

◁ 影像技术学 ▷

人工智能在基于 CT 灌注原始图像重组头颅 CT 血管成像的应用

欧阳颖, 张宇泽, 苏茹茹, 温孟皇, 黄 颺

(南方医科大学附属广东省人民医院(广东省医学科学院)放射科, 广东 广州 510080)

[摘要] 目的:探讨利用人工智能软件从 CTP 原始图像中重组的 CTA 的临床应用价值。方法:收集临床疑似缺血性脑血管病患者 60 例,所有患者均进行头颅 CT 平扫、CTA 与 CTP 检查,将 CT 灌注原始图像导入脑灌注智能分析系统获得重组 CTA (即 CTPA)。以常规 CTA 扫描结果为参照,CTA 与 CTPA 组各分析 540 个节段血管,采用 Kappa 检验比较两者图像质量以及脑动脉狭窄显示的一致性。结果:CTPA 图像显示脑动脉强化程度、脑动脉细节显示能力、图像噪声及静脉污染等与 CTA 相似。CTA 和 CTPA 对颅内动脉显示具有很好的一致性,Kw 值均大于 0.75。共 540 个节段血管中,仅 15 个节段的血管存在 CTPA 与 CTA 显示不一致的结果。结论:利用 AI 软件,能够方便、快捷地迅速从 CTP 灌注原始图像中重组出血管图像,所得 CTPA 与常规 CTA 比较,有较好的一致性,能准确显示动脉狭窄和闭塞。

[关键词] 卒中;体层摄影术,X 线计算机**[中图分类号]** R743.3;R814.42**[文献标识码]** A**[文章编号]** 1008-1062(2024)04-0277-06

DOI:10.12117/jccmi.2024.04.012

Application value of artificial intelligence on reconstruction of cerebral CT angiography based on CT perfusion datasets

OUYANG Ying, ZHANG Yu-ze, SU Ru-ru, WEN Meng-huang, HUANG Biao

(Department of Radiology, Guangdong Provincial People's Hospital(Guangdong Academy of Medical Sciences), Southern Medical University, Guangzhou 510080, China)

Abstract: Objective: To explore the application value of reconstructed CT angiography (CTA) derived from CTP datasets by using artificial intelligence (AI) software. **Methods:** Sixty patients with clinically suspected ischemic cerebrovascular disease were enrolled. All cases were examined by cerebral CT, CT angiography(CTA) and CT perfusion(CTP). The CT perfusion data of all patients were imported into the brain perfusion intelligent analysis system to obtain angiography (hereafter called CTPA). We analyzed 540 segmental vessels in CTA and CTPA groups, reference as conventional CTA. The Kappa test was used to compare the consistency of image quality and cerebral artery stenosis between two groups. **Results:** CTPA group was similar to CTA group in terms of cerebral artery enhancement, arteriole detail display ability, image noise and venous pollution. Kw values were >0.75 for the consistency test between CTPA group and CTA group on the display of cerebral artery stenosis. Only 15 segments of the 540 segmental vessels were inconsistent between CTPA and CTA. **Conclusion:** By using AI software, the cerebral angiography can be reconstructed conveniently and quickly from CTP datasets. The CTPA can accurately display arterial stenosis and occlusion compared with the CTA.

Key words: Stroke; Tomography, X-Ray Computed

脑卒中在中老年人群中常见且高发,是国人第一大死亡原因。69.6%~70.8%的脑卒中是血液灌流量减少导致的缺血性脑卒中^[1]。在实际临床工作中医生必须在接诊患者后进行疾病的快速诊断和治疗,以确保患者在有效的时间窗内得到合理的救治,最终达到降低死亡率及致残率的目的。根据指南要求,对疑似缺血性脑卒中的患者,应首先进行急诊头颅 CT 平扫检查排除脑出血,对发病 4.5 h 内缺血性脑卒中的患者,应按照适应症和禁忌症筛选完毕后尽快予 rt-PA 溶栓^[2];对于 6 h 以内缺血性脑卒中患

者,进行严格筛选后予尿激酶静脉溶栓;对于发病时间达 6~24 h 或发病时间不明的患者,在平扫及 CTA 检查的基础上,指南建议行灌注成像(CTP)定位梗死核心和缺血半暗带,确定患者是否具有血管内机械取栓的指征^[3]。受各种现实因素的制约,大部分急性缺血性脑卒中患者从发病到抵达医院确诊的时间为 6~24 h,这部分人群需要用 CT 或 MRI 灌注成像评估核心梗死区和缺血半暗带的范围。经过评估后满足条件的急性缺血性脑卒中患者可于 24 h 内取栓,研究表明,从发病到取栓的时间每减少 15 min,

[收稿日期] 2023-06-26;**[修回日期]** 2023-08-24**[作者简介]** 欧阳颖(1998-),女,湖南郴州人,在读硕士研究生。E-mail:emilyyingw@163.com**[通信作者]** 黄颺,南方医科大学附属广东省人民医院(广东省医学科学院)放射科,510080。E-mail:huangbiao@gdph.org.cn

1 000 例接受治疗的患者中有 34 例可避免残疾。相反,每延迟 5 min,100 例接受治疗的患者中致残人数增加 1 人^[4],并且大部分缺血性脑卒中患者责任血管位于颅内段及 ICA 颅底段,为节约时间及减少辐射,指南推荐采用 CTP 数据重组头颅 CTA^[5]。实现这一诊疗过程需要相关设备及后处理软件的支持,随着 CT 迭代技术的发展与应用,CTA 图像的信噪比明显提高^[6]。同时,可以从 CTP 灌注原始图像中获得满足诊断条件重组 CTA 图像(以下称 CTPA),但重组时间过长,很难在临床上得到广泛应用^[7]。

人工智能技术(AI)已经在脑血管病影像学诊断方面得到广泛应用,包括图像后处理、智能诊断报告、疾病疗效评估和预后预测等。相关团队研发了全自动头颈部 CTA 血管分割后处理系统(即 CerebralDoc 系统),图像平均后处理时间由常规 CTA 14.22 min 减至 AI-CTA 5 min,技师平均点击次数由 115 次减至 4 次,大大提升了后处理效率,操作简单且标准化。同时,AI 软件也能从 CTP 原始图像中重组出 CTA 图像,符合指南推荐需求,避免了二次扫描。AI 的临床应用越来越广泛,但相关的临床应用研究仍较少见,AI 软件从 CTP 原始图像中重组出 CTA 图像的准确性、实用性尚不明确。在本研究中,笔者利用 AI 软件从 CTP 原始图像中重组 CTA,以常规 CTA 图像为比照,分析 AI 软件重组 CTA 的准确性,探讨 AI 软件在急性缺血性脑卒中的应用价值。

1 资料和方法

1.1 研究对象

收集 2021 年 11 月—2022 年 10 月在广东省人民医院就诊,拟诊脑血管病患者的相关资料。共入组 60 例患者,男 43 例,女 17 例,年龄 25~76 岁。症状包括头晕头痛、吐字不清或讲话不灵、肢体无力或活动不灵等。

入组标准:①临床诊断为缺血性脑卒中或短暂性脑缺血患者,并在 14 天内出现过相关症状;②NIHSS 评分 ≥ 5 分;③患者年龄 >18 岁;④患者入院完善颅脑 CT 检查前尚未进行过任何血管内治疗。排除标准:①有脑血管手术史;②CT 图像质量差,无法达到诊断要求(运动伪影、对比剂量不足等);③患者存在脑血管畸形、动脉瘤等其他脑血管病。

1.2 CT 扫描仪及扫描参数

1.2.1 头颅 CT 平扫

扫描范围:从颅底部至颅顶部,扫描层面与基线平行。扫描参数:管电压 120 kV,管电流 250 mAs,层厚 5 mm,球管转速 0.4 s/r,探测器 128 \times 0.625 mm,矩阵 512 \times 512。

1.2.2 头颈 CT 灌注扫描

扫描范围:从颅底部层面上 8 cm 为感兴趣区脑组织。采用双筒高压注射器经肘前静脉团注非离子型对比剂 40 mL(碘普罗胺,370 mgI/mL,拜耳先灵),速度 4.5 mL/s,然后以相同速度注射生理盐水 20 mL。注射对比剂后延迟 5 s 开始扫描,曝光一次覆盖范围 8 cm,采用不移动扫描床模式连续对感兴趣区脑组织进行动态扫描,采集 40 个动态容积数据,时间分辨率 1.5 s,总扫描时间 60 s。

扫描参数:管电压 80 kV,管电流 50 mAs,图像重组层厚 5 mm 和 1 mm,球管转速 0.5 s/r,探测器 128 \times 0.625 mm,重组视野 220 mm,重组矩阵 512 \times 512。DLP 为 544 mGy \cdot cm。

1.2.3 头颈 CTA

扫描范围:从主动脉弓到颅顶为感兴趣区脑组织。采用双筒高压注射器经肘前静脉团注非离子型对比剂约 40 mL(碘普罗胺,370 mgI/mL,拜耳先灵),速度 4.5 mL/s,然后以相同速度注射生理盐水 50 mL。注射对比剂后延迟 8 s 开始扫描。

扫描参数:管电压 120 kV,管电流 250 mAs,层厚 0.625 mm,球管转速 0.4 s/r,探测器 128 \times 0.625 mm,螺距 0.4,矩阵 512 \times 512。DLP 约为 640~1 007 mGy \cdot cm。

1.3 CT 扫描辐射剂量

记录容积 CT 剂量指数(CTDIvol)和剂量长度乘积值(DLP),剂量长度乘积值 $DLP=CTDIvol \times L$ (扫描长度 L),有效辐射剂量 $E=k \times DLP$ (头部权重因子 k:0.002 1 mSv/(mGy \cdot cm))。

1.4 图像处理及分析

1.4.1 成像后处理

将所有患者 CTP 数据集传到人工智能辅助诊断系统,利用三维卷积神经网络自动成像重组系统(Cerebral Doc)识别脑动脉,并得到 CTA 及 CTP 后处理结果。与此同时将所有患者 CTA 数据集在飞利浦工作站进行传统 MPR、MIP、VR 后处理。以上后处理结果统一上传至 PACS 系统进行图像分析。

1.4.2 图像评价

由两名经验丰富的放射科医师进行独立双盲图像质量主观评价和血管狭窄程度分析,将 CTPA 图像和常规 CTA 图像随机分配给观察者。当存在分歧时,两名医师进行讨论并达成一致意见。

图像质量主观评价:CTA 及 CTPA 进行最大密度投影(MIP)处理后进行以下 4 分制(极好,好,较差,差)评分。①动脉强化程度:4 分,动脉轮廓锐利;3 分,动脉轮廓清晰;2 分,动脉强化欠清;1 分,动脉强化不清。②动脉分支显示:4 分,可见 4 级以上血管分支;3 分,可见 4 级以下血管分支;2 分,可见 3

级以下血管分支;1分,可见2级以下血管分支。③图像噪声:4分,颗粒感轻;3分,颗粒感较轻;2分,颗粒感中等;1分,颗粒感重。④静脉污染:4分,无污染;3分,少量污染;2分,有污染;1分,广泛污染。

血管狭窄程度分析:分析的血管包括双侧颈内动脉及基底动脉近端、双侧大脑前中后动脉。以最佳角度进行血管狭窄程度的评估,评估所得结果分4个级别:无狭窄、轻度狭窄(<50%)、中度狭窄(50%~<70%)、重度狭窄或闭塞(≥70%)。

1.5 统计分析

采用 SPSS 25.0 软件,2 名医师对观察血管段结果、CTA 组与 CTPA 组图像质量评价结果以及 CTA 与 CTPA 对颅内动脉狭窄检出的一致性分析均采用 Kappa 检验。Kw 值>0.75 即两组图像的一致性非常好;>0.40~0.75 即两组图像的一致性中等;≤0.40 即两组图像的一致性较差。

2 结果

2.1 CT 扫描辐射剂量

CT 平扫和头颈 CTA 的 DLP 为 640~1 007 mGy·cm,CT 灌注的 DLP 为 544 mGy·cm,计算得出 CT 平扫及头颈 CTA 的有效辐射剂量约为 1.34~2.11 mSv,

CTP 有效辐射剂量为 1.14 mSv。

2.2 图像质量主观评价

两组图像 4 项主观评价分如表 1 所示。CTPA 组与常规 CTA 组图像质量评价一致性中等,CTPA 图像噪声、动脉强化程度、动脉的细节较 CTA 稍差,但二者总体平均值均远大于临床诊断需求(≥2 分)。两组图像血管走行流畅,管壁光滑,动脉细节显示清楚(图 1)。两位观察者间评价一致性较好,Kappa 值为 0.767(P<0.001)。

2.3 血管狭窄程度分析

诊断结果通过综合分析横断面原始图像、曲面重组、多平面重组、MIP 及 VR 所得,详细分析每位患者 9 个节段的颅内动脉,即 CTA 与 CTPA 各分析 540 个节段血管,结果见表 2。Kw 值为 0.844~1.000,一致程度非常好,能较准确颅内血管狭窄部位及程度(图 2,3),仅 15 个节段的 CTPA 与 CTA 常规血管评价不一致,其中仅 2 个节段为低估血管狭窄程度,其余 13 个节段血管均为高估血管狭窄程度。两位观察者间评价一致性较好,Kappa 值为 0.772(P<0.001)。

3 讨论

急性缺血性脑卒中患者影像评估过程中,CTA、

表 1 常规 CTA 与 CTPA 组图像主观质量评价结果

	动脉强化程度				动脉显示细节				图像噪声				静脉污染			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
CTA	0	0	7	24	0	2	2	27	0	0	4	27	0	0	29	2
CTA 平均值	3.83				3.75				3.91				3.02			
CTP	0	0	10	21	0	0	9	22	0	0	31	0	0	0	28	3
CTP 平均值	3.77				3.70				3.80				3.03			
Kw	0.689				0.531				0.533				0.487			

注:显著性 P 值均<0.001,即两组评价结果存在一致性。

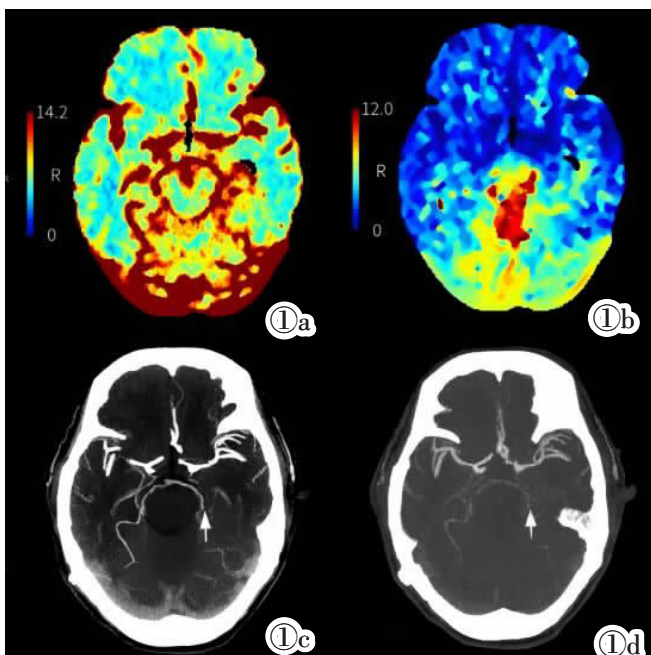


图 1 女,40 岁,一过性脑缺血,颅内动脉未见明显异常。VR 图像对比(图 1a:CTA,图 1b:CTPA),二者均能良好显示 Willis 环及颅内主要动脉,CTA 显示血管锐利度较好。MIP 图像(图 1c:CTA,图 1d:CTPA)显示 CTA 动脉强化程度及小动脉显示细节强于 CTPA。

Figure 1. A 40-year-old female presented with transient cerebral ischemia. There are no obvious abnormalities in cerebral arteries. VR image comparison (Figure 1a: CTA, Figure 1b: CTPA) showed that the circle of Willis and main intracranial arteries could be well displayed and CTA shows better vascular sharpness. MIP images (Figure 1c: CTA, Figure 1d: CTPA) show that CTA are stronger than CTPA on artery enhancement degree and arteriole detail.

表 2 血管狭窄程度分析结果

血管节段	CTA				CTPA				Kappa 值(Kw 值)
	无狭窄	轻度狭窄	中度狭窄	重度狭窄/闭塞	无狭窄	轻度狭窄	中度狭窄	重度狭窄/闭塞	
左 M1-3	43	2	7	8	40	4	8	8	0.897
右 M1-3	36	2	8	14	33	3	9	15	0.887
左 A1-3	56	0	3	1	56	0	3	1	1.000
右 A1-3	55	0	4	1	55	0	4	1	1.000
左 P1-3	51	2	3	4	51	2	1	6	0.876
右 P1-3	49	2	5	4	48	1	5	6	0.844
左 ICA	54	2	1	3	55	1	1	3	0.903
右 ICA	54	3	0	3	54	1	1	4	0.806
BA	57	1	2	0	57	1	2	0	1.000

注:显著性 P 值均 <0.001 ,即两组评价结果存在一致性。

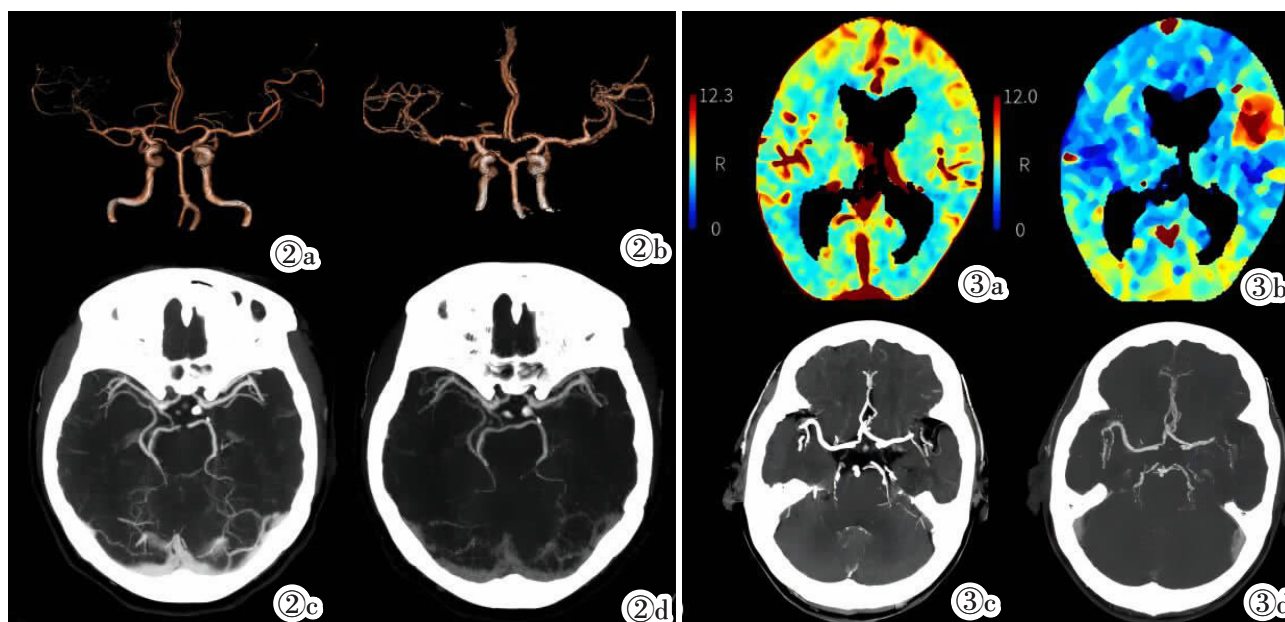


图 2 女,77 岁,左侧额颞岛叶脑梗塞。CT 灌注伪彩图(图 2a:CBV,图 2b:Tmax)示左侧额叶血流灌注下降。MIP 图像(图 2c:CTA,图 2d:CTPA)均显示左侧大脑中动脉 M1 段中度狭窄,两者小动脉细节显示能力相似。图 3 男,67 岁,中脑梗塞。灌注伪彩图(图 3a:CBV,图 3b:Tmax)显示双侧枕叶及中脑血流灌注下降。MIP 图像(图 3c:CTA,图 3d:CTPA)均显示左侧大脑后动脉闭塞。

Figure 2. A 77-year-old female with cerebral infarction in the left frontal and temporal lobe. CT perfusion maps(Figure 2a: CBV, Figure 2b: Tmax) show that the blood flow of left frontal and temporal lobe decrease significantly. The MIP images (Figure 2c: CTA, Figure 2d: CTPA) show moderate stenosis of the M1 segment of the left middle cerebral artery, and the ability of CTPA to display the details of small arteries is similar to that of CTA. **Figure 3.** A 67-year-old male with cerebral infarction in the midbrain. Perfusion maps (Figure 3a: CBV, Figure 3b: Tmax) show decreased blood perfusion in the bilaterally occipital lobe and midbrain. MIP images (Figure 3c: CTA, Figure 3d: CTPA) show occlusion of the left posterior cerebral artery.

CTP 检查速度快、应用广泛、结果可靠且相对廉价。将脑 CTP 数据导入 AI 软件可重组 CTA,在单次 CTP 采集中,既可以获得脑灌注信息,也可以获得血管狭窄程度信息。CTPA 方便、快捷,而且在患者无法做 CTA 检查或 CTA 检查因运动伪影等因素无法达到诊断要求时,为临床评估脑血管情况提供重要参考。本研究表明,CTPA 与常规 CTA 的图像质量有较好的一致性,能准确显示动脉狭窄和闭塞,可用于评估急性缺血性脑卒中患者脑内动脉。

随着溶栓、取栓、桥接等脑卒中相关临床治疗技术的多样化发展,以及更深刻了解卒中脑动静脉解剖结构和病理生理学改变的需要,多模态 CT(包括

NCCT、CTA、CTP)已成为全面评估急性缺血性卒中患者的常规检查^[8-9]。NCCT 可以排除脑内出血。CTA 包括颈动脉和脑动脉成像,可以识别大动脉闭塞,为临床医师制定取栓决策提供重要依据。CTP 参数包括脑血流量、脑血容量、平均通过时间、达峰时间和绝对达峰时间,可以鉴别梗死核心和缺血半暗带,为患者的治疗方案选择及预后预测提供依据。相关指南指出,对于发病 6 h 以上、24 h 以内的急性缺血性卒中患者,多模态 CT 明确证实缺血半暗带的存在,并符合 DEFUSE 3 或 DAWN 的纳入标准,术后 90 d Rankin 量表评分 0~2 分者可达 45%~49%^[10-11]。同时,通过在 CTP 图上识别脑灌注异常区域,可以指

导观察者判断 CTA 对应的血管结构。尤其是对于较小的血管结构,对影像医师来说可能具有挑战性。综上,脑卒中的诊疗高度依赖于多模态的影像数据,尤其对于提高微小血管狭窄或闭塞检出的敏感性^[12-13]。

因此,为了简化脑卒中患者入院后检查步骤,节省检查时间,降低辐射剂量及提升诊断准确性,可以考虑从 CTP 数据集中提取颅内动脉 CTA 结果。当 CTP 提示低灌注改变,但 CTPA 未见异常,可推断责任血管可能位于颈内动脉颅外段,建议患者下一步行头颈部 CTA 或 DSA 检查确认狭窄节段^[5]。本团队既往研究的 CTPA 源自使用 IMR 算法重组的 CTP 数据集,可进行多期 CT 血管造影,最终得到的图像质量与常规 CTA 相当^[14]。其他机构研究了 7 例颅内动脉瘤夹闭术和搭桥手术患者的图像,以 DSA 为金标准,发现 CTPA 在可接受的辐射剂量下,可产生与常规 CTA 相当的图像质量和血管可视化效果^[5]。以上研究证明了从 CTP 数据中提取到有诊断效能的 CTA 图像是可行的,但与常规 CTA 相比还需要额外进行图像薄层重组,故从数据导入到后处理完成一名经验丰富的医师也需要 30 min 左右。后处理时间较长这一局限性导致临床应用尚困难,这一问题可通过 AI 后处理解决。本研究将 1 mm CTP 数据导入 AI 脑灌注智能分析系统,获取动脉期 CTA 图像,并进行 MPR、MIP、VR 图像后处理,可三维观察颅内动脉及分支,并利用去颅骨纯动脉血管成像技术显示细节,这一技术对 Willis 动脉环动脉瘤及动脉狭窄检出有重要的意义^[16]。而且 CTPA 是对现有 CTP 数据集的重组,很容易将其纳入常规诊断工作流程^[17],有望在今后成为头颈 CTA 扫描的补充。本研究分析的 540 个节段血管中,仅 15 个节段的 CTPA 血管评价与 CTA 不一致,其中 2 个节段为低估血管狭窄程度,其余 13 个节段血管均为高估血管狭窄程度。这可能与 CTPA 低扫描条件下信噪比降低有关。研究表明,低管电压可用于头颈部 CTA 扫描。低剂量组虽出现图像颗粒,但不影响诊断质量^[18],这也与我们的研究结果是相符合的。血管重组瑕疵表现为部分血管中断、静脉伪影以及骨残留等,导致评价过程中血管狭窄程度的高估,而低估血管狭窄程度的 2 个节段是由于脑灌注扫描范围限制导致颈动脉狭窄识别不足。

随着 AI 影像的发展,它被证明在心脏^[19]、乳腺^[20]、胸部^[21]CT 中都能进行有效的定性及定量分析,在各系统疾病的诊断及风险预测方面发挥了巨大的价值。我们希望通过人工智能自动分析影像学资料,辅助医生进行卒中诊断以及后续的病情变化追踪和预后判断。在血管重组方面,深度学习能克服许多手动

操作中面临的困难,除了对比度、分辨率、噪声和伪影等常规的、与采集效果相关的考虑因素外,还包括血管的大小和曲率高度可变性特征等^[22]。相关团队研发了全自动头颈部 CTA 血管分割后处理系统(即 CerebralDoc 系统),基于 3D 卷积神经网络实现人工智能头颈 CTA 血管重组。3d-cnn 模型使用改进的 U-net 进行训练,并添加 bottleneck-ResNet(BR),实现自动优化的模型参数选择,完成最佳的特征提取和图像分割。CerebralDoc 系统的核心设计是深度学习模型,它分为两个部分:ResU-net 和 CGPM。ResU-net 主要负责骨分割和血管提取,CGPM 用于确保血管完整性。经过以上流程,图像平均后处理时间由常规 CTA 14.22 min 减至 AI-CTA 5 min,技师平均点击次数由 115 次减至 4 次,显著提升了图像后处理的效率和精确度^[16]。相关临床实践中发现,基于颅脑 CT 灌注数据进行 CTA 重组,在工作效率和图像质量方面也总体优于人工^[23]。综上,考虑到 CT 成像辐射防护最优化原则以及尽量减少急性患者检查时间、简化诊断流程,应用 AI 软件实现 CTP 灌注容积数据重组 CTA,在不影响患者诊断效能的前提下,避免了二次扫描,最终对比剂总剂量降低 50% (CTPA 40 mL vs CTA+CTP 80 mL),仅需 4 步、5 min 内即可获取自动化 CTA,所得 VR、MIP 图像能基本满足颅内动脉的诊断需求。对于脑血管疾病患者而言,AI 可以提高医生们对大血管闭塞卒中患者的检出和分诊效率,这也是更大可能挽救患者生命及减少疾病并发症所必需的^[24]。现在临床最佳应用方式是人工智能与人类监督的合作,AI 主要作为“警报系统”使用,它们的自动图像分析和体积测量功能作为传统影像识别的一种补充,便于医生在整合临床和影像信息后做出及时和准确的诊断和治疗决定^[25-26]。

局限性:首先,脑灌注智能分析系统进行的仅仅是常规扫描条件下 CT 灌注数据动脉期相的血管提取,提高扫描条件并进行多期相图像的融合或者形成的分期相的图像,有望进一步提升 AI 图像质量。其次,从 CT 灌注采集中提取颅内血管 CTA 覆盖范围有限,为了评估颅外部分,仍需通过颈部 CTA、MR 血管造影或超声检查,但 CTP 检查过程中进行预先的血管狭窄识别也为急性缺血性脑卒中的诊治争取了一些时间。

在本研究中,利用 AI 软件,能方便、快捷地从 CTP 数据中重组出血管图像,所得 CTPA 与常规 CTA 比较,有较好的一致性,能准确显示动脉狭窄和闭塞。由于大部分急性缺血性脑卒中患者的责任血管位于颅内 Willis 环周围的动脉,基于 CTP 数据集预估颅内动脉狭窄程度能有效缩短扫描及后处理

时间,尽管与常规 CTA 比较图像质量降低,但结果一致性较高。相信随着 AI 系统的不断升级优化,可在影像医生接诊脑卒中患者时发挥更显著的临床作用。

[参考文献]

- [1]The GBD 2016 Lifetime Risk of Stroke Collaborators. Global, regional, and country-specific lifetime risks of stroke, 1990 and 2016[J]. *N Engl J Med*, 2018, 379(25): 2429-2437.
- [2]Hacke W, Kaste M, Bluhmki E, et al. Thrombolysis with alteplase 3 to 4.5 hours after acute ischemic stroke [J]. *N Engl J Med*, 2008, 359(13): 1317-1329.
- [3]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组. 中国脑血管病影像指南 2019 [J]. *中华神经科杂志*, 2020, 53(4): 250-268.
- [4]Sheth SA, Jahan R, Gralla J, et al. Time to endovascular reperfusion and degree of disability in acute stroke [J]. *Ann Neurol*, 2015, 78(4): 584-593.
- [5] 国家卫生健康委员会卒中防治工程委员会神经影像专业委员会, 中华医学会放射学分会神经学组. 脑血管病影像规范化应用中国指南[J]. *中华放射学杂志*, 2019, 53(11): 916-940.
- [6]高思喆,张斌,赵福新,等. 基于全模型迭代重组算法(IMR)在头颈联合动脉 CTA 双低扫描中的应用[J]. *中国临床医学影像杂志*, 2017, 28(1): 64-67.
- [7]吴晓玲,温孟皇,杨粤龙,等. 源于全模型迭代 CTP 的多期相 CTA 在烟雾病中的诊断价值 [J]. *临床放射学杂志*, 2020, 39(1): 211-216.
- [8]Powers WJ, Rabinstein AA, Ackerson T, et al. 2018 guidelines for the early management of patients with acute ischemic stroke: a guideline for healthcare professionals from the American Heart Association/American Stroke Association [J]. *Stroke*, 2018, 49(3): e46-e110.
- [9]Krishnan P, Murphy A, Aviv RI. CT-based techniques for brain perfusion[J]. *Top Magn Reson Imaging*, 2017, 26(3): 113-119.
- [10]Albers GW, Marks MP, Kemp S, et al. Thrombectomy for stroke at 6 to 16 hours with selection by perfusion imaging[J]. *N Engl J Med*, 2018, 378(8): 708-718.
- [11]Nogueira RG, Jadhav AP, Haussen DC, et al. Thrombectomy 6 to 24 hours after stroke with a mismatch between deficit and infarct[J]. *N Engl J Med*, 2018, 378(1): 11-21.
- [12]Becks MJ, Manniesing R, Vister J, et al. Brain CT perfusion improves intracranial vessel occlusion detection on CT angiography[J]. *J Neuroradiol*, 2019, 46(2): 124-129.
- [13]Van Der Hoeven EJ, Dankbaar JW, Algra A, et al. Additional diagnostic value of computed tomography perfusion for detection of acute ischemic stroke in the posterior circulation [J]. *Stroke*, 2015, 46(4): 1113-1115.
- [14]Wu X, Yang Y, Wen M, et al. Ultra-low-dose multiphase CT angiography derived from CT perfusion data in patients with middle cerebral artery stenosis [J]. *Neuroradiology*, 2020, 62(2): 167-174.
- [15]Kidoh M, Hirai T, Oda S, et al. Can CT angiography reconstructed from CT perfusion source data on a 320-section volume CT scanner replace conventional CT angiography for the evaluation of intracranial arteries?[J]. *Jpn J Radiol*, 2015, 33(6): 353-359.
- [16]Fu F, Wei J, Zhang M, et al. Rapid vessel segmentation and reconstruction of head and neck angiograms using 3D convolutional neural network[J]. *Nat Commun*, 2020, 11(1): 4829.
- [17]Frolich AM, Psychogios MN, Klotz E, et al. Angiographic reconstructions from whole-brain perfusion CT for the detection of large vessel occlusion in acute stroke [J]. *Stroke*, 2012, 43(1): 97-102.
- [18]李飞飞,金彪,邹明,等. 低剂量 CT 扫描技术在头颈部 CTA 中的应用价值研究 [J]. *中国临床医学影像杂志*, 2013, 24(11): 761-764.
- [19]Jiang B, Guo N, Ge Y, et al. Development and application of artificial intelligence in cardiac imaging [J]. *Br J Radiol*, 2020, 93(1113): 20190812.
- [20]Huang Z, Xiao J, Xie Y, et al. The correlation of deep learning-based CAD-RADS evaluated by coronary computed tomography angiography with breast arterial calcification on mammography[J]. *Sci Rep*, 2020, 10(1): 11532.
- [21]Yan S, Chen H, Xie RM, et al. Chest CT evaluation of 11 persistent asymptomatic patients with SARS-COV-2 infection[J]. *Jpn J Infect Dis*, 2021, 74(1): 1-6.
- [22]Bappy DM, Hong A, Choi E, et al. Automated three-dimensional vessel reconstruction based on deep segmentation and bi-plane angiographic projections [J]. *Comput Med Imaging Graph*, 2021, 92: 101956.
- [23]黄晓颖,暴云锋,李霞敏,等. 人工智能在基于颅脑 CT 灌注数据血管后处理的应用[J]. *中华放射学杂志*, 2021, 55(8): 817-822.
- [24]Murray NM, Unberath M, Hager GD, et al. Artificial intelligence to diagnose ischemic stroke and identify large vessel occlusions: A systematic review [J]. *J Neurointerv Surg*, 2020, 12(2): 156-164.
- [25]Vagal A, Saba L. Artificial intelligence in "code stroke"—a paradigm shift: Do radiologists need to change their practice?[J]. *Radiol Artif Intell*, 2022, 4(2): e210204.
- [26]Elijovich L, Dornbos Iii D, Nিকেle C, et al. Automated emergent large vessel occlusion detection by artificial intelligence improves stroke workflow in a hub and spoke stroke system of care[J]. *J Neurointerv Surg*, 2022, 14(7): 704-708.