# • 骨髂肌肉影像学 •

# 多模型自适应统计迭代重建算法对降低腰椎 CT 辐射剂量的作用

贾慧娟,魏里,刘大亮,李钊,宋培记,王玲玲,付玉存

【摘要】目的:应用 Revolution CT 多模型迭代重建算法(pre Asir-V)行腰椎扫描降低辐射剂量的可行性研究。方法:选取 BMI  $25\sim29$  间的 60 例拟行腰椎 CT 扫描患者随机分为 3 组,A 组(0% ASIR-V 重建算法组),B 组(40% ASIR-V 重建算法组),C 组(60% ASIR-V 重建算法组)。 3 组 KV 设置为 120,噪声指数 NI 设置为 10,结合自动 mA 调节技术,SmartmA 默认为  $100\sim700$ ,记录并计算有效辐射剂量(ED),对比  $L_{4-5}$ 水平各组图像感兴趣区( $L_{4-5}$ 平面椎间盘、硬膜囊、右侧腰大肌及  $L_{4}$  椎体松质骨)的客观评价指标:信噪比(SNR)、椎间盘与硬膜囊对比噪声比(CNR)和主观评分,行统计学分析。结果:B 组有效辐射剂量 ED[ $(4.47\pm0.62)$  mSv]较 A 组 ED[ $(6.66\pm0.84)$  mSv]平均降低约 33%,C 组有效辐射剂量 ED[ $(3.51\pm0.70)$  mSv]较 A 组平均降低约 47%,B 组各感兴趣区 SNR、CNR 与 A 组 SNR、CNR 无显著统计学差异(P>0.05);C 组各感兴趣区 SNR、CNR 与 A 组 SNR、CNR 无显著统计学差异(P>0.05);C 组各感兴趣区 SNR、CNR 与 A 组 SNR、CNR 无显著统计学差异(P>0.05);C 组各感兴趣区 SNR、CNR 与 D 的同时不影响图像 常规剂量扫描相比,低剂量扫描参数结合适当的迭代重建算法在明显降低辐射剂量的同时不影响图像质量。

【关键词】 模型,计算机;统计计算;腰椎;辐射剂量;图像质量

【中图分类号】R319; R195; R323.4; R814.3 【文献标识码】A

【文章编号】1000-0313(2018)10-1052-05

DOI:10.13609/j. cnki. 1000-0313. 2018. 10. 015

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



The effect of multi-model adaptive statistical iterative reconstruction-V on reducing the radiation dose of lumbar CT JIA Hui-juan, WEI Li, LIU Da-liang, et al. Department of Radiology, Liaocheng People's Hospital, Shandong 252000, China

**[Abstract]** Objective: To explore the feasibility of lumbar CT scanning with reduced radiation dose using adaptive statistical iterative reconstruction-V (ASiR-V) of revolution CT. Methods: Sixty patients were randomly divided into 3 groups: group A (n=20) with 0% ASiR-V, group B (n=20) with 40% ASiR-V, group C (n=20) with 60% ASiR-V. There were other parameters: 120kV, noise index (NI) 10, SmartmA  $100\sim700$ mA. Signal-to-noise ratio (SNR) was measured on the  $L_{4-5}$  intervertebral disc, dural sac, right psoas muscle and  $L_4$  vertebral cancellous bone. Contrast-noise-ratio (CNR) was measured on intervertebral disc and dural sac. Image quality was calculated by two radiologists and effective radiation dose (ED) was compared. Results: A ( $6.66\pm0.84$ mSv) was reduced by 33% compared with group B ( $4.47\pm0.62$ mSv). ED in Group C ( $3.51\pm0.70$ mSv) was reduced 47% compared with group A ( $6.66\pm0.84$ mSv). There was no significant difference in SNR or CNR between group B and group A, or between group C and group A (P>0.05). There was no significant difference of subjective scores of image quality among three groups and the consistency between the observers was very good. Conclusions: Low dose scanning parameters combined with appropriate ASiR-V can significantly reduce radiation dose while not affecting image quality compared with routine dose scans.

**[Key words]** Model, computer; Statistical computing; Lumbar vertebrae; Radiation dosage; Image quality

作者单位:252000 山东,聊城市人民医院影像科(贾慧娟、魏里、刘大亮、李钊、宋培记、付玉存);100176 北京,CTRC-GE中国 CT 影像研究中心(王玲玲)

作者简介:贾慧娟(1979-),女,山东聊城人,硕士,副主任医师,主要从事骨肌影像诊断工作。

随着多排螺旋 CT 在疾病诊断中的应用,辐射安 全问题愈受到人们的关注。目前已有很多降低辐射剂 量方法,新材料探测器、自动管电流调节、应用降噪滤 线器等[1]。降低管电流是目前应用的减少辐射剂量的 主要方法,但管电流降低后应用滤波反投影法(filtered back-projection, FBP) 进行图像重建会增加图像 噪声,因此在保证图像质量的前提下,应用该方法减少 辐射剂量的幅度是有限的。迭代重建算法可显著抑制 噪声[2],近年来相关研究很多。如果选择高权重的 ASiR-V,自动管电流调节技术(smart mA)将相应的 减小扫描时的管电流,而减小管电流带来的噪声增加 则会通过后重建时使用对应权重的 ASiR-V 进行补 偿。因此,在扫描时选择高权重的 ASiR-V 能够有效 的降低辐射剂量并降低图像噪声,从而使保证图像质 量并降低辐射剂量成为可能。本研究的目的在于探讨 低剂量腰椎扫描时迭代重建(ASiR-V)的最佳权重的 选择。将此方法应用于临床,将使一些特殊患者(育龄 期妇女及对辐射严重敏感的患者)进行腰椎扫描成为 可能。

### 材料与方法

#### 1. 一般资料

选用 2016 年 12 月 - 2017 年 5 月期间进行腰椎 CT 扫描且 BMI 在 25~29 之间的患者共 60 例,随机分为 A、B、C 3 组,分别采用 0%、40%、60% ASIR-V 扫描和重建。每组 20 例。男共 37 例,女共 23 例,年龄 26~67 岁,中位 45 岁。病例剔除标准:年龄>70岁;BMI<25 或 BMI>29;有椎体金属植入者;骨质严重疏松的患者;腰椎严重侧弯患者;孕妇或计划受孕者。

## 2. 检查方法及图像重组

采用 GE Revolution 256 层 CT 进行扫描。患者仰卧位、屈膝 60°;螺旋扫描,探测器准直 0.625×80 mm,矩阵  $512\times512$ ,螺距 0.992,层厚 2.5 mm,层间距 2.5 mm,旋转时间 0.5 s;扫描范围胸 $_{12}$ 椎体下缘至骶 $_{1}$  上缘。A、B、C 3 组管电压 KV 均设置为120 kV,噪声指数 NI 设置为 10。三组患者在扫描时分别选取 0%、40%和 60%ASiR-V 的后重建权重,自动 mA 调节(范围  $100\sim700$  mA)。图像采用 1.5 mm

层厚进行多平面重组。

#### 3. 辐射剂量

记录扫描长度、CT 容积剂量指数(CTDose volume index, CTDIvol)、剂量长度乘积(dose length product, DLP)、并计算出有效辐射剂量(effective dose, ED),公式:

 $ED = DLP \times k(k=0.011 \text{ mSv/mGy} \cdot \text{cm})^{[3]}$ 

#### 4. 图像质量客观评估

对 L<sub>4-5</sub> 平面椎间盘、硬膜囊、腰大肌及椎体分别进行 CT 值(MD)测量,测量 3 次取平均值。硬膜囊感兴趣区(ROI)大小为 10 mm²,其余感兴趣区大小约为 100 mm²,选 ROI 时避开伪影、血管、以及间盘退变区等。测出感兴趣区 CT 值及 SD 值[standard deviation,标准差,各数据偏离平均数的距离(离均差)的平均数]。计算信噪比(SNR)、椎间盘与硬膜囊对比噪声比(CNR),计算公式<sup>[4]</sup>:

$$\begin{split} &SNR \!=\! \frac{CT}{SD} \\ &CNR \!=\! \frac{CT_{\text{M}\pm} \!-\! CT_{\text{M}\text{M}\pm}}{(SD2_{\text{M}\pm} \!+\! SD2_{\text{M}\text{M}\pm})^{-1/2}} \end{split}$$

#### 5. 图像质量的主观评价

由 2 名高年资医师双盲对图像评价并评分。图像 窗宽、窗位分别为 350、50 HU( 软组织窗),2500、800 HU(骨窗)。评价 L<sub>4-5</sub> 层面间盘、椎间孔、黄韧带、硬膜囊及小关节,评价标准<sup>[5]</sup>:2 分(软组织结构清晰,其边缘清楚,无伪影,且诊断明确);1 分(软组织结构清晰,边缘欠清,有轻度伪影,但尚可诊断);0 分(软组织结构不清,边缘模糊,伪影较重,不能进行诊断)。

#### 6. 统计学方法

应用 SPASS17.0 统计软件,所有计量资料均采用  $\overline{x}\pm s$ ,组间辐射剂量及客观评价指标应用方差分析。 主观评分采用 Kruskal-Wallis 检验,P 值<0.05 为差 异有统计学意义。

#### 结 果

#### 1. 患者基本参数及所受辐射剂量(表 1)

A、B、C 3 组的 BMI(体重指数)和扫描长度差异 无统计学意义。CTDIvol和DLP依次降低有统计学

表 1 患者体重指数、扫描长度及辐射剂量参数比较

类型	A 组	В组	C 组	F值	P 值	
					A-B	A-C
BMI(kg/m <sup>2</sup> )	$27.5 \pm 1.5$	26.7 $\pm$ 1.7	$27.9 \pm 1.1$	3.38	0.10	0.39
扫描长度(cm)	$21.65 \pm 1.46$	$22.38 \pm 1.55$	$22.19 \pm 1.03$	1.52	0.10	0.22
CTDIvol(mGy)	$27.97 \pm 3.53$	18.16 $\pm$ 2.52	$14.38 \pm 2.87$	107.6	0.00	0.00
DLP(mGy • cm)	$605.45 \pm 76.36$	$406.3 \pm 56.36$	$319.0 \pm 63.64$	95.70	0.00	0.00
ED(mSv)	$6.66 \pm 0.84$	$4.47 \pm 0.62$	$3.51 \pm 0.70$	95.70	0.00	0.00

意义。三组的有效辐射剂量(ED)分别是 6.66 mSv, 4.47 mSv, 3.51 mSv, B组和 C组分别较 A组显著降低了 33%和 47%。

### 2. 客观图像质量评价(表 2)

B组各感兴趣区(L<sub>4-5</sub>平面椎间盘、硬膜囊、右侧腰大肌及 L<sub>4</sub> 椎体松质骨)SNR、椎间盘与硬膜囊 CNR与 A组 SNR、CNR 无显著统计学差异(*P*>0.05);C组各感兴趣区(L<sub>4-5</sub>平面椎间盘、硬膜囊、右侧腰大肌

及  $L_4$  椎体松质骨) SNR、椎间盘与硬膜囊 CNR 与 A 组 SNR、CNR 无显著统计学差异(P>0.05)。

#### 3. 主观图像评分(表 3)

主观图像 3 组椎间盘、硬膜囊及黄韧带组织结构均显示清晰;椎间盘、硬膜囊及黄韧带 A 组(图 2a)与 B 组(图 3a)、A 组与 C 组(图 4a)主观图像质量评分无明显差异(P>0.05)。椎小关节间隙 A 组(图 2b)较 B 组(图 3b)、C 组(图 4b) 清晰。

表 2 客观图像质量评价

部位	A 组	В组	C 组	F值	P 值	
라 1고					A-B	A-C
椎间盘 SNR	$5.20\pm1.00$	$5.53 \pm 0.57$	$5.38 \pm 0.50$	0.732	0.73	0.86
腰大肌 SNR	$3.77 \pm 0.69$	$3.82 \pm 0.41$	$3.80 \pm 0.56$	0.043	0.82	0.81
硬膜囊 SNR	$1.89 \pm 0.31$	$1.73 \pm 0.42$	$1.76 \pm 0.37$	0.905	>0.05	>0.05
L <sub>4</sub> 椎体 SNR	$5.33 \pm 1.07$	$5.73 \pm 0.80$	$5.52 \pm 1.11$	0.801	0.15	0.54
椎间盘与硬膜囊 CNR	$0.16 \pm 0.04$	$0.15 \pm 0.06$	$0.15 \pm 0.05$	0.440	>0.05	>0.05

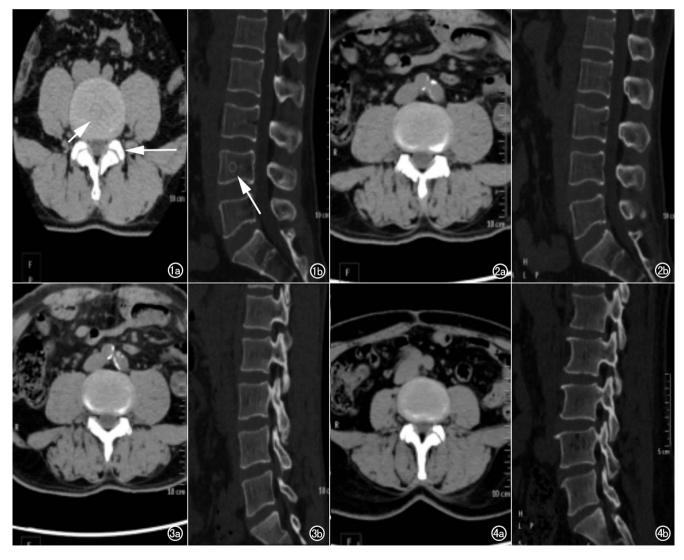


图 1 a) 椎间盘(箭)层面测量示意图,长箭示椎小关节;b) 椎体(箭)测量示意图。率为 0%时  $L_{4-5}$ 间盘图像;b) ASIR-V 迭代率为 0%时椎体矢状面 MPR 图像。为 40%时  $L_{4-5}$ 间盘图像;b) ASIR-V 迭代率为 40%时椎体矢状面 MPR 图像。为 60%时  $L_{4-5}$ 间盘图像;b) ASIR-V 迭代率为 60%时椎体矢状面 MPR 图像。

图 2 a) ASIR-V 迭代 图 3 a) ASIR-V 迭代率 图 4 a) ASIR-V 迭代率

表 3 主观图像评分

部位	A 组	B组	C 组	统计量	P 值
椎间盘	$1.5 \pm 0.5$	1.6 $\pm$ 0.4	$1.5 \pm 0.6$	1.215	0.545
硬膜囊	$1.2 \pm 0.5$	$1.3 \pm 0.4$	$1.2 \pm 0.4$	0.886	0.642
黄韧带	$1.5 \pm 0.5$	$1.6 \pm 0.4$	$1.5 \pm 0.6$	3.426	0.180
椎小关节	$1.4 \pm 0.4$	$0.8 \pm 0.3$	$0.6 \pm 0.3$	34.292	0.000

注:椎小关节 B、C 组与 A 组对照有显著统计差异(P<0.05)。

#### 讨论

由于腹部脂肪较厚,常规CT腰椎检查需要较高 的穿透力,因此射线剂量较其他部位要高约 15%[6]。 这使得腰椎低剂量扫描显的更为重要。腰椎 CT 低剂 量扫描辐射剂量可减少程度大于其他低组织对比度部 位,比如腹部和脑部,相比它们可降低辐射剂量 20% ~40%[7-8]。这是由于大部分腰椎 CT 扫描的组织界 面间有高对比度,比如椎体和椎间盘。以往降低辐射 剂量的措施有降低管电压、降低管电流、增大螺距等, 由于噪声过大,图像质量明显降低,影响其临床应用。 这是因为采用虑波反投影重建技术(filtered back projection, FBP), 这种技术具有相对较高的噪声、条纹伪 影和较差的低对比检测性,并且噪声在通过滤波反射 投影后会被放大。要想保证图像质量又大幅降低辐射 剂量是不可能的[9]。基于模型的迭代重组技术(model-based iterative reconstruction, MBIR) 不仅考虑到 数据的统计噪声性质,而且对探测系统的光学性质也 在重建中一并加以考虑[10]。主要优势是在低信噪比 下可以迭代得到比 FBP 更好的图像质量,但最大的缺 陷是数据量大,重建时间长[11-12]。最早应用的迭代重 组技术是自适应统计迭代重组(adaptive statistical interative reconstruction, ASIR) 它结合滤波反射投影 技术,在降低辐射剂量的同时获得更优的图像质 量[13,14]。本研究采用的 ASIR-V 技术是将 MBIR 降 低辐射剂量及提高图像质量的优点与 ASIR 系统重组 速度快的优点相结合,与 FBP 及 ASIR 系统相比,在 显著降低辐射剂量的基础上,可以降低图像噪声、增高 图像对比噪声比、提高空间分辨率[15]。但 ASIR-V 技 术临床应用尚不广泛,应用不同迭代率处理所得图像 质量不同。笔者前期在腰椎扫描后置迭代率的选取上 做了些研究,总结出在相同的扫描条件下当迭代率为 40%时图像质量最佳,到80%时图像出现明显蜡像。 进而制定了本研究方案,目的为了研究前置 ASIR-V 在腰椎扫描中的优势以及找出最佳迭代率。

研究结果表明 B 组有效辐射剂量较 A 组平均降低约 33%, C 组有效辐射剂量较 A 组平均降低约 47%, B、C 组各感兴趣区 SNR、CNR 与 A 组 SNR、CNR 无显著统计学差异(P>0.05);除椎小关节, A、B、C 组图像主观评分无显著性差异, 观察者间一致性

很好。这表明当迭代率为40%、60%时均可以降低辐 射剂量,而目可以保证得到较优的图像; 迭代率为 60%时辐射剂量更低,因此作为首选。我们采用的是 前置 ASIR-V,扫描时已经把噪声指数 Ni 设置为 10, 通过自动 mA调节技术保证在KV固定的情况下,噪 声指数不提高。又进一步通过 ASIV 迭代率的改变, 机器可以自动计算出通过重建方式的改良能降低 mAs,因此,从一开始扫描时我们就用了较低的 mAs, 降低了辐射剂量,这和后期重建时采用 ASIV 是有区 别的,这样扫描前就可以根据不同的要求调整噪声指 数,对于一些辐射剂量要求更严格的患者,比如育龄期 妇女及对辐射严重敏感的患者。如果图像质量没有要 求那么高,只要能满足基本诊断,不影响临床治疗即 可,那么可以进一步通过降低噪声指数来降低辐射剂 量。本研究的意义就在于掌握了 ASIR-V 迭代率为 60%时图像质量不会下降,在腰椎扫描时就掌握了 ASIR-V 可以选取多少,然后噪声指数可以根据需要 选取,从而找到了针对患者个体的最佳扫描方案。方 案没有把 ASIR-V 迭代率 80%列出来进行研究,原因 是两个,一个是当 ASIR-V 迭代率为 80%时,图像会 出现明显的蜡像,影响诊断,这在前期后置 ASIR-V 腰 椎扫描的研究中是已经发现了的。还有一个原因是因 为伦理问题,如果采用 ASIR-V 迭代率 80%扫描失败 的话,患者会因此增加一次扫描剂量,这不符合伦理要 求。椎小关节 C 组图像质量较 A 组是下降的,这给了 我们一个提示,在细微骨结构上 ASIR-V 有其局限性, 这应该和骨密度有关。

本研究不足:由于同一患者不能进行常规与低剂量图像质量对比,因此对精确差异没有进行评估;诊断准确性仍需更大的样本及手术来证实。

总之,与常规剂量扫描相比,低辐射剂量扫描参数结合适当的迭代重建权重可明显降低辐射剂量的同时不影响图像质量,使临床一些特殊患者(育龄期妇女及对辐射严重敏感的患者)进行腰椎扫描成为可能。

#### 参考文献:

- [1] Chen GH, Qi Z. Image reconstruction for fan-beam differential phase contrast computed tomography [J]. Phys Med Biol, 2008, 53(4):1015-1025.
- [2] Sookpeng S, Martin CJ, Gentle DJ. Comparison of different phantom designs for CT scanner automatic tube current modulation system tests[J]. J Radiol Prot, 2013, 33(4):735-761.
- [3] McNitt-Gray MF. AAPM/RSNA physics tutorial for residents: top-ics in CT. radiation dose in CT[J]. Radiographics, 2002, 22 (6):1541-1553.
- [4] Gervaise A.Osemont B.Louis M.et al. Standard dose versus low-dose abdominal and pelvic CT: comparison between filtered back projection versus adaptive iterative dose reduction 3D[J]. Diagn In-terv Imaging, 2014, 95(1): 47-53.

- [5] 石清磊,赵红梅,张玲,等.自适应迭代重建算法对腹部 CT 扫描中 图像质量和辐射剂量影响的体膜研究.[J].中华放射学杂志, 2013,47(4):326-329.
- [6] Saunders M, Budden A, Maciver F, et al. Dose implications of fluoroscopy-guided positioning (FGP) for lumbar spine examinations prior to acquiring plain film radiographs [J]. Br J Radiology, 2005,78(926):130-134.
- [7] Leng S, Zhuang TL, Nett BE, et al. Exact fan-beam reconstruction algorithm for truncated projection data acquired from an asymmetric half-size detector[J]. Phys Med Biol, 2005, 50(8):1805-1820.
- [8] Bravin A, et al. High-resolution CT by diffraction-enhanced X-ray imaging; mapping of breast tissue samplesand comparison with their histo-pathology [J]. Phys Med Biol, 2007, 52(8); 2197-2207.
- [9] Li L, Chen ZQ, Kang KJ, et al. Investigation of exact truncated data image reconstruction algorithm onparallel PI-line segments in fan-beam scans[J]. Technol, 2007, 12(3): 337-344.
- [10] 赵永为,王鹤,王霄英,等. 基于模型的迭代重建在胸廓出口处超低剂量 CT 扫描中的可行性[J]. 放射学实践,2013,28(3):288-290.

- [11] Koc G, Courtier JL, Phelps A, et al. Computed tomographydepiction of small pediatric vessels with model-based iterative reconstruction[J]. Pediatr Radiol, 2014, 44(7):787-794.
- [12] Smith EA, Dillman JR, Goodsitt MM, et al. Model-based iterative reconstruction: effect on patient radiation dose and image quality in pediatric body CT[J]. Radiology, 2014, 270(2): 526-534.
- [13] Noo F, Clackdoyle R, Pack JD. A two-step hilbert transform method for 2D image reconstruction[J]. Phys Med Biol, 2004, 49 (17):3903-3923.
- [14] 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 Tomography, 2015, 39(3):443-448.
- [15] Corcuera-Solano I, Doshi AH, Noor A, et al. Repeated head CT in the neurosurgical intensive care unit; feasibility of sinogram-affirmed it-erative reconstruction-based ultra-low-dose CT for surveillance[J]. AJNR, 2014, 35(7):1281-1287.

(收稿日期:2017-08-31 修回日期:2018-04-02)

# 欢迎订阅 2019 年《放射学实践》

《放射学实践》是由国家教育部主管,华中科技大学同济医学院主办,与德国合办的全国性影像学学术期刊,创刊至今已34周年。2018年8月,《放射学实践》杂志再次入选北京大学和北京高校图书馆期刊工作研究会共同主持的国家社会科学基金项目"学术期刊评价及文献计量学研究"研究成果——《中国核心期刊要目总览》。这是继1999年之后的第4次入选临床医学/特种医学类核心期刊。

本刊坚持服务广大医学影像医务人员的办刊方向,关注国内外影像医学的新进展、新动态,全面介绍 X 线、CT、磁共振、介入放射及放射治疗、超声诊断、核医学、影像技术学等医学影像方面的新知识、新成果,受到广大影像医师的普遍喜爱。

本刊为国家科技部中国科技论文核心期刊、中国科学引文数据库统计源期刊,在首届《中国学术期刊(光盘版)检索与评价数据规范》执行评优活动中,被评为《CAJ—CD规范》执行优秀期刊。

主要栏目:论著、继续教育园地、专家荐稿、研究生展版、图文讲座、本刊特稿、实验研究、传染病影像学、影像技术学、外刊摘要、学术动态、请您诊断、病例报道、知名产品介绍、信息窗等。

本刊为月刊,每册25元,全年定价300元。

国内统一刊号: ISSN 1000-0313/CN 42-1208/R 邮政代号: 38-122

电话:(027)69378385

E-mail:fsxsjzz@163.com 网址:http://www.fsxsj.net

编辑部地址:430199 武汉市蔡甸区中法新城同济医院专家社区别墅 C 栋