

## 磁共振 3DASL 成像在癫痫致病灶定位中的应用

祁龙飞, 计春雨, 刘启\*

包头医学院第二附属医院影像科 内蒙古包头

**【摘要】目的** 应用磁共振 3DASL 技术获取癫痫患者发作后脑 CBF 图像,应用相关软件提取基于标准脑 AAL 模板大脑 90 个脑区的 CBF 值并结合脑电图,初步探讨磁共振 3DASL 技术在癫痫致病灶定位中的价值。**方法** 回顾性分析 2023 年 1 月至 2024 年 5 月期间,于包头医学院第二附属医院门诊和住院确诊为癫痫的 20 例患者,症状发作 3 日内有完整的 EEG 和磁共振 3DASL 检查结果,并招募对照组 20 例。使用基于 MATLAB R2021b 平台的 SPM12 软件将 CBF 图 DICOM 格式转换成 NifTI 格式;将 CBF 图像标准化至蒙特利尔神经研究所(MNI)标准空间;用 DPABI 软件采用“Mean Division”方法将所有数据进行归一化处理;将归一化后的图像进行平滑处理(FWHM=8mm),最后将平滑后的 CBF 图像经 DPABI 软件提取基于 AAL 模板大脑灰质 90 个脑区的 CBF 值。将对照组大脑血流平均值+1.5 倍标准差(Mean+1.5SD)作为标准,大于该值为高灌注,病例组每个被试与该标准比较筛选出高灌注脑区,并与 EEG 异常放电区进行一致性分析。**结果** 对照组左侧海马 CBF 值高于病例组( $p<0.05$ )。对照组在左侧中央前回、左眶部额上回、右眶部额上回、左眶部额中回、右眶部额中回、左岛盖部额下回、左三角部额下回、左眶部额下回、左眶内额上回、右眶内额上回、左中央后回 CBF 值低于病例组( $p<0.05$ )。病例组高灌注脑区与脑电图异常放电区具有较高一致性( $\kappa=0.857$ )。**结论** 3DASL 在癫痫发作后早期可观察到局部灌注异常,其空间分布与 EEG 异常放电区具有较高一致性,提示其可作为多模态评估中的辅助定位指标。

**【关键词】** 癫痫; ASL; 脑电图

**【基金项目】** 包头医学院青年科技人才发展计划项目(BYJJ-DXK2022050)

**【收稿日期】** 2026 年 1 月 7 日

**【出刊日期】** 2026 年 2 月 5 日

**【DOI】** 10.12208/j.ijcr.20260063

### Localization of epileptogenic foci using 3D-ASL MRI

Longfei Qi, Chunyu Ji, Qi Liu\*

Department of Radiology, The Second Affiliated Hospital of Baotou Medical College, Baotou, Inner Mongolia

**【Abstract】Objective** To acquire cerebral blood flow (CBF) images of epilepsy patients after seizures using magnetic resonance 3D arterial spin labeling (3DASL) technology, extract CBF values of 90 brain regions based on the standard Automated Anatomical Labeling (AAL) template via relevant software, and combine these data with electroencephalography (EEG) results to preliminarily explore the value of magnetic resonance 3DASL technology in localizing epileptogenic foci. **Methods** A retrospective analysis was conducted on 20 patients diagnosed with epilepsy in the outpatient and inpatient departments of the Second Affiliated Hospital of Baotou Medical College between January 2023 and May 2024. All patients had complete EEG and magnetic resonance 3DASL examination results within 3 days after symptom onset. A control group of 20 subjects was also recruited. The SPM12 software based on the MATLAB R2021b platform was used to convert CBF images from DICOM format to NifTI format, and to normalize the CBF images to the standard space of the Montreal Neurological Institute (MNI). All data were normalized using the “Mean Division” method with DPABI software, followed by spatial smoothing of the normalized images (full width at half maximum [FWHM] = 8 mm). Finally, the CBF values of 90 gray matter brain regions based on the AAL template were extracted from the smoothed CBF images using DPABI software. The threshold for hyperperfusion was defined as the mean CBF value of the control group plus 1.5 times the standard deviation (Mean + 1.5SD). For each subject in the patient group,

\*通讯作者: 刘启

brain regions with CBF values exceeding this threshold were identified as hyperperfusion regions. Consistency analysis was then performed between these hyperperfusion regions and the regions of abnormal EEG discharges. **Results** The CBF value of the left hippocampus in the control group was significantly higher than that in the patient group ( $p < 0.05$ ). In contrast, the CBF values of the control group in the left precentral gyrus, left orbital superior frontal gyrus, right orbital superior frontal gyrus, left orbital middle frontal gyrus, right orbital middle frontal gyrus, left opercular inferior frontal gyrus, left triangular inferior frontal gyrus, left orbital inferior frontal gyrus, left orbital internal superior frontal gyrus, right orbital internal superior frontal gyrus, and left postcentral gyrus were significantly lower than those in the patient group ( $p < 0.05$ ). There was a high consistency between the hyperperfusion brain regions in the patient group and the regions of abnormal EEG discharges ( $\kappa = 0.857$ ). **Conclusion** 3DASL can detect local perfusion abnormalities in the early stage after epileptic seizures. The spatial distribution of these abnormalities shows high consistency with the regions of abnormal EEG discharges, suggesting that 3DASL may serve as an auxiliary localization index in multimodal evaluation.

**【Keywords】** Epilepsy; ASL; EEG

癫痫可发生于任何年龄,严重影响患者生活质量及心理健康。药物是控制癫痫发作的主要方法,但是仍有 30%左右癫痫患者药物治疗难以控制<sup>[1]</sup>。难治性癫痫常需要手术治疗,精确的致痫区域定位是手术治疗成功与否的关键,如果致痫灶不能被完全切除,术后可能会再次癫痫发作。目前脑电图(EEG)、磁共振脑结构成像、功能成像、脑灌注成像及脑 PET 成像均已广泛应用于癫痫疾病的研究中。根据脑组织和致病过程的一些新发现,诸多学者对癫痫进行了进一步研究,电生理学和神经成像研究的结合是识别大脑区域和参与癫痫活动传播的所谓“致痫网络”的最有前景的方法<sup>[2]</sup>。动脉自旋标记(three-dimensional arterial spin labeling, 3DASL)是一种非侵入性的 MRI 灌注方法,可以通过标记血液中的氢质子作为内源性可扩散示踪剂来评估脑血流变化,3DASL 不需要外源性造影剂或暴露在电离辐射中来测量脑血流,此外氢质子可自由通过血脑屏障,能够真实反映脑血流状态。最近的研究显示 3DASL 血流灌注改变的区域与通过正电子发射断层扫描(PET)和 EEG 技术在识别的脑代谢异常区域和异常电活动区域之间有一定的一致性<sup>[3,4]</sup>。将癫痫持续状态患者的脑 CBF 图像与 EEG 异常放电区域进行对比发现,异常放电区域脑组织的 CBF 值存在异常,当癫痫发作时致痫区域 CBF 值升高,间歇期致痫区域则表现为 CBF 值降低<sup>[5]</sup>,因此利用脑血流量的异常定位致痫灶是可行的<sup>[6]</sup>。

## 1 研究对象及方法

### 1.1 研究对象

依据 2017 年国际抗癫痫联盟提出的癫痫分类标准回顾性分析 2023 年 1 月至 2024 年 5 月期间,于包头医学院第二附属医院门诊和住院确诊为癫痫患者,症

状发作 3 日内有完整的视频脑电图和磁共振 3DASL 检查结果。记录患者年龄、性别及视频脑电图结果,获取颅脑磁共振 3DASL 影像资料。并设立年龄及性别匹配的健康对照。

正常对照入组标准: 20 例,①健康体检人群,无 MRI 检查禁忌;②颅脑 MRI 检查无异常;③无神经系统相关疾病;④近期无服用精神类药物史。

对照组与病例组比较,年龄、性别无统计学差异 ( $P > 0.05$ )

### 1.2 数据分析及 3DASL 扫描参数

视频脑电图异常放电区域与磁共振 3DASL 高灌注脑区一致性分析结果:由两名高年资医师诊断,如意见不一致则由第三名高年资医师再次进行评估分析。

磁共振设备及扫描参数:设备: GE Architect3.0T, 线圈: 19HN, 层厚: 4mm, 层数: 72, PLD: 1.5s, TR/TE: 4642/10.7, Arms: 8, Time: 4: 20s, FOV: 240mm×240mm。

### 1.3 数据处理

①拷贝 GE ADW-4.7 工作站自动生成的脑 CBF 图像,使用基于 MATLAB R2021b 平台的 SPM12 软件将 DICOM 格式转换成 NifTI 图像格式;②应用“一步配准法”对图像进行空间标准化,Normalise Template Image 选择 PET.nii,③应用 DPABI 软件采用“Mean Division”方法将所有数据进行归一化处理;④使用 SPM12 软件对归一化后的图像进行平滑处理(高斯平滑核 FWHM=8mm);⑤将平滑后的 CBF 图像经 DPABI 软件提取基于 AAL 模板大脑灰质 90 个脑区 CBF 值。

### 1.4 病例组 CBF 值分析

计算对照组大脑 CBF 值均数和标准差,以均数+1.5×标准差(Mean+1.5SD)作为参考值,即如果病例组被试任一脑区 CBF 值大于该参考值,则认为该脑

区属于高灌注, 并与脑电图结果进行一致性分析。

1.5 统计分析

使用社会统计学软件包 SPSS.26.0 对数据进行统计学分析。①对照组与病例组的年龄使用独立样本 T 检验, 性别使用卡方检验。②对照组与病例组脑 CBF 图比较采用团块水平 FDR 多重比较校正, 取年龄、性别为协变量, 团块水平为  $P < 0.001$ 。③对照组与病例组存在差异脑区的 CBF 值均呈正态分布且方差齐, 使用独立样本 T 检验,  $P < 0.05$  表示差异有统计学意义。④异常 CBF 值脑区与脑电图结果进行一致性分析, 采用 Kappa 检验,  $P < 0.05$  表示差异有统计学意义。

2 结果

2.1 异常 CBF 值分布

与对照组比较左侧海马局部 CBF 值下降(图 1)。与对照组比较, 左侧中央前回、左眶部额上回、右眶部额上回、左眶部额中回、右眶部额中回、左岛盖部额下回、左三角部额下回、左眶部额下回、左眶内额上回、右眶内额上回、左中央后回 CBF 值升高, 主要分布在额叶(图 2)。

2.2 对照组与病例组差异脑区 CBF 值比较

对照组左侧海马 CBF 值高于病例组,  $p < 0.05$ , (表 1)。对照组在左侧中央前回、左眶部额上回、右眶部额上回、左眶部额中回、右眶部额中回、左岛盖部额下回、左三角部额下回、左眶部额下回、左眶内额上回、右眶内额上回、左中央后回 CBF 值低于病例组,  $p < 0.05$ , (表 1)。

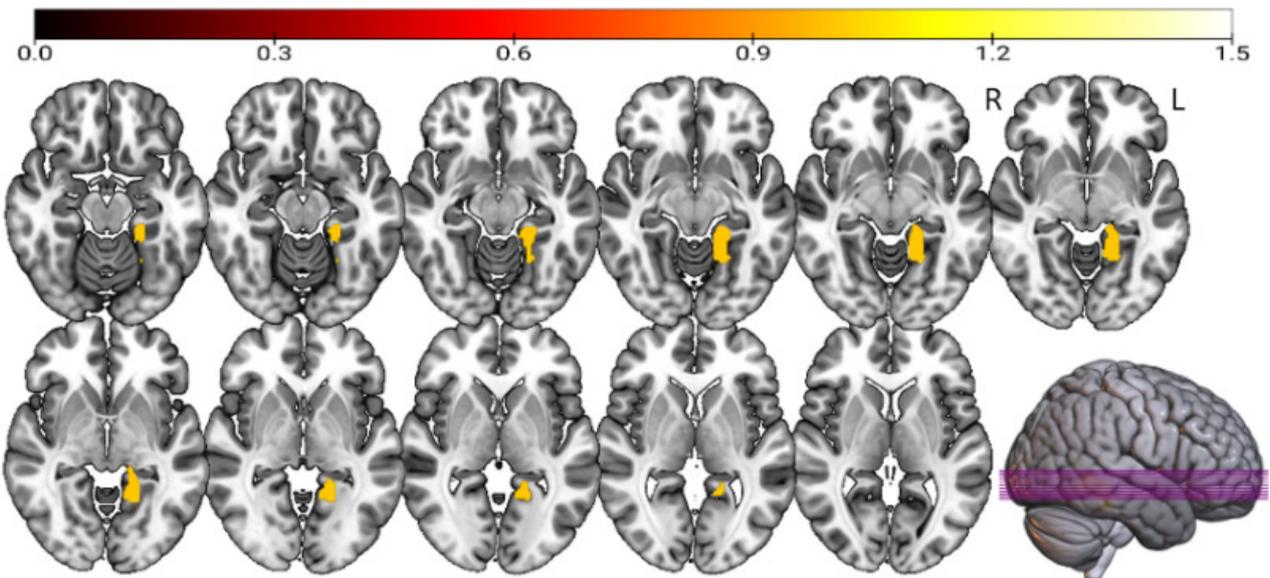


图 1 对照组 CBF 值大于病例组脑区, 团块水平  $p < 0.001$

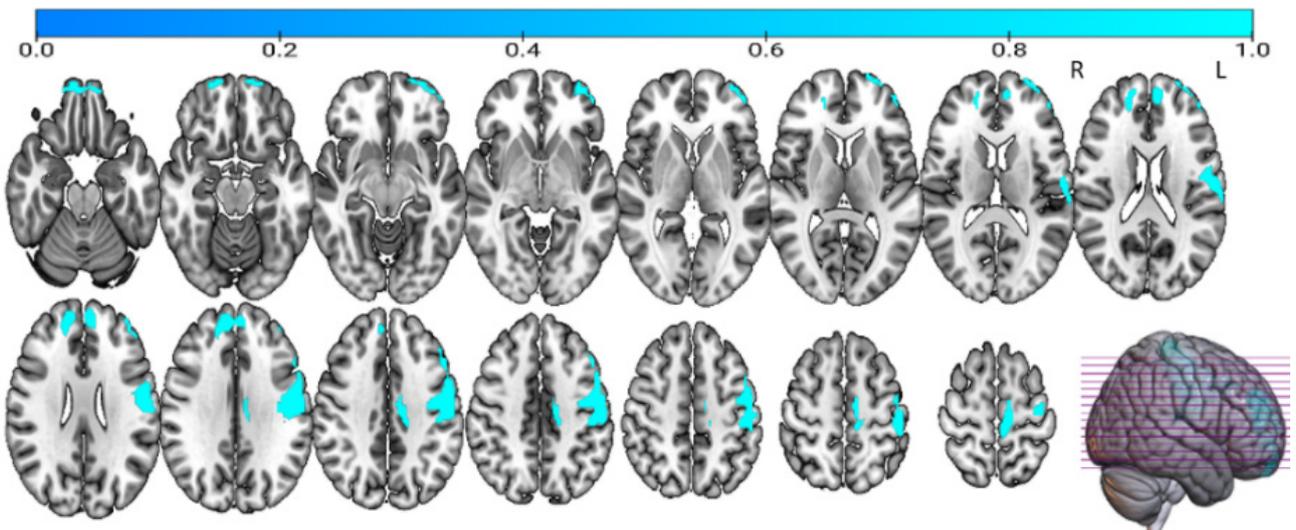


图 2 对照组 CBF 值小于病例组脑区, 团块水平  $p < 0.001$

表 1 对照组与病例组相同脑区 CBF 值比较 ( $\bar{x} \pm s$ )

脑区	对照组 CBF 值	病例组 CBF 值	T 值	P 值
01_PreCG.L	1.405±0.117	1.584±0.187	-3.598	<0.01
05_SFGorb.L	1.664±0.184	1.832±0.179	-2.724	<0.01
06_SFGorb.R	1.681±0.168	1.816±0.174	-2.462	<0.05
09_MFGorb.L	1.426±0.149	1.657±0.204	-4.053	<0.01
10_MFGorb.R	1.724±0.139	1.890±0.282	-2.341	<0.05
11_IFGoper.L	1.876±0.108	2.026±0.151	-3.587	<0.01
13_IFGtri.L	1.688±0.111	1.877±0.176	-4.030	<0.01
15_IFGorb.L	1.791±0.196	1.944±0.238	-2.191	<0.05
25_SFGmorb.L	1.939±0.227	2.109±0.204	-2.449	<0.05
26_SFGmorb.R	2.052±0.214	2.242±0.298	-2.292	<0.05
57_PoCG.L	1.461±0.096	1.555±0.180	-2.042	<0.05
37_HIPL	1.870±0.190	1.728±0.214	2.192	<0.05

### 2.3 病例组高灌注脑区与脑电图一致性分析

病例组被试 CBF 值大于对照组 Mean+1.5SD (2.306)脑区与视频脑电图异常放脑区一致性分析, 结果显示二者具有较好的一致性,  $\kappa=0.857$ ,  $P<0.01$ , (表 2)。

表 2 病例组各被试高灌注脑区与视频脑电图异常放脑区一致性分析 (单位: 例)

		EEG			Kappa	p
		+	-	合计		
CBF	+	15	1	16	0.857	<0.01
	-	0	4	4		
合计		15	5	20		

### 3 讨论

癫痫致痫灶的定位在癫痫的治疗中尤为重要, 目前 PET-MRI 是癫痫定位诊断的重要检查技术, 但由于该诊断技术检查要求较高, 且需注射造影剂, 临床应用较为局限。磁共振 3DASL 技术可无创获取大脑 CBF 值, 并且不受血脑屏障限制, 在神经系统疾病鉴别诊断中发挥着重要作用。3DASL 数据分析方法种类很多, 大部分方法对测量者诊断水平和经验有依赖性, 采用基于 AAL 模板提取大脑 90 个脑区 CBF 值再进行统计分析, 排除了测量者的主观因素, 理论上结果会更加准确。本研究将对照组和病例组的 CBF 图像经 SPM12 和 DPABI 软件标准化后进行比较, 发现癫痫发作 3 日内,

除左侧海马 CBF 值降低外, 大部分额叶脑区 CBF 值高于对照组, 按照 AAL 模板提取大脑存在差异的灰质脑区 CBF 值, 经统计学分析, 符合上述结果, 表明癫痫发作后 3 日内致痫灶仍然处于高灌注状态。癫痫发作时及发作后异常高灌注可以持续很长时间<sup>[7]</sup>, 这可能与患者癫痫发作持续时间长或者发作次数频繁有关<sup>[8]</sup>。

由于脑血流量受诸多因素影响, 如个体差异、环境、技术方法等, 目前对高灌注、低灌注的界定尚无统一标准。Noelle T. Abbott<sup>[9]</sup>在研究慢性失语症中脑血流低灌注的个体化定义方法时提出基于个体右半球脑血流 (CBF) 的 1.5 倍标准差 (Mean-1.5SD) 阈值定义低灌注, 量化病灶周围低灌注组织范围, 并分析其与语言功能的关系, 结果显示个体化阈值能更精准识别功能受损组织。本研究以对照组被试大脑 CBF 的平均值加 1.5 倍标准差 (Mean+1.5SD) 为标准, 大于该标准即假设为“高灌注”, 在病例组每个被试的 90 个脑区中筛选出大于对照组 Mean+1.5SD 的全部脑区, 与脑电图异常放脑区进行一致性分析, 具有较好的一致性 ( $\kappa=0.857$ )。说明获取大脑灰质各脑区的 CBF 值, 能够直接反映其功能状态, 在癫痫致痫灶的评估和定位有着重要意义。

本研究局限性: ①样本量少; ②病例组未将癫痫发作次数、发作时长纳入分析; ③关于 Mean+1.5SD 只是初步探讨, 能否作为评价高灌注标准, 需要大样本量和多中心数据得出结论。

## 参考文献

- [1] Kwan P, Arzimanoglou A, Berg A T, et al. Definition of drug resistant epilepsy: consensus proposal by the ad hoc Task Force of the ILAE Commission on Therapeutic Strategies[J]. *Epilepsia*, 2010,51(6):1069-1077.
- [2] Bartolomei F, Lagarde S, Wendling F, et al. Defining epileptogenic networks: contribution of SEEG and signal analysis. *Epilepsia* 2017;58(7):1131e47.
- [3] Storti SF, Boscolo Galazzo I, Del Felice A, et al. Combining ESI, 3DASL and PET for quantitative assessment of drug-resistant focal epilepsy. *Neuroimage* 2014;102(P1):49e59.
- [4] Pendse N, Wissmeyer M, Altrichter S, et al. Interictal arterial spinlabelling MRI perfusion in intractable epilepsy. *J Neuroradiol* 2010;37(1):60e3.
- [5] Matsuura K, Maeda M, Okamoto K, et al. Usefulness of arterial spin-labeling images in periictal state diagnosis of epilepsy[J]. *J Neurol Sci*, 2015,359(1-2):424-429.
- [6] Sierra-Marcos A, Carreño M, Setoain X, et al. Accuracy of arterial spin labeling magnetic resonance imaging (MRI) perfusion in detecting the epileptogenic zone in patients with drug-resistant neocortical epilepsy: comparison with electrophysiological data, structural MRI, SISCOM and FDG-PET[J]. *Eur J Neurol*, 2016,23(1):160-167.
- [7] Muraio K, Morioka T, Shimogawa T, et al. Various pathophysiological states of acute symptomatic seizures immediately after ischemic stroke, namely "onset seizures," shown by complementary use of peri-ictal magnetic resonance imaging and electroencephalography [J]. *Neurology and Clinical Neuroscience*, 2017, 5 (6).
- [8] Matsuura K, Maeda M, Okamoto K, et al. Usefulness of arterial spin-labeling images in periictal state diagnosis of epilepsy[J]. *J Neurol Sci*. 2015. 359(1-2): 424-9.
- [9] Noelle T. Abbott, Carolyn J. Baker, Conan Chen. Defining Hypoperfusion in Chronic Aphasia: An Individualized Thresholding Approach[J]. *Brain Sci*. 2021, 11, 491.

版权声明: ©2026 作者与开放获取期刊研究中心 (OAJRC) 所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



**OPEN ACCESS**