

基于低辐射剂量全脑CT灌注评估急性缺血性脑卒中侧支循环的研究

王雁南^{1,2}, 周俊林^{1,2}, 那飞扬³, 刘显旺^{1,2}, 刘建莉^{1,2}

1. 兰州大学第二医院放射科, 甘肃 兰州 730000; 2. 甘肃省医学影像重点实验室, 甘肃 兰州 730000; 3. 甘肃省妇幼保健院过敏反应科, 甘肃 兰州 730000

【摘要】目的:探讨低剂量全脑CT灌注(CTP)容积数据重建的优化多期CTA(omCTA)对急性缺血性脑卒中患者侧支循环评估的临床应用价值。**方法:**选取2019年10月至2021年10月于兰州大学第二医院脑卒中中心以缺血性脑卒中收治住院,且诊断为单侧大脑中动脉闭塞的患者56例。所有患者入院后均行多模式CT(头颅平扫+全脑CTP+头颈CTA)检查。利用CTP原始数据采用不同权重的后置ASiR-V算法重建omCTA图像,比较40%、60%、80%权重的后置ASiR-V算法重建omCTA与常规CTA血管强化CT值、信噪比(SNR)、对比噪声比(CNR)、主观图像质量及侧支循环评分。**结果:**低剂量全脑CTP有效辐射剂量为(2.27±0.10) mSv,多模式CT扫描总辐射剂量(3.21±0.17) mSv;40%、60%、80%后置ASiR-V算法重建的omCTA的动脉强化CT值差异无统计学意义($P>0.05$),omCTA组的血管强化CT值均高于CTA组($P<0.05$);omCTA组与CTA组的SNR、CNR差异均无统计学意义($P>0.05$);omCTA组中60%权重的ASiR-V算法重建的omCTA图像在动脉强化及静脉污染方面优于CTA组($P<0.05$);omCTA 3组图像噪声均低于CTA组,其中omCTA组中60%权重的ASiR-V算法重建图像噪声最小。**结论:**基于低辐射剂量全脑CT灌注的omCTA图像质量能满足临床需求,能全面评估急性缺血性脑卒中患者侧支循环状态。

【关键词】低剂量CT全脑灌注;脑卒中;侧支循环

【中图分类号】R743.3;R816.1

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2023)08-0950-07

Collateral circulation assessment in acute ischemic stroke based on low dose whole brain CT perfusion

WANG Yannan^{1,2}, ZHOU Junlin^{1,2}, NA Feiyang³, LIU Xianwang^{1,2}, LIU Jianli^{1,2}

1. Department of Radiology, Lanzhou University Second Hospital, Lanzhou 730000, China; 2. Key Laboratory of Medical Imaging in Gansu Province, Lanzhou 730000, China; 3. Allergy Department, Gansu Provincial Maternity and Child-care Hospital, Lanzhou 730000, China

Abstract: Objective To investigate the role of optimized multiphase CT angiography (omCTA) based on volume reconstruction using low dose whole brain CT perfusion (CTP) data in the assessment of collateral circulation in patients with acute ischemic stroke. **Methods** A total of 56 patients with ischemic stroke who were diagnosed as having unilateral middle cerebral artery occlusion were admitted to Stroke Center of Lanzhou University Second Hospital from October 2019 to October 2021. After admission, all patients underwent multimodality CT (head plain scan + whole brain CTP + head and neck CTA) examination. The CTP original data and ASiR-V algorithms with different weights (40%, 60% and 80%) were used to reconstruct omCTA images. The CT number of vascular enhancement, signal-to-noise ratio, contrast-to-noise ratio, subjective image quality and collateral circulation score were compared between omCTA groups and CTA group. **Results** The effective radiation dose of low dose whole brain CTP was (2.27±0.10) mSv, and the total radiation dose of multimodality CT scan was (3.21±0.17) mSv. There was no significant difference in the CT number of arterial enhancement among omCTA3 groups with 40%, 60% and 80% ASiR-V. The CT number of vascular enhancement in omCTA groups was higher than that in CTA group ($P<0.05$). The differences in signal-to-noise ratio and contrast-to-noise ratio between omCTA groups

【收稿日期】2023-02-26

【基金项目】国家自然科学基金(82071872);甘肃省自然科学基金(22JR5RA996)

【作者简介】王雁南,主治医师,研究方向:医学影像技术,E-mail: 956426938@qq.com

【通信作者】刘建莉,主任医师,E-mail: 914027676@qq.com

and CTA group were trivial ($P>0.05$). The omCTA images reconstructed with 60% ASiR-V in omCTA group were superior to those reconstructed in CTA group in arterial enhancement and venous contamination ($P<0.05$). The image noises in omCTA groups were lower than those in CTA group, and the omCTA group with 60% ASiR-V has the least noise. **Conclusion** The omCTA image obtained based on low dose CTP can be used to comprehensively assess collateral circulation status in patients with acute ischemic stroke.

Keywords: low-dose whole brain CT perfusion; stroke; collateral circulation

前言

脑卒中是一种威胁人类健康的严重疾病。主要分为缺血性脑卒中及出血性脑卒中,其中缺血性脑卒中发病率较高,占85%^[1]。脑卒中发生后,脑血管突然破裂或者阻塞,导致血氧及营养物质等无法输送到脑细胞,从而引起脑细胞的缺血、坏死,进而引起神经功能障碍。由于神经元细胞对缺氧的耐受性较差,随着时间延长可引起不可逆的脑组织损伤,所以缺血性脑卒中治疗的时间窗非常关键。

急性缺血性脑卒中(Acute Ischemic Stroke, AIS)大部分是由于大血管闭塞导致的,需尽早进行治疗,挽救缺血半暗带的脑组织。如果缺血半暗带区域存在侧支循环,则可以使得缺血半暗带保持一定的血流量从而使得相应范围内的脑组织存活时间较长,大大降低出血转化的风险^[2]。在一些大型的临床试验中也认为侧支循环状态直接影响到AIS患者治疗方式的选择以及评估治疗的风险和获益^[3-4]。侧支循环的建立和开放与否直接决定了AIS患者疾病的治疗方案及预后转归,因此探索快速、准确有效的侧支循环状态评估办法对改善AIS患者预后格外重要^[5-8]。临床上评估侧支循环分级的常用方法有CT血管造影(CT Angiography, CTA)、磁共振血管造影(Magnetic Resonance Angiography, MRA)、经颅多普勒(Transcranial Doppler, TCD)、数字减影血管造影(Digital Subtraction Angiography, DSA)、CT灌注(CT Perfusion, CTP)等^[9-11]。其中DSA目前依然是评估侧支循环状态的金标准^[12],但是DSA具有有创性、操作风险大,临床常用的AIS患者快速侧支循环评估方法是CTA成像。头颅CTA分为单时相CTA和多时相CTA,单时相CTA可以从不同角度显示一、二级侧支血管结构,但对部分软脑膜侧支显像较差,容易对侧支循环低估;而多时相CTA能够同时评估侧支血流充盈时间和充盈程度,由此可以全面地反映侧支血管动态。虽说多时相CTA可以比较全面地评价脑血管的侧支循环,辐射剂量却大大增加^[13]。随着CT设备的硬件、软件技术飞速发展,高端、超高端CT应运而生,准直器的宽度发展到16、32 cm,已经完全可以

覆盖全脑,不仅可以得到全脑的灌注参数数据,而且可以通过全脑灌注的原始数据重建出多期CTA、4D-CTA。全脑CTP以快速、准确、便捷、相对无创及易于推广的优势,现在已经广泛应用于脑卒中的诊断和评估^[14-16]。大幅度降低了AIS患者的检查时间,保证了AIS患者的救治时间。对于AIS患者,运用GE公司第三代前置40%混合自适应统计迭代重建(Adaptive Level Statistical iterative Reconstruction V, ASiR-V)算法降低射线剂量,进行低剂量全脑CTP检查。基于原始CTP数据,人工智能提取3期较高质量优化多时相CTA(Optimized Multiphase CTA, omCTA)(即动脉期、静脉期和静脉晚期)用来评估AIS患者的侧支循环状态。低剂量全脑CTP具有一定的特色和优势,故本文探讨应用ASiR-V算法进行低剂量全脑CTP扫描,基于低剂量全脑CTP的omCTA评估AIS患者侧支循环状态具有重要的临床价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料

收集2019年10月~2021年10月在兰州大学第二医院脑卒中中心住院的前循环大血管闭塞AIS患者56例,且均进行一站式脑卒中CT检查(全脑CT灌注结束后5 min进行多时相CTA扫描);并对其进行回顾性分析。纳入标准:(1)已出现卒中临床症状,平扫CT初步诊断为颈内动脉颅内段或大脑中动脉M1、M2近端动脉闭塞;(2)发病在6~16 h之内的AIS患者;(3)年龄>18周岁且<80周岁;(4)入院后24 h内完成CT平扫或者MR平扫。排除标准:(1)严重心脏、肝脏、肾脏功能不全,造影剂过敏等原因无法行多模式CT检查;(2)图像质量不佳或缺乏完整的影像学随访;(3)CT扫描过程中运动伪影严重,影响图像观察。最终共有56例患者纳入研究,男29例,女27例;平均年龄(56.0±11.7)岁。入组患者性别、年龄差异均无统计学意义($P>0.05$)。对56例患者的全脑CT灌注数据进行不同后处理算法的侧支循环重建,其中根据算法不同,将omCTA组细分为40%ASiR-V组,60%ASiR-V组和80%ASiR-V组;同时将相同患

者的多时相CTA数据设为CTA组,进行对比。本项目通过兰州大学第二医院伦理委员会的批准,入组的患者及家属均签署相关知情同意书。

1.2 研究方法

图像采集设备为美国GE公司 Revolution CT (General Electric Medical System, America);处理工作站:GE AW4.7工作站;CTP扫描时造影剂用量40 mL、生理盐水40 mL;CTA扫描时造影剂用量:体质量(kg)×1.0 mL。患者行右侧肘静脉穿刺,给予浓度为370 mg/mL的碘普罗胺静脉注入。

omCTA组:注入造影剂5 s后,进行全脑CTP模式扫描,管电压80 kV,管电流80 mA,矩阵512×512,前置40% ASiR-V算法。扫描范围为从颅底至颅顶,图像采集分2个阶段,第一个阶段共循环扫描14个周期,间隔1.5 s,第二个阶段共循环扫描6个周期,间隔5 s,共循环扫描20个周期,总扫描时间为52 s。基于大脑前动脉及上矢状窦内对比剂的时间-密度曲线(Time-Density Curve, TDC),确定动脉及静脉达峰时间。所有原始数据利用 Revolution CT 主机进行处理,使用卷积核为H30f,扫描视野(Scanning Field of View, SFOV):19.2 cm×19.2 cm,分别采用40%、60%、80%权重水平的后置 ASiR-V 算法重建出层厚1.5 mm、层间距1.0 mm的薄层图像,从20期原始数据中手动提取出动脉早期(动脉峰值中心前一期相的时相)、静脉期(以静脉峰值时间为中心的时相)及静脉晚期(以静脉峰值时间后8 s为中心的时相)的多期CTA。随后在AW4.7工作站人工智能高级后处理Fast stroke软件上,将3期CTA图像采用最大密度投影(Maximum Intensity Projection, MIP)及ColorViz软件显示。

CTA组:56例患者完成全脑CTP扫描5 min后,再追加与CTP检查同类对比剂进行CTA检查,采Bolus-tracking法触发扫描技术扫描,触发阈值为80 HU,管电压100 kV,管电流350 mA。重建层厚为0.625 mm,层间距为1 mm,重建后图像用于CTA成像分析。扫描范围为从主动脉弓顶至颅顶。

1.3 观察指标

1.3.1 辐射剂量 根据后处理软件自动生成剂量长度乘积(Dose Length Product, DLP),算出有效辐射剂量(Effective Dose, ED)=k×DLP(k=0.0014)^[17]。

1.3.2 CTA客观质量评价 分别在CTA,40%、60%、80%权重水平的后置 ASiR-V 算法重建 omCTA 共4组图像的正常一侧大脑中动脉近端选取感兴趣区域(ROI),面积大小为4 mm²,测量标准差(SD)和平均CT值。测量时4组图像中选取的ROI位置、面积尽量保持一致。同时在同一横断层面的软组织放置

ROI,面积4 mm²,测量SD值和平均CT值。大脑中动脉信噪比(SNR)=大脑中动脉CT值/大脑中动脉SD值;对比噪声比(CNR)=(大脑中动脉CT值-软组织CT值)/软组织SD值^[18]。

1.3.3 CTA主观质量评价 由2名5年以上神经影像诊断经验的放射科医师参照吴寅波等^[19]方法对CTA、omCTA图像的5个指标进行主观评分,意见不统一时协商达成一致结果。均采用4分制,见表1。

表1 CTA图像主观评价标准

Table 1 Subjective evaluation criteria for CTA image

指标	1分	2分	3分	4分
图像质量	差	较差	好	很好
小动脉细节显示	无显示	血管中断	血管尚连续	血管连续
图像噪声	不清晰	一般	好	很好
静脉污染	污染广泛	有污染	少量污染	无污染
动脉强化	差	较差	好	很好

1.3.4 CTA侧支循环评价 侧支循环评分利用GE公司AW4.7工作站FastStroke软件后处理分析(图1)。5分,与对侧半球相比,患侧缺血区血管数与正常侧一致,无绿或蓝血管。4分,与对侧半球相比,患侧缺血区血管数与正常侧相同,出现红、绿血管。3分,与对侧半球相比,患侧缺血区血管数与正常侧相同,出现红、绿、蓝血管;或患侧缺血区血管数较正常侧减少不足50%,出现红、绿血管。2分,与对侧半球相比,患侧缺血区血管数量较正常侧减少了50%以下,出现红、绿、蓝血管;或患侧缺血区血管数量较正常侧减少了50%以上,出现红、绿、蓝血管。1分,与对侧半球相比,患侧缺血区血管数量较正常侧减少50%以上,部分区域无血管显影。0分,无任何血管显影^[20]。其中>2分为侧支循环良好,≤2分为侧支循环差。

1.4 统计学方法

应用SPSS25.0软件进行统计学分析。符合正态分布的计量资料用均数±标准差表示,组间比较采用t检验,两组比较采用Mann-Whitney检验。两位观察者对图像主观评分的一致性、omCTA组及CTA组侧支循环评分的一致性采用Kappa检验。P<0.05为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 辐射剂量

omCTA组(即全脑CTP)有效辐射剂量为(2.27±0.10) mSv,脑卒中多模式一站式扫描(头颈部CTA及全脑CTP)总辐射剂量为(3.21±0.17) mSv。

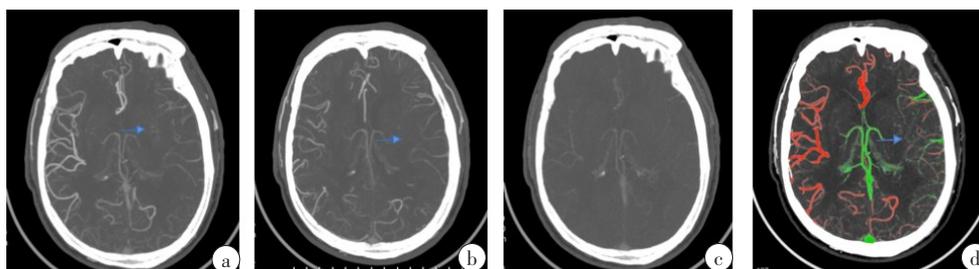


图1 omCTA组MIP图和ColorViz图

Figure 1 MIP image and ColorViz image of omCTA

a: 动脉早期左侧软脑膜动脉较右侧软脑膜动脉稀疏;b: 静脉期出现延迟期血管显影;c: 静脉晚期无延迟期血管显影;d: ColorViz图,其中红色血管代表动脉早期侧支循环出现,绿色代表静脉期侧支循环出现

2.2 不同组别血管图像客观质量评价

omCTA组中针对3组不同权重水平(40%、60%、80%)的后置ASiR-V算法重建omCTA图像分析,3组

间重建的omCTA图像动脉强化CT值差异无统计学意义($P>0.05$);但是omCTA组动脉强化CT值明显高于CTA组($P<0.05$),见表2。

表2 omCTA组与CTA组CT值、CNR、SNR指标分值比较结果($\bar{x}\pm s$)Table 2 Comparison of CT number, CNR and SNR (Mean \pm SD)

指标	CTA组	omCTA组		
		40% ASiR-V	60% ASiR-V	80% ASiR-V
CT/HU	420.12 \pm 70.97	507.65 \pm 56.12*	511.19 \pm 73.75*	521.35 \pm 63.25*
CNR	14.78 \pm 2.23	14.97 \pm 2.17	16.50 \pm 2.42	17.12 \pm 1.89
SNR	22.65 \pm 4.46	22.26 \pm 3.54	24.63 \pm 4.18	25.87 \pm 2.49

与CTA组比较,* $P<0.05$

对于SNR值及CNR值,其中80%权重后置ASiR-V算法重建CTA图像的SNR值及CNR值最高,40%、60%、80%后置ASiR-V算法重建组3组之间SNR值及CNR值差异无统计学意义($P>0.05$);且omCTA组与CTA组的CNR、SNR差异无统计学意义($P>0.05$)。

2.3 不同组别血管图像主观评价

在动脉强化和静脉污染方面,60%后置ASiR-V算法重建的血管图像质量优于CTA组($P<0.05$),但是与40%、80%后置ASiR-V算法重建组相比,差异无统计学意义($P>0.05$);小动脉细节显示方面4组数据相比,差异均无统计学意义($P>0.05$);图像噪声方面CTA组评分高于40%、60%、80%后置ASiR-V算法重建组($P<0.05$),40%、60%和80%后置ASiR-V算法重建组之间差异无统计学意义($P>0.05$);图像质量方面omCTA组60%后置ASiR-V算法重建的血管图像质量良好,血管远端细节显示清楚,优于40%、80%后置ASiR-V算法重建组及CTA组($P<0.05$)(图2),见表3。两位观察者间评价一致性较好,Kappa值为0.768($P<0.05$)。

2.4 不同组别侧支循环评价

60%后置ASiR-V算法重建组中有69.6%(39/56)侧支循环良好,CTA组有48.2%(27/56)侧支循环良好,见表4。60%后置ASiR-V算法重建组中侧支血管充盈良好,动脉期造影剂污染小,可显示延迟显影的侧支血管(图3a~图3c),CTA组只能显示动脉期的脑内主要动脉(图3d、图3e),侧支血管的二级分支单期CTA中充盈欠佳,彩色多期CTA融合图像能更加直观、清晰地显示侧支血管(图3f)。60%后置ASiR-V算法重建组与CTA组对侧支血管评估的一致性评分Kappa值为0.779($P<0.001$),一致性较好。

3 讨论

缺血性脑卒中发生时,脑组织局部血流发生改变,侧支循环可在一定程度上很好地保证脑部血流量,降低脑组织损伤^[21]。侧支循环是缺血性卒中发生和转归的重要因素,因此侧支循环对于脑卒中患者优化治疗方案和预后评估至关重要^[22]。

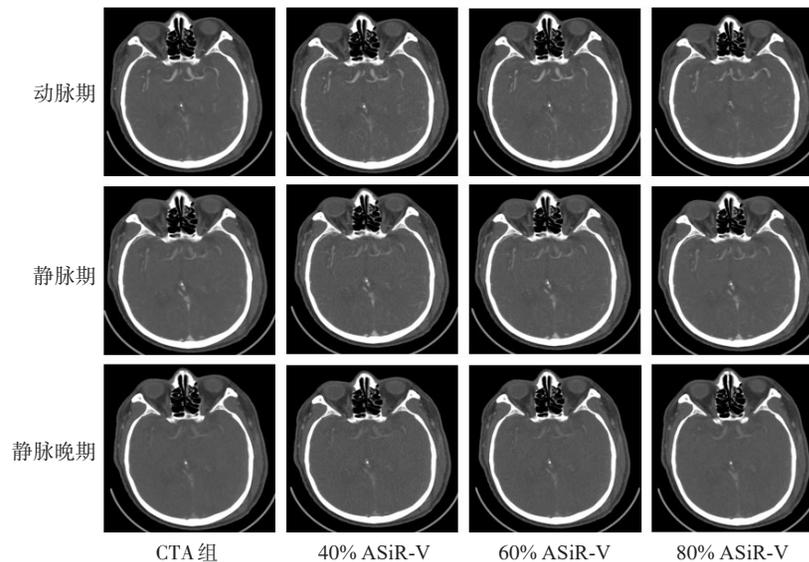


图2 不同组别的动脉期、静脉期、静脉晚期图像

Figure 2 Arterial phase, venous phase and late venous phase images

表3 不同组别的主观评价分值比较结果

Table 3 Comparison of subjective evaluation scores

指标	CTA组	omCTA组		
		40% ASiR-V	60% ASiR-V	80% ASiR-V
动脉强化	3.23±0.48	3.41±0.45	3.46±0.56 ^a	3.53±0.35
小动脉细节显示	3.42±0.58	3.36±0.76	3.39±0.62	3.34±0.57
图像噪声	3.44±0.54	3.24±0.62 ^a	3.11±0.21 ^a	3.22±0.36 ^a
静脉污染	3.48±0.40	3.68±1.52	3.76±0.67 ^a	3.73±1.74
图像质量	12.52±0.21	12.21±1.47	14.14±0.32 ^{abc}	12.38±0.25

与CTA组比较,^a $P < 0.05$;与40% ASiR-V组比较,^b $P < 0.05$;与80% ASiR-V组比较,^c $P < 0.05$

表4 omCTA组与CTA组侧支循环评分比较[例(%)]

Table 4 Comparison of collateral circulation score [cases (%)]

侧支循环评分	0分	1分	2分	3分	4分	5分	Z值	P值
CTA组	2(3.6)	8(14.3)	19(33.9)	13(23.2)	8(14.3)	6(10.7)		
60%后置ASiR-V 算法重建组	1(1.8)	4(7.1)	12(21.4)	12(21.4)	17(30.4)	10(17.8)	-4.19	<0.001

本研究基于低剂量全脑CT灌注数据采用不同权重的后置ASiR-V算法重建多时相CTA,进而评估侧支循环,比常规多模式一站式CT扫描的辐射剂量减少了30%。全脑CT灌注作为一种功能成像技术,常用于评价脑组织的灌注状态。目前有研究已证实全脑CT灌注不仅可以测量脑组织的缺血半暗带和核心梗死区体积,而且基于全脑CT灌注原始数据重建的CTA可评估侧支循环状态;但常规全脑CT灌注检查的患者辐射剂量严重超标,有研究表明当管电压为80 kV,X线能量降低,更接近碘浓度^[23],动脉强化

的效果会更好。对于管电流,降低管电流尽管可以降低辐射剂量,然而过低的管电流会损失一定的光子数,会增加图像噪声和伪影,但是图像噪声增高,图像的对比度分辨率以及密度分辨率均会下降,图像质量没有办法保证,会使CT灌注参数值不准确,从而影响诊断结果,不利于诊断医师对疾病的诊断。故本研究中采用管电压80 kV,管电流80 mA进行低剂量全脑CT灌注扫描,同时结合40%前置ASiR-V算法更好的保证图像质量。

本文中基于低剂量全脑CT灌注原始数据,根据

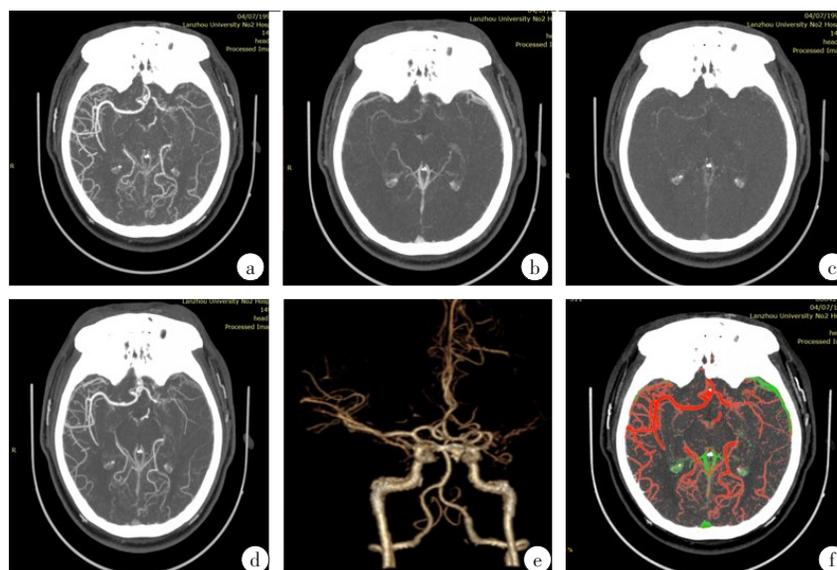


图3 不同组别 CTA 重建图

Figure 3 Reconstructed CTA images

患者女,56岁,患者突发右侧肢体无力,言语不清6.5h,a:60%后置ASiR-V算法重建omCTA动脉期MIP图;b:60%后置ASiR-V算法重建omCTA静脉期MIP图;c:60%后置ASiR-V重建omCTA静脉晚期MIP图,显示右侧大脑中动脉分支血管较左侧丰富;d:CTA组MIP图,e:CTA组VR图,f:omCTA的ColorViz图

时间-密度曲线采用不同权重的后置ASiR-V算法智能重建动脉期、静脉期、静脉晚期的omCTA成像进行侧支循环的评估,这样大大提高了诊断的准确性。本研究中omCTA组中SNR、CNR值随着后置ASiR-V权重水平的增加逐渐升高,但是血管平均CT值无明显变化,与国内学者在其他部位的ASiR-V研究结果一致^[24]。由于CTA组的管电压为100kV,因此omCTA组的图像噪声高于CTA组,致使omCTA重建的3组数据图像噪声评分低于CTA组。同时在本研究中发现动脉强化和静脉污染方面omCTA组优于CTA组,原因是本研究中根据时间-密度曲线基于不同权重的后置ASiR-V算法重建出没有静脉污染的omCTA图像,比根据经验值扫描的常规多期CTA图像更准确地反映软脑膜侧支循环状态。同时在图像噪声主观评分方面,后置ASiR-V算法权重越高,图像噪声反而升高,究其原因,可能由于过高的后置ASiR-V权重水平改变了图像的噪声成分,导致重建出的CTA图像边缘过于平滑,产生一种类似于塑料状或蜡状伪影,给人一种油画感和不真实感,所以导致omCTA组图像噪声高于CTA组,且ASiR-V权重越高,图像噪声越大,主观评分分值相应降低。将动脉强化、静脉污染方面、小动脉细节及图像噪声4个方面的主观评分进行综合评分,omCTA组中60%权重的后置ASiR-V重建图像质量最佳。

ASiR-V算法是GE公司基于多模型的迭代重建算法,与以往的ASiR多模型迭代优势、实时重建优势

相结合,将物理模型、描述物体模型和噪声模型融合,可以显示出比ASiR更好的密度分辨率,更有效地抑制图像伪影,对图像解剖细节的刻画能力更强^[25]。ASiR-V分为前置模式和后置模式,调整前置ASiR-V,可以调整扫描时的mA值以减小检查过程中的辐射剂量;调整后置ASiR-V权重,可以将原始图像与一定比例的FBP算法混合重建,从而减少图像中的噪声,保留图像中的结构细节。近几年来国内外多个研究表明前后置ASiR-V联合应用在减少辐射剂量的情况下有望获得高质量的诊断图像^[26-27]。因此,本研究中低剂量全脑CT灌注原始数据采用后置ASiR-V算法重建的omCTA不仅可以保证图像质量,而且降低辐射剂量,简化扫描流程,所以ASiR-V具有较大的临床实用价值。

最后本研究应用AW4.7工作站的Fast Stroke软件对3期血管图像进行快速、直观的分析,准确评估侧支循环建立或开放的状态,在AIS的诊断及预后评估中提供重要依据。因此全脑CTP不仅能够评估脑组织的灌注状态,现在又可以提取出omCTA血管图像,提供更全面的血管信息;既评估颅内血管狭窄程度同时也准确地掌握侧支循环的状态,为临床医生的治疗决策和预测预后治疗提供重要依据。

综上所述,基于低剂量全脑CTP的omCTA图像质量与常规CTA图像质量相当,可以对脑血管侧支循环进行准确的评估,为临床医生对脑卒中患者的治疗方案及预后管理提供重要依据。

【参考文献】

- [1] Boursin P, Paternotte S, Dercy B, et al. Semantics, epidemiology and semiology of stroke[J]. *Soins*, 2018, 63(828): 24-27.
- [2] 李玉竹. 急性缺血性脑卒中患者溶栓后侧支循环形成与预后研究[J]. *实用医院临床杂志*, 2018, 15(3): 51-54.
Li YZ. Collateral circulation formation and prognosis after thrombolysis in patients with acute ischemic stroke[J]. *Journal of Clinical Practice Hospital*, 2018, 15(3): 51-54.
- [3] Sarraj A, Hassan AE, Grotta J, et al. Optimizing patient selection for endovascular treatment in acute ischemic stroke (SELECT): a prospective, multicenter cohort study of imaging selection[J]. *Ann Neurol*, 2020, 87(3): 419-433.
- [4] Campbell BC, Mitchell PJ, Kleinig TJ, et al. Endovascular therapy for ischemic stroke with perfusion-imaging selection[J]. *N Engl J Med*, 2015, 372(11): 1009-1018.
- [5] Goyal M, Demchuk AM, Menon BK, et al. Randomized assessment of rapid endovascular treatment of ischemic stroke[J]. *N Engl J Med*, 2015, 372(11): 1019-1030.
- [6] 赖针珍, 张圣, 钟根龙, 等. 动态CT血管造影评估急性基底动脉闭塞患者侧支血流与再灌注治疗预后的关系[J]. *浙江大学学报(医学版)*, 2017, 46(4): 371-376.
Lai ZZ, Zhang S, Zhong GL, et al. Relationship between dynamic CT angiography-based collateral flow evaluation and outcome of patients with stroke induced by acute basilar artery occlusion[J]. *Journal of Zhejiang University (Medical Sciences)*, 2017, 46(4): 371-376.
- [7] Madelung CF, Ovesen C, Trampedach C, et al. Leptomeningeal collateral status predicts outcome after middle cerebral artery occlusion[J]. *Acta Neurol Scand*, 2018, 137(1): 125-132.
- [8] Tong E, Patrie J, Tong S, et al. Time-resolved CT assessment of collaterals as imaging biomarkers to predict clinical outcomes in acute ischemic stroke[J]. *Neuroradiology*, 2017, 59(11): 1101-1109.
- [9] Lu SS, Zhang X, Xu XQ, et al. Comparison of CT angiography collaterals for predicting target perfusion profile and clinical outcome in patients with acute ischemic stroke[J]. *Eur Radiol*, 2019, 29(9): 4922-4929.
- [10] 陈伟莉, 丁信法, 张圣, 等. 动态CT血管造影评估急性缺血性卒中患者侧支血流与静脉溶栓预后的关系[J]. *浙江大学学报(医学版)*, 2014, 43(1): 14-19.
Chen WL, Ding XF, Zhang S, et al. Dynamic CT angiography in evaluation of collateral flow and outcome of acute ischemic stroke patients after intravenous thrombolysis[J]. *Journal of Zhejiang University (Medical Sciences)*, 2014, 43(1): 14-19.
- [11] 李晗, 王希明, 郝光宇, 等. 多期CTA与单期CTA评估急性缺血性脑卒中患者侧支状态的对照研究[J]. *临床放射学杂志*, 2020, 39(12): 2375-2379.
Li H, Wang XM, Hao GY, et al. Comparative study of multi-phase CTA and single-phase CTA in evaluating collateral status in patients with acute ischemic stroke[J]. *Journal of Clinical Radiology*, 2020, 39(12): 2375-2379.
- [12] 吴亮. 迭代重建联合小剂量造影剂团注技术在颈动脉CTA低辐射剂量扫描中的初步应用[J]. *影像研究与医学应用*, 2020, 4(24): 79-81.
Wu L. Preliminary application of iterative reconstruction combined with small dose contrast agent group injection technique in low radiation dose scanning of carotid artery CTA[J]. *Imaging Research and Medical Applications*, 2020, 4(24): 79-81.
- [13] 吴晓玲, 胡杉, 莫梓华, 等. 基于低辐射剂量全模型迭代CTP的颅脑侧支循环研究[J]. *放射学实践*, 2020, 35(3): 334-339.
Wu XL, Hu S, Mo ZH, et al. The study of cerebral collateral circulation based on low-dose iterative model reconstruction CTP[J]. *Practice of Radiology*, 2020, 35(3): 334-339.
- [14] Copen WA, Lev MH, Rapalino O. Brain perfusion: computed tomography and magnetic resonance techniques[J]. *Handb Clin Neurol*, 2016, 135: 117-135.
- [15] Heit JJ, Wintermark M. Perfusion computed tomography for the evaluation of acute ischemic stroke: strengths and pitfalls[J]. *Stroke*, 2016, 47(4): 1153-1158.
- [16] 霍晓川, 高峰. 急性缺血性卒中血管内治疗中国指南2018[J]. *中国卒中杂志*, 2018, 13(7): 706-729.
Huo XC, Gao F. Chinese guidelines for endovascular treatment of acute ischemic stroke 2018[J]. *Chinese Journal of Stroke*, 2018, 13(7): 706-729.
- [17] Altomare M, Cimbanassi S, Chiara O, et al. Acute appendicitis. Update of clinical scores[J]. *Ann Ital Chir*, 2019, 90: 231-237.
- [18] 刘辉, 王卫, 李卫东, 等. 头颈动脉数字减影CTA应用自动毫安与能谱成像的辐射剂量和成像质量研究[J]. *中国医学装备*, 2019, 16(6): 28-33.
Liu H, Wang W, Li WD, et al. Study on radiation doses and image quality of applying AM and GSI in DSCTA of craniocervical arteries[J]. *Chinese Medical Equipment*, 2019, 16(6): 28-33.
- [19] 吴寅波, 史河水, 韩萍, 等. 低剂量MSCT一站式全脑灌注与动态动脉成像评价脑动脉瘤及其临床价值[J]. *临床放射学杂志*, 2015, 34(5): 803-807.
Wu YB, Shi HS, Han P, et al. The application of one-stop whole-brain CT perfusion and angiography with low-dose MSCT in the evaluation of intracranial aneurysms[J]. *Journal of Clinical Radiology*, 2015, 34(5): 803-807.
- [20] 李晗, 胡光春, 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.
Li H, Hu GC, Hao GY, et al. Comparative study of collateral circulation evaluated based on FastStroke software and digital subtraction angiography in acute ischemic stroke[J]. *Journal of Practical Radiology*, 2021, 37(5): 695-698.
- [21] 王玥瑶, 尚海龙, 于乐林, 等. 脑静脉血栓的临床特点及影像学表现分析[J]. *影像诊断与介入放射学*, 2016, 25(3): 236-241.
Wang YY, Shang HL, Yu LL, et al. Clinical and imaging features of cerebral venous thrombosis[J]. *Imaging Diagnosis and Interventional Radiology*, 2016, 25(3): 236-241.
- [22] Arenillas JF, Cortijo E, Garcia-Bermejo P, et al. Relative cerebral blood volume is associated with collateral status and infarct growth in stroke patients in SWIFT PRIME[J]. *J Cereb Blood Flow Metab*, 2018, 38(10): 1839-1847.
- [23] Wiesmann M, Berg S, Bohner G, et al. Dose reduction in dynamic perfusion CT of the brain: effects of the scan frequency on measurements of cerebral blood flow, cerebral blood volume, and mean transit time[J]. *Eur Radiol*, 2008, 18(12): 2967-2974.
- [24] 陈化. CT能谱多参数成像联合前、后置ASiR-V技术在门静脉检查中的应用研究[D]. 合肥: 安徽医科大学, 2021.
Chen H. Application of multi-parameter CT spectral imaging combined with anterior and posterior ASiR-V technique in portal vein examination[D]. Hefei: Anhui Medical University, 2021.
- [25] 王庆松, 张圣, 张美霞, 等. 基于CT灌注成像的侧支评分预测急性前循环大血管闭塞患者动脉取栓治疗预后的价值[J]. *浙江大学学报(医学版)*, 2017, 46(4): 377-383.
Wang QS, Zhang S, Zhang MX, et al. Collateral score based on CT perfusion can predict the prognosis of patients with anterior circulation ischemic stroke after thrombectomy[J]. *Journal of Zhejiang University (Medical Sciences)*, 2017, 46(4): 377-383.
- [26] 姜露, 胡智军, 李豆, 等. 低剂量头颅CT扫描最佳迭代算法(ASiR-V)权重的初探[J]. *影像诊断与介入放射学*, 2019, 28(1): 44-48.
Jiang L, Hu ZJ, Li D, et al. Preliminary study on weights of the Best Iterative Algorithm (ASiR-V) for low-dose head CT scanning[J]. *Imaging Diagnostic and Interventional Radiology*, 2019, 28(1): 44-48.
- [27] Zhao Y, Li D, Liu Z, et al. Comparison of image quality and radiation dose using different pre-ASiR-V and post-ASiR-V levels in coronary computed tomography angiography[J]. *J Xray Sci Technol*, 2021, 29(1): 125-134.

(编辑:薛泽玲)