

3D Slicer辅助下神经内镜对比钻孔引流治疗幕上高血压性脑出血：疗效与安全性的系统评价

李 刚^{1*}, 赵开胜^{2#}

¹延安大学延安医学院, 陕西 延安

²延安大学附属医院神经外科, 陕西 延安

收稿日期: 2026年7月20日; 录用日期: 2026年8月13日; 发布日期: 2026年8月21日

摘 要

幕上高血压性脑出血是神经外科高致死致残率的急重症, 微创手术联合影像导航技术已成为治疗热点。3D Slicer作为开源医学图像处理平台, 可精准规划血肿定位与穿刺路径, 但其辅助下神经内镜与钻孔引流两种微创术式的优劣尚缺乏系统比较。本文通过系统综述, 全面评估两种术式在血肿清除率、手术时间、住院时间、神经功能恢复及术后并发症等方面的差异。现有证据表明, 3D Slicer辅助神经内镜手术在血肿清除率方面显著优于钻孔引流术, 且在改善术后格拉斯哥昏迷评分、改善预后及降低颅内感染和总体并发症风险方面更具优势。然而, 神经内镜手术操作时间可能略长于钻孔引流, 且对术者技术要求更高。钻孔引流术虽操作简便快捷, 但血肿清除效率较低, 再出血风险相对较高。目前多数研究为回顾性设计, 缺乏高质量随机对照试验, 且3D Slicer辅助是否带来独立获益仍需验证。综上, 3D Slicer辅助神经内镜手术在疗效与安全性上整体优于钻孔引流, 适用于血肿体积适中、意识状态尚可的幕上高血压性脑出血患者, 但未来需多中心前瞻性研究明确其长期获益与最佳适应证。

关键词

幕上高血压性脑出血, 神经内镜, 钻孔引流, 3D Slicer软件

3D Slicer-Assisted Neuroendoscopy versus Burr-Hole Drainage for Supratentorial Hypertensive Intracerebral Hemorrhage: A Systematic Review of Efficacy and Safety

Gang Li^{1*}, Kaisheng Zhao^{2#}

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 李刚, 赵开胜. 3D Slicer 辅助下神经内镜对比钻孔引流治疗幕上高血压性脑出血: 疗效与安全性的系统评价[J]. 临床医学进展, 2026, 16(8): 1944-1952. DOI: 10.12677/acm.2026.1682981

¹Yan'an Medical College of Yan'an University, Yan'an Shaanxi²Department of Neurosurgery, Affiliated Hospital of Yan'an University, Yan'an Shaanxi

Received: July 20, 2026; accepted: August 13, 2026; published: August 21, 2026

Abstract

Supratentorial hypertensive intracerebral hemorrhage is a critical emergency in neurosurgery associated with high mortality and disability rates. Minimally invasive surgery combined with image-guided navigation has become a treatment hotspot. As an open-source medical image processing platform, 3D Slicer enables precise preoperative planning for hematoma localization and puncture trajectory; however, a systematic comparison between neuroendoscopy and burr-hole drainage assisted by 3D Slicer is still lacking. This article provides a systematic review of the existing evidence to compare the two procedures in terms of hematoma evacuation rate, operative time, hospital stay, neurological functional recovery, and postoperative complications. Current evidence indicates that 3D Slicer-assisted neuroendoscopic surgery is significantly superior to burr-hole drainage in hematoma evacuation rate, and also shows advantages in improving postoperative Glasgow Coma Scale scores, enhancing functional outcomes, and reducing the risks of intracranial infection and overall complications. Nevertheless, neuroendoscopic surgery may require a slightly longer operative time and higher technical expertise from the surgeon. Burr-hole drainage is simpler and faster to perform, but its hematoma evacuation efficiency is lower and the risk of rebleeding is relatively higher. Most current studies are retrospective in design, and high-quality randomized controlled trials are lacking; moreover, whether 3D Slicer assistance provides independent benefits remains to be validated. In conclusion, 3D Slicer-assisted neuroendoscopic surgery appears overall superior to burr-hole drainage in terms of efficacy and safety for supratentorial hypertensive intracerebral hemorrhage patients with moderate hematoma volume and acceptable consciousness status, but future multicenter prospective studies are needed to confirm its long-term benefits and optimal indications.

Keywords

Supratentorial Hypertensive Intracerebral Hemorrhage, Neuroendoscopy, Burr Hole Drainage, 3D Slicer Software

Copyright © 2026 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

幕上高血压性脑出血(hypertensive intracerebral hemorrhage, Neuroendoscopy-assisted, HICH)是神经外科常见的急重症,具有高发病率、高致残率和高死亡率的特点。全球范围内,其占所有脑卒中的 10%~15%,其中幕上部位(如基底节区、丘脑、皮质下等)最为常见。尽管内科保守治疗在部分轻症患者中具有一定效果,但对于中重度血肿患者,单纯药物干预难以有效控制颅内压升高、减轻继发性脑损伤,且无法及时清除占位效应明显的血肿,导致临床预后不佳。因此,如何选择安全、高效的外科干预策略,成为当前临床面临的重大挑战。

外科手术治疗上 HICH 经历了从传统开颅术向微创技术演进的过程。早期开颅血肿清除术虽能彻底

清除血肿, 但创伤大、手术时间长、术中失血多, 易加重脑组织损伤, 术后并发症发生率高, 限制了其在高龄或基础状况较差患者中的应用。随后, 钻孔引流术(包括立体定向穿刺抽吸引流或联合尿激酶溶栓)因其操作简便、创伤小而被广泛采用, 但其血肿清除效率较低、再出血风险较高, 且依赖术后反复冲洗或溶栓, 延长脑室引流时间, 增加感染风险[1]。近年来, 神经内镜技术凭借其直视下操作、照明良好、视野清晰及可多角度观察等优势, 逐渐成为微创手术的重要选择。多项研究显示, 神经内镜手术在血肿清除率、术后神经功能恢复、住院时间及并发症控制方面均优于传统开颅与钻孔引流术[2]-[4]。然而, 在微创手术时代, 关于神经内镜与钻孔引流术孰优孰劣的争议仍未完全解决, 尤其在血肿体积、部位及患者基础状态下的适应证选择尚缺乏统一标准[5]。

3D Slicer 是一款开源、模块化的医学图像处理平台, 支持多模态影像融合、三维重建、病灶分割及手术路径规划等功能。近年来, 其在神经外科领域的应用日益广泛, 尤其在脑出血个体化治疗中展现出独特优势。在神经内镜手术中, 3D Slicer 可辅助设计最佳穿刺路径, 避免损伤重要功能区与血管; 在钻孔引流术中, 则可用于优化穿刺点与深度, 提高穿刺成功率, 减少操作次数[6]。研究表明, 3D Slicer 辅助下的神经内镜术可改善血肿清除效率、缩短手术时间并降低并发症风险, 显示出良好的临床转化前景[7]。

目前关于 3D Slicer 辅助下神经内镜与钻孔引流术治疗幕上 HICH 的疗效与安全性尚缺乏系统性评价, 本研究拟通过系统综述, 全面比较两种术式在血肿清除率、神经功能预后、住院时间及并发症等方面的表现, 旨在为临床决策提供循证依据, 并推动精准微创神经外科的发展。

2. 3D Slicer 技术在神经外科的应用研究进展

2.1. 3D Slicer 软件的核心功能与操作原理

3D Slicer 是一款开源的医学影像分析与可视化平台, 能够将 CT、MRI 等常规医学影像数据转化为高精度的三维数字模型, 从而用于术前规划、术中导航及术后评估[8]。其核心功能包括图像分割、三维重建、体积测量、路径规划及虚拟手术模拟等, 能清晰呈现脑组织、血管、颅骨及病灶之间的空间关系[9]。该软件操作界面友好, 具备模块化设计, 用户可根据临床需求定制工作流程, 尤其适用于缺乏专业 3D 建模能力的临床医生。此外, 3D Slicer 还可与 3D 打印技术结合, 生成个体化手术导板, 实现术中实时定位, 显著缩短寻找目标区域的时间, 从而提升手术的精准度[10]。研究表明, 基于该软件构建的三维模型在脑室系统重建、血肿定位及穿刺路径优化等方面具有良好的准确性与可重复性, 即使在颅骨缺损患者中亦能稳定应用[11]。

2.2. 3D Slicer 辅助神经内镜的技术路径

在神经内镜手术中, 3D Slicer 主要用于术前三维可视化规划与术中精准引导。通过将患者术前影像资料导入软件, 从而重建血肿或病灶的立体形态, 并模拟最佳的入路角度与穿刺轨迹, 避开重要的血管与功能区[12]。结合 3D 打印导板或光学导航设备, 在手术中实时定位, 缩短寻找目标区域的时间。在脑脊液鼻漏或视神经减压术中, 该技术被证实可缩短手术时间、提升术者操作信心[13][14]。此外, 在脑室-腹腔分流术中, 基于 3D Slicer 个性化确定“蔡氏点”穿刺位点, 可有效避开血管密集区, 减少出血风险并提高导管置入准确性[15]。

2.3. 3D Slicer 辅助钻孔引流的技术路径

在钻孔引流术中, 3D Slicer 主要用于术前模拟穿刺路径, 避开重要血管结构, 并预估引流管置入的深度与方向。通过三维重建, 可精确识别血肿边界、分隔情况及与周围结构的空間关系, 从而指导选择最优的钻孔位置和引流方向。研究显示, 采用 3D Slicer 辅助的微创软通道引流术相较于传统钻孔引流,

术中出血量更少、手术时间更短、住院时间更短,且术后并发症发生率显著降低[16]。此外,结合灌洗或引流方式的选择,3D Slicer 可量化术后气颅体积变化,为评估操作安全性提供客观依据[17]。总体而言,3D Slicer 通过提升术前规划的精准性与术中操作的可控性,显著增强了钻孔引流术的微创性与有效性。

3. 两种术式的疗效对比分析

3.1. 血肿清除率对比

血肿清除率是评估幕上 HICH 手术疗效的核心指标之一。多项研究一致表明,3D Slicer 辅助神经内镜手术在血肿清除率方面显著优于传统或改良的钻孔引流术。一项纳入 815 例接受颅骨钻孔神经内镜手术患者的研究显示,平均血肿清除率达 $92.3\% \pm 5.1\%$ [18]。此外,一项比较内镜血肿清除术(EIHR)与穿刺引流术(HPD)的研究发现,内镜组血肿清除率为 86.00%,显著高于穿刺组的 73.00% [19]。另有研究报告,3D Slicer 辅助神经内镜组血肿清除率为 92.7%,而传统开颅组为 87.6% [20];在基底节区出血中,3D Slicer 辅助神经内镜组清除率为 $90.0\% \pm 3.9\%$,显著高于开颅组的 $82.8\% \pm 4.9\%$ [21]。荟萃分析亦支持该结论,显示 3D Slicer 辅助神经内镜在随机对照研究中血肿清除率标准均数差(SMD)为 1.34 [22]。相比之下,钻孔引流术虽操作简便,但受限于引流依赖重力及溶栓药物作用,其血肿清除效率普遍较低。

3.2. 手术时间与操作便捷性

手术时间是衡量术式效率的重要参数。多数研究表明,3D Slicer 辅助神经内镜手术在缩短手术时间方面具有优势。然而,与单纯钻孔引流相比,神经内镜手术时间可能略长。如一项研究指出,神经内镜组手术时间显著长于改良经额穿刺引流组[23];另一项比较神经内镜与硬通道穿刺引流的研究也发现神经内镜组手术时间更长[24]。这提示,尽管神经内镜在精准清除血肿方面更具优势,但其操作步骤相对复杂,对术者技术要求较高。而钻孔引流术因仅需穿刺置管,操作更为简便快捷,尤其适用于基层医院或紧急情况下的快速干预。

3.3. 住院时间对比

住院时间反映患者术后恢复速度及医疗资源占用情况。现有证据普遍支持 3D Slicer 辅助神经内镜可有效缩短住院时间。一项回顾性研究显示,神经内镜组平均住院时间为 16.73 ± 2.38 天,显著短于传统开颅组的 20.4 ± 4.6 天[20]。然而,在直接比较神经内镜与钻孔引流的研究中,住院时间差异并不总是显著,尚缺乏 3D Slicer 辅助神经内镜与 3D Slicer 辅助钻孔引流在住院时间上的头对头高质量比较数据。

3.4. 神经功能恢复与远期预后对比

神经功能恢复及远期预后是评价手术最终疗效的关键终点。多项研究显示,3D Slicer 辅助神经内镜在改善神经功能评分和提高良好预后率方面优于钻孔引流。一项回顾性研究发现,神经内镜组术后第 7 天格拉斯哥昏迷评分(GCS)更高,术后 3 个月良好预后率($GOS \geq 4$)达 83.3%,显著高于穿刺引流组的 61.5% [2]。术后 1 年 MBI、FMA 及 SS-QOL 评分亦显著提高[25]。Meta 分析亦表明,神经内镜手术可显著改善良好功能结局并降低死亡率[4],但血肿清除率可能并非唯一决定预后的因素。总体而言,现有证据倾向于支持 3D Slicer 辅助神经内镜在促进神经功能恢复和改善远期生活质量方面更具优势。

4. 两种术式的安全性对比分析

4.1. 术后并发症发生率对比

现有研究表明,3D Slicer 辅助神经内镜手术在总体术后并发症发生率方面优于传统开颅术或钻孔引

流术。一项纳入 9 项随机对照试验的 Meta 分析显示, 与小骨窗开颅显微手术相比, 神经内镜治疗幕上 HICH 可显著降低术后并发症发生率[26]。此外, 基于 1327 例患者的 Meta 分析进一步指出, 无论在随机还是非随机研究中, 神经内镜手术均能显著降低总体并发症风险[22]。特别值得注意的是, 在 3D Slicer 辅助下实施的神经内镜手术, 其安全性优势更为突出。相比之下, 关于 3D Slicer 辅助钻孔引流术的独立安全性数据较为有限, 但有研究间接提示其并发症风险可能高于神经内镜。例如, 一项研究指出神经内镜组在颅内感染等具体并发症方面优于穿刺引流组[27]。综合来看, 尽管部分研究未直接比较 3D Slicer 辅助下的两种术式, 但现有证据倾向于支持神经内镜在降低总体并发症方面更具优势。

4.2. 颅内再出血、颅内感染等常见并发症的亚组分析

在具体并发症类型中, 颅内再出血和颅内感染是评估手术安全性的关键指标。多项研究对这两类并发症进行了亚组分析。一项纳入 2722 例患者的荟萃分析发现, 神经内镜组的术后再出血风险显著低于立体定向穿刺抽吸(SA)组[3]。这提示在微创术式内部比较中, 神经内镜可能比单纯穿刺引流更有效预防再出血。关于颅内感染, 证据更为一致。上述 2722 例患者的 Meta 分析同时报告, 神经内镜组的颅内感染风险显著低于 SA 组。值得注意的是, 在 3D Slicer 辅助下实施的神经内镜手术中, 并发症发生率进一步降低。例如, 一项纳入 15 例脑干出血患者的研究显示, 采用 3D Slicer 辅助神经内镜手术后, 未发生颅内感染或再出血等严重并发症[28]。相比之下, 关于 3D Slicer 辅助钻孔引流术的具体感染或再出血数据极为稀缺, 仅有个别研究提及钻孔引流术相关并发症。综上所述, 在颅内再出血方面, 神经内镜优于单纯穿刺引流; 在颅内感染方面, 神经内镜显著优于穿刺引流类术式, 而 3D Slicer 的引入可能进一步强化这一优势。

5. 现有研究的局限性与争议

5.1. 纳入研究的方法学质量缺陷

目前关于 3D Slicer 辅助神经内镜与钻孔引流治疗幕上 HICH 的比较研究, 多为回顾性队列研究或单中心观察性研究, 缺乏高质量的前瞻性随机对照试验(RCT)支持。如部分研究虽然报告了神经内镜在血肿清除率、住院时间及神经功能恢复方面的优势, 但其设计存在选择偏倚、信息偏倚及混杂因素控制不足等问题[29][30]。即使少数研究纳入了 RCT, 但其样本量普遍较小, 且部分研究未采用盲法结局评估, 影响结果的客观性。此外, 多数研究未充分报告随机序列生成、分配隐藏及失访情况, 依据 Cochrane 偏倚风险评估工具判断, 整体方法学质量处于中等或偏低水平[31]。

5.2. 不同研究间的异质性来源分析

现有研究普遍存在显著的统计学异质性, 其来源复杂多样。首先, 患者基线特征差异较大, 包括血肿部位(如基底节区、丘脑)、体积、发病至手术时间窗及是否合并脑室出血等, 均可能影响疗效评估。其次, 手术操作细节缺乏标准化, 如神经内镜入路选择、钻孔引流是否联合尿激酶溶栓、3D Slicer 重建精度及配准方式等, 在不同中心间存在明显差异。再者, 结局指标定义不统一, 例如“良好预后”在不同研究中的采用标准不同, 导致数据难以直接合并。最后, 随访时间跨度大亦加剧了远期预后比较的异质性。

5.3. 当前研究存在的争议与未解问题

尽管多项研究提示神经内镜在血肿清除率和并发症控制方面展现出优势, 但其对死亡率的改善仍存在争议。部分研究指出神经内镜可显著降低死亡率, 而另一些研究则显示两组无明显统计学差异[32]。此外, 关于 3D Slicer 辅助下两种微创术式的直接对比证据极为有限, 仅有一项回顾性队列研究提示神经内

镜组在改良 Rankin 量表(mRS)评分改善方面更优,但未深入探讨手术适应证的分层问题[33]。同时,3D Slicer 辅助是否真正带来额外获益,还是仅为技术平台差异,目前仍缺乏头对头 RCT 验证。此外,长期认知功能、生活质量及成本效益等关键结局指标在现有文献中鲜有报道,构成重要的知识空白。

6. 未来研究方向与临床应用建议

6.1. 高质量临床研究的设计方向

当前关于 3D Slicer 辅助神经内镜与钻孔引流治疗幕上 HICH 的比较研究多为回顾性队列或单中心观察性研究,尽管神经内镜在血肿清除率、并发症控制及功能预后方面具有优势,但 RCT 仍显不足。未来研究应优先开展多中心、前瞻性、随机对照设计,以减少选择偏倚并提高证据等级。例如, NESICH 试验作为一项在中国开展的多中心、随机、对照、开放标签、盲法终点的临床研究,旨在评估神经内镜血肿清除术相较于标准保守治疗对急性深部幕上脑出血患者的疗效与安全性,其结果将为该技术提供关键循证依据[34]。此外,研究设计方面需明确纳入标准,如限定血肿体积(>20 mL)、发病时间窗(<48 小时)及出血部位(如基底节区),以增强人群同质性。同时,应统一核心结局指标,如术后血肿清除率、mRS 评分、格拉斯哥预后评分(GOS)、颅内感染及再出血发生率等,并延长随访时间至 6~12 个月,从而全面评估远期神经功能恢复情况。亚组分析亦应关注年龄、术前 GCS 评分及血肿位置等预后预测因子,进一步优化个体化治疗策略[35]。

6.2. 3D Slicer 技术推广的路径建议

3D Slicer 虽在神经外科手术规划与导航中展现出良好的应用前景,但其临床普及仍面临挑战,如操作门槛高、标准化流程缺失及基层医院技术储备不足等。为推动该技术的规范化应用,首先应建立统一的操作培训体系,涵盖三维重建、手术路径模拟、穿刺点定位及术中配准等核心技能,并结合 3D 打印导板等辅助工具提升定位精度。其次,可依托区域医疗中心构建“技术-培训-质控”一体化推广网络,通过远程指导、手术直播及病例共享等方式辐射基层单位。此外,应大力开发与 3D Slicer 兼容的国产化模块或插件,降低软件使用复杂度,并探索其与术中影像(如 Dyna-CT)或增强现实导航系统的整合应用,进一步提升手术精准度与安全性。

7. 总结

本文综合现有的高质量临床研究证据,对 3D Slicer 辅助下神经内镜与钻孔引流治疗幕上 HICH 的疗效与安全性进行了系统比较。结果表明,在血肿清除率方面,3D Slicer 辅助神经内镜手术显著优于钻孔引流术。在神经功能恢复方面,神经内镜组术后格拉斯哥昏迷评分改善更明显,日常生活能力及生活质量指标亦显著提升。在围术期安全性方面,两种术式在总并发症发生率上存在一定的差异,但研究结果普遍支持神经内镜术式具有更低的颅内感染率和总体并发症风险。尤其在精准导航辅助下,神经内镜可直视下操作,减少对周围脑组织的损伤,降低继发性损害风险。

综上所述,3D Slicer 辅助神经内镜手术在血肿清除效率、神经功能恢复及围术期安全性方面整体优于钻孔引流术,尤其对于血肿体积大于 20 mL、发病时间在 48 小时内的幕上 HICH 患者展现出显著优势,神经内镜可在平均 1.9 小时内安全有效地清除约 68%的血肿,且术后 1 年良好神经功能预后(mRS 0~3)率可达 42.9% [36]。因此,在血肿位置较深、体积较大、患者意识障碍明显但尚未出现不可逆脑疝的情况下,神经内镜应作为优先考虑的微创术式。钻孔引流术则因其操作简便、创伤小、费用低的特点,在资源有限或患者一般状况较差、无法耐受较复杂手术时展现出优势。此外,对于血肿形态规则、液化充分、无明显占位效应或合并严重基础疾病的高龄患者,钻孔引流可作为一种过渡性或姑息性治疗手段。然而,

当前证据多来源于回顾性研究, 亟需更多大样本、多中心、前瞻性随机对照试验进一步验证其长期疗效与适用边界。

参考文献

- [1] Xu, J., Ma, S., Wu, W., Fang, W., Zhu, A., Ge, C., *et al.* (2020) Heron-Mouth Neuroendoscopic Sheath-Assisted Neuroendoscopy Plays Critical Roles in Treating Hypertensive Intraventricular Hemorrhage. *Videosurgery and Other Minimally Invasive Techniques*, **16**, 199-210. <https://doi.org/10.5114/wiitm.2020.99351>
- [2] Xiao, T., Wan, J., Qu, H., Jiang, W. and Zhou, X. (2020) Endoscopic Surgery versus Minimal Puncture Drainage Surgery for Treatment of Supratentorial Intracerebral Hemorrhage. *Turkish Neurosurgery*, **30**, 565-572. <https://doi.org/10.5137/1019-5149.jtn.27977-19.2>
- [3] Sun, S., Huang, X., Fei, X., Gong, K., Ye, F. and Gao, H. (2024) Neuroendoscopic Surgery versus Stereotactic Aspiration in the Treatment of Supratentorial Intracerebral Hemorrhage: A Meta-Analysis. *World Neurosurgery*, **187**, e585-e597. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2024.04.132>
- [4] Sun, S., Li, Y., Zhang, H., Gao, H., Zhou, X., Xu, Y., *et al.* (2020) Neuroendoscopic Surgery versus Craniotomy for Supratentorial Hypertensive Intracerebral Hemorrhage: A Systematic Review and Meta-Analysis. *World Neurosurgery*, **134**, 477-488. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2019.10.115>
- [5] Yang, L., Yang, M., He, M., Zhou, X. and Zhou, Z. (2024) Endoscopic Surgery versus Stereotactic Aspiration in Spontaneous Intracerebral Hemorrhage Treatment: A Systematic Review and Meta-Analysis. *World Neurosurgery*, **184**, 202-212. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2024.01.162>
- [6] Han, J., Han, Z., Zhang, R., Sun, P., Zhang, Y. and Yao, Y. (2025) 3DSlicer Software-Assisted Neuroendoscopic Surgery Compared with Traditional Surgery on Surgical Effects, Complications, and Safety Evaluation in Patients with Intracerebral Hemorrhage: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases*, **34**, Article 108226. <https://doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2025.108226>
- [7] Liao, R., Liu, L., Song, B., Wan, X., Wang, S. and Xu, J. (2022) 3D-Slicer Software-Assisted Neuroendoscopic Surgery in the Treatment of Hypertensive Cerebral Hemorrhage. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, **2022**, Article ID: 7156598. <https://doi.org/10.1155/2022/7156598>
- [8] You, Y., Niu, Y., Sun, F., Huang, S., Ding, P., Wang, X., *et al.* (2022) Three-Dimensional Printing and 3D Slicer Powerful Tools in Understanding and Treating Neurosurgical Diseases. *Frontiers in Surgery*, **9**, Article ID: 1030081. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2022.1030081>
- [9] Liu, H.J., Zhou, H., Lu, D.L., Jiao, Y.B., Chen, S.F., Cheng, J., *et al.* (2019) Intracranial Mirror Aneurysm: Epidemiology, Rupture Risk, New Imaging, Controversies, and Treatment Strategies. *World Neurosurgery*, **127**, 165-175. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2019.03.275>
- [10] Zhou, L., Wang, W., Li, Z., Wei, H., Cai, Q., Chen, Q., *et al.* (2022) Clinical Application of 3D-Slicer + 3D Printing Guide Combined with Transcranial Neuroendoscopic in Minimally Invasive Neurosurgery. *Scientific Reports*, **12**, Article No. 20421. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-24876-1>
- [11] Huang, Y., Huang, J., Guan, C., Liu, T. and Que, S. (2025) Volumetric Measurement of Cranial Cavity and Cerebral Ventricular System with 3D Slicer Software Based on CT Data. *BMC Medical Imaging*, **25**, Article No. 64. <https://doi.org/10.1186/s12880-025-01591-7>
- [12] Zhou, L., Wang, W., Wei, H., Song, P., Li, Z., Cheng, L., *et al.* (2022) Clinical Application of 3D Slicer Combined with Sina/Mosocam Multimodal System in Preoperative Planning of Brain Lesions Surgery. *Scientific Reports*, **12**, Article No. 19258. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-22549-7>
- [13] Zhou, L., Lv, Y., Li, Z., Zhang, H., Lei, P., Song, P., *et al.* (2024) 3D Slicer Reconstruction Combined with Neuroendoscopic Keyhole Approach for the Treatment of Cerebrospinal Fluid Rhinorrhea: 2 Cases Report and Literature Review. *Heliyon*, **10**, e36046. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36046>
- [14] Jin, Q., Long, Q., Yu, J., Hu, G., Liu, Y., Gan, P., *et al.* (2026) Application of 3D Slicer-Based Three-Dimensional Visual Surgical Planning in Endoscopic Optic Canal Decompression Surgery: A Prospective Randomised Controlled Study. *BMC Medical Imaging*.
- [15] Zhou, L., Lei, P., Song, P., Li, Z., Zhang, H., Wei, H., *et al.* (2025) Clinical Application of 3D Slicer Reconstruction and 3D Printing Localization Combined with Neuroendoscopy Technology in VPS Surgery. *Scientific Reports*, **15**, Article No. 2609. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-86731-3>
- [16] Chen, H., Zhang, Y., Luo, B., Tang, H., Shang, B. and Song, X. (2024) Efficacy of Minimally Invasive Soft-Channel Drainage for Chronic Subdural Hematoma Utilizing 3D Slicer: A Retrospective Comparative Analysis. *Neurosurgical Review*, **48**, Article No. 1.
- [17] Wang, Q.P., Yuan, Y., Guan, J.W. and Jiang, X.B. (2017) A Comparative Study of Irrigation versus No Irrigation during Burr Hole Craniostomy to Treat Chronic Subdural Hematoma. *BMC Surgery*, **17**, Article No. 99.

- <https://doi.org/10.1186/s12893-017-0295-x>
- [18] Shafiq, Z., Cao, F., Lu, M., Li, Z., Song, P., Zhou, L., *et al.* (2026) Neuroendoscopy for Acute Severe Neurological Conditions: High Hematoma Clearance and Rapid Recovery in 815 Patients-Cohort Study. *International Journal of Surgery*, **112**, 9645-9655. <https://doi.org/10.1097/js9.0000000000004491>
 - [19] Xiao, Y. and Wang, R. (2024) Effect and Prognosis of Endoscopic Intracranial Hematoma Removal and Hematoma Puncture and Drainage in Patients with Hypertensive Intracerebral Hemorrhage. *Videosurgery and Other Miniinvasive Techniques*, **19**, 266-273. <https://doi.org/10.5114/wiitm.2024.140613>
 - [20] You, Y., Ding, P., Niu, Y., Sun, F. and Wang, X. (2025) Comparative Analysis of the Efficacy of Neuro-Endoscopy versus Conventional Surgery in the Treatment of Hypertensive Intracerebral Hemorrhage. *Neurosurgical Review*, **48**, Article No. 563. <https://doi.org/10.1007/s10143-025-03720-w>
 - [21] Cai, J., Hu, Y., Zeng, G., Shi, Z., Wang, J., Miao, Y., *et al.* (2025) Effectiveness of 3D-Slicer Simulated Neuro-Navigation Assisted Minimally Invasive Neuro-Endoscopic Surgery for Basal Ganglia Hypertensive Intracerebral Hemorrhage. *BMC Surgery*, **25**, Article No. 519. <https://doi.org/10.1186/s12893-025-03276-y>
 - [22] Ye, Z., Ai, X., Hu, X., Fang, F. and You, C. (2017) Comparison of Neuroendoscopic Surgery and Craniotomy for Supratentorial Hypertensive Intracerebral Hemorrhage: A Meta-Analysis. *Medicine*, **96**, e7876. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000007876>
 - [23] Wei, J., Tian, Y., Zhang, Y., Wang, X., Guo, H. and Mao, J. (2021) Short-Term Effect and Long-Term Prognosis of Neuroendoscopic Minimally Invasive Surgery for Hypertensive Intracerebral Hemorrhage. *World Journal of Clinical Cases*, **9**, 8358-8365. <https://doi.org/10.12998/wjcc.v9.i28.8358>
 - [24] Hong, J., Shan, Z., Li, J., Zhu, Y., Chen, K., Niu, H., *et al.* (2025) Evaluation of Neuroendoscopy-Assisted Surgery for the Treatment of the Trabecular Subtype of Chronic Subdural Hematoma. *World Neurosurgery*, **204**, Article 124588. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2025.124588>
 - [25] Ye, X., Huang, G., Hu, J. and Lai, W. (2025) Neuroendoscopic Hematoma Evacuation Vs. Craniotomy in Hypertensive Intracerebral Hemorrhage: A Retrospective Comparative Study on Surgical Efficiency and Long-Term Functional Outcomes. *Frontiers in Surgery*, **12**, Article ID: 1670479. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2025.1670479>
 - [26] Zhi, T., Wang, H., Wei, X., Wei, Z. and Sun, H.T. (2024) Efficacy of Neuroendoscopic and Small-Bone-Window Craniotomy Microsurgery for Hypertensive Cerebral Hemorrhage: A Meta-Analysis of Chinese RCT Studies. *Frontiers in Neurology*, **15**, Article ID: 1434928. <https://doi.org/10.3389/fneur.2024.1434928>
 - [27] 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>
 - [28] Yin, Z., Zhou, L. and Cai, Q. (2024) Neuroendoscopic Surgical Treatment of Hypertensive Brainstem Hemorrhage. *Turkish Neurosurgery*, **35**, 553-560. <https://doi.org/10.5137/1019-5149.jtn.47812-24.2>
 - [29] Wang, A., Sun, Z., Zhang, W., He, H. and Wang, F. (2024) Efficacy and Safety of Endoscopic Surgery versus Craniotomy for Hypertensive Putamen Hemorrhage. *Journal of Craniofacial Surgery*, **35**, 1181-1185. <https://doi.org/10.1097/scs.00000000000010105>
 - [30] Xu, X., Chen, X., Li, F., Zheng, X., Wang, Q., Sun, G., *et al.* (2018) Effectiveness of Endoscopic Surgery for Supratentorial Hypertensive Intracerebral Hemorrhage: A Comparison with Craniotomy. *Journal of Neurosurgery*, **128**, 553-559. <https://doi.org/10.3171/2016.10.jns.161589>
 - [31] Ren, W., Wang, W., Wang, L., Liu, X. and Zhao, Y. (2024) Efficacy and Safety of Minimally Invasive Neuroendoscopic Surgery in the Therapy of Supratentorial Hypertensive Intracerebral Hemorrhage: A Meta-Analysis. *Journal of Craniofacial Surgery*, **35**, 2275-2281. <https://doi.org/10.1097/scs.00000000000010529>
 - [32] Monteiro, G.D.A., Marinheiro, G., Mutarelli, A., Araújo, B., Cavalcante-Neto, J.F., Batista, S., *et al.* (2024) Efficacy and Safety of Neuroendoscopy Surgery versus Craniotomy for Supratentorial Intracerebral Hemorrhage: An Updated Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Neurosurgical Review*, **47**, Article No. 255. <https://doi.org/10.1007/s10143-024-02492-z>
 - [33] Lin, H., Zhao, H., Wang, J., Wu, E. and An, T. (2025) Individualized Surgical Management of Supratentorial Hypertensive Intracranial Hemorrhage: A Retrospective Study Using 3D Slicer and Diffusion Tensor Imaging. *BMC Surgery*, **25**, Article No. 284. <https://doi.org/10.1186/s12893-025-03008-2>
 - [34] Wang, L., Zhou, T., Wang, P., Zhang, S., Yin, Y., Chen, L., *et al.* (2024) Efficacy and Safety of Neuroendoscopic Surgery for Intracerebral Hemorrhage: A Randomized, Controlled, Open-Label, Blinded Endpoint Trial (NESICH). *International Journal of Stroke*, **19**, 587-592. <https://doi.org/10.1177/17474930241232292>
 - [35] Zhang, J., Zhang, N., Li, X., Bao, L., Liang, F. and Wang, P. (2024) Retrospective Analysis of Prognostic Factors in HICH Patients after Neuroendoscopic Hematoma Evacuation. *Scientific Reports*, **14**, Article No. 29505. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-81106-6>

- [36] Vespa, P., Hanley, D., Betz, J., Hoffer, A., Engh, J., Carter, R., *et al.* (2016) ICES (intraoperative Stereotactic Computed Tomography-Guided Endoscopic Surgery) for Brain Hemorrhage. *Stroke*, **47**, 2749-2755.
<https://doi.org/10.1161/strokeaha.116.013837>