

定量脑电图在脑卒中患者预后评判中的研究进展

张瑞, 徐志伟, 庄丽娟, 吕中月, 谢国民

doi:10.3969/j.issn.1671-0800.2025.02.029

【中图分类号】 R743.3 【文献标志码】 C 【文章编号】 1671-0800(2025)02-0214-04

脑卒中是由脑部血管突然阻塞或破裂导致大脑供血中断的急性脑功能障碍,是致残的最主要原因之一,也是西方国家死亡的第二大因素^[1]。据统计,中国脑卒中年患病率为1 329.5/10万,发病率为442.1/10万,死亡率154.1/10万,病死率高达35.8%,且逐年上升,给家庭和社会带来沉重的负担^[2]。脑卒中可引发认知障碍、运动功能障碍等并发症,早期预后评估对于制定个性化治疗方案及提高患者生活质量至关重要。

临床常用格拉斯哥昏迷量表(GCS)、美国国立卫生研究院脑卒中量表(NIHSS)、改良 Barthel 指数(mBI)、简易智能状态检查(MMSE)、蒙特利尔认知评估量表(MoCA)等量表评估^[3-4],但这些方法存在主观性强、依赖患者配合、指标单一等局限性,亟需一种简便、客观、灵敏度高的评估工具。定量脑电图(quantitative electroencephalogram, qEEG)是通过计算机对传统脑电图信号进行数字化处理和分析,提取出各种定量指标的技术,具有无创、实时、灵敏度高的特点,适合床旁长时间监测,已有研究证实其参数可作为卒中预后的独立预测指标^[5-6]。本文综述qEEG在脑卒中预后预测及并发症评估中的应用进展,为临床工作者提供参考。

1 定量脑电图技术概述

qEEG是一种基于传统脑电图技术的高级分析方法。它通过计算机技术对脑电活动进行数字化采集、处理和分析,将脑电信号转换为可量化的数

据,从而更精确地反映大脑功能状态和神经活动的特征^[7]。qEEG参数常用包括功率谱分析、相干性分析及熵值分析等。功率谱分析可以反映不同频段脑电活动的强度,如 δ 、 θ 、 α 、 β 波的比例;相干性分析用于评估不同脑区之间的功能连接;熵值分析则可以量化脑电信号的复杂性^[8]。这些参数从不同角度反映了大脑的功能状态,为脑卒中预后评估提供了多维度的信息。

2 qEEG在脑卒中患者预后评估中的应用价值

2.1 脑功能预后评估 早期精准地预测患者预后情况并指导康复计划,对患者至关重要。近年研究证实,qEEG参数的异常变化与脑卒中不良预后存在显著关联,其预测效能已在多项临床研究中得到验证。前循环缺血性卒中患者在溶栓治疗前,超急性期的 δ/α 比率(DAR)水平与12个月时良好预后[改良 Rankin 量表评分(mRS)≤2分]独立相关^[9]。针对血管内治疗患者的研究表明,DAR与 $(\delta+\theta)/(\alpha+\beta)$ 比率(DTABR)升高,可预测出院时及12个月不良预后(mRS≥3分),此外,基于DTABR和相对 α 功率比构建的预后模型,在预测患者预后优于传统的阿尔伯特卒中项目早期CT(ASPECT)评分。然而,qEEG参数在不同研究中的表现也存在一定的差异。如在脑卒中急性期,配对脑对称性指数(pdBSI)的高度不对称与不良结局有关^[10];也有研究指出,急性脑卒中病变侧的pdBSI与卒中后6个月的mBI并无显著关联^[5],这表明,尽管qEEG参数在预测脑卒中预后方面展现出重要的价值,但在不同临床情境下的应用仍需进一步验证。

2.2 卒中后认知功能障碍评估(post-stroke cognitive impairment, PSCI) PSCI是卒中后6个月后持续存在的认知损害,影响患者的记忆、注意力、执行功

基金项目: 宁波市卫生健康青年技术骨干人才培养专项;宁波市重点研发专项(2023Z196)

作者单位: 315040 宁波,宁波市医疗中心李惠利医院(宁波大学附属李惠利医院)

通信作者: 徐志伟, Email: lhlxuzhiwei@nbu.edu.cn

能、语言和视觉空间能力,全球患病率为20%~80%,是神经系统康复的重要障碍^[11]。

近年来,qEEG参数作为预测PSCI的潜在生物标志物,为临床评估和治疗提供了新的视角和工具。Schleiger等^[12]研究发现,枕部电极的相对 θ 波功率是预测PSCI最准确的qEEG指标。Lee等^[13]利用脑电图特征进行病灶侧预测其准确率高达97.0%,特别是在左侧半球病变组中, θ 波网络属性与MoCA评分间存在显著相关性,表现为更高的全局效率、聚集系数及更低的特征路径长度与更高的MoCA评分相关联。Xu等^[14]研究发现轻、中度认知障碍组的 θ 波和 β 波在顶叶皮层表现出显著的相似较高功率谱密度趋势,轻度认知障碍组在左额叶皮层的 γ 波功率谱密度存在显著差异,而重度认知障碍组在顶叶皮层的 γ 波功率谱密度显著。综上所述,qEEG不仅能早期预测PSCI,还能有效区分中风患者不同程度的认知能力下降,有助于开发新的治疗方案。

2.3 卒中后意识障碍评估 (post-stroke disorder of consciousness, PS-DOC) PS-DOC是因卒中引发的持续性意识水平降低,包括植物状态(VS)/无反应觉醒综合征(UWS)和最小意识状态(MCS),对患者的日常生活质量和康复造成严重威胁,PS-DOC患者的DAR与意识水平呈现负相关^[15]。意识水平与大脑网络的同步性和连通性密切相关,其中 β 波频段的相位同步指数(PSI)与PS-DOC患者的意识水平呈显著正相关,特别是额叶(FP1、FP2通道)的PSI与意识水平的相关性最为显著,这强调了额叶在意识维持中的重要性^[16]。

脑电图微状态分析发现,PS-DOC患者表现出特征性模式改变:微状态B和C的持续时间和覆盖率显著增加,而微状态D减少,这种异常模式可能与前额叶皮层的高阶认知功能受损有关。国内学者发现PS-DOC组的微观状态Lempel-Ziv复杂度(LZC)较低,这可能反映了信息集成和分布式处理过程中复杂性的降低。值得注意的是,通过支持向量机(SVM)算法整合DAR、微状态时域特征和LZC值的多模态评估模型,展现出卓越的鉴别效能^[15]。Liu等^[17]研究发现,健康对照组的排列LZC(PLZC)及LZC值显著高于DOC患者,且MCS患者的PLZC值高于VS/UWS患者,展现出PLZC作为意识评估

无创生物标志物的潜力,为PS-DOC的临床评估与预后预测开辟了新路径。

2.4 卒中后癫痫发作评估 (post-stroke epilepsy, PSE) PSE是指在卒中事件后出现的癫痫发作,排除其他脑部或全身性疾病,国际抗癫痫联盟将其分为两种类型:早期发作(ES)和晚期发作(LSE),ES在卒中后一周内发生,此阶段患者脑内尚未形成稳定的癫痫网络,且具备自我修复能力,常被视为单纯癫痫发作症状。LSE是在卒中后一周后发生,在卒中后6~12个月发病率达到峰值,且复发率高达90%^[18]。脑电图是识别癫痫发作的有效生物标志物,但关于脑电图是否能预测PSE,研究结果存在矛盾。Bentes等^[18]发现卒中后早期脑电图不对称背景活动和发作间期癫痫样活动是PSE的独立预测因子,且与临床和基于影像学的梗死严重程度无关。而Ferreira-Atuesta等^[19]认为急性症状性癫痫发作与卒中中的严重程度、部位和病因更相关,与7d内的脑电结果无独立关联。因此,仍需进一步深入研究以明确脑电在预测PSE方面的作用。

2.5 卒中后抑郁评估 (post-stroke depression, PSD)

PSD是卒中后常见的神经精神并发症,约影响1/3的脑卒中幸存者,严重影响患者功能康复和生活质量^[20]。临床常用汉密尔顿抑郁量表、医院焦虑和抑郁量表筛查PSD患者,但主观性强、准确性不足。研究表明,低振幅 α 活动和持续慢 θ 活动可以作为PSD的独立预测因子^[21-22]。绝对 α 和 θ 功率能够有效区分PSD患者和卒中后非PSD患者,且绝对 $\alpha 1$ 功率与抑郁严重程度呈正相关^[22]。此外,PSD患者的大脑前额区域慢波活动增强与 α 节律的慢化在脑电图中具有特征性^[21]。Zhang等^[23]发现PSD患者的全脑神经复杂性和LZC值均显著低于非PSD患者和健康对照,尤其在额颞叶区域,且抑郁程度与全脑LZC值显著负相关,这可能反映了PSD患者大脑功能整合能力的下降。Livint等^[24]发现PSD患者的DTABR与抑郁症状之间存在显著关联。此外,在卒中早期和后期,不同的认知任务中DTABR与抑郁评分的关系也会发生变化,这可能与神经网络的重组有关。因此,qEEG作为PSD一种潜在的预测工具,未来应进一步探讨其应用,并优化其性能。

2.6 卒中后运动功能障碍评估 卒中后运动功能障

碍是卒中患者面临的主要挑战之一,超过80%的中风患者出现上肢功能受限、运动障碍和偏瘫等运动功能受损症状。临床常用Brunnstrom分期和Fugl-Meyer运动功能评分量表(FMA)评估患者的运动功能恢复状况,并据此制定个性化的康复计划。研究表明,FMA评分的变化与EEG信号的均值绝对值、平均 α 功率比($r=0.6、0.71$)之间存在显著的相关性,这表明脑电图可用于监测脑卒中后的运动康复^[25]。

qEEG参数可作为评估卒中康复程度的有效工具。研究发现,DAR和DTABR与mRS和NIHSS评分显著正相关,pdBSI与FMA评分呈负相关($n=20,r=-0.50,95\%CI:-0.86\sim-0.14$),而脑对称性指数(BSI)与FMA无显著相关性($n=21,r=-0.3,95\%CI:-0.81\sim0.22$)^[26]。Brito等^[27]发现卒中患者受影响半球的慢波活动(DTABR和TBR)增加,而快波活动相对减少,反映了中风后大脑功能的重组和恢复过程中的特定变化。qEEG参数(如 $\delta、\alpha_1、\alpha_2、DAR、DTABR、$ 近似熵、样本熵、LZC和零交叉复杂性)在Brunnstrom分期划分的轻、中、重三个组别中均有显著差异($P < 0.05$),这表明这些参数能够反映患者康复程度的不同,通过机器学习方法结合这些参数,卒中后康复评估的准确率可达85.3%,证明了qEEG参数在康复评估中的有效性和实用性^[28]。此外,脑机接口(BCI)是促进肢体功能恢复新兴的治疗手段^[29],Mane等^[30]研究发现,BSI是qEEG预测临床获益效果的最佳预后指标。qEEG在预测临床获益效果和优化治疗方案中具有潜力,未来的研究应更深入地探索其在个体化医疗中的应用,特别是在基于BCI的上肢卒中康复中,有望为该领域带来创新性的突破。

3 小结与展望

qEEG作为脑卒中领域中不可或缺的工具,在卒中的早期诊断、精确评估脑功能损伤及提供诊断信息等方面发挥着重要作用。尽管已有大量关于qEEG的研究,但在临床应用中并未得到广泛推广,这可能与设备硬件参数、分析方法和样本偏倚有关,qEEG参数的标准化和规范化仍需进一步完善,以提高不同研究结果的可比性。其次,qEEG数据分析方法有待创新,如结合机器学习算法,提高预后预测的准确性。此外,qEEG与其他神经影像技术的多模态融合

也是未来研究的重要方向,旨在全方位、多维度地优化脑卒中患者的临床诊断与预后评估。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

参 考 文 献

- [1] GBD 2016 STROKE COLLABORATORS. Global, regional, and national burden of stroke, 1990-2016: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016[J]. *Lancet Neurol*, 2019, 18(5): 439-458.
- [2] ZHAO Y, HUA X, REN X, et al. Increasing burden of stroke in China: A systematic review and meta-analysis of prevalence, incidence, mortality, and case fatality[J]. *Int J Stroke*, 2023, 18(3): 259-267.
- [3] KWAH L K, DIONG J. National institutes of health stroke scale (NIHSS)[J]. *J Physiother*, 2014, 60(1): 61.
- [4] NASREDDINE Z S, PHILLIPS N A, BEDIRIAN V, et al. The Montreal cognitive assessment, MoCA: A brief screening tool for mild cognitive impairment[J]. *J Am Geriatr Soc*, 2005, 53(4): 695-699.
- [5] LIUZZI P, GRIPPO A, SODERO A, et al. Quantitative EEG and prognosis for recovery in post-stroke patients: The effect of lesion laterality[J]. *Neurophysiol Clin*, 2024, 54(3): 102952.
- [6] BENTES C, PERALTA A R, VIANA P, et al. Quantitative EEG and functional outcome following acute ischemic stroke[J]. *Clin Neurophysiol*, 2018, 129(8): 1680-1687.
- [7] THAKORN V, TONG S. Advances in quantitative electroencephalogram analysis methods[J]. *Annu Rev Biomed Eng*, 2004, 6: 453-495.
- [8] VECIANA DE LAS HERAS M, SALA-PADRO J, PEDRO-PEREZ J, et al. Utility of quantitative EEG in neurological emergencies and ICU clinical practice[J]. *Brain Sci*, 2024, 14(9): 939.
- [9] AJČEVIĆ M, FURLANIS G, NACCARATO M, et al. Hyper-acute EEG alterations predict functional and morphological outcomes in thrombolysis-treated ischemic stroke: A wireless EEG study[J]. *Med Biol Eng Comput*, 2021, 59(1): 121-129.
- [10] SHEORAJPANDAY R V A, NAGELS G, WEEREN A J T M, et al. Quantitative EEG in ischemic stroke: Correlation with functional status after 6 months[J]. *Clin Neurophysiol*, 2011, 122(5): 874-883.
- [11] HUANG Y Y, CHEN S D, LENG X Y, et al. Post-stroke cognitive impairment: Epidemiology, risk factors, and management[J]. *J Alzheimers Dis*, 2022, 86(3): 983-999.
- [12] SCHLEIGER E, WONG A, READ S, et al. Poststroke QEEG informs early prognostication of cognitive impairment[J]. *Psychophysiology*, 2017, 54(2): 301-309.
- [13] LEE M, HONG Y, AN S, et al. Machine learning-based prediction of post-stroke cognitive status using electroencephalography-derived brain network attributes[J]. *Front Aging Neurosci*, 2023, 15: 1238274.
- [14] XU M, ZHANG Y, ZHANG Y, et al. EEG biomarkers analysis in different cognitive impairment after stroke: An exploration study[J]. *Front Neurol*, 2024, 15: 1358167.
- [15] YU F, GAO Y, LI F, et al. Resting-state EEG microstates as electrophysiological biomarkers in post-stroke disorder of consciousness[J]. *Front Neurosci*, 2023, 17: 1257511.
- [16] WANG F, ZHANG X Y, HU F Y, et al. Using phase synchrony

- index for improved assessment of consciousness in ischemic stroke patients[J]. IEEE Access, 2019, 7: 30252-30260.
- [17] LIU Y, ZENG W, PAN N, et al. EEG complexity correlates with residual consciousness level of disorders of consciousness[J]. BMC Neurol, 2023, 23(1): 140.
- [18] BENTES C, MARTINS H, PERALTA A R, et al. Early EEG predicts poststroke epilepsy[J]. Epilepsia Open, 2018, 3(2): 203-212.
- [19] FERREIRA-ATUESTA C, DÖHLER N, ERDELYI-CANAVESE B, et al. Seizures after ischemic stroke: A matched multicenter study[J]. Ann Neurol, 2021, 90(5): 808-820.
- [20] GUO J L, WANG J J, SUN W, et al. The advances of post-stroke depression: 2021 update[J]. J Neurol, 2022, 269(3): 1236-1249.
- [21] ZHENG Y P, WANG F X, ZHAO D Q, et al. Predictive power of abnormal electroencephalogram for post-cerebral infarction depression[J]. Neural Regen Res, 2018, 13(2): 304-308.
- [22] LI X, YUE L, LIU J, et al. Relationship between abnormalities in resting-state quantitative electroencephalogram patterns and poststroke depression[J]. J Clin Neurophysiol, 2021, 38(1): 56-61.
- [23] ZHANG Y, WANG C F, SUN C C, et al. Neural complexity in patients with poststroke depression: A resting EEG study[J]. J Affect Disord, 2015, 188: 310-318.
- [24] LIVINȚ POPA L, CHIRA D, DĂBALĂ V, et al. Quantitative EEG as a biomarker in evaluating post-stroke depression[J]. Diagnostics (Basel), 2022, 13(1): 49.
- [25] SINGH S, PRADHAN A, BAKSHI K, et al. Monitoring post-stroke motor rehabilitation using EEG analysis[M]//Intelligent Human Computer Interaction. Cham: Springer International Publishing, 2020: 13-22.
- [26] SOOD I, INJETY R, FARHEEN A, et al. B.4 Quantitative electroencephalography to predict post-stroke disability: A systematic review and meta-analysis[J]. Can J Neurol Sci, 2023, 50(s2): S51.
- [27] BRITOR, BALTARA, BERENGUER-ROCHAM, et al. Intrahemispheric EEG: A new perspective for quantitative EEG assessment in poststroke individuals[J]. Neural Plast, 2021, 2021: 5664647.
- [28] HU Y X, WANG Y F, ZHANG R, et al. Assessing stroke rehabilitation degree based on quantitative EEG index and nonlinear parameters[J]. Cogn Neurodyn, 2023, 17(3): 661-669.
- [29] AL-QAZZAZ N K, ALDOORIA A, ALI S H B M, et al. EEG signal complexity measurements to enhance BCI-based stroke patients' rehabilitation[J]. Sensors (Basel), 2023, 23(8): 3889.
- [30] MANE R, CHEW E, PHUA K S, et al. Prognostic and monitory EEG-biomarkers for BCI upper-limb stroke rehabilitation[J]. IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng, 2023, 27(8): 1654-1664.

收稿日期:2024-08-02

(本文编辑:方能)

新生儿 PNAC 的影响因素及预测指标研究进展

杨海银, 李艳红, 蒋海燕, 吕勤

doi:10.3969/j.issn.1671-0800.2025.02.030

【中图分类号】 R722 【文献标志码】 C 【文章编号】 1671-0800(2025)02-0217-04

近年来由于新生儿综合救治技术提高, 新生儿尤其早产儿存活率明显上升。当患儿因各种原因(窒息、新生儿坏死性小肠结肠炎及新生儿败血症等)不能耐受经胃肠道内营养时, 需将各种人体所需的营养素由外周或中心静脉输入给患儿, 即胃肠外营养(parenteral nutrition, PN)。PN 技术的发展极大地提高了新生儿救治的成功率^[1], 但长期使用可导致一系列并发症。肠外营养相关性胆汁淤积症(par-enteral nutrition associated cholestasis, PNAC)是最

常见的并发症之一, 防治不及时可导致肝功能损害加重, 甚至进展至终末期肝病^[2]。而新生儿 PNAC 的病因尚不明确, 发病机制及分子基础未完全了解, 缺乏积极有效的治疗措施, 目前仍以预防为主。如何及早预防, 寻找早期预测 PNAC 的有效灵敏指标, 及时识别新生儿 PNAC 肝脏病变, 防止发展为不可逆的终末期肝衰竭成为临床新的挑战。本文就新生儿 PNAC 的相关影响因素、预测指标进行简要综述。

1 影响因素

1.1 禁食时间与 PN 持续时间

禁食时间、PN 持续时间与 PNAC 呈正相关。Franco 等^[3]发现新生儿 PNAC 发生发展与禁食时间、达到全肠道内喂养所

基金项目: 浙江省卫生健康科技计划项目(2021KY1049); 宁波市省市共建医学重点学科(2010-S04)

作者单位: 315012 宁波, 宁波大学附属妇女儿童医院

通信作者: 吕勤, Email: artose@sina.com