

论著·头颈部

人工智能(AI)辅助头颈部CTA在诊断头颈动脉病变的临床价值

骈文婷^{1*} 尹全乐¹ 贾福艳¹
李晨光²

1.天津港口医院放射科(天津 300456)

2.天津医科大学肿瘤医院肺部肿瘤科
(天津 300060)

【摘要】目的 探究人工智能(AI)辅助头颈部CT血管成像(CTA)在诊断头颈动脉病变的临床价值。**方法** 选取2022年12月至2024年10月收治的行头颈部CTA、数字减影血管造影术(DSA)检查的86例头颈动脉病变患者进行研究,获取图像及数据经人工手动或AI自动化后处理,依据图片后处理重建方法及报告方法不同,分为人工组(两位影像科医生手动图像后处理重建、双盲阅片测量图像相关数据)、AI组(AI程序自动化处理后重建与生产图文报告)、人工结合AI组(人工组医生结合AI图文报告与原始图像测量AI组后处理图像相关数据),分别采用AI辅助诊断与人工分析诊断。比较三种诊断方法工作效率,以DSA结果为金标准,比较三种诊断方法的敏感度和一致性,并对比三种诊断方法图像质量差异。**结果** AI组后处理重建平均时间、诊断所用时间和有效辐射射线剂量均低于人工组与人工结合AI组($P<0.05$),人工结合AI组后处理重建平均时间和诊断所用时间低于人工组($P<0.05$);人工组对颈内动脉、椎动脉、基底动脉狭窄程度敏感度、特异度、准确率及一致性均较高(均 $>90.00\%$ 、 >0.700),对动脉瘤敏感度和一致性稍低(84.00%、88.16%),特异度、准确率较高($>90.00\%$);AI组对颈内动脉、椎动脉、基底动脉狭窄程度敏感度稍低(85.71%、86.11%、75.00%),特异度、准确率较高与一致性(均 $>90.00\%$ 、 >0.700)较高,对动脉瘤敏感度、特异度、准确率及一致性均较高(均 $>90.00\%$ 、 >0.700);人工结合AI组对颈内动脉、椎动脉、基底动脉狭窄程度及动脉瘤敏感度、特异度、准确率及一致性均较高(均 $>90.00\%$ 、 >0.700);人工组、AI组和人工结合AI组对颈内动脉、椎动脉及基底动脉的VR图像与CPR图像评分差异无统计学意义($P>0.05$)。**结论** AI辅助头颈部CTA可提升诊断效率,降低辐射剂量,并辅助提升对动脉狭窄与动脉瘤的诊断敏感度和特异度,后处理图像质量可满足临床需求。

【关键词】 头颈动脉病变; 人工智能;
头颈部CT血管成像; 诊断价值

【中图分类号】 R323.1

【文献标识码】 A

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.06.010

Clinical Value of Artificial Intelligence (AI)-assisted Head and Neck CTA in the Diagnosis of Head and Neck Artery Lesions

PIAN Wen-ting^{1*}, YIN Quan-le¹, JIA Fu-yan¹, LI Chen-guang².

1.Department of Radiology, Tianjin Port Hospital, Tianjin 300456, China

2.Department of Pulmonary Oncology, Cancer Hospital of Tianjin Medical University, Tianjin 300060, China

ABSTRACT

Objective To explore the clinical value of artificial intelligence (AI)-assisted head and neck CT angiography (CTA) in the diagnosis of head and neck artery lesions. **Methods** From December 2022 to October 2024, 86 patients with head and neck artery lesions who received head and neck CTA and digital subtraction angiography (DSA) were selected for study. The images and data were obtained by manual or AI automatic post-processing. According to different image post-processing reconstruction methods and reporting methods, they were divided into artificial group (manual image post-processing reconstruction and double-blind reading measurement image-related data by two radiologists), AI group (AI program automatic post-processing reconstruction and production image-text report) and artificial combined AI group (artificial group doctor combined with AI image-text report and original image measurement AI group post-processing image-related data). AI-assisted diagnosis and artificial analysis diagnosis were used respectively. The working efficiency of the three diagnostic methods was compared. The sensitivity and consistency of the three diagnostic methods were compared with the DSA results as the gold standard, and the image quality differences were compared. **Results** The average time of post-processing reconstruction, diagnosis time and effective radiation dose in AI group were shorter or less than those in artificial group and artificial combined AI group ($P<0.05$), and the average post-processing reconstruction time and diagnosis time in artificial combined AI group were shorter than those in artificial group ($P<0.05$). In artificial group, the sensitivity, specificity, accuracy rate and consistency for internal carotid artery, vertebral artery and basilar artery stenosis degrees were higher (all $>90.00\%$, >0.700), and the sensitivity and consistency for aneurysm were slightly lower (84.00%, 88.16%), and the specificity and accuracy rate were higher ($>90.00\%$). The sensitivities of AI group for stenosis degrees of internal carotid artery, vertebral artery and basilar artery were slightly lower (85.71%, 86.11%, 75.00%), the specificity, accuracy and consistency were higher (all $>90.00\%$, >0.700), and the sensitivity, specificity, accuracy and consistency for aneurysm were higher (all $>90.00\%$, >0.700). The sensitivity, specificity, accuracy rate and consistency of internal carotid artery, vertebral artery and basilar artery stenosis degrees and aneurysm were higher in artificial combined AI group (all $>90.00\%$, >0.700). There were no statistical differences in VR image and CPR image scores of internal carotid artery, vertebral artery and basilar artery among artificial group, AI group and artificial combined AI group ($P>0.05$). **Conclusion** AI-assisted head and neck CTA can improve diagnostic efficiency, reduce radiation dose, and assist in improving the diagnostic sensitivity and specificity of arterial stenosis and aneurysm, and post-processing image quality can meet clinical needs.

Keywords: Head and Neck Artery Lesions; Artificial Intelligence; Head and Neck CT Angiography; Diagnostic Value

头颈部动脉病变是导致脑卒中、短暂性脑缺血等严重神经系统疾病的重要原因,及早诊断和精确评估对于制定有效的治疗策略、改善患者预后至关重要^[1]。计算机断层扫描(computed tomography, CT)为评估头颈部血管病变的重要手段之一,CT血管成像(CT angiography, CTA)作为一种非侵入性的血管成像技术,能够提供头颈动脉的高分辨率图像,对于诊断动脉狭窄、闭塞、动脉瘤和血管畸形等病变具有重要价值^[2]。然而,传统的CTA后处理依赖于影像科医生的经验和主观判断,不仅耗时费力,易受主观因素影响,同时对细微病变的识别能力有限,准确性不足^[3]。随着人工智能(artificial intelligence, AI)的发展,AI辅助诊断为医学影像领域带来了革命性的变化,AI可通过深度学习、机器学习等算法,能够自动识别和分析影像数据,提高诊断的效率和准确性^[4]。在头颈部CTA中,AI的应用不仅可以减少影像科医生的工作负担,还可以通过其高效的图像后处理能力,显著减少阅片时间,并提供更加精确的血管分析结果,从而降低因人为因素导致的误诊和漏诊风险,辅助临床决策^[3]。通过与传统诊断方法的结合,AI有望提升整体诊疗水平,优化资源配置。本研究旨在探讨AI辅助头颈部CTA在诊断头颈动脉病变中的临床价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取2022年12月至2024年10月收治的行头颈部CTA、后经数字减影血管造影术(digital subtraction angiography, DSA)检查的86例头颈动脉病变患者进行研究,包括男性52例,女性34例,年龄范围49~82岁(65.48 ± 8.17)岁。

纳入标准:有头颈部影像学检测需求,行CTA、DSA等检测;CTA与DSA检查间隔不超过14 d;18岁以上;知情同意。排除标准:存在支架、妊娠等影像学检查禁忌;对

【第一作者】骈文婷,女,副主任医师,主要研究方向:CT和MR诊断。E-mail: pianwt2009@126.com

【通讯作者】骈文婷

碘造影剂过敏，或患有甲亢、哮喘等碘造影剂禁忌性疾病；心肾功能不全或疾病；扫描图像质量差、不足以进行人工诊断与AI分析；图像或线束硬化伪影及血管强化度不足导致无法进行DSA检测及重建。

1.2 检查方法 CTA检查：患者平卧，头部固定，范围包括主动脉弓至颅顶。入组患者均行平扫和动脉期扫描。使用西门子Definition AS 64排128层螺旋CT系统，设置参数为容积扫描，管电压/管电流为120 Kv/120 mAs，旋转时间0.25 s，层厚与层间距均为1mm，准直128×0.6 mm。使用碘佛醇350注射液(100mL：74.1g；江苏恒瑞医药股份有限公司，国药准字H20143027)作为造影剂，剂量为1.5~2 mL/kg；采用团注追踪法启动扫描，主动脉弓层面监测阈值为100 HU，注射速率5mL/s；造影剂注射后持续推注40 mL生理盐水，注射速率3mL/s。

DSA检查：观察头颈部各主动脉及分支动脉狭窄、畸形、夹层、动脉瘤等病变情况。

AI分析：使用数坤辅助诊断系统。连接CT机和人工智能辅助诊断系统，将CTA扫描原始图像传输至AI系统进行计算、后处理图像重建。由两位影像学医师评估。

1.3 图像后处理 头颈部CTA后处理以三维容积再现技术(volume rendering, VR)、最大密度投影(maximum intensity projection, MIP)及曲面重建(curved planar reformation, CPR)，保留动脉情况下最大限度去除骨和静脉污染，得到头部、颈部及头颈部后处理图像。对患者图像分别采用人工分析(人工组)、AI分析(AI组)及人工结合AI分析法(人工结合AI组)，人工组由两位具有5年以上工作经验的影像科医生，将头颈部CTA原始薄层图像传至图像后处理工作站进行人工重建，后传输回PACS系统双盲阅片测量图像动脉瘤、血管扩张或狭窄等相关形态学数据，并进行最终评估；AI组将原始薄层图像直接传至AI，由智能软件系统自动化后处理重建，生成图文报告后由人工组医生记录；人工结合AI组由人工组医生在1个月洗脱期后，对AI组的图文报告和原始图像进行人工诊断、数据测量，结果有争议时均由高年资者最终决定。图片处理及诊断结

果见图1、图2。

1.4 评价指标

1.4.1 一般资料：记录入组患者年龄范围、男女比例、临床主要表现、治疗方法等资料。

1.4.2 工作效率：比较各组后处理重建平均时间、诊断(重建+报告)所用时间，计算有效辐射射线剂量(剂量长度乘积×转换因子k)。

1.4.3 诊断准确率和一致性：诊断准确率由各组最终评定以DSA结果为金标准，评估颈内动脉、椎动脉及基底动脉狭窄情况与动脉瘤等具体诊断结果，分析各组诊断颈内动脉、椎动脉及基底动脉重度狭窄与闭塞、动脉瘤的敏感度、特异度、准确率和一致性。

1.4.4 图像质量：由人工组医生采用头颈部CTA主观评价标准^[5]，1~5分评价头颈部CTA动脉显示清晰度、边缘光滑度和杂质污染情况差~好，比较各组在颈内动脉、椎动脉及基底节方面VR、CPR后处理技术的评分差异。

1.5 统计学分析 数据分析使用IBM软件SPSS 27.0，计量资料均值与标准差符合正态分布的描述为($\bar{x} \pm s$)，各组间工作效率时间、图像质量评分比较采用单因素方差分析，进一步两两比较采用LSD-t检验；计数资料准确率和一致性等使用比例(%)描述，行 χ^2 检验， $P<0.05$ 描述统计学意义。

2 结果

2.1 一般资料 86例头颈动脉病变患者年龄范围49~82岁，平均(65.48±8.17)岁，包括男性52例，女性34例；临床主要表现为头晕29例(33.72%)，乏力44例(51.16%)，言语不清10例(11.63%)，口歪斜3例(3.49%)；确诊后53例(61.63%)药物保守治疗，36例(41.86%)手术介入治疗；治疗后3个月内，1例患者病情进展发生出血转归，其余患者病情尚无进展，恢复良好。

2.2 工作效率比较 AI组后处理重建平均时间、诊断所用时间和有效辐射射线剂量均低于人工组与人工结合AI组($P<0.05$)，人工结合AI组后处理重建平均时间和诊断所用时间低于人工组($P<0.05$)，见表1。

表1 各组工作效率比较

组别	例数	后处理重建平均时间(min)	诊断所用时间(min)	有效辐射射线剂量(mGy·cm)
人工组	86	7.78±1.57	20.24±4.14	989.57±110.62
AI组	86	1.12±0.14*	1.14±0.13*	596.27±63.24
人工结合AI组	86	1.41±0.23**	7.27±1.44**	-
F/t值		1440.732	1083.576	28.624
P值		<0.001	<0.001	<0.001

注：与人工组比较，* $P<0.05$ ；与AI组比较，** $P<0.05$ 。

2.3 诊断价值比较 人工组对颈内动脉、椎动脉、基底动脉狭窄程度敏感度、特异度、准确率及一致性均较高(均>90.00%、>0.700)，对动脉瘤敏感度和一致性稍低(84.00%、88.16%)，特异度、准确率较高(>90.00%)；AI组对颈内动脉、椎动脉、基底动脉狭窄程度敏感度稍低(85.71%、86.11%、75.00%)，

特异度、准确率较高与一致性(均>90.00%、>0.700)较高，对动脉瘤敏感度、特异度、准确率及一致性均较高(均>90.00%、>0.700)；人工结合AI组对颈内动脉、椎动脉、基底动脉狭窄程度及动脉瘤敏感度、特异度、准确率及一致性均较高(均>90.00%、>0.700)，见表2。

表2 各组诊断准确率和一致性比较

项目	组别	N	正常/轻中度狭窄/重度狭窄/闭塞	动脉瘤阳性/阴性	敏感度(%)	特异度(%)	准确率(%)	一致性
颈内动脉	人工组	172	90/55/18/9	-	96.43	100.00	95.35	0.923
	AI组	172	84/64/15/9	-	85.71	100.00	90.12	0.838
	人工结合AI组	172	91/54/18/9	-	96.43	100.00	95.93	0.932
	DSA	172	97/47/19/9	-				
椎动脉	人工组	172	111/25/23/13	-	100.00	100.00	98.84	0.979
	AI组	172	105/36/15/16	-	86.11	100.00	93.02	0.875
	人工结合AI组	172	108/29/22/13	-	97.22	100.00	98.26	0.968
	DSA	172	110/26/22/14	-				

基底动脉	人工组	86	68/14/2/2	-	100.00	100.00	96.51	0.895
	AI组	86	68/15/2/1	-	75.00	100.00	96.51	0.895
	人工结合AI组	86	69/13/3/1	-	100.00	100.00	98.84	0.964
	DSA	86	70/12/3/1	-				
动脉瘤	人工组	86	-	21/65	84.00	100.00	95.35	0.882
	AI组	86	-	28/58	100.00	95.08	96.51	0.918
	人工结合AI组	86	-	23/63	92.00	100.00	97.67	0.942
	DSA	86	-	25/61				

2.4 图像质量评估结果比较 人工组、AI组和人工结合AI组对颈内动脉、椎动脉及基底动脉的VR图像与CPR图像评分差异无统计学意义(P>0.05)，见表3。

表3 各组图像质量评估结果比较

组别	例数	颈内动脉椎		椎动脉		基底动脉	
		VR	CPR	VR	CPR	VR	CPR
人工组	86	4.31±0.31	4.46±0.27	4.66±0.17	4.83±0.08	4.52±0.22	4.56±0.20
AI组	86	4.38±0.28	4.48±0.25	4.64±0.18	4.82±0.09	4.54±0.21	4.52±0.22
人工结合AI组	86	4.39±0.28	4.53±0.22	4.69±0.15	4.84±0.07	4.57±0.21	4.59±0.19
F值		1.938	1.825	1.950	1.330	1.196	2.556
P值		0.146	0.163	0.144	0.266	0.304	0.080



图1A-图1E AI辅助诊断后处理VR图像。
图2A-图2E AI辅助诊断后处理CPR图像，
分别诊断为动脉瘤、动脉粥样硬化、动脉瘤、血管狭窄/闭塞、血管闭塞。

3 讨论

急性心脑血管疾病是当前威胁我国生命健康和经济发展的重大疾病,致残率与致死率均较高,随着医学影像技术的发展,CTA、MRA及DSA已成为当前心脑血管动脉病变的检测与诊断的重要手段。DSA为有创检查,费用较高,多为最终确诊时使用,MRA无创、对钙化不敏感,但成像速度慢、重度狭窄与闭塞血管无法准确区分,图像质量相对较差;CTA通过注射含碘对比剂行无创血管检查,费用低、可重复性高且图像质量较好,是当前头颈部血管病变初期诊断与预后随访中使用的检查方法^[6]。但需影像科医师进行人工后处理与VR、CPR及MIP重建,在发现可以病变时需多方位进行成像与测量,不仅耗时费力,还增加了人工漏诊、误诊风险^[7]。

随着AI技术的不断发展,其节约人力与物力成本的特点得到多领域的广泛关注,多数AI算法只关注特定的任务、模式或解剖区域,其在临床实践中的应用进展缓慢。近年来,深度学习与卷积神经网络在放射学检查中得到应用,当前已有冠状动脉、肺结节等多款AI软件^[8-9],该法对原始薄层图像进行自动分割、特征分析和提取,重建时无需进行减影,可直接扫描动脉期与静脉期,从而降低患者辐射剂量,也可减少诊断耗时,提升后处理图像质量,进而改善诊断准确率和一致性^[10]。因而本研究通过对比AI辅助与人工处理头颈部CTA在头颈动脉病变中的诊断效能,发现AI组后处理重建平均时间、诊断所用时间和有效辐射射线剂量均低于人工组与人工结合AI组,人工结合AI组后处理重建平均时间、诊断所用时间低于人工组,表明加用AI辅助诊断可明显降低CTA后处理时间,节省人力,提升工作效率,并降低患者的辐射风险,与韦家旭等^[11]研究结果相近,使用AI辅助可减少放射科医生重建血管后处理的平均时间,并且不会影响重建后VR图像评分。AI技术的高效性主要得益于其自动化的图像分析和重建能力,减少了人工操作的繁琐步骤,重建后可自动生成图文报告,有助于影像科医生更快地获取和分析图像,从而加快诊断流程^[12]。其次,头颈部CTA后处理主要为VR、CPR和MIP图像,分析时需去除静脉与骨的干扰,人工后处理重建时需减影处理,这一过程易留有杂质而进行手动剔除,CPR重建时需人工勾画血管走向,并需保证重建层间与血管管径中心重合,操作繁琐且费力,需要患者高度配合,否则易出现伪影而使两期图像不匹配,进而影响后续减影处理,因而人工后处理和诊断作用时间更长^[13]。

本研究结果显示,人工组对颈内动脉、椎动脉、基底动脉狭窄程度敏感度、特异度、准确率及一致性均较高(均>90.00%、>0.700),对动脉瘤敏感度和一致性稍低(84.00%、88.16%),特异度、准确率较高(>90.00%);AI组对颈内动脉、椎动脉、基底动脉狭窄程度敏感度稍低(85.71%、86.11%、75.00%),特异度、准确率较高与一致性(均>90.00%、>0.700)较高,对动脉瘤敏感度、特异度、准确率及一致性均较高(均>90.00%、>0.700);人工结合AI组对颈内动脉、椎动脉、基底动脉狭窄程度及动脉瘤敏感度、特异度、准确率及一致性均较高(均>90.00%、>0.700),表明人工结合AI对头颈部动脉病变综合诊断效能均较单纯AI高,临床实际中AI辅助诊断后加以人工诊断可有效提升疾病诊疗的敏感度和准确率。研究发现^[14],AI辅助识别颈内动脉末端和大脑中动脉闭塞及远端闭塞的灵敏度为87.6%,特异性和准确率分别为88.5%和87.9%,且平均运行时间为2.78 min,与本研究结果相近;Li等^[15]研究发现,AI决策支持算法对头颈部严重主动脉瓣狭窄诊断中,对主动脉瓣面积<1cm²的敏感度、特异性为82.2%、98.1%,还可识别出符合指南定义的中度主动脉瓣狭窄,有助于增强对有不良后果风险的重度主动脉瓣狭窄患者的检测。Wei等研究发现^[16],AI系统在诊断动脉瘤方面的敏感性、特异性和准确性在患者层面分别为84.9%、18.2%和74.5%,在AI辅助下,初级医师对患者诊断的敏感度、特异度和准确度提升至95.0%、57.6%和89.2%,提示AI系统显著提高了医生对颅内动脉瘤等动脉病变的准确性和效率,均提示了AI技术在头颈部动脉病变中的诊断价值。

AI的深度学习框架由于其强大的学习能力和处理复杂模式的优势,更适合图像分析,研究表明^[17],与网络本身相比,在深

度学习管道中集成预处理和后处理方法可以进一步提高模型的性能,AI技术在图像后处理方面的优势,如自动化的血管分割和中心线追踪,有助于提高图像的可读性和诊断的准确性。刘高等^[18]研究发现,AI深度学习重建可提升头部T1WI超分辨率重建图像质量,有助于后续对其的形态学分析。彭新壹等^[19]研究显示,AI与人工后处理图像质量相近,然AI后处理图像所需时间更短,时效性更好。本研究中人工组、AI组和人工结合AI组对颈内动脉、椎动脉及基底动脉的VR图像与CPR图像评分相近,且均接近5分,表明AI技术在图像质量上与人工操作相当,能够提供高质量的三维和曲面重建图像,满足临床诊断的需求,与既往研究结果相近。

综上所述,AI辅助头颈部CTA可提升诊断效率,降低辐射剂量,并辅助提升对动脉狭窄与动脉瘤的诊断敏感度和特异度,后处理图像质量可满足临床需求。

参考文献

- [1] 吴雪,赵文超,王辉.头颈部动脉闭塞患者病因诊断中高分辨率MRI的应用价值[J].临床和实验医学杂志,2021,20(20):2239-2240.
- [2] 黄治飞,朱幼玲,董斌,等.头颈部CT血管成像评估颈动脉几何形态对颈内动脉起始部粥样斑块的影响[J].实用临床医药杂志,2023,27(13):65-70.
- [3] Shen Y,Zhu C,Chu B,et al.Evaluation of the clinical application value of artificial intelligence in diagnosing head and neck aneurysms[J].BMC Med Imaging,2024,24(1):261.
- [4] Obuchowicz R,Strzelecki M,Piórkowski A.Clinical applications of artificial intelligence in medical imaging and image processing—a review[J].Cancers,2024,16(10):1870.
- [5] 李洋,潘初,万维佳,等.头颈CTA中基于复合体重因子的对比剂剂量应用[J].放射学实践,2020,35(6):785-789.
- [6] Guo R,Deng J,Rong P,et al.One-stop combined CT angiography of coronary and craniocervical arteries:recommended as the first examination for patients suspected of coronary or craniocervical artery disease[J].Eur Radiol,2023,33(10):7034-7043.
- [7] 王凯凯,贾学燕,程祥科,等.人工智能在冠状动脉CTA图像后处理及狭窄评估中的应用价值[J].医学影像学杂志,2022,32(4):588-590,720.
- [8] 韩莎莎,程留慧,张卉,等.人工智能冠状动脉CT血管成像在评估冠状动脉狭窄中的应用价值[J].临床放射学杂志,2024,43(3):456-460.
- [9] Jungblut L,Bi üthgen C,Polacin M,et al.First performance evaluation of an artificial intelligence-based computer-aided detection system for pulmonary nodule evaluation in dual-source photon-counting detector CT at different low-dose levels[J].Invest Radiol,2022,57(2):108-114.
- [10] 祁冬,姚传顺,胡淑敏,等.人工智能在冠状动脉CT血管成像图像后处理和冠状动脉狭窄诊断中的应用[J].江苏大学学报医学版,2023,33(4):323-327,332.
- [11] 韦家旭,所世鹏,李传争,等.人工智能技术辅助分析头颈部CTA的应用价值研究[J].中国CT和MRI杂志,2024,22(8):159-161.
- [12] Van Leeuwen KG,de Rooij M,Schalekamp S,et al.How does artificial intelligence in radiology improve efficiency and health outcomes?[J].Pediatr Radiol,2022,52(11):2087-2093.
- [13] 梁奕,柳柏玉,杨威威,等.人工智能在头颈部CTA中的应用价值[J].医学影像学杂志,2022,32(10):1824-1826.
- [14] Rodrigues G,Barreira CM,Bouslama M,et al.Automated large artery occlusion detection in stroke:a single-center validation study of an artificial intelligence algorithm[J].Cerebrovasc Dis,2022,51(2):259-264.
- [15] Li K,Yang Y,Yang Y,et al.Added value of artificial intelligence solutions for arterial stenosis detection on head and neck CT angiography:a randomized crossover multi-reader multi-case study[J].Diagn Interv Imaging,2024,S2211-5684(24)00169-4.
- [16] Wei X,Jiang J,Cao W,et al.Artificial intelligence assistance improves the accuracy and efficiency of intracranial aneurysm detection with CT angiography[J].Eur J Radiol,2022,149:110169.
- [17] Salvi M,Acharya UR,Molinari F,et al.The impact of pre- and post-image processing techniques on deep learning frameworks:a comprehensive review for digital pathology image analysis[J].Comput Biol Med,2021,128:104129.
- [18] 刘高平,曲太平,许强,等.基于深度学习重建常规头部2D T1WI超分辨率图像质量[J].中国医学影像技术,2022,38(3):326-331.
- [19] 彭新壹,余佳强,刘玉凯,等.头颈部CTA联合人工智能对缺血性脑卒中患者的图像质量研究[J].生物医学工程与临床,2023,27(4):471-475.

(收稿日期:2024-11-12)

(校对编辑:赵望淇)