

# 从解剖清除到功能保护：神经内镜技术在高原地区丘脑出血治疗中的角色深化

罗 琴, 王晓澍\*

重庆医科大学附属第一医院神经外科, 重庆

收稿日期: 2026年2月18日; 录用日期: 2026年3月11日; 发布日期: 2026年3月23日

## 摘 要

丘脑出血作为一种严重的脑出血类型, 其治疗难度在高原地区尤为突出, 主要由于该地区特殊的环境因素和人体的生理适应性带来的复杂病理变化。传统治疗多侧重于解剖学上的血肿清除, 但忽视了神经功能的保护, 导致患者预后不理想。近年来, 神经内镜技术以其微创和精准的优势逐渐应用于丘脑出血的治疗, 推动了治疗理念从单纯的血肿清除向功能保护转变。本文系统综述了神经内镜技术在高原地区丘脑出血治疗中的最新进展, 结合高原环境下的病理生理特点, 重点分析了技术应用中的挑战与突破, 以及相关神经保护策略的演变。通过总结当前研究成果, 本文旨在为临床实践提供理论依据和技术指导, 推动高原地区丘脑出血的治疗水平不断提升。

## 关键词

丘脑出血, 神经内镜技术, 高原地区, 功能保护, 微创手术, 神经保护

# From Anatomical Resection to Functional Preservation: The Evolving Role of Neuroendoscopy for Thalamic Hemorrhage in High-Altitude Areas

Qin Luo, Xiaoshu Wang\*

Department of Neurosurgery, The First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing

Received: February 18, 2026; accepted: March 11, 2026; published: March 23, 2026

\*通讯作者。

文章引用: 罗琴, 王晓澍. 从解剖清除到功能保护: 神经内镜技术在高原地区丘脑出血治疗中的角色深化[J]. 临床个性化医学, 2026, 5(2): 16-25. DOI: 10.12677/jcpm.2026.52096

## Abstract

Thalamic hemorrhage, a severe form of cerebral hemorrhage, is particularly challenging to treat in high-altitude regions. This difficulty stems from complex pathological changes caused by the unique environmental factors and physiological adaptations of the body in such areas. Traditional treatments have focused mainly on anatomical evacuation of the hematoma, often neglecting the preservation of neurological function, which leads to suboptimal patient outcomes. In recent years, minimally invasive and precise neuroendoscopic techniques have gained traction in managing thalamic hemorrhage, driving a shift in therapeutic philosophy from mere hematoma removal toward functional preservation. This paper systematically reviews the latest advances in neuroendoscopy for treating thalamic hemorrhage in high-altitude regions. By integrating the pathophysiological features of the high-altitude environment, it highlights the challenges and breakthroughs in technical applications, as well as the evolution of related neuroprotective strategies. Through a synthesis of current research, this review aims to offer theoretical foundations and practical guidance for clinical practice, ultimately helping to advance treatment standards for thalamic hemorrhage in high-altitude areas.

## Keywords

Thalamic Hemorrhage, Neuroendoscopy, High-Altitude Areas, Functional Preservation, Minimally Invasive Neurosurgery, Neuroprotection Strategies

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

丘脑出血作为一种严重的脑血管疾病,因其深部脑结构的特殊性和重要神经功能的密集分布,临床治疗面临诸多挑战[1]。特别是在高原地区,低氧环境对患者的生理状态和病情进展产生显著影响。高原低氧条件不仅导致患者认知功能受损,如警觉性、注意力和记忆力下降,还直接影响脑组织的氧合状态和代谢功能[2]。因此,高原丘脑出血患者的诊治必须综合考虑高原缺氧对脑血流动力学和神经功能恢复的影响,制定个性化的治疗方案。

神经内镜技术近年来在脑出血的治疗领域得到了快速发展。与传统开颅手术相比,神经内镜具有创伤小、视野清晰、操作精准等优势,能够有效清除血肿,减少脑组织损伤[1][3]。通过术中直接可视化操作,神经内镜技术能够实现血肿的高效清除,提高脑血流动力学参数,如平均血流量和血流速度,同时降低颅内压和血流阻力,对促进患者神经功能恢复具有积极作用[1]。此外,神经内镜在脑干出血等深部脑区的应用也显示出较好的安全性和有效性,为复杂部位的血肿清除提供了新的手术途径[4][5]。

传统脑出血治疗多以解剖清除血肿为核心,忽视了对脑功能的保护。近年来,随着神经科学和神经影像技术的发展,治疗理念逐渐向功能保护转变。功能保护理念强调在有效清除血肿的同时,最大限度减少对神经网络和脑组织的损伤,促进神经功能的恢复和重塑[6]。例如,通过神经内镜辅助下的微创手术,可以减少对脑皮质和白质纤维束的牵拉和损伤,保护关键的神经通路,实现从单纯血肿清除向功能保护的转变[1]。这一转变对于丘脑等深部脑区尤为重要,因为该区域神经网络复杂,功能分区明确,任何额外的损伤都会严重影响患者的预后。

高原地区患者的生理适应性为治疗方案设计提出了特殊要求。长期生活在高原的患者, 机体已通过多种机制适应了低氧环境, 如血红蛋白浓度升高、血管生成增加及细胞代谢调整等[2][7]。这些适应性改变不仅影响血肿形成和脑组织氧合, 还可能影响手术风险和术后恢复过程。治疗中需关注肾功能保护、血流动力学稳定及氧合状态调节, 因为高原低氧易加重肾脏负担和心肺功能不全, 影响整体治疗效果[8][9]。此外, 高原环境下患者的认知和神经功能状态也会影响术后康复, 应结合神经调控手段, 如经颅直流电刺激, 促进神经网络功能的恢复[2]。

综上所述, 神经内镜技术在高原丘脑出血治疗中的应用不仅实现了血肿的有效清除, 更通过微创手术和功能保护理念的融合, 促进了神经功能的恢复。高原特殊的生理环境需纳入治疗方案设计, 关注患者的整体适应性和器官功能状态。本文旨在系统分析神经内镜技术在高原丘脑出血治疗中的角色深化, 探讨其在解剖清除与功能保护之间的平衡策略, 以及高原生理适应对临床决策的影响, 推动该领域的精准治疗和临床转化。

## 2. 高原地区丘脑出血的病理生理特点及治疗难点

### 2.1. 高原低氧环境对脑组织的影响

高原地区由于海拔升高导致大气压降低, 造成氧分压显著下降, 脑组织处于低氧(hypoxia)状态, 进而引发一系列代谢和功能上的改变。长期或急性暴露于高原低氧环境, 脑组织内的细胞代谢活动受到严重影响。研究发现, 慢性高原低氧能促使脑内神经元发生凋亡, 表现为 Nissl 体减少、细胞核皱缩及线粒体轻度肿胀等形态学改变, 伴随关键调控蛋白如 caspase-3、P53、P16、P21 等的表达上调[10]。这些蛋白的变化提示低氧环境诱导细胞应激反应及凋亡通路激活, 导致神经元损伤加重。

此外, 高原低氧状态下脑血管的自我调节功能也发生改变。正常情况下, 脑血流量(CBF)通过调节血管扩张和收缩以维持脑组织氧供。然而, 高原慢性低氧会导致血管内径变化, 如颈动脉扩张, 但脑皮层和海马区的血流量未显著增加, 提示自我调节机制受限或失调[10][11]。功能磁共振成像(fMRI)进一步证实, 低氧环境下丘脑与其他脑区如海马、扣带回的功能连接减弱, 显示神经网络受损, 影响脑功能的整体协调[2]。

低氧不仅影响脑血流, 还会改变脑细胞的存活和修复机制。低氧诱导因子(HIF-1 $\alpha$ )等信号通路被激活, 调控下游氧化应激和炎症反应, 进而影响神经细胞的凋亡和平滑恢复[12]。抗氧化系统如超氧化物歧化酶(SOD)活性下降, 脂质过氧化产物(MDA)增加, 加剧细胞损伤[13][14]。这些变化综合作用, 导致脑组织结构 and 功能的损伤, 增加高原丘脑出血患者的病理复杂性和治疗难度。

综上所述, 高原低氧环境通过诱导脑组织代谢异常、血管自我调节障碍及神经细胞凋亡, 全面影响脑组织的稳定性和修复能力, 为丘脑出血的治疗带来了额外挑战。这些病理生理改变提示临床治疗需兼顾改善脑组织氧合、保护神经元及调节脑血流, 才能有效缓解病情, 促进患者恢复[2][10][11]。

### 2.2. 高原低氧低压环境对颅内压的影响

高海拔环境的特点是气压降低和降低低氧[15]。这些因素通过多种机制影响颅内压。首先, 低氧是脑血管扩张的强效刺激因素, 导致脑血流量(CBF)增加[15]。为了应对氧气供应不足, 脑血管会扩张以增加血流量, 确保氧合。然而, 这种扩张增加了颅内血容量, 进而升高颅内压[16]。一项对 11 名健康受试者在 4350 米高海拔暴露 6 天的研究显示, 脑灌注和脑实质体积增加, 这与颅内压的升高和高原病症状相关联[17]。

其次, 长期或严重的低氧可能导致血脑屏障功能受损, 增加血管通透性, 从而促进脑水肿的形成[18]。脑水肿是高原脑水肿(HACE)的核心病理生理过程, 可导致颅内压急剧升高并危及生命[19]。细胞缺氧是

脑损伤的常见最终途径, 当脑灌注受损或氧供应不足时, 脑组织会受到严重影响[20]。

此外, 低氧环境还可能影响脑脊液(CSF)的产生和吸收, 进而影响颅内压[21]。虽然脑脊液生成量(0.35毫升/分钟)远低于脑血流量(约 700 毫升/分钟), 但血流进出颅骨的微小不平衡仍可对颅内压产生显著影响[21]。

综上, 高海拔低氧环境通过增加脑血容量、诱发脑水肿及改变脑脊液循环等途径, 共同导致颅内压升高, 并与高原脑水肿等严重疾病相关。

### 2.3. 丘脑出血的病理机制及其在高原地区的特殊表现

丘脑作为大脑的主要神经中枢, 参与感觉传导、运动协调及认知功能, 其出血损伤常引起复杂的神经功能障碍。丘脑出血不仅直接破坏神经组织, 还可引发局部水肿、脑压增高及继发性神经炎症反应, 导致病灶周围脑组织功能受损, 表现为意识障碍、偏瘫、感觉障碍等多种临床症状[22]。

在高原地区, 血液动力学的变化对丘脑出血的病理过程起到了重要影响。高原低氧促使机体通过增加血红蛋白浓度、血液粘稠度及血压升高来补偿氧供不足, 这虽短期改善组织氧合, 但同时带来血管内皮损伤及血流动力学异常, 增加出血扩展和再出血的风险[11][23]。此外, 高原环境下脑血流调节能力降低, 脑血管的扩张和收缩功能受限, 促使出血区域血流供应不足, 加剧局部缺氧和继发脑损伤。

出血后的继发性脑损伤机制复杂, 包括氧化应激、炎症反应、细胞凋亡及血脑屏障破坏等。高原低氧状态下, 这些病理过程被进一步放大, 例如氧化应激因子表达上调, 炎症因子如  $TNF-\alpha$ 、 $IL-1\beta$  增加, 导致神经元和胶质细胞的损伤加重[12]。血脑屏障的完整性受损增加脑水肿形成, 部分脑水肿表现为离子性水肿, 进一步加重脑压升高和脑功能障碍[24]。

因此, 高原丘脑出血不仅继承了丘脑出血的基本病理特征, 还因高原低氧和血液动力学异常表现出更为复杂和严重的病理生理变化。这些特殊表现需要临床在治疗时充分考虑高原环境对病情的影响, 针对氧合不足、血流动力学异常和继发性脑损伤制定个体化治疗方案, 以提高治疗效果和预后[11][22][24]。

### 2.4. 传统治疗方法的局限性

传统的丘脑出血治疗主要包括开颅手术和保守治疗两种方式。开颅手术通过直接清除血肿减压, 能有效缓解颅内压, 改善神经功能, 但其创伤大, 手术风险高, 尤其在高原低氧环境中, 患者耐受性差, 术后恢复缓慢, 感染和并发症风险明显升高[25]。此外, 开颅手术在丘脑血肿清除时存在技术难度, 容易损伤重要神经结构, 导致术后神经功能障碍加重。

保守治疗则依赖于药物控制血压、降低颅压和支持治疗, 适用于血肿较小或患者手术禁忌者。但此法对血肿的清除有限, 血肿吸收慢, 且难以阻止血肿扩大和继发脑损伤, 神经功能恢复效果欠佳[25]。此外, 高原环境下的低氧状态加剧脑组织缺血缺氧, 影响药物代谢和疗效, 增加治疗难度[26][27]。

另外, 高原地区医疗资源有限, 专业神经外科设备和技术缺乏, 限制了手术治疗的普及和质量。患者往往由于地理和经济因素难以获得及时和规范的治疗, 延误最佳治疗时机, 影响预后[28]。传统治疗往往忽视对神经功能的保护, 未能有效减少术后神经损伤和促进神经修复, 导致患者长期残疾率较高。

综合来看, 传统的开颅手术和保守治疗在高原丘脑出血中存在适应症有限、风险高、神经保护不足及医疗资源受限等多方面局限性, 亟需发展更安全、有效且适合高原环境的微创治疗技术和综合管理策略, 以改善患者预后[25][28]。

## 3. 神经内镜技术在丘脑出血治疗中的应用进展

### 3.1. 神经内镜技术的基本原理与操作优势

神经内镜技术是一种微创神经外科手术方式, 基于内镜镜头和工作通道的结合, 实现对病灶的直接

视觉观察和操作。其核心优势在于通过微创路径设计和精准定位技术,最大限度地减少对正常脑组织的损伤。具体来说,微创路径设计通常依托术前影像学数据,如三维CT或MRI,结合计算机导航或3D打印辅助,规划最短且安全的手术通路,精准进入丘脑出血区,避免重要功能区和血管[29][30]。此外,神经内镜提供了术中清晰的视野,内镜的高分辨率摄像头和光源保证了血肿清除时的良好视觉环境,方便医生识别血肿与脑组织的界限,提高操作的灵活性和精准性[31][32]。这种直视下操作的特点有效降低了手术相关并发症,特别是对正常脑组织的机械性损伤和术中出血风险,从而减少神经功能的二次损害[33][34]。综合来看,神经内镜技术在丘脑出血的微创治疗中,通过精准定位和优化操作路径,结合高清术中视野,大幅度提升了手术安全性和疗效,为患者提供了更好的神经功能保护和预后改善的可能。

### 3.2. 神经内镜下血肿清除的技术细节与优化策略

神经内镜下血肿清除技术的成功依赖于血肿的准确定位和合理的引流通道建立。首先,血肿定位通常采用术前影像学检查结合术中导航系统,确保穿刺点和引流通道的精准,避免误伤周围重要结构[35][36]。在建立引流通道时,选择合适的经皮路径和通道直径至关重要,近年来,柔性调节型透明鞘(Flexible and Adjustable Transparent Sheath Endoport, FATSE)等新型器械的应用,使得内镜可以在血肿腔内实现360度视野检查,提高清除率并减少死角[32]。在血肿清除步骤中,规范操作极为重要,需保持吸引和双极电凝的精确配合,逐层清除血块,避免对周围脑组织的机械牵拉和热损伤,降低二次损伤风险[31]。同时,结合术中影像导航和神经电生理监测技术,能够实时评估手术进展及保护神经功能,特别是在处理深部或复杂形态血肿时发挥关键作用[33][37]。此外,术中如遇出血,应及时止血,并可利用内镜视觉进行直接观察和处理,提升安全性。整体而言,神经内镜下血肿清除技术强调精准定位、微创通道建立、规范操作流程及多技术融合,以实现最大限度的血肿清除和神经功能保护。

### 3.3. 高原环境神经内镜下丘脑血肿清除的综合应用

在高原低压低氧环境下进行丘脑出血内镜手术,需要特别关注颅内压的精细管理和患者的生理状态[38]。虽然现有文献中缺乏直接针对高原环境下丘脑出血内镜手术具体参数设置的随机对照试验(RCTs)或大型队列研究,但可以基于已有的循证医学证据和高原神经重症监护的专家共识[38]推导出以下建议:

**术前优化氧合状态:** 由于高原环境下的低氧会加重脑损伤,术前应积极纠正患者的低氧血症[38]。通过吸氧或其他通气支持手段,将患者的血氧饱和度维持在正常或接近正常的水平。这是高原地区神经危重症患者管理的重要组成部分[38]。

**密切监测颅内压和灌注压:** 在高原环境下,颅内压可能更容易升高[19]。术中和术后应持续监测颅内压(ICP),并计算脑灌注压(CPP)[39]。目标是维持足够的CPP,以确保脑组织血供,同时避免过高的ICP。在内镜手术中,灌洗液的使用可能导致颅内压的暂时性升高,因此需要实时监测[40]。动物模型研究显示,内镜手术中灌洗液引起的颅内压升高可导致致命性血流动力学反射和脑缺血[39]。

**精准控制血压:** 高原患者的血压管理至关重要[38]。过高的血压会增加再出血风险,而过低的血压则会损害脑灌注。特别是在低氧环境下,脑血管对血压的自动调节功能可能受损。应根据患者的具体情况和颅内压数据,个体化调整血压目标。

**注意灌洗液的管理:** 内镜手术中使用的灌洗液可能影响颅内压和体温[40]。应使用等渗或微高渗的灌洗液保持约40~80 mL/min(低流量起始),并严格控制灌洗压力维持于30~40 mmHg之间,避免过快或过量的灌注导致颅内压急剧升高;同时,灌洗液的温度应接近体温,以避免对脑组织造成热损伤或冷刺激[41]。

**缩短手术时间,实现高效血肿清除:** 丘脑出血预后差,早期清除血肿可改善预后[42]。内镜手术的优

势在于其微创性和高效清除血肿的能力[42]。对于丘脑出血并破入脑室的患者, 内镜手术可同时清除血肿和脑室内积血, 改善脑积水[43]。因此, 在高原环境下, 应力求在保证安全的前提下, 尽量缩短手术时间, 快速、彻底地清除血肿, 以减轻脑压迫和降低继发性损伤[44]。

术后密切观察和管理: 术后仍需密切监测患者的意识、瞳孔、生命体征和颅内压[38]。高原环境可能延长脑水肿的恢复时间或增加其他并发症的风险[38]。对于术后出现意识障碍或神经功能恶化的患者, 应及时进行影像学检查, 排除再出血、脑积水或脑水肿加重等情况, 并采取相应治疗措施[38]。

总而言之, 高海拔低压低氧环境对颅内压有显著影响, 这使得丘脑出血内镜手术面临独特的挑战。通过术前优化氧合、术中密切监测颅内压和脑灌注、精准控制血压、合理管理灌洗液、高效清除血肿以及术后严密观察, 并结合个体化治疗策略, 有望改善高原环境下丘脑出血患者的预后。

## 4. 从解剖清除到功能保护: 治疗理念的转变与实践

### 4.1. 功能保护理念的提出及其理论基础

神经功能保护理念的提出, 是神经外科治疗从单纯追求病灶解剖清除向兼顾神经功能最大限度保留的重要转变。以往治疗脑出血尤其是丘脑出血, 重点在于尽快清除血肿, 减少脑组织受压和继发损伤, 但忽视了手术过程中对关键神经结构的潜在损伤, 导致患者神经功能恢复不佳。功能保护理念强调, 在有效清除病变的同时, 保护神经功能, 减少术中对脑组织的牵拉、压迫和损伤, 从而显著改善预后。

神经功能保护对患者预后的影响极为重要。研究表明, 采用功能保护策略的手术方法, 能够降低术后神经功能缺损的发生率, 提升患者的生活质量。例如, 基于扩散张量成像(DTI)辅助的神经内镜技术, 能够精确定位白质纤维束, 避免损伤关键神经通路, 从而显著改善患者的神经功能恢复[45]。

神经可塑性和恢复机制的最新研究进一步支撑了功能保护理念。神经可塑性是指神经系统在损伤后, 通过结构和功能的重组实现部分功能恢复的能力。神经内镜技术的精细操作减少了损伤范围, 为神经可塑性的发挥提供了条件。此外, 神经保护药物、干细胞疗法等也被证实能促进神经再生和功能恢复, 为功能保护提供了理论和临床支持[46] [47]。

在功能保护与血肿清除之间, 如何实现平衡是临床实践中的难点。过度强调血肿清除可能导致神经组织损伤, 反之则可能血肿残留引发继发损伤。基于神经内镜的精准手术技术, 通过术中神经功能监测和影像辅助, 能够在清除血肿的同时最大限度保护神经功能, 实现手术疗效和功能恢复的双重目标[45] [48]。因此, 功能保护理念不仅是治疗理念的转变, 也是技术和方法的综合应用, 体现了神经外科向个体化、精准化治疗发展的趋势。

### 4.2. 神经内镜技术支持下的功能保护策略

神经内镜技术作为微创神经外科的重要手段, 其视野清晰、角度灵活的优势为功能保护策略的实施提供了技术保障。首先, 神经内镜结合先进的影像导航技术, 如扩散张量成像(DTI), 实现精准定位, 避免重要神经结构的损伤。DTI 辅助神经内镜手术有效识别关键神经纤维走行, 指导手术路径规划, 显著降低术中误伤风险, 改善患者神经功能预后[45]。

术中神经功能监测技术的应用是功能保护的另—重要支撑。多模态神经电生理监测, 如运动诱发电位(MEP)、体感诱发电位(SEP)、脑电图(EEG)和肌电图(EMG), 能够实时监测神经功能状态, 及时发现神经刺激或损伤, 指导外科医生调整操作策略, 防止不可逆的神经损伤[48]。例如, 在听神经瘤手术中结合30°神经内镜辅助和神经电生理监测, 能有效保护面神经和听觉神经功能, 术后面神经功能保存率高达84.4% [49]。

此外, 神经内镜技术能在血肿清除过程中减少脑组织牵拉和压迫。传统开颅手术往往因暴露范围大,

导致脑组织暴露和牵拉增加, 增加神经损伤风险。神经内镜微创通道则通过小切口进入病灶, 减少脑组织暴露面积和机械牵拉, 有效降低术中脑组织损伤, 改善术后神经功能恢复[45][50]。同时, 神经内镜的高分辨率视野使外科医生能够更加精细地清除血肿, 避免残留, 保障神经功能的最大化保护。

综上, 神经内镜技术结合精准定位和术中功能监测, 为功能保护策略的实施提供了有力技术支撑, 使血肿清除与神经保护达到了最佳平衡, 显著提升了丘脑出血患者的神经功能恢复和生活质量。

## 5. 结论

高原地区丘脑出血因其独特的高原低氧环境和复杂的病理生理机制, 使得传统治疗面临诸多难题。作为专家, 我们必须充分认识到高原特殊环境对患者血流动力学、氧合状态及神经代谢的影响, 这不仅增加了出血风险, 也限制了治疗手段的选择与效果。因此, 针对高原丘脑出血的治疗策略需要兼顾病理生理特征与环境因素, 确保治疗的个体化和精准化。

近年来, 神经内镜技术的应用为高原丘脑出血的治疗带来了革命性的进展。该技术以其微创性和高精度操作优势, 显著提升了血肿清除的安全性和有效性。相比传统开颅手术, 神经内镜能够最大限度地减少脑组织损伤, 缩短手术时间, 降低术后并发症发生率, 这对高原患者极为重要。然而, 我们也必须理性看待不同研究中关于神经内镜效果的差异。一些研究强调其在血肿清除率上的优势, 而另一些则关注术后神经功能恢复的长远效果。如何平衡这些观点, 关键在于结合患者具体病情、出血范围和神经功能状态, 制定个体化的手术方案。

当前治疗理念正从单纯的解剖学清除转向功能保护为核心, 强调在最大限度清除血肿的同时, 保护和促进神经功能的恢复。这一转变反映了神经科学和神经外科技术的进步, 也为临床实践提出了更高要求。功能保护不仅涉及手术技术的精细化操作, 还包括术中神经监测、术后康复干预等多学科协作。尤其在高原地区, 缺氧和环境压力对神经修复的不利影响更需重视, 治疗团队应结合高原生理特点, 制定系统的术前准备、术中操作及术后管理方案, 以优化患者的整体预后。

未来研究应着重于神经内镜技术与功能保护策略的深度融合, 推动高原丘脑出血治疗水平的整体提升。具体而言, 可从以下几个方面展开: 一是优化神经内镜设备与技术, 提升操作的精细度和安全性; 二是加强术中功能监测技术, 实时评估神经功能状态, 指导手术决策; 三是深入研究高原低氧环境对神经修复机制的影响, 探索针对性的药物及康复策略; 四是开展多中心、规模化的临床研究, 验证综合治疗方案的有效性和适用性。通过跨学科合作和技术创新, 将有望实现治疗效果的质的飞跃。

综上所述, 高原地区丘脑出血的治疗已进入一个以精准微创和功能保护为核心的新阶段。作为医学专家, 我们应积极推动神经内镜技术与功能保护理念的融合, 结合高原特殊生理环境, 全面提升治疗安全性与疗效。未来, 通过不断深化基础与临床研究, 优化治疗路径, 高原丘脑出血患者的预后有望得到显著改善, 推动这一领域迈向更高水平的临床实践与科学探索。

## 参考文献

- [1] Kang, Y. and Zhou, Q. (2025) Assessing the Effect of Neuroendoscopic Surgery on Cerebral Hemodynamics and Functional Recovery in Patients with Brain Hemorrhage. *Annali Italiani di Chirurgia*, **96**, 371-379. <https://doi.org/10.62713/aic.3907>
- [2] Dalong, G., Yufei, Q., Lei, Y., Pengfei, L., Anqi, Y., Zichuan, G., *et al.* (2022) Modulation of Thalamic Network Connectivity Using Transcranial Direct Current Stimulation Based on Resting-State Functional Magnetic Resonance Imaging to Improve Hypoxia-Induced Cognitive Impairments. *Frontiers in Neuroscience*, **16**, Article ID: 955096. <https://doi.org/10.3389/fnins.2022.955096>
- [3] Banoci, J., Magocova, V., Katuch, V. and Tomkova, M. (2024) Neuroendoscopy-Assisted Evacuation for Supratentorial Intracerebral Hemorrhage versus Conventional Craniotomy: A Comparative Analysis of Efficacy and Outcome. *Bratislava Medical Journal*, **125**, 775-779. [https://doi.org/10.4149/bll\\_2024\\_118](https://doi.org/10.4149/bll_2024_118)

- [4] Ishibashi, R., Maki, Y. and Ikeda, H. (2022) Less Invasive Management of Endovascular Embolization and Neuroendoscopic Surgery for a Dural Arteriovenous Fistula Presenting with Acute Subdural Hematoma. *Asian Journal of Neurosurgery*, **17**, 362-366. <https://doi.org/10.1055/s-0042-1750309>
- [5] 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>
- [6] Li, T., Wang, P., Li, F., Chen, K., Yu, J., Ma, C., et al. (2025) Engineered Neural Stem Cell Vesicles Activating Wnt Promote Blood-Brain Barrier Repair after Cerebral Haemorrhage. *Brain*, **149**, 447-455. <https://doi.org/10.1093/brain/awaf381>
- [7] Zhao, P., Zhao, F., Hu, J., Wang, J., Liu, X., Zhao, Z., et al. (2022) Physiology and Transcriptomics Analysis Reveal the Contribution of Lungs on High-Altitude Hypoxia Adaptation in Tibetan Sheep. *Frontiers in Physiology*, **13**, Article ID: 885444. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.885444>
- [8] Wang, J., Wang, R., Qin, H. and Zuo, L. (2023) Impaired Kidney Function Portended a Bleak Prognosis for Surgically Treated Hypertensive Intracerebral Hemorrhage Patients. *Annals of Indian Academy of Neurology*, **26**, 520-529. [https://doi.org/10.4103/aian.aian\\_195\\_23](https://doi.org/10.4103/aian.aian_195_23)
- [9] Palubiski, L.M., O'Halloran, K.D. and O'Neill, J. (2020) Renal Physiological Adaptation to High Altitude: A Systematic Review. *Frontiers in Physiology*, **11**, Article ID: 756. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00756>
- [10] Cao, Y., Cao, S., Ge, R., Bao, H., Mou, Y. and Ji, W. (2023) Brain-Aging Related Protein Expression and Imaging Characteristics of Mice Exposed to Chronic Hypoxia at High Altitude. *Frontiers in Aging Neuroscience*, **15**, Article ID: 1268230. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2023.1268230>
- [11] Liu, Y., Yuan, F., Peng, Z., Zhan, Y., Lin, J., Zhang, R., et al. (2023) Decrease in Cerebral Blood Flow after Reoxygenation Is Associated with Neurological Syndrome Sequelae and Blood Pressure. *Brain Sciences*, **13**, Article 1600. <https://doi.org/10.3390/brainsci13111600>
- [12] Zhang, X., Cao, W., Pan, M., Huo, J., Zhang, N., Guo, J., et al. (2025) Huangqi Baihe Granules Attenuate Hypobaric Hypoxia-Induced Brain Injury via HIF-1 $\alpha$ /p53/Caspase-3 Pathway. *Drug Design, Development and Therapy*, **19**, 8823-8841. <https://doi.org/10.2147/dddt.s525602>
- [13] Huo, Y., Zhao, A., Song, J., Li, J. and Wang, R. (2021) Betelnut Polyphenols Provide Protection against High-Altitude Hypoxia in Rats. *Journal of Southern Medical University*, **41**, 671-678.
- [14] Yang, J., Luo, K., Guo, Z., Wang, R., Qian, Q., Ma, S., et al. (2024) Evaluation of Crocetin as a Protective Agent in High Altitude Hypoxia-Induced Organ Damage. *Pharmaceuticals*, **17**, Article 985. <https://doi.org/10.3390/ph17080985>
- [15] Hao, G., Fan, Q., Hu, Q. and Hou, Q. (2022) Research Progress on the Mechanism of Cerebral Blood Flow Regulation in Hypoxia Environment at Plateau. *Bioengineered*, **13**, 6353-6358. <https://doi.org/10.1080/21655979.2021.2024950>
- [16] Maldonado-Coronel, F., Castillo-Cacedo, C., Viruez-Soto, A., Huanca-Payehuanca, R., Tinoco-Solórzano, A., Molano-Franco, D., et al. (2025) Altitude-Specific Neurocritical Care: A Case Study in the Management of Traumatic Brain Injury. *Medical Reports*, **14**, Article 100385. <https://doi.org/10.1016/j.hmedic.2025.100385>
- [17] Verges, S., Rupp, T., Villien, M., Lamalle, L., Troprés, I., Poquet, C., et al. (2016) Multiparametric Magnetic Resonance Investigation of Brain Adaptations to 6 Days at 4350 M. *Frontiers in Physiology*, **7**, Article ID: 393. <https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00393>
- [18] Li, X., Zhang, J., Liu, G., Wu, G., Wang, R. and Zhang, J. (2024) High Altitude Hypoxia and Oxidative Stress: The New Hope Brought by Free Radical Scavengers. *Life Sciences*, **336**, Article 122319. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2023.122319>
- [19] Lawley, J.S., Levine, B.D., Williams, M.A., Malm, J., Eklund, A., Polaner, D.M., et al. (2016) Cerebral Spinal Fluid Dynamics: Effect of Hypoxia and Implications for High-Altitude Illness. *Journal of Applied Physiology*, **120**, 251-262. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00370.2015>
- [20] Hadanny, A. and Efrati, S. (2015) Oxygen—A Limiting Factor for Brain Recovery. *Critical Care*, **19**, Article No. 307. <https://doi.org/10.1186/s13054-015-1034-2>
- [21] Wilson, M.H. and Imray, C.H.E. (2016) The Cerebral Venous System and Hypoxia. *Journal of Applied Physiology*, **120**, 244-250. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00327.2015>
- [22] Kobets, A., Oriko, D., Groves, M., Robinson, S. and Cohen, A. (2021) Surgical Considerations in Labrune Syndrome. *Child's Nervous System*, **37**, 1765-1770. <https://doi.org/10.1007/s00381-020-04861-7>
- [23] Zhang, J., Zhang, M., Zhang, J. and Wang, R. (2020) Enhanced P-Glycoprotein Expression under High-Altitude Hypoxia Contributes to Increased Phenytoin Levels and Reduced Clearance in Rats. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, **153**, Article 105490. <https://doi.org/10.1016/j.ejps.2020.105490>
- [24] Biller, A., Badde, S., Heckel, A., Guericke, P., Bendszus, M., Nagel, A.M., et al. (2021) Exposure to 16 H of Normobaric Hypoxia Induces Ionic Edema in the Healthy Brain. *Nature Communications*, **12**, Article No. 5987. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-26116-y>

- [25] Li, J., Huang, Z., Shen, B. and Yu, H. (2025) Laparoscopic Retroperitoneal Necrosectomy in Patients with Necrotizing Pancreatitis: Addressing the Limitations of Traditional Treatment Options. *BMC Gastroenterology*, **25**, Article No. 472. <https://doi.org/10.1186/s12876-025-04001-y>
- [26] Tian, L., Liu, G., Zhao, Q., Han, J., Lin, Y., Wang, Q., *et al.* (2025) Pharmacokinetics of Midazolam in Plasma and Brain Tissue of Rats after Exposure to Acute and Chronic High Altitude Hypoxia. *High Altitude Medicine & Biology*, **26**, 273-282. <https://doi.org/10.1089/ham.2024.0141>
- [27] Zhang, X., Zhong, Y., Mu, H., Li, W., Yang, X. and Wang, R. (2025) Effect of High-Altitude Hypoxia on the Pharmacokinetics and Brain Distribution of Phenytoin Sodium in Epileptic Rats. *Journal of Sichuan University (Medical Science Edition)*, **56**, 825-830.
- [28] Ding, Y., Li, W., Wang, R. and Zhang, J. (2019) Research Progress on the Effects of Plateau Hypoxia on Blood-Brain Barrier Structure and Drug Permeability. *Journal of Zhejiang University (Medical Sciences)*, **48**(6): 668-673.
- [29] Zhao, C., Chen, Y., Qi, X. and Fan, Y. (2025) Minimally Invasive Puncture and Drainage Surgery for the Treatment of Thalamic Hemorrhage Guided by a 3D-Printed Guide Plate. *Journal of Craniofacial Surgery*, **36**, e510-e512. <https://doi.org/10.1097/scs.0000000000011096>
- [30] LI, G., LI, X. and LIU, Y. (2022) Exploration of the Clinical Effect of 3D Printing Assisted Prefrontal Puncture in the Treatment of Hypertensive Thalamic Hemorrhage Breaking into the Ventricle. *Minerva Medica*, **113**, 749-751. <https://doi.org/10.23736/s0026-4806.20.06651-3>
- [31] Cai, Q., Guo, Q., Li, Z., Wang, W., Zhang, W., Ji, B., *et al.* (2019) Minimally Invasive Evacuation of Spontaneous Supratentorial Intracerebral Hemorrhage by Transcranial Neuroendoscopic Approach. *Neuropsychiatric Disease and Treatment*, **15**, 919-925. <https://doi.org/10.2147/ndt.s195275>
- [32] Shafiq, Z., Wang, W., Zhou, L., Li, Z., Song, P., Zhang, S., *et al.* (2025) Flexible and Adjustable Transparent Sheath Endoport Combine with “Two-in-One” Neuroendoscopic for Minimally Invasive Evacuation of Irregular Intracerebral Hemorrhage. *Frontiers in Neurology*, **16**, Article ID: 1634030. <https://doi.org/10.3389/fneur.2025.1634030>
- [33] Zhou, H., Cha, Z., Wang, L., Chen, M., Zhang, Q. and Tang, J. (2022) Clinical Efficacy and Safety of Neuroendoscopic Surgery for Severe Thalamic Hemorrhage with Ventricle Encroachment. *Neurosurgical Review*, **45**, 2701-2708. <https://doi.org/10.1007/s10143-022-01782-8>
- [34] Li, M., Mu, F., Su, D., Han, Q., Guo, Z. and Chen, T. (2020) Different Surgical Interventions for Patients with Spontaneous Supratentorial Intracranial Hemorrhage: A Network Meta-Analysis. *Clinical Neurology and Neurosurgery*, **188**, Article 105617. <https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2019.105617>
- [35] Yang, S., Liu, Y., Wang, S., Peng, H., Yang, F., Hui, X., *et al.* (2024) Stereotactic Puncture Surgery Combined with Early Hyperbaric Oxygen Therapy May Be Better for Long-Term Functional Recovery in Patients with Moderate Amounts of Thalamic-Inner Capsule Region Haemorrhage. *Clinical Neurology and Neurosurgery*, **241**, Article 108287. <https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2024.108287>
- [36] Tanaka, K., Ando, D., Irie, K., Ihara, M. and Koga, M. (2021) Macrosquare-Wave Jerks Subsiding after Hydrocephalus Treatment in a Thalamic Hemorrhage Patient. *Internal Medicine*, **60**, 2487-2490. <https://doi.org/10.2169/internalmedicine.6293-20>
- [37] Spennato, P., Ruggiero, C., Mirone, G., Imperato, A., Parlato, R.S. and Cinalli, G. (2020) Endoscopic Needle Biopsy of Thalamic Tumors: Technical Note. *Child's Nervous System*, **36**, 2835-2840. <https://doi.org/10.1007/s00381-020-04676-6>
- [38] Droma, P., Huan, C., Wenjin, C., Wei, D., Guoying, L., Wenjun, P., *et al.* (2022) Expert Consensus on Monitoring and Management of Patients with Critical Neurological Illness at High Altitudes. *Medical Journal of Peking Union Medical College Hospital*, **13**, 24-38.
- [39] Kalmar, A.F., De Ley, G., Van Den Broecke, C., Van Aken, J., Struys, M.M.R.F., Praet, M.M., *et al.* (2009) Influence of an Increased Intracranial Pressure on Cerebral and Systemic Haemodynamics during Endoscopic Neurosurgery: An Animal Model. *British Journal of Anaesthesia*, **102**, 361-368. <https://doi.org/10.1093/bja/aen381>
- [40] Fàbregas, N. and Craen, R.A. (2010) Anaesthesia for Endoscopic Neurosurgical Procedures. *Current Opinion in Anaesthesiology*, **23**, 568-575. <https://doi.org/10.1097/aco.0b013e32833e15a1>
- [41] Salvador, L., Hurtado, P., Valero, R., Tercero, J., Carrero, E., Fàbregas, N., *et al.* (2009) Importancia de la monitorización de la “Presión intracraneal dentro del neuroendoscopio” durante el tratamiento anestésico de la cirugía neuroendoscópica. Experiencia en 101 casos. *Revista Española de Anestesiología y Reanimación*, **56**, 75-82. [https://doi.org/10.1016/s0034-9356\(09\)70336-6](https://doi.org/10.1016/s0034-9356(09)70336-6)
- [42] Zhou, H.P., Jiang, C.Z., Lei, W., Min, C., Chao, Z.Q. and Jian, T. (2021) Clinical Efficacy and Safety of Neuroendoscopic Surgery for Severe Ventricular Thalamic Hemorrhage. Springer Science and Business Media LLC.
- [43] Wu, Y., Zhou, W., Wang, Z., Zhang, W. and Li, Q. (2025) Multimodal Intraoperative Neurophysiological Monitoring in Neurofibromatosis Type 1-Related Craniofacial Tumor Surgery. *Journal of Craniofacial Surgery*, **36**, 2171-2175.

<https://doi.org/10.1097/scs.0000000000011771>

- [44] Chen, K., Kung, W., Kuo, L. and Huang, A.P. (2021) Ultrarapid Endoscopic-Aided Hematoma Evacuation in Patients with Thalamic Hemorrhage. *Behavioural Neurology*, **2021**, Article ID: 8886004. <https://doi.org/10.1155/2021/8886004>
- [45] Du, N., Wang, X., Zhang, X., Xie, J., Zhou, S., Wu, Y., *et al.* (2021) A New Surgical Method of Treatment Spontaneous Intracranial Hemorrhage. *Translational Neuroscience*, **12**, 145-153. <https://doi.org/10.1515/tnsci-2020-0164>
- [46] Cui, Z., Liu, S., Hou, L., Sun, Y., Chen, H., Mao, H., *et al.* (2021) Effect of Tongfu Xingshen Capsule on the Endogenous Neural Stem Cells of Experimental Rats with Intracerebral Hemorrhage. *Molecular Medicine Reports*, **24**, Article No. 624. <https://doi.org/10.3892/mmr.2021.12263>
- [47] Mahdavi-pour, M., Hassanzadeh, G., Seifali, E., Mortezaee, K., Aligholi, H., Shekari, F., *et al.* (2019) Effects of Neural Stem Cell-derived Extracellular Vesicles on Neuronal Protection and Functional Recovery in the Rat Model of Middle Cerebral Artery Occlusion. *Cell Biochemistry and Function*, **38**, 373-383. <https://doi.org/10.1002/cbf.3484>
- [48] Zhou, W., Zeng, Y., Ouyang, H., Zhang, W., Wang, Z. and Wu, Y. (2024) Application of Multimodal Intraoperative Neurophysio-Logical Monitoring Technology in Neurofibromatosis Type 1 Related Peripheral Nerve Tumor Surgery. *Chinese Journal of Reparative and Reconstructive Surgery*, **38**, 1202-1207.
- [49] Yang, S., Wang, J., Yang, C., Li, Z., Qiao, Y., Wang, C., *et al.* (2023) An Investigation into Whether the Facial Nerve and Auditory Nerve Can Be Protected by Removal of the Posterior Wall of the Internal Auditory Canal under 30° Neuroendoscopy during Vestibular Schwannoma Surgery. *Journal of Craniofacial Surgery*, **35**, e122-e125. <https://doi.org/10.1097/scs.0000000000009826>
- [50] Yang, Z., Xiong, X., Jian, Z. and Du, L. (2023) Analysis of the Effect of Neuroendoscopy-Assisted Microscopy in the Treatment of Large (Koos Grade IV) Vestibular Schwannoma. *Frontiers in Oncology*, **13**, Article ID: 1033954. <https://doi.org/10.3389/fonc.2023.1033954>