

像素闪烁算法在低剂量 CTU 检查中的应用

张钦和, 刘爱连, 刘义军, 刘静红, 田士峰, 方鑫, 赵莹, 潘聚东

【摘要】 目的:探讨像素闪烁(PS)算法在 ASiR-V 重建算法的基础上对提高低剂量 CTU 图像质量的价值。**方法:**前瞻性分析行低剂量 Revolution CT CTU 检查的患者 28 例(A 组)。A 组:年龄 45~94 岁,平均年龄(63±12)岁, BMI(19.15~25.82)kg/m², 平均 BMI(23.35±1.57)kg/m²;回顾性搜集与其 BMI 相匹配的常规剂量 Revolution CT CTU 检查的患者 25 例。B 组:年龄 31~80 岁,平均年龄(64±12)岁, BMI(19.94~26.12)kg/m², 平均 BMI(23.40±1.56)kg/m²。将 A 组图像上传至 GE AW4.6 工作站,应用 PS 软件(AlgoMedica, Inc, Sunnyvale, CA)按 A7 模式对图像进行后处理,获得 PS 处理后图像(C 组)。测量膀胱及肾盂内对比剂、竖脊肌 CT 值及竖脊肌的 SD 值。根据公式计算膀胱及肾盂内对比剂的信噪比(SNR)和对比噪声比(CNR)。记录容积 CT 剂量指数(CTDIvol)和剂量长度乘积(DLP),计算有效辐射剂量(ED)。采用 SPSS 19.0 进行统计分析。结果两名观察者测得的数据一致性良好。A 组与 C 组间膀胱和肾盂内对比剂以及竖脊肌的 CT 值分别为 729.40±307.76、997.84±663.10、62.74±5.36 和 729.34±307.73、997.13±661.06、62.61±5.43,其差异均无统计学意义($P>0.05$)。B 组与 C 组, A 组与 C 组膀胱及肾盂 CNR 值和 SNR 值的差异具有统计学意义($P<0.05$),相对于 A 组和 B 组, C 组膀胱及肾盂 CNR 值和 SNR 值升高约 2 倍。A 组和 B 组有效辐射剂量分别为 1.47±0.88、3.35±0.55,相比于 B 组, A 组有效辐射剂量降低了约 62%。**结论:**在低剂量扫描的情况下,应用 PS 算法在 ARiR-V 重建算法的基础上可以在保证组织 CT 值无差异的情况下显著增加图像的对比噪声比和噪声比,进而提高低剂量 CTU 图像质量。

【关键词】 体层摄影术, X 线计算机; 噪声; 尿路造影术**【中图分类号】** R814.42; R816.7 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2019)06-0681-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2019.06.017

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Value of the pixel shine algorithm in developing the image quality of the low-dose CTU ZHANG Qin-he, LIU Ai-lian, LIU Yi-jun, et al. Department of Radiology, the First Affiliated Hospital of Dalian Medical University, Dalian 116011, China

【Abstract】 Objective: To investigate the value of PS on improving the image quality of the low-dose CTU based on ASiR-V. **Methods:** A total of 53 patients performed computed tomography urography (CTU) by using revolution CT were collected. Patients were divided into group A (average BMI 23.35±1.57kg/m², n=28, low-dose scan) and group B (average BMI 23.40±1.56kg/m², n=25, routine-dose scan). The group C was generated from the group A images, which were post-processed using a pixel shine (PS) application software (algomedica, Inc, in Sunnyvale, CA) according to the A7 model. CT and SD values of bladder and renal pelvis contrast agents and the erector spinae muscle were measured. The signal noise ratio (SNR) and contrast noise ratio (CNR) of the contrast agents in bladder and renal pelvis were calculated. Volume CT dose index (CTDIvol), dose-length product (DLP) and effective dose (ED) were recorded. The differences of SNR and CNR of renal pelvis and bladder among group A, B and C were analyzed respectively. **Results:** The data were in good agreement. CT values of bladder, kidney pelvis and erector spinae muscle of group A and group C were (729.40±307.76) HU, (997.84±663.10) HU, (62.74±5.36) HU and (729.34±307.73) HU, (997.13±661.06) HU, (62.61±5.43) HU, respectively. There was no significant difference in CT val-

作者单位:116011 辽宁,大连医科大学附属第一医院放射科(张钦和、刘爱连、刘义军、刘静红、田士峰、方鑫、赵莹);94143 旧金山,加州大学旧金山分校放射和生物影像科(潘聚东)

作者简介:张钦和(1994-),男,辽宁大连人,硕士研究生,主要从事腹部放射诊断工作。

通讯作者:刘爱连, E-mail: cjr.liuailian@vip.163.com

ues between group A and group C ($P>0.05$). There was significant differences in the SNR and CNR in group A vs. group C and group B vs. group C ($P<0.05$); compared to the group A and group B, the SNR and CNR of group C were doubled increased. ED of group A and group B were 1.47 ± 0.88 and 3.35 ± 0.55 , respectively. Compared to group B, the ED of group A was decreased by 62%. **Conclusion:** Pixel shine algorithm can significantly increase the image quality of low-dose CTU scan based on ASiR-V technique.

【Key words】 Tomography, X-ray computed; Noise; Urography

CT 尿路成像(computed tomography urography, CTU)在泌尿系统疾病的诊治方面具有显著的作用,但是由于 CTU 扫描范围大,辐射剂量也相对较大,会对患者身体造成伤害^[1]。依照 ALARA (as low as reasonably achievable) 原则^[2],在满足临床诊断需求的条件下应尽可能减少辐射剂量以避免受检者不必要的辐射。因此如何在降低辐射剂量的同时得到能满足诊断需求的图像是现今人们需要解决的热点问题。

本研究在使用 Revolution CT 所配置的多模型自适应统计迭代重建算法(adaptive statistical IR-Veo, ASiR-V)的基础上引入基于深度学习的像素闪烁算法(PixelShine, PS),评估 PS 算法在低剂量 CTU 检查中的价值。

材料与方法

1. 一般资料

前瞻性分析行低剂量 Revolution CT CTU 检查的患者 34 例,排除孕妇、静脉对比剂不良反应、肾功能衰竭、右侧泌尿系术后以及右侧肾盂占位患者 6 例,最后入组 28 例(A 组)。A 组:年龄 45~94 岁,平均年龄(63 ± 12)岁, BMI $19.15\sim 25.82$ kg/m², 平均 BMI (23.35 ± 1.57) kg/m²; 回顾性搜集与其 BMI 相匹配的常规剂量 Revolution CT CTU 检查的患者 32 例,排除右侧泌尿系术后以及右侧肾盂占位患者 7 例,最终入组 25 例。B 组:年龄 31~80 岁,平均年龄(64 ± 12)岁, BMI $19.94\sim 26.12$ kg/m², 平均 BMI (23.40 ± 1.56) kg/m²。

2. 仪器与方法

患者取仰卧位,采用 Revolution CT 机(Revolution CT, GE Healthcare, USA)行 CTU 扫描,扫描前嘱患者憋尿。A 组的管电压 80 kVp, ASiR-V 50%重建; B 组的管电压 120 kVp, ASiR-V 40%重建。余扫描参数相同:自动 mA、探测器宽度 80 mm、螺距 0.992、扫描层厚 1.25 mm、球管转速 0.5 s/r、噪声指数(noise index, NI)为 13。对比剂采用 350 mg I/mL [碘海醇,通用电气药业(上海)有限公司],用量按 300 mg I/kg,采用 Ulrich 双通道高压注射器经肘正中静脉注射,注射流率为容积 4 mL/s,延迟 30 min 后扫

描。扫描范围从双肾上极至耻骨联合下缘。

3. 图像分析与数据测量

由 2 位高年资 CT 诊断医师进行阅片。将 A 组图像上传至 GE AW4.6 工作站,应用 PS 软件(Algo-Medica, Inc, Sunnyvale, CA)按 A7 模式对图像进行后处理,获得 PS 处理后图像(C 组)。采用最大密度投影(maximum intensity projection, MIP)、容积重组(volumerendering, VR)对 3 组图像进行后处理(图 1~2)。采用双盲法进行数据测量。在膀胱、右侧肾盂的最大层面以及右侧肾门水平竖脊肌的轴面图像上测量膀胱及肾盂内对比剂、竖脊肌 CT 值及竖脊肌的 SD 值(图 3)。根据公式计算膀胱及肾盂内对比剂的信噪比(signal noise ratio, SNR)和对比噪声比(contrast noise ratio, CNR)。SNR 膀胱(或肾盂) = CT 值膀胱(或肾盂)/SD 值竖脊肌; CNR 膀胱(或肾盂) - 竖脊肌 = |CT 值膀胱(或肾盂) - CT 值竖脊肌| / SD 值竖脊肌。记录容积 CT 剂量指数(volume CT dose index, CTDIvol)和剂量长度乘积(dose-length product, DLP),计算有效辐射剂量(effective dose, ED): $ED = k \times DLP$, k 值为转换系数,参考欧盟委员会关于腹部 CT 的质量标准指南, $k = 0.015$ mSv/(mGy · cm)^[3]。

4. 统计分析

采用 SPSS 19.0 对数据进行分析。应用 Spearman 相关分析检验两位观察者所测得的数据的一致性,若一致性良好则取年资高者所测得的数据进行后续的统计分析。应用独立样本 t 检验对比 A 组与 B 组的 BMI。三组间膀胱及肾盂内对比剂和竖脊肌的 CT 值以及 3 组间竖脊肌 SD 值、膀胱及肾盂 CNR 值和 SNR 值的分析采用 Kruskal-Wallis 秩和检验。应用非参数 Mann-Whitney U 检验对比 A 组与 B 组的 CTDIvol、DLP、ED。

结果

A 组和 B 组患者的平均 BMI (kg/m²) 分别为 23.35 ± 1.57 、 23.40 ± 1.56 , 差异无统计学意义($P = 0.925$, $t = -0.09$)。

两名观察者所测得的膀胱和肾盂的 CT 值以及竖脊肌的 CT 值和 SD 值的一致性检验。 $r > 0.70$, 取年

资高者所测得的数据进行后续的分析(表1)。

表1 两名观察者测得的各值的一致性检验结果 (r 值)

	A组	B组	C组
膀胱CT值	0.991	1.000	0.991
肾盂CT值	0.988	0.981	0.987
竖脊肌CT值	0.924	0.978	0.801
竖脊肌SD值	0.888	0.871	0.858

三组间膀胱和肾盂内对比剂以及竖脊肌的CT值的差异性比较(表2):A组与B组、B组与C组间膀胱和肾盂内对比剂以及竖脊肌的CT值的差异具有统计学意义($P < 0.05$);A组与C组间膀胱和肾盂内对比

剂以及竖脊肌的CT值的差异无统计学意义($P > 0.05$)。

三组竖脊肌SD值、膀胱CNR值和SNR值以及肾盂CNR值和SNR值的差异性比较(表3):三组间竖脊肌SD值差异均具有统计学意义($P < 0.05$);A组与B组膀胱及肾盂CNR值和SNR值的差异无统计学意义($P > 0.05$);B组与C组,A组与C组膀胱及肾盂CNR值和SNR值的差异具有统计学意义($P < 0.05$,图1~3)。

A组与B组间CTDIvol、DLP、ED的差异性比较:差异均具有统计学意义($P < 0.05$,表4)。

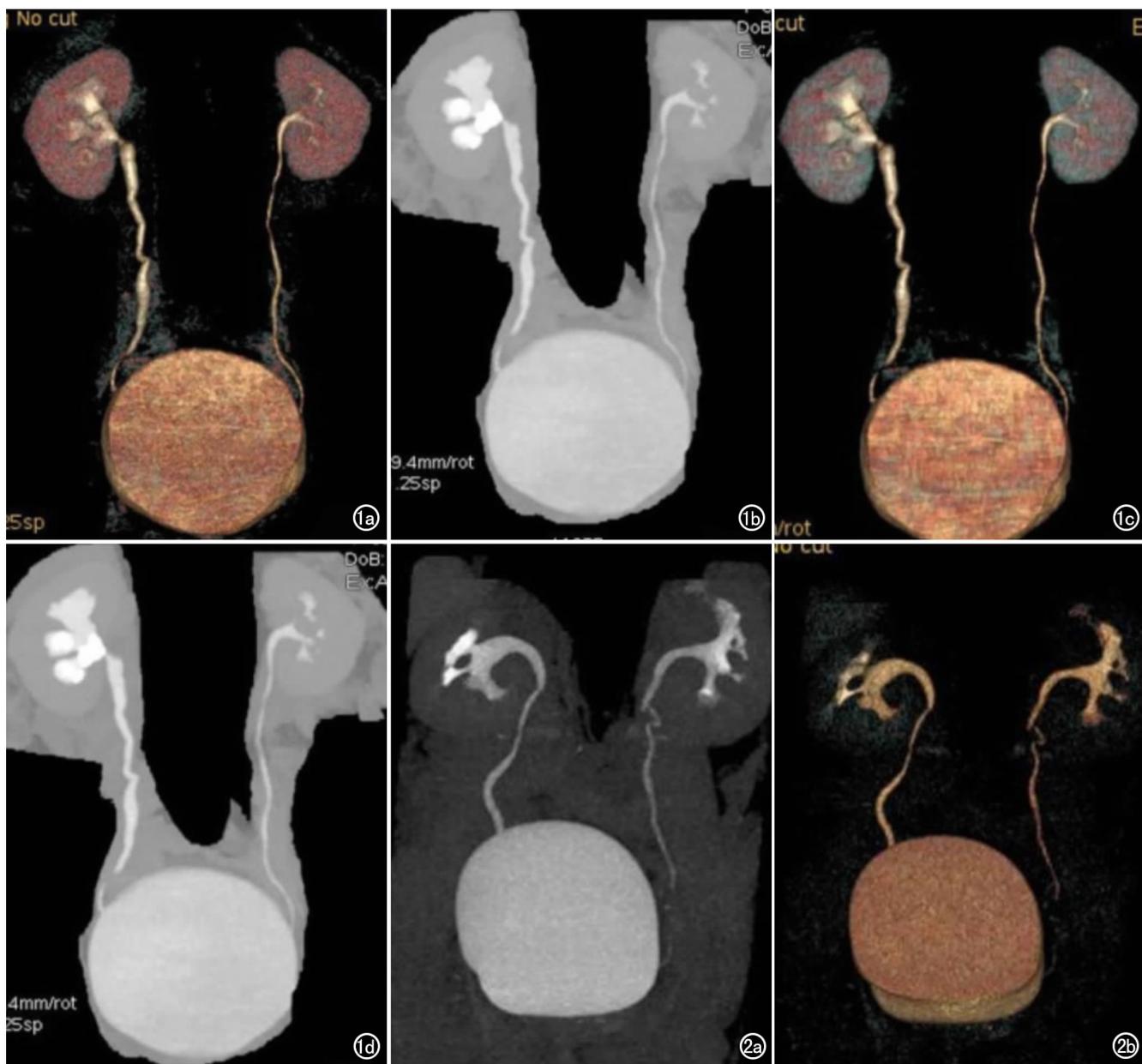


图1 管电压80kVp。男,63岁,BMI 24.22kg/m²,右肾积水。a) PS前的VR图像;b) PS前的MIP图像。c~d) 应用PS软件(AlgoMedica, Inc, Sunnyvale, CA)按A7模式对图像进行后处理。c) PS后的VR图像;d) PS后的MIP图像。图2 管电压120kVp。男,73岁,BMI为23.66 kg/m²,左肾肾癌。a) PS前的VR图像;b) PS前的MIP图像。

表2 三组间膀胱和肾盂内对比剂以及竖脊肌的CT值的差异性比较

CT值	A组(n=28)	B组(n=25)	C组(n=28)	Z	P
膀胱	729.40±307.76	488.76±307.22	729.34±307.73	13.702	0.001
肾盂	997.84±663.10	600.80±379.68	997.13±661.06	9.536	0.008
竖脊肌	62.74±5.36	55.78±6.28	62.61±5.43	18.863	0.000

表3 三组竖脊肌SD值、膀胱及肾盂CNR值和SNR值的差异性比较

数值	A组(n=28)	B组(n=25)	C组(n=28)	Z	P
SD值 _{竖脊肌}	15.75±4.70	11.35±1.81	5.79±1.55	62.148	0.000
SNR值 _{膀胱}	49.42±23.82	43.92±28.56	133.82±65.96	42.094	0.000
CNR值 _{膀胱}	45.09±23.25	38.84±28.23	122.21±64.53	40.115	0.000
CNR值 _{肾盂}	62.08±46.20	49.52±38.03	167.35±124.64	32.109	0.000
SNR值 _{肾盂}	66.41±46.55	54.60±38.43	178.97±125.28	34.287	0.000

表4 A组与B组间CTDIvol、DLP、ED的差异性比较

数值	A组	B组	Z	P
CTDIvol	2.06±1.19	4.70±0.68	40.110	0.000
DLP	98.15±58.38	223.52±36.80	38.653	0.000
ED	1.47±0.88	3.35±0.55	38.653	0.000

讨论

CTU是目前泌尿系统疾病诊断的主要检查手段^[3]。对于CTU检查,辐射剂量是关注的重点。由于辐射剂量与管电压的平方成正比,因此降低管电压可有效地减少辐射剂量^[4],但是随着管电压的降低,使得X射线的穿透性减弱,图像的噪声会随之升高,会影响图像质量。Yanaga等^[5]采用低管电压(80 kVp)及运用智能降噪滤波器与标准剂量方案(120 kVp)对比结果显示低剂量方案可以评价肾集合系统及上段输尿管,但是对中下段输尿管的显示欠佳,因此若要评价显示中下段输尿管及膀胱必须要代偿性增加管电流。胡等^[6]利用迭代算法与常规剂量对比剂100 kVp分次团注双期CTU达到或超过常规管电压(120 kVp)单次团注三期CTU成像效果,从而明显降低X线辐射剂量。随着CT技术的发展,各种降低图像噪声的后处理技术相继出现。胡等^[7]研究证明在80 kVp联合迭代重建技术的条件下,使用低剂量碘对比剂行分次

团注双期CTU检查可明显降低辐射剂量,且图像质量满足临床诊断要求。本研究所使用的ASiR-V技术结合了ASiR的实时重建优势和VEO的多模型迭代优势,采用了更为先进的系统噪声模型、物体模型和物理模型,并根据系统噪声模型、物体模型和物理模型自动调节毫安。它运算速度快,在大大降低辐射剂量的同时,还可降低图像扫描和重建的噪声,从而提高图像的质辐射剂量^[8-10]。Kim等^[11]指出ASiR-V算法可降低辐射剂量,并有助于提高影像质量。柴等^[12]通过对体模研究发现前置ASiR-V可维持图像CT值及噪声基本不变,40%~60%图像可满足基本诊断要求,可降低辐射剂量。谭等^[13]应用100 kVp联合ASiR-V重建技术对BMI<25 kg/m²的患者扫描获得的图像可满足临床需求,且可以有效降低辐射剂量。

深度学习是机器学习领域的一个分支,它是一种使用多层复杂结构或者由多重非线性变换构成的多个处理层进行数据处理的方法^[14]。本研究在ASiR-V的基础上引入一种基于深度学习的像素闪烁算法(PS),该方法是基于人工神经网络模型的一种去噪声算法,它可对具有较高噪声或伪影的图像进行后处理并生成能够满足诊断需求的高质量图像。

本研究结果显示A组与B组、B组与C组间膀胱



图3 患者,男,年龄58岁,BMI为24.97kg/m²,在膀胱、右侧肾盂的最大层面以及右侧肾门水平竖脊肌的轴位图像上各自分别放置3个大小相等的ROI,测量时ROI面积25~100mm²,记录膀胱内对比剂、肾盂内对比剂、右侧肾门水平竖脊肌CT值及右侧肾门水平竖脊肌的SD值(噪声),最终取3次测量的平均值。该患者膀胱内对比剂、肾盂内对比剂、右侧肾门水平竖脊肌CT值(HU)及右侧肾门水平竖脊肌的SD值(HU)分别为1043.11、1723.00、71.53、14.54。a)膀胱层面; b)右侧肾盂最大层面; c)右侧肾门水平竖脊肌层面。

和肾盂内对比剂以及竖脊肌的CT值的差异具有统计学意义;A组与C组间膀胱和肾盂内对比剂以及竖脊肌的CT值的差异无统计学意义,说明不同辐射剂量对膀胱和肾盂内对比剂以及竖脊肌的CT值是有影响的,但是PS技术对其无影响。A组与B组间膀胱及肾盂CNR值和SNR值的差异无统计学意义,其原因是A组虽在低剂量下扫描,但是结合了50% ASiR-V技术,使其图像质量上升,使得两组图像均能满足临床需求;C组与A组、B组间膀胱及肾盂CNR值和SNR值的差异具有统计学意义,相对于A组和B组,C组膀胱及肾盂CNR值和SNR值分别升高了约2倍,这提示我们C组的图像质量与A、B两组均具有显著差异,说明了PS技术可以提高低剂量CTU的图像的噪声比和对比噪声比,从而提高图像质量,并且其图像质量要高于常规剂量扫描。通常认为受检者所接受的辐射剂量较常规剂量降低20%以上才能确认为低剂量^[15]。本研究A组相比于B组,有效辐射剂量降低了约62%,显著地降低了辐射损伤风险,达到了低剂量的目的。

本文存在的不足之处:首先,病例数较少并且没有按BMI细化分组;其次,由于两组病例非同一患者,可能存在个体差异。

综上所述,像素闪烁算法(PS)可以减少图像噪声,增加图像的对比噪声比,从而在低剂量(80 kVp)的情况下进一步提高CTU图像质量,可为进一步降低扫描条件进行高质量的CTU成像提供保障,有较好的临床推广价值。

参考文献:

[1] Nawfel RD, Judy PF, Schleipman AR, et al. Patient radiation dose at CT urography and conventional urography[J]. *Radiology*, 2004, 232(1):126-132.

[2] Frush DP, Applegate K. Computed tomography and radiation: understanding the issues[J]. *J Am Coll Radiol*, 2004, 1(2):113-119.

[3] 蔡青蓉,刘坚,徐良洲. CTU在泌尿系统疾病诊断中的应用[J]. *中国中西医结合影像学杂志*, 2017, 15(3):318-320.

[4] 余玲,刘斌,汪洁. 不同重建方法和成像方式在提高CT尿路造影图像质量中应用[J]. *中国医学影像技术*, 2016, 32(12):1919-1923.

[5] Yanaga Y, Awai K, Funama Y, et al. Low-dose MDCT urography: feasibility study of low-tube-voltage technique and adaptive noise reduction filter[J]. *AJR*, 2009, 193(3):220-229.

[6] 胡娟,王鹤,王霄英,等. 迭代算法在100kVp分次团注双期CTU检查中的应用研究[J]. *放射学实践*, 2013, 28(5):509-513.

[7] 胡娟,王鹤,吴静云,等. 80kVp条件下低剂量对比剂分次团注双期CTU的应用研究[J]. *实用放射学杂志*, 2017, 33(10):1608-1611.

[8] 杨晶,高艳,李坤成,等. FBP、ASiR和VEO重建算法对腹部CT图像质量的影响[J]. *放射学实践*, 2013, 28(8):893-897.

[9] 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.

[10] Lim K, Kwon H, Cho J, et al. Initial phantom study comparing image quality in computed tomography using adaptive statistical iterative reconstruction and new adaptive statistical iterative reconstruction[J]. *J Comput Assist Tomogr*, 2015, 39(3):443-448.

[11] Kim HG, Lee HJ, Lee SK, et al. Head CT: image quality improvement with ASiR-V using a reduced radiation dose protocol for children[J]. *Eur Radiol*, 2017, 27(9):3609-3617.

[12] 柴亚如,邢静静,高剑波,等. 多模型迭代重建算法对腹部体模CT扫描图像质量和辐射剂量的影响[J]. *中国医学影像技术*, 2018, 34(1):118-122.

[13] 谭思嫒,龙莉玲. Revolution CT低剂量联合迭代重建技术在冠状动脉成像的临床研究[J]. *华夏医学*, 2017, 30(2):17-20.

[14] Lecun Y, Bengio Y, Hinton G. Deep learning[J]. *Nature*, 2015, 521(7533):436-444.

[15] 刘士远,于红. CT低剂量扫描的研究和应用现状[J]. *中华放射学杂志*, 2013, 47(4):295-300.

(收稿日期:2018-06-22 修回日期:2018-10-30)