

## 深度学习图像重建算法对改善直肠CT图像质量的临床应用价值

乔文俊<sup>1,2</sup>, 周芳<sup>1</sup>, 刘泉芬<sup>1</sup>, 黄婵桃<sup>1</sup>, 许乙凯<sup>1,2</sup>

1. 南方医科大学南方医院影像诊断科, 广东 广州 510515; 2. 广东省辐射防护协会医学辐射防护专委会, 广东 广州 510515

**【摘要】目的:**探索深度学习图像重建(DLIR)算法是否可以改善静脉期肛管直肠的CT图像质量。**方法:**回顾性纳入进行腹部CT增强扫描的71例患者,所有影像资料使用50% ASiR-V和DLIR低、中、高(DLIR-L、DLIR-M、DLIR-H)3个强度的DLIR重建静脉期薄层图像。测量各组图像的肛管和臀部脂肪的CT值和标准差(SD),以臀部脂肪SD作为背景噪声,计算肛管对比噪声比(CNR)和信噪比(SNR)。两名影像科医师使用Likert 5分量表法独立进行图像质量评估和直肠癌局部侵犯情况诊断信心评价。分析比较客观测量指标和图像主观评分,采用Kappa检验评估一致性。**结果:**各组间肛管CT值及臀部脂肪CT值比较差异没有统计学意义( $P>0.05$ ),脂肪SD、肛管SNR及CNR比较差异有统计学意义( $P<0.05$ ),DLIR-H组脂肪SD最低,SNR及CNR最高,而50% ASiR-V组脂肪SD最高,SNR及CNR最低。与50% ASiR-V组相比,DLIR-H组脂肪SD降低44.3%,肛管SNR及CNR分别提升89.5%和92.1%( $P<0.05$ )。4组图像质量主观评分比较差异有统计学意义( $P<0.05$ ),从DLIR-H到50% ASiR-V依次降低。其中50% ASiR-V、DLIR-L组间比较差异没有统计学意义( $P>0.05$ ),其余各组间比较差异均有统计学意义( $P<0.05$ )。各组间直肠癌局部侵犯情况诊断信心评分比较差异有统计学意义( $P<0.05$ ),DLIR-M及DLIR-H组优于50% ASiR-V组( $P<0.05$ )。**结论:**与标准50% ASiR-V图像相比,DLIR-M和DLIR-H重建算法能有效提高图像质量,重建强度越高,图像质量越好,显示细微结构的能力越强,能为临床精准评估及个体化精准治疗提供更多的依据。

**【关键词】**直肠;电子计算机断层扫描;深度学习图像重建;图像质量

**【中图分类号】**R318;R811.1

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2024)08-0975-07

## Improving rectal CT image quality with a deep learning image reconstruction algorithm

QIAO Wenjun<sup>1,2</sup>, ZHOU Fang<sup>1</sup>, LIU Quanfen<sup>1</sup>, HUANG Chantao<sup>1</sup>, XU Yikai<sup>1,2</sup>

1. Department of Imaging Diagnostics, Nanfang Hospital, Southern Medical University, Guangzhou 510515, China; 2. Medical Radiation Protection Committee of Radiation Protection Association of Guangdong Province, Guangzhou 510515, China

**Abstract: Objective** To improve the CT image quality of the anorectal junction in venous phase using a new deep learning image reconstruction (DLIR) algorithm. **Methods** A retrospective analysis was conducted on 71 patients undergoing pelvic computed tomography (CT) scans. All CT images were reconstructed at a thin slice thickness of 0.625 mm using 50% ASiR-V, low-, medium- and high-intensity DLIR (DLIR-L, DLIR-M and DLIR-H). The CT attenuations and standard deviation values of anal canal and hip fat were measured for each reconstruction group. With the standard deviation of hip fat as background noise, the contrast-to-noise ratio (CNR) and signal-to-noise ratio (SNR) of anal canal were calculated. Two radiologists independently assessed image quality and diagnostic confidence for local invasion of rectal cancer using the 5-point Likert scale. The objective measurement indicators and subjective scores were analyzed and compared, and Kappa test was used to evaluate the consistency. **Results** The differences in CT value of anal canal and hip fat among the groups were trivial ( $P>0.05$ ), but fat SD, anal canal SNR and CNR ( $P<0.05$ ) differed significantly, with lowest fat SD, highest anal canal SNR and CNR in DLIR-H group, while highest fat SD, lowest anal canal SNR and CNR in 50% ASiR-V group. Compared with 50% ASiR-V group, DLIR-H group decreased fat SD by 44.3%, but increased anal canal SNR and CNR by 89.5% and 92.1%, respectively ( $P<0.05$ ). The subjective score of 4 groups were significantly different ( $P<0.05$ ), decreasing from DLIR-H to 50% ASiR-V, and the inter-group differences were significant ( $P<0.05$ ), except the difference between 50% ASiR-V group and DLIR-L group ( $P>0.05$ ). There was a statistically significant difference in the diagnostic confidence for local invasion of

**【收稿日期】**2024-04-02

**【基金项目】**国家自然科学基金(82371655)

**【作者简介】**乔文俊,硕士,研究方向:CT扫描技术应用,E-mail: 1257826529@qq.com

**【通信作者】**许乙凯,主任医师,博士生导师,研究方向:医学影像诊断及分子影像,E-mail: yikaivip@163.com

rectal cancer among different groups ( $P<0.05$ ), and the scores were significantly higher in DLIR-M and DLIR-H groups than in 50% ASiR-V and DLIR-L groups ( $P<0.05$ ). **Conclusion** Compared with the standard 50% ASiR-V image, DLIR-M and DLIR-H reconstruction algorithms can effectively improve the image quality for the anorectal junction in CT imaging. The higher-intensity DLIR results in better image quality and stronger ability to display fine structures, which can provide more evidences for clinical precision evaluation and personalized precision treatment.

**Keywords:** rectum; computed tomography; deep learning image reconstruction; image quality

## 前言

直肠癌是全球最常见的癌症之一,在所有胃肠道肿瘤中的发病率居于第2位,近5年来我国直肠癌发病率均在4%以上,远超国际平均水平2%的数值<sup>[1-2]</sup>。对直肠癌精确化诊断、个体化治疗可有效延长患者的生存期<sup>[3]</sup>。在实际诊疗过程中,准确判断直肠癌的浸润深度,周围临近器官及直肠周围系膜筋膜(Mesorectal Fascia, MRF)受累情况、直肠癌壁外血管侵犯(Extramural Vascular Invasion, EMVI)及淋巴结转移情况,对临床制定最佳治疗方案和提高患者预后生活质量有非常重要的意义<sup>[4]</sup>。组织病理是直肠癌诊断的金标准,但由于该检查有创且取材难度较大,不适合常规筛查和早期诊断。直肠磁共振图像(MRI)高分辨扫描和腹盆腔增强电子计算机断层扫描(CT)检查均可作为直肠癌术前常规无创影像检查项目,但MRI检查时间较长,对患者配合程度要求较高,且单次扫描范围有限,无法判断远处是否有转移;而腹盆腔增强CT检查费用较低,且可快速完成大范围扫描,帮助临床医生术前了解肝脏有无转移,腹主动脉旁淋巴结是否肿大,肿瘤对周围结构或器官有无浸润等情况,以判断手术切除的可能性和危险性,为术前选择合理的治疗方案提供可靠的影像依据<sup>[5]</sup>。但是由于CT对细微软组织结构显示能力受限,常规腹盆腔增强CT对于判断肿瘤是否侵犯MRF存在一定的困难。

图像重建算法是CT图像生成的基础,研究者尝试通过不同的重建算法以改善图像分辨力和对比度。目前,临床上常用的图像重建方法是自适应统计迭代重建算法(Adaptive Statistical Iterative Reconstruction-Veo, ASiR-V),该方法能够降低辐射剂量,并降低CT的图像噪声,进而提高图像质量<sup>[6]</sup>。然而,高权重迭代重建图像可能会改变图像纹理,产生边缘模糊伪影,使图像表现出油画感、塑料感等不自然的外观,从而降低病变检出率<sup>[7]</sup>。随着人工智能技术的发展,深度学习在医学影像领域逐渐发挥独特优势<sup>[8]</sup>。相关研究表明,深度学习图像重建(Deep Learning Image Reconstruction, DLIR)算法能够在不

改变噪声纹理的情况下降低图像噪声,提高空间分辨率和密度分辨率,改善图像质量,且可进一步降低辐射剂量<sup>[9-11]</sup>。本研究探讨与常规标准50% ASiR-V算法相比,不同程度的DLIR是否可以提高盆腔增强CT图像中直肠肛管的显示效果,为临床诊疗提供更多有价值的信息,为患者精准治疗提供依据。

## 1 资料与方法

### 1.1 临床资料

回顾性收集2022年3月~10月于南方医科大学南方医院进行Revolution 256 CT(GE医疗)腹盆腔增强CT扫描的患者。纳入标准:(1)按医院Revolution CT常规腹盆腔扫描序列扫描的患者;(2)符合《NCCN结直肠癌诊治指南》诊断标准<sup>[12]</sup>;(3)盆腔未接受过放化疗及手术治疗;(4)无其它慢性疾病。排除标准:(1)图像质量欠佳;(2)存在运动伪影或者金属伪影,影响图像评估;(3)患有其他肿瘤者。最终共71例患者入组,其中,男41例,女30例;年龄23~78岁,平均年龄( $55.97\pm 13.29$ )岁;其中有14例直肠癌患者同期进行直肠高分辨MRI检查。

### 1.2 CT扫描方案

受检者采用仰卧位,双手上举。扫描参数:固定管电压120 kV,采用智能管电流调控(Smart mA)模式,管电流300~450 mAs,噪声指数9.0 HU,层厚及层间距均为5 mm。对比剂注射方案:对比剂浓度370 mg/mL,注射速率3 mL/s,注射总量65~75 mL,注射对比剂后用相同总量生理盐水及相同速率冲管。注射对比剂33、66、180 s后依次行动脉期、静脉期、延迟期扫描,其中静脉期原始数据分别采用50% ASiR-V以及DLIR低(DLIR-L)、DLIR中(DLIR-M)、DLIR高(DLIR-H)进行图像重建,重建层厚均为0.625 mm。扫描结束后将静脉期4组重建图像传入GE AW 4.7后处理工作站用于图像测量和评价。

### 1.3 图像分析

(1)客观评价。对静脉期4组重建图像分别行以下操作:将感兴趣区(ROI)分别放置在肛管和臀部脂肪处,两个部位ROI大小相同,约160~165 mm<sup>2</sup>,分别记录所测CT值和标准差(Standard Deviation, SD)。

测量时采用各组图像联动的方式,并克隆ROI到其余3组图像,以保证4组图像的ROI大小位置一致,测量3次取平均值。以脂肪SD作为背景噪声,计算4组图像肛管ROI的信噪比(SNR)和对比噪声比(CNR): $SNR=CT\text{ 值}_{\text{肛管}}/SD_{\text{脂肪}}$ ,  $CNR=(CT\text{ 值}_{\text{肛管}}-CT\text{ 值}_{\text{脂肪}})/SD_{\text{脂肪}}$ 。

(2)图像质量评价。由两名具有5年以上工作经

验的影像科医师就静脉期4组重建图像所体现的综合图像质量、主要解剖结构信息(包括肛管、括约肌、直肠、肛提肌、直肠周围筋膜或系膜)分别对图像进行双盲主观评分,判读结果不一致时由副高及以上职称医师判读并作为最终影像评价结果,评分采用Likert 5分量表法<sup>[13]</sup>,见表1。

表1 Likert 5分量表法  
Table 1 Five-point Likert scale

评分/分	图像质量	主要解剖结构信息
1	噪声严重,图像颗粒大、粗,图像质量差	解剖结构显示不清,图像质量差
2	噪声大,图像颗粒粗,图像质量较差	解剖结构辨识困难,边缘模糊不清,图像质量较差
3	噪声适中,图像颗粒较粗,图像质量中等	部分解剖结构欠清晰,边缘比较模糊,图像质量一般
4	噪声轻微,图像颗粒小、较细腻,图像质量较好	解剖结构较清晰,边缘容易辨别,图像质量良好
5	无明显噪声,图像颗粒小、细腻,图像质量优	解剖结构清晰,边缘光滑清晰,图像质量优

(3)直肠癌局部侵犯诊断信心评分。由两名具有5年以上工作经验的影像科医师以直肠高分辨MRI检查为金标准,评价14例直肠癌患者在不同CT重建组图像上MRF受累情况、EMVI显示情况,评分采用Likert 5分量表法。1分,肿瘤与MRF关系显示不清或EMVI显示不清,无法诊断;2分,肿瘤与MRF关系隐约显示,MRF边界不完整,或者EMVI关系显示欠清,诊断受限;3分,可以显示肿瘤与MRF关系或EMVI情况,基本满足诊断要求;4分,肿瘤与MRF关系或EMVI情况基本显示,不影响诊断结果;5分,肿瘤与MRF关系或EMVI情况显示清楚,完全满足诊断要求。

1.4 统计学方法

采用SPSS 20软件进行统计学分析。多组间客观定量资料采用Shapiro-Wilk检验正态性,将符合正态性分布的计量资料用均数±标准差表示,多组间比较采用单因素方差分析(One Way)检验,组间两两比较采用样本t检验;不符合正态性分布的计量资料采用M(Q1, Q3)表示,多组间比较采用Kruskal-Wallis检验,组间两两比较采用Wilcoxon秩和检验。判断两名医师图像质量主观评分、直肠癌局部侵犯诊断信心评分的一致性采用Kappa检验。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 客观评价分析

各组间肛管CT值及脂肪CT值比较差异没有统

计学意义( $P>0.05$ ),但是脂肪SD、肛管SNR及CNR比较差异均有统计学意义( $P<0.05$ ),见表2。脂肪SD从50% ASiR-V、DLIR-L、DLIR-M到DLIR-H组依次递减,肛管SNR及CNR从50% ASiR-V、DLIR-L、DLIR-M到DLIR-H组依次递增。组间多重比较显示,脂肪SD、肛管SNR、肛管CNR在50% ASiR-V与DLIR-L组间比较差异没有统计学意义( $P>0.05$ ),在其余各组间比较差异均有统计学意义( $P<0.05$ ),见表2。其中DLIR-H组图像的脂肪SD最小,肛管SNR及CNR最佳,与50% ASiR-V组图像相比,DLIR-H组图像脂肪SD降低44.3%,肛管SNR及CNR分别提升89.5%和92.1%。

2.2 主观评价分析

两名影像科医师对图像质量的主观评价Kappa值为0.794,表现出良好的一致性。主观评分从50% ASiR-V、DLIR-L、DLIR-M到DLIR-H组依次递增,DLIR-H组主观评分最佳,见图1。各组间图像质量主观评分比较差异有统计学意义( $P<0.05$ )。经多重比较后发现,图像质量主观评分在50% ASiR-V与DLIR-L组间比较差异没有统计学意义( $P>0.05$ ),在其余各组间比较差异均有统计学意义( $P<0.05$ ),见表3。

与直肠高分辨磁共振T<sub>2</sub>WI图像比较,DLIR算法所得图像可直接显示MRF,呈线样软组织密度影,且DLIR-H组重建图像上显示最清楚,见图2。两名影像科医生对直肠癌局部侵犯情况诊断信心评分的Kappa值为0.659,表现出较好的一致性。各组间诊断信心评分比较差异有统计学意义( $P<0.05$ ),经多重

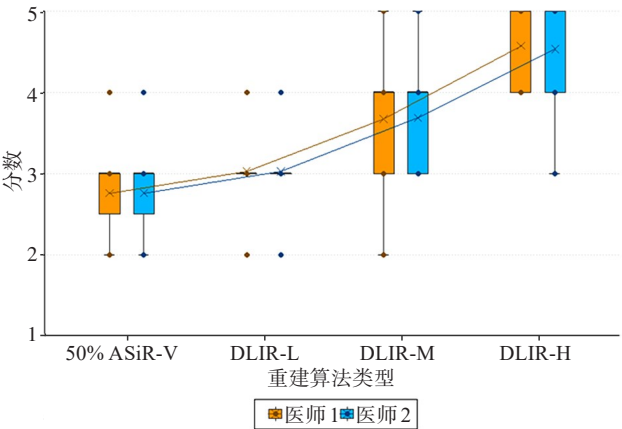


表 2 4 种重建图像的客观指标对比

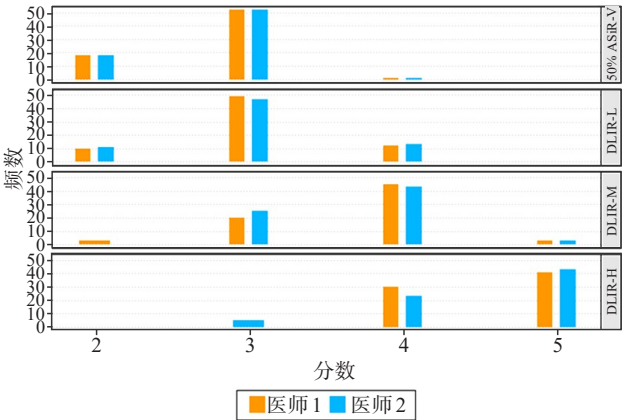
Table 2 Comparison of objective image quality among the 4 reconstructed images

组别	肛管CT值/HU	脂肪CT值/HU	脂肪SD/HU	肛管SNR/dB	肛管CNR
50% ASiR-V组	65.15±14.14	-96.37±15.53	18.64±3.58	3.61±1.01	9.03±2.23
DLIR-L组	65.15±13.56	-96.34±14.92	17.37±3.70	3.97±1.57	9.97±2.23
DLIR-M组	64.95±13.24	-96.3±14.82	14.05±3.6 <sup>ab</sup>	4.96±2.04 <sup>ab</sup>	12.52±5.37 <sup>ab</sup>
DLIR-H组	64.81±12.81	-96.29±14.73	10.39±3.57 <sup>abc</sup>	6.84±2.86 <sup>abc</sup>	17.35±7.63 <sup>abc</sup>
F值	0.011	0.000	74.711	31.432	31.292
P值	0.998	1.000	<0.001	<0.001	<0.001

a表示与50% ASiR-V组比较,  $P<0.05$ ; b表示与DLIR-L组比较,  $P<0.05$ ; c表示与DLIR-M组比较,  $P<0.05$



a: 图像质量主观评价 Box-and-whisker 图



b: 不同重建算法下主观评分频数的直方图

图 1 两名影像医师主观评价对比

Figure 1 Comparison of subjective evaluations between two radiologists

表 3 4 种重建图像的主观指标对比(分)

Table 3 Comparison of subjective image quality among the 4 reconstructed images (points)

组别	图像质量评分		诊断信心评分	
	医师 1	医师 2	医师 1	医师 2
50% ASiR-V 组	3(2, 3)	3(2, 3)	3(2, 3)	3(2, 3)
DLIR-L 组	3(2, 4)	3(2, 4)	3(2, 3)	3(2, 4)
DLIR-M 组	4(3, 4) <sup>ab</sup>	4(3, 4) <sup>ab</sup>	4(3, 4) <sup>ab</sup>	4(3, 4) <sup>ab</sup>
DLIR-H 组	5(4, 5) <sup>abc</sup>	5(4, 5) <sup>abc</sup>	4(4, 4) <sup>ab</sup>	4(4, 4) <sup>ab</sup>
H 值	170.59	182.98	38.805	39.805
P 值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

a表示与50% ASiR-V组比较,  $P<0.05$ ; b表示与DLIR-L组比较,  $P<0.05$ ; c表示与DLIR-M组比较,  $P<0.05$

比较, DLIR-M 及 DLIR-H 组均优于 50% ASiR-V 与 DLIR-L 组 ( $P<0.05$ ), 其余各组间比较差异均无统计学意义 ( $P>0.05$ ), 见表 3。

3 讨论

近年来, 直肠癌发病率、死亡率均呈上升趋势, 但其发病机制尚未明确, 可能与遗传、高脂、饮食等多种因素有关, 直肠癌早期无明显临床特征, 病情进展过程中可出现腹泻、腹痛等症状, 给早期临床诊断带来一定困难<sup>[14]</sup>。组织病理是临床诊断恶性肿瘤的金标准, 但由于取材难度较大, 且为有创性检查, 不适合初期诊断和筛查<sup>[15]</sup>。因此, 临床常用的早期无创诊疗方法主要为盆腹部增强 CT 检查及直肠 MRI 高分辨扫描。全直肠系膜切除术是中低位直肠癌手术的标准术式, 是指在直视下锐性解剖盆筋膜脏层和壁层间的特定间隙, 完整切除脏层筋膜内的全部组织, 包括直肠系膜内的血管淋巴管结构、脂肪组织和 MRF, 保留自主神经功能; MRF 是否受侵不仅能决定治疗方式, 还可以预测直肠癌的局部浸润及术后复发。EMVI 状态在直肠肿瘤的术前评估中很重要, 是直肠癌的重要预后因素, 可作为局部复发以及总体生存时间缩短的独立预测因素, 也是进行新辅助

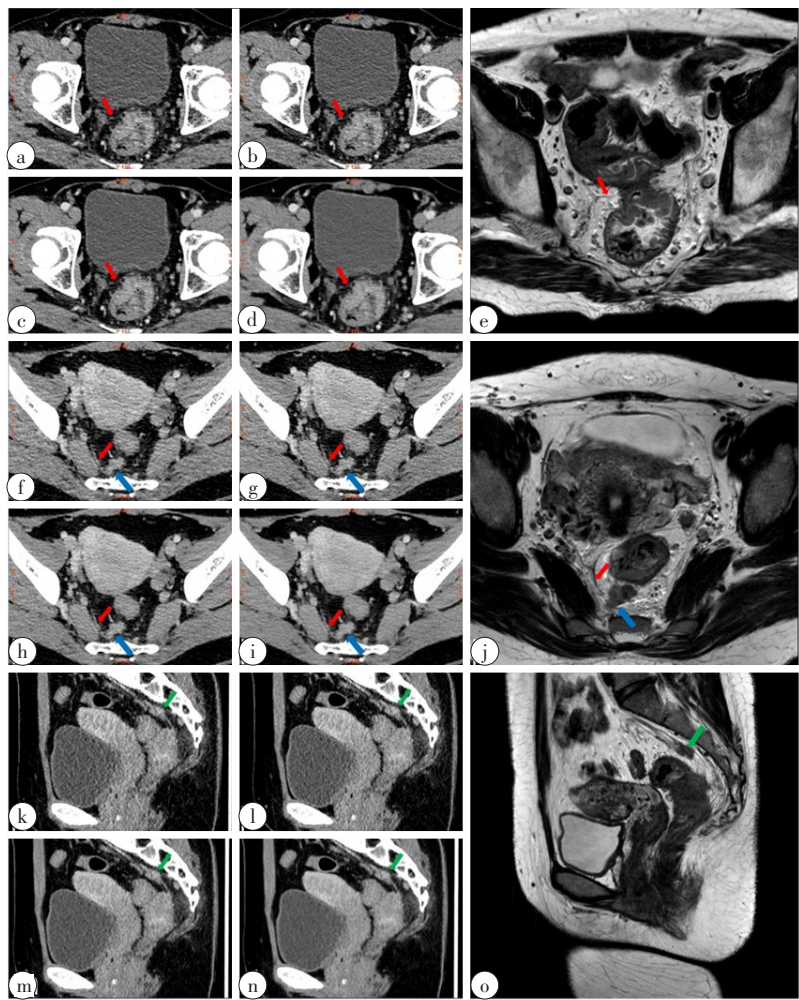


图2 4种重建图像对直肠癌的显示对比

Figure 2 Comparison of the 4 reconstructed images for displaying rectal cancer

图2a~e为同一患者,男,60岁;图2f~j为同一患者,女,31岁;图2k~o为同一患者,女,35岁。图a~d、f~i、k~n依次为同一层面50% ASiR-V、DLIR-L、DLIR-M、DLIR-H重建图像。图e、j、o为相对应的MRI高分辨T<sub>2</sub>WI图像。从50% ASiR-V、DLIR-L、DLIR-M到DLIR-H组图像质量越来越好,噪声越来越小。MRI图像上可以清晰显示MRF(红色箭头),呈低信号,在CT图像上MRF呈线样软组织密度影,并可见肿瘤(蓝色箭头)侵犯了MRF。图a、f隐约可见MRF,图d、i可清晰显示MRF。图k~o绿色箭头所指为EMVI阳性,图n显示最清晰

治疗的重要依据<sup>[12]</sup>。目前判断MRF及EMVI是否阳性的主要方法是高分辨直肠MRI扫描<sup>[16]</sup>。但是MRI检查时间较长,费用较高,单次扫描范围有限,无法判断是否有远处转移,如肝转移瘤是直肠癌最常见的远处转移<sup>[17]</sup>。腹盆腔增强CT检查扫描范围广,扫描时间短,对术前了解肝内有无转移、腹主动脉旁淋巴结是否肿大、肿瘤对周围结构或器官有无浸润有重要意义,但由于常规CT扫描分辨率较低,无法清楚显示软组织细微结构,使CT评价直肠癌局部MRF及EMVI侵犯的应用受限<sup>[18]</sup>。

提高CT的图像质量是CT技术研究的热点。随着以ASiR-V为代表的迭代重建技术的应用,大量研究已证明迭代重建技术可以改进CT图像质量。目前,迭代算法被广泛应用于临床,且使图像噪声大幅

度下降,但是高权重的迭代算法会过度平滑高频率噪声,导致图像失去正常纹理,呈油画样,有塑胶感,显得不自然<sup>[7]</sup>。因此在临床工作中,大多数推荐50%的强度,用来维持噪声和图像清晰度间的平衡。DLIR是新一代采用深度学习图像重建的方法,该方法基于卷积神经网络,从数百万个训练参数中对低噪声、高分辨率的高剂量滤波反投影图像纹理进行拟合,直至输出图像信息的完整性保持不变,且在降低噪声的同时保留图像细节<sup>[19]</sup>。

本研究针对静脉期CT重建图像(直肠癌病灶在静脉期显示更清晰,易于观察病灶边缘与周围血管、淋巴结、MRF及邻近组织结构的关系<sup>[20]</sup>),从主、客观两方面采用多项指标来评估不同程度的深度学习重建算法对图像分辨率和噪声的影响。从客观评价分

析结果上看,脂肪噪声、肛管 SNR 及 CNR 均受到影响,DLIR-L、DLIR-M、DLIR-H 组的脂肪噪声均低于 50% ASiR-V 组,DLIR-L、DLIR-M、DLIR-H 组的肛管 SNR 及 CNR 均高于 50% ASiR-V 组。其中 DLIR-H 组图像的脂肪噪声最小,肛管 SNR 及 CNR 最佳,与 50%ASiR-V 组图像相比,DLIR-H 组图像的脂肪噪声降低 44.3%,肛管 SNR 及 CNR 分别提升 89.5% 和 92.1%。从主观评分结果上看,3 组 DLIR 评分结果均高于 50% ASiR-V 组,且 DLIR-H 组主观评分最佳。从图像表现上看,DLIR 算法可显著提升图像质量,所得图像可直接显示 MRF,呈线样软组织密度影,且 DLIR-H 重建图像上显示最清楚,可有效提升影像医生对直肠癌局部侵犯情况诊断信心。

本研究结果显示,与标准 50% ASiR-V 图像相比,DLIR(DLIR-M、DLIR-H 组)重建算法可以明显降低肛管噪声,提高图像质量,而且随着重建强度的增高,图像质量越来越好,且未出现图像纹理的失真,从而让应用增强 CT 评价直肠癌局部 MRF 和 EMVI 侵犯成为可能,为临床直肠癌术前评估提供更加精准的影像学依据,与多项研究结果一致<sup>[21-23]</sup>。但本研究中 DLIR-L 组和 50% ASiR-V 组间的图像客观评价和主观评价均没有统计学意义( $P>0.05$ )。与 Kim 等<sup>[24]</sup>研究略有不同,可能与重建部位有关,不同部位 DLIR 算法对图像质量的改善效果可能存在差异。而 Franck 等<sup>[25]</sup>研究提示高权重 DLIR 图像会改变图像纹理,产生边缘模糊伪影,降低病变的检出率,因此建议 DLIR 算法仅能使用 50%~70% 的权重,限制其降低噪声的效率,与本研究结果存在差异的原因可能受扫描部位、数据量差异等影响。此外,不少研究认为 DLIR 除可提高图像空间分辨率和密度分辨率之外,还可有效降低辐射剂量。Wang 等<sup>[26]</sup>在降低 60% 辐射剂量的条件下应用 DLIR 可以使图像达到常规剂量的图像质量。Li 等<sup>[27]</sup>采用 DLIR-H 进行图像重建不仅病变细节显示良好,同时可使辐射剂量降低 57%。

本研究的局限性主要有以下几点:(1)本研究中直肠癌的病例数及同期进行直肠高分辨 MRI 检查的病例数较少;(2)本研究主要用于常规剂量扫描像,未将不同重建方法用于低剂量扫描中。下一步可以进行常规增强 CT 及低剂量增强扫描与同期高分辨 MRI 检查的对比研究。

综上所述,DLIR 可提高图像质量以及显示细微结构的能力,特别是 DLIR-H 重建图像可清晰显示 MRF,提高影像科医师对直肠癌局部侵犯的诊断信心,从而为直肠癌诊疗提供更丰富的影像依据。随着深度学习算法的完善、样本量的扩大,DLIR 将对直肠癌的早期诊断、病灶分割、术前无创预测、疗效评

估等方面发挥出更大的优势,为精准化、个性化治疗策略实施提供新的诊断模式。

## 【参考文献】

- [1] 田传鑫,赵磊. 结直肠癌及结直肠癌肝转移流行病学特点[J]. 中华肿瘤防治杂志, 2021, 28(13): 1033-1038.  
Tian CX, Zhao L. Epidemiological characteristics of colorectal cancer and colorectal liver metastasis [J]. Chinese Journal of Cancer Prevention and Treatment, 2021, 28(13): 1033-1038.
- [2] 吴春晓,顾凯,龚杨明,等. 2015 年中国结直肠癌发病和死亡情况分析[J]. 中国癌症杂志, 2020, 30(4): 241-245.  
Wu CX, Gu K, Gong YM, et al. Analysis of incidence and mortality of colorectal cancer in China, 2015 [J]. China Oncology, 2020, 30(4): 241-245.
- [3] 俞希虎,王磊. 结直肠癌精准医疗的研究现状[J]. 中华实验外科杂志, 2017, 34(1): 1-4.  
Yu XH, Wang L. In the precision medicine era: the current status and outlook of experimental study in colorectal cancer [J]. Chinese Journal of Experimental Surgery, 2017, 34(1): 1-4.
- [4] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 直肠癌规范化诊疗指南(试行)[J]. 中国医学前沿杂志(电子版), 2013, 5(7): 56-61.  
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. Standardized Diagnosis and Treatment Guidelines for Rectal Cancer (Trial) [J]. Chinese Journal of Medical Frontiers (Electronic Edition), 2013, 5(7): 56-61.
- [5] 李俊东. 全直肠系膜切除术与传统根治术治疗直肠癌的疗效及安全性[J]. 中国实用医刊, 2018, 45(3): 114-115.  
Li JD. The efficacy and safety of total mesorectal resection and traditional radical surgery in the treatment of rectal cancer [J]. Chinese Journal of Practical Medicine, 2018, 45(3): 114-115.
- [6] Klink T, Obmann V, Heverhagen J, et al. Reducing CT radiation dose with iterative reconstruction algorithms: the influence of scan and reconstruction parameters on image quality and CTDIvol [J]. Eur J Radiol, 2014, 83(9): 1645-1654.
- [7] 袁肖娜,李刚峰,孙琳,等. 高级建模迭代重建算法对颞骨 CT 图像质量的影响[J]. 生物医学工程与临床, 2024, 28(2): 174-179.  
Yuan XN, Li GF, Sun L, et al. Effect of advanced modeled iterative reconstruction algorithm on CT image quality of temporal bone [J]. Biomedical Engineering and Clinical Medicine, 2024, 28(2): 174-179.
- [8] 倪炯,王培军. 医学影像人工智能的现状与未来[J]. 中华医学杂志, 2021, 101(7): 455-457.  
Ni J, Wang PJ. Present and future: artificial intelligence in medical imaging [J]. National Medical Journal of China, 2021, 101(7): 455-457.
- [9] Dreyer KJ, Geis JR. When machines think: radiology's next frontier [J]. Radiology, 2017, 285(3): 713-718.
- [10] 游慧霞,张怀岑. 深度学习和影像组学在脑胶质瘤诊疗中的研究进展[J]. 中国医学物理学杂志, 2023, 40(12): 1502-1508.  
You HX, Zhang HL. Deep learning and radiomics in diagnosis and treatment of glioma: a review [J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2023, 40(12): 1502-1508.
- [11] 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.
- [12] 白雪杉,林国乐. 2019. V1 版《NCCN 结直肠癌诊疗指南》更新要点解析[J]. 中国全科医学, 2019, 22(33): 4031-4034.  
Bai XS, Lin GL. Interpretation of updated NCCN guidelines for colon cancer and rectal cancer(version 1. 2019) [J]. Chinese General Practice, 2019, 22(33): 4031-4034.
- [13] Kanii Y, Ichikawa Y, Nakayama R, et al. Usefulness of dictionary learning-based processing for improving image quality of submillisievert low-dose chest CT: initial experience [J]. Jpn J Radiol, 2020, 38(3): 215-221.
- [14] Levi F, Pasche C, Lucchini F, et al. Macronutrients and colorectal cancer: a swiss case-control study [J]. Ann Oncol, 2002, 13(3): 369-373.
- [15] Pantel HJ, Kleiman DA, Kuhnen AH, et al. Has national colorectal cancer awareness month increased endoscopy screening rates and public interest in colorectal cancer? [J]. Surg Endosc, 2021, 35(1): 398-405.
- [16] Armbruster M, D'Anastasi M, Holzner V, et al. Improved detection of



- a tumorous involvement of the mesorectal fascia and locoregional lymph nodes in locally advanced rectal cancer using DCE-MRI[J]. *Int J Colorectal Dis*, 2018, 33(7): 901-909.
- [17] 石晟铭,肖玲清,马佳琪,等.直肠癌基于磁共振成像的深度学习研究进展[J]. *磁共振成像*, 2024, 15(3): 218-222.
- Shi SM, Xiao LQ, Ma JQ, et al. Progress in deep learning based on magnetic resonance imaging for rectal cancer research[J]. *Chinese Journal of Magnetic Resonance Imaging*, 2024, 15(3): 218-222.
- [18] 赵明星,杨磊,姚岩峰.256层螺旋CT用于术前评估腹腔镜结直肠癌手术者肠系膜血管解剖结构的价值[J]. *中国肛肠病杂志*, 2024, 44(2): 15-17.
- Zhao MX, Yang L, Yao YF. Value of 256-slice spiral CT in preoperative evaluation of mesenteric vascular anatomy in laparoscopic colorectal cancer surgery [J]. *Chinese Journal of Coloproctology*, 2024, 44(2): 15-17.
- [19] 张凯璇,丁康.基于深度学习的人工智能技术在结直肠癌医学影像诊断中的应用进展[J]. *山东医药*, 2024, 64(4): 107-110.
- Zhang KX, Ding K. Progress in the application of deep learning based artificial intelligence technology in medical imaging diagnosis of colorectal cancer[J]. *Shandong Medical Journal*, 2024, 64(4): 107-110.
- [20] 中华医学会放射学分会医学影像大数据与人工智能工作委员会,中华医学会放射学分会腹部学组,中华医学会放射学分会磁共振学组.结直肠癌CT和MRI标注专家共识(2020)[J]. *中华放射学杂志*, 2021, 55(2): 111-116.
- Image Big Data Artificial Intelligence Working Committee of Chinese Society of Radiology Chinese Medical Association, Abdominal Group of Chinese Society of Radiology Chinese Medical Association, Magnetic Resonance Imaging Group of Chinese Society of Radiology Chinese Medical Association. Expert consensus on the colorectal cancer annotation of CT and MRI (2020)[J]. *Chinese Journal of Radiology*, 2021, 55(2): 111-116.
- [21] 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: 109349.
- [22] Heinrich A, Streckenbach F, Beller E, et al. Deep learning-based image reconstruction for CT angiography of the aorta [J]. *Diagnostics (Basel)*, 2021, 11(11): 2037.
- [23] 田宏伟,彭芸,刘道永,等.深度学习迭代重建算法优化儿童头颅CT图像噪声和图像纹理的可行性[J]. *中国医学影像学杂志*, 2024, 32(2): 193-198.
- Tian HW, Peng Y, Liu DY, et al. Feasibility of deep learning algorithm to optimize the noise and texture of children's head CT[J]. *Chinese Journal of Medical Imaging*, 2024, 32(2): 193-198.
- [24] Kim JH, Yoon HJ, Lee E, et al. Validation of deep-learning image reconstruction for low-dose chest computed tomography scan: emphasis on image quality and noise[J]. *Korean J Radiol*, 2021, 22(1): 131-138.
- [25] Franck C, Zhang GZ, Deak P, et al. Preserving image texture while reducing radiation dose with a deep learning image reconstruction algorithm in chest CT: a phantom study[J]. *Phys Med*, 2021, 81: 86-93.
- [26] Wang YN, Du Y, Shi GF, et al. A preliminary evaluation study of applying a deep learning image reconstruction algorithm in low-kilovolt scanning of upper abdomen[J]. *J Xray Sci Technol*, 2021, 29(4): 687-695.
- [27] Li LL, Wang H, Song J, et al. A feasibility study of realizing low-dose abdominal CT using deep learning image reconstruction algorithm[J]. *J Xray Sci Technol*, 2021, 29(2): 361-372.

(编辑:陈丽霞)