

混合现实技术在侧脑室穿刺外引流术中的应用

吕亚兵 陈振波 李晓辉 张金玲 陶山伟 张智勇 崔建飞 姚佳丽 姚庆和

【摘要】目的 探讨混合现实技术引导侧脑室外引流术(EVD)的可行性和临床价值。**方法** 2022 年 1 月至 2023 年 6 月前瞻性连续收集需要行 EVD 的 50 例(脑出血 23 例,脑积水 27 例)为观察组,以 2020 年 6 月至 2021 年 12 月行传统 EVD 治疗的 50 例(脑出血 26 例,脑积水 24 例)为对照组。观察组术前将头颅 CT、MRI 的 DICOM 数据导入 3D Slicer 软件制定手术计划,然后将各模型文件利用浏览器导入头戴式混合现实全息影像设备,根据手术路径的全息投影引导操作。对照组术前根据 CT 影像制定手术计划,术中依据体表标志进行盲穿。**结果** 观察组 50 例均顺利完成手术。观察组引流管尖端与目标靶点的距离[(4.43±1.37)mm]较对照组[(10.41±3.42)mm]明显缩小($P<0.001$)。观察组穿刺精确性 Kakarl 分级 1 级 47 例(94.00%),2 级 3 例(6.00%);对照组 Kakarl 分级 1 级 39 例(78.00%),2 级 9 例(18.00%),3 级 2 例(4.00%);观察组穿刺精确性 Kakarl 分级明显优于对照组($P=0.048$)。观察组一次穿刺成功率(98.00%)与对照组(88.00%)无统计学差异($P=0.117$)。**结论** 混合现实技术可用于引导 EVD,可以提高置管的精确性。

【关键词】 侧脑室穿刺外引流术;混合现实技术;可行性;临床价值
【文章编号】 1009-153X(2024)02-0075-04 **【文献标志码】** A **【中国图书资料分类号】** R 651.1+1

Application of mixed reality technology in external ventricular drainage

LÜ Ya-bing, CHEN Zhen-bo, LI Xiao-hui, ZHANG Jin-ling, TAO Shan-wei, ZHANG Zhi-yong, CUI Jian-fei, YAO Jia-li, YAO Qing-he. Department of Neurosurgery, Luoyang Central Hospital Affiliated to Zhengzhou University, Luoyang 471000, China

【Abstract】 Objective To explore the feasibility and clinical value of mixed reality technology in guiding external ventricular drainage (EVD). **Methods** Fifty patients (23 cases of cerebral hemorrhage, 27 cases of hydrocephalus) who needed EVD were prospectively collected from January 2022 to June 2023 (observation group), and 50 patients (26 cases of cerebral hemorrhage, 24 cases of hydrocephalus) who underwent traditional EVD from June 2020 to December 2021 were selected as the control group. In the observation group, the DICOM data of head CT and MRI were imported into the 3D Slicer software for the surgical planning before operation, and then the model files were imported into the head-mounted mixed reality holographic imaging equipment using the browser to guide puncture according to the holographic projection of the surgical path. In the control group, the surgical plan was made according to the CT images before operation, and the blind puncture was performed according to the body surface marks during operation. **Results** All 50 patients in the observation group successfully completed the operation. The distance between the tip of the drainage tube and the target point in the observation group [(4.43±1.37) mm] was significantly smaller than that [(10.41±3.42) mm] in the control group ($P<0.001$). In the observation group, the puncture accuracy of Kakral grade 1 was achieved in 47 cases (94.00%), and grade 2 in 3 cases (6.00%). In the control group, the puncture accuracy of Kakral grade 1 was achieved in 39 cases (78.00%), grade 2 in 9 cases (18.00%), and grade 3 in 2 cases (4.00%). The puncture accuracy of Kakral grade in the observation group was significantly better than that in the control group ($P=0.048$). There was no statistically significant difference in the success rate of one puncture between the observation group (98.00%) and the control group (88.00%; $P=0.117$). **Conclusions** Mixed reality technology can be used to guide EVD, which can improve the accuracy of catheterization.

【Key words】 External ventricular drainage (EVD); Mixed reality technology; Feasibility; Clinical value

侧脑室外引流术(external ventricular drainage, EVD)被广泛应用于脑积水、脑室出血等疾病的治

疗。传统的 EVD 依据固定的解剖标志确定穿刺点,依靠空间想象进行徒手盲穿,但是病人存在个体差异,可能需要多次穿刺,部分病人的穿刺效果并不理想,而且多次穿刺不可避免地会导致脑损伤,增加术后出血、引流不畅的风险^[1]。因此,为病人量身定制精确的穿刺通道将是非常有益的。在 EVD 过程中,使用辅助装置引导有助于减少穿刺次数,并提高穿刺精度^[2],但是,这会使术前准备更繁琐,也受技术水平的限制,从而导致手术医师更倾向于徒手穿刺。

doi:10.13798/j.issn.1009-153X.2024.02.003
基金项目:河南省医学科技攻关计划联合共建项目(LHGJ20210842)
作者单位:471000 河南洛阳,郑州大学附属洛阳中心医院神经外科
(吕亚兵、陈振波、李晓辉、张金玲、陶山伟、张智勇、崔建飞、姚佳丽、姚庆和)
通信作者:姚庆和,Email:yaoqinghe2005@163.com

混合现实技术是增强现实和虚拟现实相结合的进一步发展,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的技术。微软 HoloLens 是一款头戴式混合现实全息计算机,允许操作员同时与现实和虚拟世界保持联系,并根据操作员自己的需求与全息图进行交互。我们通过 3D Slicer 和 Unity 软件对病人影像学资料整合建模,预设穿刺靶点、路径和数位锚定,应用 HoloLens2 混合现实全息技术实现术中实时靶位追踪,降低穿刺风险。

1 资料与方法

1.1 病例选择标准 纳入标准:脑室出血,包含脑室铸型;脑积水需行 EVD 或脑室-腹腔分流术(图 1A)。排除标准:无手术指征;合并凝血功能障碍、肝肾功能障碍、全身衰竭等手术禁忌。

1.2 研究对象 2022 年 1 月至 2023 年 6 月前瞻性连续收集需要行 EVD 的 50 例病人作为观察组,以 2020 年 6 月至 2021 年 12 月行传统 EVD 治疗的 50 例病人作为对照组,两组病人的基线资料无统计学差异($P>0.05$;表 1)。

1.3 穿刺方法

1.3.1 对照组 术前根据 CT 影像制定手术计划,术中依据体表标志进行盲穿。

1.3.2 观察组 术前将头颅 CT、MRI 的 DICOM 数据导入 3D Slicer 软件进行手术计划,然后将各模型文件利用浏览器导入头戴式混合现实全息影像设备,根据手术路径的全息投影引导 EVD 操作。

1.3.2.1 数据采集 采用 16/64 排 CT 机扫描成像,参数:各向同性体素为 $5\text{ mm}\times 5\text{ mm}\times 5\text{ mm}$,矩阵大小为 256×256 。CT 扫描前在头部术区附近、中线和同侧耳屏上方的前额、对侧眶上、顶部的部位粘贴“五点”标定划线,粘贴心电图凝胶电极。MRI 扫描采用维生素 E 胶丸进行划线定位,方法同上。这些标记用于全息影像和头部之间的术前匹配以及术中注册校准。之后,使用工作站原始 DICOM 数据,刻录光盘或传输至图像处理工作站。

1.3.2.2 数据处理 术前 DICOM 数据导入 3D Slicer 软件进行手术计划。首先,对电极、头部和病变进行分割和建模,然后在 Gyroguide 模块下定位靶点和额角,并进行自动穿刺路径计算设计(包括深度、角度和方向)。延长穿刺路径并对其进行建模,作为导管置入的定向指导。最后,对垂直和平行于穿刺路径的重新断层图像进行逐层审查,若发现路径穿过血

管或可能通过重要脑回、脑沟等结构,则将进入点调整至邻近区域,以避免出血并发症的发生(图 1B)。

1.3.2.3 全息模型可视化 将各模型文件利用浏览器导入头戴式混合现实全息影像设备 HoloLens2 中,麻醉满意后,在 Microsoft Azure 对象 Anchors 将 3D 模型与物理世界中的对象进行对齐,模型中“五点”与现实病人定位点完全校正融合,并观察体表如耳廓、鼻、眼球等融合情况,融合满意后锚定模型,即可从不同角度观察穿刺路径(图 1C、1D)。

1.3.2.4 穿刺操作 根据手术路径的全息投影引导颅骨钻孔。如果在钻孔过程中发生头部运动,术野内定位点可供校准。根据术前计划所得的穿刺深度,沿着虚拟路径的全息影像置入穿刺管,操作过程中保持导管与穿刺路径模型重合(图 1F)。

1.4 评价指标

1.4.1 穿刺靶点偏移距离 术后 24 h 内常规复查 CT,依照术后 CT 定量计算穿刺导管尖端与术前计划靶点的距离的差异。观察组空间距离可被解析为坐标系 X、Y、Z 三个方向矢量,用于靶点偏移的可视化比较。对照组穿刺靶点偏移为术后 CT 导管尖端与术前 CT 确定的理想靶点与之间距离的差异。

1.4.2 Kakarl 分级 根据术后影像显示引流管尖端位置,将穿刺精确性进行分级:1 级,引流管尖端位于同侧脑室额角或通过室间孔位于第三脑室;2 级,引流管穿刺入对侧脑室或脑实质非功能区,但脑脊液引流通畅;3 级,引流进入脑实质功能区或非脑脊液腔隙,伴或不伴引流通畅。

1.4.3 一次穿刺成功率 一次穿刺操作见到脑脊液流出为穿刺成功。

1.5 统计学分析 采用 R 软件及 SPSS 23.0 软件分析;计量资料采用 $\bar{x}\pm s$ 表示,采用 t 检验;计数资料采用 χ^2 检验或 Fisher 精确概率法; $P<0.05$ 表示差异有统计学意义。

2 结果

观察组靶点穿刺偏移距离较对照组明显缩小($P<0.05$),观察组 Kakarl 分级明细优于对照组($P<0.05$)。两组一次穿刺成功率无明显差异($P>0.05$)。见表 2。

3 讨论

传统的 EVD 操作简单,是临床上主要的穿刺方式。但是因病人存在个体差异及年轻医师临床经验不足,有时往往难以一次穿刺成功,甚至会出现已经

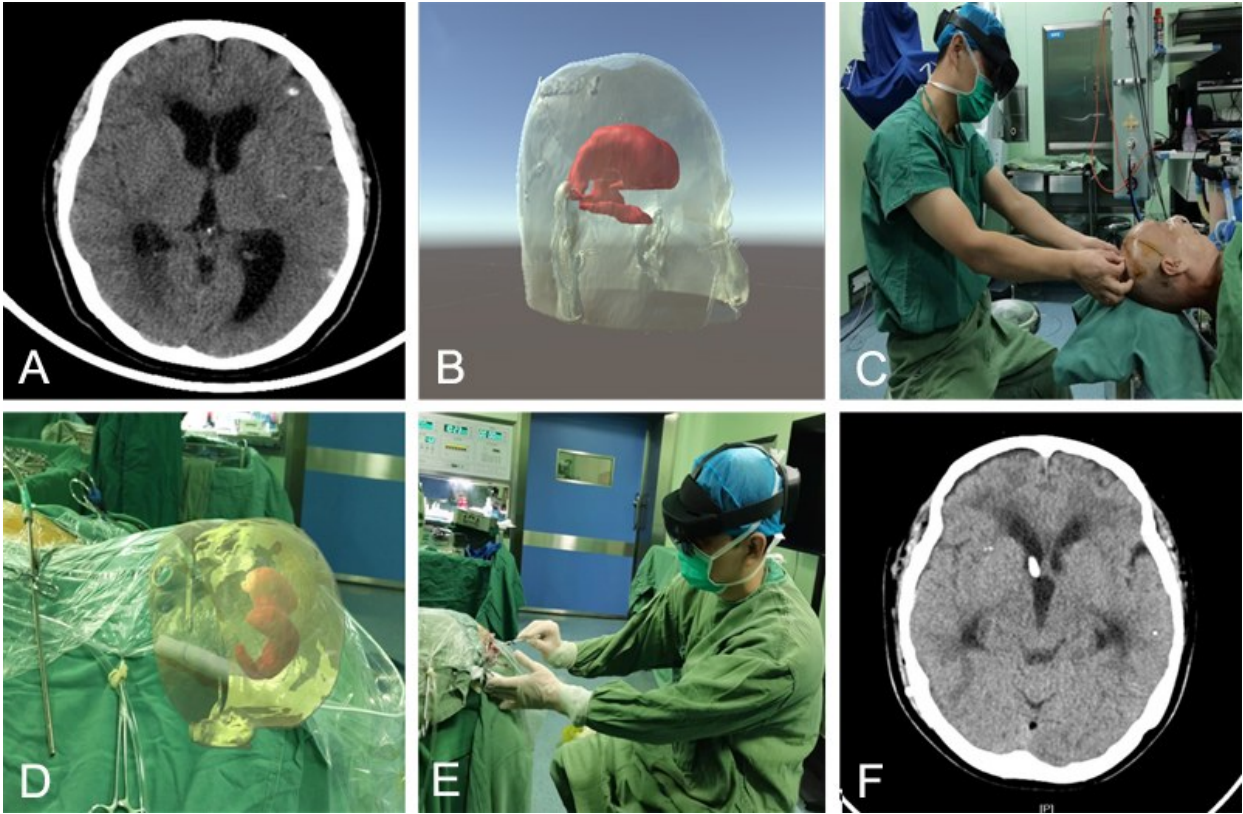


图1 脑积水病人行脑室外引流术中应用增强现实技术辅助脑室穿刺

A. 术前头部CT显示脑积水;B. 应用3D Slicer软件对CT数据进行建模;C、D. 应用HoloLens2将所建模型与病人头部锚定;E. HoloLens2引导穿刺;F. 术后复查头颅CT显示引流管位置良好

Figure 1 Application of mixed reality technology to guide ventricular puncture during external ventricular drainage for a patient with hydrocephalus

A: Preoperative CT images showing hydrocephalus. B: Establishing a model by 3D Slicer software using the preoperative CT data. C-D: Using HoloLens2 to match the model and the patient’s head. E: Puncture guided by HoloLens2. F: Postoperative CT images showed that the position of drainage tube was good.

表1 两组病人的基线资料比较
Table 1 Baseline data of patients in the two groups

基线资料	观察组	对照组	t/χ^2 值	P 值
年龄(岁)	63.54±7.68	62.52±8.79	0.618	0.538
性别(男)	31(62.00%)	30(60.00%)	0.042	0.838
病因(例)			0.360	0.548
脑出血	23(46.00%)	26(52.00%)		
脑积水	27(54.00%)	24(48.00%)		

表2 两组病人的穿刺效果的比较
Table 2 Comparison of puncture effects of patients in the two groups

评估指标	观察组	对照组	t/χ^2 值	P 值
靶点穿刺偏移距离(mm)	4.43±1.37	10.41±3.42	-11.48	<0.001
Kakarl分级(例)				
1级	47(94.00%)	39(78.00%)	5.277	0.048
2级	3(6.00%)	9(18.00%)		
3级	0	2(4.00%)		
一次穿刺成功(例)	49(98.00%)	44(88.00%)	2.458	0.117

偏离正确方向仍继续盲目穿刺,使引流管到达丘脑、脑干等重要部位,或者穿刺到对侧,导致脑内出血及脑组织损伤^[3,4]。研究显示,徒手穿刺的一次成功率在 55%~95%,Kakarl 分级 1 级置管比例约为 74%^[5],总体准确性并不高。因此,越来越多的学者致力于开发新的引导装置来提高穿刺的准确性。研究发现,在 Ghajar 引导装置的辅助下,脑室穿刺一次穿刺成功率可高达 100%,Kakarl 分级 1 级置管率达到 95%,引流管尖端距离 Monroe 孔的平均距离为 (3.7 ± 5.7) mm,远低于徒手穿刺 (9.7 ± 6.3) mm,可明显提高穿刺的成功率及准确性^[6,7]。尽管 Ghajar 引导器操作方便,精确度高,但其应用范围较窄,仅适用于颅内解剖结构未改变的病人,局限性较大。此外,立体定向、神经导航等设备也应用于辅助脑室穿刺,同样可以显著提高穿刺的精确度,Kakarl 分级 1 级置管率在 88%~95%,而且仅仅需要尝试穿刺 (1.2 ± 0.4) 次^[8]。但这些设备体积大,费用高,术前准备时间长,不利于急诊手术和基层医院推广。

随着医学影像技术和计算机三维可视化软件的飞速发展,为脑室穿刺的研究提供了新的思路。HoloLens 混合现实全息技术、手机 sina 软件、3D Slicer 建模、投影等利用电脑技术将虚拟的模型应用到现实世界,真实的环境和虚拟的结构实时地叠加到同一个画面或空间,实现现实与虚拟的交互,从而让术者在“直视”下进行手术操作,提高手术的成功率,减少副损伤。有研究将佩戴 Hololens 眼镜的术前肿瘤位置规划与标准神经导航相比较,采用混合现实技术进行的肿瘤定位与标准神经导航系统没有差异,总体中位数差异为 0.4 cm^[9]。Li 等^[10]应用 HoloLens 混合现实全息技术对 15 例病人进行脑室穿刺,发现所有的导管尖端都放置在 Monroe 孔附近,与徒手穿刺的对照组相比,平均靶点偏差明显缩小。我们应用 HoloLens2 混合现实全息技术,依据病人的解剖特征制定对应的穿刺方向和穿刺深度,结果显示,与徒手盲穿法相比,两组病人具有相当的首次穿刺成功率和安全性,但应用 HoloLens2 混合现实技术可极大提高侧脑室穿刺的准确性,与目标靶点的偏差仅 (4.43 ± 1.37) mm,同时有 94%的病人引流管置管分级为 Kakarl 分级 1 级;并且在穿刺过程中,术者可以佩戴 HoloLens2 眼镜自由移动,从各个方向观察穿刺的角度和深度。总之,应用 HoloLens 混合现实技术可显著提高 EVD 置管的精确性。

【伦理学声明】:本研究方案于 2022 年 1 月 11 日经洛

阳市中心医院医学伦理审查委员会审批,批号为 LWLL-2022-01-11。

【利益冲突声明】:本文不存在任何利益冲突。

【作者贡献声明】:吕亚兵、陈振波、李晓辉、张金玲、陶山伟、张智勇、崔建飞、姚佳丽负责资料收集与文章撰写;姚庆和负责课题指导与论文修改。

【参考文献】

[1] ALAZRI A, MOK K, CHANKOWSKY J, *et al.* Placement accuracy of external ventricular drain when comparing freehand insertion to neuronavigation guidance in severe traumatic brain injury [J]. Acta Neurochir (Wien), 2017, 159: 1399-1411.

[2] WILSON TJ, STETLER WR Jr, Al-HOLOU WN, *et al.* Comparison of the accuracy of ventricular catheter placement using freehand placement, ultrasonic guidance, and stereotactic neuronavigation [J]. J Neurosurg, 2013, 119: 66-70.

[3] BRENKEE C, FÜRST J, KATSIGIANNIS S, *et al.* High accuracy of external ventricular drainage placement using anatomical landmarks [J]. Neurochirurgie, 2020, 66(6): 435-441.

[4] ELLENS NR, FISCHER DL, MELDAU JE, *et al.* External ventricular drain placement accuracy and safety when done by midlevel practitioners [J]. Neurosurgery, 2019, 84: 235-241.

[5] STUART MJ, ANTONY J, WITHWES TK, *et al.* Systematic review and meta-analysis of external ventricular drain placement accuracy and narrative review of guidance devices [J]. J Clin Neurosci, 2021, 94: 140-151.

[6] O'LEARY ST, KOLE MK, HOOVER DA, *et al.* Efficacy of the Ghajar guide revisited: a prospective study [J]. J Neurosurg, 2000, 92: 801-803.

[7] YOON SY, KWAK Y, PARK J. Adjustable Ghajar guide technique for accurate placement of ventricular catheters: a pilot study [J]. J Korean Neurosurg Soc, 2017, 60(5): 604-609.

[8] SHTAYA A, ROACH J, SADEK AR, *et al.* Image guidance and improved accuracy of external ventricular drain tip position particularly in patients with small ventricles [J]. J Neurosurg, 2018, 130(4): 1268-1273.

[9] INCEKARA F, SMIST M, DIRVEN C, *et al.* Clinical feasibility of a wearable mixed-reality device in neurosurgery [J]. World Neurosurg, 2018, 118(6): e422-e427.

[10] LI Y, CHEN XL, WANG N, *et al.* A wearable mixed-reality holographic computer for guiding external ventricular drain insertion at the bedside [J]. J Neurosurg, 2019, 131(5): 1599-1606.

(2023-07-10 收稿, 2023-12-16 修回)