

多模态影像精准评估、规范监护对于减少 CEA 围术期并发症的价值

宋彬彬¹, 苏芳慧², 李 丽¹, 宁金丽¹, 辛果果¹, 王亚星¹

摘要: 颈动脉重度狭窄是脑卒中的独立危险因素,颈动脉内膜切除术(CEA)可以通过解除狭窄有效预防缺血性脑卒中。但 CEA 存在一定的围术期死亡、缺血性卒中、高灌注损伤等不良事件风险,这些事件的发生不仅使围术期安全性受到威胁,也影响手术对脑缺血事件的预防效果。术前联合颈部血管彩超、TCD、CTA 精准评估;术中 TCD 联合脑氧监测仪全程监护;术后颈部血管彩超、TCD 规范随访的多模态影像全流程管理模式可以有效降低围术期死亡及卒中的发生率,避免低灌注、高灌注综合征,避免动脉再狭窄或闭塞,有效提升 CEA 围术期安全性。

关键词: 颈动脉狭窄; 颈动脉内膜切除术; 术前评估; 术中监护

中图分类号: R651.1; R445.1

文献标识码: A

Value of multimodal imaging-based precise evaluation and standardized monitoring in reducing perioperative complications of carotid endarterectomy SONG Binbin, SU Fanghui, LI Li, et al. (Department of Neurological Function, Luoyang Central Hospital Affiliated to Zhengzhou University, Luoyang 471000, China)

Abstract: Severe carotid artery stenosis is an independent risk factor for stroke, and carotid endarterectomy (CEA) can effectively prevent ischemic stroke by alleviating such stenosis. However, CEA carries certain risks of adverse events, including perioperative death, ischemic stroke, and hyperperfusion injury, and these adverse events not only compromise perioperative safety but also diminish the efficacy of the procedure in preventing cerebral ischemic events. A multimodal imaging-based comprehensive management mode (i.e., preoperative assessment with carotid ultrasound, transcranial Doppler (TCD), and CT angiography, intraoperative monitoring with TCD and cerebral oximetry, and standardized postoperative follow-up with carotid ultrasound and TCD) can significantly reduce perioperative mortality and the incidence rate of stroke and avoid hypoperfusion, hyperperfusion syndrome, and arterial restenosis or occlusion, thereby enhancing the perioperative safety of CEA.

Key words: Carotid stenosis; Carotid endarterectomy; Preoperative evaluation; Intraoperative monitoring

脑卒中是我国居民致死和致残的首要疾病,颈动脉狭窄大于 70% 的患者,年脑卒中率高达 13%。当局部脑血流量降至 6 ml/(100 mg·min)时,可造成不可逆结构损害^[1]。颅外段颈动脉狭窄所致的缺血性脑卒中,单纯内科药物治疗平均每年复发率 5%~20%,5 年可达到 50%,提示临床早期干预颈动脉狭窄的必要性和重要性。颈动脉内膜切除术(carotid endarterectomy, CEA)可以治疗颈动脉狭窄,有效改善脑血流供应,将脑卒中年复发率降低至 2%^[2]。但是作为一种有创治疗方式,CEA 存在一定的围术期死亡、缺血性脑卒中等不良事件风险,国内较大规模回顾性研究显示,症状性颈动脉狭窄患者 CEA 术后的死亡和卒中发生率为 3%~6%,这不仅使围术期安全性受到威胁,也削弱了手术对脑缺血事件的长期获益。究其原因在于术前评估不够精准,病例选择和手术方案并非最优,术中监护内容不足,术后管理不规范,具体体现在以下几个方面。

(1)术前影像检查标准不统一:①数字减影血管造影(digital subtraction angiography, DSA)曾被认为

是狭窄率和侧支循环诊断金标准,是 CEA 术前评估的必备条件,但必须要考虑到造影剂过敏、肾功能损害、造影剂相关卒中、住院时间延长、费用增加等问题,同时 DSA 存在一定缺陷,其不能有效判别管壁情况及斑块性质,以及对于侧支循环通路(存在但未开放时)的诊断存在一定困难,且难以模拟手术过程等。②单独超声检查易高估颈动脉狭窄程度,不能了解颅内血管是否存在病变及血流动力学情况。③计算机断层成像血管造影(computed tomography angiography, CTA)可较为可靠地测量颈动脉狭窄,但对于中度狭窄与重度狭窄鉴别、极重度狭窄与闭塞鉴别无能为力,双侧颈动脉均重度狭窄时难以区分哪侧更重,无法准确判断侧支循环通路及侧支代偿

收稿日期:2025-08-20;修订日期:2025-10-25

基金项目:国家卫生健康委“脑卒中防治科技应对研究”(WKZX2023CZ0108)

作者单位:(1. 郑州大学附属洛阳中心医院神经功能科,河南 洛阳 471000;2. 安阳市人民医院神经内科电生理室,河南 安阳 455000)

通信作者:宋彬彬, E-mail:15138772227@163.com

能力。④既往的TCD侧支循环通路评判标准无法准确判断侧支循环通路及预估手术风险。

(2)转流管应用标准不统一:对于对侧闭塞或重度狭窄、Willis环不完整、侧支代偿不良、合并其他病症术中不能提升血压的患者,转流管可以保障术侧血供,避免患侧低灌注。但会延迟手术时间、增加手术难度,同时也有内膜撕脱、增加栓子脱落的风险^[3]。目前采用试验性夹闭患侧颈总动脉(common carotid artery, CCA)后,大脑中动脉(middle cerebral artery, MCA)的收缩期峰值流速(oak systolic velocity, PSV)较夹闭前基础流速下降40%~50%作为采用转流术的标准,并未得到一致认可。当前,各医院在转流管应用上存在3种主要策略:常规使用、完全不用,以及根据患者情况选择性使用。然而,选择性使用策略的科学依据常显不足。

(3)术中监护方案不统一:CEA患者往往存在脑血管自动调节功能异常,加之麻醉因素、颈动脉临时阻断,可能影响大脑灌注,易造成术中脑缺血。研究表明脑卒中患者存在缺血血压阈值,血压低于此阈值则神经并发症增加。因此提升血压水平,保障脑灌注尤为重要,尤其是在侧支循环不良的情况下。但升高血压同样会造成风险,舒张压过高(>90 mmHg)是围术期脑卒中和死亡的独立危险因素,尤其双侧颈动脉系统重度狭窄或闭塞时,双侧侧支血管的代偿能力可能存在巨大差异,而且这种差异很难进行统一标准的评估。目前残端压、脑电图(electroencephalography, EGG)、体感诱发电位(somatosensory evoked potentials, SSEP)、经颅多普勒超声(transcranial Doppler, TCD)、近红外线光谱脑氧饱和度(near-infrared spectroscopy, NIRS)等监测手段相继在临床上使用,在一定程度上直接或间接反映脑血流或脑功能的变化^[4,5],但如何建立这些监测手段与术中血压管理及患者预后之间的联系,使之成为预测围术期风险的有效工具并为围术期管理提供依据,目前尚无定论。

(4)术后无有效管理方案:术后较为常见的风险是血管急性闭塞、较严重残余狭窄、高灌注损伤等,部分医院没有能力评估血管结构是否存在异常以及血流动力学指标是否存在异常。

因此迫切需要一套术前精准评估、术中全程监护、术后规范管理的全流程管理方案来减少CEA围术期并发症。

1 术前多模态影像管理方案

1.1 CEA手术适宜患者的选择 CEA手术适应证为颈动脉狭窄程度>70%的无症状患者和狭窄程度>50%的有症状患者^[6],因此,判断血管狭窄程度及确定责任斑块性质对于治疗方案抉择具有重要价值。颈部血管超声、CTA等是颈动脉病变的检查

手段,但由于颈部血管走行迂曲、斑块声影影响等因素,对狭窄程度的判断会受限。TCD由于可以检测颅内血管血流动力学情况,在鉴别颈动脉中重度狭窄中具有独特优势。易损斑块也被认为是脑卒中的独立影响因素,易损斑块有多种评估方法,如颈部血管超声可评估斑块内出血、富含脂质成分的坏死核心、薄纤维帽、斑块内活动炎症、斑块内新生血管^[7];而正电子发射断层扫描/计算机断层扫描(oositron emission tomography/computed tomography, PET/CT)用于评估斑块炎症;通过TCD检测微栓子也是经过验证的评估方法^[8]。一项针对468例患者的前瞻性单中心研究表明,微栓子可识别高风险无症状狭窄^[9],经颅多普勒微栓子监测是提高干预风险效益比的最佳检查手段。van Lammeren等^[10]对38例拟行CEA的症状性颈动脉狭窄患者进行30 min TCD监测以检测MES,收集CEA术中获得的颈动脉斑块组织病理学检查结果,比较无自发性MES患者与≥1个MES患者的斑块特征差异,研究结果表明26%拟行CEA的症状性患者可检测到自发性MES,且与不稳定斑块特征显著相关。TCD或可作为识别易损斑块患者的有效工具。

除了动脉粥样硬化,大动脉炎、夹层、颈动脉蹼等均可以导致颈动脉狭窄,不同的原因其治疗方案必然不同,这也提示我们不能仅仅关注狭窄,而需要精准评估造成狭窄的原因。颈动脉彩超能够观察管壁、管腔及周围结构,因此在病因诊断上具有独特优势。颈动脉走行变异、分叉的高低、狭窄前后管腔是否有正、负性重构等因素都会影响手术安全,需要进行评估^[11]。既往研究表明,颈部血管超声可用于评估单侧症状性颈内动脉闭塞再通治疗前后病变血管结构、血流动力学参数及侧支循环的变化^[12]。

对于中重度颈动脉狭窄患者,影像科、超声科、TCD科、神经内科、神经外科、血管外科、神经介入科应进行多学科会诊,判断患者采用内科保守、颈动脉支架植入术(carotid artery stenting, CAS)还是CEA,而非由一个手术科室独立判断,其影像资料可为治疗方案的抉择提供客观依据。

需强调,CAS并非CEA同等选择,而应作为无法进行CEA时的备选方案。由于CAS存在对于溃疡性斑块的“切割”效应,部分软质斑块可能在短期内出现再狭窄;大而硬的钙化斑块可能造成支架的变形、移位、断裂以及与管壁贴合差。与CEA相比,CAS相当于把斑块“压”在支架下面,残余狭窄率、狭窄复发率、术后长期用药率均高于CEA。既往研究表明:CAS组30 d内卒中比例明显高于CEA组,1年随访结果显示CAS组再狭窄率明显高于CEA组^[13]。因此CEA的远期疗效更为确切。CAS围手术期并发症的发生率和

死亡率均高于CEA,这一风险差异在高龄患者群体中尤为显著,究其原因可能为高龄患者血管病变多发,血流动力学改变更为复杂;CAS的费用在中等城市6万~8万元,而CEA的费用2万~3万元。

1.2 判断双侧病变时优先处理侧别 在双侧颈动脉均重度狭窄时,一般需要选择更重侧先行CEA手术,然而CTA、磁共振血管成像(magnetic resonance angiography, MRA)、单独行颈动脉彩超均无法准确区分哪侧更重时,TCD可以通过侧支循环血流的方向、血流速度和搏动指数等指标进行准确诊断,当具备可靠的颈部血管超声联合TCD技术支持时,可无需依赖DSA检查而独立判断责任血管的侧别。

1.3 判断侧支循环通路 既往研究表明侧支循环代偿能力差与CEA术后高灌注综合征具有相关性^[14]。因此,术前判断侧支循环通路存在及开放情况具有重要意义。既往的颈总动脉压迫试验(Carotid Compression Test, CCAC)侧支循环评估方式较为提纲挈领,我们对CCAC进行了改良,解决了既往评判标准无法应对复杂多变临床情况、无法准确判断侧支循环通路、无法准确预估手术风险的问题^[15]。通过颈总动脉压迫试验模拟术中夹闭后残余血量,可以判断是否需要应用转流管,预估侧支循环代偿较差患者的手术风险。

1.4 评估脑血管反应性 TCD可通过屏气试验或二氧化碳试验评估患者脑血管反应性。Lattanzi等^[16]收集了颈动脉重度狭窄行CEA患者术前的CRV及术后6个月的认知功能评分,研究表明,术前术侧脑血管反应性CVR值($\beta = -6.25$, 95%CI 7.40~-5.10, $P < 0.001$)与术后6个月认知功能具有相关性,可预测术后神经认知功能。Manojlovic等^[17]研究发现术前脑血管反应性降低(屏气指数BHI<0.69)是CEA术后发生高灌注综合征的重要预测因素。

2 术中多模态影像管理方案

2.1 脑血流监测 既往研究表明CEA在颈动脉夹闭期间风险更高^[18]。为此,多种脑血流及氧合监测技术应运而生,包括EEG、TCD、残端压测量、NIRS以及SSEP等^[19-21]。然而,关于如何优化组合这些监测模式以提高围术期脑缺血检测的敏感性,目前尚缺乏确凿证据。Michels等^[22]报道了一例在分离颈总动脉及颈内动脉(internal carotid artery, ICA)(但尚未进行血管夹闭)的过程中,左侧大脑中动脉平均流速突发急剧下降(从70 cm/s降至13 cm/s,降幅超过80%),NIRS参数略有变化,EEG及SSEP无变化。遂决定终止手术,头颈部CT血管造影显示左侧ICA近乎闭塞,可能由管腔内血栓形成或夹层所

致的内膜下血肿引起,灌注成像显示左侧半球前循环区域大面积灌注缺损,提示在血流动力学急性改变时,对于脑组织缺血的判断NIRS、EEG及SSEP存在滞后。TCD是唯一在术中可以对脑血流进行实时持续动态监测的检查手段,但其更多关注的是MCA的血流,其他灌注区脑组织是否出现缺血难以判断。术中监护方案建议以TCD为基础,同时佐以NIRS、EEG及SSEP之一。

对于颞窗透声不良者,其术中脑血流监测如何成为大家关注的问题。刘玉梅等^[23]记录麻醉后、颈动脉夹闭前后、转流管放置及颈动脉开放前后,不同时间点患侧眼动脉(ophthalmic artery, OA)和(或)ICA虹吸部的血流动力学参数,结果表明经眼窗监测CEA术中脑血流改变,可以作为颞窗穿透不良时的替代方案。此外,推荐应用TCD16兆连续波探头,随时直接监护ICA血流情况。相比于眼窗方案,16兆探头检查更便捷、快速、高效、准确,尤其是对于手术对侧血管存在严重狭窄及颅内多发狭窄患者,既保证灌注充足,又避免脑组织缺血发生。

当出现血流动力学急性改变时,颈部血管超声与TCD技术联合,可以客观评估造成变化的原因,及时指导术者采取有效解决方案,避免脑梗死的发生,提高CEA围手术期的安全性^[24]。

2.2 评估是否需要放置转流管 应用转流管在一定程度上会减少颅内低灌注,从而减少缺血性卒中的发生,但也会增加转流相关的并发症,如空气或斑块栓塞、急性动脉闭塞、夹层等。转流操作也会增加手术的复杂程度,增加手术时间,从而进一步增加围手术期的卒中风险^[19]。此外,转流管的使用还会增加手术费用、术后认知功能障碍的风险。因此评估术中是否需要放置转流管具有重要意义。TCD监测术中MCA的血流速度为脑血流动力学提供的实时信息,能指导外科医生选择是否转流来维持足够的脑灌注。武森森等^[25]研究发现TCD术中监测能安全、有效地指导CEA选择性使用转流管。具体方法:患者血压心率趋于稳定后,在手术开始前进行基础值标定,术中分离血管后依次夹闭ICA、颈总动脉及颈外动脉,监测同侧MCA的平均血流速度(V_m)较基线下降情况,如下降值不超过50%,无需转流直接行CEA;若下降值超过50%,则适当升压,一般较基础值升高20~40 mmHg(1 mmHg=0.133 kPa)(不超过180 mmHg),维持稳定后再监测。如下降值仍超过50%,则行术中转流;如不超过50%则无需转流。但在实际工作中,我们发现部分医院对于下降值超过50%的患者并未进行转流,而缺血性脑梗死比例没有想象中高,究其原因,术中血流阻断时间是关键指标,数据显示对于仍然残留部

分血流的患者,血流阻断时间<15 min基本上是安全的,小于20 min也仍然是可以接受的。对于评估代偿不良的患者,更应该关注阻断时间,避免影响手术时长的操作。

2.3 调控血压 据文献报道,在CEA术中阻断一侧颈动脉后,同侧MCA Vm应大于基础值的65%方可保证脑组织正常灌注需要,解除阻断后MCA Vm增加>100%为过度灌注。既往研究设定,为防止术中颅内低灌注,术中MCA Vm低于基础值的70%时给予去氧肾上腺素、重酒石酸间羟胺进行升压治疗;为防止脑组织过度灌注,解除阻断后MCA Vm超过基础值的100%时即给予硝酸甘油降压治疗^[26]。张晓宇等^[27]术中进行TCD检测,将患者分为两组:术中常规血压管理者为对照组及根据TCD监测血流情况调整血压者为研究组,结果表明研究组术中硝酸甘油、去甲肾上腺素用量低于对照组,心动过缓发生率明显少于对照组。研究组术后并发症发生率低于对照组,TCD监测颈动脉狭窄患者脑血管血流动力学对CEA麻醉中血压的调控具有较好的指导意义,有利于实现血压个体化调控,提高血压调控准确率,减少心脑血管事件的出现。

2.4 微栓子监测 既往研究表明,颈动脉狭窄患者围手术期产生的微栓子可导致认知功能减退和更差的预后^[28]。CEA术中微栓子主要为固体栓子,研究表明栓子主要集中于分流期和释放期^[29]。术前颈部血管超声对于斑块位置、性质等评估可以帮助指导夹闭时避开易损斑块,有效减少微栓子的出现。TCD监测发现在CAS术中,即使有滤网的存在,微栓子的数量仍远超CEA,但CAS术后因微栓子导致的栓塞改变并不多见,是否与微栓子的体积有一定关系,需要进一步研究。

2.5 识别高灌注 目前通常以开放颈动脉阻断即刻的血流速度较术前上升100%作为预警术后发生脑高灌注综合征(cerebral hyper-perfusion syndrome, CHS)的标准^[30]。有研究表明,CEA围术期TCD监测早期发现术中和术后脑血流过度灌注,及时根据TCD监测结果控制血压异常变化,是减少术后脑出血并发症的关键。Li等^[31]比较CHS组与非CHS组在3个术后时间点(开放血流后即刻、开放后5 min及皮肤缝合后)的MCA Vm相对于基线的升高百分比,多因素分析证实,开放血流后即刻的升高百分比是CHS的独立预测因子^[32],术中TCD监测有助于早期预测CEA术后CHS的发生。谷涌泉等^[33]对于TCD监测术中提示高灌注患者,进行颈总动脉压迫,有效预防高灌注综合征的发生。

3 术后多模态影像管理方案

3.1 血流再通情况评估 术后应用颈部血管

彩超判断手术部位是否存在残余狭窄、内膜撕脱、急性血栓等问题,以及缝扎是否牢靠,是否形成血肿。应用TCD评估血流动力学是否恢复正常。

3.2 识别高灌注,调控血压 Fassaert等^[34]分别于术前、术中、术后2 h及24 h测量MCA Vm,比较术中与术后2 h、24 h的MCA Vm升高幅度与CHS的关联并计算TCD监测预测CHS的阳性预测值(positive predictive value, PPV)与阴性预测值(negative predictive value, NPV)。结果发现,全身麻醉CEA术后24 h的MCA Vm监测能最准确识别无CHS风险的患者。

3.3 识别脑血管收缩综合征 CEA术后存在多种并发症的风险。Fitas等^[35]报告了1例55岁女性,术后出现反复性脑血管收缩的病例。TCD表现为RMCA-M1血流速度增快,搏动指数逐渐增加,以及固定的左侧感觉和运动缺陷,行DSA提示脑血管收缩综合征,因此强调CEA术后需要行TCD监测,及时发现脑血流变化。

3.4 出院后规范随访 出院后随访通常为术后1个月、6个月、12个月,也可依据患者实际情况进行调整。评估以颈动脉超声联合TCD的一体化模式为基础,必要的时候可以增加CTA检查。对于术中存在缺血风险的患者,建议有条件的单位在术后7 d对其进行核磁共振平扫检查,以明确是否出现影像学改变。

4 讨论

CEA作为预防性治疗手段,其安全性是临床医生和患者关注的核心。术前联合颈部血管彩超、TCD、CTA精准评估;术中TCD联合脑氧监测仪全程监护;术后颈部血管彩超、TCD规范随访的多模态影像全流程管理模式可以有效降低围术期死亡及脑卒中的发生率,避免低灌注、高灌注综合征、动脉再狭窄或闭塞,有效提升CEA围术期安全性。可提升医患双方对于CEA预防脑卒中的信心,提高预防效果。

利益冲突声明: 所有作者均声明不存在利益冲突。

作者贡献声明: 苏芳慧、李丽负责论文撰写;宁金丽、辛果果、王亚星负责文献收集;宋彬彬负责拟定写作思路、指导撰写论文并最后定稿。

[参考文献]

- [1] 王 涛. 颈动脉内膜切除术的历史、现状、问题与展望[J]. 中华脑血管病杂志(电子版), 2020, 14(1): 50-54.
- [2] Rerkasem A, Orrapin S, Howard DP, et al. Carotid endarterectomy for symptomatic carotid stenosis[J]. Cochrane Database Syst Rev, 2020, 9(9): CD001081.
- [3] Simon MV, Malcharek M, Ulkatan S. Monitoring in carotid endar-

- terectomy[J]. *Handb Clin Neurol*, 2022, 186: 355-374.
- [4] 闫宏旭, 安 乾, 王梦宇, 等. 多参数监测在颈动脉内膜剥脱术治疗合并对侧颈动脉中重度狭窄中的应用[J]. *中国血管外科杂志(电子版)*, 2024, 16(1): 56-59.
- [5] Piazza M, Zavatta M, Lamaina M, et al. Early outcomes of routine delayed shunting in carotid endarterectomy for asymptomatic patients[J]. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 2018, 56(3): 334-341.
- [6] Brott TG, Halperin JL, Abbara S, et al. 2011 ASA/ACCF/AHA/AANN/AAAS/ACR/ASNR/CNS/SAIP/SCAI/SIR/SNIS/SVM/SVS guideline on the management of patients with extracranial carotid and vertebral artery disease[J]. *Stroke*, 2011, 42(8): e464-540.
- [7] 中国医师协会超声医师分会. 超声评价颈动脉易损斑块中国专家共识(2023 版)[J]. *中华超声影像学杂志*, 2023, 32(8): 645-655.
- [8] Spence JD. Transcranial Doppler monitoring for microemboli: A marker of a high-risk carotid plaque[J]. *Semin Vasc Surg*, 2017, 30(1): 62-66.
- [9] Markus HS, King A, Shipley M, et al. Asymptomatic embolisation for prediction of stroke in the Asymptomatic Carotid Emboli Study (ACES): A prospective observational study[J]. *Lancet Neurol*, 2010, 9(7): 663-671.
- [10] van Lammeren GW, van de Mortel RH, Visscher M, et al. Spontaneous preoperative microembolic signals detected with transcranial Doppler are associated with vulnerable carotid plaque characteristics[J]. *J Cardiovasc Surg*, 2014, 55(3): 375-380.
- [11] 华 扬. 重视颈动脉超声对颈动脉内膜切除术前后的评估作用[J]. *中国脑血管病杂志*, 2020, 17(6): 281-284.
- [12] 杨 炆, 孟 璇, 王 欣, 等. 单侧症状性颈内动脉闭塞再通治疗前后的超声评估[J]. *中馈与神经疾病杂志*, 2024, 41(10): 887-891, 961.
- [13] 陈 啸, 苏 静, 张士忠, 等. 血管成形术治疗症状性重度颈动脉狭窄的临床研究[J]. *中馈与神经疾病杂志*, 2021, 38(1): 9-13.
- [14] 王 帅. 颈动脉内膜剥脱术后评估脑高灌注综合征及术前危险因素的相关分析[D]. 沈阳: 中国医科大学, 2022.
- [15] 宋彬彬, 李 丽, 宁金丽, 等. 改良 TCD 颈总动脉压迫试验诊断侧支循环通路开放与存在的价值[J]. *中国实用神经疾病杂志*, 2022, 25(6): 752-758.
- [16] Seifert K, Heit JJ. Collateral blood flow and ischemic core growth[J]. *Transl Stroke Res*, 2023, 14(1): 13-21.
- [17] Manojlovic V, Budakov N, Budinski S, et al. Cerebrovascular reserve predicts the cerebral hyperperfusion syndrome after carotid endarterectomy[J]. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 2020, 29(12): 105318.
- [18] Ferguson GG, Eliasziw M, Barr HW, et al. The North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial: Surgical results in 1415 patients[J]. *Stroke*, 1999, 30(9): 1751-1758.
- [19] Chuatrakoon B, Nantakool S, Rerkasem A, et al. Routine or selective carotid artery shunting for carotid endarterectomy (and different methods of monitoring in selective shunting)[J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2022, 6(6): CD000190.
- [20] Pennekamp CWA, Moll FL, de Borst GJ. The potential benefits and the role of cerebral monitoring in carotid endarterectomy[J]. *Curr Opin Anaesthesiol*, 2011, 24(6): 693-697.
- [21] Jahangiri FR, Liang M, Huckabey M, et al. Carotid endarterectomy surgeries: A multimodality intraoperative neurophysiological monitoring approach[J]. *Cureus*, 2022, 14(7): e26556.
- [22] Michels DM, Van Dijk LC, Tavy DLJ. Perioperative stroke during carotid endarterectomy: benefits of multimodal neuromonitoring-a case report[J]. *BMC Neurol*, 2022, 22(1): 325.
- [23] 刘玉梅, 华 扬, 刘蓓蓓, 等. 经颅多普勒超声经眼窗监测脑血流动力学在颈动脉内膜切除术中的应用价值[J]. *中国脑血管病杂志*, 2012, 9(9): 472-476.
- [24] 刘玉梅, 华 扬, 刘蓓蓓, 等. 血管超声对颈动脉内膜剥脱术中血管结构变化及血流动力学的评估[J]. *中国超声医学杂志*, 2010, 26(11): 1001-1004.
- [25] 武森森, 高喜翔, 张 楠, 等. 经颅多普勒超声监测指导颈动脉内膜剥脱术中选择性应用转流管的单中心研究[J]. *中国血管外科杂志(电子版)*, 2024, 16(1): 51-55, 63.
- [26] 王 彦, 李俊青, 郭全周, 等. TCD 脑血流监测在颈动脉内膜剥脱术中指导血压调控的应用[J]. *生物医学工程与临床*, 2024, 28(2): 215-220.
- [27] 张晓宇. TCD 脑血流监测系统在颈动脉内膜剥脱术中指导个体化血压调控的应用[D]. 长春: 吉林大学, 2019.
- [28] Meshram NH, Jackson D, Mitchell CC, et al. Study of the relationship between ultrasound strain indices and cognitive decline for vulnerable carotid plaque[J]. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*, 2020, 2020: 2088-2091.
- [29] 周立新, 高 山, 胡英环, 等. 颈动脉内膜切除术中经颅多普勒超声监测的应用[J]. *中国卒中杂志*, 2010, 5(8): 608-612.
- [30] Pennekamp CWA, Tromp SC, Ackerstaff RGA, et al. Prediction of cerebral hyperperfusion after carotid endarterectomy with transcranial Doppler[J]. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 2012, 43(4): 371-376.
- [31] 柳雅洁, 袁 军. 经颅多普勒超声在评估与诊断血管再通后脑高灌注综合征的应用[J]. *内蒙古医学杂志*, 2019, 51(8): 950-952.
- [32] Yang N, Wang Q, Qi H, et al. TCD-Guided management in carotid endarterectomy: A retrospective study[J]. *J Cardiothorac Surg*, 2024, 19(1): 588.
- [33] 谷涌泉, 郭连瑞, 齐立行, 等. 颈动脉内膜剥脱术在颈动脉硬化性狭窄患者中的疗效[J]. *中华医学杂志*, 2011, 91(45): 3197-3200.
- [34] Fassaert LMM, Immink RV, van Vriesland DJ, et al. Transcranial Doppler 24 hours after carotid endarterectomy accurately identifies patients not at risk of cerebral hyperperfusion syndrome[J]. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 2019, 58(3): 320-327.
- [35] Fitas D, Carvalho M, Castro P, et al. Cerebral vasoconstriction after carotid endarterectomy[J]. *Pract Neurol*, 2018, 18(5): 378-381.

引证本文: 宋彬彬, 苏芳慧, 李 丽, 等. 多模态影像精准评估、规范监护对于减少 CEA 围术期并发症的价值[J]. *中馈与神经疾病杂志*, 2025, 42(11): 979-983.