

论 著

深度学习图像重建在100kV冠状动脉中的应用价值*

任占丽¹ 申利¹ 张敏¹贺太平^{1,2} 于楠^{1,2,*}

1.陕西中医药大学附属医院

2.陕西中医药大学 (陕西咸阳 712000)

【摘要】目的 探讨基于深度学习图像重建算法在优化100kV冠状动脉图像质量中的应用价值。**方法** 收集我院2023年5月至2023年8月行冠状动脉检查患者42例,采用管电压100kV,智能管电流调制技术(Smart mA),扫描完成分别重建FBP、50%ASIR-V、70%ASIR-V和深度学习图像重建不同级别降噪(DLIR-L、DLIR-M、DLIR-H)图像,分别测量六组图像主动脉根部、左主干、左前降支、左回旋支及右冠状动脉CT值及SD值,计算信噪比(SNR)和对比噪声比(CNR)。由两名具有五年工作经验的医生采用五分法分别对图像质量进行主观评价。**结果** 六组图像噪声(SD值)、SNR值及CNR值间差异均具有显著统计学意义($P<0.001$)。随着重建算法FBP、50%ASIR-V、70%ASIR-V、DLIR-L、DLIR-M、DLIR-H依次变化,冠状动脉SD值逐渐降低、SNR值逐渐升高,其中70%ASIR-V和DLIR-L、DLIR-M、DLIR-H重建SD值显著低于FBP($P<0.001$),而SNR值和CNR值显著高于FBP($P<0.05$),且DLIR-H重建算法SD值最低、SNR值和CNR值最高。两名医师主观评分具有良好一致性(κ 值 >0.75 , P 值 <0.001),冠状动脉DLIR-M和DLIR-H重建算法主观评分显著高于FBP、50%ASIR-V、70%ASIR-V、DLIR-L($P<0.001$),且DLIR-H重建算法主观评分最高。**结论** 深度学习图像重建算法(DLIR)可以显著降低100kV冠状动脉图像噪声并优化图像质量,其中DLIR-H重建优化冠状动脉图像质量效果最佳。

【关键词】 深度学习; 图像重建; 冠状动脉; 计算机断层摄影; 图像质量

【中图分类号】 R445.3

【文献标识码】 A

【基金项目】 1.陕西省自然科学基金研究计划项目(2022JM-453);

2.陕西省重点研发计划项目(2021ZDLSF04-10)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.02.036

Application of Deep-learning Image Reconstruction in 100kV Coronary Computed Tomography Angiography*

REN Zhan-li¹, SHEN Li¹, ZHANG Min¹, HE Tai-ping^{1,2}, YU Nan^{1,2,*}.

1.Affiliated Hospital of Shaanxi University of Chinese Medicine, Xianyang 712000, Shaanxi Province, China

2.Shaanxi University of Chinese Medicine, Xianyang 712000, Shaanxi Province, China

ABSTRACT

Objective To explore the application of deep learning image reconstruction in optimizing the image quality of 100kV coronary computed tomography angiography. **Methods** 42 patients who underwent coronary computed tomography angiography examination in our hospital from May 2023 to August 2023 were collected. Tube voltage of 100kV and smart tube current modulation technology (Smart mA) were used for image acquisition, and the images were reconstructed with FBP, 50% ASIR-V, 70% ASIR-V and deep-learning image reconstruction using different levels of noise reduction (DLIR-L, DLIR-M, DLIR-H) after image acquisition. The CT values and SD values of the aortic root, left main artery, left anterior descending branch, left circumflex branch, and right coronary artery were measured in six groups of reconstructed images, and the signal-to-noise ratio (SNR) and contrast-to-noise ratio (CNR) were calculated. The image quality was subjectively evaluated by two radiologists with five years of working experience using a five-point scoring standard. **Results** The differences in image noise (SD value), SNR values and CNR values among the six groups of reconstructed images were statistically significant ($P<0.001$). As the reconstruction algorithms sequentially changing in FBP, 50% ASIR-V, 70% ASIR-V, DLIR-L, DLIR-M and DLIR-H, the SD values gradually decreased and the SNR values gradually increased, among which the SD values of 70%ASIR-V, DLIR-L, DLIR-M and DLIR-H reconstruction were significantly lower than that of FBP ($P<0.001$), while the SNR values and CNR values were significantly higher than that of FBP ($P<0.05$), and the DLIR-H reconstruction algorithm obtained the lowest SD value and the highest SNR value and CNR value. The subjective scores of the two radiologists showed good consistency (κ value >0.75 , P value <0.001). The subjective scores of the coronary artery using DLIR-M and DLIR-H reconstruction algorithms were significantly higher than those of FBP, 50% ASIR-V, 70% ASIR-V, and DLIR-L ($P<0.001$), and the DLIR-H reconstruction algorithm achieved the highest subjective score. **Conclusion** Deep-learning image reconstruction (DLIR) algorithm could significantly reduce image noise and optimize image quality of coronary computed tomography angiography with 100kV, with DLIR-H reconstruction achieving the best effect on optimizing image quality of coronary computed tomography angiography.

Keywords: Deep Learning; Image Reconstruction; Coronary Artery; Computed Tomography; Image Quality

冠状动脉计算机断层摄影血管造影(coronary computed tomography angiography, CCTA)是检测冠状动脉狭窄及部位、狭窄严重程度和动脉粥样硬化斑块特征等疾病的主要非侵入性成像方法,具有较高的灵敏度和准确性^[1]。然而在CCTA检查中各种性质斑块清晰度、高风险冠状动脉斑块观察、支架置入术后评价、搭桥术后桥血管显示等各种图像质量问题以及患者辐射暴露成为临床医生关注问题^[2]。随着影像技术和检查设备的不断革新,CT图像重建算法已从滤波反投影法(filtered back projection, FBP)更新为迭代重建(iterative reconstruction, IR)来优化并提升冠状动脉图像,其中自适应统计迭代重建(adaptive statistical iterative reconstruction, ASIR)和基于多模型迭代重建(adaptive statistical iterative reconstruction Veo, ASIR-V)可以通过降低图像噪声来提高图像质量,但较高权重迭代重建有时会产生蜡状图像纹理^[3]。近年来人工智能飞速发展和深度学习在医学领域广泛应用,CT设备引入了深度学习图像重建(deep learning image reconstruction, DLIR),DLIR通过卷积神经网络实现的非传统医学图像配准技术,可以从数百万个训练参数中对低噪声、高分辨率和高剂量滤波反投影的图像纹理进行建模,从而在降噪和主观图像观察之间实现有利权衡^[4],从而在保持自然图像纹理同时可以减少图像噪声^[5]。文献报道^[6]DLIR能够在相同的诊断精度情况下较ASIR-V显著降低43%的图像噪声和提升62%的图像质量,同时DLIR还可以在降低CCTA图像质量和诊断精度条件下显著降低43%的辐射剂量。因此,本文通过比较六种不同重建算法冠状动脉图像质量,从而探索DLIR在优化冠状动脉图像质量中的应用价值。

1 资料与方法

1.1 研究对象 本研究收集我院2023年5月至2023年8月行冠状动脉检查患者。

纳入标准:年龄 ≥ 18 周岁,胸闷、气短、心绞痛等临床怀疑冠心病需行CCTA检查患者,自愿参与本研究。排除标准:心、肝、肾功能不全者;甲状腺功能亢进者;碘对比剂过敏者及检查过程中出现碘过敏致检查终止者;冠状动脉支架及搭桥术后者。本研究纳入病例43例,其中1例左前降支支架术后排除,本研究最终纳入CCTA患者42例,男性

【第一作者】任占丽,女,主治医师,主要研究方向:胸部影像诊断学及新技术研究。E-mail: 395654582@qq.com

【通讯作者】于楠,女,副主任医师,主要研究方向:胸部影像基础与临床。E-mail: 349863320@qq.com

23例，女性19例，年龄37-81岁，平均年龄55.6±11.09岁，BMI为17.42-29.41kg/m²，BMI平均22.68±2.16kg/m²。本研究在医院伦理委员会监督下进行，且全部患者均签署研究知情同意书。

1.2 图像采集与重建 采用美国GE公司Revolution Apex CT机扫描。所有患者选取仰卧位，双手上举置于头颅两侧，取掉扫描野内金属遮挡物并连接心电监护，对患者进行屏气呼吸训练。扫描参数管电压100kV，管电流Smart mA技术，噪声指数10，转速0.28s/r，扫描范围自主动脉弓下水平至心脏膈面下方1cm，采用德国双筒高压注射器经肘正中静脉注入碘对比剂350，对比剂用量0.7mL/kg，对比剂注射速率4-5mL/s，在对比剂注射前后分别注入20mL、30mL生理盐水冲洗管道。采用动脉阈值触发技术，在主动脉管内放置ROI进行监测，当主动脉CT值达到250HU自动触发扫描采集图像。图像采集完成分别重建FBP、50%ASIR-V、70%ASIR-V、DLIR低级别降噪(DLIR-L)、DLIR中级别降噪(DLIR-M)、DLIR高级别降噪(DLIR-H)图像，重建完成后将六组重建图像传至AW1工作站进行数据测量和评价。

1.3 图像评价

1.3.1 图像客观评价 将六组重建图像在AW1工作站进行数据测量，分别在主动脉根部、左冠状动脉主干、左前降支、左回旋支、右冠状动脉及左冠状动脉主干同层面前胸壁皮下脂肪区域分别放置三个感兴趣区(region of interest, ROI)，分别记录三个ROI的CT值及标准差(standard deviation, SD)，计算三个ROI的平均CT值和平均SD值，以平均SD值代表每根血管的图像噪声，计算每根血管的信噪比(signal-to-noise ratio, SNR)和对比噪声比(contrast-to-noise ratio, CNR)，其中信噪比为冠状动脉CT值与SD值比值，即SNR值=冠状动脉CT值/冠状动脉SD值，CNR值为冠状动脉CT值与前胸壁皮下脂肪CT值的差值与冠状动脉SD值的比值，即CNR值=(冠状动脉CT值-前胸壁皮下脂肪CT值)/冠状动脉SD值。

1.3.2 图像主观评价 由两名具有五年工作经验医生采用五分法分别对六组重建图像质量进行主观评价。五分法评价标准如下：5分，冠状动脉对比度很好，无明显图像噪声，图像质量最好；4分，冠状动脉对比度较好，轻微图像噪声，图像质量较好；3分，冠状动脉对比度一般，中度图像噪声，图像质量一般；2分，冠状动脉对比度较差，重度图像噪声，图像质量较差；1

分，冠状动脉对比度很差，明显图像噪声，图像质量无法评价。在五分法中，3分及其以上评分可用于临床诊断，2分及以下无法用于临床诊断。

1.4 辐射剂量 扫描完成后，在剂量报告中记录每位患者容积剂量指数(volumetric CT dose index, CTDIvol)、剂量长度乘积(dose-length product, DLP)，并计算有效辐射剂量(effective dose, ED)，其中ED=DLP×k，k为胸部转化因子，k取值为0.014mSv/(mGy.cm)。

1.5 统计学方法 采用SPSS 27.0统计学分析软件，连续变量和等级资料采用均数±标准差表示。连续变量采用重复测量单因素方差分析统计，等级资料采用多个相关样本非参数Friedman秩和检验分析。两名医师主观评分一致性采用kappa检验，kappa值<0.4—一致性差，0.4≤kappa值<0.7—一致性中等，kappa值≥0.7—一致性好，其中P值<0.05具有统计学意义。

2 结果

2.1 客观评价 冠状动脉六组重建图像的噪声(SD值)、SNR值及CNR值间差异均具有显著统计学意义(P<0.001)。在SD值和SNR值方面，随着重建算法FBP、50%ASIR-V、70%ASIR-V、DLIR-L、DLIR-M、DLIR-H依次变化，各冠状动脉SD值逐渐降低、SNR值逐渐升高，其中70%ASIR-V和DLIR-L、DLIR-M、DLIR-H重建SD值显著低于FBP(P<0.001)，而SNR值和CNR值显著高于FBP(P<0.001)，且DLIR-H重建算法SD值最低、SNR值和CNR值最高(见表1、表2、表3)。

2.2 主观评价 两名医师对六组重建图像冠状动脉主观评分均高于3分，且两名医师间主观评分具有良好一致性(kappa值>0.75，P值<0.001)，其中冠状动脉DLIR-M和DLIR-H重建算法主观评分显著高于FBP、50%ASIR-V、70%ASIR-V、DLIR-L(P<0.001)，且DLIR-H重建算法主观评分最高(见表4，图1-图2)。

2.3 患者基本资料及辐射剂量 42例患者心率61-94次/min，平均心率73次/min。辐射剂量CTDIvol为9.21mGy-17.51mGy，平均CTDIvol为11.05±1.39mGy；DLP为128.91mSv-244.32mGy/cm，平均DLP为162.81±18.77mGy/cm；ED为1.80mSv-3.42mSv，平均ED为2.27±0.26mSv。

表1 不同重建方式冠状动脉SD比较

重建方式	主动脉根部	左主干	左前降支	左回旋支	右冠状动脉
FBP	37.25±4.70	32.69±7.58	28.24±6.92	27.69±6.45	28.05±7.03
50%ASIR-V	29.42±3.91*	25.64±7.02*	22.66±6.10*	23.21±6.06*	22.57±6.50*
70%ASIR-V	26.43±3.70*	22.89±7.04*	20.66±6.23*	21.51±6.16*	20.49±6.36*
DLIR-L	22.11±3.03*	20.80±4.82*	19.78±5.61*	19.63±5.34*	18.20±4.77*
DLIR-M	19.95±16.44*	18.45±4.43*	18.15±5.26*	17.93±5.07*	16.72±4.54*
DLIR-H	16.44±3.03*	16.14±4.18*	16.43±4.59*	16.32±4.99*	14.85±4.46*
F值	180.839	40.337	21.181	21.401	28.904
P值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

注：*，P<0.001，不同重建算法与FBP重建比较。

表2 不同重建方式冠状动脉SNR比较

重建方式	主动脉根部	左主干	左前降支	左回旋支	右冠状动脉
FBP	17.21±2.66	19.29±5.94	21.80±6.71	21.76±5.87	21.58±5.65
50%ASIR-V	21.80±3.34*	25.03±8.14#	27.31±8.61#	25.87±8.51	27.41±8.55#
70%ASIR-V	24.30±3.79*	28.45±9.84*	30.35±10.14*	28.69±9.77#	30.65±10.56*
DLIR-L	29.12±5.02*	30.32±8.43*	31.58±10.09*	31.39±10.28*	33.95±10.33*
DLIR-M	32.31±5.54*	33.46±10.98*	34.50±11.01*	34.52±11.13*	37.31±12.07*
DLIR-H	39.71±8.19*	39.85±13.05*	37.91±11.74*	38.51±13.63*	42.94±15.72*
F值	104.795	22.355	13.660	14.801	19.860
P值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

注：*，P<0.001，不同重建算法与FBP重建比较；*，P<0.05，不同重建算法与FBP重建比较。

表3 不同重建方式冠状动脉CNR比较

重建方式	主动脉根部	左主干	左前降支	左回旋支	右冠状动脉
FBP	25.57±4.45	24.28±4.39	23.73±4.51	23.44±3.99	23.56±4.47
50%ASIR-V	36.48±6.65*	34.65±6.22*	33.76±6.57*	32.70±7.08*	33.57±6.62*
70%ASIR-V	43.97±8.57*	41.75±7.91*	40.64±8.33*	40.06±7.28*	40.45±8.46*
DLIR-L	41.87±8.68*	39.81±7.99*	38.82±8.36*	38.37±7.80*	38.86±8.96*
DLIR-M	46.48±9.32*	43.46±10.30*	43.11±9.00*	42.59±8.40*	43.18±9.71*
DLIR-H	55.65±12.51*	52.92±11.49*	51.61±12.08*	51.07±11.68*	51.83±13.21*
F值	56.334	54.373	51.426	56.789	46.925
P值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

表4 两名医师对冠状动脉图像质量主观评分比较

重建方式	医师1	医师2	Kappa值	P值
FBP	3.21±0.42	3.24±0.43	0.932	<0.001
50%ASIR-V	3.50±0.51	3.52±0.55	0.953	<0.001
70%ASIR-V	4.12±0.59	4.17±0.58	0.907	<0.001
DLIR-L	4.07±0.46	4.12±0.50	0.877	<0.001
DLIR-M	4.57±0.50	4.60±0.49	0.951	<0.001
DLIR-H	4.93±0.26	4.95±0.22	0.788	<0.001
卡方值	145.322	144.450	---	---
P值	<0.001	<0.001	---	---

注：*，P<0.001，不同重建算法与FBP重建比较。

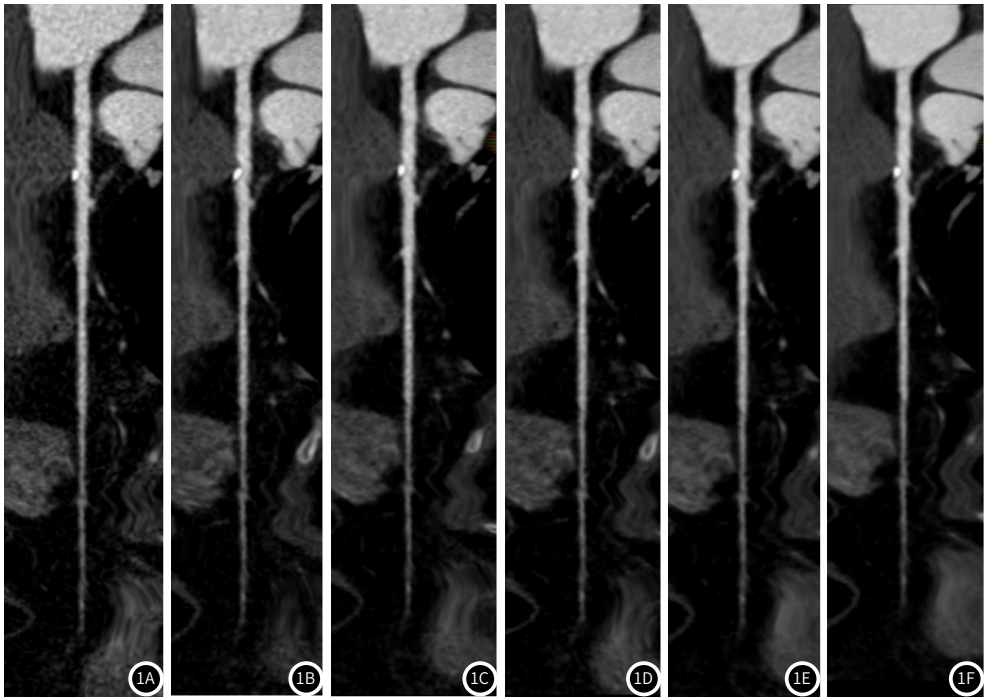


图1A-图1F 左前降支MPR图像。图1A，FBP重建；图1B，50%ASIR-V重建；图1C，70%ASIR-V重建；图1D，DLIR-L重建；图1E，DLIR-M重建；图1F，DLIR-H重建。图1A-1F，左前降支近段可见局限性钙化斑块影，管腔轻度狭窄，两名医师对图1A-1F主观评分均依次为3分、3分、4分、4分、5分、5分。

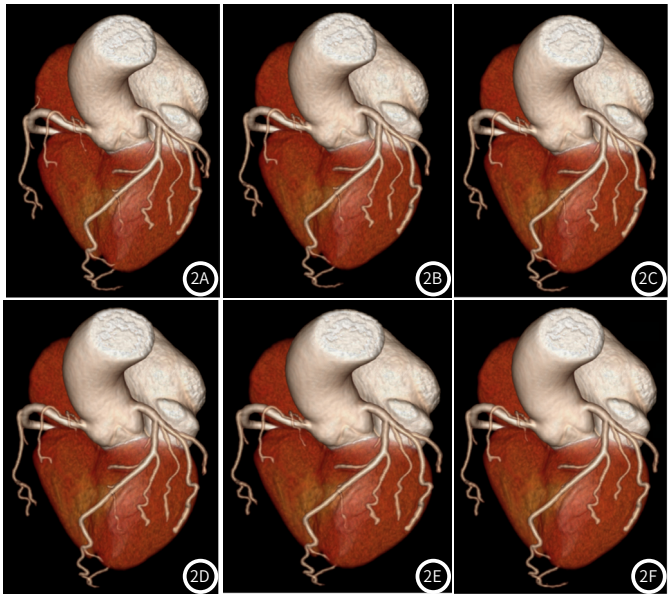


图2A-图2F 左前降支VR图像。图2A，FBP重建；图2B，50%ASIR-V重建；图2C，70%ASIR-V重建；图2D，DLIR-L重建；图2E，DLIR-M重建；图2F，DLIR-H重建。图2A-2F，冠状动脉左前降支走行自然，未见明显局灶性增粗或狭窄。两名医师对图2A-2F主观评分均依次为3分、4分、4分、4分、5分、5分。

3 讨 论

CCTA具有高诊断准确性且在冠状动脉疾病诊断中发挥着关键作用,它可以用于显示冠状动脉管壁形态、表征动脉粥样硬化斑块性质、检测冠状动脉管腔变化等,因此无创性的CCTA成像已经广泛应用于临床来有效地评价冠状动脉疾病的预后情况。在本研究中,对100kV冠状动脉分别进行FBP、50%ASIR-V、70%ASIR-V和不同降噪级别DLIR重建(DLIR-L、DLIR-M、DLIR-H),结果显示随着图像重建算法在FBP、ASIR-V、DLIR依次改进,冠状动脉图像噪声(SD值)逐渐降低,表明采用不同权重ASIR-V重建和不同降噪级别DLIR重建可以显著降低冠状动脉图像噪声。图像客观评价参数SNR值、CNR值作为定量评价图像质量的物理参数^[7],本研究中70%ASIR-V和不同降噪级别深度学习图像重建SNR值和CNR值显著高于FBP重建,表明较高权重ASIR-V重建和不同级别DLIR重建均可以显著优化冠状动脉图像质量。

冠状动脉图像质量和辐射剂量一直是影像医师关注的重点问题,以往为了减少CCTA成像辐射剂量和提高图像质量已经研发并使用了多种成像技术,如自动管电流和管电压调制、多种迭代重建技术等来平衡辐射剂量和图像质量。FBP重建一直是CT图像重建的基本标准,然而使用较低辐射剂量时FBP重建会导致较高的图像噪声和较低的对比噪声比从而影响图像评估^[8]。IR技术可以在确保图像质量的同时降低图像噪声和辐射剂量,ASIR-V运用更先进噪声模型并同时纳入物体模型和物理模型来实现更大降低图像噪声和降低辐射剂量的潜能^[9],然而较高权重ASIR-V重建会使图像产生蜡状伪影或出现斑点状噪声纹理而影响图像质量。伴随着人工智能快速发展而出现的深度学习图像重建,DLIR使用深度神经网络来模拟高质量FBP图像,在确保低图像噪声、抑制图像条纹伪影和高分辨率图像同时,DLIR可以显著降低图像噪声^[10]。

根据2017版《心脏冠状动脉CT血管成像技术规范应用中国指南》推荐冠状动脉常规使用迭代重建技术的权重选择在40%~60%之间^[11],以往文献报道^[12]70%ASIR-V是肾动脉成像最佳重建比例且提供最优图像,因此在本研究选取FBP作为参考标准,对冠状动脉图像分别进行50%ASIR-V、70%ASIR-V和不同降噪级别DLIR-L、DLIR-M、DLIR-H重建,研究结果显示50%ASIR-V、70%ASIR-V及DLIR-L、DLIR-M、DLIR-H图像噪声(SD值)均显著降低,其中DLIR重建图像噪声低于ASIR-V图像噪声,进一步验证了DLIR具有显著降低冠状动脉图像噪声的潜能。冠状动脉DLIR-L、DLIR-M、DLIR-H图像SNR值高于70%ASIR-V、50%ASIR-V、FBP重建,且DLIR-M、DLIR-H图像CNR值显著高于70%ASIR-V、50%ASIR-V、FBP重建,表明深度学习图像重建可以获得优于ASIR-V重建和FBP重建的图像质量。本研究结果与Pfeffer AB等^[13]学者对冠状动脉进行DLIR与ASIR-V重建相比发现DLIR重建显著降低了图像噪声并提高了冠状动脉图像质量的研究结果相一致。在冠状动脉图像质量的主观评分方面,DLIR-M和DLIR-H重建算法主观评分显著高于FBP、50%ASIR-V、70%ASIR-V、DLIR-L,且DLIR-H重建算法主观评分最高,表明基于卷积神经网络的DLIR-H、DLIR-M重建可以显著改善冠状动脉图像质量,能为临床提供满足诊断需求的冠状动脉图像质量,为进一步实现低剂量冠状动脉成像提供可行性依据。De Santis D等^[14]学者对冠状动脉进行FBP、ASIR-V和DLIR重建发现DLIR-H重建图像质量客观评价最好且SNR值、CNR值与100%ASIR-V类似,但DLIR-M重建图像主观评分最高,本研究结果在客观评价方面与De Santis D等学者研究结果存在一致之处,但在主观图像质量评价方面存在不同之处,这可能与图像质量评分之间存在主观差异有关。

本研究尚存在一些局限性:首先,本研究仅纳入42例患者,研究样本量较小;其次,本研究未考虑BMI等个体因素对研究结果的影响;再次,本研究ASIR-V重建仅选取了50%、70%两个权重,未选取更高权重重建进行研究以观察高权重ASIR-V与DLIR重建对CCTA图像质量的影响;最后,本研究仅对冠状动脉图像质量进行客观和主观评价,未纳入冠状动脉病变的评价。因此,在以后的研究中有待进一步扩大研究样本量,对BMI等因素进行分

组研究以排除个体因素对研究结果的影响,CCTA图像采用更高级别80%ASIR-V至100%ASIR-V重建进行研究以观察DLIR重建相较于高权重ASIR-V重建优化冠状动脉图像质量的价值,同时将冠状动脉疾病纳入研究观察指标以评价DLIR重建优化图像质量和提升诊断效能的可行性。总之,本研究对冠状动脉图像进行FBP、ASIR-V、DLIR重建分析发现采用深度学习图像重建可以显著优化冠状动脉图像质量,为临床实现低剂量冠状动脉成像提供研究依据。

参考文献

- [1] Zhu L, Ha R, Machida H, et al. Image quality of coronary CT angiography at ultra low tube voltage reconstructed with a deep-learning image reconstruction algorithm in patients of different weight[J]. Quant Imaging Med Surg, 2023, 13(6): 3891-3901.
- [2] Jeon PH, Jeon SH, Ko D, et al. Assessment of image quality of coronary CT angiography using deep learning-based CT reconstruction: phantom and patient studies[J]. Diagnostics, 2023, 13(11): 1862.
- [3] Lee S, Kwon H, Cho J. The detection of focal liver lesions using abdominal CT: a comparison of image quality between adaptive statistical iterative reconstruction V and adaptive statistical iterative reconstruction[J]. Acad Radiol, 2016, 23(12): 1532-1538.
- [4] 王宏伟, 李瑛, 高-峰, 等. 深度学习图像重建算法用于肥胖个体低剂量冠状动脉CT血管成像[J]. 中国医学影像技术, 2021, 37(5): 754-758.
- [5] Greffier J, Hamard A, Pereira F, et al. Image quality and dose reduction opportunity of deep learning image reconstruction algorithm for CT: a phantom study[J]. Eur Radiol, 2020, 30(7): 3951-3959.
- [6] Benz DC, Ersözölü S, Mojon FLA, et al. Radiation dose reduction with deep-learning image reconstruction for coronary computed tomography angiography[J]. Eur Radiol, 2022, 32(4): 2620-2628.
- [7] Chian TC, Nassir NM, Ibrahim MI, et al. Quantitative assessment on coronary computed tomography angiography (CCTA) image quality: comparisons between genders and different tube voltage settings[J]. Quant Imaging Med Surg, 2017, 7(1): 48-58.
- [8] Yang C, Wang W, Cui D, et al. Deep learning image reconstruction algorithms in low-dose radiation abdominal computed tomography: assessment of image quality and lesion diagnostic confidence[J]. Quant Imaging Med Surg, 2023, 13(5): 3161-3173.
- [9] Marco P D, Origgi D. New adaptive statistical iterative reconstruction ASiR-V: assessment of noise performance in comparison to ASiR[J]. J Appl Clin Med Phys, 2018, 19(2): 275-286.
- [10] Lei L, Zhou Y, Guo X, et al. The value of a deep learning image reconstruction algorithm in whole-brain computed tomography perfusion in patients with acute ischemic stroke[J]. Quant Imaging Med Surg, 2023, 13(12): 8173-8189.
- [11] 中华医学会放射学分会心胸学组.《中华放射学杂志》心脏冠状动脉多排CT临床应用指南写作专家组.心脏冠状动脉CT血管成像技术规范应用中国指南[J].中华放射学杂志, 2017, 51(10): 732-743.
- [12] 任占丽, 胡智军, 李豆, 等. 基于多模型迭代重建和80kV在肾动脉CT血管成像中的应用价值[J]. 中华医学杂志, 2019, 99(25): 1953-1958.
- [13] Pfeffer AB, Mørup SD, Andersen TR, et al. Is There any improvement in image quality in obese patients when using a new x-ray tube and deep learning image reconstruction in coronary computed tomography angiography? [J] Life (Basel), 2022, 12(9): 1428.
- [14] De Santis D, Polidori T, Tremamunno G, et al. Deep learning image reconstruction algorithm: impact on image quality in coronary computed tomography angiography[J]. Radiol Med, 2023, 128(4): 434-444.

(收稿日期: 2024-01-17)

(校对编辑: 韩敏)