

256 层螺旋 iCT IMR 技术在低剂量肝脏增强中的应用

耿学龙 王芳 盛金平 蒋锐 王鹏 关静

(西部战区总医院放射诊断科, 四川 成都 610083)

【摘要】 目的 比较 256 层螺旋 CT 全模型迭代重建技术(IMR)和混合迭代重建技术(iDose4)在低辐射剂量肝脏增强中的图像质量和辐射剂量,探讨相较于磁共振(MRI)动态增强在肝癌诊断中的价值。方法 收集 2021 年 1 月~10 月同时行肝脏增强平扫使用常规剂量、三期增强使用相对低剂量 CT 扫描和 MRI 动态增强,并病理确诊为肝癌的 40 例患者,对肝脏三期薄层图像分别行混合迭代算法(iDose4)重建(A 组)和全模型迭代算法(IMR)重建(B 组),比较两组客观评价指标噪声、信噪比(SNR)和对比噪声比(CNR)及主观评价指标低对比分辨率、图像失真度及诊断信心度,计算有效辐射剂量,并对比 MRI 动态增强对肝癌检出率进行分析。结果 两种重建组算法下所有图像均能满足诊断需求,两组在噪声、SNR 和 CNR 比较差异均有统计学意义($P<0.05$),B 组图像质量均优于 A 组;三期增强辐射剂量较平扫有明显降低,比较差异均有统计学意义($P<0.05$);B 组低对比分辨率和诊断信心度高于 A 组,图像失真度低于 A 组,差异有统计学意义($P<0.05$);对比 MRI 动态增强三组对肝癌检出率差异无统计学意义($P>0.05$),但 IMR 重建技术对细微征象显示更清晰。结论 256 层螺旋 CT 中全迭代重建(IMR)技术可改善肝脏低剂量增强扫描的图像质量,在肝癌的临床诊断中具有一定的应用价值。

【关键词】 低剂量增强 CT;全模型迭代重建技术;混合迭代重建技术;MRI 动态增强;图像质量;辐射量

【中图分类号】 R814.42 **【文献标志码】** A **DOI:**10.3969/j.issn.1672-3511.2022.11.029

Application of 256-slice helical iCT IMR technique in low-dose liver enhancement

GENG Xuelong, WANG Fang, SHENG Jinping, JIANG Rui, WANG Peng, GUAN Jing

(Department of Radiology, General Hospital of Western Theater Command, Chengdu 610083, China)

【Abstract】 **Objective** To compare the image quality and radiation dose of 256-slice spiral CT full iterative model reconstruction (IMR) and hybrid iterative reconstruction (iDose4) in low radiation dose liver enhancement. And explore the value of (MRI) dynamic enhancement in the diagnosis of liver cancer. **Methods** From January 2021 to October 2021, 40 patients who underwent liver enhanced plain scan at the same time using conventional doses and three-phase enhancement using relatively low-dose CT scan and MRI dynamic enhancement, and were pathologically diagnosed with liver cancer were collected. The slice images were reconstructed by the hybrid iterative algorithm (iDose4) and the full model iterative algorithm (IMR) respectively, and the noise, signal-to-noise ratio, contrast signal-to-noise ratio and radiation dose indicators of the two groups were compared. The detection rate of liver cancer was compared with the dynamic enhancement of MRI. analyze. **Results** All images could meet the diagnostic requirements under the two reconstruction group algorithms. Noise, SNR and CNR comparison difference between two groups had statistical significance ($P<0.05$). The image quality of group B was better than that of group A. Three periods of enhanced radiation dose is scan has significantly reduced, comparative differences are statistically significant ($P<0.05$). The low contrast resolution and diagnostic confidence degree of group B was higher than that of group A ($P<0.05$). The image distortion degree of group B was lower than that of group A ($P<0.05$). MRI dynamic contrast enhanced three groups of liver cancer there was no statistically significant difference detection rate ($P>0.05$), but IMR reconstruction technique to subtle signs show more clearly. **Conclusion** The full iterative reconstruction (IMR) technique in 256-slice spiral CT can improve the image quality of

通信作者:关静,E-mail:2816489974@qq.com

引用本文:耿学龙,王芳,盛金平,等.256 层螺旋 iCT IMR 技术在低剂量肝脏增强中的应用[J].西部医学,2022,34(11):1708-1712. DOI:10.3969/j.issn.1672-3511.2022.11.029

liver low-dose enhanced scan, and has a certain application value in the clinical diagnosis of liver cancer.

【Key words】 Low-dose enhanced CT; Iterative model reconstruction; Hybrid iterative reconstruction; MRI dynamic enhancement; Image quality; Radiation dose

肝癌的患病率占据全部恶性肿瘤的前十位,成为危害人们身心健康的常见恶性肿瘤,尤其是我国每年死于肝癌的患者约 34 万人,约占全球因肝癌死亡人数的 55% 左右^[1]。随着社会经济高速发展,人们生活及工作压力不断增加,加上不良习惯的影响,近几年我国肝癌的患病率、病死率日渐升高^[2]。因此临床对肝癌早期检出的需求越来越迫切,肝脏的影像学检查也成为必不可少的一部分,其中 CT 肝脏增强扫描辐射剂量较高,在降低辐射剂量的同时保证图像质量之间寻找平衡点^[3]。适当降低 KV 是减低辐射剂量的重要手段,但同时图像质量也会随着下降,而 CT 全模型迭代重建技术 (Iterative model reconstruction, IMR) 恰好可以弥补这一忧虑^[4]。本研究旨在比较 256 层螺旋 CT IMR 和混合迭代重建技术 (iDose4) 在低辐射剂量肝脏增强中的图像质量和辐射剂量,并与磁共振 (MRI) 动态增强的肝癌检出率进行比较,探讨 IMR 重建技术在肝癌中的临床价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料 收集 2021 年 1 月~10 月我院因病情需要同时行肝脏 CT 增强扫描和 MRI 动态增强检查,并被病理确诊为肝癌的 40 例患者,其中男 28 例,女 12 例,平均年龄 (55±10) 岁。纳入标准:①无 CT 扫描禁忌证。②患者及家属均知情并签署知情同意书。排除标准:①严重心、肾功能不全者。②碘和钆喷酸葡胺过敏者。③肝脏多期 CT 增强和 MRI 动态增强间隔超过 15 d,两个检查之间做过手术和穿刺。④呼吸运动或金属伪影较重,影响观察者。⑤体质指数 (BMI) 超过 28 kg/m²。本研究获医院医学伦理委员会审核通过。

1.2 CT 检查方法 采用 Philips CT256 层 CT,行肝胆胰脾平扫和 3 期增强扫描。患者取仰卧位行屏气扫描,扫描范围从膈顶至肝下缘。扫描参数:所有患者平扫采用常规电压 120 kV,自动 mAs 的 DRI (Doseright) 指数为“23”,动脉期、门静脉期、延迟期扫描均采用管电压 100 kV,自动 mAs 的 DRI (Doseright) 指数从原来标准的“23”降到“20”,其他条件不变。准直宽度:128×0.625 mm,螺距 0.925,机架旋转时间 0.75 s/周,矩阵 512×512,FOV 32 cm×32 cm。采用 Ulrich REF XD 2051 双筒高压注射器,由前臂静脉根据患者体重注射对比剂 60~80 mL,流速 4.0 mL/s,等速注入生理盐水 25 mL。分别对各患者动脉期、门

脉期、延迟期薄层图像进行重建,以 iDose4 技术重建图像为 A 组,层厚 1 mm,层间距 0.8 mm,iDose4 设为 Level4;以 IMR 技术重建图像为 B 组,层厚 1 mm,层间距 0.8 mm,IMR 设为 Level2。

1.3 MRI 检查方法 采用西门子 1.5 T 磁共振,要求患者检查前 4 h 禁食,并指导呼吸练习,检查范围设置为膈顶至肝脏下缘,检查序列包括 T1WI 自旋回波序列,横轴位,参数:TR 123 ms,TE 4.91 ms,层厚 6 mm 层间距 20%,FOV 370 mm,层数 20 层,矩阵 228×320。单次激发 T2WI 屏气序列,冠状位及横轴位,参数:TR 1100 ms,TE 74 ms,层厚 6 mm,层间距 20%,层数 20 层,矩阵 228×320。T1WI 双回波同反相位屏气序列,横轴位,参数:TR 135 ms,TE 2.13 ms,层厚 6 mm 层间距 20%,FOV 370 mm,层数 20 层,矩阵 228×320。多 b 值弥散自由均匀呼吸序列,横轴位,参数:TR 2400 ms,TE 75 ms,层厚 7 mm,层间距 20%,b 值分别为 50,400,800,FOV 380 mm,层数 20 层,矩阵 228×320。选择 15 mL 钆喷酸葡胺作为对比剂进行增强扫描,对比剂由患者肘静脉注入,速率 2 mL/s,并注入 20 mL 氯化钠,嘱咐患者屏气,以获取动脉期、门静脉期、延迟期的图像,选择 vibe 动态扫描序列,横轴位,参数:TR 4.89 ms,TE 2.38 ms,FOV 380 mm,层厚 3.5 mm,层间距 20%,矩阵 256×128。

1.4 图像质量比较

1.4.1 客观分析 对两种重建方法所得 CT 图像分别在门静脉主干水平层面,避开血管和胆管及可能存在的病灶,于左肝及右肝放置 ROI (面积为 78 mm²),并在同层面前腹壁中央区域空气及右侧竖脊肌内放置相同大小的 ROI,记录各 ROI 的平均 CT 值及其标准差 (SD)。信噪比 (Signal noise ratio, SNR) = CT 肝脏 / SD 肝脏;对比噪声比 (Contrast noise ratio, CNR) = (CT 肝脏 - CT 竖脊肌) / SD 空气。

1.4.2 主观分析 所得图像上传 PCAS,由两名影像学诊断主治医师分别对动脉期、门脉期、延时期薄层 iDose4 重建图像和 IMR 重建图像质量进行评估,并对两种 CT 重建方式和 MRI 动态增强所得的肝癌的病灶检出量,病灶大小、形状、病灶边界、强化方式进行对比。并采用 4 分法对图像主观指标进行评价,包括:①低对比分辨率:1 分,分辨率较差;2 分,可接受;3 分,较好;4 分,非常好。②图像失真:1 分,不能接

受;2分,失真较严重,影响诊断;3分,有失真,但不影响诊断;4分,无失真。③诊断信心度:1分,不能诊断;2分,仅提示可见病变;3分,可能诊断;4分,很有信心。评价者在评价过程中可适当调节窗宽、窗位。

1.5 辐射剂量 比较 CT 两种方式重建所得图像的 CT 剂量容积指数 (CTDIvol)、平均长度乘积 (DLP),有效辐射剂量 (ED) = DLP × k, k 为肝脏转换系数 [0.015 m Sv/ (m Gy·cm)]^[5]。

1.6 统计学分析 采用 SPSS 23.0 统计软件分析,所有计量资料均以均数 ± 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示,计数资料均以率 (%) 表示。两组 CT 重建方法噪声指数、SNR 和 CNR 比较均采用配对 *t* 检验;IMR 和 iDose4 重建方法图像质量主观评价采用 Wilcoxon 符号秩和检验;CT 增强两组重建方法和 MRI 动态增强对肝癌的检出率的比较采用非参检验。*P* < 0.05 为差异有统

计学意义。

2 结果

2.1 IMR 和 iDose4 重建方法图像质量客观评价 在 100 kV 下 A 组和 B 组三期测的 CT 值比较差异无统计学意义 (*P* > 0.05) (表 1)。两组动脉期、门脉期和延时期图像的噪声指数、SNR 和 CNR 比较差异均有统计学意义 (*P* < 0.01),其中 B 组噪声明显小于 A 组,SNR 和 CNR 明显高于 A 组,见表 2。

表 1 iDose4 和 IMR 重建技术 CT 值客观指标比较 ($\bar{x} \pm s$)

Table 1 Comparison of objective indicators of CT values between iDose4 and IMR reconstruction techniques

组别	动脉期	门脉期	延时期
A 组	64.01 ± 6.77	116.87 ± 21.29	110.07 ± 15.17
B 组	63.93 ± 6.92	116.67 ± 20.80	110.94 ± 15.13
<i>t</i>	0.571	0.440	0.685
<i>P</i>	0.571	0.662	0.497

表 2 iDose4 和 IMR 重建技术的图像质量的客观指标比较 ($\bar{x} \pm s$)

Table 2 Comparison of objective indicators of image quality between iDose4 and IMR reconstruction techniques

组别	噪声			SNR			CNR		
	动脉期	门脉期	延时期	动脉期	门脉期	延时期	动脉期	门脉期	延时期
A 组	13.52 ± 2.49	14.13 ± 2.97	14.35 ± 3.28	4.91 ± 1.08	8.58 ± 2.39	8.11 ± 2.02	0.95 ± 0.94	5.12 ± 2.21	4.46 ± 1.50
B 组	3.81 ± 0.54	4.26 ± 0.77	4.36 ± 0.95	17.10 ± 3.19	27.99 ± 6.19	26.31 ± 5.65	19.88 ± 3.99	21.59 ± 8.02	19.00 ± 6.23
<i>t</i>	30.92	26.62	25.85	-35.47	-29.30	-29.13	34.66	-16.91	-19.18
<i>P</i>	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

2.2 IMR 和 iDose4 重建方法图像质量主观评价 两位影像诊断主治医师对 CT 增强 IMR 和 iDose4 的图像质量主观评分一致性较好,均能满足诊断。B 组

的低对比度分辨力和诊断信心均高于 A 组,图像失真度低于 A 组。见表 3。

表 3 IMR 和 iDose4 重建方法的图像质量主观指标评分比较 [*M*(*P*25, *P*75),分]

Table 3 Comparison of subjective index scores of image quality between IMR and iDose4 reconstruction methods

组别	低对比度分辨率			图像失真度			诊断信心		
	动脉期	门脉期	延时期	动脉期	门脉期	延时期	动脉期	门脉期	延时期
A 组	3(2,3)	3(3,4)	3(3,4)	4(3,4)	4(3,4)	4(3,4)	3(3,4)	4(3,4)	4(3,4)
B 组	4(3,4)	4(4,4)	4(4,4)	3(3,4)	3(3,4)	3(3,4)	4(3,4)	4(4,4)	4(4,4)
<i>P</i>	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	>0.05	>0.05

2.3 CT 两种重建方式与 MRI 动态增强对病灶检出情况比较 A 组共检出 114 处病灶,B 组共检出 129 处病灶,MRI 动态增强检出 121 处病灶(表 4)。以 IMR 重建所得图像质量、肝脏解剖结构和病灶轮廓均优于 iDose4 重建图像,MRI 动态增强图像质量、肝脏解剖结构和病灶轮廓均优于 CT 增强图像,但位于肝顶的病灶及呼吸配合不佳病人 CT 优于 MRI 动态增强。三组所得图像测得的病灶大小、形状和强化方式无明显差异。见图 1~2。

2.4 常规剂量平扫组和低剂量组辐射剂量比较 常规剂量平扫组和使用 100 KV 自动 mAs(Doseright)

表 4 CT 增强 A、B 组和 MRI 动态增强病灶检出和病灶轮廓的主观评价 (*n*)

Table 4 Subjective evaluation of lesion detection and lesion outline in CT-enhanced groups A and B and MRI dynamic enhancement

组别	清晰	欠清晰	模糊	病灶检出数
A 组	43	47	24	114
B 组	63	44	22	129
MRI 动态增强组	67	34	20	121
χ^2				5.946
<i>P</i>				0.51

的 DRI 指数降到“20”三期增强组,CTDIvol、DLP 和 ED 比较,差异均有统计学意义 (*P* < 0.05)。见表 5。

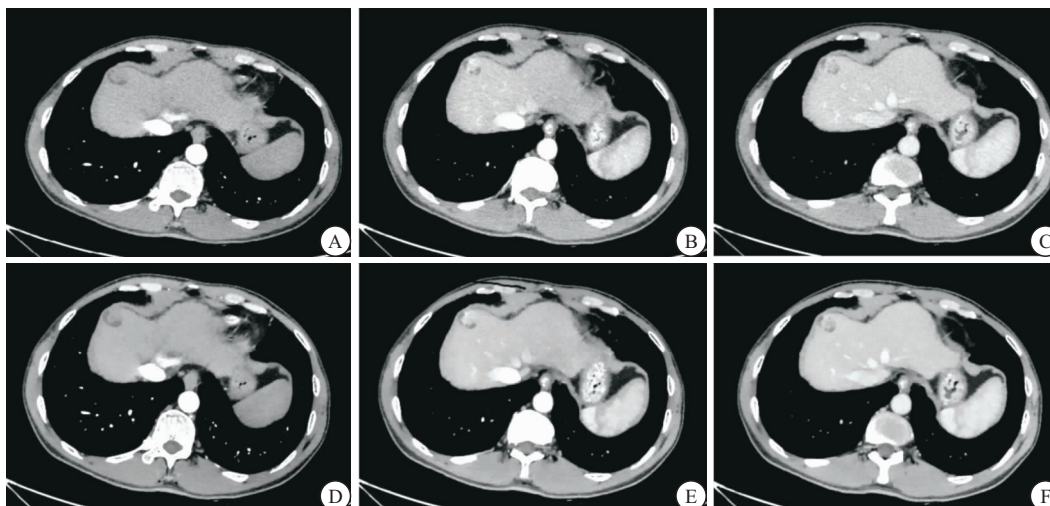


图 1 iDose4 和 IMR 重建图像

Figure 1 iDose4 and IMR reconstructed images

注: A~C. iDose4 三期薄层增强图像, 动脉期轻度强化门脉期进一步强化延时期减退; D~F. IMR 三期薄层增强图像, 强化方式一样但病灶轮廓及强化区域更加清楚

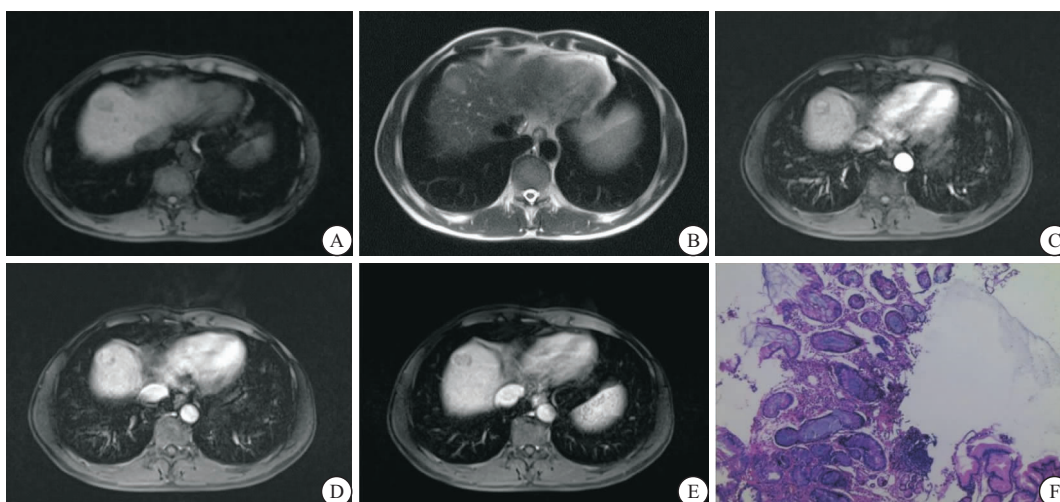


图 2 术后证实肝细胞癌

Figure 2 Male with confirmed hepatocellular carcinoma after surgery

注: 男, 69 岁。A~E. 分别是 MRI 的 T1WI、T2WI、动脉期、门脉期、延时期, 动脉期轻度强化, 门脉期进一步强化, 延时期减退。由于呼吸和心脏搏动伪影, 病灶轮廓及强化区域显示没有 CT IMR 薄层图像清晰; F. 病理证实为肝细胞癌

表 5 常规剂量组和低剂量组辐射剂量比较($\bar{x} \pm s$)

Table 5 Comparison of radiation dose between conventional dose group and low dose group

组别	CTDIvol(mGy)	DLP(mGy * cm)	ED(mSv)
常规剂量组	13.52±2.27	428.15±88.91	6.42±0.69
低剂量组	8.90±1.13	278.09±46.31	4.17±1.33
<i>t</i>	-24.52	-21.62	-21.62
<i>P</i>	<0.01	<0.01	<0.01

3 讨论

由于肝癌患者逐年增加的趋势, 病灶的早期诊断对临床和患者都具有重要意义^[6-7]。随着医学技术发展, 检查手段多元化, 临床对医学影像检查需求越来越大, 要求也越来越高。CT 肝脏增强和 MRI 肝脏动

态增强属于肝脏的重要检查方法^[8], 两种检查方法各有优势和缺点。CT 肝脏增强检查需要平扫、动脉期、门脉期、延时期才能诊断, 这样辐射剂量较高, 所以降低辐射剂量成为学者们研究的重点^[9]。IMR 属于新一代非线性全模迭代重建技术, 以结构化知识模型为基础, 完善解剖模型、几何模型、系统模型以及噪声模型等多个具有 CT 系统特性的统计学模型, 建立了更合理的成像约束条件^[10-11], 从而在降低辐射剂量的同时又能保证图像质量。

本研究中图像质量客观的评价发现, 在电压为 100 kV, 自动 mAs 的 DRI(Doseright) 指数为“20”相同条件下 IMR 重建图像和 iDose4 重建图像对 CT 值

无明显影响,与 Yuki 等^[12]对 IMR 在冠状动脉中的应用结论相符。图像噪声 B 组明显低 A 组, B 组相对 A 组噪声降低 3 倍左右,差异具有统计学意义($P < 0.01$)。噪声直接影响 CT 图像的低密度分辨率和空间分辨率,噪声增加很难分辨病灶^[13-14],而全模型迭代重建技术大幅度降低噪声。本研究发现 B 组的 SNR、CNR 较 A 组提高 4 倍左右,SNR 和 CNR 均有统计学意义($P < 0.01$),图像的密度分辨率和空间分辨率都得到升高^[15-16],因此认为 IMR 在肝脏这类缺乏天然对比度的组织中体现出一定的优势,对肝脏小病灶和病灶细节显示更清楚,同大多学者的研究一致^[17-18]。

从图像质量主观评价中, B 组低对比度分辨率、诊断信心从 A 组 3 升到 4。因为在电压降低为 100 kV,自动 mAs 的 DRI(Doseright)指数降到“20”此时采用 iDose4 重建的 A 组图像噪声高,SNR 和 CNR 降低,采用全模型迭代重建的 B 组肝脏图像质量得到改善^[19]。B 组的三期增强图像较清晰且密度分辨力提高,病灶更易于显影^[20],对于小结节病灶、小囊肿和较小的不典型血管瘤也能有效的显示,病灶边界较清晰,降低了漏诊和误诊的风险,提高了诊断信心。将 iDose4 和 IMR 重建三期增强的 CT 薄层图像和 MRI 动态增强进行对比研究, A 组图像检出 114 处病灶, B 组图像检测出 129 处病灶, MRI 动态增强检出 121 处病灶,三种方法比较病灶大小无差异,病灶强化方式基本一致,其中 IMR 重建的 B 组图像对肝脏病灶检出、轮廓显示更接近 MRI 动态增强。

本研究中对于同一病人 CT 肝脏平扫用的常规剂量管电压为 120 kV,自动 mAs 的 DRI(Doseright)指数为“23”,三期增强电压降低为 100 kV,自动 mAs 的 DRI(Doseright)指数降到“20”。动脉期有效辐射剂量(ED)从 (6.42 ± 0.69) mSv 降到 (4.17 ± 1.33) mSv,因此如果我们四期均采用全模迭代技术辐射剂量将得到大幅度的降低。

本研究不足之处,病例数量有限,另外 CT 增强 iDose4 和 IMR 重建均为 100 kV 条件下,没有和 120 kV 正常条件作对比。本研究未对 CT 多期增强和 MRI 动态增强的准确率进行比较。

4 结论

采用管电压为 100 kV,自动 mAs DRI(Doseright)为“20”,肝脏增强在全模型迭代重建方式下既可以降低辐射剂量的同时可以提高薄层图像质量。对老年人和腹痛患者等无法配合磁共振检查的情况也可以有效弥补,在肝癌的临床诊断中具有一定的应用价值,可在临床推广应用。

【参考文献】

- [1] 李雯. 肝脏增强 CT 技术与肝脏 MRI 技术诊断肝癌的准确率对比[J]. 临床研究, 2021, 29(12): 108-111.
- [2] 宋彬, 吴苾. 肝细胞癌的影像学研究现状与进展[J]. 西部医学, 2015, 27(4): 481-485.
- [3] 苗文学. 不同成像参数对胸部 CT 图像质量及辐射剂量的影响[J]. 内蒙古医学杂志, 2021, 53(6): 674-676, 封 3.
- [4] 葛东泉, 耿海. 低剂量 CT 迭代重建技术及低浓度对比剂的应用进展[J]. 放射学实践, 2015(10): 1001-1004.
- [5] SHRIMPTON P C, HILLIER M C, LEWIS M A, *et al.* National survey of doses from CT in the UK: 2003[J]. Br J Radiol, 2006, 79(948): 968-980.
- [6] 鲁雪红, 张源, 刘文亚. 多排螺旋 CT 三期增强与 3.0T MR 多期动态增强扫描诊断肝细胞癌的价值分析[J]. 实用肝脏病杂志, 2018, 21(5): 749-752.
- [7] 冯冰. 术前 CT 和 MRI 对肝细胞癌微血管侵犯的预测价值研究进展[J]. 实用放射学杂志, 2018, 34(8): 1282-1285.
- [8] 杨振峰, 王丽英, 赵琼惠, 等. MR 动态增强扫描规范肝纤维化及肝硬化成像的实验研究[J]. 西部医学, 2017, 29(4): 474-478, 483.
- [9] 程强. 低管电压联合迭代模型重建技术在肝脏 CT 增强扫描中的应用研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2016.
- [10] IYAMA Y, NAKAURA T, KIDOH M, *et al.* Submillisievert Radiation Dose Coronary CT Angiography: Clinical Impact of the Knowledge-Based Iterative Model Reconstruction[J]. Acad Radiol, 2016, 23(11): 1393-1401.
- [11] 董继伟. CT 迭代重建技术原理及其研究进展[J]. 中国医学装备, 2016, 13(10): 128-133.
- [12] YUKI H, UTSUNOMIYA D, FUNAMA Y, *et al.* Value of knowledge-based iterative model reconstruction in low-kV 256-slice coronary CT angiography[J]. J Cardiovasc Comput Tomogr, 2014, 8(2): 115-123.
- [13] 梁志梅, 夏振元, 莫欣鑫, 等. 全模型迭代重建联合低管电压在 CTPV 应用中的初步研究[J]. 临床放射学杂志, 2021, 40(9): 1803-1806.
- [14] 申凯浩. 全模型迭代重建联合大矩阵和靶重建对肾上腺图像质量的应用价值[D]. 承德: 承德医学院, 2021.
- [15] 潘丹, 姜彦, 陈鑫, 等. 迭代模型重建技术不同辐射剂量对肝脏 CT 增强扫描图像质量的影响[J]. 中国医学影像学杂志, 2015, 23(1): 10-13, 18.
- [16] 窦欣, 龚建平, 张伟, 等. 全模型迭代重建技术联合低管电压 MSCT 扫描在肾动脉成像中的应用研究[J]. 临床放射学杂志, 2017, 36(4): 566-570.
- [17] 李莹, 吕培杰, 郭英, 等. 优化前后置全模型迭代重建技术低剂量腹部 CT 扫描[J]. 中国医学影像技术, 2018, 34(4): 605-609.
- [18] 张华山, 邓建永, 汪小舟, 等. 多层螺旋 CT 血管成像在肝癌诊断中的应用[J]. 西部医学, 2012, 24(6): 1170-1172.
- [19] RYU Y J, CHOI Y H, CHEON J E, *et al.* Knowledge-based iterative model reconstruction: comparative image quality and radiation dose with a pediatric computed tomography phantom[J]. Pediatr Radiol, 2016, 46(3): 303-315.
- [20] 杨秀江. CT 空间分辨率和低对比度分辨率的检测及其影响因素[J]. 科技视界, 2018(17): 72-73.

(收稿日期: 2022-03-05; 修回日期: 2022-09-26; 编辑: 刘灵敏)