

多模型迭代重建在CT门静脉成像中改善图像质量的应用

任占丽^{1,2}, 贺太平², 于勇², 于楠^{2,3}, 张喜荣^{2,3}, 贾永军², 段海峰², 李豆⁴, 贺朝¹, 彭雪艳⁵

1. 陕西中医药大学第二附属医院医学影像中心, 陕西 咸阳 712000; 2. 陕西中医药大学附属医院医学影像科, 陕西 咸阳 712000; 3. 陕西中医药大学医学技术学院, 陕西 咸阳 712000; 4. 长安医院医学影像科, 陕西 西安 710016; 5. 咸阳市中心医院, 陕西 咸阳 712000

【摘要】目的:探讨多模型迭代重建(ASIR-V)在CT门静脉成像(CTPV)中改善图像质量的应用价值。**方法:**收集 Revolution CT 检查 CTPV 患者 60 例并随机分为 A、B 组。两组均采用管电压 120 kV、噪声指数 10、对比剂用量 450 mgI/kg。扫描结束后, A 组采用 40%ASIR, B 组采用 40%ASIR-V。分别测量门静脉主干、门静脉左支、门静脉右支的 CT 值和 CT 值标准差, 并计算信噪比和对比噪声比。记录两组患者 CT 容积剂量指数($CTDI_{vol}$)、剂量长度乘积(DLP), 并计算有效辐射剂量(ED)。由两名有经验放射科医师采用 5 分法标准对图像质量进行双盲法主观评分。**结果:**两组患者一般资料、辐射剂量($CTDI_{vol}$ 、DLP、ED)和对比剂总量间差异无统计学意义($P>0.05$)。两组门静脉主干、门静脉左支及右支 CT 值均无统计学差异($P>0.05$)。A 组门静脉主干、门静脉左支及右支 CT 值的标准差高于 B 组, A 组信噪比和对比噪声比低于 B 组, 且差异均具有统计学意义($P<0.05$)。两名医师对两组图像主观评分具有很好的一致性(Kappa 值 >0.75 , $P<0.05$), B 组图像主观评分显著高于 A 组($P<0.05$)。**结论:**ASIR-V 可以显著提高门静脉图像质量, 为临床诊断提供更好的 CTPV 图像。

【关键词】CT 门静脉成像; 多模型迭代重建; 图像质量

【中图分类号】R318

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2020)08-1017-05

Application of adaptive statistical iterative reconstruction-V technique in CT portal venography for improving image quality

REN Zhanli^{1,2}, HE Taiping², YU Yong², YU Nan^{2,3}, ZHANG Xirong^{2,3}, JIA Yongjun², DUAN Haifeng², LI Dou⁴, HE Chao¹, PENG Xueyan⁵

1. Department of Radiology, the Second Affiliated Hospital of Shaanxi University of Chinese Medicine, Xianyang 712000, China; 2. Department of Radiology, Affiliated Hospital of Shaanxi University of Chinese Medicine, Xianyang 712000, China; 3. College of Medical Technology, Shaanxi University of Chinese Medicine, Xianyang 712000, China; 4. Department of Radiology, Chang'an Hospital, Xi'an 710016, China; 5. Xianyang Central Hospital, Xianyang 712000, China

Abstract: Objective To explore the application value of adaptive statistical iterative reconstruction-V (ASIR-V) technique in improving the quality of computed tomography portal venography (CTPV) image. **Methods** Sixty patients who underwent CTPV using Revolution CT were enrolled and randomly divided into group A and group B. Tube voltage of 120 kV, noise index of 10 and contrast agent dose of 450 mgI/kg were adopted in both two groups. After scanning, group A was reconstructed with 40%ASIR, while group B was reconstructed with 40%ASIR-V. The CT values and its standard deviations of the main portal vein (MPV), the left branch of portal vein (LPV), and the right branch of portal vein (RPV) were measured, and their signal-to-noise ratios (SNR) and contrast-to-noise ratios (CNR) were calculated. The volume CT dose index ($CTDI_{vol}$) and dose length product (DLP) in two groups were recorded, and the effective dose (ED) was calculated. The subjective scores of image quality were assessed blindly by two experienced radiologists using a 5-point system. **Results** There was no significant difference between two groups in general information, irradiation dose ($CTDI_{vol}$, DLP, ED) and the total contrast agent dose ($P>0.05$). The CT values of MPV, LPV and RPV showed no statistical difference between two groups ($P>0.05$). Moreover, compared with group B, group A had higher standard deviations of CT values and lower SNR and CNR for MPV, LPV and RPV, with statistical significance ($P<0.05$). There was a good

【收稿日期】2020-03-10

【基金项目】国家自然科学基金(81701691); 陕西省自然科学基金基础研究计划项目(2019JM-361); 陕西中医药大学学科创新团队建设项目(2019-YS04, 2019-QN09)

【作者简介】任占丽, 硕士研究生, 研究方向: 腹部影像诊断学, E-mail: 395654582@qq.com

【通信作者】彭雪艳, E-mail: 794529580@qq.com

agreement between two radiologists ($Kappa>0.75$, $P<0.05$). The subjective score of the images in group B was significantly higher than that in group A ($P>0.05$). **Conclusion** ASIR-V technique can significantly improve the quality of CTPV image, thereby providing better CTPV image for clinical diagnosis.

Keywords: computed tomography portal venography; adaptive statistical iterative reconstruction-V; image quality

前言

CT门静脉成像(Computed Tomography Portal Venography, CTPV)作为目前评价门静脉疾病的主要影像学检查方法,是临床评价门静脉解剖、肝硬化患者门静脉高压产生侧支循环、肝脏移植术前评价门静脉的常规无创性影像方法^[1-2]。传统对于CTPV图像质量的评价主要依赖于门静脉管腔内较高强化和与周围组织较好对比度,然而通过增加对比剂浓度和用量获得的门静脉高强化会给患者带来对比剂肾病等一系列并发症^[3]。自适应统计迭代重建(Adaptive Statistical Iterative Reconstruction, ASIR)可显著降低图像噪声和提升图像质量^[4],但近年来快速发展的多模型迭代重建(Adaptive Statistical Iterative Reconstruction-V, ASIR-V)采用更先进数据重建模型^[5],可提供具有更好解剖细节和更高诊断精确性的图像^[6-7]。本研究探索了ASIR-V在CT门静脉成像中改善图像质量的应用价值。

1 材料与方法

1.1 研究对象

收集2019年1月至5月在陕西中医药大学附属医院拟行CTPV的患者。纳入标准:年龄 ≥ 18 岁,需行CTPV,自愿参与本研究。排除标准:门静脉畸形或异常病变者、呼吸困难影响数据测量者、CTPV检查失败者。本研究最终纳入患者60例,并随机分为A、B两组,每组患者30例。A组患者男19例,女11例,平均年龄为 (62.47 ± 13.40) 岁,身体质量指数(Body Mass Index, BMI)为 (22.63 ± 2.47) kg/m²;B组男性16例,女性14例,平均年龄为 (60.09 ± 9.75) 岁, BMI为 (22.66 ± 2.13) kg/m²。

1.2 检查方法

所有患者均采用美国GE公司Revolution CT检查机器。患者仰卧位,双手置于头两侧,检查前进行呼吸训练,并对甲状腺及盆腔进行防护。两组均采用120 kV管电压、自动管电流调制技术、噪声指数(Noise Index, NI)10、探测器宽度80 mm、螺距0.992:1.000、转速0.5 s/r。两组均选取非离子型对比剂碘海醇(350 mgI/mL),对比剂用量450 mgI/kg,流速4.0 mL/s。扫描范围自膈顶上方1 cm至双侧髂嵴上缘,扫描层厚5 mm,窗宽350 HU,窗位40 HU。动脉

期采用阈值触发技术,在肝门层面腹主动脉管腔内放置感兴趣区(Region of Interest, ROI),血管阈值达200 HU时进行触发动脉期扫描,门静脉期在动脉期结束后延迟30 s触发扫描。

1.3 图像重建及评价

扫描数据采集完成后,A组采用40%ASIR,B组采用40%ASIR-V重建,重建层厚为1.25 mm。在门静脉主干、门静脉左支和门静脉右支最大层面及相邻上下层面分别放置ROI,同时在门静脉主干最大层面的肝右叶及右侧竖脊肌放置ROI,记录每个ROI的CT值和CT值标准差,取3个ROI的平均值为最终CT值和最终CT值标准差。根据CT值和CT值标准差计算信噪比(Signal-to-Noise Ratio, SNR)和对比噪声比(Contrast-to-Noise Ratio, CNR),其中SNR定义为门静脉CT值与门静脉CT值标准差的比值,CNR定义为门静脉和肝右叶CT值间的差值与右侧竖脊肌CT值标准差的比值。对两组图像分别进行容积再现(Volume Rendering, VR)、最大密度投影(Maximum Intensity Projection, MIP)三维重组,由两名具有5年以上工作经验的影像科医师采用5分法对图像质量进行双盲法主观评分,具体评价细节包括图像噪声及伪影、血管对比度、门静脉分支显示情况、是否满足临床诊断,以5分制形式给出图像质量的最终评分。具体评分标准:5分,图像质量最好;4分,图像质量较好;3分,图像质量一般;2分,图像质量较差;1分,图像质量很差。其中3分及以上满足临床,2分及以下无法满足临床。

1.4 辐射剂量及对比剂总量

分别记录两组患者CT容积剂量指数(Volume CT Dose Index, $CTDI_{vol}$)、剂量长度乘积(Dose Length Product, DLP),并计算有效辐射剂量(Effective Dose, ED),其中 $ED=DLP\times k$, k 为腹部辐射剂量转换因子,取值为0.015 mSv/(mGy·cm)。记录对比剂用量,并计算对比剂总量,其中对比剂总量(g)=对比剂用量(mgI/kg) \times 体质量(kg) $\times 0.001$ 。

1.5 统计学分析

采用SPSS 22.0软件进行统计学分析,计量资料采用均数 \pm 标准差表示。两组患者一般资料(性别采用卡方检验)、辐射剂量、对比剂总量、客观参数(CT值、CT值标准差、SNR和CNR)采用独立样本 t 检验,

图像主观评分采用 Mann-Whitney U 检验, $P<0.05$ 为差异具有统计学意义。两名医师主观评分一致性采用 Kappa 检验。其中, Kappa 值 ≥ 0.7 , 一致性很好; $0.4 \leq$ Kappa 值 <0.7 , 一致性较好; Kappa 值 <0.4 , 一致性差。

2 结果

两组患者基本人口学资料(包括性别、年龄、身高、体质量、BMI)比较, 差异均无统计学意义($P>0.05$)(表 1)。两组患者辐射剂量(CTDI_{VOL}、DLP、ED)比较, 差异无统计学意义, 且两组对比剂总量比较, 差异无统计学意义($P>0.05$)(表 2)。

表 1 两组一般资料比较
Tab.1 Comparison of general information between two groups

参数	A 组	B 组	统计量	P 值
性别(男/女)	19/11	16/14	0.617 ^a	0.432
年龄/岁	62.47±13.40	60.09±9.75	1.469 ^b	0.710
身高/cm	165.87±7.01	166.00±9.04	-0.064 ^b	0.949
体质量/kg	62.13±6.37	62.63±8.99	-0.249 ^b	0.805
BMI	22.63±2.47	22.66±2.13	-0.043 ^b	0.966

a 为卡方检验统计量, b 为独立样本 t 检验统计量

表 2 两组辐射剂量和对比剂总量比较
Tab.2 Comparison of radiation dose and contrast agent dose between two groups

参数	A 组	B 组	统计量	P 值
辐射剂量				
CTDI _{VOL} /mGy	13.49±3.31	13.28±2.40	0.264	0.792
DLP/mGy·cm	415.22±102.89	369.23±76.42	1.965	0.064
ED/mSv	6.23±1.54	5.54±1.15	1.965	0.064
对比剂总量/g	27.96±2.86	28.19±4.04	-0.249	0.805

A 组和 B 组门静脉主干、门静脉左支及门静脉右支 CT 值比较, 差异无统计学意义($P>0.05$); B 组门静脉主干、门静脉左支及右支 CT 值标准差显著低于 A 组($P<0.05$); B 组门静脉主干、门静脉左支及右支 SNR 和 CNR 显著高于 A 组($P<0.05$)(表 3)。两名影像科医师对门静脉图像质量的主观评分均大于 4 分, 且两名医师的主观评分具有很好的一致性(Kappa 值 >0.75 , $P<0.05$)。两名医师对 B 组门静脉图像质量的主观评分显著高于 A 组图像质量, 且差异具有显著统计学意义($P<0.05$)(表 3, 图 1~2)。

表 3 两组门静脉 CT 值、CT 值标准差、SNR、CNR 和主观评分比较
Tab.3 Comparison of CT value and its standard deviation, SNR, CNR and subjective score between two groups

参数	A 组	B 组	统计量	P 值
CT 值				
门静脉主干	152.25±15.84	155.97±17.89	-0.852 ^a	0.398
门静脉左支	151.80±12.09	153.89±16.43	-0.561 ^a	0.577
门静脉右支	150.52±11.78	153.96±16.83	-0.918 ^a	0.362
CT 值标准差				
门静脉主干	21.88±2.06	17.43±2.76	7.070 ^a	$<0.05^*$
门静脉左支	21.01±2.57	18.05±4.00	3.410 ^a	$<0.05^*$
门静脉右支	20.90±2.24	16.76±3.16	5.870 ^a	$<0.05^*$
SNR				
门静脉主干	7.02±1.02	9.19±1.95	-5.408 ^a	$<0.05^*$
门静脉左支	7.33±1.05	8.83±1.73	-4.085 ^a	$<0.05^*$
门静脉右支	7.30±1.13	9.53±2.14	-5.032 ^a	$<0.05^*$
CNR				
门静脉主干	2.32±0.71	2.95±1.05	-2.749 ^a	$<0.05^*$
门静脉左支	2.33±0.65	2.83±0.95	-2.361 ^a	$<0.05^*$
门静脉右支	2.25±0.66	2.83±0.96	-2.722 ^a	$<0.05^*$
主观评分				
医师 1	4.07±0.45	4.46±0.55	-2.707 ^b	$<0.05^*$
医师 2	4.13±0.43	4.50±0.52	-2.806 ^b	$<0.05^*$

a 为独立样本 t 检验统计量, b 为非参数检验 Mann-Whitney U 检验统计量

3 讨论

多层螺旋 CT 血管成像具有较高的空间分辨率, 其中 CTPV 常用于评估门静脉解剖和结构异常^[8]。CTPV 是反流性静脉相位成像, 因此在 CTPV 中使用相对较高的对比度剂量以确保显示门静脉的足够对比度和较好图像质量, 然而静脉造影剂和高对比剂用量引起肾毒性的潜在风险被人们广泛关注^[9]。通过降低对比剂用量可以减少肾毒性损害, 但随之也会降低血管成像质量, 以往通常采用改变扫描参数等方式来改善图像图像质量, 但通常会引起患者辐射剂量增加等问题。

迭代重建是一种新的 CT 图像重建技术, 其在图像噪声抑制、伪影抑制和辐射剂量降低等方面具有明显的效果^[10], 且可以在降低辐射剂量同时获取高图像质量。ASIR 算法通过分析每次独立测量中光子的统计学特性, 并与已知的统计学分布进行比较, 在

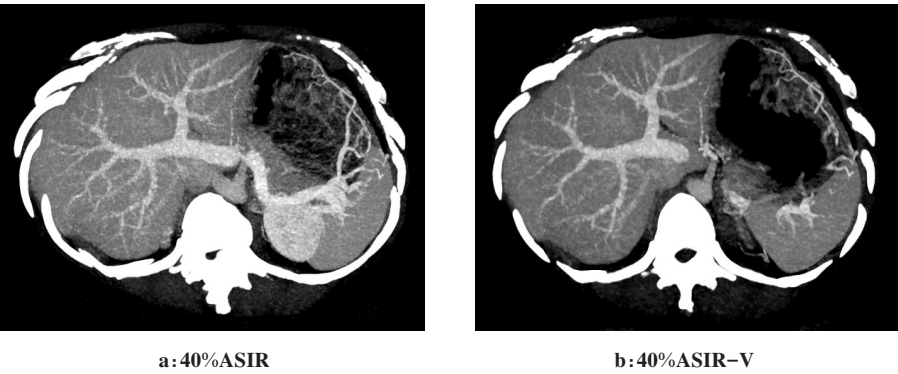


图1 最大密度投影

Fig.1 Maximum density projection

门静脉图像显示清晰,图像对比良好。图1a,门静脉边缘尚光整,图像存在中度噪声,两名医师主观评分均为4分;图1b,门静脉边缘光滑,图像未见明显噪声,两名医师主观评分均为5分

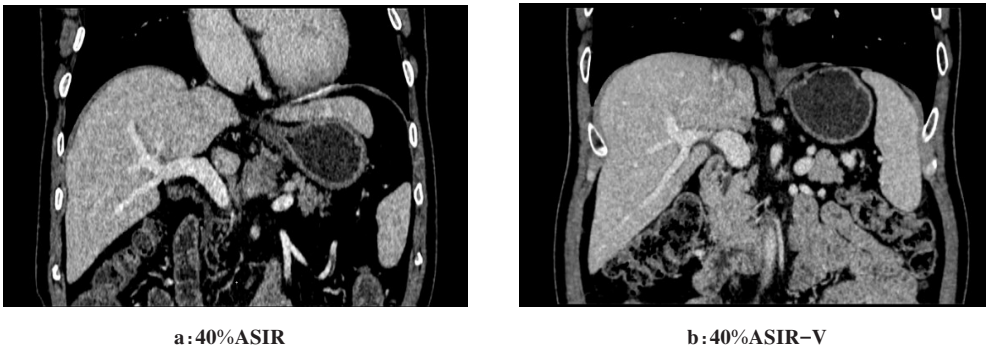


图2 门静脉主干及右支冠状位重组图像

Fig.2 Reconstruction images of the main portal vein and right portal vein

图2a,门静脉主干及右支对比度欠佳,图像存在中度噪声,图像主观评分为3分;图2b,门静脉主干及右支对比度欠佳,图像存在轻度噪声,图像主观评分为4分

迭代计算过程中进行校正^[11],可以有效地降低图像噪声,且ASIR算法考虑了图像的空间分辨率和密度分辨率,以临床可接受的重建速度生成图像,ASIR为临床提供0%~100%的重建权重,随着ASIR比例增高,图像噪声越低,但在高重建比例ASIR百分比情况下,图像清晰度、空间分辨率和图像质量反而会降低^[12]。ASIR-V选取了更高级的噪声模型及物体模型实现了物理建模,摒弃了迭代重建中最耗时的系统光学建模,可获得比ASIR更好的图像质量及相似的重建速度^[13]。以往有研究表明40%ASIR图像可以显著降低图像噪声且图像质量最佳,因此本研究选取40%ASIR作为对照组的重建方法,采用相同重建比例40%ASIR-V重建为对照组观察门静脉图像质量^[14-15]。

本研究中,采用相同管电压120 kV和对比剂用量450 mgI/kg进行CTPV时,40%ASIR和40%ASIR-V的辐射剂量和对比剂用量无显著差异($P>0.05$),表明运用相同管电压和对比剂用量的扫描参数和注射方案对患者辐射剂量和对比剂用量无影响。与常规

40%ASIR相比,40%ASIR-V可以显著降低图像CT值标准差,提升图像SNR和CNR,并且40%ASIR-V图像主观评分显著高于40%ASIR,表明在不增加辐射剂量和对比剂用量的前提下,ASIR-V可以显著抑制图像噪声,减少图像伪影,增加图像密度分辨率和提升CTPV图像质量^[16]。40%ASIR或40%ASIR-V是40%的迭代重建(ASIR或ASIR-V)和60%滤波反投影法重建的混合,本研究选取相同比例(40%)的ASIR或ASIR-V,减少了因迭代重建比例失衡引起图像噪声、图像伪影及图像质量的差异,确保了ASIR-V可以改善图像质量的可靠性。

迭代重建作为快速发展的CT图像处理新技术,本研究中比较利用两种不同方式的迭代算法改善门静脉图像质量的结果,表明了ASIR-V可在门静脉成像中改善图像质量,为临床中实现低剂量CTPV提供保证。但本研究尚存在不足之处:本研究收集的门静脉患者样本量较少,仅对正常门静脉进行探索式研究,未探讨扫描参数对门静脉成像的辐射剂量和对比剂用量的影响。在以后的研究工作中,有待进

进一步扩大研究样本量, 将门静脉畸形及病变门静脉纳入研究来观察迭代重建在门静脉病变中的价值, 并深入研究和探讨 ASIR-V 在低剂量门静脉成像中的可行性。

【参考文献】

- [1] ZHAO Y, WU Y, ZUO Z, et al. Application of low concentration contrast medium in spectral CT imaging for CT portal venography [J]. J Xray Sci Technol, 2016, 25(1): 1-9.
- [2] APISARNTHANARAK P, RAMAN S S, GHOBRIAL R M, et al. Efficacy of CT angiography for preoperative vascular mapping in adult to adult living related liver transplant donors[J]. J Med Assoc Thai, 2011, 94(1): 98-105.
- [3] MARENZI G, ASSANELLI E, CAMPODONICO J, et al. Contrast volume during primary percutaneous coronary intervention and subsequent contrast-induced nephropathy and mortality[J]. Ann Intern Med, 2009, 150(3): 170.
- [4] VARDHANABHUTI V, RIORDAN R D, MITCHELL G R, et al. Image comparative assessment using iterative reconstructions: clinical comparison of low-dose abdominal/pelvic computed tomography between adaptive statistical, model-based iterative reconstructions and traditional filtered back projection in 65 patients[J]. Invest Radiol, 2014, 49(4): 209-216.
- [5] LEE S, KWON H, CHO J, et al. The detection of focal liver lesions using abdominal CT: a comparison of image quality between adaptive statistical iterative reconstruction V and adaptive statistical iterative reconstruction[J]. Acad Radiol, 2016, 23(12): 1532-1538.
- [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] GOODENBERGER M H, WAGNER-BARTAK N A, GUPTA S, et al. Computed tomography image quality evaluation of a new iterative reconstruction algorithm in the abdomen (adaptive statistical iterative reconstruction-V) a comparison with model-based iterative reconstruction, adaptive statistical iterative reconstruction, and filtered back projection reconstructions[J]. J Comput Assist Tomogr, 2018, 42(2): 184-190.
- [8] WANG Q, SHI G, LIU X, et al. Optimal contrast of computed tomography portal venography using dual-energy computed tomography[J]. J Comput Assist Tomogr, 2013, 37(2): 142-148.
- [9] STACUL F, VAN DER MOLEN A J, REIMER P, et al. Contrast induced nephropathy: updated ESUR contrast media safety committee guidelines[J]. Eur Radiol, 2011, 21(12): 2527-2541.
- [10] GEYER L L, SCHOEPP U J, MEINEL F G, et al. State of the art: iterative CT reconstruction techniques[J]. Radiology, 2015, 276(2): 339-357.
- [11] PAUCHARD B, HIGASHIGAITO K, LAMRI-SENOUCI A, et al. Iterative reconstructions in reduced-dose CT: which type ensures diagnostic image quality in young oncology patients?[J]. Acad Radiol, 2017, 24(9): 1114-1124.
- [12] SU L, CHANG L, SUN Q, et al. Effects of low-dose energy spectrum scanning combined with adaptive statistical iterative reconstruction on the quality of imaging in Budd-Chiari syndrome[J]. PLoS One, 2018, 13(10): e0204797.
- [13] DE MARCO P, ORIGGI D. New adaptive statistical iterative reconstruction ASiR-V: assessment of noise performance in comparison to ASiR[J]. J Appl Clin Med Phys, 2018, 19(2): 275-286.
- [14] 赵晶, 徐飞, 李晓璐, 等. 不同水平的自适应统计迭代重建(ASiR)算法在能谱CT门静脉成像中的图像质量比较[J]. 临床放射学杂志, 2016, 35(2): 282-287.
- [15] ZHAO J, XU F, LI X L, et al. Comparison of portal vein image quality with spectrum CT based on different levels of adaptive statistical iterative reconstruction algorithm (ASiR) [J]. Journal of Clinical Radiology, 2016, 35(2): 282-287.
- [16] KIM H G, CHUNG Y E, LEE Y H, et al. Quantitative analysis of the effect of iterative reconstruction using a phantom: determining the appropriate blending percentage [J]. Yonsei Med J, 2015, 56(1): 253-261.
- [17] LIM K, KWON H, CHO J, et al. Initial phantom study comparing image quality in computed tomography using adaptivestatistical iterative reconstruction and new adaptive statistical iterative reconstruction V[J]. J Comput Assist Tomogr, 2015, 39(3): 443-448.

(编辑:谭斯允)