

机器人辅助治疗高血压脑出血研究进展

杜兴旺¹ 赵 舰² (通讯作者)

1.承德医学院 河北 承德 067000

2.沧州市人民医院 河北 沧州 061000

【摘要】：高血压脑出血（Hypertensive Intracerebral Hemorrhage, HICH）是神经外科常见的急危重症之一，具有高致残率和高死亡率的特点。传统的开颅血肿清除术及立体定向穿刺术虽在临床上广泛应用，但仍存在创伤大、定位不精准、术后并发症多等问题。近年来，随着医疗机器人技术的发展，机器人辅助微创手术逐渐应用于脑出血的治疗中，展现出良好的应用前景。本文就机器人辅助治疗高血压脑出血的研究进展进行综述，重点探讨其技术原理、临床应用现状、疗效评价及面临的挑战。

【关键词】：高血压脑出血；医疗机器人；微创手术；立体定向；神经导航；精准医疗

DOI:10.12417/2705-098X.25.20.003

1 引言

HICH 通常指有高血压病史的患者在脑实质或脑室内突然出血[1]，我国 HICH 的发病率占脑卒中的 21%至 48%[2]，但其病死率高达 30%~50%。常见出血部位包括基底节区、丘脑、脑干及脑室等。早期清除血肿、降低颅内压、保护脑功能是治疗的关键目标。

传统的治疗方法主要包括保守治疗、开颅血肿清除术和立体定向穿刺血肿抽吸术。其中，开颅手术虽然能有效减压，但创伤大、恢复慢，且易造成继发性脑损伤；而立体定向穿刺虽创伤较小，但依赖操作者的经验，穿刺路径选择主观性强，容易误伤周围重要结构。因此，亟需一种更加精准、安全、高效的微创治疗方式。

近年来，随着人工智能、影像导航、机械控制等技术的发展，医疗机器人系统在神经外科领域逐步推广应用，尤其是在脑出血的精准定位和微创清除方面表现出显著优势，微创手术不仅能降低手术带来的医源性损伤，其在改善神经功能方面有其独特的优势[3,4]。本文将围绕机器人辅助治疗高血压脑出血的技术原理、临床应用现状、疗效评估及未来发展进行系统综述。

1.1 流行病学特征

高血压脑出血好发于中老年人群，男性发病率高于女性，常见于有长期高血压病史者。根据出血部位不同，可分为壳核出血、丘脑出血、脑干出血、脑室出血及小脑出血等类型。其中以壳核出血最为常见，占全部高血压脑出血的 60%以上。

1.2 病理生理机制

高血压引起的小动脉壁变性、玻璃样变及微动脉瘤形成是脑出血的主要病理基础。当血压骤升时，血管破裂导致血液进入脑实质，引发颅内高压、脑组织受压、水肿及继发性神经功能损伤。

1.3 传统治疗方法及其局限性

（1）保守治疗：适用于血肿量较小、意识状态稳定患者，

主要通过降压、脱水、止血、神经营养等药物治疗[5]。但无法快速清除血肿，对病情进展快的患者效果有限。

（2）开颅手术：适用于血肿量大、意识障碍明显、颅内压高的患者。优点是暴露充分，可在直视及显微镜下较彻底地清除血肿及坏死的脑组织，以达到充分减压[6]，但手术创伤大、住院时间长，并发症发生率高。

（3）立体定向穿刺：利用 CT 引导下穿刺清除血肿，微创穿刺引流术具有创伤小、操作简单，更好的保护血脑屏障，术后恢复快，在降低死亡率和改善功能恢复方面具有显著优势[7-8]，但对穿刺路径要求高，操作难度大，难以精准控制深度和角度。

上述方法均存在一定局限性，迫切需要一种既能精准定位又能微创清除血肿的新技术手段。

2 医疗机器人系统在神经外科的应用原理

2.1 机器人手术系统的基本构成

目前应用于神经外科的机器人系统主要包括以下几个核心模块：

（1）影像导航系统：通过术前 MRI 或 CT 图像重建三维解剖模型，实现术中实时导航。

（2）机械臂系统：具备多自由度运动能力，可精确执行医生设定的手术路径。

（3）控制系统：由计算机控制平台组成，集成图像处理、路径规划、运动控制等功能。

（4）交互界面：供医生进行术前规划、术中监控及操作反馈。

2.2 关键技术支撑

（1）影像融合技术：结合术前 CT/MRI 与术中导航数据，提高定位精度。

（2）路径规划算法：基于人工智能优化穿刺路径，避开重要神经血管结构。

(3) 运动控制技术：确保机械臂沿预定路径精准移动，误差控制在毫米级。

(4) 远程操控技术：部分系统支持远程手术操作，拓展了手术应用场景。

3 机器人辅助治疗高血压脑出血的临床研究进展

3.1 国外研究进展

(1) ROSA Brain 系统(法国 Medtech 公司)：ROSA Brain 是一款专为神经外科设计的多功能机器人系统，广泛用于癫痫灶定位、深部脑刺激、脑肿瘤活检及脑出血穿刺等领域。研究表明，该系统可显著提高穿刺准确性，减少术中调整次数，缩短手术时间^[9]。

(2) Mazor X 系统(以色列 Medtronic 公司)：Mazor X 主要用于脊柱手术，但其影像导航与机械臂协同控制技术也为脑部手术提供了借鉴。尽管尚未大规模用于脑出血治疗，但在精确定位方面的潜力值得进一步探索。

(3) da Vinci Surgical System(美国 Intuitive Surgical 公司)：达芬奇手术机器人在泌尿外科、心胸外科等领域已广泛应用，但在神经外科的应用尚处于探索阶段。由于其机械臂灵活、放大视野清晰，在精细操作方面具有一定优势，未来有望用于复杂部位脑出血的微创清除。

3.2 国内研究进展

近年来，我国在医疗机器人领域取得长足进步，多家企业研发出具有自主知识产权的神经外科机器人系统，如“天坛神外智能机器人”、“华科精准神经外科机器人”、“睿米(Remebot)神经外科手术机器人”等。

(1) “睿米”神经外科手术机器人：“睿米”是国内首个获得 CFDA 认证并投入临床使用的神经外科手术机器人。其采用光学导航与机械臂相结合的方式，能够实现高精度的穿刺定位。临床数据显示，“睿米”辅助穿刺治疗高血压脑出血可以显著提高患者的生活质量和生存率，同时显著降低再出血率、术后肺炎发生率、气管切开率和消化道出血率^[10]，显著优于传统方法。

(2) 华科精准机器人系统：该系统具备多模态影像融合、自动路径规划、智能避障等功能，在脑出血、脑肿瘤、帕金森等功能神经外科疾病中均有良好表现。

4 机器人辅助治疗的优势与临床价值

4.1 优势分析

(1) 精准定位：借助高分辨率影像与智能路径规划，穿刺路径更准确，避免误伤重要神经血管结构。

(2) 微创化：仅需小切口即可完成穿刺引流，减少脑组织牵拉损伤。

(3) 智能化操作：机械臂执行动作稳定、重复性好，减

少人为误差。

(4) 可视化导航：术中实时导航监控，提升手术安全性。

(5) 缩短学习曲线：标准化操作流程有助于年轻医生快速掌握技术要点。

4.2 临床价值体现

(1) 改善预后：多项研究表明，机器人辅助穿刺组患者的 GCS 评分、NIHSS 评分及日常生活能力评分均优于传统手术组。

(2) 降低并发症：包括再出血、感染、脑积水等风险明显下降。

(3) 缩短住院时间：微创操作促进患者早期康复，住院周期平均缩短 3~5 天。

(4) 提升医疗资源利用率：标准化、高效化的操作模式有利于医院开展批量救治，尤其适用于基层医疗机构推广。

5 当前存在的问题与挑战

尽管机器人辅助治疗高血压脑出血展现出诸多优势，但仍面临以下挑战：

(1) 设备成本高昂：目前主流神经外科机器人系统价格普遍在数百万元人民币以上，维护费用高，限制了其在基层医院的普及。

(2) 临床证据仍需加强：多数研究样本量较小，缺乏高质量的随机对照试验(RCT)，尚难建立统一的操作规范和疗效评价标准。

(3) 技术培训体系不完善：机器人手术涉及多学科协作，对手术团队的技术水平要求较高，目前专业培训体系尚未健全。

(4) 伦理与法律问题待解决：远程操控、AI 辅助决策等新技术可能带来医患沟通、责任归属等伦理争议，相关法规政策尚待完善。

6 未来发展方向

(1) 技术优化与国产替代：推动国产医疗机器人核心技术突破，降低成本，提升性价比。

(2) 多模态融合技术发展：整合超声、术中 MRI、荧光成像等新型影像技术，提升导航精度。

(3) 人工智能辅助决策：引入 AI 算法进行术前评估、术后预测及个性化治疗方案制定。

(4) 远程医疗与 5G 技术结合：实现跨区域手术指导与远程操作，助力优质医疗资源下沉。

(5) 建立行业标准与指南：制定统一的操作规范、适应证范围及疗效评估体系，推动规范化发展。

7 结语

机器人辅助治疗高血压脑出血作为神经外科领域的前沿方向,代表了精准医疗与智能手术的深度融合。尽管目前仍处于发展阶段,但其在精准定位、微创操作、降低并发症等方面

的突出表现,已显示出广阔的应用前景。未来,随着技术的不断成熟、成本的逐步下降以及临床证据的积累,机器人辅助手术有望成为高血压脑出血微创治疗的重要手段,为患者提供更加安全、高效的治疗选择。

参考文献:

- [1] YU ZY,TAO C Y,XIAO A Q,et al.Chinese multidisciplinary guideline for management of hypertensive intracerebral hemorrhage[J].Chin Med J,2022,135(19):2269-2271.
- [2] VAN ASCH C J,LUITSE M J,RINKEL G J,et al.Incidence,case fatality,and functional outcome of intracerebral hemorrhage over time,according to age,sex,and ethnic origin:a systematic review and meta-analysis[J].Lancet Neurol,2010,9(2):167-176.
- [3] 张帆,游潮.高血压脑出血手术治疗的研究进展[J].中国脑血管病杂志,2010,7(4):210-214.
- [4] 蔡裕荣,袁坚列.高血压脑出血外科治疗的研究进展[J].当代医药论丛,2022,20(21):5
- [5] 陈代云.高血压性脑出血内科保守治疗 37 例疗效分析[J].中国当代医药,2012,19(19):233-236.
- [6] Satter A R,Islam M R,Haque M R,et al.Comparison between Decompressive Craniectomy with Durotomy and Conservative Treatment in Spontaneous Supratentorial Intracerebral Hemorrhage[J].Mymensingh Med J,2016,25(2):316-25.
- [7] Huang X,Guo S,Wang W.Effects of minimally invasive puncture and drainage of intracranial hematoma on the blood-brain barrier in patients with cerebral hemorrhage[J].J Huazhong Univ Sci Technology Med Sci,2007,27(1):101-3.
- [8] Cheng Y,Chen J,Zhao G,et al.Decompressive Hemicraniectomy Associated With Ultrasound Guided Minimally Invasive Puncture and Drainage Has Better Feasibility Than the Traditional Hematoma Evacuation for Deteriorating Spontaneous Intracranial Hemorrhage in the Basal Ganglia Region:A Retrospective Observational Cohort Study[J].Front Neurol,2020,11:561781.
- [9] [1]孙霄,陶英群,许峰,等.ROSA 辅助治疗高血压脑出血的优越性及可行性研究[J].中国微侵袭神经外科杂志,2017,22(02):51-53.
- [10] Luo G,Ramchurn A,Chen Y F,et al.Early predictors of hematoma resorption rate in medically treated patients with spontaneous supratentorial hemorrhage[J].J Neurol Sci,2013,327(1-2):55-60.