

· 影像与诊断 ·

定量脑电图联合经颅多普勒超声对动脉瘤蛛网膜下腔出血后迟发性脑缺血的预测价值研究

扫描二维码
查看原文齐丽霞¹, 李自如¹, 姚远^{1, 2}, 朱润秀¹

【摘要】 目的 探讨定量脑电图(QEEG)联合经颅多普勒超声(TCD)对动脉瘤蛛网膜下腔出血(aSAH)后迟发性脑缺血(DCI)的诊断价值。**方法** 选取2019年12月至2021年1月内蒙古自治区人民医院神经内科和神经外科收治的aSAH患者54例。以发病后14 d或出现DCI为观察终点,将患者分为DCI组16例和非DCI组38例。比较两组患者基线资料及入院后24 h内QEEG、TCD检查结果。aSAH患者发生DCI的影响因素分析采用多因素Logistic回归分析;并进一步绘制ROC曲线以评估 α/δ 比值(ADR)、大脑中动脉平均血流速度(V_m)及其联合对aSAH患者发生DCI的预测价值。**结果** 两组患者改良Fisher分级、相对 δ 功率(RDP)、相对 α 功率(RAP)、ADR、相对 α 变异及大脑中动脉收缩期血流速度(V_s)、 V_m 、搏动指数(PI)比较,差异有统计学意义($P<0.05$)。多因素Logistic回归分析结果显示,ADR [$OR=1.536$, 95% CI (1.046, 2.257)]及大脑中动脉 V_m [$OR=2.543$, 95% CI (1.440, 14.695)]是aSAH患者发生DCI的影响因素($P<0.05$)。ROC曲线分析结果显示,ADR联合大脑中动脉 V_m 预测aSAH患者发生DCI的AUC为0.946 [95% CI (0.888, 1.000)],分别高于ADR [AUC=0.844, 95% CI (0.714, 0.913)]、大脑中动脉 V_m [AUC=0.771, 95% CI (0.624, 0.919)] ($P<0.05$)。**结论** ADR、大脑中动脉 V_m 是aSAH患者发生DCI的影响因素,ADR联合大脑中动脉 V_m 对aSAH患者发生DCI的预测价值较高。

【关键词】 蛛网膜下腔出血;动脉瘤蛛网膜下腔出血;迟发性脑缺血;定量脑电图;经颅多普勒超声;预测

【中图分类号】 R 743.35 **【文献标识码】** A DOI: 10.12114/j.issn.1008-5971.2022.00.056

齐丽霞, 李自如, 姚远, 等.定量脑电图联合经颅多普勒超声对动脉瘤蛛网膜下腔出血后迟发性脑缺血的预测价值研究[J].实用心脑血管病杂志, 2022, 30(4): 99-103. [www.syxnf.net]

QI L X, LI Z R, YAO Y, et al. Predictive value of quantitative EEG combined with transcranial Doppler ultrasound on delayed cerebral ischemia after aneurysmal subarachnoid hemorrhages [J]. Practical Journal of Cardiac Cerebral Pneumal and Vascular Disease, 2022, 30(4): 99-103.

Predictive Value of Quantitative EEG Combined with Transcranial Doppler Ultrasound on Delayed Cerebral Ischemia after Aneurysmal Subarachnoid Hemorrhages QI Lixia¹, LI Zirui¹, YAO Yuan^{1, 2}, ZHU Runxiu¹

基金项目: 内蒙古自治区自然科学基金项目(2021MS08033); 内蒙古自治区科技计划项目(2021GG0123)

1.010017内蒙古自治区呼和浩特市, 内蒙古自治区人民医院神经内科 2.010070内蒙古自治区呼和浩特市, 内蒙古大学生命科学学院

通信作者: 朱润秀, E-mail: zhurunxiu@163.com 姚远, E-mail: zhjyq129@163.com

- [21] KESAV P, KRISHNAVADANA B, KESAVADAS C, et al. Utility of intracranial high-resolution vessel wall magnetic resonance imaging in differentiating intracranial vasculopathic diseases causing ischemic stroke [J]. Neuroradiology, 2019, 61(4): 389-396. DOI: 10.1007/s00234-019-02157-5.
- [22] 肖嘉昱, 蒋涛, 杨旗, 等. 短暂性脑缺血发作患者颅内动脉斑块特征的高分辨率磁共振研究[J]. 中国医学影像学杂志, 2019, 27(8): 578-583. DOI: 10.3969/j.issn.1005-5185.2019.08.005.
- [23] DIELEMAN N, YANG W J, ABRIGO J M, et al. Magnetic resonance imaging of plaque morphology, burden, and distribution in patients with symptomatic middle cerebral artery stenosis [J]. Stroke, 2016, 47(7): 1797-1802. DOI: 10.1161/STROKEAHA.116.013007.
- [24] FAKIH R, ROA J A, BATHLA G, et al. Detection and quantification of symptomatic atherosclerotic plaques with high-resolution imaging in cryptogenic stroke [J]. Stroke, 2020, 51(12): 3623-3631. DOI: 10.1161/STROKEAHA.120.031167.
- [25] FUESSL R T, KRANENBERG E, KIAUSCH U, et al. Vascular remodeling in atherosclerotic coronary arteries is affected by plaque composition [J]. Coron Artery Dis, 2001, 12(2): 91-97. DOI: 10.1097/00019501-200103000-00002.

(收稿日期: 2021-11-07; 修回日期: 2022-03-09)

(本文编辑: 崔丽红)

1.Department of Neurology, Inner Mongolia People's Hospital, Hohhot 010017, China

2.School of Life Sciences, Inner Mongolia University, Hohhot 010070, China

Corresponding author: ZHU Runxiu, E-mail: zhurunxiu@163.com

YAO Yuan, E-mail: zhjyq129@163.com

【Abstract】 Objective To investigate the diagnostic value of Quantitative electroencephalography (QEEG) combined with transcranial Doppler ultrasound (TCD) on delayed cerebral ischemia (DCI) after aneurysm subarachnoid hemorrhage (aSAH). **Methods** A total of 54 patients with aSAH admitted in the Department of Neurology and Neurosurgery of Inner Mongolia People's Hospital from December 2019 to January 2021 were selected. All patients were divided into DCI group (16 cases) and non-DCI group (38 cases), 14 d after onset or DCI was used as the observation end point. The baseline data and the results of QEEG and TCD examination within 24 h after admission were compared between the two groups. The influencing factors of DCI in aSAH patients was analyzed by multivariate Logistic regression; ROC was further drawn to assess the predictive value of alpha/delta ratio (ADR), middle cerebral artery mean velocity (Vm) and their combination for DCI in patients with aSAH. **Results** There was statistically significant difference in modified Fisher grading, relative delta power (RDP), relative alpha power (RAP), ADR, relative α variants, and systolic velocity (Vs), Vm, pulsatility index (PI) of middle cerebral artery between the DCI group and the non-DCI group ($P < 0.05$). The multivariate Logistic regression analysis showed that ADR [$OR=1.536$, 95% CI (1.046, 2.257)] and middle cerebral artery Vm [$OR=2.543$, 95% CI (1.440, 14.695)] were the influencing factors of DCI in aSAH patients ($P < 0.05$). ROC curve analysis results showed that the AUC of ADR combined with middle cerebral artery Vm for predicting DCI in aSAH patients was 0.946 [95% CI (0.888, 1.000)], was higher than that of ADR [AUC=0.844, 95% CI (0.714, 0.913)] and middle cerebral artery Vm [AUC=0.771, 95% CI (0.624, 0.919)] ($P < 0.05$). **Conclusion** ADR and middle cerebral artery Vm are influencing factors of DCI in aSAH patients, and ADR combined with middle cerebral artery Vm has high predictive value for DCI in aSAH patients.

【Key words】 Subarachnoid hemorrhages; Aneurysmal subarachnoid hemorrhages; Delayed cerebral ischemia; Quantitative electroencephalography; Transcranial Doppler ultrasound; Forecasting

脑血管疾病主要分为出血性脑血管疾病和缺血性脑血管疾病,蛛网膜下腔出血(subarachnoid hemorrhage, SAH)是常见的出血性脑血管疾病。虽然SAH仅占急性脑卒中的10%、出血性脑卒中的20%,但其死亡率高达40%,且50%~66%的患者会遗留终身残疾^[1-2]。SAH的病因较多,其中动脉瘤蛛网膜下腔出血(aneurysmal subarachnoid hemorrhage, aSAH)占70%~80%^[3]。aSAH的病理生理学变化较复杂,临床症状轻重不一,其特征性表现为剧烈头痛,且病情来势凶猛,进展非常迅速,临床转归复杂,常见并发症有再出血、迟发性脑缺血(delayed cerebral ischemia, DCI)、脑积水、癫痫等^[4]。近年随着手术技术的提高及神经血管成像、神经介入和神经重症监护领域的发展,aSAH患者再出血问题已得到很好的控制,但DCI仍是影响患者生存率和生活质量的主要原因^[5]。国内外有研究采用经颅多普勒超声(transcranial doppler ultrasound, TCD)、定量脑电图(quantitative electroencephalography, QEEG)单独预测DCI,但TCD的预测效能受年龄、性别、颅内压、血二氧化碳浓度等的影响^[6],故其阴性预测值较高^[7];QEEG虽然较传统脑电图直观、便于观察,但其对临床工作者的专业技术要求较高。因此,本研究将TCD和QEEG联合,以期提高临床医生对aSAH患者发生DCI的预测价值。

1 对象与方法

1.1 研究对象 选取2019年12月至2021年1月内蒙古自治区人民医院神经内科和神经外科收治的aSAH患者54例,均符合《中国蛛网膜下腔出血诊治指南2015》^[8]中的aSAH诊断标

准,并经颅脑CT和/或脑脊液检查结果证实为SAH,经颅脑CTA和/或DSA检查证实颅内明确责任动脉瘤。以患者发病后14 d或出现DCI为观察终点,将其分为DCI组16例和非DCI组38例。DCI判定标准参照《脑血管痉挛防治神经外科专家共识》^[9]及文献^[10],具体如下:出现新的局灶性神经功能缺损(如偏瘫、偏盲、失用、失语)、颅内压增高表现(如头痛、呕吐等)或意识障碍进行性加重(格拉斯哥昏迷量表评分下降 ≥ 2 分)持续1 h,伴或不伴脑血管痉挛,且排除电解质紊乱、癫痫发作、再出血、脑积水加重等。本研究通过内蒙古自治区人民医院伦理委员会审核通过(编号:202103412L)。

1.2 纳入与排除标准 纳入标准:(1)年龄 ≥ 18 岁;(2)发病至入院时间 < 48 h。排除标准:(1)合并颅内、外大血管狭窄或闭塞者;(2)QEEG、TCD检查前服用镇静催眠类药物、麻醉药、抗精神病药物、抗癫痫药物者;(3)合并可影响颅内脑电活动的疾病,如代谢性脑病、炎症性脑病、帕金森、帕金森综合征及其他系统恶性疾病者;(4)既往有脑卒中病史,且改良Rankin量表评分 ≥ 1 分;(5)既往有精神疾病史或不能配合本研究。

1.3 研究方法 收集所有患者基线资料及入院后24 h内QEEG、TCD检查结果。基线资料包括性别、年龄、吸烟史、饮酒史、高血压病史、糖尿病病史、卒中或短暂性脑缺血发作(transient ischemic attack, TIA)病史、改良Fisher分级^[11]及改良Hunt-Hess分级^[12]。改良Fisher分级、改良Hunt-Hess分级标准详见表1~2。采集原始脑电图和处理

表1 改良Fisher分级标准
Table 1 Modified Fisher grading criteria

分级	标准
0级	无蛛网膜下腔出血或脑室出血
I级	少量/薄的蛛网膜下腔出血, 两个侧脑室中无出血
II级	少量/薄的蛛网膜下腔出血, 两个侧脑室中有出血
III级	厚的蛛网膜下腔出血, 两个侧脑室中无出血
IV级	厚的蛛网膜下腔出血, 两个侧脑室中有出血

表2 改良Hunt-Hess分级标准
Table 2 Modified Hunt-Hess grading criteria

分级	标准
I级	无症状或有轻微头痛, 轻度颈项强直
II级	中重度头痛、颈强直, 除动眼神经等脑神经麻痹外, 无其他神经症状
III级	轻度意识障碍, 嗜睡, 躁动不安和轻度局灶性神经体征
IV级	昏迷、偏瘫, 有早期去大脑强直或自主神经功能紊乱
V级	深昏迷, 去大脑强直, 濒危状态

后的QEEG, 所用仪器为美国Cadwell公司生产的数字化脑功能监护仪, 指标包括相对 δ 功率 (relative delta power, RDP)、相对 θ 功率 (relative theta power, RTP)、相对 α 功率 (relative alpha power, RAP)、相对 β 功率 (relative beta power, RBP)、 α/δ 比值 (alpha/delta ratio, ADR)、 $(\alpha+\beta)/(\delta+\theta)$ 比值 [(alpha+beta)/(delta+theta) ratio, ABDTR] 及相对 α 变异。TCD检查采用2.0 MHz脉冲多普勒探头, 由于SAH多影响双侧大脑, 且判断颅内血管痉挛时大脑中动脉显示较佳, 故记录所有患者左、右大脑中动脉收缩期血流速度 (systolic velocity, Vs)、舒张期血流速度 (diastolic velocity, Vd) 并取均值, 计算平均血流速度 (mean velocity, Vm) 和搏动指数 (pulsatility index, PI); $Vm = (Vs + 2Vd) / 3$, $PI = (Vs - Vd) / Vm$ 。

1.4 统计学方法 应用SPSS 25.0统计学软件进行数据处理。计量资料以 $(\bar{x} \pm s)$ 表示, 组间比较采用成组 t 检验; 计数资料以相对数表示, 组间比较采用 χ^2 检验; aSAH患者发生DCI的影响因素分析采用多因素Logistic回归分析; 并进一步绘制ROC曲线以评估ADR、大脑中动脉Vm及其联合对aSAH患者发生DCI的预测价值。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 基线资料 两组患者性别、年龄、改良Hunt-Hess分级

表3 DCI组和非DCI组患者基线资料比较

Table 3 Comparison of baseline data between the DCI group and the non-DCI group

组别	例数	性别 (男/女)	年龄 ($\bar{x} \pm s$, 岁)	吸烟史 [n (%)]	饮酒史 [n (%)]	高血压病史 [n (%)]	糖尿病病史 [n (%)]	卒中或TIA病史 [n (%)]	改良Fisher分级 [n (%)]		改良Hunt-Hess分级 [n (%)]	
									0~II级	III~IV级	I~II级	III~IV级
DCI组	16	7/9	56.2 $\pm$ 12.3	5/16	2/16	8/16	3/16	1/16	9/16	7/16	7/16	9/16
非DCI组	38	18/20	54.0 $\pm$ 10.4	11 (28.9)	8 (21.1)	17 (44.7)	7 (18.4)	5 (13.2)	35 (92.1)	3 (7.9)	26 (68.4)	12 (31.6)
$\chi^2(t)$ 值		0.059	0.676 ^a	0.029	0.126	0.125	0.126	0.694	7.364		2.884	
P 值		0.808	0.502	0.866	0.722	0.723	0.722	0.792	0.007		0.089	

注: DCI=迟发性脑缺血, TIA=短暂性脑缺血发作; ^a表示 t 值

及有吸烟史、饮酒史、高血压病史、糖尿病病史、卒中或TIA病史者占比比较, 差异无统计学意义 ($P > 0.05$); 两组患者改良Fisher分级比较, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 见表3。

2.2 QEEG、TCD检查结果 两组患者RDP、RAP、ADR、相对 α 变异及大脑中动脉Vs、Vm、PI比较, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$); 两组患者RTP、RBP、ABDTR及大脑中动脉Vd比较, 差异无统计学意义 ($P > 0.05$), 见表4。

2.3 多因素Logistic回归分析 将表3~4中差异有统计学意义的指标作为自变量, DCI发生情况作为因变量 (赋值: 未发生=0, 发生=1), 进行多因素Logistic回归分析, 结果显示, ADR及大脑中动脉Vm是aSAH患者发生DCI的影响因素 ($P < 0.05$), 见表5。

2.4 ROC曲线 ROC曲线分析结果显示, ADR联合大脑中动脉Vm预测aSAH患者发生DCI的AUC为0.946 [95%CI (0.888, 1.000)], ADR预测aSAH患者发生DCI的AUC为0.844 [95%CI (0.714, 0.913)], 大脑中动脉Vm预测aSAH患者发生DCI的AUC为0.771 [95%CI (0.624, 0.919)], 见图1。ADR联合大脑中动脉Vm预测aSAH患者发生DCI的AUC分别高于ADR、大脑中动脉Vm, 差异有统计学意义 (Z 值分别为1.97、2.19, P 值分别为0.048、0.029)。

3 讨论

研究表明, Fisher分级、Hunt-Hess分级与DCI发生有关^[13]; 但本研究结果显示, 仅改良Fisher分级是aSAH患者发生DCI的影响因素, 与PLATZ等^[14]研究结果一致。改良Fisher分级、改良Hunt-Hess分级相对简便, 但二者均依赖颅脑CT检查结果并受检查者主观因素影响, 故其准确性有待进一步探究。

目前, 临床上常用的DCI预测方法包括脑灌注压、MRA、CTA、DSA、QEEG及TCD, 其中脑灌注压为有创检查, MRA需要搬动患者, CTA及DSA既为有创检查且费用较高, 故在临床中应用较少; QEEG和TCD为无创检查, 可以床旁操作、重复检查, 易被患者接受, 是目前临床中应用较多的检查手段。

研究表明, 连续脑电图监测可以较好地预测aSAH后DCI的发生情况, 且对梗死后认知障碍具有一定预测价值^[15], 但由于原始脑电数据庞大, 耗费人力、物力等, 导致其在临床应用受限。近年来, QEEG的出现实现了床旁实时监测。既往研究发现, ADR衰减与 α 波变异可作为DCI的预测因子, 具有一定特异性, 其可以在颅脑CT显示缺血性改变前发现患者

表4 DCI组和非DCI组患者QEEG、TCD检查结果比较

Table 4 Comparison of QEEG and TCD examination results between the DCI group and the non-DCI group

变量	DCI组 (n=16)	非DCI组 (n=38)	t (χ^2) 值	P值
QEEG检查结果				
RDP ($\bar{x} \pm s$, %)	71.8 $\pm$ 6.3	61.8 $\pm$ 9.0	4.064	<0.001
RTP ($\bar{x} \pm s$, %)	9.2 $\pm$ 0.9	9.5 $\pm$ 1.3	-0.853	0.398
RAP ($\bar{x} \pm s$, %)	10.4 $\pm$ 5.7	19.1 $\pm$ 8.0	-3.962	<0.001
RBP ($\bar{x} \pm s$, %)	8.6 $\pm$ 1.1	9.6 $\pm$ 2.5	1.532	0.123
ADR ($\bar{x} \pm s$, %)	16.2 $\pm$ 5.0	36.7 $\pm$ 18.8	-6.220	<0.001
ABDTR ($\bar{x} \pm s$, %)	23.7 $\pm$ 10.2	23.1 $\pm$ 16.7	0.155	0.878
相对 α 变异 [n (%)]			20.528 ^a	<0.001
1~2级	13/16	5 (13.2)		
3~4级	3/16	33 (96.8)		
TCD检查结果 ($\bar{x} \pm s$)				
大脑中动脉Vs (cm/s)	139.4 $\pm$ 38.5	103.1 $\pm$ 15.3	3.658	0.002
大脑中动脉Vd (cm/s)	52.7 $\pm$ 8.2	48.5 $\pm$ 7.3	1.872	0.067
大脑中动脉Vm (cm/s)	81.8 $\pm$ 17.9	65.1 $\pm$ 10.1	3.509	0.002
大脑中动脉PI	1.03 $\pm$ 0.18	0.84 $\pm$ 0.12	3.851	0.001

注: QEEG=定量脑电图, RDP=相对 δ 功率, RTP=相对 θ 功率, RAP=相对 α 功率, RBP=相对 β 功率, ADR= α / δ 比值, ABDTR= ($\alpha + \beta$) / ($\delta + \theta$) 比值, TCD=经颅多普勒超声, Vs=收缩期血流速度, Vd=舒张期血流速度, Vm=平均血流速度, PI=搏动指数; ^a表示 χ^2 值

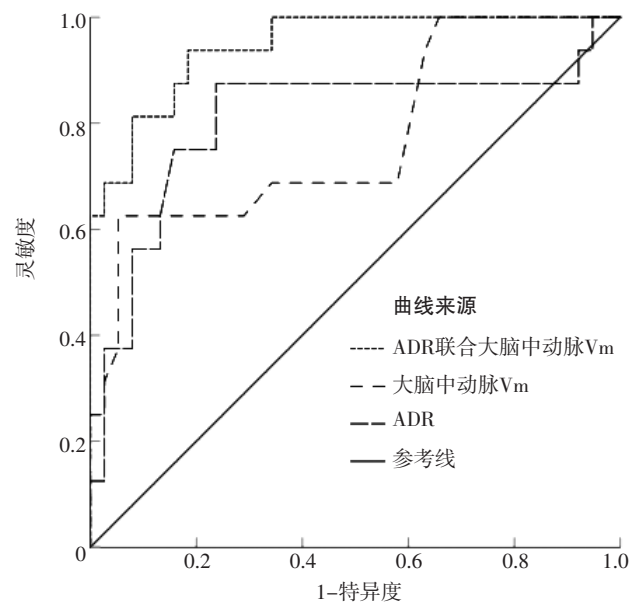
表5 aSAH患者发生DCI影响因素的多因素Logistic回归分析

Table 5 Multivariate Logistic regression analysis on influencing factors of DCI in patients with aSAH

变量	赋值	β	SE	Wald χ^2 值	P值	OR值	95%CI
改良Fisher分级	0~II级=0, III~IV级=1	-0.250	2.655	0.009	0.925	1.284	(0.007, 233.925)
RDP	实测值	-0.016	0.456	0.001	0.971	0.984	(0.402, 2.406)
RAP	实测值	-0.489	0.520	0.884	0.347	0.613	(0.221, 1.700)
ADR	实测值	0.429	0.196	4.782	0.029	1.536	(1.046, 2.257)
相对 α 变异	1级=0, 2级=1, 3级=2, 4级=3	1.456	1.167	1.557	0.212	4.289	(0.436, 42.215)
大脑中动脉Vs	实测值	-0.592	0.543	1.188	0.276	0.553	(0.191, 1.604)
大脑中动脉Vm	实测值	0.933	0.895	1.087	0.037	2.543	(1.440, 14.695)
大脑中动脉PI	实测值	20.749	2.276	0.731	0.393	<0.001	(<0.001, 4.732)

病情恶化^[16-18]; CLAASSEN等^[19]研究发现,总功率、相对 α 功率、相对 δ 功率、ADR及ABDTR等指标中仅ADR能更好地预测DCI的发生,连续监测过程中ADR 6次较基线下降超过10%,其预测DCI的灵敏度为100%、特异度为76%;单次监测较基线下降超过50%,其预测DCI的灵敏度为89%、特异度为84%。本研究结果显示,两组患者RDP、RAP、ADR、相对 α 变异比较有统计学差异,但多因素Logistic回归分析结果发现仅ADR是aSAH患者发生DCI的影响因素。

TCD主要通过血管口径变化导致血流速度改变,从而识



注: ADR= α / δ 比值, Vm=平均血流速度

图1 ADR、大脑中动脉Vm及其联合对aSAH患者发生DCI的预测价值
Figure 1 Predictive value of ADR, middle cerebral artery Vm and their combination for the DCI in patients with aSAH

别脑血管痉挛;此外,该检查还可以观察血流频谱变化,当出现湍流频谱伴海鸥鸣时,提示存在血管痉挛,易并发脑梗死^[20]。本研究结果显示,两组患者大脑中动脉Vs、Vm及PI比较有统计学差异,但多因素Logistic回归分析结果显示,仅大脑中动脉Vm是aSAH患者发生DCI的影响因素。CHANG等^[21]研究结果显示,aSAH患者入院后2~7 d大脑中动脉Vm增加可能与DCI发生独立相关,本研究结果与之基本一致。本研究结果还显示,ADR联合大脑中动脉Vm预测aSAH患者发生DCI的AUC为0.946,分别高于ADR (AUC=0.844)、大脑中动脉Vm (AUC=0.771)。

BUDOHOSKI等^[22]研究结果显示,DCI常于aSAH后3~5 d出现,7~10 d达到高峰,2周后逐渐缓解。因此,本研究以aSAH后14 d为观察终点,且发现16例DCI患者发病时间集中在aSAH后2~6 d,这对探索、确定DCI发生最小时间窗具有一定参考价值。如果能掌握aSAH后DCI发生的最小时间窗,就可以缩短监测时间,进而提高患者的配合程度并节约医疗资源。

综上所述,ADR、大脑中动脉Vm是aSAH患者发生DCI的影响因素,ADR联合大脑中动脉Vm对aSAH患者发生DCI的预测价值较高。但本研究为单中心研究、样本量较小,且未对大脑中动脉之外的其他颅内、外血管血流频谱进行分析,未来仍需要联合多中心、扩大样本量进一步验证本研究结论并积极探索更多的预测指标。

作者贡献: 齐丽霞、朱润秀进行文章的构思与设计,结果分析与解释;朱润秀进行研究的实施与可行性分析;齐丽霞、李自如、姚远、朱润秀进行数据收集、整理、分析;齐丽霞负责撰写、修订论文;姚远、朱润秀负责文章的质量控制及审核,对文章整体负责、监督管理。

本文无利益冲突。

参考文献

- [1] VERGOUWEN M D I, DE HAAN R J, VERMEULEN M, et al. Effect of statin treatment on vasospasm, delayed cerebral ischemia, and functional outcome in patients with aneurysmal subarachnoid hemorrhage: a systematic review and meta-analysis update [J]. *Stroke*, 2010, 41 (1): e47-52. DOI: 10.1161/STROKEAHA.109.556332.
- [2] ZACHARIA B E, HICKMAN Z L, GROBELNY B T, et al. Epidemiology of aneurysmal subarachnoid hemorrhage [J]. *Neurosurg Clinics N Am*, 2010, 21 (2): 221-233.
- [3] NIEUWKAMP D J, SETZ L E, ALGRA A, et al. Changes in case fatality of aneurysmal subarachnoid haemorrhage over time, according to age, sex, and region: a meta-analysis [J]. *Lancet Neurol*, 2009, 8 (7): 635-642. DOI: 10.1016/S1474-4422(09)70126-7.
- [4] 高洁, 玉王宁, 刘鑫, 等. 非增强CT扫描定位动脉瘤性蛛网膜下腔出血患者破裂动脉瘤的准确性及其对预后的预测价值研究 [J]. *实用心脑血管病杂志*, 2021, 29 (5): 97-103. DOI: 10.12114/j.issn.1008-5971.2021.00.091.
- [5] MACKEY J, KHOURY J C, ALWELL K, et al. Stable incidence but declining case-fatality rates of subarachnoid hemorrhage in a population [J]. *Neurology*, 2016, 87 (21): 2192-2197. DOI: 10.1212/wnl.0000000000003353.
- [6] 唐博, 李东原, 赵丛海. TCD 诊断蛛网膜下腔出血后脑血管痉挛的研究进展 [J]. *中国实验诊断学*, 2012, 16 (10): 1942-1945. DOI: 10.3969/j.issn.1007-4287.2012.10.078.
- [7] MILLS J N, MEHTA V, RUSSIN J, et al. Advanced imaging modalities in the detection of cerebral vasospasm [J]. *Neurol Res Int*, 2013, 2013: 415960. DOI: 10.1155/2013/415960.
- [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. 中国蛛网膜下腔出血诊治指南2015 [J]. *中华神经科杂志*, 2016, 49 (3): 182-191. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1006-7876.2016.03.003.
- [9] 中华医学会神经外科学分会. 脑血管痉挛防治神经外科专家共识 [J]. *中华医学杂志*, 2008, 88 (31): 2161-2165. DOI: 10.3321/j.issn:0376-2491.2008.31.001.
- [10] 王航, 宋歌, 谢万福. 早期脑血流量检测在预测蛛网膜下腔出血迟发性脑缺血患者预后的作用研究 [J]. *国际神经病学神经外科学杂志*, 2018, 45 (2): 128-132. DOI: 10.16636/j.cnki.jinn.2018.02.006.
- [11] CLAASSEN J, BERNARDINI G L, KREITER K, et al. Effect of cisternal and ventricular blood on risk of delayed cerebral ischemia after subarachnoid hemorrhage: the Fisher Scale revisited [J]. *Stroke*, 2001, 32 (9): 2012-2020. DOI: 10.1161/hs0901.095677.
- [12] HUNT W E, HESS R M. Surgical risk as related to time of intervention in the repair of intracranial aneurysms [J]. *J Neurosurg*, 1968, 28 (1): 14-20. DOI: 10.3171/jns.1968.28.1.0014.
- [13] VELDEMAN M, HÖLLIG A, CLUSMANN H, et al. Delayed cerebral ischaemia prevention and treatment after aneurysmal subarachnoid haemorrhage: a systematic review [J]. *Br J Anaesth*, 2016, 117 (1): 17-40. DOI: 10.1093/bja/aew095.
- [14] PLATZ J, GÜRESIR E, WAGNER M, et al. Increased risk of delayed cerebral ischemia in subarachnoid hemorrhage patients with additional intracerebral hematoma [J]. *J Neurosurg*, 2017, 126 (2): 504-510. DOI: 10.3171/2015.12.jns151563.
- [15] 李俊, 宋春杰, 马芸, 等. 定量脑电图在急性脑梗死后认知障碍患者中的应用价值研究 [J]. *实用心脑血管病杂志*, 2021, 29 (11): 106-110. DOI: 10.12114/j.issn.1008-5971.2021.00.249.
- [16] GOLLWITZER S, MÜLLER T M, HOPFENGÄRTNER R, et al. Quantitative EEG after subarachnoid hemorrhage predicts long-term functional outcome [J]. *J Clin Neurophysiol*, 2019, 36 (1): 25-31. DOI: 10.1097/WNP.0000000000000537.
- [17] ROTS M L, VAN PUTTEN M J, HOEDEMAEKERS C W, 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.
- [18] 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.
- [19] CLAASSEN J, HIRSCH L J, KREITER K T, 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.
- [20] 张素君, 张德峰. TCD对48例蛛网膜下腔出血的监测与分析 [J]. *实用心脑血管病杂志*, 2002, 10 (3): 153-154. DOI: 10.3969/j.issn.1008-5971.2002.03.011.
- [21] CHANG J J, TRIANO M, CORBIN M J, et al. Transcranial Doppler velocity and associations with delayed cerebral ischemia in aneurysmal subarachnoid hemorrhage [J]. *J Neurol Sci*, 2020, 415: 116934. DOI: 10.1016/j.jns.2020.116934.
- [22] BUDOHOSKI K P, GUILFOYLE M, HELMY A, et al. The pathophysiology and treatment of delayed cerebral ischaemia following subarachnoid haemorrhage [J]. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 2014, 85 (12): 1343-1353. DOI: 10.1136/jnnp-2014-307711. Int, 2013, 2013: 415960. DOI: 10.1155/2013/415960.

(收稿日期: 2021-12-06; 修回日期: 2022-02-15)

(本文编辑: 谢武英)