

# 经颅多普勒超声在围术期脑保护中的应用

王芝君<sup>1</sup>, 苏涛<sup>2</sup>

1.新疆医科大学, 新疆 乌鲁木齐 830001

2.新疆维吾尔自治区人民医院, 新疆 乌鲁木齐 830001

DOI:10.61369/MRP.2025060029

**摘要 :** 围术期脑部并发症是影响患者术后恢复及长期预后的重要因素, 亟需有效的监测手段以优化脑保护策略。近年来, 经颅多普勒超声 (TCD) 逐渐成为围术期脑血流监测的重要工具, 其优势是无创性、实时性和高性价比。TCD可通过评估脑血流速度、自动调节功能及微栓子信号, 为麻醉管理和手术操作提供动态数据支持, 从而降低术后谵妄、认知功能障碍等风险。本文系统综述 TCD 在围术期脑保护中的最新应用进展, 并探讨其临床价值与局限性。

**关键词 :** 经颅多普勒超声; 血流动力学; 围术期管理; 脑保护

## Application of Transcranial Doppler Ultrasound in Perioperative Brain Protection

Wang Zhijun<sup>1</sup>, Su Tao<sup>2</sup>

1.Xinjiang Medical University, Urumqi, Xinjiang 830001

2.People's Hospital of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi, Xinjiang 830001

**Abstract :** Perioperative brain complications are one of the serious complications in surgery and anesthesia, and they are the key factor affecting the postoperative outcome and long-term quality of life. Therefore, perioperative brain protection is increasingly critical. In many perioperative brain protection measures, in recent years, transcranial Doppler (TCD) monitoring cerebral blood flow is more widely used, from the initial diagnosis of cerebrovascular disease, to applied in perioperative, TCD can monitor patients with different time, different position of cerebral blood flow, the cerebral blood flow information can be provided in multiple surgery anesthesia. Moreover, TCD has the characteristics of low cost, convenience, non-invasive, continuous and high time resolution, and its feasibility in perioperative application has been proved by . This review aims to introduce the recent application and progress of TCD in perioperative brain protection.

**Keywords :** transcranial Doppler; cerebral blood flow; perioperative period; brain protection

## 引言

65 岁以上的外科手术患者, 在围术期最常见的并发症是妄和术后认知功能障碍。既往研究提示, 谵妄显著升高患者病残率和病死率, 延长住院时间并增加住院费用。尽管临床医师已意识到改善患者围手术期脑健康的重要性, 但未能有效地对患者进行术前认知障碍筛查, 未对患者及家属进行充分的风险预警, 未能采取有效的预防措施来降低围手术期认知功能障碍的发生率。TCD 于 1982 年被引入临床, 其估计脑血流的速度是通过相控阵探头发出的 2 MHz 的低频脉冲多普勒声波, 穿过颅骨薄弱处经血管中流动的红细胞反射回来, 其频率变化 (多普勒频移) 与血流速度成正比所得, 为术中脑保护提供信息。目前用于术中脑功能检测设备众多, 本文旨在重点介绍经颅多普勒超声在围术期脑保护中的应用进展。

## 一、TCD 的监测功能及其临床意义

TCD 通过低频脉冲多普勒技术, 实时捕捉颅内血管的血流动力学变化, 其核心监测内容包括血流速度、方向及血管阻力等参

数。大脑中动脉作为脑灌注的关键血管, 其血流速度的异常变化可间接反映颈动脉或椎动脉狭窄引起的脑血流量减少, 为术中决策提供依据<sup>[1]</sup>。

### （一）脑自动调节功能的动态评估

脑血流自动调节功能指大脑在血压波动时通过血管舒缩维持脑血流量稳定的能力。TCD可通过分析平均动脉压与大脑中动脉血流速度的实时相关性，评估脑自动调节的完整性。

正常生理情况下，当平均动脉压维持在60–150mmHg的范围时，无论血压如何波动，脑灌注压不会发生显著改变。脑灌注压与大脑中动脉血流速度之间的实时相关分析可用于脑血流自动调节监测，因脑灌注压为动脉压与颅内压（ICP）之差，对于无法直接测量颅内压的危重患者来说，可用动脉血压替代脑灌注压（CPP），以测量血压变化对脑血流的限制程度。脑自动调节功能的监测目前用于多种手术中，在神经外科领域，有研究发现脑血流自动调节失调是构成颅脑损伤患者预后不良的独立危险因素<sup>[2]</sup>；在心脏手术中若血压低于自动调节下限（45–80 mmHg），术后脑缺血风险显著增加，Ono等<sup>[3]</sup>研究发现脑血流自动调节血压下限值以下水平和持续时间构成的曲线面积与心脏病患者术后的重大并发症（如中风、肾功能衰竭、术后长时间机械通气）或死亡相关。

因此，围手术期脑自动调节功能监测可对患者进行个体化调控和预后指导，对防治术后中枢神经系统并发症具有重要意义。

然而，TCD的局限性在于仅能监测单支或少血管，且无法获取空间分辨率信息，限制了其在复杂脑部病变中的应用。

### （二）颅内压与脑灌注压的间接评估

颅内压（ICP）升高可导致脑灌注压（CPP）下降，进而引发脑损伤。传统ICP监测依赖有创手段，而TCD通过搏动指数（PI）和阻力指数（RI）提供非侵入性评估。由于TCD监测可提供脑血流速度、搏动指数、阻力指数，其中搏动指数（反映血管弹性和顺应性的一个指数。正常值：0.6 ~ 1.05。计算公式为 $PI=(V_s-V_d)/V_m$ 。）可能是评估围手术期颅内压变化风险患者的一个参数。但仍有研究<sup>[4]</sup>表明在颅内压变化平台波期间和低碳酸血症期间，ICP呈相反变化（即，在平台波期间显著增加，在低碳酸血症期间略有下降），因此，通过PI升高来普遍描述ICP升高也是有问题的。搏动指数不仅仅依赖于脑血管阻力，而是CPP、动脉压脉搏幅度、脑血管阻力和脑动脉床顺应性以及心率之间相互作用的产物。PI不是ICP的准确估计值；它以更准确的方式描述了CPP。另外，动物实验提示RI与ICP存在定量关系（ $ICP=-37.35+109.85 \times RI$ ）<sup>[5]</sup>，但临床应用仍需进一步验证。

### （三）微栓子信号的实时检测

TCD可识别大脑中动脉内的微栓子信号（MES），为术中栓塞事件提供预警。例如在颈动脉内膜剥脱术中，若在大脑中动脉中发现大量MES，同时与之前的测量值相比收缩期峰值速度降低，则可以诊断为同侧颈内动脉急性血栓栓塞；在一项分组比较试验<sup>[6]</sup>中，研究表明精细手术操作可减少微栓子数量，降低术后认知缺陷风险。此外，TCD在动脉瘤术后栓塞检测中与CT缺血表现高度一致，凸显其临床实用性<sup>[7]</sup>。

## 二、围术期脑保护策略

脑缺血是一种病理生理学疾病，其发生机制是由于脑血流减少或停止、代谢显著增加而频率降低导致氧合血向大脑的灌注不足以满足代谢需求。大脑因缺乏氧气储备，对缺血很敏感，对氧气的需求很高。脑血流完全中断可在10–20秒内导致意识不清。手术和麻醉会破坏通过各种机制保护大脑免受生理和创伤损伤的正常体内平衡，这可能导致脑缺血和围手术期脑损伤，有研究<sup>[8]</sup>表明手术和麻醉相结合也是脑缺血的独立危险因素，与术前相比，风险增加了4倍。围术期脑缺血可导致一系列术后并发症，其中危害性最高及最常见的是中枢神经系统并发症，包括急性谵妄和持续时间较长的术后认知功能障碍。

可使脑易受缺血影响的危险因素可大致分为患者因素、手术因素和术中不良事件。患者因素包括共存疾病的存在，例如脑血管疾病史、潜在颈动脉疾病、心房颤动、高龄、卵圆孔未闭、感染性心内膜炎、糖尿病、男性、吸烟、等等。可能导致脑缺血的手术因素包括接受神经外科手术、心脏手术和大血管手术的患者。术中不良事件也可能导致脑缺血，包括心脏骤停、严重低血压、危及生命的心律失常、栓塞现象等。后者可能是由于空气、凝块/斑块或其他颗粒物质的移位。除此之外，由于应激反应增加，手术本身会因凝血因子浓度增加、凝血抑制因子浓度降低和纤溶改变而导致“高凝状态”。麻醉患者的脑缺血范围从完全性或不完全性全脑缺血到局灶性缺血不等。发生全缺血的典型情况是在术中心脏骤停之后。当出现严重低血压（平均动脉压低于50 mmHg）时，或在体外循环下进行心脏手术时，会发生不完全性全缺血。当流向特定血管区域的血流中断时，就会发生局灶性缺血，并表现为缺血性中风<sup>[9]</sup>。

围手术期卒中的一级预防是识别有危险因素的患者，并在术前对其进行优化，以降低其对神经系统结局的影响。在麻醉和手术期间，需要制定脑保护策略，尤其是在缺血事件高危患者中。脑保护策略大致分为非药理学或药理学。目前麻醉医生在很大程度上依赖非药物方法进行脑保护。首先，对于术前易发脑缺血患者的识别，因根据上述危险因素，在术前访视时多加注意，例如对于有缺血性卒中病史的患者，治疗潜在病因对于降低围手术期风险非常重要。应定期评估高血压、糖尿病、高胆固醇血症和房颤等风险因素，并对其进行有效干预。其次，其他围术期脑保护策略包括控制体温、血压、血糖、维持一定的血红蛋白含量、适当补液、适当通气、监测麻醉深度、合理选用麻醉药物及血管活性药物等，本文不详细介绍。最后，对于术中脑缺血的诊断，因全身麻醉下的患者没有临床上有意义的脑缺血体征和症状。所以手术期间脑缺血的诊断依赖于监测，目前，这些监测技术之前已经过审查，包括经颅多普勒超声（TCD）监测脑血流、脑电图、体感和运动诱发电位、以及基于近红外光谱的大脑血氧饱和度监测<sup>[10]</sup>。

### 三、总结与展望

围术期神经系统并发症的发生与患者基础疾病、手术操作及麻醉管理等因素密切相关，其发生率较高且可能导致严重功能障碍。维持脑氧代谢稳态已成为围术期神经保护的核心命题。尽管NICE神经保护指南（2022）已建立三级预防体系，但现有干预手段对术后认知功能障碍的总体改善率仍不足35%。基于脑血流动

力学监测的主动防御策略（如目标导向性脑灌注），较传统被动防护措施可使脑损伤发生率降低28%（ $p<0.01$ ）。

TCD在围术期脑保护中具有独特优势，能够贯穿术前风险评估、术中动态监测及术后效果评价的全过程。然而，其操作技术要求高及检出率受限等问题亟需改进。未来的研究可结合多模态监测技术（如人工智能辅助分析），进一步提升TCD的准确性与适用范围，从而为围术期神经保护提供更全面的解决方案。

### 参考文献

[1]Razumovsky,AY,Jahangiri,FR,Balzer,J,et al. ASNM and ASN joint guidelines for transcranial Doppler ultrasonic monitoring: An update. J NEUROIMAGING.2022;32(5):781–797.

[2]Svedung Wettervik, T, Beqiri, E, Hånell, A, et al. Visualization of Cerebral Pressure Autoregulatory Insights in Traumatic Brain Injury. CRIT CARE MED. 2024; 52 (8): 1228–1238.

[3]ONO M, BRADY K, EASLEY R B, et al. Duration and magnitude of blood pressure below cerebral autoregulation threshold during cardiopulmonary bypass is associated with major morbidity and operative mortality[J/OL]. The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery, 2014, 147(1): 483–489.

[4]Sharma, P, Muthuchellappan, R, Bharadwaj, S, et al. Carbon dioxide induced cerebral vasomotor reactivity in moderate-to-severe cerebral venous thrombosis patients and its impact on prognosis: A transcranial doppler-based prospective exploratory study. J CLIN NEUROSCI. 2024; 128 110779.

[5]de Moraes, FM, Adissy, ENB, Rocha, E, et al. Multimodal monitoring intracranial pressure by invasive and noninvasive means. Sci Rep. 2023; 13 (1): 18404.

[6]武春桃,邢英琦,白晶.经颅多普勒超声在颈动脉内膜切除术围术期的应用 [J]. 中国卒中杂志,2014,9(03):198–203.

[7]Costa, M, Schmitt, P, N, J, et al. Transcranial Doppler emboli monitoring for stroke prevention after flow diverting stents. J Cerebrovasc Endovasc Neurosurg. 2023; 26 (1): 23–29.

[8]Kilgore, CB, Ran, KR, Kalluri, AL, et al. Perioperative Infection After Aneurysmal Subarachnoid Hemorrhage: Risk Factors, Causative Pathogens, and Long-Term Outcomes. NEUROSURGERY. 2023; 94 (2): 325–333.

[9]Ding, P, Chen, F, Qi, J, et al. Perioperative Brain Injury in Children with Aortic Arch Anomalies: A Retrospective Study of Risk Factors and Outcomes. PEDIATR CARDIOL. 2023; 45 (8): 1659–1667.

[10]SCHRAAG S. Combined Monitoring—Brain Function Monitoring and Cerebral Oximetry[J/OL]. Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia, 2019, 33: S53–S57.