



电子、语音版

· 论 著 ·

简易增强现实技术辅助神经内镜下经侧裂岛叶入路 治疗基底节区脑出血的疗效及文献回顾

王建兵, 张亚飞

汉中市人民医院神经外科, 陕西 汉中 723000

摘要:目的 探讨简易增强现实(AR)技术辅助神经内镜下经侧裂岛叶入路治疗基底节区脑出血的临床疗效,并结合文献回顾分析其技术优势及应用价值。**方法** 回顾性分析2021年1月—2024年6月汉中市人民医院收治的78例中等量(30~70 mL)基底节区脑出血患者临床资料,按照不同手术方法分为AR内镜组(40例)和显微开颅组(38例),AR内镜组术前利用3D-Slicer软件将血肿和侧裂可视化,重建后的图像通过导入手机重曝相机APP,实现简易AR技术,描记血肿范围和侧裂体表投影,设计手术切口及骨窗范围,神经内镜下分离侧裂至岛叶清除脑内血肿,显微开颅组采用小骨窗开颅显微镜下分离侧裂至岛叶进行血肿清除术。比较两组患者的一般资料、手术时间、术中出血量、血肿残留量、住院时间、手术前后意识情况、术后并发症及预后。**结果** AR内镜组手术时间、术中出血量、血肿残留量和住院时间均低于显微开颅组,差异有统计学意义($P<0.05$)。手术后两组格拉斯哥昏迷评分(GCS)均高于术前,AR内镜组术后GCS高于显微开颅组,差异有统计学意义($P<0.05$)。AR内镜组术后并发症发生率低于显微开颅组,差异有统计学意义($P<0.05$)。术后随访6个月,两组美国国立卫生研究院卒中量表评分均降低,且AR内镜组优于显微开颅组,差异有统计学意义($P<0.05$)。AR内镜组日常生活能力评分高于显微开颅组,差异有统计学意义($P<0.05$)。**结论** 简易AR技术辅助神经内镜下经侧裂岛叶入路治疗基底节区脑出血可直观地了解血肿和侧裂的位置,缩短手术时间,减少术中出血,提高血肿清除率,降低术后并发症的发生率,提高患者的生活质量。

关键词:增强现实技术;神经内镜;经侧裂入路;基底神经节;微创手术;疗效

中图分类号:R651.12

DOI:10.16636/j.cnki.jinn.1673-2642.2026.02.003

Efficacy of simplified augmented reality technology-assisted neuroendoscopic lateral fissure-insula approach in treatment of basal ganglia hemorrhage: a retrospective analysis and literature review

WANG Jianbing, ZHANG Yafei

Department of Neurosurgery, Hanzhong People's Hospital, Hanzhong, Shaanxi 723000, China

Corresponding author: ZHANG Yafei, Email: 347100613@qq.com

Abstract: **Objective** To investigate the efficacy of simple augmented reality (AR)-assisted neuroendoscopic lateral fissure-insula approach in the treatment of basal ganglia hemorrhage, and to analyze its technical advantages and application value through a literature review. **Methods** A retrospective analysis was performed for the clinical data of 78 patients with moderate-volume (30–70 mL) basal ganglia hemorrhage who were admitted to Hanzhong People's Hospital from January 2021 to June 2024, and according to the surgical approach, they were divided into AR endoscopy group with 40 patients and microsurgical craniotomy group with 38 patients. For the patients in the AR endoscopy group, 3D-Slicer software was used before surgery to visualize the hematoma and the lateral fissure, and the reconstructed images were imported into a smartphone application of double-exposure camera to use simple AR technology to delineate the hematoma and the lateral fissure and design surgical incision and bone window, while the lateral fissure and the insula were dissected

收稿日期:2025-05-02;修回日期:2026-02-20

通信作者:张亚飞,Email:347100613@qq.com。

under neuroendoscopy to remove intracerebral hematoma; for the patients in the microsurgical craniotomy group, the lateral fissure and the insula were dissected using small bone flap craniotomy under a microscope to remove intracerebral hematoma. The two groups were compared in terms of general data, time of operation, intraoperative blood loss, residual hematoma volume, length of hospital stay, state of consciousness before and after surgery, postoperative complications, and prognosis. **Results** Compared with the microsurgical craniotomy group, the AR endoscopy group had a significantly shorter time of operation, significantly lower intraoperative blood loss and residual hematoma volume, and a significantly shorter length of hospital stay ($P<0.05$). Both groups had a significant increase in Glasgow Coma Scale score after surgery, and the AR endoscopy group had a significantly higher score than the microsurgical craniotomy group ($P<0.05$). The AR endoscopy group had a significantly lower incidence rate of postoperative complications than the microsurgical craniotomy group ($P<0.05$). At 6 months of follow-up, both groups had a significant reduction in NIH Stroke Scale score, and the AR endoscopy group had a significantly better score than the microsurgical craniotomy group ($P<0.05$). The AR endoscopy group also had a significantly higher score of Activities of Daily Living than the microsurgical craniotomy group ($P<0.05$). **Conclusion** In the treatment of basal ganglia hemorrhage, simple AR technology-assisted neuroendoscopic lateral fissure-insula approach can help to directly observe the location of the hematoma and the lateral fissure, shorten the time of operation, reduce intraoperative blood loss, improve hematoma clearance rate, reduce the overall incidence of postoperative complications, and improve the quality of life of patients.

Keywords: augmented reality technology; neuroendoscopy; lateral fissure - insula approach; basal ganglia; minimally invasive surgery; efficacy

基底节区脑出血是常见的脑出血类型,其病死率和病残率高,预后差^[1]。传统开颅手术可清除血肿,降低颅内压,但创伤大,并发症多。神经内镜在高血压脑出血的手术治疗中有诸多优势^[2-3]。神经内镜下经侧裂岛叶入路治疗基底节区脑出血是一种新术式^[4]。基底节区位置深,内镜操作空间狭小,血肿清除范围难以把控,易造成医源性损伤和血肿残留^[5]。3D-Slicer软件可以通过术前头颅CT数据对头皮、颅骨、血肿进行三维重建,联合智能手机实现简易增强现实(augmented reality, AR)技术^[6-7]。该技术可以将血肿直观、可视化的显影在患者头皮,可以清楚地了解术区解剖关系,准确定位血肿,设计最优的手术路径,最大程度地保护脑组织。本研究拟对比简易AR辅助神经内镜下经侧裂岛叶入路与开颅显微镜经侧裂岛叶入路治疗基底节区脑出血的临床效果,并结合相关文献分析其技术优势及应用价值,为临床应用提供参考。

1 资料与方法

1.1 一般资料

回顾分析2021年1月—2024年6月汉中市人民医院收治的78例基底节区脑出血患者的临床资料。其中,40例采用简易AR技术辅助神经内镜经侧裂岛叶入路血肿清除术(简称AR内镜组),38例采用传统的开颅显微镜经侧裂岛叶入路血肿清除术(简称显微开颅组)。

纳入标准:①有明确的高血压病史,年龄35~72岁;②首次发病,发病时间1~6h;③经头颅CT检查明确出血位于基底节区;④用3D-Slicer软件计算血肿量30~70 mL,未发生脑疝;⑤发病后均有不同程度的意识障碍、

偏瘫、失语等神经功能受损表现;⑥于入院后6h内手术,两组手术均由同一组医师团队处理。排除标准:①生命体征趋于衰竭者;②长期口服抗血小板、抗凝药物和凝血功能障碍者;③脑肿瘤、脑动脉瘤和动静脉畸形、外伤引起的出血者;④严重的脏器功能障碍者。

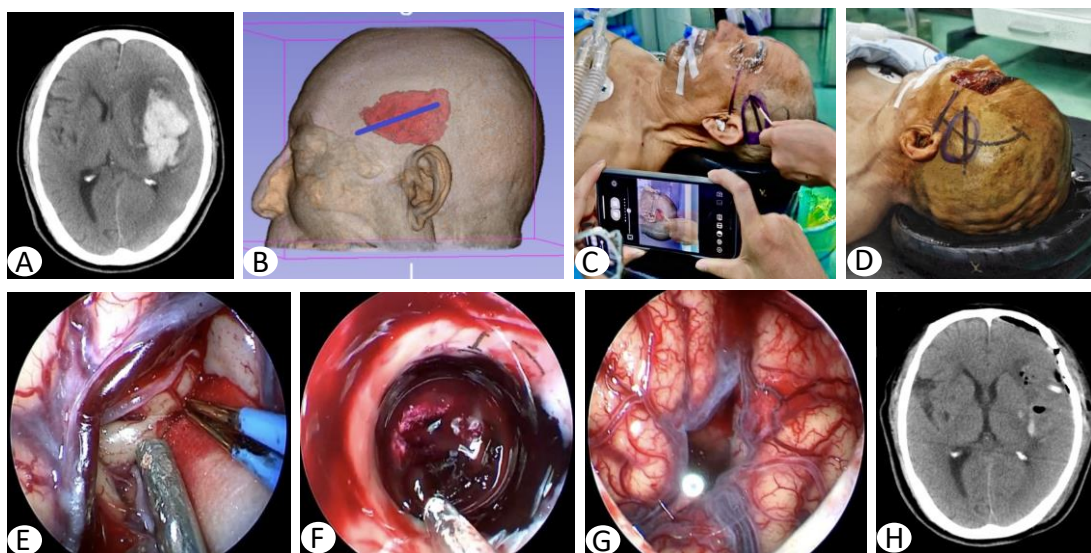
1.2 方法

1.2.1 AR内镜组

采用简易AR技术辅助神经内镜下经侧裂岛叶入路脑内血肿清除术。①重建三维虚拟可视化模型。手术医师在计算机上运行3D-Slicer软件,将术前薄层(层厚1.2 mm)头颅CT(图1A)的Dicom数据导入软件,通过软件Segment Editor模块中的Threshold、Scissors、Smoothing工具进行血肿重建,并通过Models模块计算血肿量。其次通过Threshold分隔颅骨,使用Wrap solidify工具,勾选Largest cavity、Split cavities,设置30 s,勾选New Segment成新的分隔体,Apply后显示剥离颅骨的3D脑组织图,通过Curve Maker模块标记侧裂。再通过Volume rendering模块中的Preset、Shift、Advanced、Volume properties工具设置皮肤、颅骨的透明度,将血肿及侧裂可视化,然后保存图片备用(图1B);②简易AR技术辅助定位。运行手机重曝相机APP,将重建的可视化图像导入重曝相机APP作为底片,调整底片的曝光度与患者头面部皮肤同时显影,将重建的虚拟三维图与患者外毗、耳廓位置明显解剖位置准确融合,在智能手机的实时可视化引导下,精确定位并描记血肿范围及侧裂的体表投影,实现简易AR技术(图1C)。根据血肿和侧裂的位置设计手术切口(图

1D);③手术过程。采用颞部小弧形切口或者侧裂的投影直切口,长6~8 cm,骨窗直径3~4 cm,取仰卧位,对于主体靠后的基底节血肿,头向对侧旋转30°;中间型基底节血肿,头向对侧旋转45°;对于主体靠前的基底节血肿,头向对侧旋转60°。消毒、铺巾,常规开颅,弧形剪开硬膜,显露侧裂前点,观察侧裂静脉走行情况,零度镜辅助下分离侧裂,释放脑脊液,确定合适的分离平面,显露大脑中动脉M2、M3段,显露岛叶(图1E),于岛叶无血管区电凝后切开岛叶皮质约1 cm,深度0.5~1.0 cm,即可到血肿

腔,内镜下吸除部分血肿减压后,置入自制的5 mL注射器透明通道管。清除部分血肿进一步减压。若血肿腔存在活动性出血,更换为10 mL注射器通道管,电凝止血。随后在0°内镜下彻底清除血肿(图1F)。必要时,使用30°内镜探查并清除周围残留血肿。整个操作过程中需谨慎保护周围正常脑组织。血肿腔渗血可予压迫止血,反复温盐水冲洗血肿腔,确认无出血后,止血纱覆盖血肿腔(图1G),血肿腔留置引流管,缝合硬膜,回纳骨瓣,缝合头皮。术后24 h复查头颅CT(图1H)。



A:术前头颅CT示左侧基底节区脑出血,血肿量58 mL;B:基于3D-Slicer软件对血肿、头皮和外侧裂三维重建模型图;C:重建的模型图导入手机重曝相机APP与头皮实时融合,实现简易AR技术,在手机屏幕的监视下精准标记血肿的边界和外侧裂体表投影;D:根据血肿范围和外侧裂的位置设计手术切口;E:神经内镜辅助下解剖外侧裂,显露岛叶皮质;F:内镜下清除血肿;G:血肿完全清除后内镜视野;H:术后24 h复查头颅CT证实血肿已完全清除。

图1 简易AR技术辅助神经内镜下经侧裂岛叶入路治疗基底节区脑出血的手术流程图

1.2.2 显微开颅组

显微开颅组根据术者经验定位血肿及侧裂,额颞部弧形手术切口,常规开颅,显微镜下分离侧裂至岛叶,岛叶皮质造瘘,吸引器配合双极电凝缓慢清除血肿,止血,留置引流,骨瓣复位并关颅。

1.3 术后处理

对于术前格拉斯哥昏迷评分(Glasgow coma scale, GCS)≤8分者,术后保留气管插管,给予镇静。术后24 h复查CT。使用乌拉地尔微量泵控制血压120~140/80~90 mmHg,给予止血、脱水、预防癫痫、抗菌、对症支持、防治下肢静脉血栓、康复等治疗。对于肺部感染重难以排痰者,早期给予气管切开。

1.4 观察指标

①两组患者的一般资料:性别、年龄、发病时间、血肿量、血肿侧别及GCS;②围手术期指标:记录两组患者手

术时间、术中出血量、血肿残留量(3D-Slicer软件计算)、住院时间;③意识恢复情况:记录两组患者术前及术后第7、15及30天的GCS,评分越低意识障碍越重,评分越高患者意识情况越好;④并发症:记录两组术后的肺部感染、再出血、脑梗死、癫痫、颅内感染等并发症情况;⑤转归:出院后随访6个月,门诊复查和电话随访,采用美国国立卫生研究院卒中量表(National Institute of Health Stroke Scale, NIHSS)评分比较两组患者神经功能受损恢复情况,总分0~42分,分值越低,神经功能恢复越好。采用日常生活能力(activity of daily living, ADL)评分评估两组患者治疗前后的生活能力,总分100分,分值越高,生活能力越好。

1.5 统计学方法

采用SPSS 27.0对数据进行统计分析。计量资料以均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,比较采用 t 检验或重复测量方差

分析;计数例数以例(%)表示,比较采用 χ^2 检验,若频次 <5 时采用Fisher确切概率法,并发症发生例数较少时仅做描述性统计;以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组一般资料比较

两组一般资料比较,差异无统计学意义($P>0.05$),具有可比性。见表1。

表1 两组的一般资料比较

| 组别 | 男/女/例 | 年龄/(岁, $\bar{x}\pm s$) | 发病时间/(h, $\bar{x}\pm s$) | 血肿量/(mL, $\bar{x}\pm s$) | 血肿左侧/右侧/例 | GCS/(分, $\bar{x}\pm s$) |
|-----------------|-------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------|--------------------------|
| AR内镜组($n=40$) | 23/17 | 64.24 \pm 2.78 | 4.34 \pm 1.25 | 45.21 \pm 3.86 | 22/18 | 8.24 \pm 1.76 |
| 显微开颅组($n=38$) | 20/18 | 63.28 \pm 2.38 | 4.53 \pm 1.12 | 44.25 \pm 4.63 | 20/18 | 8.36 \pm 1.69 |
| χ^2 值 | 0.191 | 1.642 | -0.712 | 1.001 | 0.041 | -0.312 |
| P 值 | 0.664 | 0.106 | 0.481 | 0.321 | 0.834 | 0.748 |

2.2 两组围手术期指标比较

AR内镜组手术时间、术中出血量、血肿残留量和住

院时间均低于显微开颅组,差异均有统计学意义($P<0.05$)。见表2。

表2 两组患者的手术时间、术中出血量、血肿残留量、住院时间比较 ($\bar{x}\pm s$)

| 组别 | 手术时间/min | 术中出血量/mL | 血肿残留量/mL | 住院时间/d |
|-----------------|--------------------|--------------------|-----------------|------------------|
| AR内镜组($n=40$) | 97.02 \pm 16.05 | 94.85 \pm 20.54 | 3.82 \pm 2.51 | 18.88 \pm 3.83 |
| 显微开颅组($n=38$) | 175.05 \pm 20.97 | 280.33 \pm 40.18 | 6.47 \pm 2.38 | 23.74 \pm 3.05 |
| t 值 | -15.323 | -25.181 | -4.952 | -6.214 |
| P 值 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 |

2.3 两组手术前后意识情况恢复对比

两组患者手术前后GCS采用重复测量方差分析,结果显示:①两组不同时间点比较,差异有统计学意义($F=68.410$, $P<0.001$),两组GCS均随术后时间延长而显著改善;②组间主效应有统计学意义,AR内镜组整体GCS高于显微开颅组($F=12.360$, $P<0.001$);③交互效应有统计学意义,两组GCS随术后时间的延长,AR内镜组的恢复速度更快($F=5.270$, $P<0.002$)。见表3。

表3 两组患者手术前后GCS比较 ($\bar{x}\pm s$, 分)

| 组别 | 术前 | 术后第7天 | 术后第15天 | 术后第30天 |
|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|
| AR内镜组($n=40$) | 8.32 \pm 1.88 | 10.75 \pm 1.16 | 11.67 \pm 1.26 | 13.32 \pm 1.28 |
| 显微开颅组($n=38$) | 8.25 \pm 1.59 | 9.27 \pm 1.25 | 10.05 \pm 1.06 | 11.58 \pm 1.33 |

2.4 两组术后并发症比较

AR内镜组术后并发症发生率为10%(4/40),低于显微开颅组28.9%(11/38)。经Fisher确切概率法检验,两组总并发症的发生率差异有统计学意义($P=0.045$),AR内镜组术后并发症发生率更低。见表4。

表4 两组术后并发症发生率比较

| 组别 | 肺部感染/例 | 再出血/例 | 脑梗死/例 | 癫痫/例 | 颅内感染/例 | 发生率/% |
|-----------------|--------|-------|-------|------|--------|--------------------|
| AR内镜组($n=40$) | 2 | 1 | 0 | 0 | 1 | 10 |
| 显微开颅组($n=38$) | 5 | 2 | 1 | 1 | 2 | 28.9 |
| χ^2 值 | — | — | — | — | — | 4.260 |
| P 值 | — | — | — | — | — | 0.045 ^a |

注:—表示没有数据;a表示采用Fisher确切概率法。

2.5 预后指标比较

术后6个月,两组NIHSS评分均降低,且AR内镜组优于显微开颅组,差异有统计学意义($P<0.05$)。术后随

访6个月,AR内镜组NIHSS评分优于显微开颅组,ADL评分高于显微开颅组,差异有统计学意义($P<0.05$)。见表5。

表5 两组患者术前和术后6个月NIHSS评分和ADL评分比较 ($\bar{x}\pm s$)

| 组别 | NIHSS评分 | | | | ADL评分 | | | |
|-----------------|------------------|------------------|--------|----------|------------------|------------------|--------|----------|
| | 术前 | 术后6个月 | t 值 | P 值 | 术前 | 术后6个月 | t 值 | P 值 |
| AR内镜组($n=40$) | 26.50 \pm 4.78 | 9.86 \pm 3.86 | 17.144 | <0.001 | 31.57 \pm 4.58 | 68.71 \pm 4.76 | 35.573 | <0.001 |
| 显微开颅组($n=38$) | 27.23 \pm 4.65 | 13.86 \pm 3.98 | 13.457 | <0.001 | 31.96 \pm 4.86 | 51.43 \pm 5.87 | 15.746 | <0.001 |
| t 值 | -0.685 | -4.514 | | | -0.366 | 14.234 | | |
| P 值 | 0.498 | <0.001 | | | 0.715 | <0.001 | | |

3 讨论

目前高血压脑出血的治疗已迈向个体化、微创化、精准化,其手术方式仍然存在争议。开颅手术创伤大,穿刺引流手术损伤小,但不能在直视下止血,血肿难以一次性清除。显微镜下经侧裂岛叶入路是基底节区脑出血治疗的经典手术入路^[8]。显微镜为管状视野,深部照明差,清除血肿需要牵开侧裂、岛叶才能避免视野盲区,有侧裂血管损伤的风险,增加了脑水肿和术后缺血的可能,对于颞叶深部血肿容易残留^[9]。随着内镜技术的发展,神经内镜手术治疗脑出血以创伤小、止血可靠、血肿清除率高、术后恢复快等优点备受推崇^[10-11]。内镜下治疗基底节区脑出血的常用入路为经额及经颞叶皮质入路。经额路径较长,对血肿的定位要求高,虽然经额可减少白质纤维束的损伤,但需经正常脑组织建立较长工作通道方能清除血肿。经颞路径较短,但需予颞叶皮质造瘘术,存在损伤语言中枢及视觉通路的风险。此外,由于基底节区血肿多呈肾形,经颞入路操作内镜时前后摆动幅度较大,易损伤脑组织及血肿残留。相比之下,神经内镜下经侧裂这一自然间隙清除血肿,可有效规避上述弊端,更符合微创的理念^[12-13]。侧裂间隙空间狭小,内镜下图像缺少立体感,如果对血肿范围把控不准,可引发严重的神经功能损伤及血肿残留。因此,精准的血肿定位技术与内镜下分离侧裂、清除血肿的操作技巧,是手术成功的关键因素。

基底节区是大脑深部重要的神经核团,该部位血肿定位的准确性将直接影响手术效果及预后。目前主要定位方式有传统的手工定位、立体定向、神经导航、机器人辅助、术中超声、3D打印等。传统的手工定位主要依据解剖标志和头颅CT图像测量,其定位简单便捷,但误差较大。立体定向、神经导航及手术机器人定位精准度高,但设备昂贵,操作烦琐,可能存在靶点漂移。术中超声定位成本低,无法在术前定位,需要开窗后使用,可以做到实时成像,但分辨率低。3D打印定位准确度接近导航,制作耗时,从影像获取、建模、打印、消毒等需花费数小时至1 d,对于危及生命的脑出血患者不适用。随着数字神经外科和人工智能的发展,AR技术已在医学领域尤其是神经外科专业中得到广泛关注。AR技术是将虚拟的事物和现实世界进行叠加,并进行互动。本研究采用哈佛大学开发的免费三维可视化平台3D-Slicer软件,联合智能手机重曝相机APP,实现简易AR导航技术,优点有:①成本与可及性优势,3D-Slicer软件可从官网免费下载,不需要购买器材,操作简单便捷,耗时短,只需数分钟,不增加额外的医疗费用,尤其适用于没有条件购买导航及立体定向的单位;②高效的三维重建能力,基于术前二维的CT-Dicom数据,可以快速实现血肿、头皮、颅骨的分割,并且可精确地计算血肿量和残余血肿量^[14];③关键结构的可视化,3D-Slicer软件可以通过颅骨的剥离实现脑组织的重

建,通过简易AR技术,赋予术中一双“透视眼”,重建血肿与周围毗邻的关系,优化骨窗面积和手术入路,有利于规划和理解整体手术思路的设计;④增强术者内镜操作空间感知,内镜视野图像缺少立体感,有“鱼眼效应”的错觉,术前三维血肿重建模型显著增强术者空间感知能力,使神经内镜下操作获得持续立体导向,有效降低血肿残留风险。

神经内镜比显微镜下解剖侧裂有一定的优势,不仅突破了管状视野的限制,还提供了良好的照明和360°全景视野,有效地消除了显微镜视野的盲区,同时减少了对脑组织的牵拉。内镜下解剖侧裂需要一定的操作技巧,可由助手扶镜或使用机械臂固定内镜,调节好合适的视野和焦距后,术者双手先在零度镜下操作。分离时需要轻柔、精准、耐心,利用钝性和锐性相结合的方式。对于外层蛛网膜,可以用尖刀或者皮试针头划破一个小口,再用2把显微镊夹持住蛛网膜破口的两侧,沿着侧裂方向撕开蛛网膜。对于内层蛛网膜需锐性剪开,遵循由近到远、由深向浅、由内向外的原则。整个过程中需要在高倍视野下操作并保持蛛网膜界面的湿润,棉片保护好侧裂血管。充分解剖侧裂后,显露岛叶皮质就更容易。在后续的置入内镜通道过程中分开颞盖和额顶盖时,可实现无张力牵拉,可避免对侧裂血管损伤风险。只要有解剖侧裂的经验和熟练的内镜操作技巧,内镜下分离侧裂的效率和安全性不逊于显微镜。对于脑压高、脑组织肿胀明显可先穿刺减压后再分离。分离时静脉出血,可压迫止血,避免使用电凝。岛叶造瘘后可直接吸除血肿减压后再放置内镜通道,通道可先用5 mL注射器剪去头端,边缘磨圆钝后配合尿管使用。随着血肿的清除,脑压下降后,可更换自制的10 mL注射器通道,其器械操作自由度大,便于止血。对于周围残留血肿可更换30°镜探查清除。处理血肿腔内活动性出血时,需在吸引器辅助下清晰识别出血点,再用低功率电凝精准止血,切忌盲目使用电凝。彻底止血后,需将血压升高至150/100 mmHg左右维持并观察5 min,确认无活动性出血,冲洗液清亮后,方可用止血材料覆盖血肿腔。

3D-Slicer软件联合智能手机实现简易AR辅助技术,在神经内镜脑出血手术中的应用价值已获国内外多项研究证实(表6)。本研究结果显示,简易AR辅助神经内镜手术治疗高血压脑出血较开颅有显著优势,这与多项研究结果报道的一致^[15-20]。主要得益于简易AR技术辅助下神经内镜手术的双重优势,一方面通过三维可视化实现血肿边界的精准定位,另一方面结合内镜本身的微创特性,提升了血肿清除率和手术的安全性。3D-Slicer软件联合手机APP通过术前虚拟重建与实时投影融合不仅可规划合适的手术切口,优化骨窗面积,减少不必要的损伤,提升微创手术精准度,而且在术后评估方面也具有指导意义^[21-23]。鲍波等^[24]采用3D-Slicer辅助神经内镜对比小骨窗开颅,通过二元Logistic回归分析发现,术前GCS>5分

是预后改善的保护因素,高血压病史超过10年,血肿量>50 mL合并破入脑室、围手术期肺部感染是预后不良的高危因素。此外术前血肿增大、血肿清除率、术后并发症及早期康复也显著影响病情恢复^[25]。有研究表明,3D-Slicer辅助神经内镜手术治疗基底节区脑出血不仅可降低炎症指标及脑损伤标志物,还改善血流动力学和神经功能恢复^[26]。该结论与本研究的时效性干预策略高度一致,超急性期血肿尚未固化,内镜吸引更易清除液态成分,同时规避延期手术的脑组织肿胀的风险。Li等^[6]利用3D-Slicer软件联合手机定位血肿对比神经导航准确度相近。该定位技术操作简单、成本低,可通过短期培训掌握,有望为基层医院急诊高血压脑出血手术提供精准的定位^[27]。本研究的简易AR辅助也存在一定的局限性,如果手机虚拟图像与现实患者头皮轮廓没有完全重合,会导致血肿体表投影发生偏移。由于该方案难以实现术中实时交互与血肿清除过程的动态监测,因此有研究尝试将AR技术与3D打印技术相整合^[22],但其临床应用效果尚需更多研究验证。杨利辉等^[28]研究结果显示,超早期

应用简易AR技术辅助神经内镜清除血肿,可减少脑出血术后的并发症,降低致死及致残率。本研究中AR内镜组的并发症发生率明显低于显微开颅组,其中AR内镜组术后肺部感染的发生率明显低于显微开颅组,主要原因为AR内镜组手术时间短,麻醉及气管插管暴露时间相应减少,降低了呼吸机相关肺炎及术后肺部感染的风险。AR内镜组精准定位,减少了对正常脑组织的损伤及干扰,降低术后癫痫、脑梗死的发生率,术后意识恢复更快,其中意识水平是气道自我保护和排痰能力的重要因素,早期意识恢复有利于减少误吸和肺部感染。

总之,采用通过3D-Slicer软件联合手机重曝相机APP可以实现简易AR技术,该方法操作简单便捷,配合神经内镜下经侧裂岛叶入路治疗基底节区脑出血患者,可直观地了解血肿和侧裂的位置,缩短手术时间,减少术中出血,提高血肿清除率,降低术后并发症的总发生率,提高患者的生活质量。受限于样本量,本研究未对单个并发症进行统计学假设检验,后续可扩大样本量开展前瞻性研究进一步验证。

表6 3D-SLicer软件辅助神经内镜手术治疗高血压脑出血主要文献回顾

| 作者 | 发表年份 | 样本量 (例) 观察组/ 对照组 | 观察组方法 | 对照组方法 | 主要指标及研究结论 |
|------------------------|------|---------------------------|------------------------------|----------|--|
| 张山,等 ^[14] | 2021 | 56/50 | 3D-Slicer辅助神经内镜 | 传统开颅 | 通道穿刺准确率高,血肿清除率高,可以提高基底节区脑出血患者的临床效果,促进康复,改善临床预后 |
| 崔冬强,等 ^[15] | 2019 | 41/41 | AR辅助+神经内镜 | 小骨窗开颅 | AR辅助神经内镜治疗脑出血可缩短手术和住院时间,血肿清除率高,整体疗效优于小骨窗开颅 |
| 黄伟,等 ^[16] | 2018 | 30/30 | 3D-Slicer辅助神经内镜 | 小骨窗开颅 | 3D-Slicer辅助神经内镜手术时间短,出血量少,可提高血肿清除率,改善预后 |
| 夏海龙,等 ^[17] | 2025 | 47/37 | AR辅助神经内镜 | 小骨窗显微镜开颅 | AR辅助神经内镜创伤小,血肿清除率高,6个月预后佳 |
| 苏稳,等 ^[18] | 2024 | 33/33 | 3D-Slicer辅助神经内镜 | 显微镜下小骨窗 | 手术时间短,出血量少,术后并发症少,患者恢复更快,预后更佳 |
| Liao,等 ^[19] | 2022 | 60/60 | 3D-Slicer辅助神经内镜 | CT定位开颅 | 血肿清除率高,颅内感染发生率低,有利于患者早期恢复,改善预后 |
| 王凤伟,等 ^[20] | 2020 | 36/— | 3D-Slicer辅助神经内镜 | — | 创伤小,并发症少,疗效好 |
| 仲晓军,等 ^[21] | 2023 | 32/— | 3D-Slicer+术中超声辅助神经内镜 | — | 平均血肿清除率达89.3%,手术时间54 min,术后3个月GOS良好率90.6% |
| 王文举,等 ^[23] | 2022 | 21/29 | 3D-Slicer+Sina/MosoCam辅助神经内镜 | CT定位神经内镜 | 血肿清除率高,手术时间短,对脑出血术前规划和术后评估有指导意义 |
| 鲍波,等 ^[24] | 2022 | 51/51 | 3D-Slicer辅助神经内镜 | 小骨窗显微镜开颅 | 术前GCS>5分是预后改善的独立保护因素,高血压病史超过10年,血肿量>50 mL合并破入脑室、围手术期肺部感染是预后不良的高危因素 |
| 李丛丛,等 ^[25] | 2023 | 94/94 | 3D-Slicer+Sina辅助神经内镜 | CT定位显微镜 | 观察组清除率更高,骨窗小,GOS更佳,3D-Slicer优化手术规划,降低并发症,术前GCS是预后的保护因素 |
| 叶富跃,等 ^[26] | 2022 | 41/41 | 3D-Slicer+智能手机辅助神经内镜 | 小骨窗开颅 | 可提高基底节区脑出血的血肿清除率,缓解氧化应激反应,降低脑损伤指标 |
| 杨利辉,等 ^[28] | 2020 | 96/— | 3D-Slicer辅助神经内镜 | — | 超早期应用3D-Slicer辅助神经内镜治疗基底节区脑出血可有效地降低术后并发症,改善预后 |
| Sun,等 ^[27] | 2024 | 23/— | 3D-Slicer可视辅助手术 | — | 有望为高血压脑出血紧急手术提供准确定位,确定合适的手术切口,减少损伤,提高手术成功率 |
| Li,等 ^[6] | 2022 | 27/— | 3D-Slicer+手机辅助神经内镜 | — | 手术时间短、成本低、工作通道穿刺准确,与导航相比误差为5.1 mm |
| Zhou,等 ^[22] | 2022 | 16/— | 3D-Slicer+3D打印辅助神经内镜 | — | 操作简单,易学,定位准确,便于诊断、术前规划和微创手术的实用技术 |

注:—表示没有数据。

参 考 文 献

- [1] GOYAL N, TSIVGOULIS G, MALHOTRA K, et al. Minimally invasive endoscopic hematoma evacuation vs best medical management for spontaneous basal-ganglia intracerebral hemorrhage[J]. *J Neurointerv Surg*, 2019, 11(6): 579-583.
- [2] PRADILLA G, RATCLIFF JJ, HALL AJ, et al. Trial of early minimally invasive removal of intracerebral hemorrhage[J]. *N Engl J Med*, 2024, 390(14): 1277-1289.
- [3] LU WC, WANG H, FENG K, et al. Neuroendoscopic-assisted versus mini-open craniotomy for hypertensive intracerebral hemorrhage: a retrospective analysis[J]. *BMC Surg*, 2022, 22(1): 188.
- [4] 蔡恒森. 神经内镜下经侧裂-岛叶入路手术治疗高血压基底节区脑出血的疗效分析[J]. *微创医学*, 2022, 17(2): 191-194.
- [5] ABD-EL-BARR MM, COHEN AR. The origin and evolution of neuroendoscopy[J]. *Childs Nerv Syst*, 2013, 29(5): 727-737.
- [6] LI FY, GAN ZC, XU XH, et al. Smartphone navigated endoscopic port surgery of hypertensive basal ganglia hemorrhage[J]. *J Clin Neurosci*, 2022, 101: 193-197.
- [7] GAO WB, LI ZF, ZHANG LW. Surgical techniques and prevention of complications in the treatment of basal ganglia hemorrhage through the distal Transylvian approach[J]. *J Craniofac Surg*, 2020, 31(1): e27-e30.
- [8] 卢佩林, 刘晓红, 姜绪涛, 等. 中等出血量的高血压性基底节区脑出血的显微外科治疗体会[J]. *中华神经医学杂志*, 2020, 19(2): 188-190.
- [9] 万力源, 秦晓雅, 赵晓平, 等. 神经内镜术与小骨窗血肿清除术治疗高血压脑出血疗效的Meta分析[J]. *国际神经病学神经外科学杂志*, 2019, 46(3): 240-245.
- [10] CAI Q, GUO Q, LI ZY, et al. Minimally invasive evacuation of spontaneous supratentorial intracerebral hemorrhage by transcranial neuroendoscopic approach[J]. *Neuropsychiatr Dis Treat*, 2019, 15: 919-925.
- [11] 李传峰, 鲁晓杰, 王国华, 等. 术中超声辅助神经内镜经侧裂入路治疗高血压脑出血的疗效及安全性观察[J]. *中华医学杂志*, 2021, 101(9): 620-623.
- [12] 蒋耀峰, 沈洋, 董誉, 等. 神经内镜下经外侧裂入路血肿清除术治疗高血压脑出血的临床疗效和预后分析[J]. *局解手术学杂志*, 2021, 30(6): 494-497.
- [13] 谢国强, 王欣, 郝五记, 等. 基于3D Slicer软件探讨高血压脑出血血肿体积诊断的准确性[J]. *国际神经病学神经外科学杂志*, 2019, 46(1): 17-20.
- [14] 张山, 武一平, 祁红辉, 等. 3D-Slicer软件辅助神经内镜血肿清除术治疗高血压基底节区出血的疗效观察[J]. *中国医学装备*, 2021, 18(9): 103-107.
- [15] 崔冬强, 冯铭, 束旭俊, 等. 增强现实技术辅助神经内镜与小骨窗开颅血肿清除术治疗高血压脑出血疗效分析[J]. *中国现代神经疾病杂志*, 2019, 19(9): 654-660.
- [16] 黄伟, 郭凤, 冯波, 等. 3D-Slicer结合神经内镜与显微手术治疗基底节区高血压脑出血的疗效对比研究[J]. *临床外科杂志*, 2018, 26(7): 494-496.
- [17] 夏海龙, 杨刚, 郑超. 基于增强现实技术的神经内镜下血肿清除术治疗幕上自发性脑出血的应用研究[J]. *中华神经外科疾病研究杂志*, 2025, 19(2): 72-76.
- [18] 苏稳, 马洁. 3D-Slicer辅助神经内镜治疗高血压脑出血的临床效果研究[J]. *浙江创伤外科*, 2024, 29(3): 483-486.
- [19] LIAO RF, LIU LM, SONG B, et al. 3D-slicer software-assisted neuroendoscopic surgery in the treatment of hypertensive cerebral hemorrhage[J]. *Comput Math Methods Med*, 2022, 2022: 7156598.
- [20] 王凤伟, 杨金庆, 薛勇. 3D-Slicer软件辅助神经内镜手术治疗高血压性基底节区出血[J]. *中国临床神经外科杂志*, 2020, 25(7): 470-471.
- [21] 仲晓军, 陈心乐, 孙艳丽, 等. 3D-Slicer软件联合术中超声辅助神经内镜治疗高血压脑出血的临床应用[J]. *中国微侵袭神经外科杂志*, 2023, 27(12): 152-153.
- [22] ZHOU L, WANG WJ, LI ZY, et al. Clinical application of 3D-Slicer + 3D printing guide combined with transcranial neuroendoscopic in minimally invasive neurosurgery[J]. *Sci Rep*, 2022, 12(1): 20421.
- [23] 王文举, 吴远山, 蔡强, 等. 3D-slicer联合Sina/MosoCam软件辅助神经内镜治疗幕上高血压性脑出血的临床应用[J]. *中国医药导报*, 2022, 19(22): 140-143.
- [24] 鲍波, 李文化, 潘鹏, 等. 3D-slicer辅助神经内镜术与显微手术治疗高血压脑出血的效果及预后的影响因素[J]. *中国实用神经疾病杂志*, 2022, 25(12): 1543-1548.
- [25] 李丛丛, 王献峰, 赵市伟, 等. 3Dslicer联合Sina软件辅助神经内镜下微创治疗幕上高血压脑出血的应用研究及其预后影响因素分析[J]. *立体定向和功能神经外科杂志*, 2023, 36(3): 171-177.
- [26] 叶富跃, 杨堃, 马春阳, 等. 3D-Slicer联合智能手机辅助定位下神经内镜血肿清除术对基底节区脑出血患者的应用价值研究[J]. *中国临床神经科学*, 2022, 30(1): 49-55.
- [27] SUN XY, SUN G, HE B, et al. Application of 3D visualization technology based on hematoma edge key points setting for emergency hypertensive cerebral hemorrhage surgery in primary hospitals[J]. *J Clin Neurosci*, 2024, 119: 39-44.
- [28] 杨利辉, 贾亚男, 闫建敏, 等. 3D-slicer辅助神经内镜治疗不同时期基底节区脑出血的研究[J]. *中华神经创伤外科电子杂志*, 2020, 6(5): 275-278.

责任编辑:王荣兵