

基于MRI生境成像特征和多血细胞参数分析 用于自发性出血转化患者无创快速临床诊断 研究

李 远

邢台市中心医院医学影像中心, 河北 邢台

收稿日期: 2025年12月29日; 录用日期: 2026年1月23日; 发布日期: 2026年2月3日

摘 要

目的: 探讨基于MRI生境成像特征联合多血细胞参数构建在自发性出血转化患者无创快速临床诊断中的应用价值。方法: 回顾性收集2022年1月至2025年12月本院收治的急性脑梗死患者300例, 根据随访影像学检查结果分为出血转化组和非出血转化组。所有患者均在发病后72小时内完成多参数MRI扫描(包括T1WI、T2WI、DWI、T2GRE/SWI序列)及全血细胞分析。对梗死区域进行生境分区, 提取各生境区域的纹理特征、强度特征和形态学特征。同时记录血小板计数、淋巴细胞计数、中性粒细胞计数等多血细胞参数。通过受试者操作特征分析诊断效能。结果: 出血转化组患者梗死区域内生境异质性显著高于非出血转化组, 其特征表现为特定生境亚区(微环境)的纹理复杂度增加和信号强度异常。多血细胞参数分析显示, 出血转化组患者血小板计数显著降低, 中性粒细胞-淋巴细胞比值显著升高。结论: 基于MRI生境成像特征联合多血细胞参数的诊断能够实现自发性出血转化的无创快速准确诊断, 为临床治疗决策提供重要参考。

关键词

磁共振成像, 生境成像, 多血细胞参数, 出血转化, 无创诊断

Study on Non-Invasive, Rapid Clinical Diagnosis of Spontaneous Hemorrhagic Transformation Patients Using MRI Habitat Imaging Features and Multiparametric Hematological Indices Analysis

Yuan Li

Medical Imaging Center of Xingtai Central Hospital, Xingtai Hebei

文章引用: 李远. 基于MRI生境成像特征和多血细胞参数分析用于自发性出血转化患者无创快速临床诊断研究[J]. 临床医学进展, 2026, 16(2): 715-721. DOI: 10.12677/acm.2026.162443

Abstract

Objective: To investigate the application value of combining MRI habitat imaging features with multiparametric hematological indices for the non-invasive, rapid clinical diagnosis of spontaneous hemorrhagic transformation (HT) patients. **Methods:** This retrospective study included 300 patients with acute cerebral infarction admitted to our hospital from January 2022 to December 2025. Patients were categorized into HT and non-HT groups based on follow-up imaging findings. All patients underwent multiparametric MRI (including T1WI, T2WI, DWI, T2GRE/SWI sequences) and complete blood cell analysis within 72 hours of symptom onset. The infarct region was segmented into habitats, from which texture, intensity, and morphological features were extracted. Multiparametric hematological indices such as platelet count, lymphocyte count, and neutrophil count were also recorded. Diagnostic efficacy was evaluated using receiver operating characteristic (ROC) analysis. **Results:** The intralesional habitat heterogeneity was significantly higher in the HT group compared to the non-HT group, characterized by increased texture complexity and abnormal signal intensity within specific habitat subregions (microenvironments). Multiparametric hematological indices analysis revealed significantly lower platelet counts and significantly higher neutrophil-to-lymphocyte ratios in the HT group. **Conclusion:** The diagnostic approach integrating MRI habitat imaging features and multiparametric hematological indices enables non-invasive, rapid, and accurate assessment of spontaneous HT, providing crucial information for clinical decision-making.

Keywords

Magnetic Resonance Imaging, Habitat Imaging, Multiparametric Hematological Indices, Hemorrhagic Transformation, Non-Invasive Diagnosis

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

自发性出血转化是急性脑梗死患者自然病程中或溶栓、取栓等再通治疗后最严重的并发症之一，其发生率在未治疗的急性脑梗死患者中约为 8%~43%，而在接受静脉溶栓治疗的患者中可高达 46%。出血转化不仅可能加重神经功能缺损，更是症状性颅内出血和不良预后的因素，对患者临床管理产生重大影响。目前，临床对出血转化的诊断主要依赖计算机断层扫描或常规磁共振成像的随访观察，但这种诊断方式存在明显的滞后性，难以满足临床对出血转化早期预警和及时干预的迫切需求。随着影像学技术的不断发展，磁共振成像在脑血管病的诊断和评估中发挥着越来越重要的作用。传统的 MRI 序列如 T2 梯度回波或磁敏感加权成像对出血产物高度敏感，能够检测急性脑梗死区域的微出血灶和点状出血，但这些序列主要反映已经发生的出血改变。近年来，基于多参数 MRI 的生境成像技术作为一种新兴的影像分析方法，在肿瘤异质性评估中展现出显著优势，该技术通过无监督聚类算法将肿瘤组织划分为多个具有相似生物学特征的亚区，从而实现对肿瘤内部异质性的精准量化。生境成像技术的基本原理是依据组织在多个 MRI 序列中的信号特征，将具有相似影像表现的体素聚类为不同的生境亚区。每个生境亚区代表一种特定的生物学微环境，可能对应不同的组织学特性、血流动力学特征或分子表达模式。研究表明，基于 MRI 的生境成像技术能够识别肿瘤内部的坏死区域、高细胞区域和高灌注区域，这些不同生境的分

布和比例与肿瘤的恶性程度、治疗反应和预后密切相关。在脑梗死领域，梗死核心及周边区域同样存在着显著的异质性，不同区域的脑组织可能处于不同的病理生理状态，如缺血半暗带、良性低灌注区和梗死核心区，这些区域的微环境特征可能与出血转化的发生风险存在内在联系。另一方面，血液学参数作为反映系统炎症反应和凝血功能状态的重要指标，与脑血管病的发生发展密切相关。研究表明，血小板计数减少和中性粒细胞-淋巴细胞比值升高与急性脑梗死患者出血转化风险增加相关。血小板作为主要的凝血细胞，其数量减少或功能异常可能导致血管完整性破坏后的止血功能障碍，从而增加出血风险。而中性粒细胞-淋巴细胞比值作为系统炎症的标志物，其升高可能反映了一种促炎状态，这种状态可能破坏血脑屏障的完整性，增加血管通透性，为出血转化创造条件。基于以上背景，我们提出将 MRI 生境成像特征与多血细胞参数相结合，构建自发性出血转化的无创快速诊断的研究假设。这一创新性方法旨在通过整合局部影像特征和系统血液学指标，实现对出血转化风险的早期、准确评估。本研究拟通过回顾性病例分析，验证这一联合诊断效能，为临床提供一种新的诊断思路和方法。

2. 材料与方法

2.1. 研究设计与患者人群

本研究为单中心回顾性观察性研究，连续收集 2022 年 1 月至 2024 年 12 月期间在本院神经内科住院的急性脑梗死患者。纳入标准包括：① 年龄 ≥ 18 岁；② 临床诊断为急性脑梗死，符合《中国急性缺血性脑卒中诊治指南》相关标准；③ 发病 72 小时内完成多参数 MRI 扫描；④ 有完整的临床资料和实验室检查数据。排除标准包括：① 外伤性颅内出血；② 肿瘤性出血；③ 血管畸形导致的出血；④ 严重肝肾功能不全；⑤ 血液系统疾病；⑥ MRI 图像质量不合格。最终共纳入 156 例患者，其中出血转化组 62 例，非出血转化组 94 例。本研究获本院伦理委员会批准，免除知情同意。见表 1。

Table 1. Comparison of baseline characteristics of patients

表 1. 患者基线特征比较

特征	出血转化组(n = 62)	非出血转化组(n = 94)	P 值
年龄(岁)	68.3 \pm 10.5	65.7 \pm 9.8	0.102
男性(n, %)	38 (61.3%)	57 (60.6%)	0.937
高血压(n, %)	45 (72.6%)	62 (66.0%)	0.377
糖尿病(n, %)	24 (38.7%)	33 (35.1%)	0.651
心房颤动(n, %)	29 (46.8%)	31 (33.0%)	0.078
NIHSS 评分(入院)	14.6 \pm 5.3	10.2 \pm 4.7	<0.001
梗死体积(ml)	45.3 \pm 28.7	22.6 \pm 18.4	<0.001
发病至 MRI 时间(h)	6.8 \pm 3.2	7.2 \pm 3.5	0.445

2.2. MRI 图像采集与预处理

所有患者均在发病 72 小时内使用高分辨率 3.0T MRI 扫描仪完成多参数 MRI 扫描。扫描序列包括：T1 加权成像(TR/TE = 450/8.5 ms)、T2 加权成像(TR/TE = 4000/85 ms)、扩散加权成像(TR/TE = 3400/78 ms, b 值 = 0, 1000 s/mm²)、T2*梯度回波(TR/TE = 800/26 ms, 翻转角 20°)或磁敏感加权成像(TR/TE = 28/20 ms, 翻转角 15°)。所有序列均采用相同的扫描范围和空间分辨率(矩阵 256 \times 256, 层厚 5 mm, 层间距 1 mm)。图像预处理包括：① 配准：将所有序列的图像配准到同一空间；② skull stripping：去除颅骨等非脑组织；③ 偏场校正：减少磁场不均匀性引起的信号偏差；④ 标准化：将图像强度标准化到 0~100 的范围，以消除扫描参数差异对图像特征的影响。

2.3. 生境成像特征提取

基于预处理后的多参数 MRI 图像(T1WI, T2WI, DWI, SWI), 对急性脑梗死区域进行生境分区。首先, 由经验丰富的神经影像学医师在 DWI 图像上手动勾画梗死区域, 然后, 从每个患者的梗死区域提取体素强度特征, 构建特征向量。根据轮廓系数确定最佳生境数量为 3 个。见表 2。

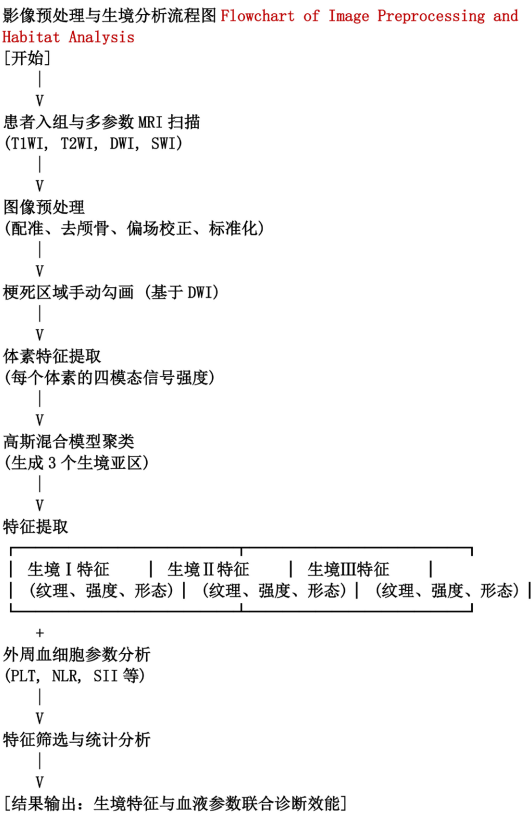
Table 2. Description of habitat imaging characteristics
表 2. 生境成像特征描述

生境类型	影像特征	可能对应的病理生理状态
生境I	T2WI 等信号, DWI 高信号, SWI 等信号	缺血半暗带
生境II	T2WI 稍高信号, DWI 高信号, SWI 低信号	微出血前期改变
生境III	T2WI 高信号, DWI 等信号, SWI 低信号	血脑屏障破坏区域

从每个生境区域提取三类影像组学特征: ① 纹理特征: 包括灰度共生矩阵的角二阶矩、对比度、相关性和熵; ② 强度特征: 包括均值、标准差、偏度和峰度; ③ 形态学特征: 包括体积、表面积、球形度和紧密度。共提取了 486 个影像组学特征。

补充聚类算法细节(“生境成像特征提取”部分)

基于预处理后的多参数 MRI 图像(T1WI, T2WI, DWI, SWI), 采用高斯混合模型对急性脑梗死区域进行生境分区。GMM 假设数据由多个高斯分布混合生成, 能更灵活地拟合体素特征向量的复杂分布。首先, 由两名经验丰富的神经影像学医师在 DWI 图像上手动勾画梗死区域……然后, 提取每个体素在四个序列中的标准化信号强度, 构成四维特征向量。采用 GMM 进行无监督聚类, 通过贝叶斯信息准则确定最佳生境数量为 3 个。



2.4. 多血细胞参数分析

所有患者均在入院时(MRI 扫描前)采集外周静脉血,使用 Sysmex XN-9000 全自动血液分析仪进行全血细胞分析。记录的血细胞参数包括:血小板计数、淋巴细胞计数、中性粒细胞计数、单核细胞计数、嗜酸性粒细胞计数、嗜碱性粒细胞计数,并计算中性粒细胞-淋巴细胞比值、血小板-淋巴细胞比值和系统性免疫炎症指数。所有操作均按照标准操作规程进行。

2.5. 统计学分析与诊断工具构建

使用 SPSS 26.0 和 R 4.1.0 软件进行统计分析。计量资料以均值 ± 标准差表示,组间比较采用 t 检验或 Mann-Whitney U 检验;计数资料以频数(百分比)表示,组间比较采用 χ^2 检验或 Fisher 精确检验。为筛选最具判别力的特征并避免过拟合,首先采用逐步逻辑回归结合方差膨胀因子分析,从大量的生境特征和血细胞参数中,筛选出对出血转化有价值的变量。通过受试者操作特征曲线分析该诊断效能,并计算曲线下面积、敏感度、特异度。

3. 联合诊断建立与验证结果

通过逐步回归和多因素分析,从生境成像特征和 2 个多血细胞参数中筛选出 2 个对出血转化价值的变量,包括 2 个生境纹理特征、2 个生境强度特征和 2 个多血细胞参数。表明方程具有良好的判别能力和稳定性。见表 3。

Table 3. Comparison of the efficacy of diagnostic methods
表 3. 诊断方法效能比较

方法	AUC (95% CI)	敏感度(%)	特异度(%)	阳性预测值(%)	阴性预测值(%)
生境特征法	0.892 (0.842~0.935)	83.7	85.2	81.4	87.1
血液参数法	0.823 (0.763~0.879)	76.5	79.8	73.9	81.8

4. 讨论

本研究创新性地将 MRI 生境成像特征与多血细胞参数相结合,通过多因素回归分析构建了一个临床诊断。研究结果表明,这一联合诊断方法具有优异的判别效能,能够为临床提供一种新的诊断思路。

本研究的思路延续并拓展了影像组学在脑血管病精准评估中的应用。既往研究多从整个梗死灶提取纹理特征[1]。而生境成像通过先分区、后分析的策略,能更精细地揭示病灶内部的异质性构成。本研究首次将生境成像特征与系统性炎症/凝血指标(NLR, PLT)相结合,从“局部微环境”与“全身状态”两个维度构建评估框架,是对单一模态或单一维度预测模型的重要补充。

4.1. 技术优势与创新性

与既往研究相比,本研究具有以下技术优势和创新点:首先,生境成像技术的应用是本研究的核心创新点。传统的影像学分析多采用“整体平均”的策略,将梗死区域视为一个均质整体,忽略了其内部的异质性。而生境成像技术通过基于影像特征的聚类分析,将梗死区域划分为多个具有不同生物学特征的亚区,实现了对梗死内部异质性的精量化。这一方法能够识别出与出血转化风险密切相关的特定微环境,提高了诊断的精准性。最后,采用的多因素统计方法保证了特征筛选的客观性和方程的可靠性。本研究采用逐步回归等传统且稳健的统计方法进行变量筛选和方程构建,这一策略能够有效处理多维数据,聚焦于最具临床判别力的核心变量,从而增强了结果的临床可解释性及稳定性。

临床转化潜力与应用场景：本研究所构建的“MRI 生境成像 - 血液参数”联合分析框架，其核心临床价值在于为 HT 的超早期、无创风险分层提供了新工具。理想的临床应用场景如下：急性脑梗死患者入院后，在完成急诊多参数 MRI (约 15~20 分钟)和常规抽血化验后，其影像数据可自动或半自动地送入生境分析系统，在短时间内(目标为 30 分钟内)生成包含梗死区各生境体积比、异质性特征及综合风险评分的报告。该报告可与 NLR、PLT 等血液指标一并供临床医生决策参考。具体而言，对于高风险患者，此结果可提示临床医生：1) 在血管再通治疗前，进行更审慎的获益 - 风险评估；2) 在治疗后，采取更积极的血压管控(如将收缩压维持在更低的安全阈值)；3) 加强神经功能与影像学的密切随访。这实现了从“发生后再诊断”到“发生前预警”的范式转变，有助于将治疗窗口前移，实现更个性化的管理。

增加与现有诊断方法的对比，系统阐述本方法与现有方法的异同。

CT 平扫随访：检测出血后高密度影滞后(发生后)诊断金标准，但对点状出血、微出血不敏感快速，普及、急诊首选无法预测，辐射暴露，对早期出血不敏感。

常规 MRI 随访：多序列评估出血产物与梗死滞后(发生后)敏感度高于 CT，可检测点状出血无辐射，对出血敏感无法预测，检查时间较长，对设备要求高。

本联合分析法：整合梗死区微环境异质性(生境)与系统炎症/凝血状态超前(发生前)对 HT 风险有较高的预测价值无创、可预警、提供病理生理洞察依赖 MRI 和数据分析，需进一步前瞻性验证，流程标准化待完善。

4.2. 局限性与未来方向

尽管本研究取得了有希望的结果，但仍存在一些局限性需要在未来研究中解决：尽管本研究显示联合方程具有优异的诊断效能，但其对临床决策的指导价值及对患者结局的改善作用尚不明确。未来需要设计前瞻性的干预性研究，评估基于该方程的临床决策流程是否能够有效改善患者预后。

5. 结论与展望

国内外相关研究

在脑梗死领域，生境成像技术的应用虽尚处起步阶段，但其潜力已得到初步证实[2]。该方法借鉴了肿瘤影像学的成功经验，其核心是通过多参数 MRI 识别组织内部的异质性微环境(生境)。目前，MRI 生境分析在脑胶质瘤临床诊疗中的应用[3]、乳腺癌免疫微环境评估[3]、肺结节鉴别诊断[4]、生境成像脑胶质瘤分子分型与预后预测[1]、基于图论等复杂网络分析方法在处理脑功能影像数据中的成功应用[5]，也为深入解析梗死区域复杂的生境空间关系提供了潜在的技术思路。妇科肿瘤浸润深度判断[6]等多个领域展现出重要价值。在脑血管病方面，已有研究探索利用多参数 MRI 特征分析脑出血病因，这为将生境成像应用于出血转化风险预测提供了重要的方法学借鉴和理论依据[2]。

本研究证实，基于 MRI 生境成像特征联合多血细胞参数，并通过多因素分析构建的诊断模型，能够实现自发性出血转化的无创、快速、准确风险评估。该方法整合了局部微环境特征与系统血液学指标，实现了对出血转化风险的全面评估，具有较高的临床转化价值。

未来研究方向包括：

- 1) 开展多中心前瞻性研究，以进一步验证模型的普适性。
- 2) 探索生境成像特征的生物学基础，明确不同生境亚区所对应的病理生理状态。
- 3) 开发自动化或半自动化的影像分析流程，实现生境特征的快速提取与风险评分的实时计算。
- 4) 基于更丰富的临床与影像学大数据，优化并验证模型。
- 5) 开展干预性研究，评估基于该风险预测模型的临床决策对患者预后的实际影响。

随着影像组学与人工智能技术的不断发展, 生境成像技术有望成为脑血管病精准医疗的重要工具。通过无创、快速、准确地评估脑梗死患者的出血转化风险, 临床医生能够制定更加个体化的治疗方案, 从而最终改善患者预后。本研究为该领域的探索提供了新的思路与方法, 有望推动脑血管病诊疗水平的进一步提升。

基金项目

基于 MRI 生境成像特征和多血细胞参数分析用于自发性出血转化患者无创快速临床诊断研究(编号: 2025ZC093)。

参考文献

- [1] Wang, X., Xie, Z., Wang, X., Song, Y., Suo, S., Ren, Y., *et al.* (2025) Preoperative Prediction of IDH Genotypes and Prognosis in Adult-Type Diffuse Gliomas: Intratumor Heterogeneity Habitat Analysis Using Dynamic Contrast-Enhanced MRI and Diffusion-Weighted Imaging. *Cancer Imaging*, **25**, Article No. 11. <https://doi.org/10.1186/s40644-025-00829-5>
- [2] 简尧, 贾思琪, 陈旺生. MRI 生境分析在脑胶质瘤临床诊疗中的应用[J]. 中国医学影像学杂志, 2025, 33(9): 953-959.
- [3] 刘晓艳, 冯颖, 张小峰. 基于 MRI 生境成像的可解释性机器学习模型预测乳腺癌患者的肿瘤浸润淋巴细胞水平[J]. 临床放射学杂志, 2025, 44(9): 1608-1614.
- [4] 邹乔. 基于 CT 生境分析与高分辨 MRI 预测肺纯磨玻璃结节浸润性与 EGFR 突变的研究[D]: [博士学位论文]. 广州: 南方医科大学, 2025.
- [5] Mei, X., Li, W., Chellali, R., Zhou, Y., Huang, J. and Ma, S. (2016). Nodes-Weighted-Graph Approach for rsfMRI Data Classification: Application to Schizophrenia. 2016 35th Chinese Control Conference (CCC), Chengdu, 27-29 July 2016, 3962-3966. <https://doi.org/10.1109/chicc.2016.7553971>
- [6] Wang, X., Deng, C., Kong, R., Gong, Z., Dai, H., Song, Y., *et al.* (2025) Intratumoral and Peritumoral Habitat Imaging Based on Multiparametric MRI to Predict Cervical Stromal Invasion in Early-Stage Endometrial Carcinoma. *Academic Radiology*, **32**, 1476-1487. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2024.09.039>