

文章编号:1003-2754(2025)06-0563-05

doi:10.19845/j.cnki.zfysjbbzz.2025.0107

定量脑电图与 RAPID 灌注参数在急性缺血性卒中取栓预后不良的研究进展

刘小芳¹综述, 陈胜利²审校

摘要: 急性大血管闭塞性缺血性脑卒中具有较高的致残率及致死率,给社会经济和医疗卫生体系造成极大负担,机械取栓已经成为其标准治疗方式,但血管成功开通后仍有部分患者预后不良,因此探索能够判断患者不良预后的因素至关重要。定量脑电图可以量化、客观评估患者脑功能的变化过程,基于脑 CTP 的 RAPID 灌注参数可以快速量化脑组织局部血流灌注情况。这种灌注神经成像和电生理活动相关结合方式可以量化脑梗死相关的缺血严重程度和神经元功能损害,因此本文对两者在卒中预后评估中的应用价值进行综述。

关键词: 急性缺血性卒中; 机械取栓; 定量脑电图; RAPID 灌注参数

中图分类号: R743.3 **文献标识码:** A

Research advances in quantitative electroencephalography and RAPID perfusion parameters in the poor prognosis after thrombectomy for acute ischemic stroke LIU Xiaofang, CHEN Shengli. (North Sichuan Medical College, Nanchong 637100, China)

Abstract: Acute large-vessel occlusive ischemic stroke has high disability and mortality rates, causing a great burden to social economy and health care system. Mechanical thrombectomy has become the standard treatment method for this disease, but some patients still have poor prognosis after successful recanalization of blood vessels, and therefore, it is important to explore the factors that can be used to judge the poor prognosis of patients. Quantitative electroencephalography can quantify and objectively assess the changing process of brain function in patients, and RAPID perfusion parameters based on brain CTP can rapidly quantify the local blood perfusion of brain tissue. This combination of perfusion neuroimaging and electrophysiological activity can quantify the severity of ischemia associated with cerebral infarction and functional damage to neurons. This article reviews the application value of these two methods in the prognostic evaluation of stroke.

Key words: Acute ischemic stroke; Mechanical thrombectomy; Quantitative electroencephalography; RAPID perfusion parameters

脑卒中是神经科的常见病、多发病,具有高发病率、高死亡率、高致残率等特点,其中急性缺血性卒中(acute ischemic stroke, AIS)约占 80%,由颅内大血管闭塞导致的 AIS 更是其中严重预后不良的一个亚型,一旦发病可能导致中枢神经系统严重损伤^[1,2]。近代以来,及时有效地开通血管恢复脑灌注、挽救濒死的缺血半暗带,是大血管闭塞性卒中急性期治疗的关键。自 2015 年新英格兰杂志相继发表几大著名临床试验研究以来,机械取栓术(mechanical thrombectomy, MT)已经成为其标准治疗方式^[3-8]。随着取栓器械及技术的不断进步,人们逐渐发现尽管 MT 可以显著提高 AIS 患者的血管再通率,但闭塞血管的完美再通并不意味着有效的脑组织灌注恢复,近年来多项研究表明在时间窗或者组织窗内实现血管成功再通后仍有约 45%~54% 的患者 90 d 随访达不到功能独立,即临床结局仍存在不确定性^[9-11]。目前关于这种预后不良的生理机制及影响因素尚未完全明确,因此仍需要我们积极分析及整

合已有临床资料或探索床旁可持续监测技术联合评估患者整体病情,以期能及时调整治疗方案并改善预后。有研究表明,某些影像学及脑电图指标可以有效评估 AIS 患者脑组织灌注情况及预后不良结局,文献报道多个指标均能作为独立的预后预测因子,如果整合多指标使用,对提高预后预测效能具有重要意义。基于 CT 灌注成像的 RAPID 软件是一种自动化评估软件并得到了临床验证,目前已广泛应用该软件进行取栓前脑灌注、侧支循环及血流动力学的评估,定量脑电图(quantitative electroencephalogram, QEEG)可以床旁监测大脑皮质神经元电活动变化情况且及时有效地反映大脑局部血流及灌注的变化情况。本文拟对基于头部 CTP 的 RAPID 灌注参

收稿日期:2024-11-11;修订日期:2025-01-25

作者单位:(1. 川北医学院,四川南充 637100;2. 重庆大学附属三峡医院神经内科,重庆 404000)

通信作者:陈胜利, E-mail:15196799365@163.com

数和QEEG在AIS患者预测预后研究进行综述,以期
为血管内治疗AIS患者有效评估临床预后及未来发展
提供参考。

1 定量脑电图在AIS取栓患者不良预后中的应用价值

众所周知,大脑功能的基础是神经电活动,不同
神经元之间通过电信号进行编码和传递信息,脑电
图正是通过头皮电极记录下来的大脑细胞群自发
性、节律性电活动^[12]。正常生理情况下脑组织中几
乎无能量贮备。当脑血流中断大脑能量被剥夺,其
神经元功能在20~60 s内就会受到抑制,而主要原因
就在于其突触传递受到影响,而这种突触活动往往
是细胞外电流的最重要来源,因此当缺血事件持续
发展,将会导致不可逆的神经元损伤^[13]。

脑电图的产生正是依赖于大脑皮质I、V和VI层
的锥体神经元树突突触后兴奋性和抑制性电位动态
的总变化^[12]。这种大脑本身的生理结构使其对缺血
缺氧变化十分敏感,当脑血流量(cerebral blood flow,
CBF)下降时,皮质神经元的代谢和电活动即刻发生
改变并伴有特征性的脑电演变,而这种变化过程明显
优于临床特征及影像学改变^[12,14,15]。既往研究已证实
EEG可以作为卒中患者的观测指标,能够指导临床治
疗及评估预后。但传统的脑电结果判读基于人为观
测的视觉分析,耗时且主观性大,因此人们也不断寻
找新的计算方法来进行脑电信号的提取及分析,定量
脑电图由此应运而生^[16]。QEEG是将原始脑电图相
关基本要素通过一定函数模型转化为各种可量化参
数,从而定量化分析脑功能变化具体情况,较传统脑
电图更加方便客观及准确,甚至更具信息量^[12,16]。先
前研究指出QEEG指数与卒中预后相关,而在缺血患
者定量分析中,功率谱密度参数优于其他分析技
术^[17]。

回顾文献,IS的脑电图活动与脑组织灌注不足
密切相关,当脑血流中断导致大脑局部缺血甚至梗死
核心形成时,典型的脑电反应即为快波活动减少及慢
波振荡增加,严重时甚至出现电静息。早在20世纪
80年代,Sainio等^[18]通过记录AIS患者发病48 h内的
EEG变化情况,证实高 δ 与低 α 频率波与大脑局部血
流和临床预后的负相关最强,可以作为评估卒中不
良预后的可靠指标。后续研究也证实, δ 活动与病变
区域脑血流量(rCBF)之间的负相关性最高^[17]。
Machado等^[19]甚至提出 δ 活动增加与梗死核心区形
成密切相关,而 α 活动下降与缺血半暗带、血流分裂
和脑水肿形成有关。另一方面,Shreve等^[20]使用高

密度脑电图来进行急诊卒中患者的识别,指出AIS
患者 δ 功率和 δ/α 频段功率比值(DAR)与所有其他
疑似卒中患者相比差异具有统计学意义,并且梗死
体积越大,患侧DAR值越高,这种比值可以作为AIS
患者神经生理标志物。近年来,QEEG也逐渐应用
于AIS患者预后评估,总结发现相对 δ 功率(RDP)、
相对 α 功率(RAP)、 $\delta+\theta/\alpha+\beta$ 比值(DTABR)、DAR、脑
对称指数(BSI)等脑电功率谱指标可以提示预后不
良或恶化。Finnigan等^[21]通过记录亚急性期缺血性
卒中患者脑电变化,指出 δ 变化指数与30 d NIHSS
评分具有负相关性, δ 功率下降的患者比 δ 功率增加
的患者有更好的功能恢复,证实DAR和相对 α 功率
(RAP)与30 d NIHSS评分相关性最强,并表明这些
指标可以作为新的神经电生理标志物用于床旁指导
评估和预测脑卒中病情演变。DTABR功率比值则
在DAR的基础上增加了对 θ 、 β 波功率变化的敏感
性,这种相对功率比更能定量反映相关各个频带脑
波的分布、比例及波幅变化的情况,是卒中后功能残
疾的有效预测因子。Sheorajpanday等^[22]对110例缺
血性卒中患者脑电图进行分析证实BSI和DTABR与
6个月的mRS评分显著相关。Bentes等^[23]通过对
151例前循环AIS取栓患者进行脑电研究,通过定性
脑电图分析证实脑电背景活动缓慢、背景不对称和
周期性放电是随访12个月时功能结果不良(mRS评
分 ≥ 3)的预测因素,而以qEEG为重点,该作者针对
同一患者群体的研究显示,对AIS患者不良功能结
果的最强独立预测因素是高DTABR和低RAP^[24]。
近几年来,人们甚至尝试使用连续定量脑电图来进
行卒中短期预后评估及病情监测,有中心对AIS患
者发病后24 h内进行持续性脑功能监测,每30 min
取连续10 min的无干扰脑电图数据作为30 min周
期的特征,计算出每个时间点的改良QEEG参数
ABDTR值($\alpha+\beta/\delta+\theta$)并绘制折线图,研究结果表
明该指标显著变化早于临床改变(脑疝形成),且90 d
的mRS评分与ABDTR变化指数呈显著负相关,证实
连续定量脑电图其可以作为其预后不良的持续观察
手段^[25]。Huang等^[26]甚至利用QEEG同步记录AIS
患者脑电变化情况,结果显示较之脑疝形成,脑电演
变可提前6 h被临床观测,同时他们也计算了C3和
C4单个导联电极的QEEG,结果表明,两个电极上的
QEEG趋势与受影响侧和未受影响侧保持一致,这
表明对于卒中患者可以尝试用较少的导联来监测和
预测病情的变化趋势。后续也有研究证实额颞单导
DAR是前循环机械取栓大血管闭塞的AIS患者机械

取栓术后不良的独立预测因子^[27]。综上所述,在临床工作中,神经科医师可以借助QEEG参数来指导AIS取栓患者的临床管理、病情监测及预后评估,甚至可以尝试利用更少的导联来评估脑功能变化过程。

2 RAPID灌注参数在AIS取栓患者不良预后中的应用价值

脑梗死功能变化核心为脑血流灌注发生改变,AIS治疗关键在于早期开通闭塞血管、拯救缺血半暗带及尽可能在时间窗内恢复组织再灌注,而这一系列级联反应具有高度时间依赖性,因此早期快速准确识别缺血及梗死区域为治疗的重中之重。随着时代发展,特异性神经成像技术,如CT灌注成像(CTP)和磁灌注成像(MRP)可以快速和准确地识别可挽救的组织 and 缺血核心的范围,与MRP相比,CTP的成像时间及耗时更短,因此在超急性期IS中应用更为广泛^[28]。RAPID (iSchemaView, Menlo Park, CA)是一款由美国食品药品监督管理局(Food and Drug Administration, FDA)批准的全自动CTP应用程序,这种软件有助于克服充分定量评估所需的人工后处理,并在时间敏感的环境中快速提供脑梗死及灌注信息,利用直观有效方式显示灌注血流参数及侧支循环状态,能够有效指导临床治疗^[29]。2018年借助灌注成像为识别手段的DAWN研究及DEFUSE 3研究证实使用rapid软件对CTP进行量化分析筛选的晚窗(发病6~24 h)卒中患者可以从血管内治疗中获益^[30,31]。近年来,随着该软件的广泛应用,人们逐渐发现基于脑CTP的RAPID软件相关灌注参数有助于预测AIS患者临床预后。

DEFUSE、DEFUSE2和EPITHE研究表明,达峰时间>8 s的低灌注区体积($V_{Tmax>8s}$)与较低的再灌注率和较低的良好功能结果的机会相关,其中低灌注强度比值(perfusion intensity ratio, HIR, $V_{Tmax>8s}/V_{Tmax>6s}$)以及低灌注区域的范围(错配体积)都决定了缺血区域脑组织的命运,甚至有研究表明高HIR的梗死生长速度约为低HIR的4.5倍,并在血管内治疗后出现更大的梗死面积和更严重的神经缺陷^[32-34]。Kim等^[35]回顾性分析了早期时间窗(发病<6 h)内接受了治疗前rapid分析的前循环AIS患者MT后不良结局的危险因素,结果表明由RAPID软件估计的脑血流量<30%的梗死体积($VCBF<30\%$)可以预测90 d内症状性颅内出血和不良结局($mRS\geq 3-6$ 分)的发展, $VCBF<30\%$ 可能是MT后脑梗死患者的重要预后因素。但最近也有研究证实 $CBF<38\%$

和CBV(脑血容量)<26%似乎更能预估前循环大动脉闭塞患者的梗死核心体积^[36]。 T_{max} 作为缺血组织对血流动力学变化反应的定量替代物,不仅可以用于预测缺血的大小和受影响组织的命运,也是时间和组织灌注的组合生物标志物,在表征缺血状态方面优于其他参数。先前研究表明 $T_{max}>8$ s时病变体积>85 ml可降低再灌注治疗的有效性和安全性,而 $T_{max}>10$ s病变体积每增加10 ml,接受血管内治疗患者的功能独立性的概率会逐渐降低^[32,37]。随着取栓技术和RAPID软件临床广泛应用,人们逐渐发现以 $T_{max}>6$ s定义为缺血半暗带和 $rCBF<30\%$ 为梗死核心所判定的取栓患者在血管内治疗后仍有相当部分预后不良。而最近的一项研究表明, $T_{max}>9.5$ s和 $T_{max}>16$ s的阈值能更好地定义严重低灌注组织和缺血核心,其灌注体积和所计算出错配体积和错配比与90 d预后显著相关,提出了新的CTP靶点不匹配^[38]。近期也有研究者认为使用单一 T_{max} 的阈值的灌注参数,并不能反映总体大脑低灌注区域内严重程度分布情况,相比于单阈值界定的缺血体积,基于低灌注严重程度加权的方法可能更能反映组织内部真实的灌注水平,Gwak等^[39]研究佐证了这一观点,并采用广义优势比检验方法证实由 T_{max} 延迟程度得到的 T_{max} 加权比可以预测轻微卒中患者的早期神经功能恶化。另一方面,先前研究证明HIR及CBV指数都与AIS患者侧支循环状态具有很好相关性,并且与其临床预后密切相关^[34,40],但近期也有研究表示相较于这两个指标, $CBF<38\%$ 更能评估AIS患者侧支循环状态和卒中预后^[41]。这也表明这些脑灌注参数并不是脑侧支范围的附带现象,而是缺血组织血管充盈延迟的补充标志,可以用来进行侧支循环评估。由此可见,由RAPID软件分析的灌注参数可以用于AIS患者预后评估,但仍有新的灌注参数值得我们去探索。

3 定量脑电图联合RAPID灌注参数在AIS取栓患者预后研究中的展望

Sharbrough等^[42]通过对颈动脉内膜切除术患者进行术中连续脑电图与间歇性区域脑血流监测,证实脑缺血变化存在明显阈值,当CBF下降至25~35 ml/(100 g·min)时,脑电背景逐渐趋于缓慢,伴随 θ 波出现,当 $CBF<17-18$ ml/(100 g·min),脑电图背景趋于更慢,此时可出现广泛的 δ 波,当CBF继续减少至10~12 ml/(100 g·min)时,背景演变为电静息,这明确CBF发生变化时,皮质神经元的代谢和电活动即刻受到影响并伴有对应的脑电演变^[14,15,43]。Straga-

pede等^[43]纳入了15例缺血性卒中患者,在发病4.5 h内同时进行了CTP和脑电图检查,并计算每个频带功率值,最后将所计算的QEEG值与CTP图估计的低灌注区域进行比较,结果表明脑电图上的慢波节律半球分布与CTP识别的大脑低灌注区之间是一致的,这也证实脑电图可以作为床旁可持续的灌注评估手段来识别缺血区域和动态评估病情变化。回顾既往研究,经MT成功开通闭塞血管术后发生预后不良的比例较大,多项动物实验表明可能与组织无复流、侧支循环不良、早期再闭塞、术后出血转化、血流自动调节受损等生理机制受损有关^[44],而依据这种无效结局的病理机制、影响因素及预测指标进行取栓患者的关键靶向治疗及全程干预已经得到临床广泛认可。并且现阶段绝大部分取栓患者术后皆入住监护病房,甚至初期因病情需要或者费用问题无法外出再次完善相关检查评估病情变化。基于头部CTP的RAPID软件和脑电图作为一种高度可用技术,便捷且不受人为干扰,可以为脑灌注和电生理活动的功能状态提供直观有效的信息。这也提示我们可以尝试利用已有术前灌注分析结果来评估患者发生无效结局概率,同时采用术后床旁脑电监测方式系统全面评估脑功能变化情况来进一步优化取栓治疗策略以减少血管内治疗预后不良的发生率。查阅文献,既往大多研究采用单一方法观察脑血流与皮质功能改变,联合两者共同来评估取栓患者病情变化及临床预后还很罕见,而Hendrikx等^[45]提出功能性磁共振成像或功能性近红外光谱与脑电图的结合方式可以作为脑血流灌注与神经活动相结合的新耦合方式。

RAPID分析软件能够直观快速、全自动化定量分析脑血流灌注情况,且避免人为干预,而QEEG能及时反映大脑神经元震荡活动及皮质代谢情况,这种术前与术后相结合方式来整合分析AIS取栓患者缺血区域血流灌注及电活动变化情况并为早期预测预后提供依据,在未来值得更多尝试。

利益冲突声明:所有作者均申明不存在利益冲突。

作者贡献声明:陈胜利、刘小芳负责拟定论文写作思路、论文设计;刘小芳负责文献收集、撰写论文;陈胜利负责论文修改并最后定稿。

[参考文献]

- [1] 2019 Stroke Collaborators GBD. Global, regional, and national burden of stroke and its risk factors, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019 [J]. *Lancet Neurol*, 2021, 20(10): 795-820.
- [2] 王拥军,李子孝,谷鸿秋,等. 中国卒中报告2020(中文版)(3)[J]. *中国卒中杂志*, 2022, 17(7): 675-682.
- [3] Berkhemer OA, Fransen PSS, Beumer D, et al. A randomized trial of intraarterial treatment for acute ischemic stroke [J]. *N Engl J Med*, 2015, 372(1): 11-20.
- [4] Goyal M, Demchuk AM, Menon BK, et al. Randomized assessment of rapid endovascular treatment of ischemic stroke [J]. *N Engl J Med*, 2015, 372(11): 1019-1030.
- [5] Jovin TG, Chamorro A, Cobo E, et al. Thrombectomy within 8 hours after symptom onset in ischemic stroke [J]. *N Engl J Med*, 2015, 372(24): 2296-2306.
- [6] Saver JL, Goyal M, Bonafe A, et al. Stent-retriever thrombectomy after intravenous t-PA vs. t-PA alone in stroke [J]. *N Engl J Med*, 2015, 372(24): 2285-2295.
- [7] Campbell BCV, Mitchell PJ, Kleinig TJ, et al. Endovascular therapy for ischemic stroke with perfusion-imaging selection [J]. *N Engl J Med*, 2015, 372(11): 1009-1018.
- [8] 中华医学会神经病学分会, 中华医学会神经病学分会脑血管病学组, 中华医学会神经病学分会神经血管介入协作组. 中国急性缺血性卒中早期血管内介入诊疗指南2022[J]. *中华神经科杂志*, 2022, 55(6): 565-580.
- [9] Wollenweber FA, Tiedt S, Alegiani A, et al. Functional outcome following stroke thrombectomy in clinical practice [J]. *Stroke*, 2019, 50(9): 2500-2506.
- [10] Kaesmacher J, Dobrocky T, Heldner MR, et al. Systematic review and meta-analysis on outcome differences among patients with TICI2b versus TICI3 reperfusion: Success revisited [J]. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 2018, 89(9): 910-917.
- [11] Nie X, Pu Y, Zhang Z, et al. Futile recanalization after endovascular therapy in acute ischemic stroke [J]. *Biomed Res Int*, 2018, 2018: 5879548.
- [12] 刘晓燕. 临床脑电图学[M]. 2版. 北京: 人民卫生出版社, 2017.
- [13] Hofmeijer J, van Putten MJAM. Ischemic cerebral damage: an appraisal of synaptic failure [J]. *Stroke*, 2012, 43(2): 607-615.
- [14] Foreman B, Claassen J. Quantitative EEG for the detection of brain ischemia [J]. *Crit Care*, 2012, 16(2): 216.
- [15] Freeman WJ, Zhai J. Simulated power spectral density (PSD) of background electrocorticogram (ECoG) [J]. *Cogn Neurodyn*, 2009, 3(1): 97-103.
- [16] Nuwer M. Assessment of digital EEG, quantitative EEG, and EEG brain mapping: report of the American Academy of Neurology and the American Clinical Neurophysiology Society [J]. *Neurology*, 1997, 49(1): 277-292.
- [17] Tolonen U, Sulg IA. Comparison of quantitative EEG parameters from four different analysis techniques in evaluation of relationships between EEG and CBF in brain infarction [J]. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 1981, 51(2): 177-185.
- [18] Sainio K, Stenberg D, Keskimäki I, et al. Visual and spectral EEG analysis in the evaluation of the outcome in patients with ischemic brain infarction [J]. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 1983, 56(2): 117-124.
- [19] Machado C, Cuspidada E, Valdés P, et al. Assessing acute middle cerebral artery ischemic stroke by quantitative electric to-

- mography[J]. *Clin EEG Neurosci*, 2004, 35(3): 116-124.
- [20] Shreve L, Kaur A, Vo C, et al. Electroencephalography measures are useful for identifying large acute ischemic stroke in the emergency department[J]. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 2019, 28(8): 2280-2286.
- [21] Finnigan SP, Walsh M, Rose SE, et al. Quantitative EEG indices of sub-acute ischaemic stroke correlate with clinical outcomes[J]. *Clin Neurophysiol*, 2007, 118(11): 2525-2532.
- [22] Sheorajpanday RVA, Nagels G, Weeren AJTM, et al. Quantitative EEG in ischemic stroke: Correlation with functional status after 6 months[J]. *Clin Neurophysiol*, 2011, 122(5): 874-883.
- [23] Bentes C, Peralta AR, Martins H, et al. Seizures, electroencephalographic abnormalities, and outcome of ischemic stroke patients[J]. *Epilepsia Open*, 2017, 2(4): 441-452.
- [24] Bentes C, Peralta AR, Viana P, et al. Quantitative EEG and functional outcome following acute ischemic stroke[J]. *Clin Neurophysiol*, 2018, 129(8): 1680-1687.
- [25] Tian J, Liu LD, Zhou Y, et al. The change index of quantitative electroencephalography for evaluating the prognosis of large hemispheric infarction[J]. *J Integr Neurosci*, 2021, 20(2): 341-347.
- [26] Huang H, Niu Z, Liu G, et al. Early consciousness disorder in acute large hemispheric infarction: an analysis based on quantitative EEG and brain network characteristics[J]. *Neurocrit Care*, 2020, 33(2): 376-388.
- [27] 王 敏. 定量脑电图对于急性缺血性脑卒中取栓后无效再通的预测-颞区 δ/α 功率比是无效再通的独立预测因子[D]. 南充: 川北医学院, 2022.
- [28] Demeestere J, Wouters A, Christensen S, et al. Review of perfusion imaging in acute ischemic stroke: from time to tissue[J]. *Stroke*, 2020, 51(3): 1017-1024.
- [29] Lansberg MG, Christensen S, Kemp S, et al. Computed tomographic perfusion to Predict Response to Recanalization in ischemic stroke[J]. *Ann Neurol*, 2017, 81(6): 849-856.
- [30] Nogueira RG, Jadhav AP, Haussen DC, et al. Thrombectomy 6 to 24 hours after stroke with a mismatch between deficit and infarct[J]. *N Engl J Med*, 2018, 378(1): 11-21.
- [31] Albers GW, Marks MP, Kemp S, et al. Thrombectomy for stroke at 6 to 16 hours with selection by perfusion imaging[J]. *N Engl J Med*, 2018, 378(8): 708-718.
- [32] Mlynash M, Lansberg MG, De Silva DA, et al. Refining the definition of the malignant profile[J]. *Stroke*, 2011, 42(5): 1270-1275.
- [33] Bang OY, Saver JL, Alger JR, et al. Determinants of the distribution and severity of hypoperfusion in patients with ischemic stroke[J]. *Neurology*, 2008, 71(22): 1804-1811.
- [34] Olivot JM, Mlynash M, Inoue M, et al. Hypoperfusion intensity ratio predicts infarct progression and functional outcome in the DEFUSE 2 Cohort[J]. *Stroke*, 2014, 45(4): 1018-1023.
- [35] Kim BK, Kim B, You SH. Clinical relevance of computed tomography perfusion-estimated infarct volume in acute ischemic stroke patients within the 6-h therapeutic time window[J]. *Cerebrovasc Dis*, 2022, 51(4): 438-446.
- [36] Otgonbaatar C, Lee JY, Jung KH, et al. Quantifying infarct core volume in ischemic stroke: What is the optimal threshold and parameters of computed tomography perfusion?[J]. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 2023, 32(6): 107062.
- [37] Sarraj A, Mlynash M, Heit J, et al. Clinical outcomes and identification of patients with persistent penumbral profiles beyond 24 hours from last known well: Analysis from DEFUSE 3[J]. *Stroke*, 2021, 52(3): 838-849.
- [38] Fainardi E, Busto G, Rosi A, et al. T_{max} volumes predict final infarct size and functional outcome in ischemic stroke patients receiving endovascular treatment[J]. *Ann Neurol*, 2022, 91(6): 878-888.
- [39] Gwak DS, Choi W, Kwon JA, et al. Perfusion profile evaluated by severity-weighted multiple Tmax strata predicts early neurological deterioration in minor stroke with large vessel occlusion[J]. *J Cereb Blood Flow Metab*, 2022, 42(2): 329-337.
- [40] Wang CM, Chang YM, Sung PS, et al. Hypoperfusion index ratio as a surrogate of collateral scoring on CT angiogram in large vessel stroke[J]. *J Clin Med*, 2021, 10(6): 1296.
- [41] Potreck A, Scheidecker E, Weyland CS, et al. RAPID CT perfusion-based relative CBF identifies good collateral status better than hypoperfusion intensity ratio, CBV-index, and time-to-maximum in anterior circulation stroke[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2022, 43(7): 960-965.
- [42] Sharbrough FW, Messick JM JR, Sundt TM JR. Correlation of continuous electroencephalograms with cerebral blood flow measurements during carotid endarterectomy[J]. *Stroke*, 1973, 4(4): 674-683.
- [43] Stragapede L, Furlanis G, Ajčević M, et al. Brain oscillatory activity and CT perfusion in hyper-acute ischemic stroke[J]. *J Clin Neurosci*, 2019, 69: 184-189.
- [44] Deng G, Chu YH, Xiao J, et al. Risk factors, pathophysiologic mechanisms, and potential treatment strategies of futile recanalization after endovascular therapy in acute ischemic stroke[J]. *Aging Dis*, 2023, 14(6): 2096-2112.
- [45] Hendrikx D, Smits A, Lavanga M, et al. Measurement of neurovascular coupling in neonates[J]. *Front Physiol*, 2019, 10: 65.

引证本文: 刘小芳, 陈胜利. 定量脑电图与RAPID灌注参数在急性缺血性卒中取栓预后不良的研究进展[J]. 中风与神经疾病杂志, 2025, 42(6): 563-567.