%, 均体现了穿刺引流术快速、准确的必要性。与导航系统不同[13], 移动 AR 定位辅助技术仅提供颅内病变的体表定位, 尚无法在手术过程中尤其是颅内穿刺通道提供位置等相关信息, 从而存在术中跟踪丢失的风险; 在临床应用过程中, 仍需要高年资、具有丰富经验的临床医师使用, 同时也对操作者手眼协调具有一定挑战性。而对于手术过程中患者头部的移动、脑脊液的流失、脑组织的移位等因素, 可能会导致术前校准的精度下降, 配准误差增大, 甚至影响到手术的安全性。

近年来, 开源软件与移动智能手机的结合, 使 AR 技术在微创手术中得到更多的利用[14]。目前 AR 定位辅助技术在神经外科手术中应用愈发广泛, 陈鹏飞等人[15]将其应用至脑膜瘤、胶质瘤等手术治疗的

术前指导中,可减少术中出血量,缩短手术时长。

本研究仍有许多不足之处,首先研究病例数相对较少,未来将进一步扩大样本以佐证该方法在临床应用中的可靠性;其次,本研究仅针对于高血压性脑出血穿刺引流的 AR 指导,AR 技术在其他疾病中的辅助作用尚未完全清晰。

综上所述,移动 AR 定位系统较传统 CT 定位更为精准,穿刺成功率更高,其精准度与神经导航系统相近,但移动 AR 系统对设备要求与神经导航系统不同,大多数智能手机或者平板电脑等均可完成 AR 操作,软件开源,且操作相对简便,对于基层医院而言,减少了购买设备的费用,在临床中更易应用推广。但该技术仍有待进一步开发研究,以更好地帮助临床医生完成临床操作,尤其是上述针对深度感知及动态应用的局限性,如辅助术中结合患者颅内情况完成血肿腔定位等操作。

声 明

本研究获得霞浦县医院伦理委员会批准(审批号:XPXY-LL-2022-005)。

基金项目

宁德市自然科学基金项目(2022J59)。

参考文献

- [1] 游潮,刘鸣,于学忠,等. 高血压性脑出血中国多学科诊治指南[J]. 中国急救医学, 2020, 40(8): 689-702.
- [2] Zhan, Y., Zou, X., Wu, J., Fu, L., Huang, W., Lin, J., *et al.* (2023) Neuroendoscopy Surgery for Hypertensive Intracerebral Hemorrhage with Concurrent Brain Herniation: A Retrospective Study of Comparison with Craniotomy. *Frontiers in Neurology*, **14**, Article ID: 1238283. <https://doi.org/10.3389/fneur.2023.1238283>
- [3] Lian, M., Li, X., Wang, Y., Che, H. and Yan, Z. (2024) Comparison of Two Minimally Invasive Surgical Approaches for Hypertensive Intracerebral Hemorrhage: A Study Based on Postoperative Intracranial Pressure Parameters. *BMC Surgery*, **24**, Article No. 10. <https://doi.org/10.1186/s12893-023-02306-x>
- [4] Zhou, Z., Yang, Z., Jiang, S., Zhuo, J., Zhu, T. and Ma, S. (2022) Surgical Navigation System for Hypertensive Intracerebral Hemorrhage Based on Mixed Reality. *Journal of Digital Imaging*, **35**, 1530-1543. <https://doi.org/10.1007/s10278-022-00676-x>
- [5] Jiang, L., Tian, J., Guo, C., Zhang, Y., Qian, M., Wang, X., *et al.* (2024) Comparison of the Efficacy of Neuronavigation-Assisted Intracerebral Hematoma Puncture and Drainage with Neuroendoscopic Hematoma Removal in Treatment of Hypertensive Cerebral Hemorrhage. *BMC Surgery*, **24**, Article No. 86. <https://doi.org/10.1186/s12893-024-02378-3>
- [6] Tang, C., Zhang, M. and Li, W. (2023) Meta-Analysis of Stereotactic Hematoma Removal and Craniotomy Hematoma Removal in the Treatment of Hypertensive Intracerebral Hemorrhage in the Elderly. *Medicine*, **102**, e36533. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000036533>
- [7] 霍贵通,杨医通,孟祥杰,等. 增强现实技术辅助神经内镜微创手术治疗高血压脑出血[J]. 脑与神经疾病杂志, 2018, 26(4): 206-211.
- [8] 王帅,张烨,王彤. 增强现实技术及在外科中的应用[J]. 中国医疗设备, 2021, 36(7): 161-165.
- [9] Kos, T.M., Colombo, E., Bartels, L.W., Robe, P.A. and van Doormaal, T.P.C. (2023) Evaluation Metrics for Augmented Reality in Neurosurgical Preoperative Planning, Surgical Navigation, and Surgical Treatment Guidance: A Systematic Review. *Operative Neurosurgery*, **26**, 491-501. <https://doi.org/10.1227/ons.0000000000001009>
- [10] 江文曲,张国锋,高翔. 神经导航系统辅助定向穿刺引流高血压脑出血的运用研究[J]. 实用中西医结合临床, 2021, 21(20): 55-57.
- [11] Hou, Y., Ma, L., Zhu, R. and Chen, X. (2016) iPhone-Assisted Augmented Reality Localization of Basal Ganglia Hypertensive Hematoma. *World Neurosurgery*, **94**, 480-492. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2016.07.047>
- [12] 库洪彬,孟志勇,张颜礼,等. 应用简化增强现实技术辅助定位引流术治疗老年幕上脑出血的临床研究[J]. 临床神经外科杂志, 2022, 19(1): 83-86.
- [13] 朱兆聚,高楚航,施家峰,等. 基于增强现实技术的侧脑室额角穿刺训练系统研究[J]. 中国生物医学工程学报, 2024, 43(6): 673-681.

- [14] 张玉忠, 杨振时. 低成本增强现实技术辅助微创软通道在幕上脑内血肿手术中的应用[J]. 立体定向和功能性神经外科杂志, 2021, 34(4): 223-226.
- [15] 陈鹏飞, 王亚楠, 王世雄, 等. 基于增强现实技术的神经外科精准手术治疗研究[J]. 宁夏医学杂志, 2024, 46(10): 870-873.