

论 著

CT灌注成像参数联合血清Hcy、D-二聚体水平检测对急性脑梗死患者静脉溶栓疗效的评估价值*

胡义平^{1,*} 朱星阳² 魏红霞³
宋元贞² 朱一柯¹

- 1.南阳市第二人民医院神经内科监护室
- 2.南阳市第二人民医院脑血管介入科
- 3.南阳市第二人民医院影像科
(河南 南阳 473000)

【摘要】目的 探讨CT灌注成像(CTP)参数联合血清同型半胱氨酸(Hcy)及D-二聚体(DD)水平在评估急性脑梗死患者静脉溶栓治疗效果中的临床价值。**方法** 选取2022年1月至2024年12月于某三甲医院神经内科接受静脉溶栓治疗的急性脑梗死患者共150例,根据治疗后临床疗效分为良好组(n=98)与不良组(n=52)。所有患者在治疗前均行CT灌注成像检查,并检测血清Hcy及DD水平。记录CTP参数[包括脑血容量(CBV)、脑血流量(CBF)、平均通过时间(MTT)、峰值时间(TTP)]与血清指标变化,采用Pearson相关性分析上述指标和患者NIHSS评分的相关性,采用Logistic回归分析患者疗效不良的影响因素,并采用受试者工作特征曲线(ROC)分析CT灌注成像参数和血清Hcy和DD水平对静脉溶栓疗效的评估价值。**结果** 良好组患者梗死体积较不良组小,NIHSS评分、MTT、TTP、Hcy和DD水平较不良组低,CBV、CBF水平较不良组高,差异有统计学意义(P<0.05)。相关性分析显示,患者CBV、CBF和NIHSS评分成反比,MTT、TTP、Hcy和DD与NIHSS评分成正比(P<0.05)。Logistic回归结果显示:患者高NIHSS评分、低水平CBV、低水平CBF以及高水平MTT、Hcy和DD是患者疗效不佳的独立危险因素(P<0.05)。CBV、CBF、MTT、Hcy、DD以及联合检测评估患者疗效不佳的ROC下曲线下面积(AUC)为0.789、0.737、0.744、0.674、0.845和0.884,其中联合检测敏感度为92.31%,特异度为77.55%,具有较好评估效能。**结论** CT灌注成像参数联合血清Hcy与D-二聚体水平可有效评估急性脑梗死患者静脉溶栓治疗的疗效。

【关键词】 急性脑梗死; CT灌注成像; 同型半胱氨酸; D-二聚体; 静脉溶栓; 疗效评估

【中图分类号】 R651.1

【文献标识码】 A

【基金名称】 南阳市2020年科技发展计划项目(KJGG136)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2026.02.004

Evaluation Value of CT Perfusion Parameters Combined with Serum Hcy and D-dimer for Curative Effect of Intravenous Thrombolysis in Patients with Acute Cerebral Infarction*

HU Yi-ping^{1,*}, ZHU Xing-yang², WEI Hong-xia³, SONG Yuan-zhen², ZHU Yi-ke¹.

- 1.Neurological Intensive Care Unit, Nanyang Second General Hospital, Nanyang 473000, Henan Province, China
- 2.Department of Cerebrovascular Intervention,Nanyang Second General Hospital, Nanyang 473000, Henan Province, China
- 3.Department of Medical Imaging, Nanyang Second General Hospital, Nanyang 473000, Henan Province, China

ABSTRACT

Objective To explore clinical value of CT perfusion (CTP) parameters combined with serum homocysteine (Hcy) and D-dimer (DD) in evaluating curative effect of intravenous thrombolysis in patients with acute cerebral infarction. **Methods** A total of 150 patients with acute cerebral infarction undergoing intravenous thrombolysis in neurology department of a 3a hospital were enrolled between January 2022 and December 2024. According to clinical curative effect after treatment, they were divided into good group (n=98) and poor group (n=52). Before treatment, all patients underwent CTP examination and detection of serum Hcy and DD. The changes of CTP parameters [cerebral blood volume (CBV), cerebral blood flow (CBF), mean transit time (MTT), time to peak (TTP)] and serum indexes were recorded, and the correlation between the above indexes and NIHSS score was analyzed by Pearson correlation analysis. The influencing factors of poor curative effect were analyzed by Logistic regression analysis. The evaluation value of CTP parameters, serum Hcy and DD for curative effect of intravenous thrombolysis was analyzed by receiver operating characteristic (ROC) curves. **Results** The infarction volume in good group was smaller than that in poor group, NIHSS score, MTT, TTP, Hcy and DD were lower than those in poor group, CBV and CBF were higher than those in poor group (P<0.05). Correlation analysis showed that CBV and CBF were negatively correlated with NIHSS score, while MTT, TTP, Hcy and DD were positively correlated with it (P<0.05). The results of Logistic regression analysis showed that high NIHSS score, low levels of CBV and CBF, high levels of MTT, Hcy and DD were independent risk factors of poor curative effect (P<0.05). The area under ROC curve (AUC) values of CBV, CBF, MTT, Hcy, DD and combined detection for evaluating poor curative effect were 0.789, 0.737, 0.744, 0.674, 0.845 and 0.884, respectively. The sensitivity and specificity of combined detection were 92.31% and 77.55%, showing good evaluation efficiency. **Conclusion** CTP parameters combined with serum Hcy and D-dimer can effectively evaluate curative effect of intravenous thrombolysis in patients with acute cerebral infarction.

Keywords: Acute Cerebral Infarction; CT Perfusion; Homocysteine; D-dimer; Intravenous Thrombolysis; Curative Effect Evaluation

急性脑梗死是最常见的脑血管疾病类型之一^[1],致残率和致死率高,严重危害患者的生命健康^[2]。静脉溶栓是目前治疗急性脑梗死最有效的手段之一,能在一定时间窗内通过溶解血栓,恢复脑组织血流灌注^[3]。但由于急性脑梗死的病理机制复杂,患者个体差异大,静脉溶栓的治疗效果存在显著差异,如何精准评估其疗效成为当前临床关注的焦点。影像学检查在脑梗死的诊断与评估中具有重要作用,CT灌注成像(CT perfusion, CTP)作为一种功能成像技术^[4],能够动态反映脑组织的灌注状态,直观评估缺血核心区 and 半暗带,为溶栓治疗决策提供重要依据^[5]。此外,临床研究表明,部分血清生物标志物在急性脑梗死的发生发展过程中也起着重要作用^[6]。同型半胱氨酸(Homocysteine, Hcy)是一种含硫氨基酸,其升高与脑血管内皮功能障碍、血栓形成密切相关,被视为脑卒中的独立危险因素之一^[7]。D-二聚体(D-Dimer, DD)是纤维蛋白降解的特异性产物,其水平升高反映体内高凝状态,在脑梗死诊断与预后判断中具有重要意义^[8]。基于此,本研究探讨CT灌注成像参数联合血清Hcy、D-二聚体水平在急性脑梗死静脉溶栓治疗中的应用价值,旨在为临床提供参考,研究内容如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取2022年1月至2024年12月于某三甲医院神经内科接受静脉溶栓治疗的急性脑梗死患者共150例。

纳入标准: 符合文献中急性脑梗死^[9]诊断标准;发病时间在6小时以内,符合静脉溶栓治疗指征者;年龄18~80岁之间;首次发作或既往脑梗死无明显神经功能残留者;完整临床资料及影像学资料者;患者或家属签署知情同意书。本研究符合《赫尔辛基宣言》相关伦理准则和要求。排除标准:合并出血性脑卒中、脑肿瘤、脑外伤等其他脑部疾病者;有严重肝肾功能障碍、出血性疾病或恶性肿瘤者;既往有严重认知障碍或精神

【第一作者】 胡义平,女,主治医师,主要研究方向:脑血管病。E-mail: hyp841229@126.com

【通讯作者】 胡义平

障碍者；对碘造影剂过敏或不能接受CT检查者；⑤妊娠或哺乳期妇女；溶栓过程中发生严重并发症者。

1.2 研究方法

1.2.1 血清指标 所有患者入院后立即采集外周静脉血4mL，经3000r/min离心10min后收集血清，采用循环酶法检测血清Hcy水平，试剂盒购自上海长征复星公司，采用CS-5100i型全自动凝血功能分析仪(日本Sysmex公司)检测D-二聚体(DD)水平。

1.2.2 CT灌注成像检查 所有纳入研究的患者入院后均接受颅脑CT灌注成像检查，使用德国西门子公司生产的Somatom Force型双源CT扫描仪进行。首先完成自颅底至颅顶的常规头颅平扫。在完成常规平扫后，行脑灌注扫描。扫描采用管电压100kV，管电流根据成像软件自动调节，采用高级模拟迭代重建技术，设置扫描延迟时间4s，共采集21次图像，总扫描时间为37.5s，图像矩阵维持512×512。图像采集完毕后，所有数据传输至Syngo图像工作站，并通过Neuro Perfusion专用软件进行后处理分析。图像分析过程中，研究人员使用圆形ROI(Region of Interest)工具在脑实质内勾画感兴趣区域，勾画面积大约为0.5cm²。最终提取的主要灌注参数包括脑血流量(cerebral blood flow, CBF)、脑血容量(cerebral blood volume, CBV)、平均通过时间(mean transit time, MTT)以及达峰时间(time to peak, TTP)。

1.2.3 治疗及评估 所有入组患者在入院后均按照标准流程接受阿替普酶静脉溶栓治疗。阿替普酶剂量设定为0.9mg/kg，最大不超过90mg。给药方式为：先将总剂量的10%于1min内静脉推注，其余部分通过静脉滴注方式持续1h内输注完毕。治疗后第1d对患者进行头颅MRI或CT影像学复查，若未发现颅内出血表现，则继续实施规范化基础治疗方案，包括使用他汀类调脂药物以及抗血小板聚集治疗等。在治疗持续14天后，采用美国国立卫生研究院

卒中量表(National Institute of Health Stroke Scale, NIHSS)^[10]对患者神经功能恢复情况进行量化评分评估。依据疗效标准，若患者NIHSS评分较治疗前下降幅度达到或超过18%，则视为溶栓疗效显著^[11]。根据这一疗效指标，将患者分为疗效良好组(n=98)与疗效不佳组(n=52)，以进一步分析影响疗效的相关因素。

1.3 观察指标 比较良好组和不良组患者的CT灌注成像参数、血清Hcy和DD水平，采用Pearson相关性分析上述指标和患者入院NIHSS评分的相关性。采用Logistic回归分析患者疗效不良的影响因素，并采用受试者工作特征曲线(receiver operating characteristic curve, ROC)分析CT灌注成像参数和血清Hcy和DD水平对静脉溶栓疗效的评估价值。

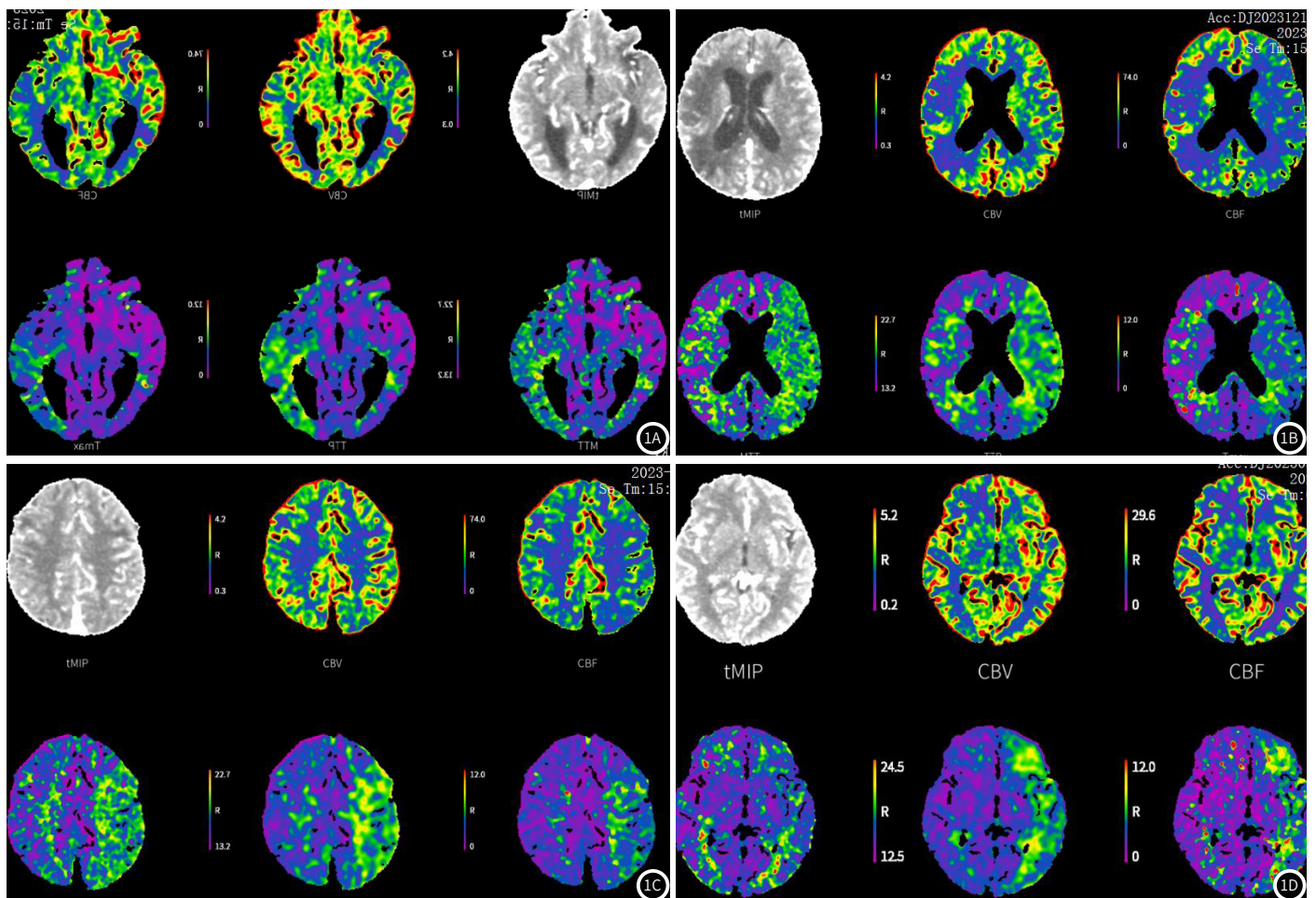
1.4 统计学处理 采用SPSS 26.0分析数据，计量资料如患者一般资料中年龄、梗死面积和入院NIHSS评分和观察指标中良好组和不良组患者的CT灌注成像参数、血清Hcy和DD水平采用($\bar{x} \pm s$)表示，采用t检验比较差异，计数资料如患者年龄等用率表示，采用 χ^2 检验， $P < 0.05$ 提示有统计学意义。

2 结果

2.1 急性脑梗死患者入院时CT灌注成像检查结果 急性脑梗死患者入院时CT灌注成像检查结果，具体见图1。

2.2 良好组和不良组患者的一般资料比较 良好组和不良组患者年龄、性别、发病至就诊时间比较，差异无统计学意义($P > 0.05$)。良好组患者梗死体积较不良组小，入院NIHSS评分较不良组低，差异有统计学意义($P < 0.05$)。见表1。

2.3 良好组和不良组患者CT灌注成像参数比较 良好组患者MTT和TTP水平较不良组低，CBV和CBF水平较不良组高，差异有统计学意义($P < 0.05$)，见表2。



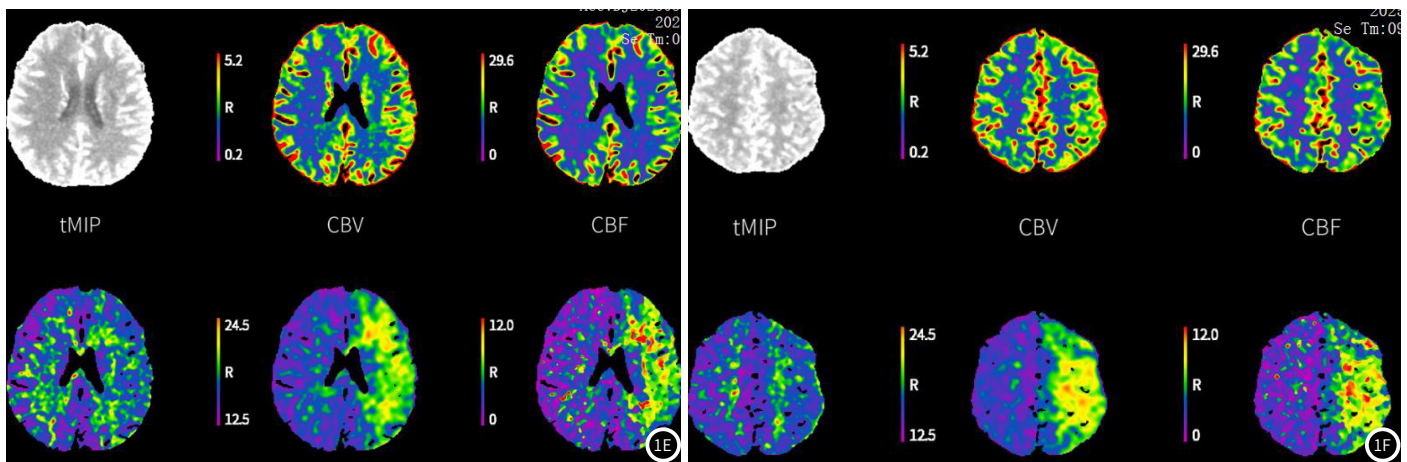


图1 急性脑梗死患者入院时CT灌注成像检查图片(图1A、图1B患者左侧大脑半球异常灌注,目标组织中所有残余功能全部达到峰值的时间延迟,MTT延迟,CBF减低;图1C患者左侧大脑半球异常灌注,目标组织中所有残余功能全部达到峰值的时间延迟,MTT延迟,CBF减低;图1D患者左侧额颞顶叶异常灌注,MTT延迟,局部CBF减低,CBV增高;图1E、图1F患者左侧额颞顶叶异常灌注,目标组织中所有残余功能全部达到峰值的时间延迟,MTT延迟,局部CBF减低,CBV增高)。

表1 良好组和不良组患者的一般资料比较

组别	例数	年龄(岁)	性别(男/女)	发病至就诊时间(h)	梗死体积(cm ³)	入院NIHSS评分(分)
良好组	98	53.68±6.28	61/37	2.13±0.51	5.01±0.63	12.58±3.61
不良组	52	54.12±7.11	36/16	2.24±0.62	5.24±0.49	18.49±4.12
t/x ²		0.390	0.726	1.097	2.472	8.717
P		0.697	0.394	0.274	0.015	<0.001

表2 良好组和不良组患者的一般资料和CT灌注成像参数

组别	例数	CBV(mL/100g)	CBF[mL/(100g·min)]	MTT(s)	TTP(s)
良好组	98	5.26±0.69	73.12±10.28	8.79±2.13	8.81±2.16
不良组	52	4.62±0.51	63.28±9.47	11.25±3.54	10.74±3.08
t		5.886	5.731	5.310	4.473
P		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

2.4 良好组和不良组患者血清Hcy和DD水平比较 良好组Hcy和DD水平较不良组低,差异有统计学意义(P<0.05),见表3。

2.5 急性脑梗死患者CT灌注成像参数、血清Hcy和DD水平与NIHSS评分的相关性 相关性分析显示,患者CBV、CBF和NIHSS评分成反比,MTT、TTP、Hcy和DD与NIHSS评分成正比r=-0.425、-0.422、0.508、0.456、0.458、0.435(P<0.05)。

2.6 影响急性脑梗死患者疗效的Logistic回归分析 以患者疗效为因变量,疗效良好为0,疗效不良为1。将表1中差异有统计学意义的因素纳入Logistic回归模型中,患者梗死体积、NIHSS评分、CBV、CBF、MTT、TTP、Hcy和DD均为连续变量。Logistic回归结果显示:患者高NIHSS评分、低水平CBV、低水平CBF以及高水平MTT、Hcy和DD是患者疗效不佳的独立危险因素(P<0.05)。见表4。

表3 良好组和不良组患者血清Hcy和DD水平比较

组别	例数	Hcy(μmol/L)	DD(mg/L)
良好组	98	16.38±3.61	1.06±0.08
不良组	52	18.96±2.84	1.31±0.12
t		4.469	15.228
P		<0.001	<0.001

表4 影响急性脑梗死患者疗效的Logistic回归分析

因素	β	SE	Wald x ²	OR	95%CI下限	95%CI上限	P
梗死体积(cm ³)	0.965	0.557	3.002	2.625	0.881	7.820	0.084
NIHSS评分(分)	1.241	0.574	4.674	3.459	1.123	10.655	0.031
CBV(mL/100g)	-1.263	0.451	7.842	0.283	0.117	0.685	0.005
CBF[mL/(100g·min)]	-1.352	0.569	5.646	0.259	0.085	0.789	0.180
MTT(s)	0.896	0.421	4.530	2.450	1.073	5.591	0.034
TTP(s)	0.963	0.581	2.747	2.620	0.839	8.181	0.098
Hcy(μmol/L)	1.025	0.452	5.142	2.787	1.149	6.759	0.024
DD(mg/L)	0.984	0.469	4.402	2.675	1.067	6.708	0.036

2.7 ROC分析CT灌注成像参数、血清Hcy和DD水平对患者疗效的评估价值 ROC分析显示:CBV、CBF、MTT、Hcy、DD以及联合检测评估患者疗效不佳的ROC下曲线面积(AUC)为0.789、0.737、0.744、0.674、0.845和0.884,其中联合检测敏感度为92.31%,特异度为77.55%,见表5。

表5 ROC分析CT灌注成像参数、血清Hcy和DD水平对患者疗效的评估价值

变量	截点值	敏感度(%)	特异性(%)	AUC	95%CI	P
CBV	4.766 mL/100g	75.00	84.69	0.789	0.759 - 0.903	<0.001
CBF	71.473 mL/(100g·min)	86.54	56.12	0.737	0.664 - 0.825	<0.001
MTT	10.610 s	59.62	80.61	0.744	0.656 - 0.833	<0.001
Hcy	16.910 μ mol/L	73.08	56.12	0.674	0.584 - 0.765	<0.001
DD	1.160 mg/L	78.85	73.47	0.845	0.783 - 0.907	<0.001
联合检测	-	92.31	77.55	0.884	0.831 - 0.938	<0.001

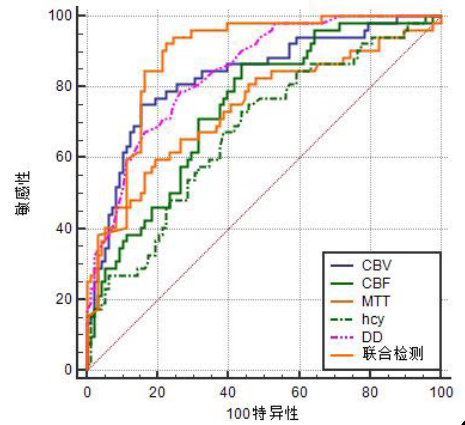


图2 CT灌注成像参数、血清Hcy和DD水平对患者疗效的评估价值ROC曲线。

3 讨论

静脉溶栓虽在一定时间窗内可显著改善急性脑梗死患者预后,但其疗效受多种因素影响,个体差异显著。因此,寻找客观、敏感的评价指标,以准确判断溶栓治疗效果、筛选适宜人群,成为当前卒中精准治疗研究的热点。CBV、CBF、MTT、TTP可反映梗死核心区与缺血半暗带的范围^[12],是评估脑缺血严重程度与治疗反应的关键工具^[13]。同时,Hcy和DD作为血管内皮损伤、高凝与纤溶系统活性的敏感指标,已广泛应用于脑血管事件的风险预测与预后判断^[14]。本研究通过将CTP参数与Hcy、DD水平联合应用,探讨其在评估溶栓疗效中的价值,旨在为个体化干预提供更为精准的临床依据,研究结果报道如下。

本研究结果显示,疗效良好组患者在CTP成像中表现为CBF、CBV水平显著高于不良组,MTT、TTP值明显低于不良组,提示脑组织灌注情况良好,提示较少的不可逆梗死核心区和更广泛的可逆性缺血区。在溶栓后获得更好的再灌注效果。CBF和CBV的升高反映脑血流和血容量的改善,可能预示血管再通后组织灌注恢复;而MTT和TTP的缩短则说明血流通过受损区加快,有助于判断组织对溶栓治疗的响应性。本研究结果中,良好组患者Hcy和DD水平均明显低于不良组。Hcy作为同型半胱氨酸循环障碍的代谢产物,会引起血管内皮损伤、促进氧化应激、增强血小板聚集和血栓形成,其水平升高往往与梗死范围扩大及溶栓反应差相关^[15]。而D-二聚体是纤维蛋白溶解的终末产物,其升高说明体内存在较强的凝血-纤溶反应,提示血栓负荷较大,与溶栓后再通率不高、出血风险升高密切相关。

本研究结果显示,CBF与CBV与NIHSS评分呈显著负相关,说明血流量与血容量越高,神经功能缺损越轻,预后越好。较高的CBF与CBV往往提示尚有活性神经元,具有较高的可救治性。MTT、TTP、Hcy及DD与NIHSS评分呈正相关,提示血流延迟及高凝/高纤溶状态越明显,患者神经功能障碍越严重,疗效越差。本研究中患者高NIHSS评分、低水平CBV、低水平CBF以及高水平MTT、Hcy和DD是患者疗效不佳的独立危险因素,上述回归模型为临床提前识别高风险人群提供了定量工具,有助于优化溶栓决策与围治疗策略。ROC分析中单项指标虽具有一定的预测能力,联合检测CBF、CBV、MTT、Hcy、DD的评估效能最佳,AUC达0.884,敏感度92.31%,特异度77.55%,明显优于单一指标,表明多维度联合评估在预测溶栓疗效中的优势。然而,本研究仍存在一定局限性,如样本量有限、为单中心回顾性分析,未来尚需多中心、大样本、前瞻性研究进一步验证结论的稳定性和广泛适用性。同时,还可结合神经影像学评分系统与炎症标志物,构建更全面的疗效预测模型。

综上所述,本研究证实CT灌注成像参数联合血清Hcy、D-二聚体水平检测在评估急性脑梗死患者静脉溶栓疗效中的重要临床价值,能够为卒中患者的早期评估和预后判断提供更加科学的支持,有助于临床实施精准溶栓干预策略,改善患者预后。

参考文献

- [1]刘毅,耿洪娇,崔鑫,等.注射用灯盏花素治疗急性脑梗死和冠心病心绞痛的综合评价[J].中草药,2023,54(19):6413-6423.
- [2]Zhang S,Yang J.Factors influencing TCM syndrome types of acute cerebral infarction:a binomial logistic regression analysis[J].Medicine (Baltimore),2023,102(46):e36080.
- [3]陈媛慧,雷雨萌,盛芳婷.多模态CT检查对急性脑梗死静脉溶栓治疗后出血性转化的预测价值研究[J].中国医学计算机成像杂志,2024,30(5):533-538.
- [4]郭丽红,陈辉,张燕,等.CT灌注成像联合血清microRNA-493预测急性脑梗死患者预后的价值[J].中国现代医学杂志,2023,33(22):88-93.
- [5]Tekieli L,Afanasjev A,Mazgaj M,et al.A multi-center study of the MicroNET-covered stent in consecutive patients with acute carotid-related stroke:SAFEWARD-STROKE[J].Postepy Kardiologii Interwencyjnej,2024,20(2):172-193.
- [6]Ye Z,Hu J,Xu H,et al.Serum exosomal microRNA-27-3p aggravates cerebral injury and inflammation in patients with acute cerebral infarction by targeting PPAR γ [J].Inflammation,2021,44(3):1035-1048.
- [7]王龙,吴凡,吴小三.血清尿酸、总胆红素、同型半胱氨酸表达与急性脑梗死患者重组组织型纤溶酶原激活剂静脉溶栓治疗预后的关系[J].中国临床医生杂志,2024,52(9):1024-1026.
- [8]周有婷,李志鹏,王嘉鹏.急性脑梗死患者血清CTRP-3、D-二聚体、sTREM2水平及相关临床特征与溶栓后出血性转化的关系[J].中国现代医学杂志,2023,33(24):60-66.
- [9]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.中国急性缺血性脑卒中诊治指南2018[J].中华神经科杂志,2018,51(9):666-682.
- [10]Kwah LK,Diong J.National Institutes of Health Stroke Scale (NIHSS) [J].J Physiother,2014,60(1):61.
- [11]陈伟群,王新德.全国第五届脑血管病学术会议纪要[J].中华神经科杂志,2000,33(4):59-61.
- [12]Xiong Q,Wang Y,Wang Z,et al.Relationship between consciousness level and perfusion computed tomography in patients with prolonged disorders of consciousness[J].Aging (Albany NY),2022,14(23):9668-9678.
- [13]刘春芹,谭双.急性缺血性脑卒中患者溶栓后脑血流量与缺血再灌注损伤及神经功能的相关性研究[J].中华老年心脑血管病杂志,2024,26(9):1049-1053.
- [14]王江元,刘彩虹,曹忠帅,等.Hcy、hs-CRP、D-二聚体在老年急性脑梗死与急性心肌梗死患者中的表达及临床意义[J].中国老年学杂志,2019,39(23):5671-5673.
- [15]张三妮,韩淑辉.血清TRAF6、sTfR-1和血管生成素样蛋白8对急性脑梗死出血性转化的预测效能分析[J].中国医科大学学报,2023,52(11):1009-1014.

(收稿日期:2025-05-21)

(校对编辑:翁佳鸿)