

CTP 成像联合 MRI 扩散加权成像对 ACI 分型的诊断效能

史展, 张丹卉, 马爱珍

(河南科技大学临床医学院, 河南科技大学第一附属医院影像中心, 河南洛阳 471003)

【摘要】目的 探讨 CT 灌注 (CT Perfusion, CTP) 成像联合 MRI 扩散加权成像 (Diffusion-Weighted Imaging, DWI) 在急性脑梗死 (Acute Cerebral Infarction, ACI) 不同 TOAST 分型中的诊断效能, 为临床影像分型提供依据。**方法** 回顾性分析 2022 年 1 月至 2025 年 4 月河南科技大学第一附属医院收治的 80 例 ACI 患者资料, 所有患者均于发病 24 小时内接受 CTP 与 DWI 检查。以临床综合诊断为参考标准, 分别评估 CTP、DWI 及两者联合在 ACI 分型中的敏感度、特异度、准确率、Kappa 一致性与受试者工作特征 (Receiver Operating Characteristic, ROC) 曲线下的 AUC 值, 并进行统计学比较。**结果** 在单独诊断中, CTP 对 LAA 型 ACI 与 CE 型 ACI 的敏感度分别为 88.57%、83.33%, DWI 对 SVO 型 ACI 的敏感度为 94.12%。联合诊断对 LAA 型 ACI、CE 型 ACI、SVO 型 ACI 的准确率分别达 95.00%、96.25%、96.25%, 明显高于 CTP 与 DWI 单独诊断。联合诊断的 AUC 值均超过 0.95, Kappa 值达 0.842, 优于 CTP (0.726) 与 DWI (0.693), 差异具有统计学意义 ($P < 0.05$)。**结论** CTP 联合 DWI 在 ACI TOAST 分型中具有更高的准确性与一致性, 优于单项影像学技术。其在早期分型诊断、病因机制推断及个体化治疗指导下具有重要的临床应用价值, 建议作为卒中影像评估的常规组合手段。

【关键词】急性脑梗死; CT 灌注成像; MRI 扩散加权成像; 诊断效能

【中图分类号】R455.2

【文献标志码】A

文章编号: 1674-1242 (2025) 05-0762-09

Diagnostic Efficacy of CTP Imaging Combined with MRI Diffusion-Weighted Imaging in the Classification of ACI

SHI Zhan, ZHANG Danhui, MA Aizhen

(The First Affiliated Hospital, Imaging Center, and College of Clinical Medicine of Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471003, China)

【Abstract】Objective To investigate the diagnostic efficacy of CT perfusion imaging (CTP) combined with MRI diffusion-weighted imaging (DWI) in different TOAST subtypes of acute cerebral infarction (ACI), and provide a basis for clinical imaging classification. **Methods** A retrospective analysis was conducted on the data of 80 patients with ACI admitted to The First Affiliated Hospital of Henan University of Science and Technology from January 2022 to April 2025. All patients underwent CTP and DWI examinations within 24 hours of onset. Clinical comprehensive diagnosis was used as a reference standard to evaluate the sensitivity, specificity, accuracy, Kappa consistency, and AUC value under the receiver operating characteristic (ROC) curve of CTP, DWI, and their combination in the classification of ACI, and

compare them statistically. **Results** In individual diagnosis, the sensitivity of CTP in LAA and CE types was 88.57% and 83.33%, respectively, while the sensitivity of DWI in SVO type was 94.12%. The accuracy of combined diagnosis in LAA, CE, and SVO types is 95.00%, 96.25%, and 96.25%, respectively, which is significantly higher than the individual diagnosis of CTP and DWI. The AUC values of the combined mode all exceeded 0.95, and the Kappa value reached 0.842, which was better than CTP (0.726) and DWI (0.693), and the difference was statistically significant ($P < 0.05$).

Conclusion CTP combined with DWI has higher accuracy and consistency in TOAST classification of ACI, and is superior to single imaging techniques. It has important clinical application value in early classification diagnosis, etiological mechanism inference, and guiding personalized treatment, and is recommended as a routine combination method for stroke imaging assessment.

【Key words】 Acute Cerebral Infarction(ACI); CT Perfusion Imaging; MRI Diffusion-Weighted Imaging; Diagnostic Efficacy

0 引言

脑梗死 (Cerebral Infarction, CI) 是最常见的缺血性脑血管疾病类型, 占全部脑卒中病例的 80% 以上, 具有发病急、进展快、致残率高等特点, 是目前威胁人类健康的主要疾病之一^[1]。随着卒中防治理念的不断深化, 临床对急性脑梗死 (Acute Cerebral Infarction, ACI) 的精准分型和个体化治疗提出了更高的要求。TOAST 分型作为国际公认的缺血性卒中分型系统, 从病因机制出发, 将 CI 分为大动脉粥样硬化型 (Large Artery Atherosclerosis, LAA)、心源性栓塞 (Cardioembolism, CE)、小血管闭塞型 (Small Vessel Occlusion, SVO) 等多种类型。该分型不仅有助于指导溶栓或抗栓策略的选择, 也是卒中二级预防和预后判断的重要依据^[2]。因此, 急性期内准确完成影像分型对优化 ACI 临床决策具有重要意义。

传统头颅 CT 与常规 MRI 序列虽在诊断 ACI 方面发挥了一定作用, 但在超早期、非典型表现或病因复杂的情况下, 往往难以提供病理生理机制层面的支持信息。CT 灌注 (CT Perfusion, CTP) 成像作为一种快速、动态、定量评估脑血流灌注状态的成像技术, 能够反映脑组织灌注异常的范围与程度, 对识别可逆性半暗带、判断再灌注治疗窗期具有重要价值^[3]。MRI 扩散加权成像 (Diffusion-Weighted Imaging, DWI) 因其对水分子扩散变化高度敏感, 可早期识别细胞坏死区域, 是 ACI 早期诊断的金标准之一^[4]。然而, 两种技术各有局

限: CTP 对小灶或深部灌注异常敏感度不高, DWI 在发病极早期可能存在假阴性现象, 且难以评估灌注的动态变化^[5,6]。

近年来, 随着多模态影像理念的提出, CTP 与 DWI 的联合应用逐渐受到关注。已有研究提示, 两者在病灶定位与病因机制评估方面具有互补优势, 但联合应用在 ACI 不同 TOAST 分型中的诊断效能仍缺乏系统性证据支持^[7]。本研究基于对 80 例 ACI 患者的回顾性分析, 探讨 CTP 联合 DWI 在 ACI 不同 TOAST 分型诊断中的敏感度、特异度、一致性及受试者工作特征 (Receiver Operating Characteristic, ROC) 曲线表现, 旨在评估其在急性期分型中的实际诊断价值, 为临床制定精准卒中干预策略提供影像依据。

1 资料与方法

1.1 一般资料

本研究为回顾性分析, 纳入 2022 年 1 月至 2025 年 4 月河南科技大学第一附属医院收治的 80 例 ACI 患者, 其中男性 48 例, 女性 32 例; 年龄范围 39~82 岁, 平均年龄 (64.5±10.2) 岁。所有患者均于发病 24 小时内接受 CTP 和 MRI-DWI 检查。入选患者均符合《中国急性缺血性卒中诊治指南 2023》中关于急性脑梗死的诊断标准^[8], 临床资料完整, 影像质量合格。

纳入标准: ①年龄 ≥ 18 岁; ②突发单侧肢体无力、言语不清等神经功能缺损, 符合 ACI 临床表

现；③从发病至影像检查时间≤24小时；④能配合完成CTP和MRI-DWI检查；⑤具备完整的临床资料和随访记录。

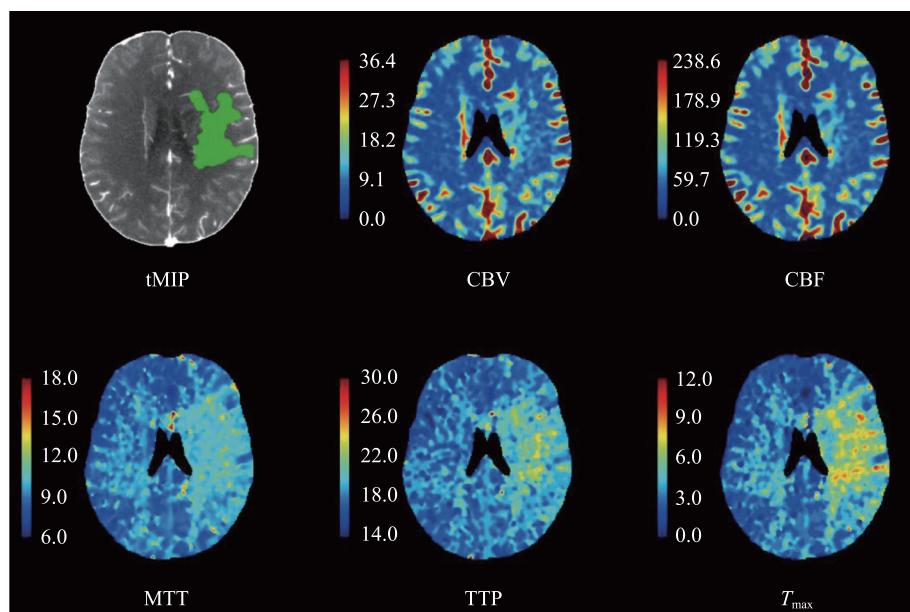
排除标准：①既往有大面积CI或脑出血史者；②合并严重心、肝、肾等多系统器官功能衰竭者；③妊娠或哺乳期妇女；④CTP或DWI图像伪影严重、无法评估者；⑤接受溶栓或介入治疗前影像检查不完整者。本研究已通过河南科技大学第一附属医院伦理委员会审批。

1.2 检查方法

1.2.1 CTP成像

所有患者在入院后立即完成CTP扫描，使用东芝Aquilion ONE 320排螺旋CT，检查前确保患者生命体征平稳，头部固定良好，避免运动伪影。扫描前静脉注射非离子型碘造影剂碘普罗胺（370mgI/mL），经肘静脉以高压注射器注入，总

量为50mL，流速5mL/s，紧随其后注射40mL生理盐水以冲管。扫描参数设置：管电压80kV，管电流100mAs，层厚0.5mm，层间距0.5mm，矩阵512×512，覆盖范围为全脑，连续动态扫描时间约50s，采集整个灌注过程图像。所得数据通过联影智能（uAI Discover-Cerebral CTP）自动处理，生成脑血流量（Cerebral Blood Flow, CBF）、脑血容量（Cerebral Blood Volume, CBV）、平均通过时间（Mean Transit Time, MTT）、峰值时间[（Time to Peak, TTP）、 T_{max}]等多参数图像。以正常半球同侧对应区域为对照，异常定义为 $rCBF < 30\%$ 或CBV绝对值 $< 2\text{mL}/100\text{g}$ ，为核心梗死区， $T_{max} > 6\text{s}$ 或相对MTT值 $> 145\%$ 对侧正常为缺血半暗带（见图1），MTT和TTP延长提示血流延迟区。图像由两名具有主治医师职称的影像科医师独立阅片，如结果存在分歧，则由第三名专家参与讨论裁定。



注：患者女，44岁，突发右侧肢体无力伴言语不能。CTP图像显示CBF正常、CBV正常、MTT延长、TTP延长、 T_{max} 延长。

图1 某ACI患者CTP图像

Fig.1 CTP image of a patient with ACI

1.2.2 MRI-DWI

所有患者于CTP检查后2小时内完成MRI检查，采用西门子Magnetom Skyra 3.0T磁共振进行扫描，扫描前去除患者体内金属异物，患者保持

安静仰卧，头部固定于头线圈内。扫描序列包括T1WI、T2WI、FLAIR及DWI，重点采集DWI图像以评估急性期梗死灶。DWI扫描参数：层厚5mm，层间距1.5mm，TR 4400ms，TE 83ms，

FOV 220mm, b 值设定为 0s/mm^2 和 1000s/mm^2 , 采集方向为横轴位, 扫描时间约 50s (见图 2)。DWI 图像由两名影像医师独立阅片, 以 $b=1000\text{s/mm}^2$ 时图像中的高信号区作为急性梗死灶识别依据。表观扩散系数 (Apparent Diffusion Coefficient, ADC) 用于进一步确认病灶为限制性扩散, 排除伪影和慢性变性灶干扰。

1.2.3 联合诊断判定标准

联合诊断结果由两名具有中高级职称的影像科医师采用“盲法+协同”方式进行阅片分析。判定标准如下。①阅片顺序: 先分别评估 CTP 和 DWI 单项结果, 然后在不知晓临床分型的前提下进行联合判断。②联合原则: 综合考虑 CTP 灌注异常区域, 并考虑 DWI 上是否存在高信号梗死灶、病灶定位与 CTP 是否一致, 以及 CTP 与 DWI 在灶区分布、血管供血区和分型逻辑上是否支持某一 TOAST 类型三个关键指标。③分型判定规则: 若 CTP 与 DWI 结果一致, 且灌注改变与 DWI 灶区相符, 则按一致结果作为最终联合诊断; 若 CTP 提示广泛灌注障碍且 DWI 为局限性小灶, 倾向考虑 LAA 型或 CE 型; 若 DWI 存在典型腔隙灶、CTP 无明显异常, 支持 SVO 型; 若两者结果差异较大且无典型影像

表现, 结合心电图、临床病因线索进行专家讨论后最终定型。联合判定流程如图 3 所示。

1.2.4 分型标准

依据国际通用的 TOAST 分型标准 (Trial of ORG 10172 in Acute Stroke Treatment), 结合患者临床表现、实验室检查、心电图、超声心动图、颈脑血管成像 (CTA/MRA) 等多项信息, 由神经内科和影像科医师联合评估确定脑梗死类型作为参考标准, 具体类型有 LAA 型、CE 型、SVO 型、其他明确病因型 (Stroke of Other determined Etiology, SOE)、病因不明型 (Stroke of Undetermined Etiology, SUE)。进行影像分析时, 分别由两名高年资影像科医师采用盲法独立对 CTP 和 DWI 图像进行评估并给出影像分型结果, 若存在分歧, 由第三名医师裁定, 以提高结果的一致性。

1.3 观察指标

主要评价指标包括以下几个。①诊断敏感度、诊断特异度、阳性预测值、阴性预测值, 上述各项指标分别用于计算单一 CTP、单一 DWI 及 CTP+DWI 联合三种模式在不同分型中的表现, 并据此评估诊断效能的优劣。②ROC 曲线及曲线下面积 (Area Under Curve, AUC), 通过绘制 ROC 曲线并计算

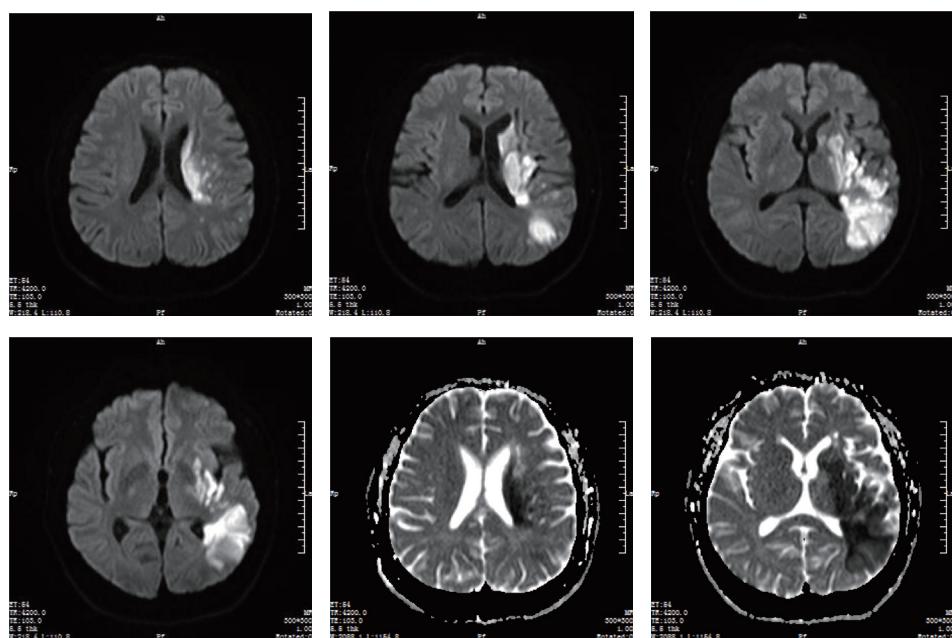


图 2 某 ACI 患者 MRI-DWI
Fig.2 MRI-DWI of a patient with ACI

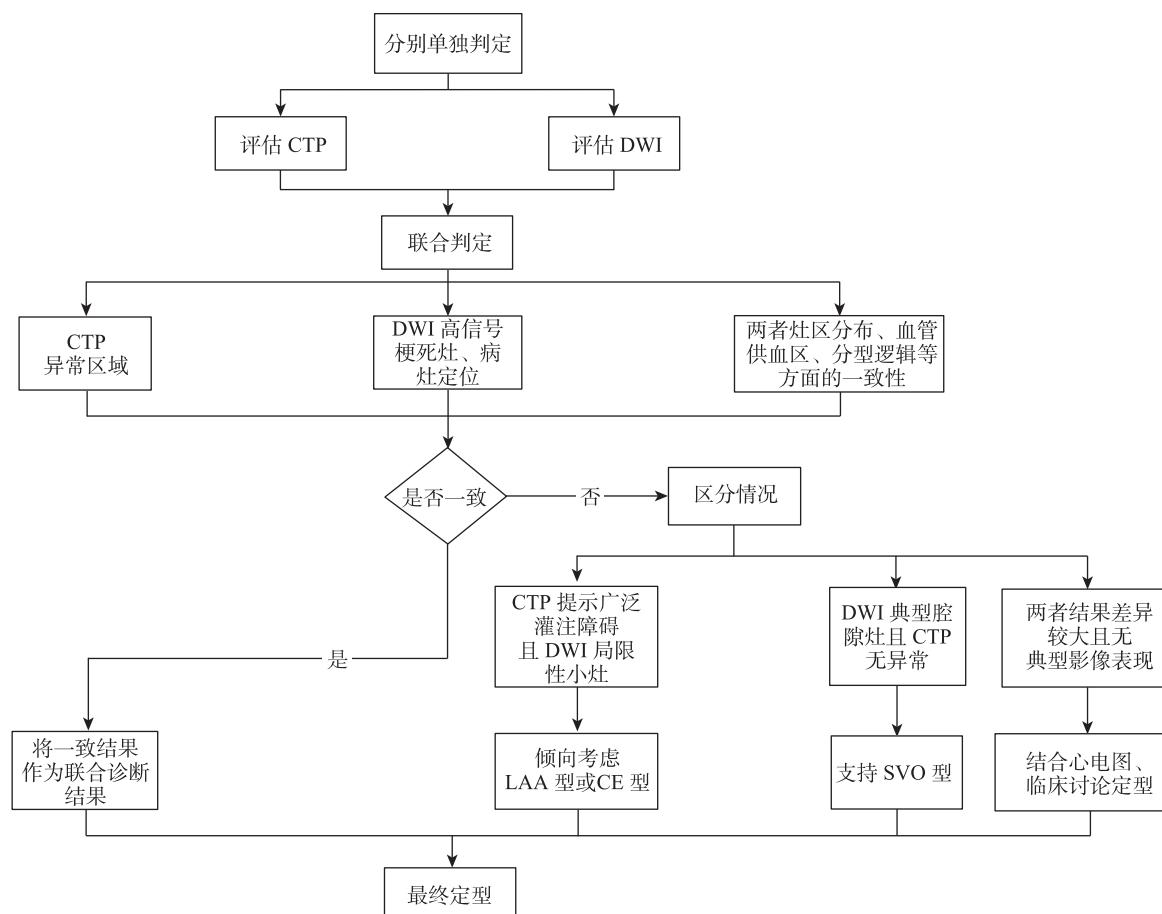


图3 联合判定流程
Fig.3 Joint decision flow chart

AUC 值，综合反映各影像技术在不同 ACI 类型识别中的诊断能力。AUC 越接近 1.0，代表诊断性能越优。对比单项检查与联合检查的 AUC 差异，以验证联合应用的增益效果。③ Kappa 一致性检验，采用 Kappa 系数评价影像学分型结果与临床参考标准间的一致性水平， κ 值 >0.75 为一致性好， $0.40 < \kappa$ 值 ≤ 0.75 为一致性中等， κ 值 ≤ 0.40 为一致性差。④误差来源分析与技术互补性探讨：对诊断结果出现偏差的病例，进一步结合灌注图谱与 DWI 信号特征，探讨 CTP 与 DWI 在不同类型 ACI 中的优势互补性。

1.4 统计学方法

所有数据分析均在 SPSS 26.0 统计软件中完成。计量资料以均值 \pm 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示，组间比较采用独立样本 t 检验；计数资料以频数和百分比

表示，组间比较使用卡方检验 (χ^2 检验) 或 Fisher 精确检验 (适用于样本量较小的情况)。所有检验均为双侧检验，以 $P < 0.05$ 表示差异具有统计学意义。对主要结果参数 (如 AUC、敏感度等) 进行多组比较时，采用 Bonferroni 校正控制多重比较引起的 I 类错误风险。

2 结果

2.1 病例基本特征

本研究共纳入 ACI 患者 80 例，男性 48 例 (60.00%)、女性 32 例 (40.00%)，年龄 39~82 岁，平均年龄 (64.50 ± 10.21) 岁。发病至检查时间为 (8.72 ± 4.24) 小时。合并高血压 46 例 (57.50%)、糖尿病 21 例 (26.25%)、房颤 14 例 (17.50%)、高脂血症 28 例 (35.00%)、吸烟史 34 例 (42.50%)。依据 TOAST 标准，LAA 型 35 例 (43.75%)、CE

型 18 例 (22.50%)、SVO 型 17 例 (21.25%)、SOE 型 4 例 (5.00%)、SUE 型 6 例 (7.50%)。具体数据如表 1 所示。

表 1 患者一般资料与临床特征统计 (n=80)
Tab.1 General information and clinical characteristics of patients (n=80)

项目	数值/例数	百分比/%
年龄/岁	64.50±10.21	—
性别(男/女)	48/32	60.00/40.00
发病至检查时间/h	8.72±4.24	—
高血压病史	46	57.50
糖尿病病史	21	26.25
房颤病史	14	17.50
高脂血症	28	35.00
吸烟史	34	42.50
TOAST分型		
LAA型	35	43.75
CE型	18	22.50
SVO型	17	21.25
SOE型	4	5.00
SUE型	6	7.50

2.2 诊断结果总览

CTP 与 DWI 单独使用时, 准确率分别为 83.75% 与 80.00%; 而联合判读准确率显著提高至 95.00%。相比单独检查, 联合模式漏诊率与误诊率明显下降。具体数据如表 2 所示。

表 2 三种影像诊断方式分型结果比较 (n=80)
Tab.2 Comparison of classification results of three imaging diagnosis methods (n=80)

TOAST分型	CTP		DWI		联合	
	正确	错误	正确	错误	正确	错误
LAA型	31	4	27	8	34	1
CE型	15	3	13	5	17	1
SVO型	12	5	16	1	17	0
SOE型	2	2	2	2	3	1
SUE型	2	4	3	3	5	1
总计	62	18	61	19	76	4

2.3 CTP 与 DWI 单独诊断效能

DWI 在识别 SVO 型方面敏感度较高 (94.12%), 但在 LAA 型与 CE 型识别中的表现略逊于 CTP。CTP 在评估 LAA 型及 CE 型方面显示出更高的特异度与准确性。两者在 SOE 型与 SUE 型识别方面均存在一定的局限性, 表现为敏感度偏低, 易受临床因素干扰。具体数据如表 3 所示。

2.4 联合诊断效能

联合诊断的 ROC 曲线分析显示, LAA 型、CE 型与 SVO 型的 AUC 分别为 0.955、0.963 和 0.960, 均显著高于对应单项检查 ($P<0.05$)。具体数据如表 4 和图 4 所示。

2.5 分型一致性分析

CTP 与临床分型总体一致性较好, DWI 的一致性略低于 CTP, 两种方法均为中等至高度一致, 联合检查分型的一致性最佳, Kappa 值为 0.842

表 3 CTP 与 DWI 在 ACI 各分型中的单独诊断效能比较 (n=80)
Tab.3 Comparison of individual diagnostic efficacy of CTP and DWI in various subtypes of ACI (n=80)

分型	检查方法	敏感度 /%	特异度 /%	PPV/%	NPV/%	准确率 /%
LAA 型	CTP	88.57	90.48	88.57	90.48	89.38
	DWI	77.14	83.33	81.08	80.00	80.00
CE 型	CTP	83.33	94.44	83.33	94.44	91.25
	DWI	72.22	87.30	68.18	89.36	83.75
SVO 型	CTP	70.59	85.71	66.67	87.80	82.50
	DWI	94.12	90.48	80.00	97.30	91.25
SOE 型	CTP	50.00	97.37	50.00	97.37	93.75
	DWI	50.00	94.74	33.33	96.00	91.25
SUE 型	CTP	33.33	95.89	33.33	95.89	90.00
	DWI	33.33	94.52	28.57	95.83	88.75

表 4 不同检查模式在 ACI 各分型中的诊断效能及 AUC 比较

Tab.4 Comparison of diagnostic efficacy and AUC of different examination modes in various subtypes of ACI

分型	模式	敏感度 /%	特异度 /%	准确率 /%	AUC (95% CI)	P 值 (vs. 联合诊断)
LAA 型	CTP	88.57	90.48	89.38	0.912 (0.835~0.964)	0.031
	DWI	77.14	83.33	80.00	0.846 (0.757~0.924)	0.004
	联合	94.29	95.24	95.00	0.955 (0.897~0.990)	—
CE 型	CTP	83.33	94.44	91.25	0.924 (0.853~0.973)	0.029
	DWI	72.22	87.30	83.75	0.865 (0.779~0.933)	0.007
	联合	94.44	96.83	96.25	0.963 (0.910~0.995)	—
SVO 型	CTP	70.59	85.71	82.50	0.812 (0.704~0.894)	0.041
	DWI	94.12	90.48	91.25	0.938 (0.871~0.983)	0.016
	联合	100.00	92.06	96.25	0.960 (0.898~0.993)	—

注: P 值为与联合诊断模式对比后的结果, 采用 DeLong 检验进行 AUC 差异分析。

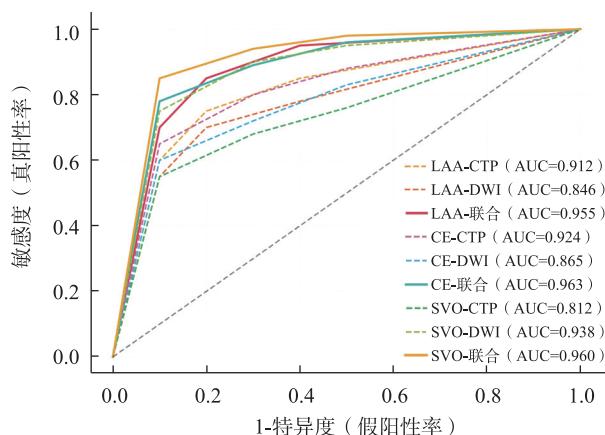


图 4 ACI 各分型中 CTP、DWI 及联合诊断的 ROC 曲线

Fig.4 ROC curves of CTP, DWI and combined examination in various types of ACI

($P<0.05$), 达到高度一致水平, 如表 5 所示。在 8 例 CTP 或 DWI 单项检查分型与临床不一致的病例中, 4 例为 LAA 型与 CE 型交叉误判, 表现为灌注延迟分布不典型, 心源性病因未被充分识别; 2 例为 SVO 型, 误判为 LAA 型, 疑因灌注图像出现假阳性边缘低灌注区; 另 2 例为 DWI 型阴性而 CTP 异常, 考虑为早期半暗带灶, 后续复查证实为 ACI。

表 5 不同检查方法与临床参考分型结果的一致性分析 ($n=80$)
Tab.5 Consistency analysis of different examination methods and clinical reference classification results ($n=80$)

检查方式	Kappa值	一致性水平	P值
CTP	0.726	中度一致	0.001
DWI	0.693	中度一致	0.001
CTP+DWI联合判读	0.842	高度一致	0.001

3 讨论

ACI 是一种以脑局部血流突然中断为特征的高致残性疾病, 准确、及时的分型诊断对于明确病因、制订个体化治疗方案、判断预后具有重要意义^[9]。TOAST 分型作为国际通用的缺血性脑卒中分型标准, 强调从病因机制角度进行分类, 因此影像学手段不仅需要判断有无梗死, 更应深入评估梗死的来源与特征^[10]。本研究以 80 例 ACI 患者为基础, 通过对 CTP、MRI-DWI 及其联合应用在急性期分型中的诊断效能, 探索其临床实用价值。

研究结果显示, CTP 在 LAA 型与 CE 型中的诊断效能相对较高。LAA 型常伴有局灶性灌注下降, 其血管解剖改变常与灌注异常区高度吻合, 表现为单一供血区的 CBF 和 CBV 明显下降, MTT 延长; CE 型则多表现为散在灌注缺损, 灌注异常区分布广泛、不规则, 与血管解剖不完全一致。CTP 的定量参数如 CBF、CBV 及 MTT, 可直观地反映梗死灶周围组织的灌注状态, 为识别宏观循环障碍提供重要信息。在本研究中, CTP 在 LAA 型中的敏感度为 88.57%, 在 CE 型中的敏感度为 83.33%, 均高于 DWI, 提示 CTP 在判别大血管供血异常方面更具优势。然而, 在 SVO 型识别中, CTP 的敏感度明显下降, 仅为 70.59%, 这一方面与小血管病灶灌注异常范围极小、接近 CT 分辨率下限有关, 另一方面反映出 CTP 在微循环层面识别能力不足。DWI 在 SVO 型识别中表现突出, 其敏感度高达 94.12%, 特异度也达到 90.48%。DWI 能在脑组织

发生细胞水肿的早期阶段即检测出扩散受限灶，尤其对腔隙性梗死、深部穿支动脉阻塞等具有很高的识别率^[11]，但其在 LAA 型与 CE 型中的识别准确率相对偏低，本研究中分别为 77.14% 与 72.22%。这可能与部分 CE 型患者栓塞灶可迅速溶解，DWI 未及时捕捉梗死信号有关；同时在 LAA 型灌注延迟但组织尚未坏死的早期阶段，DWI 也可能呈阴性。此外，DWI 不能提供灌注信息，难以判断半暗带的范围，限制其在再灌注治疗窗口判断中的作用。CTP 与 DWI 联合判读可有效弥补上述不足。本研究数据显示，联合诊断在 LAA 型、CE 型和 SVO 型中的准确率分别达 95.00%、96.25% 与 96.25%，明显高于任一单项检查，AUC 值均超过 0.95，Kappa 值为 0.842，属于高度一致水平。在联合模式下，LAA 型中 CTP 提供灌注异常范围，DWI 验证组织坏死灶；CE 型中灌注不规则提示心源性来源，DWI 强化其定位；SVO 型中 DWI 作为主导成像手段，CTP 有助于排除大血管病变干扰，两者联合使用可提升诊断信心。在统计学分析中，联合诊断与 DWI 在 LAA 型中的识别准确率差异具有显著性 ($P=0.032$)，这进一步表明了多模态影像融合的实际临床价值。联合诊断还在一定程度上减少了误诊与漏诊的发生。在本研究的不一致病例中，联合诊断成功纠正了部分因 DWI 阴性或 CTP 误判导致的偏差。例如，2 例 DWI 影像阴性但 CTP 提示灌注显著延迟的患者，后期演变为明确的 CI，表明 CTP 对早期识别功能性危险组织具有预警意义；而 DWI 在小灶检测方面的高敏感度纠正了 CTP 对部分微小灌注灶的忽略。两者结合不仅提高了诊断准确率，也增强了诊断的系统性与全面性。

本研究存在一定的局限性。作为单中心回顾性研究，本研究纳入的病例数量有限，SOE 型与 SUE 型例数较少，统计效能偏弱。检查设备与阅片过程依赖人工判读，存在主观性。此外，本研究未纳入 CTA、MRA 等血管成像资料，部分病因判断可能受限。未来研究可在多中心、前瞻性的基础上进一步扩大样本量，整合 AI 辅助判断系统与血管功能评估技术，构建更加客观、快速、标准化的 CI 影像诊断流程。

综上所述，本研究证实 CTP 与 DWI 在 ACI 的影像分型中各具优势，分别在大血管供血异常与微小梗死灶识别方面具有良好的表现，而两者联合应用显著提升了诊断准确率、一致性及临床实用性。多模态联合判读不仅提高了对复杂病因和非典型影像表现的识别能力，也为早期识别半暗带、判断再灌注窗口及制定个体化治疗策略提供了更为全面的依据。随着卒中影像技术的不断发展，未来将更多地依赖多参数融合、自动化分析与 AI 辅助判断构建标准化卒中影像诊疗路径。临床应重视多模态影像的协同价值，将 CTP+DWI 联合评估纳入 ACI 评估流程，以期提升诊断效率，优化干预时机，并改善患者预后。

参考文献

- [1] 陈媛慧, 雷雨萌, 史文文. 基于多参数 MRI 影像组学和深度学习的急性脑梗死患者缺血半暗带预测研究 [J]. 中国医科大学学报, 2025, 54 (5) : 455-460.
- [2] CHEN Yuanhui, LEI Yumeng, SHI Wenwen. Prediction of ischemic penumbra in patients with acute cerebral infarction based on multi-parameter MRI radiomics and deep learning[J]. Journal of China Medical University, 2025, 54(5): 455-460.
- [3] 鄢巧伶, 陈伟康, 陈佳琦. CT 灌注成像联合血管成像评估急性脑梗死侧支循环的临床价值 [J]. 医学影像学杂志, 2025, 35 (5) : 11-15, 32.
- [4] YAN Qiaoling, CHEN Weikang, CHEN Jiaqi. Clinical value of CT perfusion imaging combined with vascular imaging in evaluating collateral circulation in acute cerebral infarction[J]. Journal of Medical Imaging, 2025, 35(5): 11-15, 32.
- [5] 梁晓辉, 梁凌, 齐馨馨. MRI-SWI 联合脑 CT 灌注成像对急性脑梗死患者静脉溶栓后不良预后的评估价值 [J]. 医学影像学杂志, 2025, 35 (5) : 16-19, 27.
- [6] LIANG Xiaohui, LIANG Ling, QI Xinxin. The evaluation value of MRI-SWI combined with cerebral CT perfusion imaging for adverse prognosis in patients with acute cerebral infarction after intravenous thrombolysis[J]. Journal of Medical Imaging, 2025, 35(5): 16-19, 27.
- [7] 薛峰, 沈海林, 程琳琳, 等. 一站式全脑动态容积 CTA-CTP 成像技术对缺血性脑卒中侧支循环的评估价值 [J]. 中国实用神经疾病杂志, 2025, 28 (6) : 673-678.
- [8] XUE Feng, SHEN Hailin, CHENG Linlin, et al. The evaluation value of one-stop whole brain dynamic volume CTA-CTP imaging technology for collateral circulation in ischemic stroke[J]. Chinese Journal of

- Practical Nervous Diseases, 2025, 28(6): 673-678.
- [5] 宋朝晖. DCE-MRI 联合 IVIM-DWI 对急性脑梗死患者出血转化的预测价值 [J]. 河南医学研究, 2025, 34 (10) : 1861-1865.
SONG Chaohui. The predictive value of DCE-MRI combined with IVIM-DWI for hemorrhagic transformation in patients with acute cerebral infarction[J]. *Henan Medical Research*, 2025, 34(10): 1861-1865.
- [6] 梁志微. 基于 DWI-ASPECTS 的后循环梗死部位对机械取栓术患者预后的影响分析 [D]. 唐山: 华北理工大学, 2024.
LIANG Zhiwei. Analysis of the impact of posterior circulation infarction site on the prognosis of patients undergoing mechanical thrombectomy based on DWI-ASPECTS[D]. Tangshan: North China University of Science and Technology, 2024.
- [7] 倪小佳, 林浩, 罗旭飞, 等. 脑卒中中西医结合防治指南 (2023 版) [J]. 中国全科医学, 2025, 28 (5) : 521-533.
NI Xiaojia, LIN Hao, LUO Xufei, *et al*. Guidelines for integrated traditional Chinese and Western Medicine prevention and treatment of stroke (2023 edition)[J]. *Chinese General Practice*, 2025, 28(5): 521-533.
- [8] 徐春燕, 简雯, 欧阳红. 高分辨率磁共振血管壁成像在老年急性脑梗死患者血管狭窄评估中的应用观察 [J]. 中华老年心脑血管病杂志, 2025, 27 (5) : 562-566.
XU Chunyan, JIAN Wen, OUYANG Hong. Observation of the application of high resolution magnetic resonance vascular wall imaging in the evaluation of vascular stenosis in elderly patients with acute cerebral infarction[J]. *Chinese Journal of Geriatric Heart Brain and Vessel Diseases*, 2025, 27(5): 562-566.
- [9] 王可, 李波, 范海磊, 等. 急性脑梗死患者多模态 MRI 影像学特征及其与 TOAST 分型和脑白质病变程度的关系 [J]. 中国老年学杂志, 2025, 45 (8) : 1807-1813.
WANG Ke, LI Bo, FAN Hailei, *et al*. Multi-modal MRI imaging characteristics of patients with acute cerebral infarction and their relationship with TOAST classification and degree of white matter lesions[J]. *Chinese Journal of Gerontology*, 2025, 45(8): 1807-1813.
- [10] 周云. 快速多模式 MR 检查对急性缺血性脑卒中 (AIS) 患者的应用价值 [J]. 生物医学工程学进展, 2021, 42 (3) : 164-166.
ZHOU Yun. The application value of rapid multimodal MR examination in patients with acute ischemic stroke (AIS)[J]. *Progress in Biomedical Engineering*, 2021, 42(3): 164-166.
- [11] 花蕾, 周丹, 郑芳慧, 等. DWI 对腔隙性脑梗死患者早期神经功能恶化的预测价值分析 [J]. 中国 CT 和 MRI 杂志, 2025, 23(8): 5-7.
HUA Lei, ZHOU Dan, ZHENG Fanghui, *et al*. Analysis of the predictive value of DWI for early deterioration of neurological function in patients with lacunar cerebral infarction[J]. *Chinese Journal of CT and MRI*, 2025, 23(8): 5-7.