



电子、语音版

·综述·

定量脑电图在血管性认知障碍中的应用

顾羽萱¹, 赵明敏¹, 高紫谊¹, 张阳², 肖向建²

1. 河北北方学院研究生院, 河北 张家口 075000

2. 河北省人民医院神经内一科/河北省脑网络与认知损害疾病重点实验室, 河北 石家庄 050051

摘要: 血管性认知障碍 (vascular cognitive impairment, VCI) 是指由脑血管病危险因素引起, 包含从轻度认知障碍到痴呆的一大类综合征, 其临床表现形式多样, 早期具有隐匿性。临床广泛应用神经心理学量表 (如蒙特利尔认知评估量表、简易精神状态检查量表等) 作为评估 VCI 的证据, 但存在特异性及敏感性较低、主观性偏差等局限。定量脑电图 (quantitative electroencephalography, QEEG) 是近年来应用于临床的一种新技术, 以其无创、可量化、实时监控的特点被研究者所重视。越来越多的证据表明, QEEG 特异性量化指标对 VCI 的早期诊断有所帮助。目前, 常用的 QEEG 量化指标主要包括相对功率值、慢波化比率、成对衍生脑对称指数、EEG 相干系数、Lemple-Ziv 复杂度、P300 等。轻度认知障碍是 VCI 的早期阶段, 轻度认知障碍患者 QEEG 特异性改变主要以慢波功率和 θ 波与 β 波比值升高、P300 潜伏期延长及波幅减低等为主要特点。脑小血管病是 VCI 常见的亚型之一, 临床症状隐匿且进程缓慢, 常容易被患者及医务人员忽视。其相关电生理研究报道相对较少, 目前认为 EEG 背景变化的同时出现大量异常尖波可提示脑小血管病认知障碍加重。卒中后认知障碍是由卒中事件触发的 VCI。有研究发现, δ 波、 θ 波、 β 波、 δ 波与 α 波比值 R 和 δ 波与 θ 波比值均对识别卒中后认知障碍有一定的意义。此外, 应用 QEEG 技术还可准确地将 VCI 与其他认知障碍 (如路易体痴呆、阿尔茨海默病等) 进行鉴别, 也可用于药物或其他干预措施对 VCI 患者治疗前后的疗效评价。因此, QEEG 分析技术作为一种新的补充或替代性手段, 为追踪 VCI 的进展轨迹、鉴别各种认知障碍和协助制定治疗方案提供了全新的方向和思路。

[国际神经病学神经外科学杂志, 2023, 50(5): 84-88]

关键词: 脑小血管病; 血管性认知障碍; 脑电图; 定量脑电图

中图分类号: R743

DOI: 10.16636/j.cnki.jinn.1673-2642.2023.05.016

Application of quantitative electroencephalography in vascular cognitive impairment

GU Yuxuan¹, ZHAO Mingmin¹, GAO Ziyi¹, ZHANG Yang², XIAO Xiangjian²

1. Graduate School, Hebei North University, Zhangjiakou, Hebei 075000, China

2. First Department of Neurology, Hebei General Hospital / Hebei Key Laboratory of Brain Networks and Cognitive Impairment Diseases, Shijiazhuang, Hebei 050051, China

Corresponding author: XIAO Xiangjian, Email: xiaoxiangjian@aliyun.com

Abstract: Vascular cognitive impairment (VCI) refers to a broad category of syndromes caused by the risk factors for cerebrovascular diseases, ranging from mild cognitive impairment to dementia, and it has diverse clinical manifestations, often with occult early signs. Neurocognitive scales that are widely used in clinical practice, such as Montreal Cognitive Assessment and Mini-Mental State Examination, are used as the evidence for evaluating VCI; however, their application is limited due to low specificity, low sensitivity, and subjective bias. As a new technique used in clinical practice in recent years, quantitative electroencephalography (QEEG) has been taken seriously by researchers due to its features of noninvasiveness, quantifiability, and real-time monitoring. Currently, an increasing amount of evidence has shown that the

基金项目: 2023 年度河北省医学科学研究课题计划 (20230292)。

收稿日期: 2022-11-20; 修回日期: 2023-07-23

作者简介: 顾羽萱 (1998—), 女, 医学硕士, 主要从事脑血管病认知障碍的临床和基础研究。

通信作者: 肖向建 (1973—), 男, 主任医师, 研究生导师, 医学博士, 主要从事脑血管病认知障碍的临床和基础研究。Email: xiaoxiangjian@aliyun.com。

specific quantitative parameters of QEEG can help with the early diagnosis of VCI, and the commonly used parameters include relative power, slow wave ratio, paired derived brain symmetry index, EEG coherence, Lemple-Ziv complexity, and P300. Mild cognitive impairment (MCI) is the early stage of VCI, and the specific changes on QEEG for MCI patients mainly include increased slow wave power and θ waves and β waves ratio value, prolonged P300 latency, and reduced wave amplitude. Cerebral small vessel disease (CSVD) is one of the common subtypes of VCI and has occult clinical symptoms and slow progression, and thus it is often neglected by patients and medical staff. There are relatively few reports on related electrophysiological research, and it is currently believed that the simultaneous appearance of a large number of abnormal sharp waves and background changes on electroencephalography may indicate the exacerbation of cognitive impairment in CSVD. Post-stroke cognitive impairment (PSCI) refers to cognitive impairment triggered by stroke events, and studies have shown that δ waves, θ waves, β waves, δ waves and α waves ratio value, and δ waves and θ waves ratio value, all have a certain significance in identifying PSCI. Furthermore, the application of QEEG technique can accurately differentiate VCI from other cognitive impairment disorders, such as dementia with Lewy bodies and Alzheimer's disease, and it can also be used to evaluate the efficacy of drug or other intervention measures in VCI patients. Therefore, as a new supplementary or alternative method, QEEG technique provides new directions and ideas for tracking the progression of VCI, distinguishing various cognitive impairments, and assisting in the development of treatment plans.

[Journal of International Neurology and Neurosurgery, 2023, 50(5): 84–88]

Keywords: cerebral small vascular disease; vascular cognitive impairment; electroencephalography; quantitative electroencephalography

血管性认知障碍(vascular cognitive impairment, VCI)作为严重危害中老年人健康的一类常见疾病,其患病率、致残率及治疗费用均较高,在经济和心理上给患者家庭带来很大的压力与负担,成为困扰着我们这个时代的主要公共卫生难题之一^[1]。近年来,国内外在如何评估是否患有VCI方面基本保持一致,均认为神经心理学评估是整个评估步骤中不可或缺的部分,目前还尚无其他手段可以代替其量化认知、辅助定位定性的重要作用^[2-3]。然而,越来越多的研究表明,神经电生理检测方法,如定量脑电图(quantitative electroencephalogram, QEEG),在早期识别VCI中具有重要的作用,极有可能成为评估VCI的补充或替代性检查手段。本文就近年来脑电分析技术在VCI中的应用做一综述。

1 VCI的概念及诊断现状

VCI这一概念在1995年由Bowler等^[4]提出。在这之后,各国际研究小组一直致力于完善和统一其概念、分类及描述性术语,但至今仍缺乏一致性。2018年,由多位国际专家参与制定的血管损伤认知障碍分类研究共识中指出VCI实质上是一类由脑血管病变及其危险因素所致的临床卒中或亚临床血管性脑损伤,涵盖了从轻度认知障碍(mild cognitive impairment, MCI)到痴呆的不同严重程度认知障碍^[5]。

VCI分类方式多样,在临床实践中大多采用病程进行分类,即①轻度VCI;②重度VCI或血管性痴呆(vascular dementia, VaD),包括卒中后痴呆、皮质下缺血性VaD、多梗死性痴呆、混合型痴呆。Tham等^[6]通过1年的追踪研

究显示,约31%的轻度VCI症状可自行改善,11%则进展至更为严重的痴呆。因此,早期诊断和干预是降低痴呆风险的关键。

曾有研究表明,神经心理学评估结果是作为量化认知障碍疾病发展的最佳证据^[7]。但经过实践发现,综合性心理评估虽然评价全面,但耗时耗力,难以应用于大规模筛查。而精简后的筛查量表(如简易精神状态检查量表、蒙特利尔认知评估量表等)操作简便,但受试者的年龄、文化程度及依从性,以及测试者的主观偏差都会对最终评分造成影响。有人提出,VCI患者在出现临床症状之前就已发生脑血流量下降和脑细胞代谢减慢的病理改变,这种早期神经元活动无法用认知评估和结构成像技术捕获,但可以被电生理技术监测并记录^[8]。

2 QEEG的常用量化参数

QEEG是在常规脑电图(electroencephalogram, EEG)获得的电生理活动信息基础上,通过函数模型转化成各种衍生参数,更准确地反映大脑功能状态。目前常见应用于描述VCI的QEEG指标有:慢波、相对功率值、慢波化比率、成对衍生脑对称指数、EEG相干系数、Lemple-Ziv复杂度、P300等。下文将对这些指标进行详细描述。

2.1 慢波

QEEG根据脑电波幅和频率可分为 δ 波、 θ 波、 α 波、 β 波、 γ 波5个波段。以 α 波频率为界限,频率低于 α 波的脑电波称为慢波(包括 θ 和 δ 波)。异常的慢波活动往往提示相应部位存在脑器质性或功能性损伤。有报道称,较快频段(即 α 和 β 波)功率的普遍降低,以及慢波活动的增

加是 VaD 的特征改变^[9]。1 篇荟萃分析显示, VCI 患者 EEG 中多可见局灶导联持续存在的慢波活动, 且 VCI 疾病程度越严重, θ 和 δ 波段功率值增高越明显^[10]。

2.2 相对功率值

相对功率值是各脑区某一频段占各频段功率值总和的百分比, 其定量反映了各频带脑波的分布、比例以及波幅的变化情况。曾有学者利用 QEEG 功率谱分析发现, MCI 患者 QEEG 具有颞枕部导联 β 频段相对功率值下降、 θ 频段相对功率值升高的特征^[11]。2018 年, Al-Qazzaz 等^[12]对比了 20 例 VCI 患者和 15 例健康受试者在工作记忆任务期间的脑电图活动, 其中卒中相关 MCI 患者颞叶 δ/θ 波比值及颞叶 α/β 波比值与工作记忆能力呈显著负相关, 是较为敏感的电生理指标。

2.3 慢波化比率 and 成对衍生脑对称指数

慢波化比率是 QEEG 中 θ 波功率加 δ 波功率与 α 波功率加 β 波功率的比值, 即 $(\theta+\delta)/(\alpha+\beta)$ 。该比值越高, 代表脑电图中慢节律增多, 提示脑功能损害程度越高。成对衍生脑对称指数可反映左右大脑半球功率谱的差异, 是衡量平均脑电图脑对称性的指标。其值处于 0 到 1 之间, 比值增加, 则表示差异性增大^[13]。临床中常将这两项指标用于监测脑梗死患者预后时的脑血流变化和神经元活动^[14]。值得注意的是, 两者对于 VCI 的早期诊断也有着重要的价值。Sheorajpanday 等^[15]通过实验对比发现, 成对衍生脑对称指数和多项记忆测试存在相关的特性, 而功率谱比值与词语流畅性也有所相关, 所以可以作为独立预测因子对非痴呆性 VCI 进行诊断, 准确率高达 95%。

2.4 EEG 相干系数

EEG 相干性分析是对大脑 2 个区域之间的 EEG 信号进行傅里叶变换, 再将时域信号转为频域信号, 继而计算出相干系数。其可客观地反映不同脑结构位点间的功能联系性, 联络障碍越明显, 相干性就越低。VaD 患者左颞顶叶—枕叶区 α 波相干性较低^[16], 可能是视觉皮质之间的联系更易遭受血管损伤。EEG 相干性还可反映 MCI 向阿尔茨海默病 (Alzheimer's disease, AD) 的发展, 在 δ 和 θ 波段尤为明显。2 年内由 MCI 进展为 AD 的患者 QEEG 具有低频段相干性增加的趋势^[17], 这可能是由于海马萎缩的增加或皮质下胆碱能结构的退化导致的。

2.5 Lemple-Ziv 复杂度

Lemple-Ziv 复杂度属于脑电非线性分析技术, 是用来描述脑电活动在一维时间序列的随机程度。有研究证实, MMSE 评分与 Lemple-Ziv 复杂度值呈正相关, 即若认知功能存在障碍, 全脑复杂度可能会随之降低。有学者观察到, 正常老年人 Lemple-Ziv 复杂度最高, MCI 患者次之, AD 患者最低, 认为其机制可能是各个脑区间的联系减少^[18]。

2.6 P300

事件诱发电位 (event-related potentials, ERP) 是给予测试者特定刺激或任务 (如辨认目标、反应控制、注意转移等) 时产生的相关生物电活动变化。P300 是 ERP 的第 3 个正电压波, 在事件相关刺激后 300 ms 出现, 是 ERP 中应用于认知功能检查最广泛的一种神经电生理方法。

3 QEEG 在 VCI 中的临床应用

3.1 QEEG 在 MCI 中的临床应用

MCI 是痴呆前期的认知障碍状态, 也是 VCI 的早期阶段, 两者在临床上存在重叠和交叉。目前关于 MCI 研究中, 已证实多项 QEEG 量化指标的评估价值。例如, Meghdadi 等^[19]研究发现, MCI 患者中慢频波功率在颞区有小幅度的增加。此外, 还有学者通过对比受试者视觉运动方向辨别任务后 θ/β 比值来区分 MCI 患者与健康对照组, 即任务后 MCI 患者的颞叶 θ/β 比值右侧偏大, 而在健康对照组中则没有, 提示 MCI 患者右额叶衰退相对更早^[20]。一项针对 MCI 患者的干预研究发现, θ/β 比值的减小与执行功能和工作记忆领域的改善同时发生^[21], 进一步验证了 θ/β 比值与注意力控制之间存在关系^[22]。近期有学者提出, P300 潜伏期延长、振幅降低的特异性表现可以反映从正常认知到 MCI 再到痴呆的进展过程^[23], 且 P300 的潜伏期与认知加工和记忆的速度有关, 而 P300 的振幅与注意力、任务的相关性和刺激事件的新颖性有关^[24]。

有研究表明, QEEG 量化指标有助于鉴别 MCI 和其他痴呆症。Jiao 等^[25]纳入包括路易体痴呆、MCI、AD、VCI 在内的 890 名参与者, 发现 MCI、AD 与其他痴呆亚型在 178 个 EEG 特征上存在显著差异。这些特征主要包括枕区绝对 θ 功率谱密度、枕区相对 θ 功率谱密度和顶枕区 Hjorth 活性等等。

目前多项研究已推荐 QEEG 作为敏感神经电生理检查方法应用于 MCI 领域, 但上述研究均侧重于群体分析, 而不是在个体水平上评估疾病进展, 因此, 还需要进行更进一步的研究。

3.2 QEEG 在脑小血管病中的临床应用

脑小血管病 (cerebral small vessel disease, CSVD) 是老年认知障碍和痴呆的常见原因之一, 也是 VCI 最常见的亚型^[26]。临床上, CSVD 导致的一系列非特异性临床症状 (如偏瘫、步态异常、尿便障碍等) 中, 认知障碍最为隐匿。目前只有少数研究报道了 QEEG 与预测 CSVD 认知状态的关系。其中 Zhu 等^[27]的研究将视觉几何组模型与 QEEG 相结合, 使脑电图能够智能评估 CSVD 引起的认知障碍程度, 结果显示, 与非痴呆性 CSVD 患者组比较, 痴呆性 CSVD 组脑电图背景变化同时会出现诸如单侧或双侧额叶和/或颞叶局灶性以尖峰波为主的大量异常波。另外, 有关 QEEG 用于比较干预措施 (如多奈哌齐、针灸) 治

疗CSVD认知障碍前后的疗效变化也是人们目前热点研究方向之一。

3.3 QEEG在卒中后认知功能障碍中的临床应用

卒中后认知功能障碍(post stroke cognitive impairment, PSCI)尚未形成统一定义,一般是指在卒中后6个月仍存在的以认知障碍为特征临床综合征,是VCI的另一种亚型。Aminov等^[28]在24例缺血性脑卒中样本中,发现在卒中发作后约72 h评估的 δ/α 和 δ/θ 值与卒中后90 d评估的认知测量结果呈正相关。这与Schleiger等^[29]的研究结论一致,后者进一步提出额叶 α 波活动可能与卒中后注意能力有关联。除此之外,Hadiyoso等^[30]的研究还提出, β 波的活动强度与PSCI患者完成工作记忆任务的注意力程度也有密切联系。同时,脑部病变所致大脑相关区域之间整合及交互关系变化也可以被QEEG技术捕捉。Sarmukadam等^[31]在改变听觉反馈任务中,观察到与脑卒中和健康人群相比,脑卒中失语症患者左侧额中央电极的 δ 和 θ 波段以及中央-顶叶的低 β 波段的脑连通性降低。损伤图谱显示,角回区域的皮质损伤表现为说话时中央-顶叶低 β 波段连通性的下降,顶下小叶的损伤则体现为听力时左半球平均低 β 波段连通性的下降。

通过对PSCI功率谱变化特征的分析,可以发现QEEG多在前额区差异显著,这可能与额叶调控执行功能、情绪反应、语言流畅性等多种认知活动有关。且文献中 δ 、 θ 与 β 波功率变化多被提及,可作为未来探讨识别PSCI发展的重点电生理指标。同时,由于脑卒中患者常因如失用、偏瘫、嗜睡等症状而无法应用认知测试充分评估,所以QEEG作为客观检查优势更为明显。

4 问题与展望

综上所述,QEEG技术可应用于VCI早期识别、鉴别及疗效评价方面,是一项灵敏且客观的辅助手段。但其在VCI中的研究尚存在诸多问题:①各研究样本数量偏少,还不足以将研究结果推广到患者群体;②各研究之间存在一定差异,如随访时间不同、入组年龄限定不同、认知障碍严重程度不同等;③实验用脑电图仪器内置硬件参数及分析软件的差异。这些问题都需要进一步解决。

随着脑电技术的不断完善和发展,QEEG有望在未来通过确定病变严重程度的阈值将轻度VCI进一步细分或是扩大可鉴别的其他认知障碍疾病种类。因此,深入研究脑电分析技术,特别是将其与现有诊断手段(神经心理学量表、影像学技术等)结合起来,可为临床工作者提供更加完善的诊治标准,为VCI患者带来福音。

参 考 文 献

- [1] RUNDEK T, TOLEA M, ARIKO T, et al. Vascular cognitive impairment (VCI)[J]. Neurotherapeutics, 2022, 19(1): 68-88.
- [2] GODEFROY O, FICKL A, ROUSSEL M, et al. Is the Montreal Cognitive Assessment superior to the mini-mental state examination to detect poststroke cognitive impairment? A study with neuropsychological evaluation[J]. Stroke, 2011, 42(6): 1712-1716.
- [3] GODEFROY O, GRECOG-VASC study group, LECLERCQ C, et al. Neuropsychological assessment and cerebral vascular disease: the new standards[J]. Rev Neurol (Paris), 2013, 169(10): 779-785.
- [4] BOWLER JV, HACHINSKI V. Vascular cognitive impairment: a new approach to vascular dementia[J]. Baillieres Clin Neurol, 1995, 4(2): 357-376.
- [5] SKROBOT OA, BLACK SE, CHEN C, et al. Progress toward standardized diagnosis of vascular cognitive impairment: guidelines from the vascular impairment of cognition classification consensus study[J]. Alzheimers Dement, 2018, 14(3): 280-292.
- [6] THAM W, AUCHUS AP, THONG M, et al. Progression of cognitive impairment after stroke: one year results from a longitudinal study of Singaporean stroke patients[J]. J Neurol Sci, 2002, 203-204: 49-52.
- [7] JAK AJ, BONDI MW, DELANO-WOOD L, et al. Quantification of five neuropsychological approaches to defining mild cognitive impairment[J]. Am J Geriatr Psychiatry, 2009, 17(5): 368-375.
- [8] GIANNAKOPOULOS P, MISSONNIER P, GOLD G, et al. Electrophysiological markers of rapid cognitive decline in mild cognitive impairment[J]. Front Neurol Neurosci, 2009, 24: 39-46.
- [9] GIUSTINIANI A, DANESIN L, BOZZETTO B, et al. Functional changes in brain oscillations in dementia: a review[J]. Rev Neurosci, 2022, 34(1): 25-47.
- [10] TORRES - SIMÓN L, DOVAL S, NEBRED A, et al. Understanding brain function in vascular cognitive impairment and dementia with EEG and MEG: a systematic review[J]. Neuroimage Clin, 2022, 35: 103040.
- [11] JELIC V, JOHANSSON SE, ALMKVIST O, et al. Quantitative electroencephalography in mild cognitive impairment: longitudinal changes and possible prediction of Alzheimer's disease[J]. Neurobiol Aging, 2000, 21(4): 533-540.
- [12] AL-QAZAZ NK, SHBMALI, AHMAD SA, et al. Discrimination of stroke-related mild cognitive impairment and vascular dementia using EEG signal analysis[J]. Med Biol Eng Comput, 2018, 56(1): 137-157.
- [13] WILKINSON CM, BURRELL JI, KUZIEK JWP, et al. Predicting stroke severity with a 3-min recording from the muse portable EEG system for rapid diagnosis of stroke[J]. Sci Rep, 2020, 10(1): 18465.
- [14] DOERRFUSS JI, KILIC T, AHMADI M, et al. Quantitative and qualitative EEG as a prediction tool for outcome and complications in acute stroke patients[J]. Clin EEG Neurosci, 2020, 51(2): 121-129.
- [15] SHEORAJPANDAY RVA, MARIËN P, NAGELS G, et al.

- Subcortical vascular cognitive impairment, no dementia: EEG global power independently predicts vascular impairment and brain symmetry index reflects severity of cognitive decline[J]. *J Clin Neurophysiol*, 2014, 31(5): 422-428.
- [16] LIVINȚ POPA L, DRAGOȘ HM, STRILCIUC Ș, et al. Added value of QEEG for the differential diagnosis of common forms of dementia[J]. *Clin EEG Neurosci*, 2021, 52(3): 201-210.
- [17] MUSAEUS CS, NIELSEN MS, HØGH P. Altered low-frequency EEG connectivity in mild cognitive impairment as a sign of clinical progression[J]. *J Alzheimers Dis*, 2019, 68(3): 947-960.
- [18] FERNÁNDEZ A, HORNERO R, GÓMEZ C, et al. Complexity analysis of spontaneous brain activity in Alzheimer disease and mild cognitive impairment: an MEG study[J]. *Alzheimer Dis Assoc Disord*, 2010, 24(2): 182-189.
- [19] MEGHDADI AH, STEVANOVIĆ KARIĆ M, MCCONNELL M, et al. Resting state EEG biomarkers of cognitive decline associated with Alzheimer's disease and mild cognitive impairment[J]. *PLoS One*, 2021, 16(2): e0244180.
- [20] MARTIN T, KERO K, POŽAR R, et al. Mild cognitive impairment in African Americans is associated with differences in EEG theta/beta ratio[J]. *J Alzheimers Dis*, 2023, 94(1): 347-357.
- [21] THAPA N, PARK HJ, YANG JG, et al. The effect of a virtual reality-based intervention program on cognition in older adults with mild cognitive impairment: a randomized control trial[J]. *J Clin Med*, 2020, 9(5): 1283.
- [22] VAN SON D, DE BLASIO FM, FOGARTY JS, et al. Frontal EEG theta/beta ratio during mind wandering episodes[J]. *Biol Psychol*, 2019, 140: 19-27.
- [23] GANAPATHI AS, GLATT RM, BOOKHEIMER TH, et al. Differentiation of subjective cognitive decline, mild cognitive impairment, and dementia using qEEG/ERP-based cognitive testing and volumetric MRI in an outpatient specialty memory clinic[J]. *J Alzheimers Dis*, 2022, 90(4): 1761-1769.
- [24] ZHANG YQ, XU HM, ZHAO Y, et al. Application of the P300 potential in cognitive impairment assessments after transient ischemic attack or minor stroke[J]. *Neurol Res*, 2021, 43(4): 336-341.
- [25] JIAO B, LI RH, ZHOU H, et al. Neural biomarker diagnosis and prediction to mild cognitive impairment and Alzheimer's disease using EEG technology[J]. *Alzheimers Res Ther*, 2023, 15(1): 32.
- [26] GOUW AA, SEEWANN A, VAN DER FLIER WM, et al. Heterogeneity of small vessel disease: a systematic review of MRI and histopathology correlations[J]. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 2011, 82(2): 126-135.
- [27] ZHU HY, QIU JJ, SUN XY, et al. Intelligent algorithm-based quantitative electroencephalography in evaluating cerebral small vessel disease complicated by cognitive impairment[J]. *Comput Math Methods Med*, 2022, 2022: 9398551.
- [28] AMINOV A, ROGERS JM, JOHNSTONE SJ, et al. Acute single channel EEG predictors of cognitive function after stroke[J]. *PLoS One*, 2017, 12(10): e0185841.
- [29] SCHLEIGER E, SHEIKH N, ROWLAND T, et al. Frontal EEG delta/alpha ratio and screening for post-stroke cognitive deficits: the power of four electrodes[J]. *Int J Psychophysiol*, 2014, 94(1): 19-24.
- [30] HADIYOSO S, ZAKARIA H, ANAM ONG P, et al. Multi modal feature extraction for classification of vascular dementia in post-stroke patients based on EEG signal[J]. *Sensors (Basel)*, 2023, 23(4): 1900.
- [31] SARMUKADAM K, BEHROOZMAND R. Neural oscillations reveal disrupted functional connectivity associated with impaired speech auditory feedback control in post-stroke aphasia [J]. *Cortex*, 2023, 166: 258-274.

责任编辑:龚学民