

网络出版时间: 2017-5-20 11:13 网络出版地址: http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1065.R.20170520.1113.024.html

# 大尺度非局部均值伪影抑制技术 对提高低剂量腹部 CT 图像质量的价值研究

余广海<sup>1</sup> 吴越<sup>2</sup> 刘斌<sup>1</sup> 陈阳<sup>2</sup> 刘文冬<sup>1</sup> 刘福军<sup>1</sup> 王胜峰<sup>1</sup>

**摘要** 目的 评价大尺度非局部均值伪影抑制(AS-LNLM)技术对提高低剂量腹部 CT 图像质量的价值。方法 对腹部检查的 26 例患者采用 GE Discovery CT750 HD 进行腹部常规剂量及低剂量 CT 扫描。分别采用滤波反投影(FBP)、40% 自适应统计迭代重建(ASIR)技术对常规剂量及低剂量腹部原始数据进行 0.625 mm 薄层重建,并将两种重建算法的低剂量数据进行 AS-LNLM 技术处理,应用后处理站对图像进行质量评价分析,测量并比较肝脏、脾脏及腹主动脉的噪声、对比噪声比和信噪比,并对腹部图像质量进行主观评分。记录每例患者每次检查的剂量长度乘积(DLP)和 CT 剂量指数(CTDIvol),并计算有效剂量(ED)及剂量平均减低率。结果 对于腹部图像质量,AS-LNLM 低剂量图像比未使用此技术的常规剂量及低剂量图像有更低噪声值、更高对比噪声比(CNR)及信噪比(SNR) ( $P < 0.05$ );常规剂量图像较低剂量图像有更低噪声值以及更高的 CNR 及 SNR ( $P < 0.05$ );对于 FBP 重建算法,低剂量 + AS-LNLM 技术及未用此技术低剂量图像的主观评分分别为  $(3.36 \pm 0.69)$  和  $(1.95 \pm 0.72)$  ( $P < 0.05$ );对于 40% ASIR 重建算法,低剂量 + AS-LNLM 技术及未用此技术低剂量图像的主观评分分别为  $(3.68 \pm 0.48)$  和  $(2.18 \pm 0.66)$  ( $P < 0.05$ )。常规剂量图像用 FBP 及 40% ASIR 两种算法重建后的图像主观评分分别为  $(4.73 \pm 0.46)$  和  $(4.82 \pm 0.40)$ 。低剂量扫描的 CTDIvol 值、DLP 值及 ED 值分别为  $(1.84 \pm 0.01)$  mGy、 $(49.60 \pm 2.63)$  mGy/cm 和  $(0.74 \pm 0.04)$  mSv;常规剂量扫描的 CTDIvol 值、DLP 值及 ED 值分别为  $(7.61 \pm 0.03)$  mGy、 $(204.18 \pm 11.19)$  mGy/cm 和  $(3.06 \pm 0.17)$  mSv。结论 AS-LNLM 低剂量图像较常规扫描不但可以明显降低扫描剂量,并可以明显提高图像 CNR 及 SNR,图像质量能够满足诊断要求。

**关键词** 体层摄影技术; X 线计算机; 大尺度非局部均值伪影抑制; 低剂量扫描; 滤波反投影法; 自适应统计迭代重建; 伪影抑制

中图分类号 R 814.42

2017-02-15 接收

基金项目: 安徽省科技计划项目(编号:1604a0802079)

作者单位:<sup>1</sup>安徽医科大学第一附属医院放射科,合肥 230022

<sup>2</sup>东南大学影像科学与技术实验室,南京 210096

作者简介:余广海,男,硕士研究生;

刘斌,男,教授,主任医师,硕士生导师,责任作者,E-mail:lbhyz321@126.com

文献标志码 A 文章编号 1000-1492(2017)06-0887-05  
doi:10.19405/j.cnki.issn1000-1492.2017.06.024

目前随着设备不断更新以及技术的提高,CT 已作为腹部检查的常用手段之一,CT 也越来越多的被应用于临床诊断<sup>[1]</sup>。由于腹部结构复杂,在保证图像质量的情况下,要采用高照射条件扫描,因此患者所接受的辐射剂量也在逐年增加<sup>[2]</sup>,这也就引起防护部门以及患者的关注。如何在保证图像质量的前提下降低患者辐射剂量,已成为国际热点<sup>[3]</sup>。该研究采用大尺度非局部均值伪影抑制(the artifact suppressed large-neighborhood nonlocal means, AS-LNLM)<sup>[4-6]</sup>的方法对滤波反投影(filtered back projection, FBP)及 40% 自适应统计迭代重建(adaptive statistical iterative reconstruction, ASIR)的腹部低剂量图像进行处理,进而比较 AS-LNLM 低剂量图像与常规剂量及低剂量图像的质量以及 AS-LNLM 低剂量扫描与常规剂量扫描辐射剂量的对比,并对图像质量做主观评价,进而探讨并研究提高图像质量及降低扫描剂量的方法。

## 1 材料与方法

**1.1 病例资料** 收集 2015 年 11 月~2016 年 3 月在安徽医科大学第一附属医院接受腹部 CT 检查的 26 例患者,男 18 例,女 8 例,30~75 ( $55.7 \pm 12.3$ ) 岁,均在完成常规剂量扫描后的 20~30 d 内进行低剂量扫描。所有患者在检查前签署知情同意书,并经过医院伦理委员会批准。

**1.2 仪器与扫描方法** 采用 GE Discovery CT750 HD(美国 General Electric Company Health care 公司)扫描仪,常规腹部扫描模式。常规剂量扫描:管电压 120 kV,固定毫安管电流 350 mA,球管转速 0.4 s/r,螺距 1.375,扫描层厚 5 mm,重建层厚及层间距均为 0.625 mm。扫描范围均自膈顶至双肾下缘水平。患者仰卧位屏气扫描。低剂量扫描:管电压 120 kV,固定毫安管电流 85 mA,球管转速 0.4 s/r,螺距 1.375,扫描层厚 5 mm,重建层厚及层间距均

为 0.625 mm。扫描范围均自膈顶至双肾下缘水平。患者仰卧位屏气扫描。记录每例患者每次检查的剂量长度乘积(dose-length product ,DLP)和 CT 剂量指数。计算有效剂量(effective dose ,ED)及平均有效剂量减低率。其中  $ED = DLP \times W$  , $W$  表示转换因子 根据欧洲 CT 质量标准指南规定 ,腹部的转换因子为 0.015<sup>[7]</sup>。

**1.3 图像重建及处理方法** CT 扫描完成后 ,分别用 FBP、40% ASIR<sup>[8-9]</sup>两种重建算法对常规与低剂量原始数据进行重建 ,共获得 4 组层厚为 0.625 mm 的薄层图像。然后将两组低剂量数据以 DICOM 文件格式用光盘导出 ,再在计算机中采用 ListProbe 1.0<sup>[4]</sup>软件 ,用 AS-LNLM 技术对重建的两组低剂量数据进行处理 ,最后将处理后的低剂量数据用 DICOM 文件格式导回后处理工作站上;总共获得 6 组数据 ,将所有图像数据传至 GE AW 4.4 工作站 ,用 Compare 软件保证所观察的处理前后的图像在同一层面上。由两名放射科医师分别对同层面肝脏、脾脏及腹主动脉的相应区域分别设置类圆形 ROI (70 ~ 100 mm<sup>2</sup>) ,再分别测量其 CT 值及噪声值。在前腹壁皮下脂肪密度较均匀的区域置放椭圆形 ROI (平均面积为 70 ~ 100 mm<sup>2</sup>) ,把被测密度的标准差 (standard deviation ,SD)作为图像的背景噪声(用 SD 表示)。各参数均在连续层面上重复测量 3 次 ,取其平均值作为最后结果。

由两名具有五年影像诊断经验的放射科医师采用盲选法 ,独立完成对轴位图像质量的主观评分。参照欧共体 CT 质量标准 ,须清晰显示:① 实质脏器轮廓;② 肝内血管;③ 大血管。本次所做研究的评分标准参照 Kalra et al<sup>[10]</sup>的 5 分法 ,将图像质量的综合评定分为:不合格 ,完全不能满足诊断要求为 1 分;较差 ,不能满足诊断要求为 2 分;一般 ,能满足诊断要求为 3 分;良好 ,能满足诊断要求为 4 分;优 ,能满足诊断要求为 5 分。≥3 分的图像被认为是临床

可以接受或对诊断影响不大的图像。所有图像采用相同窗宽和窗位(窗宽 350 HU ,窗位 50 HU)。

公式:信噪比(signal to noise ratio ,SNR) = CT 值/SD 值 ,CT 值为所测脏器 CT 值 ,SD 值为同层面脏器的背景噪声值;对比噪声比(contrast to noise ratio ,CNR) = (CT1 - CT2)/SD ,CT1 为所测脏器 CT 值 ,CT2 为同层面腹部脂肪 CT 值 ,SD 值为同层面腹部脂肪的背景噪声值<sup>[3]</sup>。

**1.4 统计学处理** 应用 SPSS 16.0 统计学软件进行分析 ,用方差分析及两两比较的 Bonferroni *t* 检验对图像的噪声、CNR 及 SNR 进行组间两两比较;图像主观评分采用 Wilcoxon 符号秩和检验。 $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

**2.1 客观评价** 分别测量两种重建算法下的常规剂量、低剂量及 AS-LNLM 低剂量图像的噪声值、CNR 及 SNR ,结果见表 1 ~ 3。对于 FBP 及 40% ASIR 两种重建算法:常规剂量图像质量明显高于低剂量图像质量( $P < 0.05$ ) ,AS-LNLM 低剂量图像质量比常规剂量图像质量有更低的噪声以及更高的 SNR 及 CNR( $P < 0.05$ )。低剂量扫描的平均 CT 剂量指数为  $(1.84 \pm 0.01)$  mGy ,较常规剂量减少 75.82% ;其平均 DLP 值为  $(49.60 \pm 2.68)$  mGy/cm ,较常规剂量 DLP 值减少 75.70% ;其平均 ED 值为  $(0.74 \pm 0.04)$  mSv ,较常规剂量减少 75.81% 。

**2.2 主观评价** 常规剂量及 AS-LNLM 低剂量图像较低剂量图像更好;常规剂量组与 AS-LNLM 低剂量组比较差异有统计学意义( $P < 0.05$ ) ,但其主观评分均在 4 分以上。见表 4、图 1 ~ 2。

## 3 讨论

腹部成像是获得较高的图像质量 ,往往剂量要求较大 ,由于低管电压 X 线穿透力较低 ,图像噪声

表 1 对于 FBP 及 40% ASIR 重建算法图像噪声值( $n = 26$  , $\bar{x} \pm s$ )

项目	常规剂量组	低剂量组	AS-LNLM 低剂量组	F 值	$P_1$ 值	$P_2$ 值
FBP 重建算法						
肝脏	32.26 ± 6.22	65.36 ± 14.60	20.73 ± 7.21	115.80	<0.05	<0.05
脾脏	33.29 ± 6.30	65.40 ± 13.39	23.40 ± 7.44	117.76	<0.05	<0.05
腹主动脉	40.75 ± 7.44	81.28 ± 17.52	28.41 ± 9.81	110.04	<0.05	<0.05
40% ASIR 重建算法						
肝脏	24.61 ± 4.59	50.05 ± 10.11	14.35 ± 4.80	152.43	<0.05	<0.05
脾脏	25.58 ± 4.97	48.93 ± 11.62	15.94 ± 5.08	102.12	<0.05	<0.05
腹主动脉	30.18 ± 5.54	60.64 ± 11.73	18.65 ± 6.14	150.34	<0.05	<0.05

$P_1$ :常规剂量组与低剂量组比较; $P_2$ :常规剂量组与 AS-LNLM 低剂量组比较

表2 对于FBP及40%ASIR重建算法图像CNR值( $n=26 \bar{x} \pm s$ )

项目	常规剂量组	低剂量组	AS-LNLM 低剂量组	F 值	P <sub>1</sub> 值	P <sub>2</sub> 值
FBP 重建算法						
肝脏	7.65 ± 1.54	4.05 ± 0.82	15.31 ± 6.01	55.77	<0.05	<0.05
脾脏	7.23 ± 1.41	3.78 ± 0.78	14.29 ± 5.67	54.45	<0.05	<0.05
腹主动脉	6.54 ± 1.30	3.56 ± 0.81	13.23 ± 5.61	47.96	<0.05	<0.05
40% ASIR 重建算法						
肝脏	9.53 ± 3.27	5.03 ± 0.87	21.57 ± 8.82	48.70	<0.05	<0.05
脾脏	9.05 ± 3.11	4.63 ± 0.82	20.12 ± 8.34	42.97	<0.05	<0.05
腹主动脉	8.18 ± 3.03	4.33 ± 0.75	18.71 ± 8.22	49.78	<0.05	<0.05

P<sub>1</sub>:常规剂量组与低剂量组比较;P<sub>2</sub>:常规剂量组与AS-LNLM低剂量组比较

表3 对于FBP及40%ASIR重建算法图像SNR值( $n=26 \bar{x} \pm s$ )

项目	常规剂量组	低剂量组	AS-LNLM 低剂量组	F 值	P <sub>1</sub> 值	P <sub>2</sub> 值
FBP 重建算法						
肝脏	1.99 ± 0.59	0.98 ± 0.30	3.34 ± 1.45	36.33	<0.05	<0.05
脾脏	1.63 ± 0.44	0.78 ± 0.21	2.32 ± 0.86	40.00	<0.05	<0.05
腹主动脉	0.93 ± 0.19	0.53 ± 0.25	1.37 ± 0.59	25.41	<0.05	<0.05
40% ASIR 重建算法						
肝脏	2.53 ± 0.77	1.27 ± 0.34	4.74 ± 2.10	39.80	<0.05	<0.05
脾脏	2.08 ± 0.47	1.06 ± 0.32	3.37 ± 1.24	46.96	<0.05	<0.05
腹主动脉	1.27 ± 0.29	0.64 ± 0.18	2.08 ± 0.89	37.18	<0.05	<0.05

P<sub>1</sub>:常规剂量组与低剂量组比较;P<sub>2</sub>:常规剂量组与AS-LNLM低剂量组比较

表4 两种重建算法下不同剂量及处理方式腹部图像主观评分( $n=26 \bar{x} \pm s$ )

项目	常规剂量组	低剂量组	AS-LNLM 低剂量组	Z 值 <sup>#</sup>	P 值 <sup>#</sup>
FBP	4.73 ± 0.46	1.95 ± 0.72	3.36 ± 0.69	-3.42	<0.05
40% ASIR	4.82 ± 0.40	2.18 ± 0.66	3.68 ± 0.48	-4.13	<0.05

<sup>#</sup>表示常规剂量组与AS-LNLM低剂量组比较

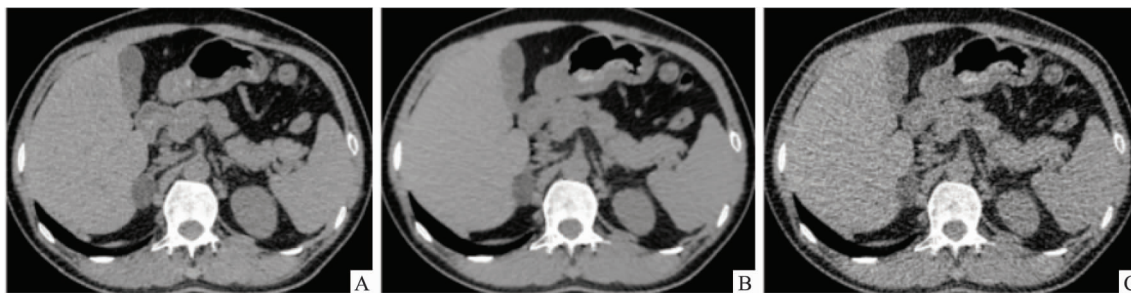


图1 40% ASIR 重建方法三个序列图像

注:女,56岁,右侧肾上腺腺瘤;A:常规剂量,腺瘤显示清晰,与周围分界清晰;B:AS-LNLM低剂量,图像噪声低,腺瘤边缘毛糙,周围尚清晰;C:低剂量,腺瘤显示不佳,噪声大,边缘模糊



图2 FBP 重建方法三个序列图像

注:男,60岁,肝囊肿;A:常规剂量,囊肿轮廓清晰;B:AS-LNLM低剂量,图像噪声低,囊肿边缘稍模糊;C:低剂量,噪声大,囊肿边界显示欠清

较高,因此有必要研究低管电流对提高图像质量的方法<sup>[11]</sup>。FBP 重建算法和 ASIR 重建算法已被用于临床。FBP 是较传统重建模式,其忽略了扫描过程中采集的量子噪声及电子噪声,再者低剂量扫描难以达到诊断要求,以致于掩盖病灶影响诊断;ASIR 是以系统噪声模型为基础,利用迭代重建方法对采集及测量的光子进行统计分析,可以更好的降低图像噪声,得到清晰图像质量,同时可以采用低剂量扫描,已被广泛应用于大型设备中<sup>[12]</sup>;甚至其还可以与 FBP 算法进行不同程度加权,来获得满意的图像效果。

本研究采用的是 AS-LNLM 技术,该技术是一种可以有效降低图像噪声而提高图像质量的计算机后处理技术。该技术包括两步:第一步为利用非线性扩散滤波器在小波空间对低剂量 CT 图像中的条状或快速移动伪影进行抑制,第二步通过构建大尺度的加权滤波器来抑制图像中噪声,该滤波器基于一幅图像中相邻结构的像素点四周具有类似邻域结构的假设,通过寻找较多的属于同一组织的像素的加权平均来实现对噪声的有效抑制<sup>[5-6]</sup>。

本研究结果显示,低剂量组较常规剂量组的平均有效剂量值减少 75.81%,与杨晶等<sup>[13]</sup>研究结果基本一致;对于 FBP 及 40% ASIR 两种重建方法来讲,使用低剂量扫描 + AS-LNLM 技术较未用此技术低剂量和常规剂量扫描的肝脏、脾脏及腹主动脉图像噪声明显降低,信噪比及对比噪声比明显提高。以 40% ASIR 重建方法为例,低剂量扫描 + AS-LNLM 技术较未用此技术低剂量和常规剂量扫描的肝脏的噪声分别降低 71.3% 和 41.7%,对比噪声比分别提高 328.8% 和 125.6%,信噪比分别提高 273.2% 和 87.3%。AS-LNLM 技术能较好地处理 FBP 及 40% ASIR 两种算法重建的图像,并获得不影响诊断接受度的图像,与 Chen et al<sup>[5-6]</sup>的实验结果基本符合,为提高腹部图像质量采用降低管电流的方法提供了科学理论和实践依据。低剂量扫描 FBP 及 40% ASIR 两种算法重建后的图像经过 AS-LNLM 技术处理,处理后的图像主观评分分别为 (4.23 ± 0.43)、(4.36 ± 0.49),其评分明显高于未经 AS-LNLM 技术处理的图像;低剂量 + AS-LNLM 技术处理图像与常规剂量扫描图像的主观评分比较,虽然差异有统计学意义,但其评分均 > 4 分,图像质量不影响诊断,是可以接受的。

本研究的不足之处:① 样本量较小,在后续的实验中将进一步扩大样本量进行研究;② 在保证图

像不影响病灶检出率情况下,对于降低腹部扫描剂量的程度有待于在进一步的研究中完善;③ AS-LNLM 后处理过的图像噪声抑制较明显,使得图像整体密度分辨力下降,有待于改变程序参数,使图像质量提高;④ 本实验只研究了在 40% ASIR 重建算法下 AS-LNLM 技术对腹部图像质量影响,对于不同百分比 ASIR 重建算法的影响,需在后续实验中进一步探究;⑤ 图像 5 分法评估图像质量较为主观,可能有一些偏差。

综上所述,本研究在不影响诊断及病灶检出率的情况下,AS-LNLM 低剂量处理可以明显降低图像扫描剂量,比低剂量扫描明显提高图像质量。AS-LNLM 技术对提高图像信噪比方面有较好的优势,有待于进一步的临床验证。

### 参考文献

- [1] 石清磊,赵红梅,张玲,等.自适应统计迭代重组算法对腹部 CT 扫描中图像质量和辐射剂量影响的模体研究[J].中华放射学杂志,2013,47(4):326-9.
- [2] Schauer D A, Linton O W. NCRP report No. 160, Ionizing radiation exposure of the population of the united states, medical exposure-are we doing less with more, and is there a role for health physicists? [J]. Health Phys 2009, 97(1):1-5.
- [3] 宁培钢,朱绍成,史大鹞,等.高级迭代重建算法降低腹部 CT 剂量的潜能:体模研究[J].中国医学影像技术,2012,28(12):2243-7.
- [4] Chen Y, Yang Z, Hu Y, et al. Thoracic low-dose CT image processing using an artifact suppressed large-scale nonlocal means [J]. Phys Med Biol 2012, 57(9):2667-88.
- [5] Chen Y, Chen W, Yin X, et al. Improving low-dose abdominal CT images by weighted intensity averaging over large-scale neighborhoods [J]. Eur J Radiol 2011, 80(2):e42-9.
- [6] Mahmoudi M, Sapiro G. Fast image and video denoising via non-local means of similar neighborhoods [J]. Signal Processing Letters IEEE, 2005, 12(12):839-42.
- [7] Menzel H, Schibilla H, Teunen D. European guidelines on quality criteria for computed tomography [M]. Official Publications of the European Communities 2006:32-3.
- [8] Sagara Y, Hara A K, Pavlicek W, et al. Abdominal CT: comparison of low-dose CT with adaptive statistical iterative reconstruction and routine-dose CT with filtered back projection in 53 patients [J]. AJR Am J Roentgenol 2010, 195(3):713-9.
- [9] Boedeker K L, McNitt-Gray M F. Application of the noise power spectrum in modern diagnostic MDCT: Part II. Noise power spectra and signal to noise [J]. Phys Med Biol 2007, 52(14):4047-61.
- [10] Kalra M K, Prasad S, Saini S, et al. Clinical comparison of standard-dose and 50% reduced-dose abdominal CT: effect on image quality [J]. AJR Am J Roentgenol 2002, 179(5):1101-6.
- [11] Nakaura T, Nakamura S, Maruyama N, et al. Low contrast agent

and radiation dose protocol for hepatic dynamic CT of thin adults at 256 detector row CT: effect of low tube voltage and hybrid iterative reconstruction algorithm on image quality [J]. *Radiology* ,2012 , 264(2) :445 -54.

[12] 吴瑶媛,王万勤,刘斌,等. FBP、ASIR 和 Veo 三种重建算法

对常规剂量胸部 CT 图像质量的影响[J]. *中国医学影像技术* , 2012 28(3) :207 -10.

[13] 杨晶,高艳,李坤城,等. 比较两种低剂量 CT 迭代重建法与常规剂量滤波反投影重建算法的图像质量[J]. *中国医学影像技术* 2014 30(1) :117 -21.

## Study on the value of large-scale non-local mean artifacts suppression technique in improving the quality of low-dose CT images

Yu Guanghai<sup>1</sup> , Wu Yue<sup>2</sup> , Liu Bin<sup>1</sup> , et al

(<sup>1</sup>*Dept of Radiology ,The First Affiliated Hospital of Anhui Medical University Hefei 230022;*

<sup>2</sup>*Laboratory of Image Science and Technology ,Southeast University ,Nanjing 210096)*

**Abstract Objective** To evaluate the feasibility of the artifact suppressed-large neighborhood nonlocal means for improving the quality of low dose abdominal CT images. **Methods** With institutional review board approval 26 patients who underwent routine-dose and low-dose abdominal CT examination were enrolled. The routine dose and low dose abdominal raw data were reconstructed with FBP 40% ASIR respectively , and the reconstructed thickness of image was 0.625 mm. Two reconstruction algorithms of low dose data were processed the artifact suppressed large neighborhood nonlocal means. The application of processing station was used to analyze the CT images. The image noises were measured , and the noise , contrast to noise ratio(CNR) and the signal to noise ratio(SNR) of the liver , spleen and abdominal aorta were compared. The subjective evaluation was described for the abdominal image quality. Radiation dose by CT dose index volumes(CTDIvol) and dose length product(DLP) were recorded , and effective dose(ED) and the average reduction rate was calculated. **Results** For the image quality of the abdominal , the AS-LNLM low dose images had lower noise values , higher CNR and SNR than conventional and low dose images without using this technique ( $P < 0.05$ ). The conventional dose images had lower noise values , higher CNR and SNR than low-dose images ( $P < 0.05$ ). For the FBP reconstruction algorithm , the subjective scores of low dose images used AS-LNLM technology and low dose images without using this technique were approximately ( $4.23 \pm 0.43$ ) and ( $1.95 \pm 0.72$ ) ( $P < 0.05$ ). For the 40% ASIR reconstruction algorithm , the subjective scores of low dose images used AS-LNLM technology and low dose images without using this technique were approximately ( $4.36 \pm 0.49$ ) and ( $2.18 \pm 0.66$ ) ( $P < 0.05$ ). The subjective scores of conventional dose images of FBP and 40% ASIR were approximately ( $4.73 \pm 0.46$ ) and ( $4.82 \pm 0.40$ ) , respectively. CTDIvol ,DLP and ED of low-dose CT images were ( $1.84 \pm 0.01$ ) mGy , ( $4.96 \pm 2.63$ ) mGy/cm and ( $0.74 \pm 0.04$ ) mSv , and for conventional dose CT images were ( $7.61 \pm 0.03$ ) mGy , ( $204.18 \pm 11.19$ ) mGy/cm and ( $3.06 \pm 0.17$ ) mSv , respectively. **Conclusion**

Compared with conventional scanning , AS-LNLM can significantly reduce the scanning dose and improve the image CNR and SNR , and the quality of image can meet the diagnostic requirements.

**Key words** X-ray computed tomography; artifact suppressed large neighborhood nonlocal means; low dose scan; filtered back projection; adaptive statistical iterative reconstruction; artifacts suppressed