

全模型迭代重建对肝硬化门静脉图像质量的影响

唐琴, 夏振元, 莫欣鑫, 龙莉玲

【摘要】 目的:探讨全模型迭代重建(IMR)对肝硬化患者门静脉图像质量的影响。**方法:**随机搜集 25 例肝硬化患者门静脉 CT 成像原始数据,分别采用 iDose⁴、IMR_{level1}、IMR_{level2}、IMR_{level3} 重建,比较各重建组噪声(SD)、信噪比(SNR)、对比信噪比(CNR)及噪声降低率。并由 2 名具有 10 年以上腹部影像诊断经验的医师对门静脉图像质量进行主观评分。数据采用 One-way ANOVA 分析,主观评分的一致性采用 Kappa 检验。**结果:**各组 SD、SNR 及 CNR 均值差异均具有统计学意义($P < 0.05$),SD:iDose⁴ (14.88 ± 3.64) > IMR_{level1} (9.71 ± 3.67) > IMR_{level2} (6.77 ± 3.14) > IMR_{level3} (4.70 ± 2.65),SNR:iDose⁴ (14.74 ± 4.18) < IMR_{level1} (23.82 ± 7.85) < IMR_{level2} (35.40 ± 12.43) < IMR_{level3} (54.69 ± 21.31),CNR:iDose⁴ (8.65 ± 1.94) < IMR_{level1} (16.30 ± 3.26) < IMR_{level2} (25.22 ± 5.79) < IMR_{level3} (40.13 ± 10.73)。降噪率分别为 IMR_{level1} 35.50%、IMR_{level2} 55.37%、IMR_{level3} 69.23%;主观评分:iDose⁴ (2.12 ± 0.33) < IMR_{level1} (3.12 ± 0.33) < IMR_{level2} (4.08 ± 0.28) < IMR_{level3} (4.96 ± 0.20),差异具有统计学意义($P = 0.00$)。**结论:**IMR 技术可显著降低肝硬化门静脉噪声,且降噪级别越高,图像质量越高,值得临床推广。

【关键词】 门静脉; 体层摄影术,X 线计算机; 图像处理,计算机辅助; 噪声

【中图分类号】 R322.123; R814.42; R814.3 **【文献标识码】** A

【文章编号】 1000-0313(2019)06-0651-04

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2019.06.011

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Effect of iterative model reconstruction on the image quality of portal venography in cirrhosis TANG Qin, XIA Zhen-yuan, MO Xin-xin, et al. Department of Radiology, the Frist Affiliated Hospital, Guangxi Medical University, Guangxi 530000, China

【Abstract】 Objective: To investigate the effect of iterative model reconstruction (IMR) on the image quality of portal vein in patients with liver cirrhosis. **Methods:** Raw CT data of 25 patients with liver cirrhosis were randomly selected and reconstructed by iDose⁴, IMR_{level1}, IMR_{level2} and IMR_{level3}, respectively. Image noise (SD), signal noise radio (SNR), contrast noise ratio (CNR) and noise reduction rate were calculated. Subjective scores was assessed by two radiologists with more than 10 years of experience in abdominal diagnosis. The data were analyzed using one-way ANOVA and consistency of subjective scores were analyzed by Kappa test. **Results:** The mean of SD, SNR and CNR were all different with statistic significance among the 4 groups ($P < 0.05$). SD: iDose⁴ (14.88 ± 3.64) > IMR_{level1} (9.71 ± 3.67) > IMR_{level2} (6.77 ± 3.14) > IMR_{level3} (4.70 ± 2.65); SNR: iDose⁴ (14.74 ± 4.18) < IMR_{level1} (23.82 ± 7.85) < IMR_{level2} (35.40 ± 12.43) < IMR_{level3} (54.69 ± 21.31); CNR: iDose⁴ (8.65 ± 1.94) < IMR_{level1} (16.30 ± 3.26) < IMR_{level2} (25.22 ± 5.79) < IMR_{level3} (40.13 ± 10.73). Noise reduction rates were 35.50% in IMR_{level1}, 55.37% in IMR_{level2} and 69.23% in IMR_{level3}; Subjective scoring: iDose⁴ (2.12 ± 0.33) < IMR_{level1} (3.12 ± 0.33) < IMR_{level2} (4.08 ± 0.28) < IMR_{level3} (4.96 ± 0.20), with statistical differences ($P = 0.00$). **Conclusion:** IMR can reduce image noise of the portal vein and result in a higher image quality accompanying with higher noise reduction level, which is worthy of clinical promotion.

【Key words】 Portal vein; Tomography, X-ray computed; Image processing, computer-assisted; Noise

作者单位: 530021 广西医科大学第一附属医院放射科(唐琴, 龙莉玲); 530007 广西医科大学第二附属医院(夏振元, 莫欣鑫)

作者简介: 唐琴(1991—), 女, 广西全州人, 硕士研究生, 主要从事腹部影像诊断工作。

通讯作者: 龙莉玲, E-mail: ejr.longliling@vip.163.com

门静脉 CT 成像(CT portal venography, CTPV)是目前评估门静脉的主要检查方法,肝硬化患者由于门静脉分支受压,且血流动力学发生改变,严重影响 CTPV 图像质量,因此如何清晰显示肝硬化患者门静

脉分支及侧枝循环情况,对临床评估患者病情有着重要指导意义。增加对比剂剂量、浓度及注射流率可提高 CTPV 质量,但其同时也增加了不良反应的风险。全模型迭代重建技术(iterative model reconstruction, IMR)是一种基于完整模型在投影数据空间进行完全迭代重建的数据处理技术,具有提高图像空间分辨率、明显降低噪声和条纹伪影的特性^[1]。IMR 依据降噪水平不同,分为 level I ~ III 三个等级(IMR_{level1}、IMR_{level2}、IMR_{level3}),且级别越高,噪声降低越明显,图像信噪比越高。但目前国内有关 IMR 重建技术应用于门静脉成像中的研究较少,本研究通过分析比较不同降噪等级 IMR 图像与 iDose⁴ 图像之间质量的差异性,旨在初步探讨 IMR 技术在提高 CTPV 图像质量中的价值。

材料与方法

1. 一般资料
- 按时间随机原则,搜集 2018 年 3—7 月行上腹部门静脉成像的肝硬化患者 25 例,其中失代偿患者 19 例,男 23 例,女 2 例,年龄 32~79 岁,平均(56±14.2)岁。
2. 检查方法
- 检查前告知患者空腹,口服适量温水,测量身高、体重、心率并肘静脉预埋留置针。采用 Philips256 层螺旋 CT(Brilliance iCT)行上腹部增强扫描,对比剂采用碘海醇(300 mg I/mL),流率 4.0 mL/s,剂量 1.5 mL/kg。扫描范围膈顶至双肾下极水平,动脉期扫描开始时间采用对比剂追踪检测技术,监测点为腹主动脉起始部,触发扫描阈值 120 HU,门脉期扫描开始时间为动脉期扫描结束后 28 s,管电压 100 kV,管电流 295 mAs。重建方式:IMR_{level1}、IMR_{level2}、IMR_{level3} 和 iDose⁴,重建间隔及层厚为 1 mm。
3. 图像质量评价
- 客观评价:将不同重建方法所得图像同时传入飞利浦 AW4.1 星云工作站,测量门静脉主干分叉部以下 3 个层面及同层面背景肝实质 CT 值,门静脉 ROC 面积约为断面的 2/3,肝背景 ROC 选择无肝脏大血管分支区,面积约为门静脉 ROC 面积的 1~2 倍,3 次测量的平均值为最终数据,并计算门静脉信噪比(SNR)以及门静脉-肝实质对比信噪比(CNR),计算公式:

$SNR=CT \text{ 值}/SD, CNR=(CT_{\text{门静脉}}-CT_{\text{肝}})/SD_{\text{肝}}$

主观评价:使用最大密度投影(MIP)及容积再现技术(VR)对不同重建数据进行门静脉重组,MIP 图采用一致的窗宽和窗位,结果由 2 名具有 10 年以上腹部影像诊断经验的医师对门静脉图像质量进行评分。主要评价门静脉主干及分支光滑度及组织对比度,评分采用双盲 5 分制。双盲实现办法:①在后处理工作站隐藏样本采集所有扫描重建参数,使评分医师不知道图像重建所采用数据重建方法及降噪级别。②让两位医师在不同时间评分,相互不知道彼此的评分结果。评分原则:5 分:边缘光滑锐利,无颗粒感,组织对比度佳;4 分:边缘稍毛糙,稍有颗粒感,组织对比度佳;3 分:边缘较毛糙,颗粒感较强,组织对比度良好;2 分:边缘明显毛糙,颗粒感显著,组织对比度尚可;1 分:边缘模糊,颗粒感显著,组织对比度差;矛盾者最终评分由两名共同商定。

4. 统计学方法

所得数据运用 SPSS 19.0 进行统计分析,各重建组门静脉 CT 值、SD、SNR 及 CNR 采用 One-way ANOVA 分析,两两比较采用 LSD-*t*(方差齐)或 Dunnett's T3(方差不齐)分析,结果用 $\bar{x}\pm s$ 表示, $P<0.05$ 为检验标准;医师对图像质量评估的一致性采用 Kappa 检验,Kappa 值 ≤ 0.40 为一致性较差, $0.40<Kappa$ 值 ≤ 0.75 一致性中等,Kappa 值 >0.75 一致性较好。

结 果

1. 图像质量客观分析结果
- 各组门静脉主干 CT 值及噪声(SD)数据呈正态分布,方差齐($P>0.05$);单因素方差分析各组门静脉主干 CT 值差异无统计学意义($F=0.023, P=0.995$),而各组门静脉主干噪声(SD)差异具有统计学意义($F=0.44.71, P=0.00$),对噪声(SD)进一步 LSD-*t* 两两比较,结果示各组差异均具有统计学意义($P<0.05$),且随着降噪级别增加,噪声(SD)逐渐降低;信噪比(SNR)及对比信噪比(CNR)数据呈正态分布,方差不齐($P=0.00$),Dunnett's T3 两两比较差异均具有统计学意义($P<0.05$)。且与降噪级别成正比(表 1)。IMR 图像噪声减低率分别为 IMR_{level1} 35.50%、IMR_{level2} 55.37%、IMR_{level3} 69.23%。

表 1 各重建组定量指标对比分析结果

组别	iDose ⁴	IMR _{level1}	IMR _{level2}	IMR _{level3}	F 值	P 值
门脉 CT 值	207.7±30.2	209.4±29.8	209.5±29.8	209.5±29.7	0.023	0.995
SD	14.88±3.64	9.71±3.67	6.77±3.14	4.70±2.65	44.71	0.00
SNR	14.74±4.18	23.82±7.85	35.40±12.43	54.69±21.31	43.02	0.00
CNR	8.65±1.94	16.30±3.26	25.22±5.79	40.13±10.73	112.02	0.00

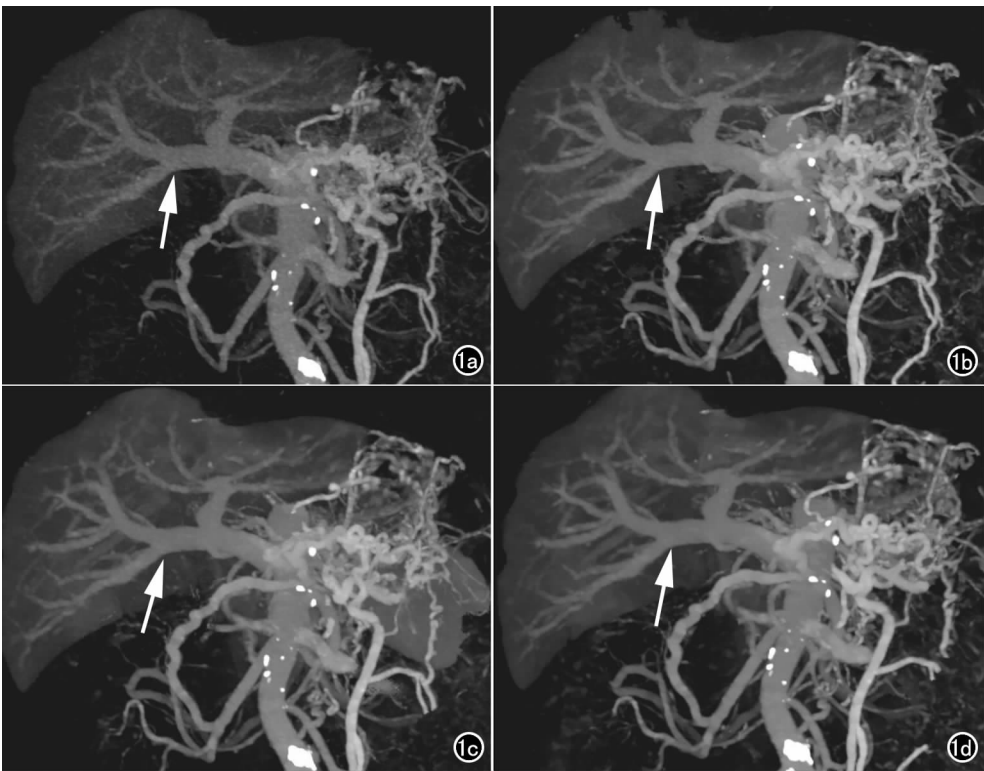


图 1 同一肝硬化患者采用不同重建方法所得的门静脉 MIP 图像, WL 为 260, WW 为 371; a) 常规 iDose⁴ 数据重建图示门静脉主干及分支边缘明显毛糙, 颗粒感显著(箭), 组织对比度尚可, 评 2 分; b~d) IMR 数据重建图。b) IMR_{level1} 降噪水平下的重建图, 门静脉主干及分支边缘较毛糙, 颗粒感较强(箭), 组织对比度良好, 评 3 分; c) IMR_{level2} 降噪水平下的重建图, 门静脉主干及分支边缘稍毛糙, 稍有颗粒感(箭), 组织对比度佳, 评 4 分; d) IMR_{level3} 降噪水平下的重建图, 门静脉主干及分支边缘光滑锐利, 无颗粒感(箭), 组织对比度佳, 评 5 分。

2. 图像主观客观分析结果

两位医师对 4 组图像主观评价的一致性均较高, 且最终评分随着降噪级别的升高而增加(图 1), 差异均具有统计学意义($F=391.71, P=0.00$, 表 2)。

表 2 各重建组图像主观评分对比分析结果

组别	评分(分)	Kappa 值	P 值
iDose ⁴	2.12±0.33	1.000	0.000
IMR _{level1}	3.12±0.33	0.834	0.000
IMR _{level2}	4.08±0.28	0.779	0.000
IMR _{level3}	4.92±0.28	1.000	0.000

讨 论

门静脉 CT 成像是目前临床评估门静脉状态的主要检查方法, 可以较好地显示门静脉分支及属支情况, 肝硬化患者由于门静脉肝内分支受压变形, 血流动力学改变等原因, 使其门静脉成像过程中易出现对比剂混合不均、血管充盈不佳等现象, 从而使噪声增加, 图像信噪比下降, 质量不佳。大剂量、高浓度及高流率团注对比剂是提高门静脉图像质量的常规方法, 但这些方法无疑增加了肝硬化患者的辐射剂量、代谢负担及

安全风险。因此, 在不增加以上因素的前提下, 提高门静脉 CT 图像质量, 有着很重要的临床实用价值。

全模型迭代重建技术(IMR)相对于以往的迭代重建技术而言, 该技术由于仅在投影数据空间进行非线性前向迭代重建, 而不涉及图像域的后向重建, 故而重建过程不含滤波反投影(filtering back-projection, FBP)技术成分, 摆脱了对 FBP 的依赖, 从而对低剂量条件的适应性更广, 而且在进一步减低图像噪声的同时, 不会引起噪声频率的改变和漂移。在早期模型迭代技术的基础上, IMR 技术在 X 射线束整个光学采集过程中, 增加了更多更先进的 CT 系统特性模型及更合理的约束条件, 如包含 CT 特性先知经验的系统模型和包含 X 线衰减特性的统计学模型等, X 射线束、焦点、体素和探测器的几何形状等因素均被纳入模型考虑,

不仅最大限度降低电子噪声, 保证了 IMR 重建源数据的相对纯净, 还使实测投影数据更具有完整性及真实性^[2]。同时 IMR 算法还加入了强化实物本身固有特性的优化功能以及强化目标病变特性为临床目标的两大功能平台, 不仅可明显降低图像噪声, 显著提升图像的空间、密度及软组织分辨率, 还减小了重建量, 提高了重建速度^[3]。在 IMR 重建模式中, 依据降噪阈值设定及优化算法的不同, 分为 level I ~ III 3 个等级, 且级别越高, 噪声降低越明显。研究表明 IMR 可显著提高血管信噪比, 获得高质量 CTA 图像^[4,5], 以上内容为 IMR 技术提高门静脉图像质量奠定理论和实践基础。

本组以 25 例肝硬化患者为研究对象, 初步探讨 IMR 不同降噪级别对肝硬化门静脉图像质量的影响, 结果表明 IMR 不同降噪组图像 SD 明显小于 iDose⁴ 组, 而 SNR、CNR 明显高于 iDose⁴ 组, 这是因为 iDose⁴ 技术为在投影数据空间和图像数据空间均进行迭代重建的数据处理方法^[6], 由于其仍基于 FBP 重建

的图像投影数据,所以在低剂量扫描条件下,整体图像噪声降低有限^[7,8]。FBP 重建算法由于其所依赖假设的不严谨性及局限性,使其空间分辨率及噪声生成有限,加之重建算法中未考虑统计噪声模型,使其在低辐射剂量成像条件下,图像域进行后向重建时,不能除去 X 射线有效光子减少所造成的条带状伪影和偏心性伪影等各种低光子伪影,从而 iDose⁴ 重建技术在低辐射剂量条件下难以大幅度降低图像噪声。本组统计结果还显示,随着 IMR 降噪级别的增加,SD 逐渐降低,而 SNR、CNR 逐渐升高,图像质量评分也越高(图 1),IMR_{level1}、IMR_{level2}、IMR_{level3} 降噪率分别为 35.50%、55.37% 和 69.23%,与国内相关学者研究结果一致^[9,10],这可能与 IMR 不同降噪级别所采用的优化算法及降噪阈值设定不同有关。

研究表明^[11,12] 迭代重建算法当降噪程度明显提高时,图像会出现“蜡样”失真现象,从而影响疾病诊断。“蜡样”失真是由于图像噪声被迭代重建技术过度降低时,由于相邻的组织原噪声不均匀,降噪过程中,信噪比变化率不同,使其之间的对比度增加的一种现象,图像上类似溶蜡样改变,称之为“蜡样”伪影,肝实质中多见于增强扫描强化不均匀处。本组研究随着降噪级别提高,门静脉光滑度和锐利度增加,未出现“蜡样”失真,其可能原因:一是观察目标仅限于门静脉血管,未与相邻组织对比;二是“蜡样”失真现象可能不易出现在脉管成像中,但尚需进一步探索证实。

本研究局限性:①样本量较少,未对肝硬化程度进行详尽分组,需增加样本量,完善分组,以对比分析不同程度肝硬化患者 CTPV 所需的降噪级别。②主观评分没有考虑侧支循环的显示情况;③没有在满足肝背景诊断需要的前提下,进一步研究 CTPV 超低剂量(80kV)扫描时降噪级别的选择。本组数据仅为在 100kV 电压条件下所进行的不同降噪级别的对比,尚未进行在肝实质背景噪声大小不影响临床诊断需要的前提下,进行更低辐射剂量条件下的对比研究,此为我们下一步的研究方向。

综上所述,IMR 是一种全新的非线性迭代重建技术,可在不增加辐射剂量及对比剂用量的情况下,明显

降低肝硬化患者 CTPV 图像噪声,提高信噪比和图像质量评分,值得临床推广应用。

参考文献:

- [1] Oda S, Weissman G, Vembar M, et al. Cardiac CT for planning redo cardiac surgery: effect of knowledge-based iterative model reconstruction on image quality[J]. *European Radiology*, 2015, 25(1):58-64.
- [2] Mehta D. Iterative model reconstruction: simultaneously lowered computed tomography radiation dose and improved image quality[J]. *Med Phys Int J*, 2013, 1(2):147-155.
- [3] Eck BL, Fahmi R, Brown KM, et al. Computational and human observer image quality evaluation of low dose, knowledge-based CT iterative reconstruction[J]. *Medical Physics*, 2015, 42(10):6098-6111.
- [4] 杨尚文, 邵明冉, 杨献峰, 等. “三低”技术联合全模型迭代重建算法在头颈部 CT 血管成像中的可行性研究[J]. *中华放射医学与防护杂志*, 2017, 37(1):62-67.
- [5] Laqmani A, Maximilian Kurfürst, Butscheidt S, et al. CT pulmonary angiography at reduced radiation exposure and contrast material volume using iterative model reconstruction and iDose⁴ technique in comparison to FBP[J]. *Plos One*, 2016, 11(9):e0162429.
- [6] 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, 30(10):1001-1004.
- [7] Silva AC, Lawder HJ, Hara A, et al. Innovations in CT dose reduction strategy: application of the adaptive statistical iterative reconstruction algorithm[J]. *AJR*, 2010, 194(1):191-199.
- [8] 钱伟亮, 丰川, 周丹静, 等. FBP、iDose⁴ 和 IMR 重建算法对低剂量双下肢 CTA 图像质量的影响[J]. *中国医学影像技术*, 2017, 33(2):290-294.
- [9] 李婷婷, 张永高, 高剑波, 等. FBP、iDose⁴ 和 IMR3 种重建算法对低剂量胸部 CT 图像质量的影响[J]. *实用放射学杂志*, 2016, 32(5):33-37.
- [10] 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.
- [11] 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 Cardiovascular Computed Tomography*, 2014, 8(2):115-123.
- [12] 樊荣荣, 施晓雷, 张天然, 等. 迭代模型重建技术参数设置对肝脏低剂量增强 CT 扫描图像质量的影响[J]. *中国医学影像技术*, 2017, 33(11):1711-1715.

(收稿日期:2018-08-14 修回日期:2018-12-03)