

高血压脑出血的微创外科手术 治疗进展

雷震¹, 郑虎林^{2*}

¹延安大学医学院, 陕西 延安

²榆林市第一医院神经外科二病区, 陕西 榆林

收稿日期: 2024年3月25日; 录用日期: 2024年4月19日; 发布日期: 2024年4月25日

摘要

高血压脑出血是最常见的自发性脑出血, 目前治疗分为外科治疗和内科治疗, 治疗原则主要是降低颅内压, 减少血肿对脑组织的压迫。随着科技的发展我们对外科微创手术越来越受到推崇, 本文将以国内外有关自发性脑出血中的高血压脑出血国内外微创手术治疗进展进行叙述, 微创手术的术式和手术时机, 分别概述了现行的微创术式和一些结合影像引导的术式, 传统微创穿刺以及影像辅助下的神经内镜微创手术、3D激光联合C臂CT引导穿刺引流、3D打印导板辅助引流穿刺、AR (Augmented reality)辅助引流穿刺术。但这些术式需要更多的大型、前瞻性、随机试验来研究其可靠性, 为患者提供更优质的治疗, 减轻患者的病痛, 改善预后。

关键词

高血压, 脑出血, 微创外科手术, 手术时机, 微创外科术式

Progress in Minimally Invasive Surgical Treatment of Hypertensive Intracerebral Hemorrhage

Zhen Lei¹, Huling Zheng^{2*}

¹Medical College, Yan'an University, Yan'an Shaanxi

²Second Ward, Department of Neurosurgery, The First Hospital of Yulin, Yulin Shaanxi

Received: Mar. 25th, 2024; accepted: Apr. 19th, 2024; published: Apr. 25th, 2024

*通讯作者。

Abstract

Hypertensive cerebral hemorrhage is the most common spontaneous cerebral hemorrhage. At present, the treatment is divided into surgical treatment and medical treatment. The principle of treatment is mainly to reduce intracranial pressure and reduce the compression of hematoma on brain tissue. With the development of science and technology, we are more and more respected for surgical minimally invasive surgery. This article will describe the progress of minimally invasive surgery for hypertensive intracerebral hemorrhage in spontaneous intracerebral hemorrhage at home and abroad. The surgical procedures and surgical timing of minimally invasive surgery are summarized respectively. The current minimally invasive surgery and some combined with image-guided surgery, traditional minimally invasive puncture and image-assisted neuroendoscopic minimally invasive surgery, 3D laser combined with C-arm CT-guided puncture drainage, 3D printed guide-assisted drainage puncture, AR (Augmented reality) assisted drainage puncture. However, these surgical procedures require larger, prospective, randomized trials to study their reliability, provide better treatment for patients, reduce patients' pain, and improve prognosis.

Keywords

Hypertension, Cerebral Hemorrhage, Minimally Invasive Surgery, Timing of Surgery, Minimally Invasive Surgical Procedure

Copyright © 2024 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

高血压脑出血是最常见的自发性脑出血,有着较高的发病率、复发率和死亡率,我国2019年统计结果:出血性卒中发病率为45/10万,患病率为215/10万,发病率和死亡率依然很高[1]。然而目前的治疗选择仍然有限,无论从经济上还是日常生活上,该疾病给患者家庭带来巨大的负担,当然也给国家医疗保健系统带来重大挑战[2]。在我国,随着老龄化的逐步进展以及生活节奏的加快,脑出血发病率在不断的上升[3],所以对脑出血的治疗需要进一步提高,以改善脑出血患者的预后,提高患者的生活质量。高血压脑出血死亡的主要原因是颅内压的升高,目前的治疗手段无论外科还是内科总的原则主要是降低颅内压,减少血肿对脑组织的压迫。内科治疗主要以脱水降颅压为主,辅助使用凝血制剂防止血肿在扩大,而外科治疗也主要是血肿清除、减压,清除血肿既减少了脑内血肿占有的容积,释放一部分压力,又可以减少血肿降解物的细胞毒性带来的损伤。常规外科开颅去骨瓣减压,在直视下造瘘清除血肿,找到责任出血动脉使用双极电凝止血,但清除血肿造瘘的过程中会额外损伤正常的脑组织,很大程度上抵消掉清除血肿减压带来的好处。使用传统手术方法与内科的药物治理相比,在大型试验中并未证明常规外科手术(开颅手术)对神经系统结局有所改善[4]。随着科技发展,医疗器械的更新迭代,神经外科的理念也在发生变化,外科微创手术越来越受到推崇,本文将国内外有关自发性脑出血中的高血压脑出血微创手术治疗进展予以综述。

2. 微创手术治疗高血压脑出血的相关理论

脑内出血损伤分为原发性损伤(出血后血肿对周围脑实质压迫造成的不可逆损伤)和继发性损伤(脑内血肿激活下游有害通路相关的损伤)。原发性损伤指的是初始血肿、血肿再扩大和脑积水的占位效应导致神经系统损害与脑疝, 原发血肿的占位效应就会导致中线偏移更严重则直接挤压脑干重要结果直接影响到生命, 另外脑内出血后血肿扩大特别常见, 26%的患者在 1 小时重复 CT 扫描时出现血肿扩大, 另外 12%的患者在 1 至 20 小时 CT 扫描中扩大, 血肿的扩大直接导致死亡率上升[5]。继发性损伤一般发生在脑出血后的数天至数周内, 是激活有害通路的结果, 包括血肿周围水肿、炎症, 铁和血液相关毒性以及氧化应激, 血肿周围水肿的发生机制尚不明确, 在出血后的 24 至 72 小时内, 主要原因是血清蛋白扩散到周围实质, 引起血管源性水肿。红细胞中的血红蛋白和其降解物的释放同样会造成脑损伤和血肿周围损伤[6]。国外研究者研究了红细胞和血红蛋白在脑内出血后水肿形成中的作用, 实验包括向 Sprague-Dawley 大鼠右侧基底神经节注入全血、包装红细胞、裂解红细胞、大鼠血红蛋白或凝血酶。在不同的时间点杀死动物, 并测量脑水和离子含量。结果表明, 输注溶解的自体红细胞(而非包装红细胞) 24 小时后会产明显的脑水肿, 这种水肿的形成可以通过输注血红蛋白来模拟[7]。所以外科手术清除血肿既可以减少血肿的占位, 又能减少血肿相关毒性以及氧化应激带来的神经功能损伤。微创外科手术治疗高血压有脑内出血只是一种理念, 强调术者用微创的手术方式最大程度上减少术者人为对脑实质的破坏, 同时清除血肿减少其给神经带来的损伤。

3. 高血压脑内出血微创手术治疗及手术时机

精准立体定向和穿刺设备的升级使得微创外科手术也得到了全面的提升, 用于治疗 ICH 的机械微创手术(MIS)技术前景广阔, 其手术方式也又很多种, 现在主要有以下几类: 国外的一项随机研究显示, 皮质下血肿在 10~50 ml 之间, 经内镜下皮质下血肿清除术的患者功能结局有所改善, 但对于更大或位置更深的血肿, 微创手术清理血肿并不能得到相似良好的结局。其他包括壳体、小脑或丘脑出血病例的回顾性分析也显示出良好的结果[8]。在国内杨前进等[9]曾做过对比不同术式治疗高血压基底节脑出血, 收集了 119 例高血压性基底节区脑出血住院患者的出血量和 GCS 评分等临床数据, 根据治疗方案分为保守、开颅、微创 3 个组, 第 30 天 SSS 评分用来评价预后, 结果发现出血量 25.0 ml 至 39.9 ml 的 3 组 ICH 患者的预后无统计学差别, 出血量在 40.0 ml~90.0 ml 之间行微创和开颅的患者预后相比保守治疗的患者更优, 微创组和开颅组的患者预后在统计学上无差别, 但是微创手术较开颅手术有操作容易、开销少、创伤小等优点。GCS 评分与血肿腔出血量在许多研究中是脑出血预后预测模型中的有效预测因子, 结果发现出血量在 25.0 ml~90.0 ml 之间、GCS 评分 ≤ 7 分的患者行开颅治疗的预后相比行保守治疗或微创手术更佳, 微创组与保守组的患者预后基本一样没有统计学差别。该研究最终提示: 基底节区脑出血出血量 40.0 ml~90.0 ml 且 GCS 评分 ≥ 8 分的患者适合用微创手术, GCS 评分 ≤ 7 分的患者更适合开颅手术。对于基底节脑出血的手术治疗一般认为如发生脑疝应当尽快行开颅手术治疗, 不可执着于微创手术, 以免延误病情对患者造成生命危险[3]。

手术时机的选择也会对患者的预后产生重要的影响, 姚剑清等人[10]对脑出血微创超早期手术和早期手术进行了队列研究, 将从发病到手术时间 ≤ 6 小时的高血压脑出血患者与从发病到手术时间 > 6 小时且 < 24 小时的高血压脑出血患者进行分组, 两组均进行微创手术治疗。比较两组意识障碍程度(通过 GCS 评分)、术后 1 个月的并发症发生率和血肿清除率、术后半年的日常生活活动能力(通过 ADL 评估)及病死率, 结果提示: 相比早期手术(> 6 h 且 < 24 h)超早期手术(< 6 h)治疗中等量基底节区患者的效果更佳, 可以减少术后并发症, 提高血肿清除率, 意识改善以及提高日常生活能力更为显著。超早期手术可以尽早的减少出现炎症反应, 抑制血肿扩大, 保护出血周围的神经元和相应的神经功能。刘金

辉等人[11]也对 118 例微创手术治疗高血压基底节脑出血的病人进行回顾性分析, 结论: 超早期微创手术治疗基底节区高血压脑出血疗效优于早期手术, 值得推广应用。目前的研究结论都倾向于超早期手术, 有较多的益处和优势。超早期微创手术有血肿扩大的风险, 但微创手术也可对责任血管进行处理降低了血肿扩大的风险[3], 伴随着器械的进步, 微创手术的发展可极大的减少并发症, 超早期微创手术将带来更为好的预后。

4. 手术方法

4.1. 神经内镜微创手术

采用小骨瓣(直径一般是 15~20 mm)开颅借助神经内镜进入血肿腔可视化操作, 通过多功能吸引器反复抽吸, 连续冲洗清除血肿, 用双击电凝出血灶进行止血的一项技术。神经内镜手术要点包括内镜和相应手术器械、准确定位血肿、建立内镜工作通道和术中止血[12]。Auer 等人发现, 与传统的药物治疗相比较, 神经内镜下血肿清除术的死亡率明显降低, 而且神经功能缺损的占比较少, 无神经功能缺损的比例更高。Xu 等人(2018)回顾性研究纳入了 82 例神经内镜手术与 69 例开颅手术的比较, 发现神经内镜辅助手术可提高血肿清除率, 并改善 6 个月 mRS 结局, 神经内镜微创手术和立体定向抽吸比开颅手术具有更为良好的神经功能结果。它还表明, 对于大出血量大于 60 mL 的患者, 神经内镜微创手术是一种更好的手术方式[13], 神经内镜操作简单治疗效果好, 但小骨瓣开窗是把双刃剑有利就有弊, 狭窄的空间可能影响精细的操作导致无法止血, 并有可能导致再出血。与此同时止血治疗也尤为重要, 但常规止血大多有全身性副作用例如: 氨甲环酸、氨基己酸和重组活化因子 VII 的使用会增加全身动静脉的血栓事件, 因此在局部使用止血剂相对是安全的, 一般在常规开颅手术中使用明胶海绵进行止血治疗, 在神经内镜微创手术中也使用止血基质进行止血治疗减少血肿扩大的风险。Hui-Tzung Luh 等人通过神经内镜微创手术清除血肿后直接局部注射 FloSeal 止血基质(Baxter Healthcare Corp, Fremont, CA, USA)进行止血治疗, 回顾性非随机入组分析了 42 名 ICH 患者接受了以上治疗方案。发现在神经内镜微创治疗同时注射 FloSeal 止血基质是安全有效的并且缩短了手术时间, 尤其是在术中出血的情况下。但仍然需要一项大型、前瞻性、随机试验来证实这些发现[14]。张诚、丁建玲等人回顾性分析 116 例基底节脑出血患者, 根据手术方式分为内镜组(神经内镜下血肿清除术)和显微手术组(常规翼点开颅小骨窗血肿清除术)结果发现内镜组手术时间、术中失血量、术后第 1 天脑水肿、术后 1 周 GCS 均优于显微手术组, 最终得出结论神经内镜治疗基底节脑出血疗效优于显微手术, 可改善患者预后[15]。程科等人探究神经内镜微创手术与标准骨窗开颅血肿清除术治疗老年高血压性脑出血, 结果发现神经内镜微创手术治疗相对于开颅治疗炎症指标水平低于标准骨窗开颅组, 疗效优于标准骨窗开颅术, 能改善患者的认知功能[16]。影像的发展为手术提供了更多的便利, 使得操作更加精准。陈静等人[17]通过 B 超引导下神经内镜治疗高血压脑出血, 回顾性分析了 50 例高血压脑出血患者, 与显微镜组相比较 B 超引导下神经内镜治疗组手术时间、血肿清除率、术中出血量、ICU 住院天数均优于显微镜组。可见 B 超引导下神经内镜治疗高血压脑出血创伤较轻, 疗效确切, 值得在临床上推广使用。总的来说神经内镜手术是一种安全可靠的方案, 今后会出现更多的改良方法进一步提高它的疗效。

4.2. 微创穿刺引流术

一般是通过 CT 定位, 消毒、局麻之后在头皮上做标记使用穿刺针进行穿刺, 抵达血肿腔后置管引流, 术后配合纤溶剂引出残余的血凝块, 这种手术有着操作简单、手术时间短、经济等优点适合老年体弱的脑出血患者, 但也有其弊端: 血肿清除有限, 而且不是直视下止血有再出血的风险, 堵管后引流失

败, 注入纤溶剂有增加颅内感染的风险。穿刺针穿刺前需使用锥颅器锥孔或颅钻在颅骨上建立通道, 王虎成等人对 120 例高血压基底节脑出血患者展开了一项前瞻性研究: 分别使用了锥孔穿刺引流术和颅骨钻孔穿刺引流术, 结果发现锥孔穿刺术和钻孔穿刺术都可用于中等量高血压脑出血, 但锥颅穿刺引流术相较于钻孔穿刺引流术并发症少, 而且手术时间短, 提高患者日常生活活动能力, 降低病残率[18]。国外开展的 MISTIE III (微创导管排空后溶栓疗法)探究其是否能改善脑出血患者的功能预后, 该疗法的目的是将血块体积减小到 15 毫升或更小, 但结果显示并不能对大面积脑出血患者的预后进行改善, 但该手术在严重出血和感染方面是安全的几乎没有负面影响。总之在血肿大小均匀减少之前, 不能推荐将 MISTIE 作为改善所有脑出血患者功能结局的干预措施[19]。对于年轻术者来说穿刺针的方向和深度容易出现误差, 使得穿刺引流管未进入血肿腔合适的位置, 最终导致引流效果不佳。有了更多的影像科技辅助穿刺引流也变的更加精准、有效、安全、快捷, 使得微创手术更上一层楼。

3D 激光联合 C 臂 CT 引导穿刺引流: 这种微创术式就借助了强大的 3D 激光和 C 臂 CT 辅助穿刺为术者提供更加精准的导航, Hongwei Zhao 等人做了项研究回顾性分析了 118 名 ICH 患者, 实验组使用了 3D 激光联合 C 臂 CT 引导穿刺(在距离中线 2 cm、血肿一侧眼眶约 3 cm、避开额窦的位置钻骨孔, 利用数字减影血管造影(DSA)机的 C 臂 CT 功能采集脑出血患者的原始数据进行处理: 显示其冠状面、矢状面和轴位的 CT 图像, 接下来标记血肿的中心, 将此中心作为穿刺的目标位置。使用 DSA 机的 3D 重建软件 Xper CT 进行脑组织的 3D 重建, 并将骨孔设立为穿刺点。随后, 旋转 3D 立体图像, 重叠穿刺点和穿刺目标。根据两点一线的原理确定激光发射方向, 并记录实时三维参考图像工作角度, 之后沿重合点穿刺, 以穿刺点与穿刺目标之间的距离为穿刺深度), 对照组使用 CT 下引导穿刺。结果发现实验组在术后 3、5、7 天血肿清除率高于对照组, 在术后 1 个月试验组 ADL 评分也明显高于对照组[20]。更为重要的是 3D 激光联合 C 臂 CT 引导穿刺与 CT 引导下穿刺相比, 大大减少了年轻初学医生的上手难度, 避免了 CT 引导穿刺过程基本凭借术者经验进行穿刺, 初学者容易反复穿刺造成脑组织神经功能的损伤。C 臂 CT 集成了 CT 和 DSA 的功能, 多个层面上、多维度规划确定穿刺路径, 在术者穿刺过程中实时观测穿刺信息, 及时的观察穿刺针与血肿的位置关系, 为术者提供路径实时导航, 减少了手术时间且提高了准确性, 未来需要更多的实验提供临床数据用来分析和研究, 进一步提高这种微创手术的可靠性以便于推广至临床。

3D 打印导板辅助引流穿刺: 3D 打印技术近年来也是一个热门话题, 在航空航天、医药、电子科技、汽车等领域日渐成熟, 3D 打印技术以数字信息建模, 通过堆叠亚克力等材料来制造实体模型[21], 这项技术对医药尤其外科手术也带来极大的改善, 本文简单介绍一下该技术在脑出血微创手术方面带来哪些实用方法。通过 CT 扫描获得原始数据使用计算机软件三维重建颅骨、脑组织和血肿, 利用 3D 打印技术构建鼻双侧眉弓模具, 这些可作为骨性标记用来固定在患者脸部, 选择出血侧眉弓上 3~5 cm (避开额窦) 做穿刺点此时在导板上打印出穿刺孔并且利用 3D 打印技术使得孔道方向直指建模中血肿腔。手术时常规消毒后在患者面部放置 3D 打印出的个性化导板, 在导板穿刺点使用穿刺针进行穿刺, 穿刺深度由计算机确定[22]。Ke Li, Xiangqian Ding 等人回顾性分析了 61 例患者通过 3D 打印导板辅助引流穿刺与 67 例患者通过开颅手术治疗, 通过术后平均手术时间、平均术后住院时间、并发症发生率这些方面对比 3D 组优于开颅组[22], 张涛等人回顾性分析了 156 例高血压脑出血患者分别使用 3D 打印导板辅助穿刺术和 CT 引导下脑内血肿穿刺术, 通过术后复查血肿穿刺准确率和术后 7 d 血肿清除率对比发现 3D 打印技术辅助脑出血穿刺术, 有利于提高定位准确率, 提高血肿清除率[21]。总的来说 3D 打印技术在医学领域相当具有前景, 现已应用到临床中辅助脑出血的穿刺, 根据不同病人、不同的出血灶通过计算机软件个性化定制辅助导板利用 3D 打印技术制作出导板, 还可以设计和制定不同穿刺点、个体化的手术入路减少损伤, 精准抵达血肿腔。

值得一提的是 AR (Augmented reality)辅助引流穿刺术, 一种可穿戴设备, 将患者影像学检查通过计算机增强处理让术者佩戴时能看到头颅内的血肿腔, 设计好的穿刺道也通过虚拟现实技术出现在可穿戴设备中, 为术者模拟出三维直观的手术入路。这项技术现在还未应用到临床但已经在头部出血模型中进行试验了, 床旁就可以操作与传统的床旁徒手穿刺引流相比, AR 提高了精度。在几乎所有的模拟头颅穿刺中精度都<1 厘米甚至<5 毫米, AR 辅助引流放置的准确性非常接近立体定向引导[23]。这种卓越的精确度是否能可以带来临床益处仍然没有临床试验数据来支持, 但这种有巨大潜力的新技术必然会得到更多的优化为临床实践做准备, 为床旁穿刺提供更高精度的辅助。

5. 结语

高血压脑出血依然是一种毁灭性疾病, 微创手术是外科治疗目前所关注的热门话题, 最大程度上减少手术对患者造成的损伤, 高血压脑出血的微创手术治疗更是趋势和发展方向, 及时的清除血肿能减少对脑组织的压迫可以改善患者的预后, 超早期进行手术时对患者更受益的, 随着科技的进步、影像学的发展脑出血的微创治疗会更加精准、有效, 就像过去老驾驶员凭借经验操控汽车, 有了倒车影像、360度影像以后一位刚取得驾驶证的新手司机也可以在影像辅助下操控汽车倒库、停车, 同样医学影像学的进步有助于我们年轻医生也可以相对安全、快速、准确的实施微创手术。本文总结讲述了一些现行的微创术式和一些结合影像引导的术式, 需要更多的大型、前瞻性、随机试验来研究其可靠性, 为患者提供更优质的治疗, 减轻患者的病痛, 改善预后。

参考文献

- [1] 《中国卒中中心报告 2020》编写组. 《中国卒中中心报告 2020》概要[J]. 中国脑血管病杂志, 2021, 18(11): 737-743.
- [2] Chen, F.S., Zhang, B., Li, B.Z., et al. (2023) A Review of Invasive Intracranial Pressure Monitoring Following Surgery for Hypertensive Cerebral Hemorrhage. *Frontiers in Neurology*, **14**, Article 1108722. <https://doi.org/10.3389/fneur.2023.1108722>
- [3] 邱乐, 陈延. 高血压基底节区脑出血的微创外科治疗进展[J]. 现代中西医结合杂志, 2016, 25(9): 1024-1026.
- [4] Vitt, J.R., Sun, C.H., Le Roux, P.D., et al. (2020) Minimally Invasive Surgery for Intracerebral Hemorrhage. *Current Opinion in Critical Care*, **26**, 129-136. <https://doi.org/10.1097/MCC.0000000000000695>
- [5] Magid-Bernstein, J., Girard, R., Polster, S., et al. (2022) Cerebral Hemorrhage: Pathophysiology, Treatment, and Future Directions. *Circulation Research*, **130**, 1204-1229. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.121.319949>
- [6] Wang, G., Wang, L., Sun, X.G. and Tang, G.P. (2018) Haematoma Scavenging in Intracerebral Haemorrhage: From Mechanisms to the Clinic. *Journal of Cellular and Molecular Medicine*, **22**, 768-777. <https://doi.org/10.1111/jcmm.13441>
- [7] Xi, G., Keep, R.F. and Hoff, J.T. (1998) Erythrocytes and Delayed Brain Edema Formation Following Intracerebral Hemorrhage in Rats. *Journal of Neurosurgery*, **89**, 991-996. <https://doi.org/10.3171/jns.1998.89.6.0991>
- [8] Zyck, S., Du, L., Gould, G., et al. (2020) Scoping Review and Commentary on Prognostication for Patients with Intracerebral Hemorrhage with Advances in Surgical Techniques. *Neurocritical Care*, **33**, 256-272. <https://doi.org/10.1007/s12028-020-00962-y>
- [9] 杨前进, 张仁波, 胡淑芳, 等. 高血压性基底节区脑出血的三种不同治疗方案预后分析[J]. 中国神经精神疾病杂志, 2007, 33(1): 35-39.
- [10] 姚剑清, 陈江宾, 王辉振. 超早期与早期微创手术治疗高血压性脑出血患者的临床效果[J]. 医疗装备, 2022, 35(20): 90-93.
- [11] 刘金辉, 王忠安, 龚光辉, 等. 超早期与早期微创手术治疗中等量基底节区高血压性脑出血的疗效比较[J]. 中国微创外科杂志, 2021, 21(2): 117-120.
- [12] 陈晓雷, 徐兴华, 张家墅. 高血压脑出血外科手术治疗[J]. 中国现代神经疾病杂志, 2018, 18(12): 845-849.
- [13] Hannah, T.C., Kellner, R. and Kellner, C.P. (2021) Minimally Invasive Intracerebral Hemorrhage Evacuation Techniques: A Review. *Diagnostics*, **11**, Article 576. <https://doi.org/10.3390/diagnostics11030576>

- [14] Luh, H.T., Huang, A.P., Yang, S.H., *et al.* (2018) Local Hemostatic Matrix for Endoscope-Assisted Removal of Intracerebral Hemorrhage Is Safe and Effective. *Journal of the Formosan Medical Association*, **117**, 63-70. <https://doi.org/10.1016/j.jfma.2017.02.016>
- [15] 张诚, 丁建玲, 麦麦提依明·托合提, 等. 神经内镜与显微手术治疗基底节脑出血的疗效分析[J]. 重庆医学, 2023, 52(5): 653-656, 661.
- [16] 程科, 方宪清, 程彪, 等. 神经内镜微创手术与标准骨窗开颅血肿清除术治疗老年高血压性脑出血疗效及对炎症性指标的影响[J]. 中国老年学杂志, 2023, 43(15): 3698-3700.
- [17] 陈静, 滕晓华, 杨芳, 等. B超引导下神经内镜治疗高血压脑出血的手术技巧探讨[J]. 中国现代手术学杂志, 2023, 27(4): 323-327.
- [18] 王虎成, 张荣军, 张宏兵, 等. 颅骨锥孔穿刺引流术与钻孔穿刺引流术治疗中等量高血压脑出血的前瞻性对照研究[J]. 中国临床医生杂志, 2023, 51(2): 201-204.
- [19] Hanley, D.F., Thompson, R.E., Rosenblum, M., *et al.* (2019) Efficacy and Safety of Minimally Invasive Surgery with Thrombolysis in Intracerebral Haemorrhage Evacuation (MISTIE III): A Randomised, Controlled, Open-Label, Blinded Endpoint Phase 3 Trial. *The Lancet*, **393**, 1021-1032. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(19\)30195-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(19)30195-3)
- [20] Zhao, H., Zhang, T., Li, M., *et al.* (2023) Three-Dimensional Laser Combined with C-Arm Computed Tomography-Assisted Puncture of Intracerebral Hemorrhage. *Frontiers in Endocrinology*, **14**, Article 1198564. <https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1198564>
- [21] 张涛, 刘晟, 高阳, 等. 3D打印手术导板在高血压性脑出血术中的应用[J]. 中国临床神经外科杂志, 2019, 24(2): 107-109.
- [22] Li, K., Ding, X., Wang, Q., *et al.* (2021) Low-Cost, Accurate, Effective Treatment of Hypertensive Cerebral Hemorrhage with Three-Dimensional Printing Technology. *Frontiers in Neurology*, **12**, Article 608403. <https://doi.org/10.3389/fneur.2021.608403>
- [23] Demerath, T., Stanicki, A., Roelz, R., *et al.* (2023) Accuracy of Augmented Reality-Guided Drainage versus Stereotactic and Conventional Puncture in an Intracerebral Hemorrhage Phantom Model. *Journal of NeuroInterventional Surgery*, **15**, 708-711. <https://doi.org/10.1136/neurintsurg-2022-018678>