

• 中枢神经影像学 •

多时相 CTA 融合伪彩图在远端分支动脉闭塞的急性缺血性脑卒中的应用

董立军, 刘畅, 戴钢, 端木羊羊, 肖芳, 周运锋, 邓克学

【摘要】目的:探讨基于 FastStroke 软件的多时相 CTA(mCTA)融合伪彩图在远端分支动脉闭塞的急性缺血性脑卒中患者的应用价值。**方法:**搜集 65 例急诊入院的突发脑卒中症状患者的病例资料,所有患者均行 mCTA 扫描。2 名高年资医师及 2 名低年资医师采用盲法分别评估所有病例的单期 CTA 及 mCTA 融合伪彩图。评估的内容有:记录动脉闭塞的位置;完成诊断所需的时间;诊断信心评分。分别在两种 CTA 图像上记录区域性软脑膜侧支循环(rLMC)评分,并且在 mCTA 融合伪彩图上记录是否出现动脉闭塞周围及远端异常时相血管的显示及其颜色。**结果:**65 例患者中远端分支动脉闭塞(定义为脑动脉 A2 段、M2 段、P2 段或者其远端分支)病例 35 例,大脑中动脉 M1 段闭塞病例 15 例,正常对照组 15 例。不同年资医师在对所有病例判读的过程中,虽然两种 CTA 模式下准确率差异无统计意义,但是 mCTA 融合伪彩图显著缩短了诊断时间($P < 0.001$),并且提高了诊断信心($P < 0.05$)。在远端分支动脉闭塞病例中,使用 mCTA 融合伪彩图时诊断时间明显减少($P < 0.001$),其中 3 名医师诊断信心明显提高($P < 0.05$)。在正常对照病例中,使用 mCTA 融合伪彩图时诊断时间减少($P < 0.001$)。两种 CTA 模式下的 rLMC 评分的差异具有统计学意义($P < 0.001$)。mCTA 融合伪彩图显示动脉闭塞周围及远端会出现绿色、蓝色或绿蓝相间异常颜色血管。**结论:**mCTA 融合伪彩图不仅可缩短对于远端分支动脉闭塞的诊断时间,提高诊断信心,而且更加完善的评估侧支循环状态,具有良好的应用价值。

【关键词】 多时相 CTA; 远端分支动脉; 卒中; 侧支循环

【中图分类号】 R814.42; R743 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2023)11-1362-06

DOI: 10.13609/j.cnki.1000-0313.2023.11.001 **开放科学(资源服务)标识码(OSID):**



Application value of multiphase CTA color-code map for acute ischemic stroke with distal branch artery occlusion DONG Li-jun, LIU Chang, DAI Gang, et al. Department of Radiology, the First Affiliated Hospital of USTC, Division of Life Sciences and Medicine, University of Science and Technology of China, Hefei 230001, China

【Abstract】 Objective: To investigate the application value of multiphase CTA (mCTA) color-code map based on FastStroke software in patients with acute ischemic stroke with distal branch artery occlusion. **Methods:** A total of 65 patients with acute ischemic stroke were included. All patients underwent mCTA scan. Single-phase CTA and mCTA color-code map images of all cases were evaluated by two senior neuroradiologists and two junior neuroradiologists blinded to clinical information. The assessments included the location of the arterial occlusion, the time required to make the diagnosis and diagnostic confidence score. The regional leptomeningeal collateral (rLMC) scores were recorded on the two kinds of CTA images respectively. The presence of abnormal phase vessels around and distal to the occluded artery and their color were recorded on the mCTA color-code map. **Results:** Of the 65 patients, there were 35 cases of distal branch artery occlusion (defined as A2 segment, M2 segment, P2 segment or their distal branches of the cerebral artery), 15 cases of M1 segment occlusion and 15 cases of normal CTA and mCTA. Although the difference in the accuracy between the two CTA modes was not statistically significant, the mCTA color-code map significantly shortened the diagnosis time ($P <$

作者单位:230001 合肥,中国科学技术大学附属第一医院(安徽省立医院)影像科(董立军、刘畅、戴钢、端木羊羊、肖芳、邓克学); 241001 安徽,皖南医学院第一附属医院影像中心(周运锋)

作者简介:董立军(1991—),男,安徽无为人,硕士,住院医师,主要从事心脑血管疾病影像诊断研究。

通讯作者:邓克学,E-mail:dengkexue-anhui@163.com

0.001) and improved the diagnosis confidence ($P < 0.05$). In the cases of distal branch artery occlusion, the diagnostic time was significantly reduced ($P < 0.001$), and the diagnostic confidence of 3 neuroradiologists was significantly improved ($P < 0.05$). In normal cases, the time to diagnosis was reduced ($P < 0.001$) when using mCTA color-code map. The difference in rLMC scores between the two CTA modes was statistically significant ($P < 0.001$). Different colored vessels around and distal to the occluded artery were showed on the mCTA color-code map. **Conclusion:** The mCTA color-code map can not only shorten the diagnosis time of distal branch artery occlusion, improve the diagnostic confidence, but also evaluate the status of collateral circulation, which has good application value.

【Key words】 Multiphase CTA; Distal branch arteries; Stroke; Collateral circulation

急性缺血性脑卒中具有较高的致死率及致残率,影像学检查在诊断中发挥重要的作用。CT 血管成像(computed tomography angiography, CTA)具有快速、简便及几乎无创的优势,是诊断脑卒中患者血管形态学异常的重要方式^[1]。区别于常规单期 CTA (single-phase CTA, sCTA),多时相 CTA(multiphase CTA, mCTA)通过延迟扫描时间的方式,获得静脉期及静脉晚期的 CTA 数据,可以提供更多的血管信息,目前已经被越来越多地应用到急性缺血性脑卒中患者的检查和临床研究中^[2]。但是,以往的研究大多只围绕前循环大动脉闭塞展开,例如大脑中动脉 M1 段闭塞^[1,3-5],较少关注远端分支动脉闭塞。随着软件的发展,出现了将 mCTA 数据融合并彩色编码的技术,即 GE 公司推出的 FastStroke 罩中软件^[6],关于其临床应用的文献也较少。所以本研究旨在探讨使用 FastStroke 软件提供的 mCTA 融合伪彩图在远端分支动脉闭塞的急性缺血性脑卒中患者的应用价值。

材料与方法

1.一般资料

搜集 2020 年 6 月—2022 年 6 月 65 例急诊入院的突发脑卒中症状的患者的病例资料。纳入标准为:①发病 24 h 内接受 CT 检查;②年龄 ≥ 18 岁;③接受 DSA 检查或具有随访 CT、MRI 图像。排除标准为:①有脑动脉瘤、脑出血、脑肿瘤等疾病;②有碘对比剂使用禁忌症;③运动伪影较大并影响数据测量。其中男 32 例,女 33 例,年龄 23~89 岁,平均(66±14)岁。本研究获得中国科学技术大学附属第一医院(安徽省立医院)医学研究伦理委员会批准(编号:2022-RE-320)。

2.检查方法

所有扫描均采用 GE Revolution 256 排 CT。患者均采取仰卧位,头先进,并使用头带固定。扫描序列包括头颅 CT 平扫及 mCTA, mCTA 包含动脉峰值期的头颈联合 CTA、静脉峰值期及静脉晚期的脑部 CTA 扫描。头颅 CT 平扫参数:管电压 120 kV, 管电

流 250~415 mA, 扫描范围自颅底至颅顶部, 探测器 80 mm, 层厚 5 mm。mCTA 扫描采用的是双筒高压注射器(迈瑞公司), 使用 20G 留置针以流速 5 mL/s 于肘静脉注射非离子型对比剂碘佛醇(350 mg I/mL, 恒瑞公司)50 mL 及生理盐水 30 mL。头颈联合 CTA 采用 Bolus-tracking 法触发扫描, 触发阈值 100 HU, 静脉峰值期及静脉晚期脑部 CTA 的延迟时间为 8 s 及 10 s。管电压 100 kV, 三期管电流分别为 360 mA、225 mA、225 mA, 扫描范围头颈联合 CTA 自主动脉弓至颅顶, 静脉期及静脉晚期 CTA 自颅底至颅顶, 探测器宽度 80 mm, 层厚 0.625 mm, 螺距 0.992, 球管旋转一周 0.6 s。

3.图像后处理

所有数据导入 GE AW4.7 工作站(Advantage Workstation 4.7), 采用 FastStroke 软件进行图像后处理。分析 sCTA 时仅导入动脉峰值期头颈部 CTA 数据, 分析 mCTA 时则导入完整三期 CTA 数据。

先浏览 CT 平扫图像排除出血性疾病后进入动脉峰值期头颈部 CTA 窗口, 然后进入三期 CTA 轴位对照视图窗口, 最后进入 ColorViz 窗口。软件依据每个患者的自适应阈值技术^[6-7]将三期图像融合, 根据血管中对比剂强化时间的不同将其显示为不同的颜色, 即静脉前期最大程度强化显影的血管显示为红色, 静脉峰值期显影的血管显示为绿色, 静脉晚期显影的血管显示为蓝色。最终显示为一个图像序列的 mCTA 融合伪彩图。

4.图像分析

负责病例搜集的作者不参与图像分析。由 2 名高年资医师(分别具有 10 年及 12 年影像诊断经验)及 2 名低年资医师(分别具有 3 年及 5 年影像诊断经验)采用盲法分别评估影像资料。第一阶段先仅评估所有病例的 sCTA, 第二阶段(间隔四周时间后)评估所有病例 mCTA 融合伪彩图。在评估 mCTA 融合伪彩图前告知所有诊断医师需关注伪彩图上显示的异常颜色(如绿色和蓝色)的血管, 如发现异常颜色的血管, 则需结合第一期 CTA 图像判断其近端动脉闭塞的具体部位。

分别记录两种 CTA 模式下:①动脉闭塞的具体位置;②从开始浏览图像到最终诊断动脉闭塞位置所需的时间(秒);③诊断信心评分^[8](1 分为很不自信,2 分为不自信,3 分为一般,4 分为自信,5 分为很自信)。

4 名医师在上述评估结束后共同回顾所有动脉闭塞图像,首先分别在两种 CTA 图像上记录区域性软脑膜侧支循环 (regional leptomeningeal collateral, rLMC) 评分,然后进一步在 mCTA 融合伪彩图上记录是否出现动脉闭塞周围及远端异常时相血管的显示及其颜色,绿色血管为主时则表示大部分血管延迟 1 个期相充盈,蓝色血管为主时则表示大部分血管延迟 2 个期相充盈,绿色及蓝色血管相间时则表示血管延迟 1~2 期相均有充盈,当意见不一时互相协商达成一致。rLMC 评分基于文献改良^[3,5,7,9,10],仅评价责任血管周围或远端软脑膜侧支血管是否显示,评分内容如下:无血管显示记 0 分;血管较对侧少量显示(<50%) 记 1 分;血管较对侧显示一般(50%~99%) 记 2 分;血管显示很好($\geq 100\%$) 记 3 分。rLMC 评分图例见图 1 所示。

5. 动脉闭塞的诊断标准

参照相关文献^[2,8,11]制定以下标准:对接受 DSA 检查的患者以其 DSA 结果作为诊断标准。对未接受 DSA 检查的患者,由 2 名高级职称医师(分别具有 20 年及 30 年影像诊断经验)判定或参考随访 CT、MRI 确定 CTA 上的具体动脉闭塞位置作为诊断标准。正常对照组 CTA 的判定同样由 2 名高级职称医师完成,需要结合患者所有检查图像,当 sCTA、mCTA 未发现动脉闭塞,基线及随访 CT、MRI 未见脑梗死,即判定为正常。

6. 统计学方法

采用 SPSS 19.0 软件进行统计学分析,符合正态分布的计量资料使用均数±标准差描述,计数资料采用频数及百分比描述。不同年资医师对于两种 CTA

的诊断准确率、用时及诊断信心差异分别采用 McNemar 检验、配对 t 检验和 Wilcoxon 符号秩和检验进行比较。两种 CTA 模式下的 rLMC 评分差异使用 Wilcoxon 符号秩和检验。以 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

结 果

65 例急诊脑卒中患者中,正常对照组 15 例,动脉闭塞病例 50 例,其中远端分支动脉闭塞(定义为大脑前动脉 A2 段、大脑中动脉 M2 段、大脑后动脉 P2 段或者其远端分支)病例 35 例,大脑中动脉 M1 段闭塞病例 15 例。35 例远端分支动脉闭塞位置分别位于右侧大脑前动脉 A3 段 2 例,左侧大脑中动脉 M2 段 13 例,左侧大脑中动脉 M3 段 1 例,右侧大脑中动脉 M2 段 11 例,右侧大脑中动脉 M3 段 1 例,右侧大脑中动脉 M4 段 1 例,左侧大脑后动脉 P2 段 1 例,右侧大脑后动脉 P3 段 1 例,多发闭塞 4 例。15 例大脑中动脉 M1 段闭塞分别为左侧 7 例,右侧 8 例。其中经过 DSA 检查证实 25 例,经过专家判定或对照随访图像证实 25 例。

两种 CTA 模式下,不同年资医师对所有病例动脉闭塞位置诊断准确率的差异无统计意义,但是使用 mCTA 融合伪彩图显著缩短了诊断时间($P < 0.001$),并且提高了诊断信心($P < 0.05$),见表 1。

在远端分支动脉闭塞病例中,虽然两种 CTA 模式诊断准确率差异无统计学意义,但是使用 mCTA 融合伪彩图时诊断时间减少($P < 0.001$),其中 3 名医师诊断信心提高($P < 0.05$)。在正常对照组中,使用 mCTA 融合伪彩图时诊断时间减少($P < 0.001$),两种 CTA 模式的诊断准确率及诊断信心的差异均无统计学意义。在 M1 段闭塞病例中,两种 CTA 模式的诊断准确率、诊断时间及诊断信心的差异均无统计学意义(表 2)。

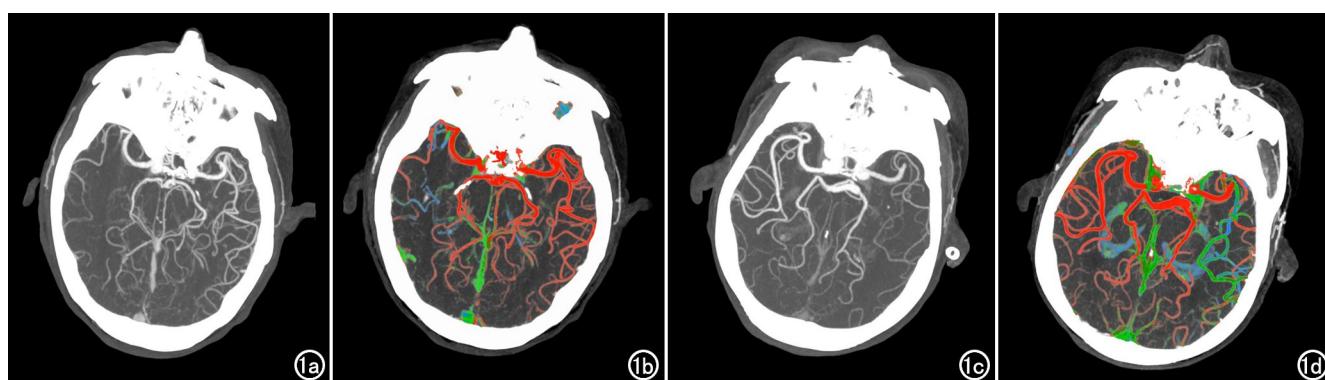


图 1 区域性软脑膜侧支循环(rLMC)评分图例。a、b 为同一患者的动脉期 CTA 及多时相 CTA 融合伪彩图,a 的 rLMC 评分为 0 分,b 的 rLMC 评分为 1 分;c、d 为同一患者的动脉期 CTA 及多时相 CTA 融合伪彩图,c 的 rLMC 评分为 2 分,d 的 rLMC 评分为 3 分。

表 1 两种 CTA 模式下不同年资医师总体诊断效能比较

医师/ 诊断效能	sCTA	mCTA 融合伪彩图	统计值	P 值
A				
准确率/%	96.92	100	0.50	0.500
时间/秒	71.75±27.38	56.80±21.91	8.52	<0.001
诊断信心/分	4.82±0.39	4.91±0.29	-2.12	0.034
B				
准确率/%	95.38	98.46	0.50	0.500
时间/秒	73.88±27.05	59.12±19.48	7.83	<0.001
诊断信心/分	4.85±0.36	4.94±0.24	-2.45	0.014
C				
准确率/%	89.23	96.92	3.20	0.063
时间/秒	79.98±29.11	63.71±20.99	8.13	<0.001
诊断信心/分	4.65±0.57	4.89±0.31	-3.77	<0.001
D				
准确率/%	90.77	98.46	3.20	0.063
时间/秒	83.09±27.52	65.38±21.24	9.95	<0.001
诊断信心/分	4.69±0.50	4.85±0.36	-2.89	0.004

注: A 和 B 分别为 2 名高年资医师; C 和 D 分别为 2 名低年资医师。

两种 CTA 模式下的 rLMC 评分的差异具有统计学意义 ($P < 0.001$), 使用 mCTA 融合伪彩图时 rLMC 评分较高(图 2)。27 例患者在静脉期血管侧支循环出现较明显, 表现为绿色血管为主。3 例患者在静脉晚期血管侧支循环出现较明显, 表现为蓝色血管为主。20 例患者在静脉期及静脉晚期均出现较明显侧支循环, 表现为绿蓝色血管相间(图 3、4)。

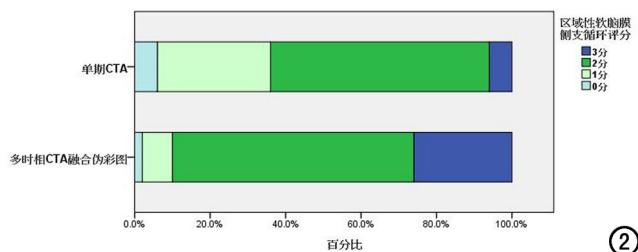


图 2 两种 CTA 模式下的区域性软脑膜侧支循环评分。

表 2 两种 CTA 模式下不同年资医师在针对不同类型病例时的诊断效能

医师/ 诊断效能	远端分支动脉闭塞(35 例)				M1 段闭塞(15 例)				正常对照组(15 例)			
	sCTA	mCTA 融合伪彩图	统计值	P 值	sCTA	mCTA 融合伪彩图	统计值	P 值	sCTA	mCTA 融合伪彩图	统计值	P 值
A												
准确率/%	94.29	100	0.50	0.500	100	100	/	/	100	100	/	/
时间/秒	71.66±18.93	54.71±18.71	7.12	<0.001	38.02±6.85	35.53±5.80	1.27	0.224	105.53±8.93	82.93±9.07	7.55	<0.001
诊断信心/分	4.77±0.43	4.91±0.28	-1.89	0.059	5.00±0.00	5.00±0.00	/	/	4.73±0.46	4.80±0.41	-1.00	0.317
B												
准确率/%	91.43	97.14	0.50	0.500	100	100	/	/	100	100	/	/
时间/秒	75.63±20.87	58.43±18.56	6.63	<0.001	40.00±5.93	40.47±5.15	-0.26	0.801	103.67±7.92	79.40±7.50	10.92	<0.001
诊断信心/分	4.80±0.41	4.91±0.28	-2.00	0.046	4.87±0.35	5.00±0.00	-1.41	0.157	4.93±0.26	4.93±0.26	/	/
C												
准确率/%	80.00	94.29	3.20	0.063	100	100	/	/	100	100	/	/
时间/秒	83.06±23.46	63.86±17.32	6.79	<0.001	43.27±6.57	40.73±7.15	0.86	0.406	109.53±9.57	86.33±11.01	8.74	<0.001
诊断信心/分	4.51±0.66	4.86±0.36	-3.21	0.001	4.87±0.35	4.93±0.26	-1.00	0.317	4.73±0.46	4.93±0.26	-1.732	0.083
D												
准确率/%	82.86	97.14	3.20	0.063	100	100	/	/	100	100	/	/
时间/秒	86.74±19.53	65.37±18.27	9.62	<0.001	46.07±6.90	42.67±6.90	1.35	0.199	111.60±10.76	88.13±9.78	7.76	<0.001
诊断信心/分	4.60±0.55	4.80±0.41	-2.33	0.020	4.93±0.26	4.93±0.26	/	/	4.67±0.49	4.87±0.35	-1.732	0.083

注: A 和 B 分别为 2 名高年资医师; C 和 D 分别为 2 名低年资医师。

讨 论

mCTA 融合伪彩图是一种将多时相数据融合为一个序列图像显示的软件技术^[12], 通过对血管中血流充盈和对比剂强化时间的不同将其显示为不同的颜色, 能够更加直观地显示血管的异常。虽然既往文献^[11,13]表明不使用融合伪彩技术下的 mCTA 也可以提高诊断信心及缩短时间, 并且提出“延迟血管征”这一概念, 但是由于多时相数据较多, 需要相互对比判断, 并且是灰度图像, 对于诊断医师的学习成本及阅片经验要求较高^[9]。而基于 mCTA 数据的融合伪彩图展示出的颜色差异更容易被人眼所辨别, 所以能更加快速及高效地诊断血管病变^[6]。本研究中在使用 mCTA 融合伪彩图诊断时反映出的时间的缩短及诊断信心的提高, 证实了上述优势。

目前, 脑卒中的影像学研究较少关注远端分支动脉, 远端分支动脉的定义也尚存争议。但是随着血管内介入器械及设备的发展, 远端分支动脉的血管内治疗也可以实现, 可能会成为下一个研究热点^[14], 术前影像学的精确诊断就变得尤为重要。多数研究认为将大脑中动脉 M2 段及其远端分支定义为远端分支动脉^[14,15], 也有学者提出远端中等血管的概念^[16], 本研究中使用的定义与上述文献相仿。笔者在纳入远端分支动脉闭塞病例的同时, 还纳入了 M1 段闭塞和正常对照组病例, 是为了尽可能的使病例符合日常急诊工作中所遇到的情况, 并且可以比较不同病例下两种 CTA 模式的优劣。分析表明 mCTA 融合伪彩图在远端分支动脉闭塞病例中更具有使用价值。sCTA 诊断远端分支动脉闭塞时有较大难度, 因为分支动脉变异较多且走行迂曲, 容易漏诊。若为靠近脑表面的终端分支动脉闭塞则由于颅骨干扰下更容易忽略^[16]。

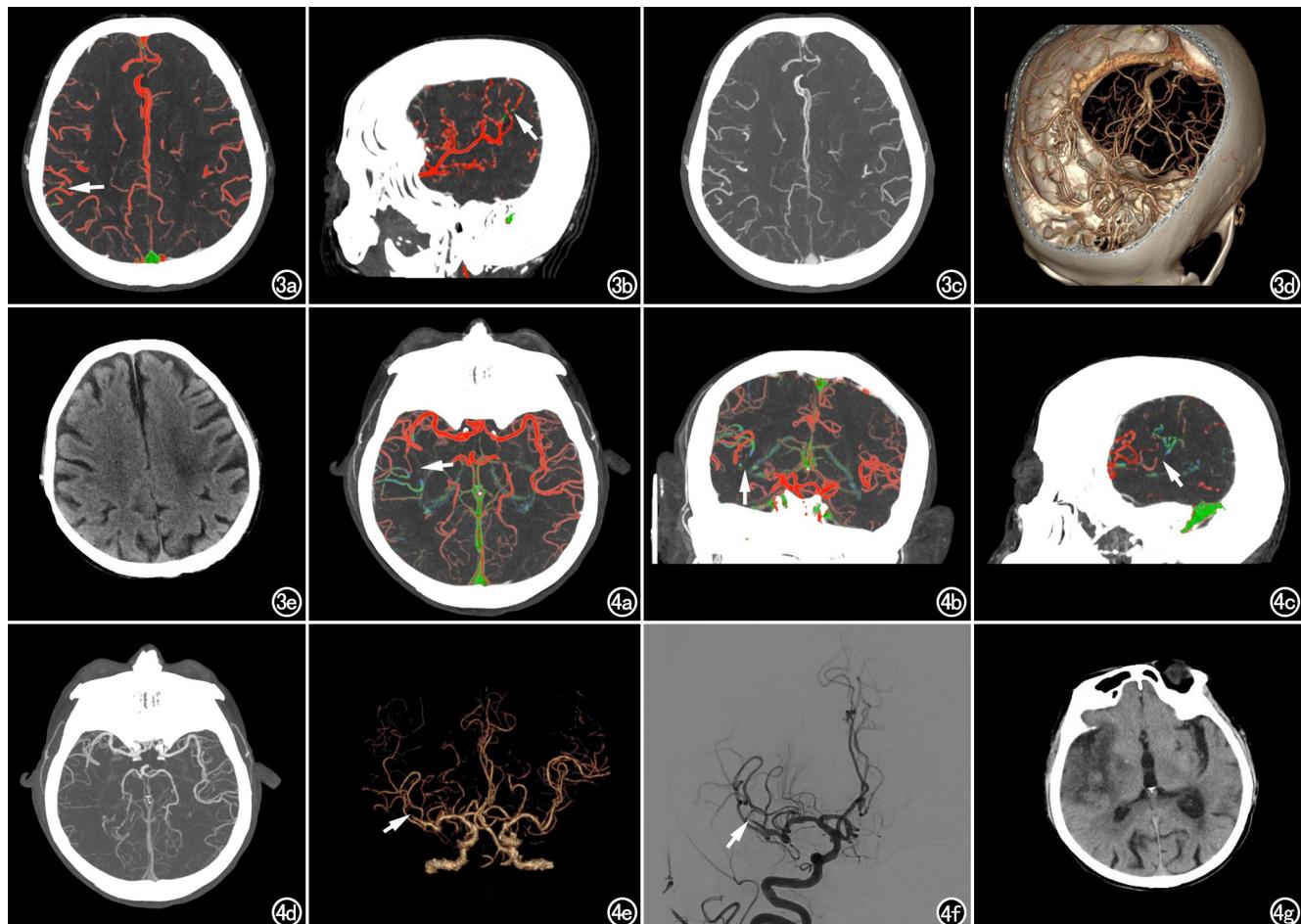


图 3 男,89岁,左侧肢体无力,不能言语9小时。a~b)多时相CTA融合伪彩图示右侧大脑中动脉M4段细小分支动脉闭塞(箭),显示的异常颜色为绿色血管为主;c~d)动脉期CTA示责任血管显示不清、难以诊断,4名医师均漏诊;e)基线及随访CT平扫未见明显梗死灶。图4 男,76岁,左侧肢体无力伴不能言语7小时。a~c)多时相CTA融合伪彩图示右侧大脑中动脉M2段分支动脉闭塞(箭),显示的异常颜色为绿蓝色血管相间,该模式下的区域性软脑膜侧支循环评分为2分;d~e)动脉期CTA示右侧大脑中动脉M2段分支动脉闭塞(箭),该模式下的区域性软脑膜侧支循环评分为1分;f)DSA证实右侧大脑中动脉M2段分支动脉闭塞(箭);g)随访CT平扫见相应供血区脑梗死。

使用mCTA融合伪彩图诊断时,可显示闭塞动脉远端的异常染色,如静脉期的绿色及静脉晚期的蓝色,可通过向其近端追溯并定位责任血管,比sCTA更加直观及可视化。闭塞动脉远端异常颜色的出现可能是因为血栓堵塞动脉时边缘残留细小通道供少许血流通过,故对比剂通过延迟,造成远端血管延迟显示^[11];或因为血栓动脉闭塞后,二级及三级侧支循环的开放,责任血管远端的血流部分是通过侧支循环逆向代偿而来的,导致对比剂充盈的时间较迟^[8],也可造成远端血管延迟显示为不同颜色。依据血流时相的不同,显示的血管颜色也不同,可初步判断动脉闭塞后局部血流状态。

本研究中的rLMC评分是基于文献^[3,5,7,9]进行了简化及改良,目的是更加快速及简便地评估侧支循环水平及范围。sCTA评价的rLMC由于是单时间点扫

描成像,显然无法全面反映侧支循环状态,容易导致rLMC评分较低,而mCTA是多时间点成像,可以展示出更多的侧支循环信息^[13]。李涵等^[12]研究表明前循环卒中患者基于FastStroke软件的mCTA侧支循环评分与DSA侧支循环评分有很强的相关性。也有学者认为mCTA在评估侧支循环时是简化的CT灌注,对于CT机硬件的要求较低,可在基层医院及防治卒中中心推广^[17]。FastStroke软件将mCTA的多期图像融合在一个序列展示,更进一步简化判定侧支循环的流程,能更好地展示侧支循环的范围、程度以及时相^[9,18]。

本研究存在的不足之处:①样本量较少,后续研究将扩大病例数;②对于未接受DSA检查的患者动脉闭塞诊断标准的制定,虽然依照相关文献^[2,8,11]进行处理,但仍容易受到医师主观因素的影响。

综上所述,mCTA 融合伪彩图不仅可缩短对于远端分支动脉闭塞的诊断时间,提高诊断信心,而且更加完善地评估侧支循环状态,具有良好的应用价值。

参考文献:

- [1] Fasen Bram ACM, Heijboer Roeland JJ, Hulsmans Frans-Jan H, et al. Diagnostic performance of single-phase CT angiography in detecting large vessel occlusion in ischemic stroke: A systematic review[J]. Eur J Radiol, 2021, 134: 109458.
- [2] Ospel JM, Bala F, McDonough RV, et al. Interrater agreement and detection accuracy for medium-vessel occlusions using single-phase and multiphase CT angiography [J]. Am J Neuroradiol, 2022, 43(1): 93-97.
- [3] Nannoni S, Cereda CW, Sirimarco G, et al. Collaterals are a major determinant of the core but not the penumbra volume in acute ischemic stroke[J]. Neuroradiology, 2019, 61(9): 971-978.
- [4] 程晓青,施佳倩,吴航,等. CTA 源图像上 CT 值变化率预测急性脑梗死后脑实质出血:基于 ASPECTS 软件脑梗死灶评估[J]. 放射学实践,2022,37(4):466-472.
- [5] 张哲宇,徐良颖,江秉泽,等.基于 CT 灌注成像评估侧支循环在急性缺血性脑卒中取栓前后脑梗死进展及预后评估中的应用[J].中华神经医学杂志,2021,20(1):8-15.
- [6] Ospel JM, Volny O, Qiu W, et al. Displaying multiphase CT angiography using a time-variant color map: practical considerations and potential applications in patients with acute stroke[J]. Am J Neuroradiol, 2020, 41(2): 200-205.
- [7] Ospel JM, Cimflova P, Volny O, et al. Utility of time-variant multiphase CTA color maps in outcome prediction for acute ischemic stroke due to anterior circulation large vessel occlusion[J]. Clin Neuroradiol, 2021, 31(3): 783-790.
- [8] Byrne D, Walsh JP, Sugrue G, et al. Subtraction multiphase CT angiography: A new technique for faster detection of intracranial arterial occlusions[J]. Eur Radiol, 2018, 28(4): 1731-1738.
- [9] Verdolotti T, Pilato F, Cottonaro S, et al. ColorViz, a new and rapid tool for assessing collateral circulation during stroke[J]. Brain Sci, 2020, 10(11): 882.
- [10] 刘盈盈,彭森,马春,等.基于多模 CT 的区域软脑膜侧支循环评估在血管再通预测中的应用价值分析[J].中华神经医学杂志,2020,19(5):499-503.
- [11] Byrne D, Sugrue G, Stanley E, et al. Improved detection of anterior circulation occlusions: the "delayed vessel sign" on multiphase CT angiography[J]. Am J Neuroradiol, 2017, 38(10): 1911-1916.
- [12] 李晗,胡春洪,郝光宇,等.基于 FastStroke 软件评估的急性缺血性脑卒中侧支循环与数字减影血管造影的对照研究[J].实用放射学杂志,2021,37(5):695-698.
- [13] Dundamadappa S, Iyer K, Agrawal A, et al. Multiphase CT angiography: a useful technique in acute stroke imaging—collaterals and beyond[J]. Am J Neuroradiol, 2021, 42(2): 221-227.
- [14] Amukotuwa SA, Wu A, Zhou K, et al. Time-to-maximum of the tissue residue function improves diagnostic performance for detecting distal vessel occlusions on CT angiography[J]. Am J Neuroradiol, 2021, 42(1): 65-72.
- [15] 姚科,贾振宇,赵林波,等.颅内前循环远端分支动脉闭塞机械取栓的疗效观察[J].中华神经科杂志,2020,53(10):805-809.
- [16] Amukotuwa SA, Wu A, Zhou K, et al. Distal medium vessel occlusions can be accurately and rapidly detected using Tmax maps [J]. Stroke, 2021, 52(10): 3308-3317.
- [17] Almekhlafi MA, Kunz WG, McTaggart RA, et al. Imaging triage of patients with late-window (6~24 h) acute ischemic stroke: a comparative study using multiphase CT angiography versus CT perfusion[J]. Am J Neuroradiol, 2020, 41(1): 129-133.
- [18] 王振华,马耀兴,王爱军,等.基于 FastStroke 软件 ColorViz 融合图预测急性缺血性脑卒中的临床结局[J].放射学实践,2022,37(12):1486-1492.

(收稿日期:2022-10-15 修回日期:2023-05-08)