

## ◁ 影像技术学 ▷

## 深度学习重建算法改善腹部门静脉期 CT 图像质量的应用价值

朱永琪<sup>1</sup>, 王振华<sup>1</sup>, 陈大治<sup>1</sup>, 石晓萌<sup>2</sup>, 吴金花<sup>1</sup>, 戴志军<sup>1</sup>

(1. 宁夏回族自治区人民医院医学影像中心, 宁夏 银川 750000; 2. GE(中国)CT 影像研究中心, 上海 200100)

**[摘要]** 目的: 探究深度学习重建算法(Deep learning image reconstruction, DLIR)、传统滤波反投影(Filred back-projection, FBP)及自适应迭代重建算法(Adaptive statistical iterative reconstruction-veo, ASIR-V)对改善腹部门静脉期 CT 图像质量差异及临床获益。方法: 前瞻性纳入 45 例行腹部增强 CT 扫描患者, 其中包括 18 例肝硬化失代偿期患者, 对门静脉期图像进行 FBP、30% ASIR-V、80% ASIR-V 及 DLIR-H 重建, 并测量比较 4 组重建图像肝脏、脾脏、脾静脉、门静脉及左右支 CT 值、噪声、信噪比(Signal-to-noise ratio, SNR)及对比信噪比(Contrast-to-noise ratio, CNR); 比较各重建算法图像主观评价, 包括 18 例肝硬化失代偿期患者交通支血管。结果: 4 组重建算法图像 CT 值无统计学差异( $P>0.05$ ), 噪声、SNR、CNR 均有统计学差异, 两两比较 FBP 与 30% ASIR-V, 80% ASIR-V 与 DLIR-H 在 CNR、SNR 值中无统计学差异(校正  $P<0.008$ ), 80% ASIR-V 与 DLIR-H 算法在 SD 值无统计学差异(校正  $P<0.008$ ), 余均有统计学差异。主观评价 DLIR 图像整体质量、对比度、失真伪影与其他各组有显著性差异(校正  $P<0.008$ ), 仅图像噪声与 80% ASIR-V 无显著性差异(校正  $P\geq 0.008$ )。DLIR 交通支血管轮廓、清晰度与各组有显著性差异(校正  $P<0.008$ ), 噪声与 80% ASIR-V 无显著性差异(校正  $P\geq 0.008$ )。结论: DLIR 算法降低腹部 CT 图像噪声, 改善图像质量具有优势, 尤其是肝硬化失代偿期微小血管结构, 该重建算法可能为患者的精准诊断、风险评估提供更多信息。

**[关键词]** 腹部; 肝硬化; 体层摄影术, X 线计算机**[中图分类号]** R575.2; R814.42**[文献标识码]** A**[文章编号]** 1008-1062(2024)07-0498-05

DOI:10.12117/jccmi.2024.07.010

**The application value of deep learning imaging reconstruction algorithms for improving the quality of abdominal portal venous phase CT images**ZHU Yong-qi<sup>1</sup>, WANG Zhen-hua<sup>1</sup>, CHEN Da-zhi<sup>1</sup>, SHI Xiao-meng<sup>2</sup>, WU Jin-hua<sup>1</sup>, DAI Zhi-jun<sup>1</sup>

(1. Medical Imaging Center, People's Hospital of Ningxia Hui Autonomous Region, Yinchuan 750000, China;

2. GE(China) CT Research Center, Shanghai 200100, China)

**Abstract: Objective:** To compare the differences in image quality and clinical benefits of deep learning image reconstruction(DLIR), filtered back-projection(FBP), and adaptive statistical iterative reconstruction-veo(ASIR-V) in abdominal portal venous phase CT images. **Methods:** Forty-five patients who underwent abdominal contrast-enhanced CT scans were enrolled, and 18 cases with decompensated liver cirrhosis were contained. The portal venous phase images were reestablished by FBP, 30% ASIR-V, 80% ASIR-V, and DLIR-H algorithms. The CT values and noise of the liver, spleen, splenic vein, portal vein, and left and right branches in each reconstructed image, as well as the signal-to-noise ratio(SNR) and contrast-to-noise ratio(CNR) were measured and compared. The subjective evaluations of each reconstructed image, including collateral vessels in 18 cases with decompensated liver cirrhosis. **Results:** There was no statistically significant difference in CT values among the four reconstructed image groups ( $P>0.05$ ). However, there were statistically significant differences in noise, SNR, and CNR. Comparisons between FBP and 30% ASIR-V, as well as 80% ASIR-V and DLIR-H, showed no statistically significant differences in CNR and SNR values(adjusted  $P<0.008$ ). There were no statistically significant differences in SD values between 80% ASIR-V and DLIR-H algorithms (adjusted  $P<0.008$ ), but differences were observed in other comparisons. Subjective evaluation showed statistically significant differences in overall quality, contrast, and distortion/artifacts of DLIR images compared to other groups (adjusted  $P<0.008$ ). Only image noise in DLIR did not show significant differences compared to 80% ASIR-V (adjusted  $P\geq 0.008$ ). The delineation of vascular structures and clarity in DLIR images showed significant differences compared to other groups(adjusted  $P<0.008$ ), with no significant differences in noise compared to 80% ASIR-V. **Conclusion:** The DLIR algorithm offers advantages in reducing noise and improving image quality of abdominal CT images, particularly in the visualization of small vascular structures in patients with decompensated liver cirrhosis. This reconstruction algorithm may potentially provide

**[收稿日期]** 2023-11-05; **[修回日期]** 2024-01-21**[作者简介]** 朱永琪(1994-), 男, 宁夏中卫人, 住院医师。E-mail: qxq1994@163.com**[通信作者]** 戴志军, 宁夏回族自治区人民医院医学影像中心, 750000。E-mail: jun7526@126.com

more information for accurates patients diagnosis and risk assessment.

**Key words:** Abdomen; Liver Cirrhosis; Tomography, X-Ray Computed

CT 在快速成像、广泛适用性及安全性的可靠表现,已成为临床诊疗工作中重要的组成部分。CT 重建通过迭代与分析将多个角度获取的投影数据转换为图像,在图像质量方面起着重要作用<sup>[1]</sup>。根据放射防护合理达到尽量低原则,围绕临床获益与辐射剂量的比例关系,已开发出三种主要重建算法:滤波反投影(Filtered back projection,FBP)、自适应统计迭代重建 V (Adaptive statistical iterative reconstruction-veo,ASIR-V)及深度学习(Deep learning image reconstruction,DLIR)算法。近年来,随着扫描速度更快和功能更先进的 CT 机型研发,FBP 在降低图像噪声及伪影已显示出劣势<sup>[2]</sup>。迭代重建算法及 DLIR 算法在不增加辐射剂量的条件下,极大地优化图像质量,已成为研究热点<sup>[3]</sup>。

腹部增强 CT 作为腹部疾病常规检查技术,改善图像质量对提高疾病检出率、制定治疗策略有重要意义。既往研究表明门静脉主干及门-体侧支内径对食管胃静脉曲张和破裂出血风险有良好预测价值<sup>[4-5]</sup>,对肝硬化伴交通支开放患者预测疾病进展提供可靠的依据。本研究旨在比较四组 CT 重建算法在腹部图像质量的差异,并进一步分析 DLIR 算法是否在肝硬化失代偿期患者存在临床获益。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究对象

本研究前瞻性扫描 2023 年 3—8 月宁夏人民医院常规行腹部(包括上腹部)CT 增强扫描的患者。纳入标准:①有临床检查需求的成年患者;②体质指数(BMI)18~32(23.90±3.31) kg/m<sup>2</sup>;③肾功能正常或已进行肾脏替代治疗患者;④临床资料完整。排除标准:①图像质量不能满足基本诊断要求;②既往行肝移植、脾脏切除或栓塞及内镜下食管胃静脉曲张治疗术后患者。本次研究经医院伦理委员会批准,检查前已告知患者检查风险并签署知情同意书。

最终本研究共纳入 45 例患者,男 28 例,平均年龄(54.43±11.98)岁;女 17 例,平均年龄(54.24±16.42)岁。其中 18 例为经临床确诊为肝硬化失代偿期患者。

### 1.2 扫描方法

采用 GE 256 排 CT 扫描仪 Apex(GE Medical-healthcare, Milwaukee, WI, USA)。管电压 120 kV,自动调制管电流,设置范围 150~900 mA,噪声指数 10,扫描层厚 0.625 mm。扫描范围包括膈顶至上腹

或双侧髂前上棘或耻骨联合。采用双筒高压注射器,对比剂为碘佛醇 320 mgI/mL,注射流率 2.2 mL/s,经右侧肘正中静脉注入,注射对比剂后分别在 30 s、60 s、120 s 行动脉期、门脉期和门静脉期扫描。

### 1.3 图像处理

扫描完成后在主机重建 FBP、30% ASIR-V、80% ASIR-V 及 DLIR-H 4 组图像,传输到 AW4.7 工作站进行处理。

#### 1.3.1 图像客观评价

选择门静脉期图像,在同一层面勾画 ROI,面积约 50~150 mm<sup>2</sup>。测量肝脏、脾脏、脾静脉、门静脉主干、门静脉左支和右支及同层面竖直肌的 CT 值、噪声(SD),并计算信噪比(Signal-to-noise ratio, SNR)、对比信噪比(Contrast-to-noise ratio, CNR)。公式:SNR=CT<sub>ROI</sub>/SD;CNR=(CT<sub>ROI</sub>-CT<sub>竖脊肌</sub>)/SD。

#### 1.3.2 图像主观评价

2 位副主任医师进行标准化指导培训后,对 4 组重建图像分别进行独立盲评(遮盖图像参数信息)。使用 5 分李克特量表对总体图像质量、对比度评分,评分标准:5 分:优秀;4 分:平均以上;3 分:一般;2 分:低于平均水平;1 分:差。图像噪声、失真伪影采用比较评分:5 分:最佳;4 分:稍差(不影响诊断);3 分:轻度差(可能影响诊断);2 分:中度差(可能影响诊断);1 分:明显较差(影响诊断)。对 18 例失代偿期肝硬化病例交通支图像(血管轮廓、清晰度、噪声)进行评分。非盲医师(不参与评分)进行所有图像前期调阅、后期归纳记录。

### 1.4 统计学方法

使用 SPSS 26.0 进行统计学分析,CT 值符合正态分布、方差齐性检验,采用单因素方差分析,以  $\bar{x} \pm s$  表示;CNR、SD、SNR(不符合正态性分布、方差齐性检验)采用 Kruskal-Wallis H 检验,以 median(IQR)表示, $P < 0.05$  为差异有统计学意义。四组重建算法两两比较采用 Bonferroni 检验,调整  $P$  为 0.008。主观评分采用 Kruskal-Wallis H 检验。观察者间主观评分一致性采用 Cohen's kappa 检验评价:0.4~<0.6 中等,0.60~<0.8 良好,0.80~<1.0 非常好非常好。 $P < 0.05$  认为差异有统计学意义,四组重建算法两两比较采用 Bonferroni 检验,调整  $P$  为 0.008。

## 2 结果

### 2.1 图像客观评价

腹部组织 CT 值在 FBP、30% ASIR-V、80%

ASIR-V 及 DLIR-H 重建算法中均无统计学差异 ( $P \geq 0.05$ ) (表 1)。CNR、SNR、SD 值在四组重建算法在腹部各组织均有统计学差异 ( $P < 0.05$ ) (表 2), 对四组重建算法两两比较, 其中 CNR、SNR 在 FBP 与 30% ASIR-V 算法, 80% ASIR-V 与 DLIR-H 算法无统计学差异 (校正  $P \geq 0.008$ ), FBP 算法 CNR、SNR 中位数值最低, 80% ASIR-V 与 DLIR-H 算法中位数值相近, SD 在 80% ASIR-V 与 DLIR-H 算法无统计学差异 (校正  $P \geq 0.008$ )。

## 2.2 图像主观评价

两名医师对腹部门静脉期图像按整体图像质量、对比度、噪声及失真伪影评分, 在四组重建算法中均具有统计学差异 ( $P < 0.001$ )。两名医师主观评价 FBP 与 30% ASIR-V 算法在整体图像质量无统计学差异, DLIR-H 算法与其他三组重建算法图像在整体图像质量、对比度及失真伪影有统计学差异, 其中位数值最高, 噪声无统计学差异 (表 3)。另对 18 例失代偿期肝硬化患者交通支图像进行主观评分,

表 1 不同重建算法 CT 值比较

	FBP	30% ASIR-V	80% ASIR-V	DLIR-H	F	P
肝脏	98.98±13.67	98.81±13.65	98.90±13.84	99.64±13.82	0.03	1.00
脾脏	112.37±12.65	113.83±17.24	112.03±12.66	112.20±12.65	0.16	1.00
脾静脉	157.20±30.23	156.83±29.91	156.11±29.31	159.34±30.49	0.10	0.99
门静脉	156.92±25.54	157.16±25.18	157.32±25.08	158.38±25.87	0.03	1.00
门静脉左支	155.70±25.20	155.28±25.23	154.42±25.34	157.09±26.28	0.09	0.99
门静脉右支	155.89±25.31	155.46±25.15	154.69±24.82	156.90±25.76	0.06	0.99

表 2 不同重建算法客观评价

	FBP	30% ASIR-V	80% ASIR-V	DLIR-H	H	P
<b>CNR</b>						
肝脏	1.16(0.87, 1.60)	1.52(1.17, 2.08)	3.23(2.54, 4.32)	3.24(2.82, 4.58)	89.40	<0.01
脾脏	1.59(1.40, 1.95)	2.17(1.86, 2.56)	4.67(3.80, 5.71)	4.56(3.85, 5.62)	112.64	<0.01
脾静脉	2.60(1.95, 3.66)	3.42(2.63, 4.72)	7.53(6.01, 9.91)	7.76(5.68, 9.76)	115.23	<0.01
门静脉	2.48(2.18, 3.12)	3.30(2.86, 4.16)	6.93(5.90, 8.90)	6.59(5.67, 8.37)	122.40	<0.01
门静脉左支	2.67(2.16, 3.48)	3.43(2.89, 4.42)	7.47(6.30, 9.47)	6.65(5.80, 8.77)	114.57	<0.01
门静脉右支	2.69(2.24, 3.42)	3.56(2.98, 4.30)	7.75(6.28, 10.08)	7.36(5.79, 9.00)	115.19	<0.01
<b>SNR</b>						
肝脏	3.16(2.73, 3.59)	4.17(3.68, 4.80)	8.93(7.49, 10.38)	9.09(7.96, 10.32)	139.30	<0.01
脾脏	3.80(3.24, 4.25)	5.07(4.31, 5.64)	10.78(9.20, 11.74)	10.33(9.27, 11.95)	140.83	<0.01
脾静脉	4.62(3.70, 5.64)	6.07(4.96, 7.38)	13.05(10.63, 15.05)	12.88(10.33, 15.08)	138.54	<0.01
门静脉	4.33(3.82, 5.07)	5.78(4.99, 6.63)	11.70(10.69, 14.18)	11.17(9.83, 13.46)	201.95	<0.01
门静脉左支	4.57(3.90, 5.25)	5.95(5.10, 6.98)	12.56(11.20, 14.88)	11.27(10.32, 13.81)	134.09	<0.01
门静脉右支	4.55(3.99, 5.34)	6.07(5.26, 6.74)	12.50(11.04, 15.72)	12.10(10.27, 13.63)	134.42	<0.01
<b>SD</b>						
肝脏	31.20(28.30, 33.40)	23.9(21.70, 25.3)	10.80(9.70, 12.50)	10.70(9.95, 11.95)	144.31	<0.01
脾脏	31.10(27.35, 33.10)	23.00(20.55, 25.00)	10.70(9.10, 11.95)	10.70(9.65, 11.75)	146.36	<0.01
脾静脉	34.80(30.70, 37.20)	26.60(23.25, 28.15)	11.90(10.75, 13.60)	12.40(11.20, 14.10)	146.80	<0.01
门静脉	34.80(30.70, 37.20)	26.60(23.25, 28.15)	11.90(10.75, 13.60)	12.40(11.20, 14.10)	139.13	<0.01
门静脉左支	35.30(32.10, 38.55)	26.60(24.75, 29.50)	12.30(11.00, 14.20)	13.40(11.75, 15.20)	147.98	<0.01
门静脉右支	33.80(30.45, 37.20)	25.50(23.55, 28.50)	11.70(10.55, 13.20)	12.60(11.90, 14.40)	144.48	<0.01

表 3 不同重建算法主观评价

	FBP	30% ASIR-V	80% ASIR-V	DLIR-H	P	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>6</sub>
整体图像质量	3(3.00, 4.00)	4(3.00, 4.00)	4(4.00, 4.50)	5(5.00, 5.00)	<0.001	0.283	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.001
对比度	3(3.00, 4.00)	4(3.00, 4.00)	4(4.00, 4.00)	4(4.00, 5.00)	<0.001	0.660	0.002	<0.001	0.266	<0.001	0.001
噪声	3(3.00, 4.00)	4(3.00, 4.00)	5(4.00, 5.00)	5(4.00, 5.00)	<0.001	0.342	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	1.000
失真伪影	4(3.00, 4.00)	4(4.00, 4.00)	3(2.00, 3.00)	5(5.00, 5.00)	<0.001	1.000	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

注: 以上算法采用 Md(P25, P75) 表示。P<sub>1</sub> 表示 FBP 与 30% ASIR-V 重建算法 P 值; P<sub>2</sub> 表示 FBP 与 80% ASIR-V 重建算法 P 值; P<sub>3</sub> 表示 FBP 与 DLIR-H 重建算法 P 值; P<sub>4</sub> 表示 30% ASIR-V 与 80% ASIR-V 重建算法 P 值; P<sub>5</sub> 表示 30% ASIR-V 与 DLIR-H 重建算法 P 值; P<sub>6</sub> 表示 80% ASIR-V 与 DLIR-H 重建算法 P 值; 所有算法间两两比较均经 Bonferroni 检验校正。

显示血管轮廓、清晰度、噪声在四组重建算法均具有统计学差异 ( $P < 0.001$ ), DLIR-H 算法在血管轮廓、清晰度中位数值最高, 与其他各组重建算法有统计

学差异(表 4)。FBP 与 30% ASIR-V 重建算法、80% ASIR-V 与 DLIR-H 重建算法噪声无统计学差异。两名医师主观评价一致性良好(0.67~0.78, 图 1~4)。

表 4 失代偿期肝硬化患者交通支不同重建算法主观评价

	FBP	30% ASIR-V	80% ASIR-V	DLIR-H	$P$	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$	$P_6$
血管轮廓	3(3.00, 3.25)	4(3.75, 4.00)	4(4.00, 5.00)	5(5.00, 5.00)	<0.001	0.158	0.005	<0.001	1.000	<0.001	0.002
清晰度	4(3.00, 4.00)	4(4.00, 4.00)	3(2.00, 3.00)	5(5.00, 5.00)	<0.001	1.000	0.007	<0.001	0.001	0.004	<0.001
噪声	3(3.00, 4.00)	4(3.00, 4.00)	5(4.00, 5.00)	5(4.00, 5.00)	<0.001	1.000	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	1.000

注:以上算法采用 Md(P25, P75)表示。 $P_1$ 表示 FBP 与 30% ASIR-V 重建算法  $P$ 值; $P_2$ 表示 FBP 与 80% ASIR-V 重建算法  $P$ 值; $P_3$ 表示 FBP 与 DLIR-H 重建算法  $P$ 值; $P_4$ 表示 30% ASIR-V 与 80% ASIR-V 重建算法  $P$ 值; $P_5$ 表示 30% ASIR-V 与 DLIR-H 重建算法  $P$ 值; $P_6$ 表示 80% ASIR-V 与 DLIR-H 重建算法  $P$ 值;所有算法间两两比较均经 Bonferroni 检验校正。

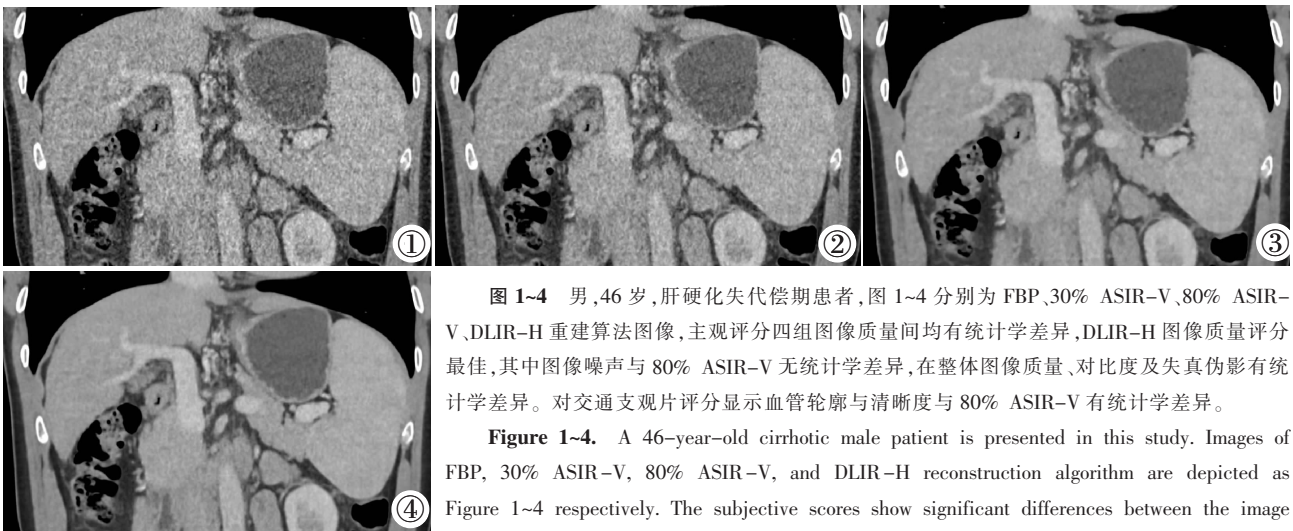


图 1-4 男, 46 岁, 肝硬化失代偿期患者, 图 1-4 分别为 FBP、30% ASIR-V、80% ASIR-V、DLIR-H 重建算法图像, 主观评分四组图像质量间均有统计学差异, DLIR-H 图像质量评分最佳, 其中图像噪声与 80% ASIR-V 无统计学差异, 在整体图像质量、对比度及失真伪影有统计学差异。对交通支观片评分显示血管轮廓与清晰度与 80% ASIR-V 有统计学差异。

Figure 1-4. A 46-year-old cirrhotic male patient is presented in this study. Images of FBP, 30% ASIR-V, 80% ASIR-V, and DLIR-H reconstruction algorithm are depicted as Figure 1-4 respectively. The subjective scores show significant differences between the image

quality of all four groups. The DLIR-H image quality scores are superior with no significant difference observed between image noise and 80% ASIR-V. Nonetheless, a significant difference can be observed in the overall image quality, contrast, and distortion artefacts. In addition, the assessment of the traffic branch view reveals a significant difference in vessel contour and clarity compared to 80% ASIR-V.

### 3 讨论

ASIR-V 是较新版本的混合迭代技术, 相较于早期基于模型的迭代算法, 其重建图像速度快、降噪效能显著、并可改善腹部图像质量<sup>[6]</sup>。但随着迭代权重系数增加, 图像出现“蜡状、塑料状”改变, 影响整体图像质量及病变诊断信心<sup>[7-8]</sup>。近年来, 人工智能在医疗行业广泛应用, DLIR 算法基于深度卷积神经网络模型模拟标准剂量 FBP 图像纹理, 通过无伪影的体模和患者图像训练模型, 深度神经网络分析数据并生成重建函数, 通过学习过程进行优化, 然后用广泛的测试数据集测试验证<sup>[9]</sup>。本研究前瞻性纳入 45 例腹部 CT 门静脉图像行 FBP、ASIR-V、DLIR 后处理重建, 表明 DLIR 重建算法可以显著提高传统 FBP 图像 SNR、CNR, 80% ASIR-V 与 DLIR-H 在此两项指标中有相同图像优化能力, 30% ASIR-V 并未显示出其优势。

本研究聚焦于低、高权重 ASIR-V 与 DLIR-H 对图像质量影响, 结果显示高权重 ASIR-V 算法与

DLIR-H 定量评价无显著差异, 主观评价 DLIR-H 重建图像表现最佳, 在整体图像质量、对比度及失真伪影优于 80% ASIR-V, 两者间图像噪声未观察到明显差异。两名医师一致认为 80% ASIR-V 重建图像表现过于平滑, 出现塑料状伪影, 与既往研究结果相同<sup>[10-11]</sup>。不同于 IR 算法, DLIR 使用深度卷积神经网络区分图像中的真实信号和噪声, 目前研究表明 DLIR 图像在优化图像质量、提高诊断信心及降低辐射剂量等优于迭代重建算法, 并具有巨大潜力<sup>[12-14]</sup>。

DLIR 降低图像噪声, 改善图像对比信噪比, 但并不破坏图像纹理特征<sup>[9]</sup>, 对于腹部微小器官及血管诊断至关重要。本研究对 18 例肝硬化失代偿期患者交通支血管图像质量进行主观评价, 观片中认为尽管 80% ASIR-V 重建图像与 DLIR-H 图像噪声差异不大, 但 DLIR 重建图像微小血管轮廓、清晰度与 FBP 及低、高权重 ASIR-V 均有显著性差异, 交通支等微小血管轮廓更锐利, 结构更清晰。唐友发等<sup>[15]</sup>认为 DLIR 改善了肠系膜上动脉 CTA 图像质量, 并且能提高血管锐利度, 与本研究结果一致。肝硬化失代

偿期患者常伴发交通支开放、门静脉系统血栓/癌栓形成等<sup>[16]</sup>,邱绮璇等<sup>[4]</sup>研究表明胃左静脉直径是预测食管胃底静脉出血的独立危险因素,因此 DLIR 重建图像对微小血管清晰显示疾病诊断、风险预测临床获益更多。

本研究前瞻性纳入 45 例患者进行研究,尤其 18 例肝硬化失代偿期患者,样本量较小,统计可能存在偏差,未来增加样本量进一步研究分析。另外对 DLIR 重建图像临床获益后期在增加样本量时,定量统计与传统 FBP 及迭代重建算法差异。最后本研究仅针对低、高权重 ASIR-V 及高权重 DLIR 算法进行比较,缺乏不同权重 ASIR-V 及 DLIR 算法间比较。

综上所述,相较于 FBP、ASIR-V 算法,应用 DLIR 算法在降低腹部 CT 图像噪声同时,改善图像质量,特别是对肝硬化失代偿期微小血管结构显示更具有优势,从而为病人的诊断、风险评估提供更多信息和较好的应用价值。

#### [参考文献]

- [1]Koetzier LR, Mastrodicasa D, Szczykutowicz TP, et al. Deep Learning Image Reconstruction for CT: Technical Principles and Clinical Prospects[J]. *Radiology*, 2023, 306(3): e221257.
- [2]Willeminck MJ, Noel PB. The evolution of image reconstruction for CT—from filtered back projection to artificial intelligence[J]. *Eur Radiol*, 2019, 29(5): 2185–2195.
- [3]Mileto A, Guimaraes LS, McCollough CH, et al. State of the Art in Abdominal CT: The Limits of Iterative Reconstruction Algorithms[J]. *Radiology*, 2019, 293(3): 491–503.
- [4]邱绮璇,艾英杰,钱贤灵,等. 基于 CT 门静脉血管成像的无创模型评估肝硬化门静脉高压患者的食管胃底静脉曲张 [J]. *复旦学报(医学版)*, 2023, 50(4): 494–501.
- [5]刘桂勤,华静,沈加林. CT 门静脉血管成像预测肝硬化门静脉高压食管胃底静脉曲张破裂出血价值 [J]. *中华实用诊断与治疗杂志*, 2015, 29(4): 396–398.
- [6]Kwon H, Cho J, Oh J, et al. The adaptive statistical iterative reconstruction -V technique for radiation dose reduction in abdominal CT: comparison with the adaptive statistical iterative reconstruction technique [J]. *Br J Radiol*, 2015, 88 (1054): 20150463.
- [7]Shuman WP, Green DE, Busey JM, et al. Model-based iterative reconstruction versus adaptive statistical iterative reconstruction and filtered back projection in liver 64 -MDCT: focal lesion detection, lesion conspicuity, and image noise [J]. *Am J Roentgenol*, 2013, 200(5): 1071–1076.
- [8]Telesmanich ME, Jensen CT, Enriquez JL, et al. Third version of vendor -specific model -based iterative reconstruction (Veo 3.0): evaluation of CT image quality in the abdomen using new noise reduction presets and varied slice optimization [J]. *Br J Radiol*, 2017, 90(1077): 20170188.
- [9]Jensen CT, Liu X, Tamm EP, et al. Image Quality Assessment of Abdominal CT by Use of New Deep Learning Image Reconstruction: Initial Experience[J]. *Am J Roentgenol*, 2020, 215 (1): 50–57.
- [10]Utsunomiya D, Weigold WG, Weissman G, et al. Effect of hybrid iterative reconstruction technique on quantitative and qualitative image analysis at 256-slice prospective gating cardiac CT[J]. *Eur Radiol*, 2012, 22(6): 1287–1294.
- [11]Khawaja RDA, Singh S, Otrakji A, et al. Dose reduction in pediatric abdominal CT: use of iterative reconstruction techniques across different CT platforms[J]. *Pediatr Radiol*, 2015, 45(7): 1046–1055.
- [12]Jiang B, Li N, Shi X, et al. Deep Learning Reconstruction Shows Better Lung Nodule Detection for Ultra-Low-Dose Chest CT[J]. *Radiology*, 2022, 303(1): 202–212.
- [13]Wang M, Fan J, Shi X, et al. A deep-learning reconstruction algorithm that improves the image quality of low-tube-voltage coronary CT angiography[J]. *Eur J Radiol*, 2022, 146: 110070.
- [14]Lyu P, Li Z, Chen Y, et al. Deep learning reconstruction CT for liver metastases: low-dose dual-energy vs standard-dose single-energy[J]. *Eur Radiol*, 2024, 34(1): 28–38.
- [15]唐友发,王秋霞,张进华. 深度学习重建算法在肠系膜上动脉 CT 血管成像中的应用评估[J]. *暨南大学学报(自然科学与医学版)*, 2023, 44(3): 316–322.
- [16]中华医学会肝病学分会. 肝硬化诊治指南[J]. *中华肝脏病杂志*, 2019, 27(11): 846–865.