

联合人工智能模型迭代重建和 80 kV 管电压降低腹部增强 CT 辐射剂量

曹建新, 朱卓, 陈颖, 李嘉帅, 张清

【摘要】 目的:探讨联合人工智能模型迭代重建(AIIR)和 80 kV 管电压降低腹部增强 CT 辐射剂量的应用价值。**方法:**120 例行腹部增强 CT 的患者分成 A(标准剂量组)、B(低剂量组)两组。A 组采用 120 kV 管电压及混合迭代重建(HIR), B 组采用 80 kV 管电压及 HIR 和 AIIR。评估 A、B 两组的辐射剂量,并评估 A 组 HIR 图像、B 组 HIR 图像和 AIIR 图像上肝组织、腹主动脉、腰大肌、髂腰肌、门静脉主干噪声以及肝组织、肝动脉及门静脉信噪比(SNR)。两位医师采用盲法按 5 分法对图像质量进行主观评分(5 分为优秀;1 分为差)。**结果:**A、B 两组有效辐射剂量分别为(11.3±1.9) mSv 和(5.0±0.7) mSv;与 A 组相比, B 组辐射剂量下降 55.8%($P<0.001$)。在动脉期, A 组 HIR 图像上肝组织、腹主动脉、腰大肌及髂腰肌噪声分别为(12.1±1.3) HU、(13.9±2.2) HU、(13.3±1.9) HU 和(12.5±2.0) HU, B 组 HIR 图像上相应数值分别为(14.9±1.8) HU、(18.3±2.8) HU、(17.1±2.6) HU 和(15.2±2.7) HU, B 组 AIIR 图像上的相应数值分别为(7.9±0.8) HU、(9.1±1.4) HU、(8.7±1.6) HU 和(8.7±2.2) HU;在静脉期, A 组 HIR 图像上肝组织及门静脉主干噪声分别为(13.0±1.9) HU 和(14.1±2.3) HU, B 组 HIR 图像相应数值分别为(15.5±2.4) HU 和(17.7±2.9) HU, B 组 AIIR 图像上相应数值分别为(8.3±0.9) HU 和(9.3±2.0) HU;A 组 HIR 图像上动脉期肝组织、腹主动脉、静脉期肝组织和门静脉主干 SNR 分别为 5.2±0.8、25.0±5.7、8.6±1.5 和 11.3±2.1, B 组 HIR 图像上相应数值分别为 4.6±0.7、29.2±6.6、8.7±1.7 和 11.0±2.3, B 组 AIIR 图像上对应数值分别为 8.5±0.9、58.5±11.8、16.1±2.6 和 21.9±4.1;与 B 组和 A 组 HIR 图像相比, B 组 AIIR 图像上肝组织、腹主动脉、腰大肌、髂腰肌及门静脉主干噪声明显下降($P<0.001$), 而肝组织、腹主动脉及门静脉 SNR 显著提升($P<0.001$)。医师 1 对动脉期 A 组 HIR 图像、B 组 HIR 图像和 AIIR 图像的主观评分分别为 4.42±0.53、3.48±0.50 和 4.87±0.34, 静脉期相应数值分别为 4.23±0.56、3.40±0.49 和 4.92±0.28;医师 2 对动脉期相应图像评分分别为 4.40±0.53、3.47±0.54 和 4.88±0.32, 静脉期相应数值分别为 4.23±0.56、3.40±0.53 和 4.95±0.22;B 组 AIIR 图像评分显著高于 B 组和 A 组 HIR 图像($P<0.001$)。**结论:**联合人工智能模型迭代重建(AIIR)和 80 kV 管电压能够显著降低腹部增强 CT 辐射剂量,且低剂量 AIIR 图像质量明显优于常规剂量 HIR 图像。

【关键词】 人工智能; 图像处理, 计算机辅助; 图像增强; 辐射剂量; 体层摄影术, X 线计算机

【中图分类号】 R-05; R814.3; R814.4; R814; R144 **【文献标志码】** A

【文章编号】 1000-0313(2024)10-1381-06

DOI: 10.13609/j.cnki.1000-0313.2024.10.016

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Radiation dose reduction of abdominal enhanced CT using artificial intelligence model-based iterative reconstruction combined with 80kV tube voltage setting CAO Jian-xin, ZHU Zhuo, CHEN Ying, et al. Department of Radiology, Puren Hospital Affiliated to Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081, China

【Abstract】 Objective: To explore the practical application and effectiveness of reducing radiation dose in abdominal enhanced CT scans using artificial intelligence model-based iterative reconstruction (AIIR) combined with an 80kV tube voltage setting. **Methods:** This study included a total of 120 patients who underwent abdominal enhanced CT scans. The patients were divided into two groups: group

作者单位: 430081 武汉, 武汉科技大学附属普仁医院放射科; 430081 武汉, 武汉市普仁医院放射科
作者简介: 曹建新(1977-), 男, 湖北嘉鱼人, 硕士, 副主任医师, 主要从事心胸血管性疾病及 CT 新技术工作。
通讯作者: 张清, E-mail: 221478524@qq.com
基金项目: 武汉科技大学职业危害识别与控制湖北省重点实验室开放基金项目(OHIC2021G04)

A (standard-dose group) and group B (low-dose group). Group A underwent scans with 120kV tube voltage and hybrid iterative reconstruction (HIR), while group B had scans using 80kV tube voltage, HIR, and AIIR. The radiation dose was evaluated for both groups, and the noise of liver tissue, abdominal aorta, psoas major muscle, iliopsoas, and the main portal vein was evaluated for the HIR images in group A and for both HIR and AIIR images in group B. Signal-to-noise ratios (SNRs) of liver tissue, abdominal aorta, and main portal vein were evaluated for the HIR images in group A and for both HIR and AIIR images in group B. Image quality was graded by two blinded radiologists on a 5-point scale (5=excellent; 1=poor). **Results:** The results showed that the effective doses in group A and group B were (11.3 ± 1.9) mSv and (5.0 ± 0.7) mSv, respectively. The radiation dose was reduced by 55.8% in group B compared to group A ($P < 0.001$). In the arterial phase, the noise of liver tissue, abdominal aorta, psoas major muscle, and iliopsoas was (12.1 ± 1.3) HU, (13.9 ± 2.2) HU, (13.3 ± 1.9) HU, and (12.5 ± 2.0) HU on the HIR images in group A, (14.9 ± 1.8) HU, (18.3 ± 2.8) HU, (17.1 ± 2.6) HU, and (15.2 ± 2.7) HU on the HIR images in group B, and (7.9 ± 0.8) HU, (9.1 ± 1.4) HU, (8.7 ± 1.6) HU, and (8.7 ± 2.2) HU on the AIIR images in group B, respectively. In the venous phase, the noise of liver tissue and the main portal vein was (13.0 ± 1.9) HU and (14.1 ± 2.3) HU on the HIR images in group A, (15.5 ± 2.4) HU and (17.7 ± 2.9) HU on the HIR images in group B, and (8.3 ± 0.9) HU and (9.3 ± 2.0) HU on the AIIR images in group B, respectively. The SNRs of liver tissue in the arterial phase, abdominal aorta, liver tissue in the venous phase, and main portal vein were 5.2 ± 0.8 , 25.0 ± 5.7 , 8.6 ± 1.5 , and 11.3 ± 2.1 on the HIR images in group A, 4.6 ± 0.7 , 29.2 ± 6.6 , 8.7 ± 1.7 , and 11.0 ± 2.3 on the HIR images in group B, and 8.5 ± 0.9 , 58.5 ± 11.8 , 16.1 ± 2.6 , and 21.9 ± 4.1 on the AIIR images in group B, respectively. Compared to the HIR images in group A and B, the noise of liver tissue, abdominal aorta, psoas major muscle, iliopsoas, and main portal vein on the AIIR images in group B was significantly decreased ($P < 0.001$), while the SNRs of the liver tissue, abdominal aorta, and main portal vein on the AIIR images in group B were significantly increased ($P < 0.001$). The scores of the HIR images in group A, HIR images in group B, and AIIR images in group B were 4.42 ± 0.53 , 3.48 ± 0.50 , and 4.87 ± 0.34 in the arterial phase and 4.23 ± 0.56 , 3.40 ± 0.49 , and 4.92 ± 0.28 in the venous phase for radiologist 1, respectively, and 4.40 ± 0.53 , 3.47 ± 0.54 , and 4.88 ± 0.32 in the arterial phase and 4.23 ± 0.56 , 3.40 ± 0.53 , and 4.95 ± 0.22 in the venous phase for radiologist 2, respectively. The scores of the AIIR images in group B were significantly higher than those of the HIR images in group A and B ($P < 0.001$). **Conclusion:** This study showed a significant reduction in radiation dose in the abdominal enhanced CT scans when using AIIR combined with 80kV tube voltage, compared to HIR and 120kV tube voltage. Additionally, the image quality of the AIIR images was found to be better than that of HIR images using standard radiation dose. Therefore, AIIR combined with 80kV tube voltage can be a useful method for reducing the radiation dose while maintaining the quality of the image.

【Key words】 Artificial intelligence; Image processing, computer-assisted; Image enhancement; Radiation dosage; Tomography, X-ray computed

腹部增强 CT 临床应用广泛,但其辐射剂量较高受到广泛关注。目前已有一些降低腹部增强 CT 辐射剂量的方法^[1-4],但仍然存在一些限制。近两年来,一种人工智能模型迭代重建(artificial intelligence model-based iterative reconstruction, AIIR)算法被提出,它用人工智能卷积神经网络替代迭代重建算法中的正则化项,使得重建出来的图像噪声更低、图像质量更高^[5]。但国内外将 AIIR 技术用于降低腹部增强 CT

辐射剂量的应用研究较少。本研究旨在探讨联合 AIIR 和 80KV 管电压在降低腹部增强 CT 辐射剂量的应用价值。

材料与方 法

1. 研究对象

选取 2022 年 11 月—2023 年 7 月行全腹部 CT 增强的 120 例患者,随机分成常规剂量组(A组)和低剂

量组(B组),每组 60 例。入组标准:①疑似或明确腹部肿瘤或因急腹症行全腹部增强 CT 检查;②年龄 > 20 岁;③体质量指数 < 25.0 kg/m²。排除标准:①甲状腺功能亢进未治愈及肾功能不全;②碘对比剂过敏;③妊娠状态或 3 个月内准备怀孕;④腹部扫描野内有金属植入物或内固定物;⑤呼吸无法配合;⑥既往参与过此项研究。本研究已经本单位医学伦理委员会批准(2022 年审第 00601),患者检查前签署知情同意书。

2. CT 检查方法及图像重建

采用联影 320 排 CT(uCT 960+, 上海)行全腹部动态增强 CT 检查,扫描参数:A 组 120 kV 管电压,自动管电流技术,参考管电流 200 mAs;B 组 80 kV 管电压,自动管电流技术,参考管电流 290 mAs;两组其它扫描参数一致,螺距 1.0。碘对比剂注射方案:采用碘海醇(350 mg I/mL, 扬子江药业),注射流率 3.5 mL/s, A 组注射总量 = 体质量 × 1.3 mL/kg, B 组注射总量 = 体质量 × 1.0 mL/kg。图像重建:A、B 组采用 Karl 5 级混合迭代重建(hybrid iterative reconstruction, HIR), B 组另在联影科研工作站(ulnnoation-CT, R001)行 AIIR(重建等级 4 级),层厚及层间距 1 mm。

3. 辐射剂量评估

评估指标有:CT 剂量容积指数(CT volume dose index, CT DIvol)、放射剂量长度乘积(dose length product, DLP)和有效辐射剂量(effective dose, ED),其中 ED = DLP × k, 其中 k = 0.015 mSv/(mGy · cm)。由于每期辐射剂量基本相同,因此本研究仅评估单期扫描的辐射剂量指标。

4. 图像质量评估

在图像后处理工作站(联影医疗, uWS-CT, 版本号 R005)对动脉期和静脉期图像进行评估。评价指标有:①动脉期及静脉期肝组织 CT 值、标准差以及信噪比(signal-to-noise ratio, SNR), ROI 置于肝右后叶区域;②动脉期第 3 腰椎水平腹主动脉 CT 值、标准差和 SNR;③动脉期第 3 腰椎旁腰大肌和髂白上缘水平髂腰肌 CT 值的标准差;④静脉期门静脉主干 CT 值、标准差和 SNR。所有 ROI 面积 > 50 mm², 肝组织 ROI 避开血管和病变,腹主动脉及门静脉 ROI 尽可能大且避开粥样硬化斑块及栓子, B 组 HIR 图像和 AIIR 图

像上 ROI 大小及位置保持一致。将各测量部位 CT 值的标准差视为相应结构的噪声。SNR 计算公式: SNR = CT 值/噪声。

由 1 名 23 年工作经验和 1 名 8 年工作经验的放射科医师采用双盲法对图像总体感觉评分。图像窗宽 350 HU, 窗位 40 HU, 评分标准见表 1, 评分 ≥ 3 分即符合临床诊断要求。

表 1 图像质量主观评分标准

评分	评分标准
5 分	优秀:图像细节清晰,无噪声及蜡状伪影,诊断信心充足
4 分	良好:图像细节较清晰,噪声及蜡状伪影不明显,诊断信心较高
3 分	一般:大部分图像细节较清楚,噪声及蜡状伪影较低但可接受,诊断信心尚可
2 分	较差:图像细节模糊,噪声及蜡状伪影相对明显,诊断信心不足
1 分	差:解剖结构无法分辨,噪声大及蜡状伪影明显,诊断信心很差

5. 统计学分析

采用 SPSS 22.0 软件。两独立样本间计量资料比较时,采用独立样本 *t* 检验或 Mann-Whitney *U* 检验。计数资料在两组间比较采用 χ^2 检验。在配对样本间计量资料比较时,采用配对样本 *t* 检验或 Wilcoxon 检验。两位医师间一致性评价采用 Kappa 检验(Kappa 值 ≥ 0.80 为一致好, 0.60 < Kappa 值 < 0.80 为一致性较好, 0.40 < Kappa 值 ≤ 0.60 为一致性中等, 0.20 < Kappa 值 ≤ 0.40 为一致性一般, Kappa 值 ≤ 0.20 为一致性差)。以 *P* < 0.05 为差异有统计学意义。

结果

1. 两组患者基本资料比较

两组患者年龄、性别、体重、体质量指数、扫描长度比较差异均无统计学意义(表 2), 表明两组患者基本资料具有可比性。

2. 两组患者辐射剂量及对比剂用量比较

两组患者 CT DIvol、DLP、ED、对比剂用量有显著差异(表 3), 与 A 组相比, B 组 ED 下降 55.8%, 碘对比剂用量下降 22.7%。

3. 两组患者不同图像质量比较

两组患者不同图像的客观参数测量值见表 4。B

表 2 两组患者基本资料

组别	A 组	B 组	检验值	<i>P</i>
例数(n)	60	60		
年龄(岁)	58.9 ± 12.2	61.9 ± 13.2	1.316 ^a	0.191
男性(例)	32	23	2.719 ^b	0.099
体重(kg)	60.2 ± 10.0	60.5 ± 7.0	0.185 ^a	0.853
体质量指数(kg/m ²)	21.8 ± 3.1	22.4 ± 1.8	1.252 ^c	0.211
扫描长度(cm)	47.6 ± 3.2	46.3 ± 4.2	1.809 ^c	0.071

注: A 组: 标准剂量组, 120 kV 管电压; B 组: 低剂量组, 80 kV 管电压; ^a 独立样本 *t* 检验; ^b χ^2 检验; ^c Mann-Whitney *U* 检验

表 3 两组患者辐射剂量参数及对比剂用量

组别	A 组	B 组	检验值	P
例数(n)	60	60		
CTDIvol(mGy)	13.4±1.5	6.1±0.5	9.448 ^a	0.000
DLP(mGy·cm)	753.7±124.6	333.3±43.6	24.673 ^b	0.000
ED(mSv)	11.3±1.9	5.0±0.7	24.673 ^b	0.000
对比剂量(mL)	78.3±13.0	60.5±7.0	9.327 ^b	0.000

注:A组:标准剂量组,120 kV 管电压;B组:低剂量组,80 kV 管电压;CTDIvol:CT 剂量容积指数;DLP:放射剂量长度乘积;ED:有效剂量;^aMann-Whitney U 检验;^b独立样本 t 检验

表 4 不同图像的图像质量评价指标

评估指标	A 组 HIR 图像 (n=60)	B 组 HIR 图像 (n=60)	B 组 AIIR 图像 (n=60)	B 组 AIIR 图像与 B 组 HIR 图像比较		B 组 AIIR 图像与 A 组 HIR 图像比较		
				检验值	P	检验值	P	
动脉期客观参数值								
肝脏 CT 值(HU)	62.4±6.6	66.9±6.0	66.7±5.7	-0.240 ^a	0.811	4.404 ^d	0.000	
肝脏噪声(HU)	12.1±1.3	14.9±1.8	7.9±0.8	-6.737 ^b	0.000	-9.393 ^d	0.000	
肝组织 SNR	5.2±0.8	4.6±0.7	8.5±0.9	34.999 ^a	0.000	21.333 ^c	0.000	
腹主动脉 CT 值(HU)	339.4±54.4	521.2±82.9	525.9±83.8	7.237 ^a	0.000	14.465 ^c	0.000	
腹主动脉噪声(HU)	13.9±2.2	18.3±2.8	9.1±1.4	-6.736 ^b	0.000	-9.001 ^d	0.000	
腹主动脉 SNR	25.0±5.7	29.2±6.6	58.5±11.8	6.736 ^b	0.000	9.437 ^d	0.000	
腰大肌噪声(HU)	13.3±1.9	17.1±2.6	8.7±1.6	-6.737 ^b	0.000	-8.604 ^d	0.000	
髂腰肌噪声(HU)	12.5±2.0	15.2±2.7	8.7±2.2	-6.736 ^b	0.000	-7.633 ^d	0.000	
静脉期客观参数值								
肝脏 CT 值(HU)	110.1±14.6	130.9±13.9	132.0±16.0	0.619 ^b	0.536	6.777 ^d	0.000	
肝脏噪声	13.0±1.9	15.5±2.4	8.3±0.9	-29.924 ^a	0.000	-9.408 ^d	0.000	
肝组织 SNR	8.6±1.5	8.7±1.7	16.1±2.6	6.736 ^b	0.000	9.253 ^d	0.000	
门静脉主干 CT 值(HU)	155.9±22.2	189.8±25.2	197.5±23.5	4.798 ^a	0.000	9.968 ^c	0.000	
门静脉主干噪声(HU)	14.1±2.3	17.7±2.9	9.3±2.0	-6.729 ^b	0.000	-8.208 ^d	0.000	
门静脉主干 SNR	11.3±2.1	11.0±2.3	21.9±4.1	29.658 ^a	0.000	9.238 ^d	0.000	
动脉期图像质量主观评分								
医师 1	4.42±0.53	3.48±0.50	4.87±0.34	6.847 ^b	0.000	4.970 ^c	0.000	
医师 2	4.40±0.53	3.47±0.54	4.88±0.32	6.776 ^b	0.000	5.347 ^c	0.000	
Kappa 值*	0.704	0.738	0.619					
静脉期图像质量主观评分								
医师 1	4.23±0.56	3.40±0.49	4.92±0.28	6.898 ^b	0.000	6.886 ^c	0.000	
医师 2	4.23±0.56	3.40±0.53	4.95±0.22	6.941 ^b	0.000	7.295 ^c	0.000	
Kappa 值*	0.604	0.696	0.733					

注:A组:标准剂量组,120 kV;B组:低剂量组,80 kV;HIR:混合迭代重建;AIIR:人工智能模型迭代重建;SNR:信噪比;^a配对样本 t 检验;^b Wilcoxon 检验;^c独立样本 t 检验;^d Mann-Whitney U 检验;* 两位医师间一致性评价

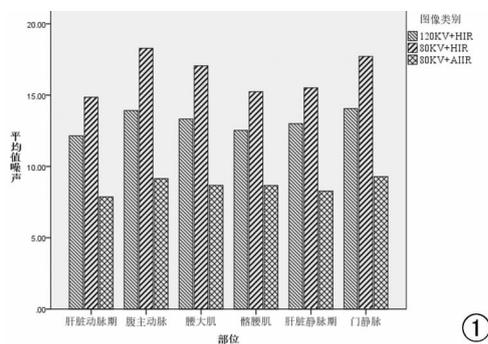


图 1 不同重建算法图像噪声值比较。

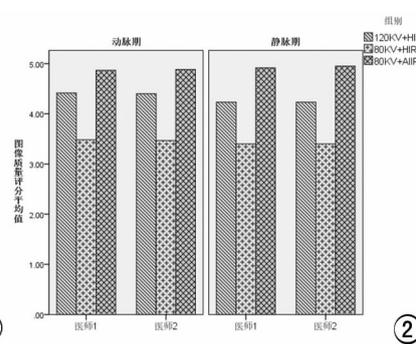


图 2 不同重建算法图像主观评分比较。

肌噪声分别降低 34.8%、34.5%、34.6% 和 30.4%，静脉期肝组织和门静脉主干噪声分别降低 36.2% 和 34.0%。

图像主观评分在两位医师间的一致性均较好,且两组患者所有图像均未出现不能用于诊断的情况。B 组 AIIR 图像评分显著高于 B 组和 A 组 HIR 图像,诊断信心显著提升(表 4,图 2~6)。

讨论

组 AIIR 图像噪声显著低于 B 组和 A 组 HIR 图像(图 1),肝组织、腹主动脉及门静脉 SNR 显著高于 B 组和 A 组 HIR 图像(表 4)。与 A 组 HIR 图像相比,B 组 AIIR 图像上动脉期肝组织、腹主动脉、腰大肌及髂腰

关于腹部增强 CT 的低剂量检查方案,大多采用 100 kV 管电压,但采用 80 kV 管电压较少,主要是由于进一步降低管电压时图像噪声显著增加。尽管迭代重建能够降低 CT 图像噪声,但

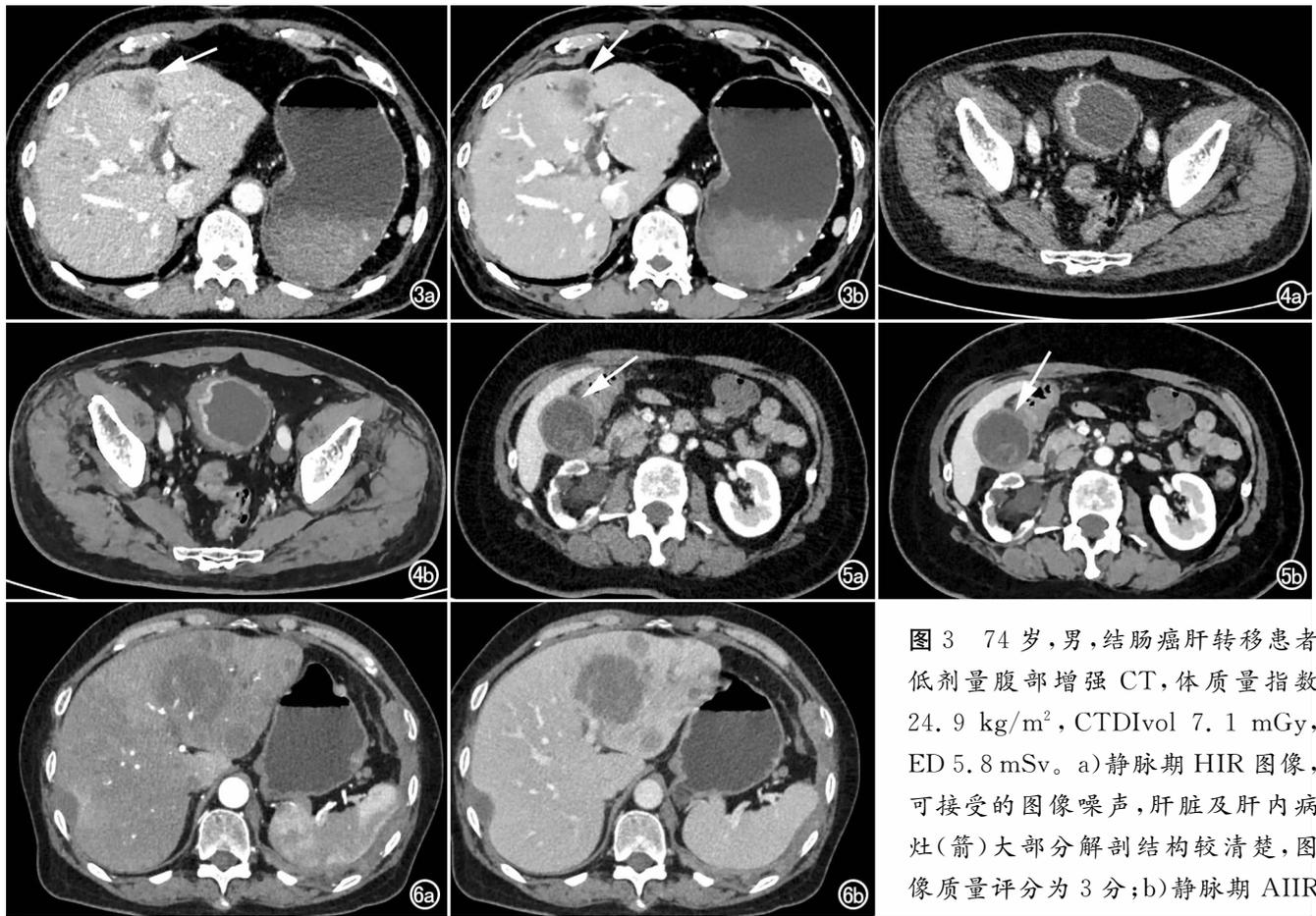


图 3 74 岁,男,结肠癌肝转移患者低剂量腹部增强 CT,体质量指数 24.9 kg/m^2 ,CTDIvol 7.1 mGy ,ED 5.8 mSv 。a) 静脉期 HIR 图像,可接受的图像噪声,肝脏及肝内病灶(箭)大部分解剖结构较清楚,图像质量评分为 3 分;b) 静脉期 AIIR

图像,无图像噪声及蜡状伪影,肝脏及肝内病灶(箭)解剖结构显示清晰,图像质量评分为 5 分。图 4 82 岁,男,膀胱尿路上皮癌患者低剂量腹部增强 CT,体质量指数 24.4 kg/m^2 ,CTDIvol 7.4 mGy ,ED 6.1 mSv 。a) 静脉期 HIR 图像,可接受的图像噪声,图像质量评分为 3 分;b) 静脉期 AIIR 图像,无图像噪声及蜡状伪影,图像质量评分为 5 分。图 5 70 岁,女,胆囊结石低剂量腹部增强 CT,体质量指数 22.2 kg/m^2 ,CTDIvol 6.0 mGy ,ED 4.9 mSv 。a) 静脉期 HIR 图像,虽然图像噪声不明显,但胆囊内病灶较模糊(箭);b) 静脉期 AIIR 图像,无图像噪声及蜡状伪影,胆囊内病灶显示清晰(箭)。图 6 女,49 岁,卵巢癌肝脏及腹膜多发转移患者标准剂量腹部增强 CT,体质量指数 21.4 kg/m^2 ,动脉期(a)及静脉期(b)HIR 图像,图像质量评分均为 5 分。

有可能噪声下降幅度不够或蜡状伪影影响病变观察,使 80 kV 管电压应用于腹部 CT 增强受到限制。近年来,深度学习 CT 图像重建技术快速发展,其降低 CT 图像噪声的能力明显优于传统的迭代重建^[5-12],这为进一步降低腹部增强 CT 辐射剂量提供了可能。

前期已有一些腹部增强 CT 深度学习图像重建的应用研究及介绍,Nakamura 等^[6]通过使用基于深度学习的 CT 图像重建算法提升了肝脏转移瘤的检出,Akagi 等^[10]将深度学习 CT 重建应用于肥胖人群,但他们采用的是标准剂量扫描。Nam、刘娜娜和许艺馨等^[11,13,14]的研究结果显示低剂量腹部增强 CT 采用深度学习重建时,图像质量及病灶检出能力优于低剂量 HIR 图像,但他们没有将低剂量深度学习重建图像与标准剂量图像作比较。前期一些腹部相关研究采用的

深度学习算法是以标准剂量高质量 FBP 图像或模型迭代重建图像作为训练模型^[6-11,13-15]。本研究所使用的 AIIR 算法与既往的一些 CT 深度学习重建算法有所不同,AIIR 结合了人工智能和模型迭代重建两者的优点,用人工智能卷积神经网络替代模型迭代重建的正则化项^[5],所使用的训练数据集是数百万由模型迭代重建方法生成的高质量/低剂量图像对组成。前期报道 AIIR 降低 CT 图像噪声的能力显著优于既往的迭代重建^[16-18]。Li 等^[5]运用 AIIR 技术能够实现超低剂量主动脉 CTA 检查,且噪声甚至低于标准剂量 HIR 图像。因此,AIIR 技术为 80 kV 管电压大幅度降低腹部增强 CT 辐射剂量提供了可能,但到目前为止仅有少量 AIIR 技术应用于低剂量腹部增强 CT 的研究。

本研究同时采用 AIIR 技术和 80 kV 管电压,在辐射剂量下降 55.8% 的同时, AIIR 图像质量客观指标显著优于低剂量 HIR 图像,且与标准剂量 HIR 图像相比,图像质量客观指标不但没有下降,反而显著提升。其中低剂量 AIIR 图像与标准剂量 HIR 图像相比,低剂量 AIIR 图像噪声大幅度降低,肝组织、腹主动脉及门静脉主干 SNR 大幅度增加。在图像质量评分方面,低剂量 AIIR 图像的评分显著优于低剂量及标准剂量 HIR 图像。以上这些提示联合 AIIR 技术和 80 kV 管电压不仅能够大幅度降低腹部增强 CT 的辐射剂量,而且图像质量更优。低剂量组 AIIR 图像上这些观察指标显著优于标准剂量组 HIR 图像的原因有:①AIIR 技术降低图像噪声的能力更强,显著优于 HIR;②4 等级的 AIIR 图像蜡状伪影无或轻微,图像纹理特征得以保留,没有明显的图像细节丢失;③低剂量组中采用了 80 kV 管电压,光电效应显著增强,使腹主动脉、静脉期肝组织及门静脉 CT 值显著增加,使各解剖结构及病灶显示更好。

AIIR 提供了 1~5 级共 5 种不同等级重建方式。重建等级越低时降低噪声的能力越强,但蜡状伪影越明显,且图像细节丢失越明显;重建等级越高,降低噪声的能力相对低一些,但图像细节得到保留、蜡状伪影越轻;因 4 等级的 AIIR 能够保持良好的图像细节,因此在本研究中低剂量组行 AIIR 时只采用 4 级的重建方式,没有再去评估其他重建等级的 AIIR 图像。

本研究也存在一些不足。首先,只是将 AIIR 技术应用于降低腹部增强 CT 辐射剂量,没有对某种疾病作诊断效能评估。其次,研究对象没有明显超重和肥胖的人群,对于这一部分人群联合 AIIR 技术和 80 kV 管电压效果如何还有待研究。第三,本研究中只有一种低剂量方案,且低剂量组辐射剂量还存在进一步降低的空间。以上这些不足的地方还有待进一步研究。

总之,联合 AIIR 技术和 80 kV 管电压不仅能够降低腹部增强 CT 近 56% 的辐射剂量,且与标准剂量 HIR 图像相比图像质量显著提升。

参考文献:

[1] 张卫国,贾秀琴,蒋涛.低管电压联合高浓度碘对比剂对腹部 CT 增强图像质量及辐射剂量的影响[J].放射学实践,2019,34(3):311-315.

[2] 姜健,王可,许玉峰,等.低辐射剂量肝脏 CT 增强扫描:80kVp 结合迭代重建技术的初步研究[J].放射学实践,2016,31(4):316-320.

[3] 王诗瑜,刘义军,李贝贝,等.Karl-LL 重建算法对上腹部 CT 图像质量和辐射剂量的影响[J].放射学实践,2023,38(5):626-630.

[4] Ippolito D, Maino C, Pecorelli A, et al. Application of low-dose CT combined with model-based iterative reconstruction algorithm in oncologic patients during follow-up: dose reduction and image quality[J]. Br J Radiol, 2021, 94(1124):20201223.

[5] Li W, You Y, Zhong S, et al. Image quality assessment of artificial intelligence iterative reconstruction for low dose aortic CTA: A feasibility study of 70kVp and reduced contrast medium volume [J]. Eur J Radiol, 2022, 149(4):110221.

[6] Nakamura Y, Higaki T, Tatsugami F, et al. Deep learning-based CT image reconstruction: initial evaluation targeting hypovascular hepatic metastases[J]. Radiol Artif Intell, 2019, 1(6):e180011.

[7] 王祎泽,王铭君,李露露,等.深度学习图像重建算法在低剂量腹部增强 CT 中的应用[J].实用放射学杂志,2023,39(3):484-488.

[8] Zeng L, Xu X, Zeng W, et al. Deep learning trained algorithm maintains the quality of half-dose contrast-enhanced liver computed tomography images: comparison with hybrid iterative reconstruction: study for the application of deep learning noise reduction technology in low dose[J]. Eur J Radiol, 2021, 135(9):109487.

[9] Nakamura Y, Narita K, Higaki T, et al. Diagnostic value of deep learning reconstruction for radiation dose reduction at abdominal ultra-high-resolution CT[J]. Eur Radiol, 2021, 31(7):4700-4709.

[10] Akagi M, Nakamura Y, Higaki T, et al. Deep learning reconstruction of equilibrium phase CT images in obese patients[J]. Eur J Radiol, 2020, 133(12):109349.

[11] Nam JG, Hong JH, Kim DS, et al. Deep learning reconstruction for contrast-enhanced CT of the upper abdomen: similar image quality with lower radiation dose in direct comparison with iterative reconstruction[J]. Eur Radiol, 2021, 31(8):5533-5543.

[12] 严福华.深度学习图像重建算法的临床应用和发展前景[J].中华放射学杂志,2022,56(11):1165-1167.

[13] 刘娜娜,吕培杰,刘星,等.深度学习图像重建算法对低辐射剂量下乏血供肝转移瘤 CT 图像质量及检出效能的影响[J].中华放射学杂志,2022,56(11):1175-1181.

[14] 许艺馨,李辉坚,王国华,等.深度学习重建算法对肝脏图像质量及肝转移瘤诊断的研究[J].中国医疗设备,2021,36(10):28-31,39.

[15] Jensen CT, Gupta S, Saleh MM, et al. Reduced-dose deep learning reconstruction for abdominal CT of liver metastases[J]. Radiology, 2022, 303(1):90-98.

[16] Gong H, Peng L, Du X, et al. Artificial intelligence iterative reconstruction in computed tomography angiography: an evaluation on pulmonary arteries and aorta with routine dose settings [J]. J Comput Assist Tomogr, 2024, 48(2):240-250.

[17] 游永春,李万江,刘洪川,等.“三低”技术联合人工智能迭代重建算法在主动脉 CT 血管成像中的临床应用[J].四川大学学报(医学版),2022,53(4):676-681.

[18] Liu J, Zhang Y, Zhao Q, et al. Deep iterative reconstruction estimation (DIRE): approximate iterative reconstruction estimation for low dose CT imaging [J]. Phys Med Biol, 2019, 64(13):135007.

(收稿日期:2023-10-11 修回日期:2023-12-05)