

· 综述 ·

定量脑电图在脑血管病临床应用中的进展

吕英雷 杜录 申晓平 魏依兰 高星 窦志杰

067000 承德医学院附属医院神经内科

通信作者: 窦志杰, Email: douzj9812@sina.com

DOI: 10.3969/j.issn.1009-6574.2020.06.015

【摘要】 定量脑电图是近年临床中常用的无创实时脑功能监测手段。脑血管病后神经网络受损所致的神经电生理传导改变可通过皮层脑电图记录并总结出其规律性, 结合计算机技术给予定量处理, 可为卒中的发展、预后以及卒中后抑郁、卒中后认知功能障碍的评估方面提供客观依据。现从定量脑电图在卒中和卒中后相关疾病的特点及临床应用方面作一综述。

【关键词】 定量脑电图; 脑血管病; 卒中后抑郁; 卒中后认知功能障碍; 综述

Advances in the clinical application of quantitative electroencephalography in cerebrovascular diseases

Lyu Yinglei, Du Lu, Shen Xiaoping, Wei Yilan, Gao Xing, Dou Zhijie

Department of Neurology, Affiliated Hospital of Chengde Medical College, Chengde 067000, China

Corresponding author: Dou Zhijie, Email: douzj9812@sina.com

【Abstract】 Quantitative electroencephalography (QEEG) is a noninvasive real-time brain function monitoring method, which has been commonly used in clinical practice in recent years. The changes in neurophysiological conduction caused by damage to the neural network after cerebrovascular disease can be recorded by cortical electroencephalogram, then its regularity can be summarized. Combined with quantitative

- [35] Brzosko S, Szkolka T, Mysliwiec M. Kidney disease is a negative predictor of 30-day survival after acute ischaemic stroke[J]. Nephron Clin Pract, 2009, 112(2): c79-c85. DOI: 10.1159/000213085.
- [36] Stehouwer CD, Smulders YM. Microalbuminuria and risk for cardiovascular disease: Analysis of potential mechanisms[J]. J Am Soc Nephrol, 2006, 17(8): 2106-2111. DOI: 10.1681/asn.2005121288.
- [37] Huang M, Matsushita K, Sang Y, et al. Association of Kidney Function and Albuminuria With Prevalent and Incident Hypertension: The Atherosclerosis Risk in Communities (ARIC) Study[J]. Am J Kidney Dis, 2015, 65(1): 58-66. DOI: 10.1053/j.ajkd.2014.06.025.
- [38] Lim CC, Teo BW, Ong PG, et al. Chronic kidney disease, cardiovascular disease and mortality: A prospective cohort study in a multi-ethnic Asian population[J]. Eur J Prev Cardiol, 2015, 22(8): 1018-1026. DOI: 10.1177/2047487314536873.
- [39] Shuy M, Zwas DR, Lotan C, et al. Albuminuria: Associated with Heart Failure Severity and Impaired Clinical Outcomes[J]. Can J Cardiol, 2020, 36(4): 527-534. DOI: 10.1016/j.cjca.2019.09.001.
- [40] Cho BH, Kim JT, Chang J, et al. Prediction of hemorrhagic transformation in acute ischaemic stroke by micro- and macroalbuminuria after intravenous thrombolysis[J]. Eur J Neurol, 2013, 20(8): 1145-1152. DOI: 10.1111/ene.12127.
- [41] Kumai Y, Kamouchi M, Hata AJ, et al. Proteinuria and clinical outcomes after ischemic stroke[J]. Neurology, 2012, 78(24): 1909-1915. DOI: 10.1212/wnl.0b013e318259e110.
- [42] Norwood MG, Sayers RD. Urinary albumin:creatinine ratio (ACR) and the prediction of postoperative complications after abdominal aortic aneurysm repair[J]. Eur J Vasc Endovasc Surg, 2005, 30(4): 353-358. DOI: 10.1016/j.ejvs.2005.04.042.
- [43] Kozar RA, Peng Z, Zhang R, et al. Plasma restoration of endothelial glycocalyx in a rodent model of hemorrhagic shock[J]. Anesth Analg, 2011, 112(6): 1289-1295. DOI: 10.1213/ane.0b013e318210385c.
- [44] Guerrero-Romero F, Rodriguez-Moran M. Proteinuria is an independent risk factor for ischemic stroke in noninsulin-dependent diabetes mellitus[J]. Stroke, 1999, 30(9): 1787-1791. DOI: 10.1161/01.str.30.9.1787.
- [45] Dzedzic T, Slowik A, Szezdlik A. Urine albumin excretion in acute ischaemic stroke is related to serum interleukin-6[J]. Clin Chem Lab Med, 2004, 42(2): 182-185. DOI: 10.1515/cclm.2004.033.
- [46] Nakase T, Yamazaki T, Ogura N, et al. The impact of inflammation on the pathogenesis and prognosis of ischemic stroke[J]. J Neurol Sci, 2008, 271(1/2): 104-109. DOI: 10.1016/j.jns.2008.03.020.

(收稿日期: 2020-05-02)

(本文编辑: 戚红丹)

processing by computer, it can provide objective basis for the development and prognosis of stroke, as well as the evaluation of post-stroke depression and cognitive dysfunction. This article reviews the characteristics and clinical application of QEEG in stroke and post-stroke related diseases.

【Key words】 Quantitative electroencephalogram; Cerebrovascular disease; Post-stroke depression; Post-stroke cognitive impairment; Review

脑血管病仍是我国首位致死及致残病因^[1],故在脑血管病早期对其进展和预后的快速准确评估对于诊疗决策具有重要意义。定量脑电图(quantitative electroencephalogram, QEEG)通过更加优化的信号处理技术及计算机读图系统降低了传统脑电图人工读图的主观性,此外结合其无创性、实时性等特点奠定了它在各类疾病脑功能评估中的独特地位。其常用的定量分析方法包括时域分析、趋势特征、频域分析、时频分析。其中的时频分析如傅里叶变换、小波变换、S变换等^[2],由于可同时描述信号的瞬时频率及波幅变化,在QEEG中应用最为广泛。QEEG常用临床指标有各频带的绝对功率值、各频带之间的比值或者组合比值即相对功率比、相对 δ 波功率、脑对称指数(brain symmetry index, BSI)以及其优化后的配对BSI^[3]等。现就QEEG常用指标在缺血性脑血管病、出血性脑血管病、卒中后抑郁、卒中后认知功能障碍的临床应用方面作一综述。

一、QEEG在缺血性脑血管病的诊断、评估及预后的应用

QEEG在短暂性脑缺血发作(TIA)中的研究较少,Sheorajpanday等^[4]针对前循环TIA患者提出配对BSI >0.22 时,患者1周内发展成为脑梗死的敏感性为100%,特异性为78%;配对BSI >0.33 时患者1周内的死亡风险增加(敏感性为40%,特异性为100%);若慢波化指数 $[(\delta + \theta)/(\alpha + \beta)]$ 比值,DTABR <7 ,则患者很可能在短时间内完全恢复正常(敏感性为70%、特异性为88%)。目前尚未见到关于后循环TIA脑电图的相关研究。

QEEG在脑梗死中的研究多集中于重症脑梗死患者生存率及脑功能评估等方面。2004年由van Putten和Tavy^[5]在颈动脉剥脱术中进行脑电图实时监测时,发现QEEG指标BSI ≤ 0.03 时,TCD同时可探查到脑血流量的减低,证明BSI与脑血流量减低存在正相关性,奠定了BSI在脑梗死病情评估中的基础。但是由于当时并没有考虑BSI是否受到患者病前脑部创伤,如脑梗死病史、脑外伤病史的影响,导致试验数据基线不稳和对于急性脑梗死评估的敏感性下降。Sheorajpanday等^[6-7]对QEEG在脑

梗死患者中的系列研究得出以下结论:(1)配对BSI和DTABR联合应用对于脑梗死的预后有一定的预测价值;(2)配对BSI对于前循环脑梗死且美国国立卫生研究院卒中量表(NIHSS)评分为0分及1分的患者发生二次梗死、卒中早期神经功能恶化及死亡的预测率分别是80%、95%、97%;(3)对于腔隙性脑梗死及后循环脑梗死患者定量脑电图DTABR <1 时,患者可100%排除新发病灶,而DTABR >3.5 可100%检测到新梗死灶;(4)配对BSI比NIHSS评分能更准确地评估后循环脑梗死的严重程度;(5)卒中患者BSI与脑梗死面积呈正相关,与脑梗死次数无关,相关系数为0.54。这是目前为止QEEG在脑梗死患者中较为大型的系列研究,为QEEG在临床应用中的研究奠定了基础。但该研究中纳入患者的NIHSS评分最高15分,对于重症患者未予特殊分析,故上述结论存在一定的局限性。

上述BSI等脑电图指标对于脑梗死的评估作用多应用于科研中,而临床医生多关注其基础指标如 θ 节律、 α 节律、 δ 节律及其比值在脑梗死患者中的变化。2016年Finnigan等^[8]描记28名健康人及18例脑梗死患者脑电图分析了7个QEEG指标后,提出全头部的 δ/α 比值(DAR)是区分急性脑梗死和健康人的最优选,并且给出了界值3.7,但是关于该定量指标目前尚无进一步的验证。2017年我国学者王晓梅等^[9]纳入了65例发病2周内的脑梗死患者,完善2周内的脑电图,研究显示脑电图改良分级标准和QEEG的DAR均与随访6个月的改良Rankin评分(Modified Rankin Scale, mRS)呈正相关($r=0.874$ 、 0.796 , $P<0.01$),两者预测脑梗死预后的准确率分别为87.6%、92.3%,并且DAR与入院时NIHSS评分亦呈正相关($r=0.663$, $P<0.01$)。该研究结论更加肯定了脑电图及QEEG在脑梗死患者中的应用价值。2018年Bentes等^[10]的研究发现DTABR >2.4 能有效预测腔隙性脑梗死患者短期(发病7d)的预后, α 相对功率(ARP)可预测卒中后12个月内的预后,两者效果均优于Alberta卒中项目早期CT(ASPECT)评分等指标,是卒中预后的独立预测因子。同年在她的另一项的研究中还发现QEEG在预测脑梗死后

癫痫发作的证据,首次脑电图背景活动不对称和首次脑电图痫样活动是卒中后第一年癫痫发作的独立预测因素(均 $P < 0.05$);首次脑电图的周期性放电是癫痫样活动的独立预测因子($P=0.009$)^[11]。此外我国Jiang^[12]提出对于发病1~3 d的大面积脑梗死患者,脑电图Synek分级可评估患者脑损伤的严重程度并可一定程度上指导诊疗,发病4~7 d的Synek分级可较准确预测预后,为医疗长期决策提供参考。以上研究均表明QEEG在缺血性脑血管病的诊疗、预测及评估方面存在一定的应用价值,有望在急诊大型缺血性卒中的早期诊断,以及院前急救中对病情评估起到重要作用^[13]。

二、QEEG与出血性脑血管病

1. QEEG与脑出血:QEEG对于脑出血的研究较少,考虑与脑出血患者病情较重、死亡率较高有关,我国陈盈等^[14]针对53例急性重症幕下脑出血患者完善脑电图评估后提出DAR($OR=8.557$, $95\%CI=1.050 \sim 69.755$, $P=0.03$)是预测其90 d死亡的独立危险因素,并在74例急性严重幕上脑出血(severe acute supratentorial intracerebral hemorrhage, SAS-ICH)的研究中首创了TCD-QEEG联合模型,指TCD的半球搏动指数(unaffected hemispheres pulsatility index, UPI)和QEEG中DAR联合应用,故也称作UPI-DAR模型,提出UPI-DAR模型是SAS-ICH预后的独立预测因素(受试者工作特征曲线下面积是0.949),其预测急性重症幕上出血患者90 d死亡率的准确性优于格拉斯哥昏迷量表(GCS)评分、水肿体积及UPI、DAR的单独应用。仍需要大量临床大样本试验的验证,有望为临床决策提供有力支持。

2. QEEG与蛛网膜下腔出血:对于蛛网膜下腔出血(subarachnoid hemorrhage, SAH)的QEEG相关研究多集中于SAH后迟发性脑缺血(delayed cerebral ischemia, DCI)。约有30%的SAH患者在发病2周内检测到DCI,DCI是除再出血外导致SAH患者死亡增加的第二大危险因素^[15]。2018年法国学者Balança等^[16]首次提出了应用QEEG技术预测SAH后DCI,提出与出血部位对应的相关脑电图导联AT/D($\alpha - \theta / \delta$)电压较基线下降30%,并且持续3.7 h,对于SAH后DCI的诊断敏感性为100%,特异性为88.9%。其结果提示AT/D的持续降低是DCI的可靠预测指标,但该研究仅纳入了15例,平均监测时间6.4 d,尚需大样本临床数据支持该结论。除了AT/D在DCI预测的研究外,国外还有Claassen等^[17]、

Gollwitzer等^[18]、Wickering等^[19]、Rosenthal等^[20]、Rots等^[21]对于ADR在aSAH后DCI预测是否有效方面也做了大量研究,但是这些研究结果并未统一,部分研究结果背道而驰,2019年Yu等^[22]将上述相关试验结论通过Meta分析得出,ADR指标的恶化是预测DCI发生的可靠指标,但并未进一步分析上述结论矛盾性的可能原因,后续仍需进一步从QEEG基本原理方面给予理论支持。

关于QEEG在出血性脑血管病中的研究尚需更多的专家、学者以及大量的基础实验数据为根基,完成更加深入的研究,以期QEEG可为出血性脑血管病的相关诊疗给予临床指导。

三、QEEG在卒中后抑郁中的临床应用

脑卒中后抑郁(post stroke depression, PSD)是指有明确脑卒中临床事件引起的抑郁症状,常表现为对各种事物兴趣减低,尤其是之前感兴趣的事物,食欲不振,自我评价低,甚至自残、自杀等行为,是脑卒中后常见的情绪障碍。PSD的临床机制尚未明确,目前讨论较多的为神经解剖学说、神经生化递质学说、神经基因遗传学说等^[23]。关于诊断,除了临床症状之外,多参考精神心理评估量表,如贝克抑郁量表(Beck Depression Inventory, BDI)、汉密尔顿抑郁量表(HAMD)等。QEEG在PSD的研究是近年的研究热点,主要集中于额叶 α 波的不对称性与卒中后抑郁的诊断是否存在临床意义。2017年Van Der Vinne等^[24]对包括Gollan等^[25]、Kaiser等^[26]、Arns等^[27]的16项研究做了Meta分析,结果显示额叶 α 波的不对称性与抑郁并无明显相关性。2018年Kaiser等^[26]对平均年龄在80岁的PSD人群完善脑电图描记,得出顶叶 $\alpha 3$ 节律与卒中后抑郁呈明显负相关,但该研究尚不足以代表全部年龄段PSD患者。国内相关研究中,Zheng等^[28]探讨了321例PSD患者的脑电图,分析得出全脑低波幅慢 α 活动以及慢 θ 活动是PSD的脑电图标志。而Wang等^[29]的研究结果却显示右侧颞叶的 β_2 以及 θ 节律的减慢是PSD的脑电图标志物。两者结论的不一致性,考虑与试验中脑电图数据未进一步与脑梗死部位、年龄等匹配所致,两者试验均可进一步细化分析,如影像学梗死部位与对应部位脑电图导联的定量分析,从而明确脑电图相关参数与PSD相关性。

四、QEEG在卒中后认知功能障碍中的应用

卒中后认知功能障碍(post stroke cognitive impairment, PSCI)是指卒中后6个月内出现的达到认知功能障碍诊断标准的一系列综合征,强调了

认知障碍与卒中的相关性,除了卒中直接引起的认知功能障碍,还包括脑退化性病变在卒中后6个月内进展成的认知功能障碍。我国PSCI的发病率为80.97%^[30],但尚未受到足够的重视,主要是由于诊断方面尚无相对客观辅助检查指标,多依赖主观性较大的临床症状和精神心理评估量表。针对PSCI的评估,我国学者王琰萍等^[31]及刘俊等^[32]分别记录了110例脑梗死患者及170例脑出血患者的QEEG数据,结果均为K-均值聚类法计算出的 β 相对功率与蒙特利尔认知评估量表(MoCA)存在较高的一致性,Kappa值分别为0.851和0.913。此外还有Zhang等^[33]的研究与上述研究结果一致,提示QEEG在PSCI评估方面有重要作用,但卒中后患者认知功能是一个动态变化的过程,尚需进一步统一QEEG的评估时间等。上述关于PSCI的研究多集中在 β 功率上,还有部分学者对于QEEG的其他指标在PSCI中的诊断及预测方面做了相关研究,如我国学者宋杨等^[34]对95例PSCI患者作了相关研究,提出脑电图的背景节律(α 节律)及 θ 波的增多在PSCI的预测中有重要价值,并进一步研究了相关机制,提出背景节律的改变与皮层或皮层下梗死有关,而 θ 节律的增多是由于背景节律减慢后部分 α 波被“挤出”到了 θ 波频段的理论假说;国外Schleiger等^[35]、Schleiger等^[36]学者先后分析了20例和35例大脑中动脉供血区梗死患者的QEEG数据,分别得出额叶DAR的增高与卒中后105 d的认知功能有明显相关性和后头部相对 θ 频率的增多与卒中后99 d的MoCA评分呈明显负相关的结论。关于上述两种不同结论Schleiger本人并未作出相应的解释,我们考虑与其早期研究未统一脑电图评估时间以及两项研究随访时间不同等因素有关,尚需大样本试验佐证上述结论。2017年Aminov等^[37]在24例首次卒中(包括出血性及缺血性卒中)患者中完善了72 h内的QEEG单导联(FP1)监测及90 d MOCA量表评估,提出DAR可预测PSCI的严重程度,而DTR可预测90 d后的认知功能。该结论与Schleiger的研究均体现了DAR在PSCI中的预测价值,而DTR增高和单独 θ 频率增多对于PSCI的预测是否存在一致性仍需进一步的研究,此外单一导联脑电图数据评估认知功能的可靠性仍值得进一步商榷。总体来说目前国内对于PSCI的研究尚处在起步阶段,QEEG在PSCI的诊断及预测中是否可以给予更加客观公正且有充足理论支持的证据,仍需要更多大样本多中心数据及技术支持。

五、总结与展望

QEEG作为脑功能评估的一个简单、客观、无创的电生理指标,在脑血管疾病的预后评估和预测中有其他辅助检查无法替代的时限性及空间性,可为疾病的诊疗及临床决策提供参考。虽然现有的QEEG结论及技术多应用于科研,尚无统一的指标应用于临床,但作为一个集生物信息工程、计算机技术等多种科学为一体的产物,脑电图随着人工智能及脑机接口等技术的不断发展将能更好地服务于临床。进一步开展多中心、多领域的合作研究脑电图技术在脑血管病中的应用具有重要意义。

利益冲突 文章所有作者共同认可文章无相关利益冲突

作者贡献声明 检索文献为吕英雷、杜录、申晓平、魏依兰、高星,论文撰写为吕英雷,论文修改、审校为窦志杰

参 考 文 献

- [1] 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.中国脑血管病一级预防指南2019[J].中华神经科杂志,2019,52(9):684-709. DOI: 10.3760/ema.j.issn.1006-7876.2019.09.002.
- [2] Garcia-Losarcos N, Vuppala A, Loparo K. Continuous EEG Monitoring and Quantitative EEG Techniques[M]//Neurocritical Care Informatics. Heidelberg: Springer, 2020: 79-109.
- [3] Jeong EH. Basics of Electroencephalography for Neuropsychiatrist[J]. Journal of Korean Neuropsychiatric Association, 2019, 2: 76-104. DOI: 10.43 06/jknpa.2019.58.2.76.
- [4] Sheorajpanday RV, Nagels G, Weeren AJ, et al. Additional value of quantitative EEG in acute anterior circulation syndrome of presumed ischemic origin[J]. Clin Neurophysiol, 2010, 121(10): 1719-1725. DOI: 10.1016/j.clinph.2009.10.037.
- [5] van Putten MJ, Tavy DL. Continuous quantitative EEG monitoring in hemispheric stroke patients using the brain symmetry index[J]. Stroke, 2004, 35(11): 2489-2492. DOI: 10.1161/01.STR.0000144649.49861.1d.
- [6] Sheorajpanday RV, Nagels G, Weeren AJ, et al. Quantitative EEG in ischemic stroke: correlation with infarct volume and functional status in posterior circulation and lacunar syndromes[J]. Clin Neurophysiol, 2011, 122(5): 884-890. DOI: 10.1016/j.clinph.2010.08.020.
- [7] Sheorajpanday RV, Nagels G, Weeren AJ, et al. Additional value of quantitative EEG in acute anterior circulation syndrome of presumed ischemic origin[J]. Clin Neurophysiol, 2010, 121(10): 1719-1725. DOI: 10.1016/j.clinph.2009.10.037.
- [8] Finnigan S, Wong A, Read S. Defining abnormal slow EEG activity in acute ischaemic stroke: Delta/alpha ratio as an optimal QEEG index[J]. Clin Neurophysiol, 2016, 127(2): 1452-1459. DOI: 10.1016/j.clinph.2015.07.014.
- [9] 王晓梅,黄光,徐斌,等.定量脑电图对急性脑卒中患者的神经功能预后研究[J].海南医学,2017,28(16):2628-2630. DOI: 10.3969/j.issn.1003-6350.2017.16.015.
Wang XM, Huang G, Xu B, et al. Neurological function prognosis of quantitative EEG in acute ischemic stroke[J]. Hainan Medical Journal, 2017, 28(16): 2628-2630.

- [10] 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. DOI: 10.1016/j.clinph.2018.05.021.
- [11] Bentes C, Martins H, Peralta AR, et al. Early EEG predicts poststroke epilepsy [J]. *Epilepsia Open*, 2018, 3(2): 203-212. DOI: 10.1002/epi4.12103.
- [12] Jiang M, Su Y, Liu G, et al. Predicting the non-survival outcome of large hemispheric infarction patients via quantitative electroencephalography: Superiority to visual electroencephalography and the Glasgow Coma Scale [J]. *Neurosci Lett*, 2019, 706: 88-92. DOI: 10.1016/j.neulet.2019.05.007.
- [13] 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. DOI: 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2019.05.019.
- [14] Chen Y, Xu W, Wang L, et al. Transcranial Doppler combined with quantitative EEG brain function monitoring and outcome prediction in patients with severe acute intracerebral hemorrhage [J]. *Crit Care*, 2018, 22(1): 36. DOI: 10.1186/s13054-018-1951-y.
- [15] Yang X, Peng J, Pang J, et al. The Association Between Serum Macrophage Migration Inhibitory Factor and Delayed Cerebral Ischemia After Aneurysmal Subarachnoid Hemorrhage [J]. *Neurotox Res*, 2020, 37(2): 397-405. DOI: 10.1007/s12640-019-00072-4.
- [16] Balança B, Dailler F, Boulogne S, et al. Diagnostic accuracy of quantitative EEG to detect delayed cerebral ischemia after subarachnoid hemorrhage: A preliminary study [J]. *Clin Neurophysiol*, 2018, 129(9): 1926-1936. DOI: 10.1016/j.clinph.2018.06.013.
- [17] Claassen J, Hirsh LJ, Kreiter KT, et al. Quantitative continuous EEG for detecting delayed cerebral ischemia in patients with poor-grade subarachnoid hemorrhage [J]. *Clin Neurophysiol*, 2004, 115(12): 2699-2710. DOI: 10.1016/j.clinph.2004.06.017.
- [18] Gollwitzer S, Groemer T, Rampp S, et al. Early prediction of delayed cerebral ischemia in subarachnoid hemorrhage based on quantitative EEG: A prospective study in adults [J]. *Clin Neurophysiol*, 2015, 126(8): 1514-1523. DOI: 10.1016/j.clinph.2014.10.215.
- [19] Wickering E, Gaspard N, Zafar S, et al. Automation of Classical QEEG Trending Methods for Early Detection of Delayed Cerebral Ischemia: More Work to Do [J]. *J Clin Neurophysiol*, 2016, 33(3): 227-234. DOI: 10.1097/WNP.0000000000000278.
- [20] Rosenthal ES, Biswal S, Zafar SF, et al. Continuous electroencephalography predicts delayed cerebral ischemia after subarachnoid hemorrhage: A prospective study of diagnostic accuracy [J]. *Ann Neurol*, 2018, 83(5): 958-969. DOI: 10.1002/ana.25232.
- [21] Rots ML, van Putten MJ, Hoedemaekers CW, et al. Continuous EEG Monitoring for Early Detection of Delayed Cerebral Ischemia in Subarachnoid Hemorrhage: A Pilot Study [J]. *Neurocrit Care*, 2016, 24(2): 207-216. DOI: 10.1007/s12028-015-0205-y.
- [22] Yu Z, Wen D, Zheng J, et al. Predictive Accuracy of Alpha-Delta Ratio on Quantitative Electroencephalography for Delayed Cerebral Ischemia in Patients with Aneurysmal Subarachnoid Hemorrhage: Meta-Analysis [J]. *World Neurosurg*, 2019, 126: e510-e516. DOI: 10.1016/j.wneu.2019.02.082.
- [23] 王少石, 周新雨, 朱春燕. 卒中后抑郁临床实践的中国专家共识 [J]. *中国卒中杂志*, 2016, 11(8): 685-693. DOI: 10.3969/j.issn.1673-5765.2016.08.015.
- [24] van der Vinne N, Vollebregt MA, van Putten MJAM, et al. Frontal alpha asymmetry as a diagnostic marker in depression: Fact or fiction? A meta-analysis [J]. *Neuroimage Clin*, 2017, 16: 79-87. DOI: 10.1016/j.nicl.2017.07.006.
- [25] Gollan JK, Hoxha D, Chihade D, et al. Frontal alpha EEG asymmetry before and after behavioral activation treatment for depression [J]. *Biol Psychol*, 2014, 99: 198-208. DOI: 10.1016/j.biopsycho.2014.03.003.
- [26] Kaiser AK, Doppelmayr M, Iglseder B. Electroencephalogram alpha asymmetry in geriatric depression: Valid or vanished [J]. *Z Gerontol Geriatr*, 2018, 51(2): 200-205. DOI: 10.1007/s00391-016-1108-z.
- [27] Arns M, Bruder G, Hegerl U, et al. EEG alpha asymmetry as a gender-specific predictor of outcome to acute treatment with different antidepressant medications in the randomized iSPOT-D study [J]. *Clin Neurophysiol*, 2016, 127(1): 509-519. DOI: 10.1016/j.clinph.2015.05.032.
- [28] Zheng YP, Wang FX, Zhao DQ, et al. Predictive power of abnormal electroencephalogram for post-cerebral infarction depression [J]. *Neural Regen Res*, 2018, 13(2): 304-308. DOI: 10.4103/1673-5374.213555.
- [29] Wang C, Chen Y, Sun C, et al. Electrophysiological changes in poststroke subjects with depressed mood: A quantitative EEG study [J]. *Int J Geriatr Psychiatry*, 2018, 33(7): 934-940. DOI: 10.1002/gps.4874.
- [30] Qu Y, Zhuo L, Li N, et al. Prevalence of post-stroke cognitive impairment in china: a community-based, cross-sectional study [J]. *PLoS One*, 2015, 10(4): e0122864. DOI: 10.1371/journal.pone.0122864.
- [31] Wang Y, Zhang X, Huang J, et al. Associations between EEG beta power abnormality and diagnosis in cognitive impairment post cerebral infarcts [J]. *J Mol Neurosci*, 2013, 49(3): 632-638. DOI: 10.1007/s12031-012-9918-y.
- [32] Liu J, Lai T, Mu KJ, et al. Electroencephalogram beta power assay: a promising diagnosis tool of cognitive impairment in early time after cerebral hemorrhage [J]. *Neurol India*, 2013, 61(5): 472-477. DOI: 10.4103/0028-3886.121911.
- [33] Zhang LT, Zhang SX, Wu SD. Electroencephalogram analysis: an early diagnostic method for assessing cognitive impairment after cerebral hemorrhage [J]. *Clin EEG Neurosci*, 2014, 45(2): 92-97. DOI: 10.1177/1550059413488107.
- [34] Song Y, Zang DW, Jin YY, et al. Background rhythm frequency and theta power of quantitative EEG analysis: predictive biomarkers for cognitive impairment post-cerebral infarcts [J]. *Clin EEG Neurosci*, 2015, 46(2): 142-146. DOI: 10.1177/1550059413517492.
- [35] Schlegler 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. DOI: 10.1016/j.ijpsycho.2014.06.012.
- [36] Schlegler E, Wong A, Read S, et al. Poststroke QEEG informs early prognostication of cognitive impairment [J]. *Psychophysiology*, 2017, 54(2): 301-309. DOI: 10.1111/psyp.12785.
- [37] 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. DOI: 10.1371/journal.pone.0185841.

(收稿日期: 2020-04-12)

(本文编辑: 戚红丹)