

· 脑卒中适宜技术 ·

3D-Slicer 软件辅助神经内镜在高血压脑出血患者手术治疗中的应用

扫描二维码
查看更多李天宇¹, 高俊逸², 崔明锐¹, 李一凡², 张继², 陈锦华², 王铮³, 秦瑞琦²

作者单位: 1.116044辽宁省大连市, 大连医科大学研究生院 2.225300江苏省泰州市人民医院医学影像科 3.225300江苏省泰州市人民医院神经外科

通信作者: 秦瑞琦, E-mail: tz_qrq@163.com

【摘要】 高血压脑出血(HICH)是神经外科常见的急危重症,其病情发展迅速,致死率、致残率较高,已严重威胁到患者的生命安全。外科手术是治疗HICH的常用方法,近年随着微创神经外科和内镜技术发展,神经内镜因创伤小等优点而逐渐用于HICH患者手术治疗。3D-Slicer软件是一款用于医学影像处理的软件,由于其可对影像学资料进行多模态融合和三维重建,故可用于HICH患者血肿体积测量、血肿定位和手术路线规划。本文主要综述了3D-Slicer软件辅助神经内镜在HICH患者手术治疗中的应用。

【关键词】 颅内出血, 高血压性; 外科手术; 神经内镜; 3D-Slicer软件; 综述

【中图分类号】 R 743.34 **【文献标识码】** A **DOI:** 10.12114/j.issn.1008-5971.2024.00.083

Application of 3D-Slicer Software Assisted Neuroendoscopy in the Surgical Treatment of Patients with Hypertensive Cerebral Hemorrhage

LI Tianyu¹, GAO Junyi², CUI Mingrui¹, LI Yifan², ZHANG Ji², CHEN Jinhua², WANG Zheng³, QIN Ruiqi²

1. Graduate School of Dalian Medical University, Dalian 116044, China

2. Department of Radiology, Taizhou People's Hospital, Taizhou 225300, China

3. Department of Neurosurgery, Taizhou People's Hospital, Taizhou 225300, China

Corresponding author: QIN Ruiqi, E-mail: tz_qrq@163.com

【Abstract】 Hypertensive cerebral hemorrhage (HICH) is a common critical illness in Department of Neurosurgery, its rapid development, high mortality and disability rate have seriously threatened the life safety of patients. Surgery is a common method for the treatment of HICH. In recent years, with the development of minimally invasive neurosurgery and endoscopic techniques, neuroendoscopy has been gradually used for surgical treatment of HICH patients due to its advantages of small trauma. 3D-Slicer software is a software for medical image processing, it can be used for hematoma volume measurement, hematoma location and surgical route planning in HICH patient due to it can perform multi-modal fusion and three-dimensional reconstruction of imaging data. This article mainly reviews the application of 3D-Slicer software assisted neuroendoscopy in the surgical treatment of HICH patients.

【Key words】 Intracranial hemorrhage, hypertensive; Surgical procedures, operative; Neuroendoscopy; 3D-Slicer software; Review

高血压脑出血(hypertensive cerebral hemorrhage, HICH)是高血压的严重并发症之一,其发病迅速、进展较快,是病死率和致残率较高的脑卒中类型^[1]。手术是治疗HICH的常规方法,其可以清除颅内血肿,缓解脑组织水肿,降低颅内压,控制疾病发展,保护神经元及减轻神经功能损伤^[2-4]。大骨瓣开颅术是临床常用的HICH手术方式,其具有技术成熟、手术视野好等优点,但因创伤大、术中出血量多且术后

易发生再出血和感染等缺点患者接受度较低^[5-6]。近年随着医疗技术不断进步,神经内镜辅助下微创颅内血肿清除术凭借手术时间短、创伤小、出血量少、恢复快、预后好等优势,在临床得到广泛应用,且治疗效果确切^[7-8];但该术式操作空间小,对血肿定位准确率的要求高,故手术具有一定难度^[9]。3D-Slicer软件作为一款影像信息分析处理软件,可以实现CT和MRI影像学资料的多模态融合,对颅内解剖结构进行三维重建,进而使手术操作更直观、精确,故其也逐渐应用在HICH患者的手术治疗中^[10]。本文主要综述了3D-Slicer软件辅助神经内镜在HICH患者手术治疗中的应用。

1 神经内镜在HICH患者手术治疗中的应用

HICH是一种发生在脑实质内的出血性疾病,其主要发病

基金项目:江苏省333高层次人才培养项目(BRA2020193);江苏省六个一高层次人才培养工程项目(LGY2018032);江苏省青年医学人才项目(QNRC2016509);泰州市人民医院院级教学研究课题(JX-1-202302)

机制为:患者长期高血压导致脑内细小动脉发生玻璃样变、粥样硬化或形成粟粒性微动脉瘤,在血压突然剧烈升高的情况下,病变血管破裂并形成颅内血肿,引发占位效应,继而造成颅内高压,诱发脑损伤;此外,血肿介导的炎症反应及其代谢产物产生的直接毒性物质也会持续损伤神经元,导致神经元死亡及脑水肿等严重后果^[11-12]。HICH发病急骤、病情进展快,通常需要行急诊手术以清除血肿、降低颅内压,从而控制病情。

近年随着内镜技术的发展及人们对微创理念的深入了解,神经内镜逐渐应用于HICH患者手术治疗中。神经内镜可通过小型骨孔探入颅内并深入血肿腔,进而利用光学照明和成像系统为手术医生提供宽大的视野和清晰的颅内图像。研究表明,在神经内镜直视下进行手术可避免和减少颅内组织、血管和神经等重要结构的损伤,进而利于患者术后快速恢复^[13]。郭伟等^[14]研究表明,与行传统大骨瓣开颅术的HICH患者相比,行神经内镜下微创术的HICH患者血肿清除效果更佳,手术时间更短,术中出血量更少,术后预后更好。LU等^[15]研究表明,小骨窗开颅术与神经内镜手术均可以有效清除HICH患者血肿,提高患者生存率,但对于椭圆形血肿患者,神经内镜手术的血肿清除率高于小骨窗开颅术。李丛丛等^[16]研究表明,对于HICH破入脑室患者,神经内镜手术较显微手术能更好地清除脑室内血肿、降低颅内感染率,改善患者远期预后。

目前,神经内镜在HICH患者手术治疗中的应用较为成熟,近年随着B超和三维重建等辅助定位技术发展,神经内镜在术中操作的精准度进一步提高,故其与定位技术融合是HICH患者手术方式发展的方向之一。

2 3D-Slicer软件在神经外科领域的应用

3D-Slicer软件是由哈佛大学和麻省理工学院共同研发的一款用于医学图像数据处理的免费开源软件,其基本功能包括数据的可视化、配准、分割和量化,同时具有拓展性,可以通过外部代码进行交互式应用功能的开发^[17]。3D-Slicer软件可将CT和MRI等影像学资料进行多模态融合,将二维图像数据转换为三维立体模型,在空间层面呈现人体正常组织和病变部位,故其在明确疾病诊断、规划手术路径、实现精准定位、指导术中操作等方面拥有巨大的优势和潜力。

在神经外科领域,3D-Slicer软件已在HICH、颅内血管病变、颅脑肿瘤、三叉神经痛等疾病的辅助诊疗中得到较为广泛的应用。由于颅脑解剖结构复杂,重要神经和血管分布密集,颅脑外科手术过程中易造成损伤,故颅脑外科手术难度较大、对精确度的要求较高。而3D-Slicer软件可以重新建立颅神经、血管及颅内病灶的多模态融合的三维图像,从而确定颅脑病变的形态和位置,并可通过分割与测量病变范围,且任意角度的旋转及任意结构的淡化与隐藏可以帮助临床医生分析病变部位与周围正常组织的毗邻关系,这对实现病灶定位、评估手术难度、完成手术设计、进行手术指导具有重要意义^[18-19]。此外,相比于有定位和手术指导作用的神经导航技术,3D-Slicer软件还具有价格低廉、操作简便等优势,适用于不同级别的医院,具有更广的应用范围。

3 3D-Slicer软件辅助神经内镜在HICH患者手术治疗中的作用

3.1 测量血肿体积

出血量是评估HICH患者预后的简单、可靠的指标,准确测量颅内血肿体积对合理制定临床治疗方案、正确评估治疗效果及预后均具有重要意义^[20]。多田公式是临床广泛使用的血肿体积计算公式,其是由椭圆体体积的计算公式演变而来,这就要求血肿在形态上近似椭圆体。WEBB等^[21]研究发现,多田公式在计算大型分叶状不规则血肿体积时存在较大误差。在CT图像上,不同颅脑组织/结构的CT值不同,而3D-Slicer软件可以根据CT值自动识别、分割颅内血肿,进而重建血肿三维模型,再根据每个层面血肿面积及CT扫描层厚计算血肿体积^[22]。谢国强等^[23]通过对117例HICH患者血肿数据进行体素估算和比较发现,3D-Slicer软件可以在较短时间内准确计算血肿体积,其值优于多田公式,且操作简便、易行,可作为血肿体积的近似直接测量方法。CHEN等^[24]研究表明,3D-Slicer软件测量的血肿体积稳定且准确率高。李蕾洋等^[25]研究发现,3D-Slicer软件可以精准测量HICH引发的血肿周围水肿体积,进而为治疗方案定制和预后评估提供客观依据。伍刚等^[26]通过比较多田公式和3D-Slicer软件测量治疗前后血肿体积的差值发现,3D-Slicer软件测量的治疗前后血肿体积的差值能更好地预测颅内血肿扩大情况。CAO等^[27]利用3D-Slicer软件计算血肿表面积和体积,并开发出一种量化血肿不规则性的方法,这可能为预测脑出血后血肿扩大提供参考。

综上,3D-Slicer软件可以在较短时间内准确计算HICH患者血肿体积,且操作简便、易行。

3.2 定位血肿

神经内镜辅助下颅内血肿清除术是使用一次性透明工作鞘通过微型颅骨窗口,经血肿长轴穿刺到达血肿腔内部,建立通道,再将神经内镜伸入通道内进行操作,故术前对颅内血肿精准定位是实施血肿清除术的前提条件^[28]。目前,临床上常用的血肿定位方法有超声定位法、CT定位法、神经导航技术、人工测量法等,但其由于存在局限性大、技术要求高、操作复杂或价格高等因素,并不适用于急诊手术,这也为3D-Slicer软件的应用提供了契机。杨森源等^[29]采用3D-Slicer软件对40例颅脑病变患者进行术前定位,结果显示,其定位的血肿位置与病变中心的距离为 (0.24 ± 0.14) cm,而采用传统方法定位的血肿位置与病变中心的距离为 (0.48 ± 0.30) cm,差异有统计学意义 $(P < 0.05)$,提示相比于传统方法,3D-Slicer软件对颅脑病变患者术前定位更准确。谢国强等^[23]研究结果显示,在3D-Slicer软件辅助下对30例HICH患者行神经内镜下血肿清除术,均成功穿刺血肿并到达目标位置,其血肿清除率为92.8%,提示3D-Slicer软件可为HICH患者神经内镜下血肿清除术提供精确的定位。伍学斌等^[30]研究表明,3D-Slicer联合sina软件辅助神经内镜血肿清除术治疗HICH患者的效果优于CT定位下血肿微创软通道穿刺引流术,且3D-Slicer联合sina软件可为神经内镜血肿清除术提供快速、准确的术前定位。

LI等^[31]利用3D-Slicer软件开发基于Android手机和Compass软件的低成本导航方法,结果显示,与标准神经导航技术相比,其定位血肿位置的平均误差为5.1 mm,准确率更高。

综上,3D-Slicer软件可以精准定位HICH患者血肿位置,但其是通过CT和MRI影像学图像建立三维模型,故影像学图像质量对血肿定位准确性具有较大影响。

3.3 规划手术路线

神经内镜辅助下血肿清除术作为一种微创手术,其操作空间狭小,这就要求外科医生具有较高的操作技能;此外,神经内镜呈现的画面缺乏立体感,导致操作者难以把握操作深度;再者,由于病变边缘图像变形,外科医生较难精准、快速辨认组织结构,易造成医源性损伤^[32]。因此,合理的手术路线对提高血肿清除效果、减少重要脑组织和神经血管损伤具有重要意义。王凤伟等^[33]利用3D-Slicer软件术前模拟手术开窗并精确计算穿刺角度和深度,结果显示,3D-Slicer软件辅助神经内镜手术治疗高血压基底核出血患者效果满意。LIAO等^[34]比较了常规手术路线和采用3D-Slicer软件规划手术路线对HICH患者治疗效果的影响,结果显示,采用3D-Slicer软件规划手术路线的患者术后再感染、再出血发生率明显低于采用常规手术路线的患者,提示采用3D-Slicer软件规划的手术路线更加合理,可以减少神经损伤。SONG等^[35]、鲍波等^[36]研究比较了3D-Slicer软件辅助下神经内镜血肿清除术和单纯神经内镜血肿清除术对HICH患者神经功能恢复效果的影响,结果显示,3D-Slicer软件辅助下神经内镜血肿清除术可最大限度地保护颅内神经、血管,避免重要结构损伤,更利于神经功能恢复。韦成聪等^[37]研究表明,采用3D-Slicer软件辅助神经内镜治疗HICH,除定位精准外,还能指导内镜通道的建立,进而减少手术带来的损伤。李知阳等^[38]及郭伟等^[39]比较了3D-Slicer软件联合神经内镜术与CT定位钻孔引流术治疗高血压基底核脑出血患者的临床疗效,结果显示,3D-Slicer软件联合神经内镜术能更有效地清除血肿,降低并发症发生率,分析其原因可能与通过3D-Slicer软件规划的手术路线更合理,而CT判断血肿深度和方向的精确性较差有关。

4 小结与展望

3D-Slicer软件可对CT和MRI的图像数据进行三维模拟,清晰显示颅内血肿的位置、体积及颅内血肿与周围血管、神经的空间关系,其评估颅内血肿体积的准确率高于多田公式;除评估血肿体积外,3D-Slicer软件还可以测量脑部水肿体积、脑室体积,这些数据均可作为脑出血患者病情进展的预测指标;此外,3D-Slicer软件辅助神经内镜进行定位的效果优于传统定位方法,价格低于神经导航技术,且操作相对简单,故具有更广的应用范围;再者,3D-Slicer软件对颅内病灶和正常组织的三维构建还使手术人员能直观地了解血肿位置,这对内镜通道的设计和手术路线的选择提供了有力依据,但3D-Slicer软件无法在术中实现实时互动及动态监测血肿穿刺情况,有学者提出可以与3D打印和增强现实技术结合^[40],但其临床效果有待进一步探究。总之,随着虚拟现实、增强现实、三维模拟技术发展,3D-Slicer软件辅助神经

内镜在HICH手术治疗中将具有更大的发展潜力,但3D-Slicer软件拟合的三维模型是以影像学图像为基础,故影像学图像质量和重建算法是三维模型重建的关键。

作者贡献:李天宇、秦瑞琦进行文章的构思与设计;李天宇进行文章的可行性分析,撰写、修订论文;李天宇、高俊逸、崔明锐、李一凡进行文献/资料收集;张继、陈锦华、王铮进行文献/资料整理;秦瑞琦负责文章的质量控制及审校,并对文章整体负责、监督管理。

本文无利益冲突。

参考文献

- [1] 骆明涛,伍聪,陶传元,等.《高血压性脑出血中国多学科诊治指南》急救诊治解读[J].中国急救医学,2021,41(3):185-190.DOI:10.3969/j.issn.1002-1949.2021.03.001.
- [2] LIU J, CHENG J, ZHOU H J, et al.Efficacy of minimally invasive surgery for the treatment of hypertensive intracerebral hemorrhage: a protocol of randomized controlled trial [J].Medicine, 2021, 100(3): e24213.DOI:10.1097/MD.00000000000024213.
- [3] CAI Z, ZHAO K, LI Y, et al.Early enteral nutrition can reduce incidence of postoperative hydrocephalus in patients with severe hypertensive intracerebral hemorrhage [J].Med Sci Monit, 2022, 28: e935850.DOI:10.12659/MSM.935850.
- [4] ZHAO G P, SHI J, CHEN Y X.Analysis of influencing factors of serum stress index and prognosis of HICH patients by different anesthesia methods combined with small bone window microsurgery [J].J Healthc Eng, 2022, 2022: 6971092.DOI:10.1155/2022/6971092.
- [5] 耿锋,张志文,杨非,等.大骨瓣开颅术治疗重症高血压脑出血的疗效分析[J].临床神经外科杂志,2019,16(3):273-276.DOI:10.3969/j.issn.1672-7770.2019.03.020.
- [6] 何森,薛芳,谢飞,等.幕上中等量高血压脑出血不同手术方式的临床疗效比较[J].国际神经病学神经外科学杂志,2020,47(1):1-5.DOI:10.16636/j.cnki.jinn.2020.01.001.
- [7] ZHAO X H, ZHANG S Z, FENG J, et al.Efficacy of neuroendoscopic surgery versus craniotomy for supratentorial hypertensive intracerebral hemorrhage: a meta-analysis of randomized controlled trials [J].Brain Behav, 2019, 9(12): e01471.DOI:10.1002/brb3.1471.
- [8] 周俊升.探讨不同手术方法治疗高血压脑出血的临床效果[J].中国实用医药,2022,17(2):27-29.DOI:10.14163/j.cnki.11-5547/r.2022.02.009.
- [9] YE Z, AI X L, HU X, et al.Comparison of neuroendoscopic surgery and craniotomy for supratentorial hypertensive intracerebral hemorrhage: a meta-analysis [J].Medicine, 2017, 96(35): e7876.DOI:10.1097/MD.0000000000007876.
- [10] 胡志卿,范学政,李明,等.神经内镜辅助3D-slicer导航在高血压脑出血手术中的应用及预后分析[J].神经损伤与功能重建,2021,16(12):756-758.DOI:10.16780/j.cnki.sjssgnj.20200228.
- [11] 刘彪,王鹏,周游.高血压性脑出血病理解剖学与病理生理学的研究进展[J].中国临床神经外科杂志,2022,27(7):604-606.DOI:10.13798/j.issn.1009-153X.2022.07.027.
- [12] MAGID-BERNSTEIN J, GIRARD R, POLSTER S, et al.Cerebral hemorrhage: pathophysiology, treatment, and future directions [J].Circ Res, 2022, 130(8):1204-1229.DOI:10.1161/

- CIRCRESAHA.121.319949.
- [13] WU R L, BAO J G, ZHANG J P, et al. Clinical effects of neuroendoscopic hematoma evacuation for hypertensive intracerebral hemorrhage [J]. *Am J Transl Res*, 2022, 14 (2): 1084–1091.
- [14] 郭伟, 刘颖. 神经内镜下微创治疗高血压性脑出血的临床研究 [J]. *中外医学研究*, 2023, 21 (10): 27–31. DOI: 10.14033/j.cnki.cfmr.2023.10.007.
- [15] LU W C, 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. DOI: 10.1186/s12893-022-01642-8.
- [16] 李丛丛, 卢煜, 黄永辉, 等. 神经内镜手术与显微手术治疗高血压性脑出血破入脑室的疗效比较 [J]. *中国临床神经外科杂志*, 2023, 28 (6): 400–402. DOI: 10.13798/j.issn.1009-153X.2023.06.014.
- [17] FEDOROV A, BEICHEL R, KALPATHY-CRAMER J, et al. 3D Slicer as an image computing platform for the Quantitative Imaging Network [J]. *Magn Reson Imaging*, 2012, 30 (9): 1323–1341. DOI: 10.1016/j.mri.2012.05.001.
- [18] GONZALO DOMÍNGUEZ M, HERNÁNDEZ C, RUISOTO P, et al. Morphological and volumetric assessment of cerebral ventricular system with 3D slicer software [J]. *J Med Syst*, 2016, 40 (6): 154. DOI: 10.1007/s10916-016-0510-9.
- [19] YOU Y J, NIU Y L, SUN F B, et al. Three-dimensional printing and 3D slicer powerful tools in understanding and treating neurosurgical diseases [J]. *Front Surg*, 2022, 9: 1030081. DOI: 10.3389/fsurg.2022.1030081.
- [20] BRODERICK J P, BROTT T G, DULDNER J E, et al. Volume of intracerebral hemorrhage. A powerful and easy-to-use predictor of 30-day mortality [J]. *Stroke*, 1993, 24 (7): 987–993. DOI: 10.1161/01.str.24.7.987.
- [21] WEBB A J, ULLMAN N L, MORGAN T C, et al. Accuracy of the ABC/2 score for intracerebral hemorrhage: systematic review and analysis of MISTIE, CLEAR-IVH, and CLEAR III [J]. *Stroke*, 2015, 46 (9): 2470–2476. DOI: 10.1161/STROKEAHA.114.007343.
- [22] XU X H, CHEN X L, ZHANG J, et al. Comparison of the Tada formula with software slicer: precise and low-cost method for volume assessment of intracerebral hematoma [J]. *Stroke*, 2014, 45 (11): 3433–3435. DOI: 10.1161/STROKEAHA.114.007095.
- [23] 谢国强, 师蔚, 陈尚军, 等. 3D-slicer软件在高血压脑出血神经内镜微创手术治疗的应用价值 [J]. *中国微侵袭神经外科杂志*, 2017, 22 (3): 109–111. DOI: 10.11850/j.issn.1009-122X.2017.03.004.
- [24] CHEN M H, LI Z, DING J P, et al. Comparison of common methods for precision volume measurement of hematoma [J]. *Comput Math Methods Med*, 2020, 2020: 6930836. DOI: 10.1155/2020/6930836.
- [25] 李蕾洋, 高君梅, 王平, 等. 3D-Slicer软件与多田公式在脑血肿周围水肿体积测量中的对比研究 [J]. *现代医用影像学*, 2019, 28 (11): 2475–2476.
- [26] 伍刚, 刘广韬, 翁宇, 等. ABC/2和Slicer测量体积差值对脑内血肿体积扩大的预测 [J]. *中华临床医师杂志 (电子版)*, 2020, 14 (3): 192–196. DOI: 10.3877/cma.j.issn.1674-0785.2020.03.008.
- [27] CAO L P, LIU M, WANG M M, et al. 3D slicer-based calculation of hematoma irregularity index for predicting hematoma expansion in intracerebral hemorrhage [J]. *BMC Neurol*, 2022, 22 (1): 452. DOI: 10.1186/s12883-022-02983-w.
- [28] 裴云龙, 王宏利. 神经内镜微创术与微创钻孔引流术治疗高血压脑出血的临床效果与安全性分析 [J]. *中国内镜杂志*, 2019, 25 (4): 37–42. DOI: 10.3969/j.issn.1007-1989.2019.04.007.
- [29] 杨森源, 周晓斌, 赖润龙, 等. 3D-Slicer软件在颅内病变手术定位中的应用 [J]. *临床外科杂志*, 2020, 28 (10): 978–981. DOI: 10.3969/j.issn.1005-6483.2020.10.024.
- [30] 伍学斌, 康强, 李敏, 等. 3D-Slicer联合sina软件辅助神经内镜微创手术治疗高血压脑出血的疗效观察 [J]. *中国脑血管病杂志*, 2018, 15 (3): 134–139. DOI: 10.3969/j.issn.1672-5921.2018.03.005.
- [31] LI F Y, GAN Z C, XU X H, et al. Smartphone navigated endoscopic port surgery of hypertensive basal ganglia hemorrhage [J]. *J Clin Neurosci*, 2022, 101: 193–197. DOI: 10.1016/j.jocn.2022.05.012.
- [32] ABD-EL-BARR M M, COHEN A R. The origin and evolution of neuroendoscopy [J]. *Childs Nerv Syst*, 2013, 29 (5): 727–737. DOI: 10.1007/s00381-013-2055-2.
- [33] 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. DOI: 10.13798/j.issn.1009-153X.2020.07.018.
- [34] LIAO R F, LIU L M, 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. DOI: 10.1155/2022/7156598.
- [35] SONG P, DUAN F L, CAI Q, et al. Endoscopic surgery versus external ventricular drainage surgery for severe intraventricular hemorrhage [J]. *Curr Med Sci*, 2018, 38 (5): 880–887. DOI: 10.1007/s11596-018-1957-3.
- [36] 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. DOI: 10.12083/SYSJ.221423.
- [37] 韦成聪, 蓝欢, 周志宇, 等. 3D-slicer软件辅助内镜治疗高血压脑出血 [J]. *立体定向和功能神经外科杂志*, 2017, 30 (4): 221–224.
- [38] 李知阳, 王文举, 魏航宇, 等. 3D-slicer软件联合神经内镜手术治疗高血压基底节区脑出血的临床效果及安全性 [J]. *中国医药*, 2021, 16 (9): 1334–1338. DOI: 10.3760/j.issn.1673-4777.2021.09.013.
- [39] 郭伟, 刘颖, 肖哲, 等. 3D-slicer联合神经内镜术治疗高血压基底核脑出血的效果和安全性 [J]. *慢性病学杂志*, 2023, 24 (5): 685–688. DOI: 10.16440/J.CNKI.1674-8166.2023.05.09.
- [40] ZHOU L, WANG W J, LI Z Y, 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. DOI: 10.1038/s41598-022-24876-1.

(收稿日期: 2023-08-02; 修回日期: 2024-03-06)

(本文编辑: 谢武英)