

# 定量脑电图联合 ASL 灌注成像在单侧大脑中动脉狭窄患者中的评估

戚妹, 曾雅清, 王琴, 何建丽

(广东省中山市小榄人民医院神经内科一区, 广东 中山 528415)

**[摘要]** 目的 分析定量脑电图(quantitative electroencephalogram, qEEG)联合磁共振动脉自旋标记(arterial spin labeling, ASL)灌注成像对单侧大脑中动脉(middle cerebral artery stenosis, MCA)狭窄的评估价值。方法 纳入单侧 MCA 狭窄患者 82 例作为研究对象, 所有患者均行 qEEG、ASL 灌注成像及 CT 脑血管造影(CT angiography, CTA)检查, 根据 CTA 检查结果将患者分为轻度狭窄组、中度狭窄组和重度狭窄组, 比较 3 组患者 qEEG 与 ASL 灌注成像参数[慢波化指数(delta and theta/alpha + beta ratio, DTABR)、脑电时间对称指数(temporal brain symmetry index, tBSI)、脑电图空间对称指数(spatial brain symmetry index, sBSI)、脑血流量值(cerebral blood flow, CBF)], 分析 qEEG 联合 ASL 灌注成像对单侧 MCA 狭窄的评估价值。结果 82 例单侧 MCA 狭窄患者经 CTA 检查显示, 轻度狭窄 28 例、中度狭窄 32 例、重度狭窄 22 例。中度狭窄组和重度狭窄组 sBSI、tBSI 值高于轻度狭窄组, 重度狭窄组 sBSI、tBSI 值高于中度狭窄组( $P < 0.05$ ); 中度狭窄组和重度狭窄组患侧 CBF 值、患侧与健侧 CBF 比值、MoCA 及 MMSE 评分低于轻度狭窄组, 重度狭窄组低于中度狭窄组( $P < 0.05$ ); 绘制受试者工作特征(receiver operating curve, ROC)曲线, 结果显示 sBSI、tBSI、患侧 CBF、患侧与健侧 CBF 比值单独及联合评估轻中度及中重度 MCA 狭窄的 AUC 均  $> 0.7$ , 具有中等评估价值, 联合评估价值最佳。结论 qEEG 联合 ASL 灌注成像对单侧 MCA 狭窄具有较高的评估价值, 可准确反映 MCA 狭窄程度。

**[关键词]** 大脑动脉疾病; 定量脑电图; 磁共振动脉自旋标记灌注成像 doi:10.3969/j.issn.1007-3205.2024.06.007

**[中图分类号]** R743 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1007-3205(2024)06-0661-06

## Evaluation of quantitative electroencephalogram combined with ASL perfusion imaging in patients with unilateral middle cerebral artery stenosis

QI Mei, ZENG Ya-qing, WANG Qin, HE Jian-li

(Department of Neurology, Xiaolan People's Hospital of Zhongshan City, Guangdong Province, Zhongshan 528415, China)

**[Abstract]** **Objective** To analyze the value of quantitative electroencephalogram (qEEG) combined with magnetic resonance arterial spin labeling (ASL) perfusion imaging in evaluating unilateral middle cerebral artery (MCA) stenosis. **Methods** The patients with unilateral MCA stenosis were prospectively included as the research subjects. All patients underwent qEEG, ASL perfusion imaging and CT angiography (CTA). According to the results of CTA, patients were divided into mild stenosis group, moderate stenosis group and severe stenosis group. The qEEG and ASL perfusion imaging parameters [delta and theta/alpha + beta ratio (DTABR), temporal brain symmetry index (tBSI), spatial brain symmetry index (sBSI), cerebral blood flow (CBF)] of the three groups were compared, and the evaluation value of qEEG combined with ASL perfusion imaging for unilateral MCA stenosis was analyzed. **Results** Among 82 patients with unilateral MCA stenosis, CTA examination showed 28 cases of mild stenosis, 32 cases of

[收稿日期]2023-05-13

[基金项目]中山市医学科研项目(ZSXL-LL2021-101)

[作者简介]戚妹(1988-),女,广东廉江人,广东省中山市小榄人民医院主治医师,医学硕士,从事神经内科疾病诊治研究。

moderate stenosis, and 22 cases of severe stenosis. The sBSI and tBSI values in the moderate and severe stenosis groups were higher than those in the mild stenosis group, while the sBSI and tBSI values in the severe stenosis group were higher than those in the moderate stenosis group ( $P < 0.05$ ). The CBF value, CBF ratio on the affected side and the healthy side, Montreal Cognitive Assessment (MoCA) and Mini-Mental State Examination (MMSE) scores of the moderate and severe stenosis groups were lower than those of the mild stenosis group, while the scores of the severe stenosis group were lower than those of the moderate stenosis group ( $P < 0.05$ ). Receiver operating characteristic (ROC) curve was drawn, and the results showed the area under the ROC curve (AUC) of sBSI, tBSI, CBF on the affected side, and CBF ratio on the affected side and the healthy side alone and in combination in evaluating mild to moderate and moderate to severe MCA stenosis was all greater than 0.7, indicating moderate evaluation value, with the best evaluation value by combination. **Conclusion** qEEG combined with ASL perfusion imaging has high evaluation value for unilateral MCA stenosis, and can accurately reflect the degree of MCA stenosis.

**[Key words]** cerebral arterial diseases; quantitative electroencephalogram; magnetic resonance arterial spin labeling perfusion imaging

大脑中动脉(middle cerebral artery stenosis, MCA)狭窄是引起缺血性脑血管病的重要病因,可导致局部脑灌注下降、脑细胞缺血坏死从而损害认知功能<sup>[1-2]</sup>。定量脑电图(quantitative electroencephalogram, qEEG)是常见电生理检查方法,它利用电子计算机定量分析脑电图中频率、波形、波幅等参数,可准确反映脑缺血后脑功能变化<sup>[3]</sup>。磁共振动脉自旋标记(arterial spin labeling, ASL)灌注成像是基于核磁血流标记的非侵入式成像技术,可以提供相对准确的灌注参数,为临床判断脑组织缺血程度提供参考<sup>[4]</sup>。目前,qEEG、ASL灌注成像已缺血性脑血管病中得到了广泛应用<sup>[5-7]</sup>,但关于qEEG联合ASL灌注成像诊断单侧MCA狭窄仍缺乏明确证据。本研究采用前瞻性研究方法,分析qEEG联合ASL灌注成像对单侧MCA狭窄的诊断价值,为临床尽早诊治单侧MCA狭窄提供经验参考,现报告如下。

## 1 资料与方法

**1.1 一般资料** 前瞻性纳入医院2021年3月—2022年10月单侧MCA狭窄患者82例作为研究对象,其中男性48例,女性34例;年龄29~88岁,平均(63.51±5.02)岁;合并症高血压28例,高脂血症15例,糖尿病20例。

纳入标准:①单侧MCA狭窄经头部MRI或CT脑血管造影(CT angiography, CTA)检查后确诊;②可耐受qEEG、ASL灌注成像及CTA检查;③意识清晰,可配合本研究;④患者家属知晓本研究

方案,且签署知情同意书。排除标准:①检查前24 h内服用苯巴比妥、奥氮平等精神抑制类药物;②合并严重躯体疾病;③既往脑部手术史;④合并脑出血;⑤合并脑肿瘤、脑外伤等其他颅脑疾病。

本研究经医院伦理委员会批准通过。

## 1.2 检查方法

**1.2.1 qEEG检查** 采用美国Nicolet公司生产的Nicolet one 18导脑电图仪,检查前嘱患者清洗头部去除头皮表面油脂和污垢,于清醒、安静状态下进行qEEG检查。按照国际10-20系统安装头皮碟状电极,以常规双极导联、耳极作为参照电极进行描记;各导联电阻控制在10 k $\Omega$ ,采样频率250 Hz,滤波范围1~30 Hz,每次记录不少于30 min。选取脑电图数据,用计算机分析得到不同脑区 $\delta$ 波、 $\theta$ 波、 $\alpha$ 波、 $\beta$ 波的绝对功率,再计算出慢波化指数(delta and theta/alpha+beta ratio, DTABR)、脑电时间对称指数(temporal brain symmetry index, tBSI)和脑电图空间对称指数(spatial brain symmetry index, sBSI)。

**1.2.2 ASL灌注成像检查** 采用Philips Ingenia 3.0 T磁共振扫描仪,扫描序列包括T1WI、T2WI、MRA、3D-ASL。各序列参数如下:①T1WI: TR 2 045 ms, TS 20 ms, FOV 230 mm×230 mm, 矩阵356×215,层厚、层间隔为5.5 mm、1 mm,层数21。②T2WI: TR 9 000 ms, TS 120 ms, FOV 230 mm×230 mm, 矩阵404×256,层厚、层间隔为0.8 mm、0 mm,层数160。③MRA: TR 23 ms, TE 3.5 ms,翻转角18°,FOV 201 mm×201 mm,矩阵

404×256,层厚、层间隔 0.8 mm、0 mm,层数 160。

④ 3D-ASL: 采用平面回波技术, TR、TS 为 4 000 ms、16 ms, 翻转角 90°, FOV 240 mm×240 mm, 矩阵 88×88, 层厚、层间隔为 6 mm、1 mm, 层数 16。图像处理: 将 3D-ASL 图像上传至工作站获取脑血流量图并对图像进行分析, 测量 MCA 供血区血管狭窄侧和健侧脑血流量 (cerebral blood flow, CBF) 值, 重复测量 3 次取平均值, 计算患侧与健侧 CBF 比值, 比值在 0.5~1.0 之间为正常, 0.5~0.9 为轻度缺血, <0.5 为重度缺血。

1.2.3 CTA 检查 采用美国 GE 公司 128 排 Light Speed VCT 进行检查, 经肘静脉注射 40 mL 碘普罗胺 (成都倍特药业股份有限公司, 国药准字 H20223632, 规格: 100 mL: 76.89 g) 先行常规扫描再行延迟扫描, 安排 2 名影像学医师共同阅片并根据 CTA 检查结果将所有患者按狭窄程度分为轻度狭窄组 (狭窄程度 30%~50%)、中度狭窄组 (狭窄程度 50%~70%) 和重度狭窄组 (狭窄程度 ≥70%)<sup>[8]</sup>。

1.2.4 认知功能评估方法 采用简易精神状态评价量表 (mini-mental state examination, MMSE)<sup>[9]</sup> 和蒙特利尔认知功能评估量表 (montreal cognitive assessment, MoCA)<sup>[10]</sup> 评价 MCA 狭窄患者的认知功能, MMSE 从定向力、记忆力、注意力及计算力、回忆能力、语言能力 5 个方面进行评价, 总分 30 分, 27~30 分为正常, <27 分为认知功能障碍; MoCA 共包含 11 项检查条目, 总分 30 分, ≥26 分为正常。

1.3 统计学方法 应用 SPSS 25.0 统计软件处理数据。计量资料比较采用单因素方差分析和 SNK-*q* 检验; 计数资料比较采用  $\chi^2$  检验; 绘制受试者工作特征曲线 (receiver operating curve, ROC), 以曲线下

面积 (area under curve, AUC) 检验 qEEG 联合 ASL 灌注成像对单侧 MCA 狭窄的诊断价值。  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结 果

2.1 CTA 检查结果 单侧 MCA 狭窄患者 82 例经评估后显示轻度狭窄 28 例、中度狭窄 32 例、重度狭窄 22 例。

2.2 单侧 MCA 狭窄患者的影像学表现 单侧 MCA 狭窄患者 82 例中, 65 岁男性患者 1 例左侧大脑中动脉狭窄程度为重度, 左侧大脑半球灌注较对侧稍降低, 左额、顶叶显著; 颅脑 MRI 平扫未见明显异常。见图 1。

2.3 qEEG、ASL 灌注成像参数及认知功能评分比较 中度狭窄组和重度狭窄组 sBSI、tBSI 值高于轻度狭窄组, 重度狭窄组 sBSI、tBSI 值高于中度狭窄组, 差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ ); 中度狭窄组和重度狭窄组患侧 CBF 值、患侧与健侧 CBF 比值、MoCA 及 MMSE 评分低于轻度狭窄组, 重度狭窄组低于中度狭窄组, 差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ ); 3 组 DTABR、健侧 CBF 值比较差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。见表 1。

2.4 qEEG 联合 ASL 灌注成像对单侧 MCA 狭窄的评估价值 以单侧 MCA 狭窄程度作为状态变量, 以 qEEG、ASL 灌注成像参数 (sBSI、tBSI、患侧 CBF 值、患侧与健侧 CBF 比值) 作为检验变量, 绘制 ROC 曲线图 (图 2, 3), 结果显示 sBSI、tBSI、患侧 CBF、患侧与健侧 CBF 比值单独及联合评估轻中度及中重度 MCA 狭窄的 AUC 均  $> 0.7$ , 具有中等评估价值, 联合评估价值最佳。见表 2、3。

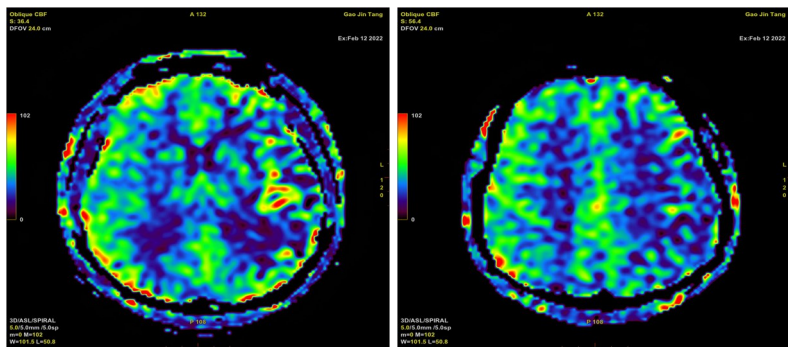


图 1 单侧 MCA 狭窄的影像学表现图像

Figure 1 Imaging manifestations of unilateral MCA stenosis

表1 qEEG、ASL灌注成像参数及认知功能评分比较

Table 1 Comparison of qEEG, ASL perfusion imaging parameters and cognitive function scores

( $\bar{x} \pm s$ )

组别	例数	DTABR	sBSI	tBSI	患侧 CBF 值( $\text{mL} \cdot 100 \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ )
轻度狭窄组	28	0.62±0.09	0.080±0.048	0.096±0.006	33.45±4.24
中度狭窄组	32	0.65±0.10	0.116±0.024*	0.103±0.006*	28.72±4.40*
重度狭窄组	22	0.68±0.10	0.128±0.010*#	0.110±0.007*#	24.22±4.18*#
F 值		2.589	15.796	38.524	28.846
P 值		0.081	<0.001	<0.001	<0.001

组别	例数	健侧 CBF 值 ( $\text{mL} \cdot 100 \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ )	患侧与健侧 CBF 比值	MoCA 评分(分)	MMSE 评分(分)
轻度狭窄组	28	55.10±6.62	0.60±0.10	26.53±2.40	27.52±2.34
中度狭窄组	32	53.21±6.50	0.53±0.07*	23.84±3.76*	24.23±3.72*
重度狭窄组	22	52.74±6.57	0.45±0.08*#	20.26±3.88*#	20.84±4.02*#
F 值		0.958	22.605	21.003	23.769
P 值		0.388	<0.001	<0.001	<0.001

\* P 值<0.05 与轻度狭窄组比较 # P 值<0.05 与中度狭窄组比较(SNK-q 检验)

表2 qEEG联合ASL灌注成像对轻中度MCA狭窄的评估价值

Table 2 Evaluation value of qEEG combined with ASL perfusion imaging for mild to moderate MCA stenosis

检验变量	AUC	95%CI	P 值	Cut-off 值	特异度	敏感度	约登指数
sBSI	0.727	0.591~0.863	0.003	0.109	0.656	0.679	0.335
tBSI	0.728	0.598~0.857	0.003	0.100	0.594	0.786	0.380
患侧 CBF 值	0.757	0.632~0.881	0.001	29.240	0.687	0.750	0.437
患侧与健侧 CBF 比值	0.712	0.577~0.847	0.005	0.565 $\text{mL} \cdot 100 \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$	0.594	0.679	0.273
联合	0.766	0.643~0.889	<0.001	—	0.750	0.714	0.464

表3 qEEG联合ASL灌注成像对中重度MCA狭窄的评估价值

Table 3 Evaluation value of qEEG combined with ASL perfusion imaging for moderate to severe MCA stenosis

检验变量	AUC	95%CI	P 值	Cut-off 值	特异度	敏感度	约登指数
sBSI	0.751	0.621~0.881	0.002	0.127	0.636	0.750	0.386
tBSI	0.788	0.661~0.916	<0.001	0.106	0.727	0.688	0.415
患侧 CBF 值	0.795	0.669~0.922	<0.001	24.855	0.636	0.781	0.417
患侧与健侧 CBF 比值	0.795	0.670~0.920	<0.001	0.485 $\text{mL} \cdot 100 \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$	0.727	0.719	0.446
联合	0.837	0.722~0.951	<0.001	—	0.727	0.750	0.477

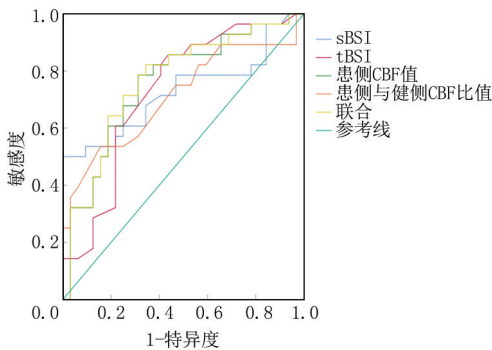


图2 qEEG联合ASL灌注成像对轻中度MCA狭窄的评估价值

Figure 2 Evaluation value of qEEG combined with ASL perfusion imaging for mild to moderate MCA stenosis

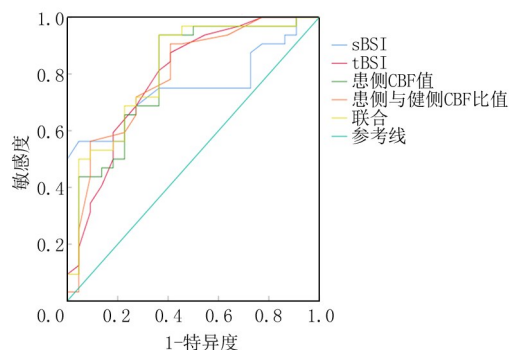


图3 qEEG联合ASL灌注成像对中重度MCA狭窄的评估价值

Figure 3 Evaluation value of qEEG combined with ASL perfusion imaging for moderate to severe MCA stenosis

### 3 讨 论

MCA 是颈内动脉的延续,因供血区域广泛极易发生粥样硬化性狭窄,增加缺血性脑卒中发生风险<sup>[11]</sup>。qEEG 是一种敏感度较高的电生理检查方法,通过运用特定函数模型将常规脑电图中频率、波幅、波形等信息转化为具体量化参数,可使诊断结果更为客观<sup>[12]</sup>。ASL 灌注成像是近年来新兴的一种检查技术,除了能够定量分析脑灌注情况外,还可通过脑组织血流灌注信息判断脑组织功能状态,为临床诊治动脉狭窄提供重要线索和依据<sup>[13-14]</sup>。

本研究根据 CTA 检查结果将单侧 MCA 狭窄患者 82 例分为轻度狭窄组、中度狭窄组和重度狭窄组,并对 3 组 qEEG 和 ASL 灌注成像参数值进行分析,结果显示 3 组 sBSI、tBSI、患侧 CBF、患侧与健侧 CBF 值对比差异均有统计学意义。sBSI、tBSI 是反映 MCA 狭窄患者侧支循环代偿情况和脑电活动的重要参数,sBSI 与 tBSI 数值越接近于 1 代表两侧大脑半球在频率分布和波幅大小方面对称性越差,越接近于 0 代表对称性越好<sup>[15]</sup>。MCA 狭窄发生后,若侧支代偿良好则狭窄侧脑血流灌注较对侧无明显区别,sBSI 与 tBSI 值降低;若 MCA 狭窄程度较重且侧支循环代偿增加时,患侧与健侧脑血流灌注会呈现出显著差异,导致大脑半球间脑电活动不一致,引起 sBSI、tBSI 值增大<sup>[16-17]</sup>。同时,sBSI 与 tBSI 还可随颈内动脉狭窄程度的增加而逐渐增大,MCA 狭窄程度增加可导致狭窄侧脑血流灌注明显降低,致使神经元慢活动增加,从而造成两侧大脑半球脑电信号不一致、sBSI 与 tBSI 值增大<sup>[18-19]</sup>。罗林婷等<sup>[20]</sup>研究给予脑梗死前期 I 期、II 期及脑梗死期患者定量脑电图检查,显示脑梗死期患者 sBSI 与 tBSI 值明显高于脑梗死前期 I 期与 II 期患者,进一步经相关性分析表明 sBSI 与 tBSI 值与脑灌注呈负相关。该项研究证实了 sBSI 与 tBSI 值变化可反映脑灌注情况,但由于该研究纳入病例均为单侧 MCA 重度狭窄患者,无法说明 sBSI 与 tBSI 值在不同 MCA 狭窄程度患者中的变化,而本研究比较了不同狭窄程度患者 sBSI、tBSI 值,显示轻度狭窄组 sBSI、tBSI 值最低,中度狭窄组次之,重度狭窄组最高。

CBF 值是反映脑血流灌注情况的一项参数,CBF 值越低代表脑血流灌注量越少<sup>[21]</sup>。MCA 狭窄程度的增加可导致动脉管径逐渐减小、血管调节能力逐渐降低从而减少脑血管灌注,引起 CBF 值、患侧与健侧 CBF 比值降低<sup>[22]</sup>。此外,CBF 值还可反

映侧支循环代偿情况,侧支血管形成不足时病变远侧脑组织灌注压急剧下降,引起血管代偿性扩张,且随着缺血的持续发展,脑血管调节能力逐渐降低无法维持正常血流量,从而引起 CBF 值降低<sup>[23-24]</sup>。郝晓勇等<sup>[25]</sup>研究对单侧颈内动脉重度狭窄或闭塞的无症状型老年患者行 ASL 灌注成像检查,得出结论全脑 ASL 灌注成像可反映脑动脉重度狭窄或闭塞后脑组织血流灌注情况及侧支循环代偿能力,该项研究证实了 ASL 灌注成像在侧支循环代偿方面的评估价值。ROC 曲线分析显示 sBSI、tBSI、患侧 CBF、患侧与健侧 CBF 比值单独及联合评估轻中度及中重度 MCA 狭窄的 AUC 均 $>0.7$ ,具有中等评估价值,且联合评估价值最佳,说明 qEEG 联合 ASL 灌注成像可提高临床对单侧 MCA 狭窄的评估价值。本研究还比较了不同狭窄程度患者 MoCA 及 MMSE 评分,显示轻度狭窄组 MoCA 及 MMSE 评分最高,中度狭窄组次之,重度狭窄组最低,说明不同 MCA 狭窄程度患者认知功能存在一定差异,这可能与 MCA 狭窄程度越高、脑血流灌注越低、患者认知功能受损越严重有关。

本研究仍存在一定的局限性,由于单侧 MCA 狭窄患者均来自于同一医院,样本代表性有限,而且已有研究<sup>[26]</sup>证实 DTABR 与脑功能状态有关,但由于本研究入选病例数量较少,不同狭窄程度患者 DTABR 值比较差异无统计学意义,后续还应增加样本量进行深入探讨。qEEG 与 ASL 灌注成像参数可能会受患者情绪状态、睡眠质量等因素影响,虽然本研究中参与人员在与患者沟通过程中已尽量消除上述因素对检查的影响,但并不能完全杜绝上述情况的发生。

综上所述,qEEG 联合 ASL 灌注成像可准确评估 MCA 狭窄程度,判断脑血流灌注情况,qEEG 与 ASL 灌注成像测得的 sBSI、tBSI、CBF 等参数对单侧 MCA 狭窄具有重要的评估价值。

#### [参考文献]

- [1] Kong Z, Mo Y, Zhang Z, et al. Neurocognitive improvement after angioplasty in patients with chronic middle cerebral artery stenosis and cerebral ischemia[J]. *Ann Palliat Med*, 2021, 10(2): 1642-1649.
- [2] Zhang D, Wu X, Tang J, et al. Hemodynamics is associated with vessel wall remodeling in patients with middle cerebral artery stenosis[J]. *Eur Radiol*, 2021, 31(7): 5234-5242.
- [3] 金雷雷,王耀辉,吕喆,等.定量脑电图监测在评估急性脑梗死溶栓效果中的应用[J]. *中华危重病急救医学*, 2021, 33(2): 207-210.
- [4] Tagaki H, Kokubo Y, Kawanami K, et al. Arterial spin

- labeling magnetic resonance imaging at short post-labeling delay reflects cerebral perfusion pressure verified by oxygen-15-positron emission tomography in cerebrovascular stenocclusive disease[J]. *Acta Radiol*, 2021, 62(2): 225-233.
- [5] 刘秀颖, 蓝瑞芳. 急性缺血性脑卒中定量脑电图特征与 CT 灌注成像参数的相关性[J]. *上海交通大学学报(医学版)*, 2021, 41(1): 62-65.
- [6] 徐晓哈, 曹际斌, 孙文阁, 等. 多反转恢复时间的磁共振动脉自旋标记灌注成像在缺血性脑血管病中的临床应用价值[J]. *中国临床医学影像杂志*, 2022, 33(7): 457-461.
- [7] 李俊. 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.
- [8] 中华医学会外科学分会血管外科学组. 颈动脉狭窄诊治指南[J]. *中华血管外科杂志*, 2017, 2(2): 78-84.
- [9] Jia X, Wang Z, Huang F, et al. A comparison of the minimal state examination (MMSE) with the montreal cognitive assessment (MoCA) for mild cognitive impairment screening in Chinese middle-aged and older population: a cross-sectional study[J]. *BMC Psychiatry*, 2021, 21(1): 485.
- [10] Kang JM, Cho YS, Park S, et al. Montreal cognitive assessment reflects cognitive reserve[J]. *BMC Geriatr*, 2018, 18(1): 261.
- [11] 赵登玲, 李澄, 陈晓晖, 等. 三维高分辨率磁共振成像对颅内动脉粥样硬化狭窄程度的评估[J]. *临床放射学杂志*, 2021, 40(4): 664-669.
- [12] Wang Y, Liu D, Liu J, et al. Quantitative EEG provides early prediction of poor outcome in acute ischemic stroke after endovascular treatment: a preliminary study[J]. *Neurol Res*, 2021, 43(10): 831-837.
- [13] Liu J, Lin C, Minuti A, et al. Arterial spin labeling compared to dynamic susceptibility contrast MR perfusion imaging for assessment of ischemic penumbra: A systematic review[J]. *J Neuroimaging*, 2021, 31(6): 1067-1076.
- [14] 魏亚军, 王婉, 徐靖媛, 等. 3D-ASL 灌注技术在缺血性脑血管疾病中的应用价值[J]. *中国 CT 和 MRI 杂志*, 2021, 19(3): 16-19.
- [15] 王琴, 张中宝, 宋志彬, 等. 暂时性脑电图对称指数在单侧慢性颈内动脉重度狭窄支架治疗中的应用[J]. *海南医学*, 2018, 29(16): 2340-2342.
- [16] 张新灵, 吕晓波, 史云峰, 等. 脑灌注成像 ASL 及定量脑电图指标 DTABR 在急性脑梗死患者病情及预后评估中的临床价值[J]. *临床和实验医学杂志*, 2022, 21(24): 2668-2671.
- [17] 闫天志, 张超, 刘清祥, 等. 大脑中动脉粥样硬化斑块特征及脑灌注分析与急性脑梗死发生的相关性研究[J]. *磁共振成像*, 2022, 13(5): 106-110.
- [18] Mueller TM, Gollwitzer S, Hopfengärtner R, et al. Alpha power decrease in quantitative EEG detects development of cerebral infarction after subarachnoid hemorrhage early[J]. *Clin Neurophysiol*, 2021, 132(6): 1283-1289.
- [19] Ban M, Zhang Z, Yue J, et al. CT Perfusion alterations in patients with symptomatic and asymptomatic unilateral middle cerebral artery severe stenosis or occlusion[J]. *Curr Neurovasc Res*, 2023, 20(1): 62-69.
- [20] 罗林婷, 宋志彬, 王琴, 等. 定量脑电图在监测大脑中动脉重度狭窄侧脑灌注中的应用[J]. *实用医学杂志*, 2019, 35(9): 1482-1486, 1491.
- [21] 周芯羽, 董万利, 张永刚, 等. 脑磁共振灌注成像在大脑中动脉狭窄与闭塞患者中的应用价值分析[J]. *现代生物医学进展*, 2021, 21(6): 1055-1058, 1063.
- [22] 朱丽娜, 吴江, 杨朝慧, 等. 双时相 3D-pCASL 评估单侧大脑中动脉重度狭窄或闭塞病人脑血管储备能力的临床价值[J]. *中西医结合心脑血管病杂志*, 2022, 20(13): 2460-2463.
- [23] Amemiya S, Takao H, Watanabe Y, et al. Reliability and sensitivity to longitudinal CBF changes in steno-occlusive diseases: ASL versus 123 I-IMP-SPECT[J]. *Magn Reson Imaging*, 2022, 55(6): 1723-1732.
- [24] 程艳华, 金颢洋, 常莹, 等. 双延迟 3D-ASL 评估单侧大脑中动脉闭塞患者侧支循环的预后价值[J]. *中国实验诊断学*, 2023, 27(9): 1020-1024.
- [25] 郝晓勇, 吴江, 杨朝慧, 等. ASL 灌注成像评价无症状型单侧颈内动脉重度狭窄或闭塞老年患者脑血流动力学改变及 Willis 环侧支代偿作用[J]. *放射学实践*, 2020, 35(4): 462-466.
- [66] Chen Y, Wang L, Zhang J, et al. Monitoring of patients with brainstem hemorrhage: A simultaneous study of quantitative electroencephalography and transcranial Doppler [J]. *Clin Neurophysiol*, 2021, 132(4): 946-952.

(本文编辑:何祯)