

## Impact of reconstruction parameter settings of knowledge-based iterative model technique on image quality of low-dose hepatic contrast-enhanced CT

FAN Rongrong, SHI Xiaolei, ZHANG Tianran,

QIAN Yi\*, CHEN Rutan, FAN Li, XIAO Yi

(Department of Radiology, Changzheng Hospital, Second Military Medical University, Shanghai 200003, China)

**[Abstract]** **Objective** To evaluate the impact of different reconstruction parameter setting of knowledge-based iterative model reconstruction (IMR) technique on image quality of low-dose hepatic contrast-enhanced CT. **Methods** Forty patients underwent hepatic contrast-enhanced CT scanning were enrolled. Plain CT and triphasic contrast-enhanced CT scans, including hepatic arterial phase, portal-venous phase and delayed phase were performed. Low-dose scan was used in delayed phase, with tube voltage of 80 kV and tube current of 150 mAs. Images of delayed phase were reconstructed with both filtered back projection (FBP) and IMR techniques. Parameter setting applied in IMR reconstructions consisted of body routine and body soft tissue modes with three levels (Level 1—3), so 6 subgroups (R1, R2, R3, S1, S2, S3) were included. Subjective and objective evaluations of image quality were compared among those groups. Subjective evaluations included the scores of low contrast detectability (LCD), image distortion (ID) and diagnostic confidence (DC). Objective evaluations included image noise, signal to noise ratio (SNR) and contrast to noise ratio (CNR). **Results** There were statistical differences of scores in LCD, ID and DC among all the reconstruction parameter setting groups (all  $P < 0.01$ ). The noise, SNR and CNR among different parameter setting groups had statistically significant differences (all  $P < 0.01$ ). Except for subgroup S1 and subgroup R2, subgroup S2 and subgroup R3 (all  $P > 0.05$ ), the other multiple comparisons showed significant differences (all  $P < 0.01$ ). **Conclusion** IMR can improve image quality of low-dose hepatic contrast-enhanced CT. IMR reconstruction parameter setting of S1 and R2 are optimal for low-dose hepatic contrast-enhanced CT protocol.

**[Key words]** Liver; Tomography, X-ray computed; Image quality

DOI:10.13929/j.1003-3289.201705046

## 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

樊荣荣, 施晓雷, 张天然, 钱懿\*, 陈如谭, 范丽, 萧毅

(第二军医大学长征医院影像科, 上海 200003)

**[摘要]** **目的** 探讨全模型迭代重建(IMR)技术不同参数设置对肝脏低剂量增强 CT 扫描图像质量的影响。**方法** 收集需要接受肝脏增强 CT 检查的患者 40 例, 分别行上腹部平扫和 3 期动态增强扫描, 其中延迟期采用低剂量扫描, 管电压 80 kV, 管电流 150 mAs。对原始数据进行滤波反投射(FBP)重建和 IMR 技术重建, IMR 采用不同参数, 以获得不同水平(Level 1~3)的常规和软组织重建图像, 分别记为 R1、R2、R3 亚组和 S1、S2、S3 亚组。对各组图像进行主观和客观评价并

**[第一作者]** 樊荣荣(1992—), 女, 安徽阜阳人, 在读硕士, 医师。研究方向: 腹部放射学。E-mail: fanrongrong0715@163.com

**[通信作者]** 钱懿, 第二军医大学附属长征医院影像科, 200003。E-mail: ufopeanut@163.com

**[收稿日期]** 2017-05-08 **[修回日期]** 2017-07-26

比较,主观评价包括低对比分辨率(LCD)、图像失真(ID)和诊断信心(DC)评分,客观评价包括肝脏噪声、信噪比(SNR)和对比噪声比(CNR)。**结果** 不同参数组图像的 LCD、ID 和 DC 评分差异均有统计学意义( $P$ 均 $<0.01$ )。不同参数组图像间噪声、SNR 及 CNR 差异均有统计学意义( $P$ 均 $<0.01$ );除 S1 与 R2 亚组、S2 与 R3 亚组 3 项指标( $P$ 均 $>0.05$ )外,余两两比较差异均有统计学意义( $P$ 均 $<0.01$ )。**结论** 全迭代重建 IMR 技术可提高肝脏低剂量增强 CT 扫描的图像质量,推荐参数为软组织重建、Level 1 或常规重建、Level 2。

[关键词] 肝脏;体层摄影术,X 线计算机;图像质量

[中图分类号] R575; R814.42 [文献标识码] A [文章编号] 1003-3289(2017)11-1711-05

CT 增强扫描是诊断肝脏疾病的主要方法之一,但其辐射剂量较大<sup>[1]</sup>,对人体健康存在潜在威胁。因此,在不影响图像质量及诊断准确率的前提下,降低 CT 扫描的辐射剂量,已成为放射学界关注的热点。研究<sup>[2-4]</sup>表明,与传统滤波反投影算法(filtered back projection, FBP)相比,迭代重建算法能够在保持图像质量的前提下,大幅度降低辐射剂量。目前已在临床应用的迭代重建算法有自适应统计迭代重建(adaptive statistical iterative reconstruction, ASIR;重建时间 $<1$  min)、基于模型的迭代重建(model based iterative reconstruction, MBIR;重建时间 $<30\sim 50$  min)、iDOSE(重建时间 $<1$  min)、自适应模型迭代重建(adaptive model iterative reconstruction, ADMIRE;重建时间 $<1$  min)、正旋图迭代重建(sinogram affirmed iterative reconstruction, SAFIRE;重建时间 $<1$  min)等,这些迭代重建除 MBIR 外,均为部分迭代重建,其降低辐射剂量的程度有限。MBIR 虽然是全迭代重建,但重建时间较长,临床推广困难<sup>[5]</sup>。全模型迭代重建(knowledge-based iterative model reconstruction, IMR)是 FDA 认证的的新型的全迭代重建技术,其降低辐射剂量的能力在胸部 CT 及冠状动脉 CTA 中已经得到证实<sup>[5-7]</sup>。IMR 有三种图像重建方式,分别是体部常规重建、体部软组织重建、体部锐利重建,前两种对软组织显示最佳,最常用于腹部成像,最后一种可增加解剖结构的清晰度,主要用于骨骼及肺部病变的检出。根据降噪水平不同,每种重建方式下有 3 种设置(Level 1~3)<sup>[8]</sup>。本研究旨在探讨全迭代重建 IMR 技术的不同参数设置对肝脏低剂量增强 CT 扫描图像质量的影响,以期找出最佳参数设置。

## 1 资料与方法

1.1 一般资料 收集 2016 年 5 月—8 月在我院就诊、需接受上腹部增强 CT 检查的患者 40 例,其中男 20 例,女 20 例,年龄 18~88 岁,平均(56.7 $\pm$ 13.7)岁。排除标准:①严重心、肾功能不全患者;②碘过敏患者;

③运动或金属伪影较重,影响观察者;④肝脏术后或介入治疗后患者;⑤体质量指数(body mass index, BMI) $>28$  kg/m<sup>2</sup>者。本研究经我院伦理委员会批准,所有入选者检查前均签署知情同意书。

### 1.2 仪器与方法

1.2.1 仪器 采用 Philips iCT 256 层 CT 扫描仪行上腹部平扫和肝脏 3 期增强扫描。患者取仰卧位行屏气扫描,范围从膈顶至肝下缘。扫描参数:所有患者上腹部平扫、动脉期和门静脉期增强扫描均为常规剂量扫描,管电压 120 kV,管电流根据患者 BMI 自动生成;延迟期采用低剂量扫描,管电压 80 kV,管电流 150 mAs;准直 128 $\times$ 0.625 mm,螺距 0.914,机架旋转时间 0.4 s/rot,矩阵 512 $\times$ 512,FOV 32 cm $\times$ 32 cm,重建层厚和间隔均为 1 mm。增强扫描采用高压注射器经前臂静脉以 3 ml/s 的流率注射对比剂(350 mgI/ml)80 ml,注射后 30、60、100 s 分别行动脉期、门静脉期和延迟期扫描。

1.2.2 图像后处理方法 将延迟期原始数据进行 FBP(FBP 组)和 IMR(IMR 组)重建,IMR 组根据不同参数,得到不同水平的(Level 1~3)的常规(分别记为 R1、R2、R3 亚组)和软组织重建图像(分别记为 S1、S2、S3 亚组)。

1.3 图像分析 采用 Philips 星云工作站对图像质量进行主观、客观评价。

1.3.1 主观评价 由从事腹部 CT 诊断工作的 1 名主治医师和 1 名住院医师首先采用盲法对图像进行评分;再由 2 名医师共同评分,意见不一致时邀请第 3 名医师共同讨论,以得到一致意见。评价过程中可适当调节窗宽、窗位。评分标准:①低对比分辨率(low contrast detectability, LCD),1 分,很差或较差;2 分,可接受;3 分,显示较好;4 分,显示很好;②图像失真(image distortion, ID),1 分,失真严重,无法诊断;2 分,失真较严重,影响主要器官观察,但仍能诊断;3 分,轻度失真;4 分,无失真;③诊断信心(diagnosis confidence, DC),1 分,完全不能诊断;2 分,仅提示病

变;3分,可诊断;4分,有信心。

1.3.2 客观评价 由1名从事腹部CT诊断的主治医师在门静脉主干水平层面,避开血管、胆管及病灶,于肝左叶及肝右叶后段、前段分别放置ROI(面积 $200\text{ mm}^2$ ),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(standard deviation, SD),以肝实质平均CT值的 $SD_{\text{肝脏}}$ 作为图像噪声。计算信噪比(signal noise ratio, SNR)和对比噪声比(contrast noise ratio, CNR):  $SNR = CT_{\text{肝脏}}/SD_{\text{空气}}$ ,  $CNR = (CT_{\text{肝脏}} - CT_{\text{肌肉}})/SD_{\text{空气}}$ 。其中 $CT_{\text{肝脏}}$ 为3处肝实质CT值的平均值, $CT_{\text{肌肉}}$ 为右侧竖脊肌CT值, $SD_{\text{空气}}$ 为前腹壁中央区域空气标准差。

1.4 统计学分析 采用SPSS 21.0 统计分析软件。2名观察者对图像质量主观评分的一致性采用Kappa检验,其中Kappa值 $\leq 0.4$ 为一致性差, $0.4 < Kappa$ 值 $\leq 0.6$ 为一致性中等, $0.6 < Kappa$ 值 $\leq 1.0$ 为一致性好。对客观评价指标进行正态分布及方差齐性检验,符合正态分布者以 $\bar{x} \pm s$ 表示,否则用中位数表示。对7组间的主观及客观评价指标分别采用随机区组的Friedman M检验和方差分析。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 主观评价 2名医师对图像质量主观评分的一致性均好,2名医师对7组图像进行LCD、ID和DC评分的Kappa值范围分别为0.66~0.92、0.66~0.91和0.66~0.93。S3亚组LCD评分最高,中位数为4分,FBP组最低,中位数为2分;ID评分FBP组最高,中位数为4分,S3亚组最低,中位数为2分;DC评分S1亚组及R2亚组最高,中位数均为4分,FBP组最低,中位数为2分,见表1、图1。

表1 肝脏低剂量延迟期扫描不同迭代模型重组参数图像的主观评分比较(中位数,分)

组别	LCD	ID	DC
IMR组			
S1亚组	3	3	4
S2亚组	3	3	3
S3亚组	4	2	3
R1亚组	3	3	3
R2亚组	3	3	4
R3亚组	3	3	3
FBP组	2	4	2
M值	212.35	215.63	200.51
P值	$< 0.01$	$< 0.01$	$< 0.01$

2.2 客观评价 与FBP组比较,IMR组各亚组噪声均明显降低( $P$ 均 $< 0.01$ ),SNR及CNR均明显增高( $P$ 均 $< 0.01$ )。S1~S3、R1~R3噪声依次降低,SNR及CNR依次增高,两两比较,S1与R2亚组、S2与R3亚组间3项指标差异无统计学意义( $P$ 均 $> 0.05$ ),其余组间两两比较3项指标差异均有统计学意义( $P$ 均 $< 0.01$ )。见表2。

表2 肝脏低剂量延迟期扫描不同迭代模型重建参数图像的客观评价比较( $\bar{x} \pm s$ )

组别	SD肝脏(HU)	SNR	CNR
IMR组			
S1亚组	11.67 $\pm$ 1.85	21.43 $\pm$ 4.20	10.32 $\pm$ 3.18
S2亚组	8.72 $\pm$ 1.51	31.34 $\pm$ 6.59	15.29 $\pm$ 4.84
S3亚组	6.48 $\pm$ 1.32	51.23 $\pm$ 12.84	24.99 $\pm$ 8.68
R1亚组	15.93 $\pm$ 2.97	14.67 $\pm$ 3.17	7.12 $\pm$ 1.95
R2亚组	11.89 $\pm$ 2.23	20.46 $\pm$ 4.58	9.93 $\pm$ 2.81
R3亚组	8.65 $\pm$ 1.82	31.43 $\pm$ 7.39	15.30 $\pm$ 4.69
FBP组	69.82 $\pm$ 17.25	5.90 $\pm$ 1.18	2.82 $\pm$ 0.93
F值	74.89	57.41	41.15
P值	$< 0.01$	$< 0.01$	$< 0.01$

3 讨论

3.1 IMR技术在肝脏低剂量增强扫描中的意义 肝脏增强检查常需要动脉期、门静脉期及延迟期增强扫描才能诊断,这将导致辐射剂量提高,因此降低肝脏扫描剂量很有必要,尤其对于需长期随访的患者。多数腹部病变需采用薄层图像观察,但层厚越薄,噪声越大,密度分辨力会降低<sup>[9]</sup>,特别是采用以往的算法进行低剂量扫描时薄层图像质量较差。延迟期肝脏实质强化较均匀,故本研究以延迟期为代表,探讨IMR技术对低剂量肝脏增强CT的影响,结果表明采用IMR技术重建的各组图像较FBP组均可有效降低噪声,并较大程度地提升CNR及SNR,提高图像质量,与Patino等<sup>[10]</sup>的研究结论相符。故可将IMR技术应用于肝脏增强其他期相扫描,进而降低肝脏增强扫描时的辐射剂量。

Suzuki等<sup>[11]</sup>将管电压、管电流分别降至120 kV、203 mAs;潘丹等<sup>[12-13]</sup>将管电压、管电流分别调至80 kV、500 mAs,并与常规剂量比较,得出IMR能够在低剂量扫描时图像质量不受影响的结论。本研究将管电压、管电流分别降80 kV、150 mAs,平均有效剂量为(1.25 $\pm$ 0.01)mSv,较以往研究采用的剂量更低,并且采用1 mm的层厚,获得了良好的薄层图像质量。

3.2 IMR参数设置的意义 腹部IMR参数设置分为

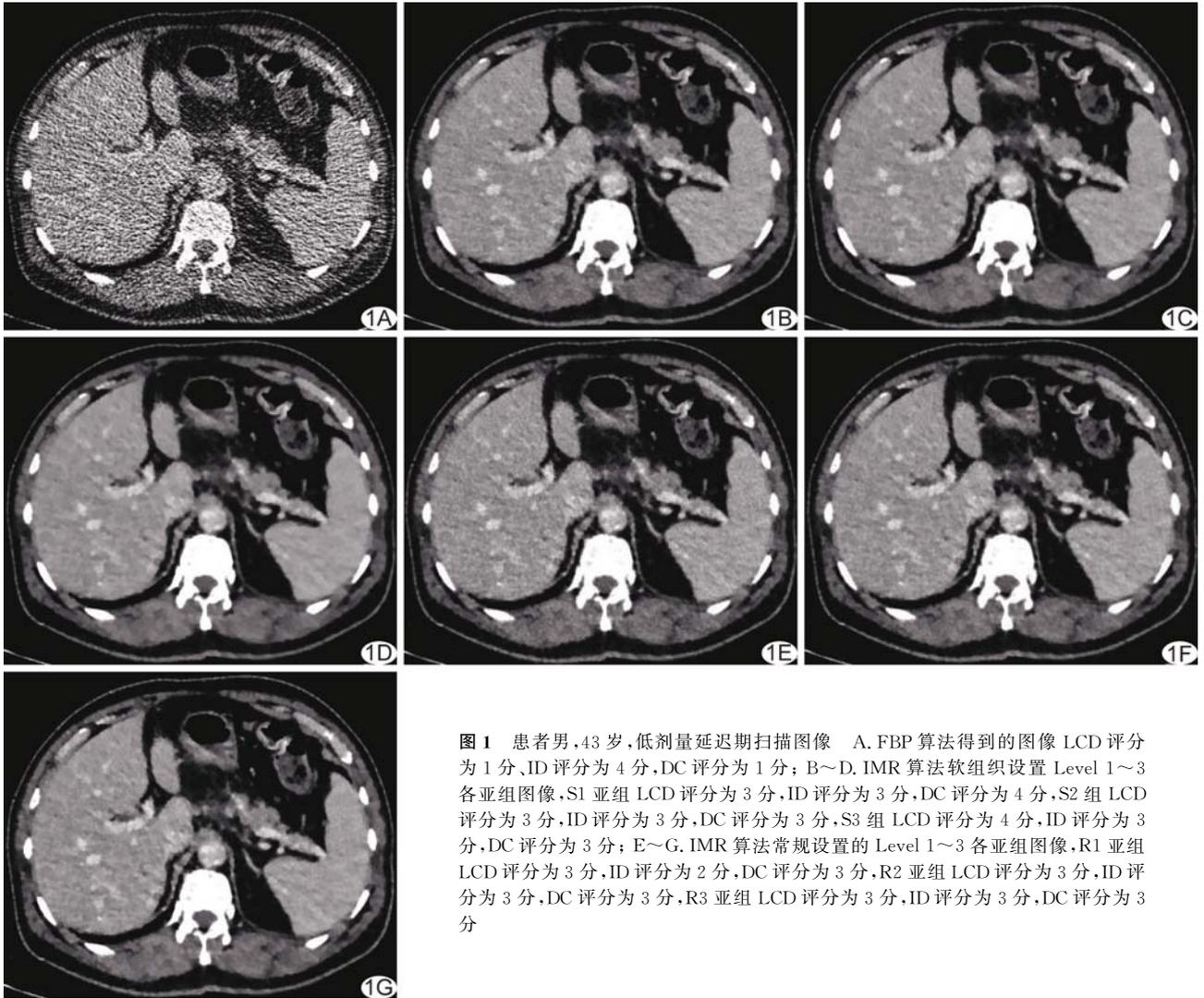


图 1 患者男, 43 岁, 低剂量延迟期扫描图像 A. FBP 算法得到的图像 LCD 评分为 1 分, ID 评分为 4 分, DC 评分为 1 分; B~D. IMR 算法软组织设置 Level 1~3 各亚组图像, S1 亚组 LCD 评分为 3 分, ID 评分为 3 分, DC 评分为 4 分, S2 组 LCD 评分为 3 分, ID 评分为 3 分, DC 评分为 3 分, S3 组 LCD 评分为 4 分, ID 评分为 3 分, DC 评分为 3 分; E~G. IMR 算法常规设置的 Level 1~3 各亚组图像, R1 亚组 LCD 评分为 3 分, ID 评分为 2 分, DC 评分为 3 分, R2 亚组 LCD 评分为 3 分, ID 评分为 3 分, DC 评分为 3 分, R3 亚组 LCD 评分为 3 分, ID 评分为 3 分, DC 评分为 3 分

软组织、常规模式, Level 1~3 水平。每个模式中, 随着 Level 1~3 水平递增, LCD 增高, 噪声降低, CNR 及 SNR 均提高。相同 Level 水平时, 软组织模式较常规模式 LCD 增高, 噪声降低, CNR 及 SNR 均提高。

当降噪程度提高时, 图像会出现失真情况。Yuki 等<sup>[6]</sup>研究表明, 迭代重建算法在大幅度降低图像噪声的同时, CT 图像会形成“蜡样”失真感, 从而影响图像的观察。本研究表明, 对于噪声水平最低的 S3 组, 其图像失真最重, 虽然降低噪声能力较高, 但也会影响图像质量。

本研究目的是选择最优化的设置, 使降噪和失真达到平衡, 最终获得最好的图像质量。Singh 等<sup>[14]</sup>认为 CT 图像诊断信心是衡量图像质量的综合标准, 用于图像质量的整体评价, 其不仅取决于图像固有噪声、病灶低密度对比度, 还受病灶边缘、图像失真感等因素影响。本研究表明, S1 及 R2 亚组图像噪声较 FBP 组

明显减低, CNR 及 SNR 较 FBP 组明显提高, 同时两者的诊断信心是最高的, 能够在低剂量 CT 前提下, 保证图像质量及诊断准确率。因此, 综合主观评价和客观评价得出 S1 及 R2 图像整体质量最好。

总之, 全迭代重建 IMR 技术在肝脏低剂量增强 CT 扫描时可以在客观上明显降低图像噪声、提高 SNR、CNR, 并且在主观上能够提高低对比分辨率, 加之合理选择参数可避免过大的图像失真, 最终提高诊断信心。故本研究认为在肝脏低剂量增强 CT 扫描中 IMR 推荐参数为软组织重建、Level 1 或常规重建、Level 2。

[参考文献]

[1] Das CJ, Paul SB, Madhusudhan KS, et al. Update in liver imaging. Trop Gastroenterol, 2007, 28(4):149-155.

- [2] Hansmann J, Schoenberg GM, Brix G, et al. CT of urolithiasis: Comparison of image quality and diagnostic confidence using filtered back projection and iterative Reconstruction techniques. *Acad Radiol*, 2013, 20(9):1162-1167.
- [3] Kalmar PI, Quehenberger F, Steiner J, et al. The impact of iterative reconstruction on image quality and radiation dose in thoracic and abdominal CT. *Eur J Radiol*, 2014, 83(8):1416-1420.
- [4] Kahn J, Grupp U, Rotzinger R, et al. CT for evaluation of potential renal donors—how does iterative reconstruction influence image quality and dose? *Eur J Radiol*, 2014, 83(8):1332-1336.
- [5] Yuki H, Oda S, Utsunomiya D, et al. Clinical impact of model-based type iterative reconstruction with fast Reconstruction time on image quality of low-dose screening chest CT. *Acta Radiol*, 2016, 57(3):295-302.
- [6] Yuki H, Utsunomiya D, Funama YA, et al. Value of knowledge-based iterative model reconstruction in low-kV 256-slice coronary CT angiography. *J Cardiovasc Comput Tomogr*, 2014, 8(2):115-123.
- [7] Oda S, Utsunomiya D, Funama Y, et al. A knowledge-based iterative model reconstruction algorithm: Can super-low-dose cardiac CT be applicable in clinical settings? *Acad Radiol*, 2014, 21(1):104-110.
- [8] Khawaja RD, Singh S, Blake MA, et al. Ultra-low dose abdominal MDCT: Using a knowledge-based Iterative Model Reconstruction technique for substantial dose reduction in a prospective clinical study. *Eur J Radiol*, 2015, 84(1):2-10.
- [9] 康立丽,洪德明,杨俊杰,等. CT 层厚的测量技术及相关影响因素研究. *放射学实践*, 2000, 15(3):198-200.
- [10] Patino M, Fuentes JM, Hayano K, et al. A quantitative comparison of noise reduction across five commercial (hybrid and model-based) iterative reconstruction techniques: An anthropomorphic phantom study. *AJR Am J Roentgenol*, 2015, 204(2):176-183.
- [11] Suzuki S, Haruyama T, Morita H, et al. Initial performance evaluation of iterative model reconstruction in abdominal computed tomography. *J Comput Assist Tomogr*, 2014, 38(3):408-414.
- [12] 潘丹,陈鑫,姜彦,等. 迭代模型重组设置对不同辐射剂量下肝脏增强 CT 图像噪声及质量的影响. *中华放射学杂志*, 2015, 49(3):173-178.
- [13] 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. *中国医学影像学杂志*, 2015, 23(1):10-13, 18.
- [14] Singh S, Kalra MK, Do S, et al. Comparison of hybrid and pure iterative Reconstruction techniques with conventional filtered back projection: Dose reduction potential in the abdomen. *J Comput Assist Tomogr*, 2012, 36(3):347-353.

## 《中国医学影像技术》被数据库收录情况

《中国医学影像技术》杂志是由中国科学院主管,中国科学院声学研究所主办的国家级学术期刊,被以下数据库收录:

中国精品科技期刊

《中文核心期刊要目总览》收录期刊

中国科技论文统计源期刊(中国科技核心期刊)

中国科学引文数据库核心期刊

WHO《西太平洋区医学索引》(WPRIM)来源期刊

荷兰《医学文摘》收录源期刊

英国《科学文摘》收录源期刊

俄罗斯《文摘杂志》收录源期刊

《日本科学技术振兴机构中国文献数据库》(JSTChina)收录期刊