

AI 成像优化联合迭代算法在“双低”主动脉 CTA 的初步应用

王明, 王怡宁, 于敏, 王芸, 王曼, 金征宇

【摘要】 目的:探讨人工智能(AI)成像优化技术联合迭代算法(ClearView+)对“双低”(低辐射剂量及低碘负荷)主动脉 CTA 图像质量的影响。方法:前瞻性连续纳入 2018 年 2~5 月在本院 NeuViz 128 CT 行主动脉 CTA 检查的 40 例患者,随机分为 A、B 两组,每组 20 例。A 组为“双低”组(管电压 80 kVp,对比剂 40 mL);B 组为常规组(管电压 120 kVp,对比剂 80 mL)。A 组图像采用 ClearView+ 迭代算法分别按照 6 个不同重建档位(0%、10%、30%、50%、70%及 90%;0%为滤波反投影)重建图像,选出图像质量最佳重建档位作为 A1 组,进一步对 A1 组图像采用 AI 成像优化技术进行图像优化,所得图像作为 A2 组;B 组则采用滤波反投影重建算法。对 A1、A2 和 B 3 组图像进行客观评价,分别以测量 3 组主动脉感兴趣区的 CT 值及噪声(SD)值,计算信噪比(SNR)及对比噪声比(CNR)作为图像质量客观评价指标,主观评价由 2 名高年资放射科医生采用双盲法进行 5 分制评价(5 分—优良,1 分—极差)。记录和比较 A 组与 B 组的对比剂用量和辐射剂量(CTDIvol, DLP 和 ED)。结果:ClearView+ 90%档位分别与 0%、10%、30%、50%和 70%档位比较,主动脉 SD 显著降低、SNR 及 CNR 显著升高($P < 0.05$),因此 Clearview+90%作为最佳图像质量的迭代档位。三组图像定量评价,SD、SNR、CNR 两两比较结果:A2 组 SD(12.21 ± 2.66) < A1 组 SD(17.67 ± 2.75) < B 组 SD(21.83 ± 4.64) ($P < 0.05$), A2 组 SNR(36.77 ± 10.13) > A1 组 SNR(29.57 ± 7.41) > B 组 SNR(19.09 ± 5.65) ($P < 0.05$), A2 组 CNR(47.92 ± 12.36) > A1 组 CNR(38.50 ± 8.96) > B 组 CNR(23.37 ± 6.61) ($P < 0.05$)。三组图像之间主观评分无统计学差异($P > 0.05$)。“双低”组与常规组的辐射剂量评价指标 CTDIvol(2.82 ± 0.36 vs 13.34 ± 1.84) mGy, DLP(181.21 ± 21.98 vs 871.17 ± 134.26) mGy·cm 和 ED (2.54 ± 0.31 vs 12.20 ± 1.88) mSv 均有显著性差异。“双低”组有效辐射剂量 ED 较常规组显著降低 79.18%,对比剂用量降低 50%。结论:AI 成像优化技术联合 ClearView+ 迭代算法,使 NeuViz 128 CT 主动脉“双低”扫描可以获得和常规扫描同样的图像质量且有效地降低了辐射剂量和对比剂用量。

【关键词】 人工智能; 图像处理, 计算机辅助; 主动脉; 体层摄影术, X 线计算机

【中图分类号】 R05; R814.42; R814.3; R322.121 **【文献标识码】** A

【文章编号】 1000-0313(2018)10-1009-08

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2018.10.007

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Preliminary application of artificial intelligence-based Image optimization and iterative algorithm in "double low" aorta CTA WANG Ming, WANG Yining, YU Min, et al. Department of Radiology, Peking Union Medical College Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Beijing 100730, China

【Abstract】 Objective: To investigate the value of artificial intelligence (AI)-based image optimization technique and iterative algorithm (ClearView+) in the image quality of "double low" aorta CTA. **Methods:** Forty patients who were referred to perform aorta CTA examination between February and May 2018 in NeuViz128 CT of our hospital were prospectively collected and randomly divided into two groups. Group A was scanned using a low tube voltage of 80kVp and a reduced contrast medium volume of 40mL ioversol (320mg I/mL), and group B was scanned with a standard 120kVp tube voltage and an injection of 80mL contrast. Group A was reconstructed using ClearView+ technique of six percentages including 0% (filtered back projection), 10%, 30%, 50%, 70% and 90%. After comparing

作者单位:100730 北京,中国医学科学院/北京协和医学院,北京协和医院放射科(王明、王怡宁、王芸、王曼、金征宇); 100193 北京,东软医疗设备有限公司(于敏)

作者简介:王明(1985-),男,山东莱芜人,技师,主要从事心血管影像学和分子影像学。

通讯作者:王芸,Email: wangyun8637@163.com

these different percentages, the best percentage level of ClearView+ was selected as group A1. Both best percentage of iterative algorithm and further AI-based image optimization were used in group A2. Group B was reconstructed by using filtered back projection (FBP). The mean attenuation of contrast-enhancement values, image noise, signal-to-noise ratio (SNR) and contrast-to-noise ratio (CNR) were calculated to evaluate image quality objectively. In addition, subjective image analysis was performed using five-point scales independently by two radiologists (5-excellent, 1-undiagnostic). The estimated radiation dose in terms of CT dose index (CTDIvol), dose length product (DLP), and effective dose (ED) was recorded and compared between group A and group B. **Results:** Compared with other percentage of ClearView+, the image noise of Clearview+ 90% was decreased and whereas SNR and CNR increased significantly ($P < 0.05$). Therefore, 90% was the best percentage level of Clearview+ without over-smoothing. The comparison results of SD, SNR and CNR among the three groups were below: group A2 SD (12.21 ± 2.66) < group A1 SD (17.67 ± 2.75) < group B SD (21.83 ± 4.64) ($P < 0.05$), group A2 SNR (36.77 ± 10.13) > group A1 SNR (29.57 ± 7.41) > group B SNR (19.09 ± 5.65) ($P < 0.05$), A2 group CNR (47.92 ± 12.36) A1 group CNR (38.50 ± 8.96) > B group CNR (23.37 ± 6.61) ($P < 0.05$). No statistical differences were observed among the three groups in the scores of subjective image quality ($P > 0.05$). There were significant differences between the "double low" group and the conventional group in the evaluation indexes of radiation dose including CTDIvol (2.82 ± 0.36 vs 13.34 ± 1.84) mGy, DLP (181.21 ± 21.98 vs 871.17 ± 134.26) mGy · cm and ED (2.54 ± 0.31 vs 12.20 ± 1.88) mSv. Compared with the conventional group, the effective dose and contrast medium volume of the "double low" group were reduced by 79.18% and 50% respectively. **Conclusions:** With the combination of ClearView+ and AI-based image optimization technique, the "double low" aorta CTA scan of NeuViz 128 CT could provide the consistent image quality with the regular scan, while magnificently reducing the radiation dose and contrast medium intake.

[Key words] Artificial intelligence; Image processing, computer assisted; Aorta; Tomography, X-ray computed

近年来, 主动脉疾病伴随着较高的发病率及致死率, 且由于症状隐匿等特征, 在早期很难被觉察^[1]。早期诊断对于指导治疗和改善预后都具有重要意义。CT 主动脉血管造影(computed tomography angiography, CTA)检查因其良好的空间和时间分辨率、无创及检查快速等特点, 已经成为临床上主动脉疾病的常规诊断手段。然而, 全主动脉 CTA 检查由于扫描范围大, 尤其是术后随访患者需要多次进行主动脉 CTA 检查, 其带来的高辐射剂量和对比剂用量, 可能增加致癌风险, 或导致心血管反应、对比剂肾病等并发症^[2]。最近有学者提出了“双低”概念, 即在保证临床诊断质量的基础上, 降低 X 线辐射剂量和碘摄入量, 进而降低对受检者损害的风险^[3]。目前最常用的降低辐射剂量的方法有降低管电压及管电流、大螺距扫描、减少扫描范围及时间等。由于辐射剂量与管电压的平方成正比, 因此降低管电压会更有效的降低辐射剂量^[4]。管电压降低, X 线光子能量比碘的 K 层电子结合能稍大或等于时, 光电效应发生几率增加, 导致含碘对比剂的血管腔与周围组织对比度增大, 从而间接降低对比剂的使用量^[5]。但降低管电压会使得图像质量下降, 比

如噪声增加, 伪影增多等。如何通过改进图像重建算法来改善图像质量已成为新的研究方向。传统的滤波反投影(filtered back projection, FBP)算法简单、重建速度快, 被广泛用于 CT 图像重建, 但它也存在一些局限性, 包括图像噪声增加、对比度分辨率降低等。与该算法相比, 迭代重建可通过多次迭代校正循环计算来提高图像质量, 能够有效降低图像噪声, 抑制伪影产生, 但这类方法往往需要较长的处理时间以及足够的投影数据^[6]。伴随人工智能(artificial intelligence, AI)的迅速发展, 医学影像与 AI 的结合被认为是最有发展前景的领域^[7]。最近, 一些机器学习技术已经被改进用来处理低剂量 CT 中常见的噪声增加和细节丢失等问题^[8-10]。本研究将 AI 成像优化技术及迭代重建算法(ClearView+)应用在“双低”主动脉 CTA 成像, 评价其图像质量和辐射剂量, 并初步探讨其临床应用价值。

材料与方法

1. 病例资料

前瞻性连续搜集 2018 年 2~5 月于本院 128 层

CT行主动脉CTA检查的患者。40例病患纳入研究,男22例、女18例,年龄18~81岁,平均年龄(51.5±13.0)岁,BMI为(23.68±3.59) kg/m²;纳入标准:临床诊断或疑似大动脉炎、主动脉夹层、主动脉瘤者。入组标准符合临床诊断、完成血清肌酐检查。排除标准:年龄<18岁;肾功能异常(血清肌酐≥120 μmol/L);含碘对比剂过敏,或其他严重过敏史;确诊或疑似甲状腺功能亢进或嗜铬细胞瘤;血液动力学状态不稳定;呼吸无法自主配合检查;妊娠期妇女。采用随机数字表法分为A、B两组,每组各20例。A组(管电压80 kVp),年龄28~71岁,平均年龄(47.5±10.8)岁,BMI为(23.36±3.55) kg/m²;B组(管电压120 kVp),年龄25~81岁,平均年龄(55.55±13.8)岁,BMI为(23.99±3.60) kg/m²。本研究经院伦理委员会批准;所有患者检查前均签署知情同意书。

2. CT检查

采用沈阳东软医疗 NeuViz 128 CT行全主动脉CTA扫描。患者采取仰卧位,扫描范围从锁骨至耻骨联合。CT扫描参数:实验组管电压80 kVp,对照组管电压120 kVp,采用管电流自动调节技术(ref mA:150),旋转时间0.5 s,螺距1.2,扫描视野360 mm×360 mm,重建层厚1.0 mm,重建层间距0.5 mm,重建矩阵512×512,准直128×0.625 mm,滤波参数F20。实验组采取迭代算法 ClearView+分别重建出6个不同权重(0%、10%、30%、50%、70%、90%;0%为FBP)的图像,并将图像质量最优组设为A1组;在东软医疗 AVW1.0.8专业工作站上用AI成像优化技术对A1组进行再处理,重建图像为A2组;对照组的原始图像则采取FBP算法进行重建。对比剂AB组均采用含碘量为320 mg I/mL的碘佛醇(江苏恒瑞医药股份有限公司)。增强扫描采用双筒高压注射器(美国Mallinckrodt Optivantage V5)及18G套管针经肘静脉注射。注射方案:实验组40 mL对比剂,注射流率为3.0 mL/s,以4.5 mL/s流率续45 mL的生理盐水;对照组为80 mL对比剂,注射流率为5.0 mL/s,后以同样流率续50 mL生理盐水。应用对比剂智能追踪技术触发扫描,监测点位于降主动脉(膈肌平面),触发阈值设置为180 HU,达阈值延迟6 s后触发扫描。

3. 图像质量分析

在东软医疗 AVW1.0.8专业工作站进行后处理重建,重建图像包括MPR、MIP、VR图像。对图像质量进行主观及客观评价,并对辐射剂量进行分析。选择感兴趣区(region of interest, ROI),并测量相应的CT平均值。ROI₁位于升主动脉(肺动脉干平面),ROI₂位于主动脉干,ROI₃位于降主动脉(肺动脉干平面),ROI₄位于降主动脉(肠系上膜动脉的根部平面),

ROI₅位于髂动脉分叉,ROI₆位于皮下脂肪(肺动脉干平面)。ROI层面选择避开有金属支架或运动引起伪影的层面,面积尽可能大并且尽量选择密度均匀区域,避开血管壁、钙化斑块及支架,夹层部位ROI位于真腔,并记录ROI₁~ROI₅的标准差(SD₁₋₅)取其平均值作为噪音指数SD,ROI₁~ROI₅的平均值CT为对比剂的衰减情况,计算信噪比(signal to noise ratio, SNR)和对比噪声比(contrast to noise ratio, CNR),计算公式为SNR=CT/SD, CNR=(CT-CT₆)/SD。

由2名放射科医师采用5级评分法分别对所有图像进行图像质量评估,意见不一致时进行讨论统一。5分,图像质量优良,边界锐利,噪声小,基本没有伪影,达到临床诊断要求;4分,图像质量好,边界锐利,噪声小,有少量伪影,达到临床诊断要求;3分,图像质量中等,噪声和伪影情况一般,基本达到临床诊断要求;2分,图像质量较差,噪声和伪影较多,不能达到临床诊断要求;1分,图像质量极差,噪声和伪影情况严重,无法用于临床诊断。图像主观评分≥3分即认为图像可被临床接受^[11]。

4. 辐射剂量分析

记录2组容积CT剂量指数(CT dose index, CT-DIvol)、剂量长度乘积(dose length product, DLP)、扫描长度、有效辐射剂量(effective dose, ED),其中ED=DLP×k(推荐全主动脉k值为0.015)。计算A组ED降低程度,ED%=(ED_B-ED_A)/ED_B×100%^[12-13]。

5. 统计方法

所有数据采用SPSS 19.0统计学软件进行统计学分析。连续变量用平均数±方差或中位数(第一四分位数-第三四分位数)表示,分类变量用频数表示。对患者年龄、身高、体重、BMI、扫描长度、主观评分、客观图像质量评价(CT、SD、SNR及CNR)以及辐射剂量(CTDIvol、DLP及ED)所有数据采用Shapiro-Wilk W进行正态分布检验。两组之间比较独立样本t检验或Wilcoxon秩和检验。对于3组之间相互比较,采用单因素方差分析(ANOVA)或Kruskal-Wallis检验,若三者之间存在显著差异,两两比较采用LSD检验或All pairwise检验。临床诊断结果采用χ²检验,取P<0.05作为显著性水准。两位医师对于图像质量的主观评分一致性分析采用Cohen kappa检验,kappa值1~0.81优异,0.61~0.80良好,0.41~0.60中等,0.21~0.40一般,<0.20差。

结 果

1. 临床资料

实验组A组与对照组B组共40例患者均顺利完成

成检查,无药物不良反应及身体不适,扫描数据均可以满足诊断要求。实验组与对照组患者年龄、身高、体重、性别比例、BMI 指数及扫描长度均无统计学差异(表 1, $P>0.05$)。

表 1 两组患者临床资料的比较

指标	A 组 (n=20)	B 组 (n=20)	P 值
年龄(岁)	47.5±10.8 28~71	55.5±13.8 25~81	>0.05
性别(男,%)	11(55%)	11(55%)	>0.05
身高(cm)	166.05±8.83	168.80±8.41	>0.05
体重(kg)	64.60±12.55	68.40±12.15	>0.05
BMI(kg/m ²)	23.36±3.55 16.65~30.43	23.99±3.60 17.0~31.24	>0.05
扫描长度 (mm)	548 536.75~549.5	546 533.25~566.25	>0.05

注:A组:“双低”实验组;B组:常规对照组(下表同)。

A 组 20 例的诊断结果中,主动脉夹层患者有 4 例(20%),动脉粥样硬化患者有 3 例,主动脉瘤患者有 2 例,血管内支架术后的患者有 3 例,以及壁内血肿患者有 2 例;而在 B 组 20 例中,主动脉夹层患者有 3 例,动脉粥样硬化患者有 4 例,主动脉瘤患者有 5 例,血管内支架术后的患者有 2 例,以及壁内血肿患者有 0 例,A 组与 B 组两者的疾病占比相较无统计学差异。

2. 图像质量评价

客观评价:A1 组, A2 组及 B 组的主动脉各个节段管腔内 CT 值差异无统计学意义(表 2, $P>0.05$);同时,3 组的血管 CT 值沿 Z 轴方向(5 个 ROI)均具有一致性(图 1)。

针对不同档位(0%~90%)的 ClearView+ 图像分析,与其他 5 个档位(0%, 10%, 30%, 50% 及 70%)的图像相比,90%重建档位的 Clearview+ 重建图像具有最佳主动脉 SD 值降低、SNR 值及 CNR 值逐渐上升。90%重建档位的 ClearView+ 具有最佳图像质量

表 2 5 个 ROI 的血管 CT 值结果

ROI 血管 CT 值	A1 组	A2 组	B 组
升主动脉(肺动脉平面)(ROI ₁)	421.4±83.33	420.95±82.82	393.87±56.19
主动脉干(ROI ₂)	408.73±75.81	405.45±74.41	399.66 (364.41~410.01)
降主动脉(肺动脉干平面)(ROI ₃)	405.89±72.24	403.11±70.67	392.98±59.55
降主动脉(肠系膜动的根部平面)(ROI ₄)	390.48±85.42	392.08±85.60	367.45±56.01
髂动脉分叉(ROI ₅)	401.29±91.03	403.83±90.86	403.06 (325.67~432.46)

注:* $P<0.05$, ROI 之间对比。

表 3 不同档位 Clearview+ 重建图像噪声、SNR 与 CNR 的比较结果

项目	Clearview+ 0%	Clearview+ 10%	Clearview+ 30%	Clearview+ 50%	Clearview+ 70%	Clearview+ 90%
图像噪声	27.71±5.31 ^{bdef}	19.69±2.09 ^{nef}	18.64±2.21 ^{af}	18.06±2.39 ^{af}	16.83±2.70 ^{abf}	15.30±3.53 ^{abcde}
SNR	15.09±4.12 ^{bdef}	21.15±4.80 ^{nef}	22.58±5.13 ^{af}	23.55±5.51 ^{af}	25.70±2.09 ^{abf}	29.57±7.41 ^{abcde}
CNR	19.54±4.70 ^{bdef}	27.45±5.31 ^{nef}	29.35±5.79 ^{af}	30.60±6.30 ^{af}	33.42±6.97 ^{abf}	38.49±8.96 ^{abcde}

注:^a $P<0.05$ 与 0% 同指标比较;^b $P<0.05$ 与 10% 同指标比较;^c $P<0.05$ 与 30% 同指标比较;^d $P<0.05$ 与 50% 同指标比较;^e $P<0.05$ 与 70% 同指标比较;^f $P<0.05$ 与 90% 同指标比较。

因此作为 A1 组,即主动脉 SD 最低,SNR 及 CNR 最高(表 3, $P<0.05$),且无蜡块样伪影。与 0% 重建档位即传统 FBP 比较,90% 重建档位的 ClearView+ 降低 45.19% 的噪声以及提升 95.96% 的 SNR 和 96.98% 的 CNR。

A1 组, A2 组和 B 组三者之间两两比较,图像质量的指标图像噪声(17.67±2.75, 12.21±2.66, 21.83±4.64)、SNR(29.57±7.41, 36.77±10.13, 19.09±5.65)及 CNR(38.50±8.96, 47.92±12.36, 23.37±6.61)均有显著差异(图 2, $P<0.05$)。A2 组图像质量最佳,SD 值低于 A1 组及 B 组,SNR 及 CNR 高于 A1 组及 B 组;A1 组优于 B 组,SD 值低于 B 组,SNR 及 CNR 值高于 B 组。A2 组相比 B 组降低 19.06% 的噪声以及提升 54.90% 的 SNR 和 64.74% 的 CNR。

主观评价:两名诊断医师分别对 A1 组, A2 组及 B 组主动脉图像质量评价(表 4),三组所有患者图像评分均 ≥ 3 分,满足诊断要求(图 3、4)。三组患者之间图像质量评分无统计学差异($P>0.05$),且两位医师对于图像质量的主观评分一致性优异。

表 4 三组图像质量主观评价结果

诊断医师	A1 组	A2 组	B 组	P 值
医师 1	5 (4~5)	5 (4~5)	5 (4~5)	>0.05
医师 2	5 (4~5)	5 (4~5)	5 (4~5)	>0.05
kappa 值	0.886	0.886	0.829	

辐射剂量及对比剂用量比较:与实验组 A 组相比,辐射剂量指标 CTDIvol、DLP 以及 ED 均显著低于对照组 B 组($P<0.05$),其中有效辐射剂量 ED 降低幅度为 79.18%(表 5)。同时,A 组对比剂用量较 B 组降低 50%。

表5 两组扫描方案辐射剂量评估比较

指标	A组	B组	P值
CTDIvol(mGy)	2.82±0.36	13.34±1.84	<0.05
DLP(mGy·cm)	181.21±21.98	871.17±134.26	<0.05
ED(mSv)	2.54±0.31	12.20±1.88	<0.05
对比剂用量(mL)	40	80	NA

注:CTDIvol,容积CT剂量指数;DLP,剂量长度乘积;ED,有效辐射剂量。

讨论

研究表明CT检查产生X线辐射剂量每增加1 mSv的有效辐射剂量将会增0.05%的恶性肿瘤发病率^[14]。国际放射防护委员会(international commission on radiological protection, ICRP)提出辐射防护与安全最优化理论,推荐获得足够诊断信息及合适图像质量时,尽可能降低辐射剂量(as low as reasonably achievable, ALARA)。此外,碘对比剂会给患者带来潜在危害,高浓度对比剂的碘负荷更大,其高粘度和渗透压会增加对患者毛细血管循环的影响^[15],增加对比剂肾病的风险。

本研究采用80 kVp管电压主动脉CTA扫描联合Clearview+迭代重建及AI成像优化技术可在明显改善图像质量的同时,有效辐射剂量仅为(2.54±0.31) mSv,对比剂用量仅为40 mL。与常规120 kVp管电压下扫描主动脉CTA相比,大幅度的降低了辐射剂量(79.18%)和对比剂用量(50%)。对比同类研究,Pontana等^[17]对80 kVp和120 kVp的条件下的两组患者均注射100 mL碘比醇(300 mg I/mL),结果表明80 kVp条件下其碘对X线的衰减的光电效应增强,从而血管的CT值升高,血管强化更为明显^[18]。

与此同时,80 kVp联合迭代重建算法在保证图像质量的前提下,辐射剂量降低了50%。本研究的结果也验证了这一结论,但本研究80 kVp的实验组仅仅用40 mL对比剂也达到高于250 HU的CT值,满足诊断需求的优质图像的前提,辐射剂量得到了更大程度的降低(79.18%)^[19]。李岩等^[20]发表的《规范化应用“双低”扫描CT血管成像》中建议对BMI≤23 kg/m²的患者采用80 kVp,23 kg/m²<BMI<28 kg/m²的患者采用100 kVp,BMI≥28 kg/m²的肥胖患者采用120 kVp。Hou等^[16]利用荷兰飞利浦Brilliance iCT 256层CT扫描从主动脉弓上2 cm水平至耻骨联合水平全主动脉CTA检查,该研究表明80 kVp的联合迭代重建算法能够得到完全满足诊断图像质量的图像,同时与120 kVp联合传统FBP重建图像相比,辐射剂量显著降低了77.6%,仅为(2.8±1.4) mSv。但该研究仅仅对非肥胖的患者得出这样的结论,而肥胖患者由于其更大的降噪需求,研究更具有挑战性和临床价

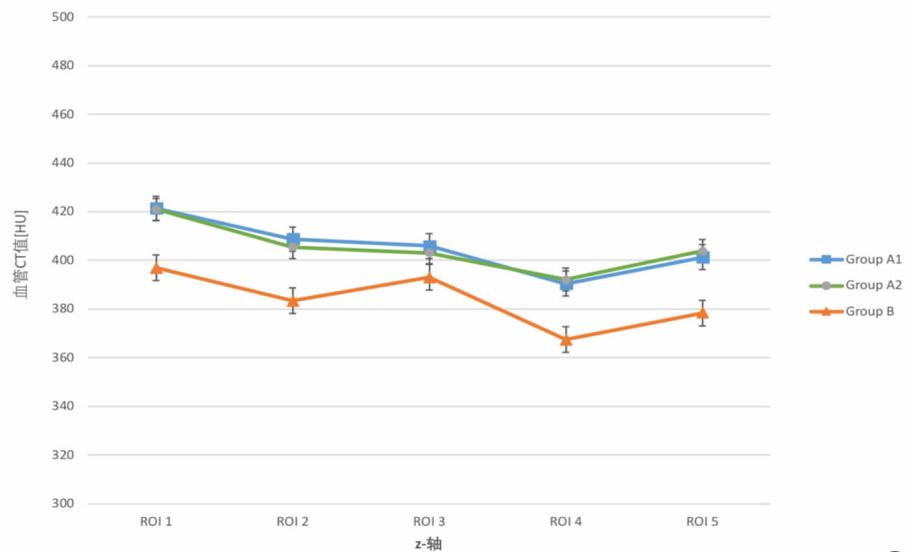


图1 蓝(方格),绿(圆形)和橙(三角)曲线分别表示A1组,A2组及B组沿Z轴的血管CT值的走势。

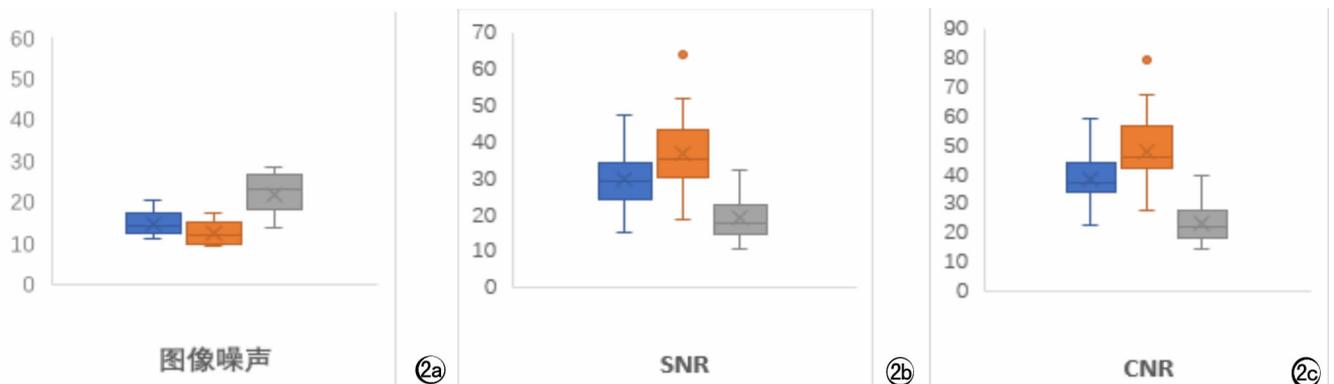


图2 A1组,A2组和B组图像质量客观评价指标箱图对比结果。a) 图像噪声; b) SNR; c) CNR。

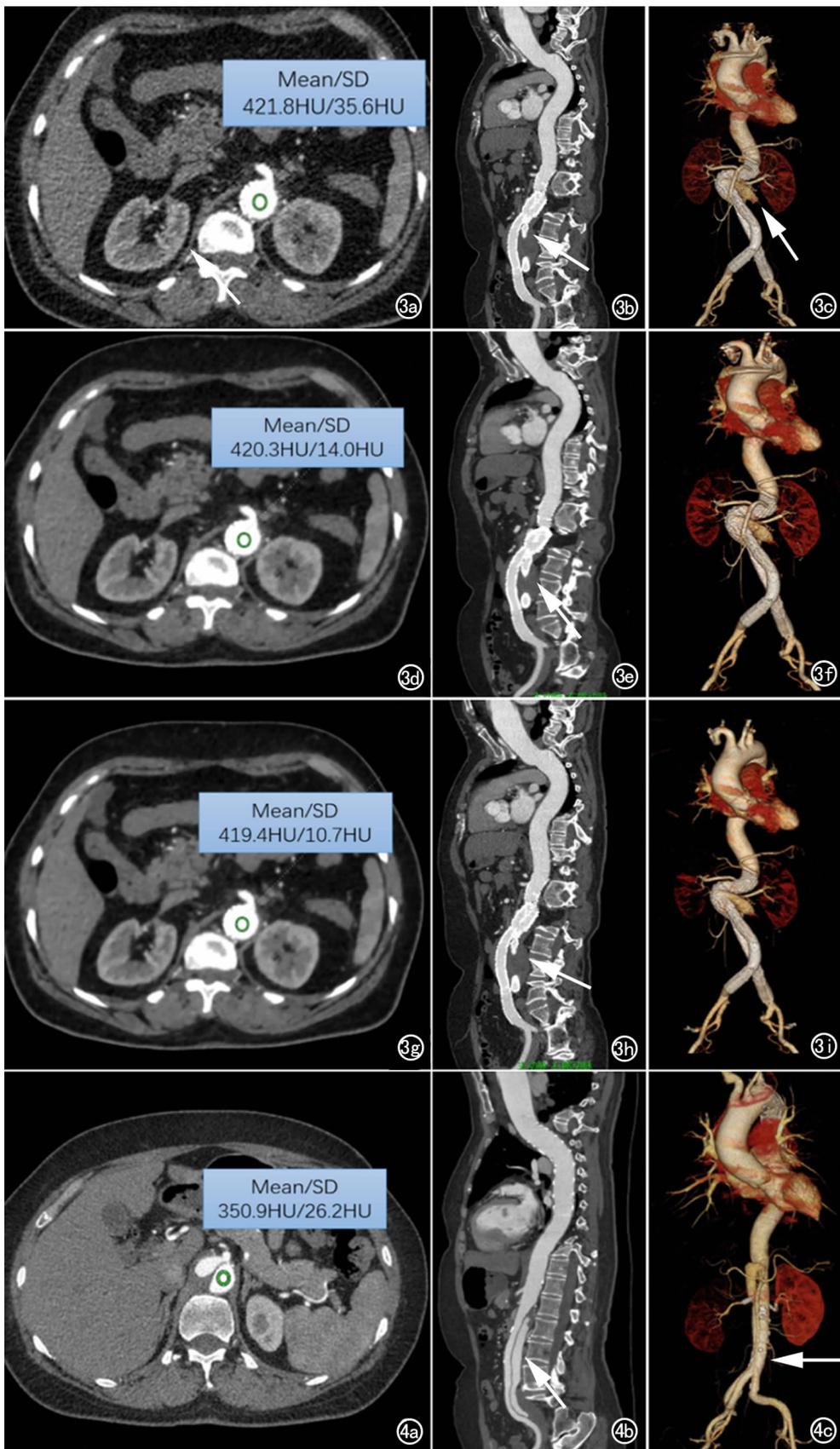


图3 “双低”A组,62岁,女。BMI:30.4 kg/m²,主动脉瘤修复术后,腹主动脉及双侧髂总动脉支架置入后改变,支架内管腔通畅;支架外瘤腔内局部对比剂内漏影(箭)。a) FBP重建轴面图像;b) FBP重建CPR图像;c) FBP重建三维VR图像;d) Clearview+90%重建轴面图像;e) Clearview+90%重建CPR图像;f) Clearview+90%重建三维VR图像;g) Clearview+90%重建+AI成像优化轴面图像;h) Clearview+90%重建+AI成像优化CPR图像;i) Clearview+90%重建+AI成像优化三维VR图像。ClearView+90%迭代重建后主动脉噪声降低60.7%(35.6降低到14);ClearView+90%重建联合AI图像优化后噪声降低69.9%(35.6降低到10.7)。
图4 常规剂量组B组,54岁,女。BMI:31.2 kg/m²,主动脉夹层支架植入术后,支架官腔通畅;腹腔干起始处水平及以下腹主动脉及右侧髂总动脉全程夹层(箭)。a) FBP重建轴面图像;b) CPR图像;c) 三维VR图像。

值。本研究肥胖患者仍作为研究对象,实现“双低”扫描,并且得到了非常显著的图像质量提升(图3)。

然而,以往报道显示传统迭代重建还存在一些缺陷,如过于平滑造成伪自然现象,增加蜡状伪影以及过

长的重建时间等^[21]。本研究 ClearView+迭代算法不仅改善低剂量图像质量,同时由于其基于多模型的双域(多模型即光子分析模型、伪影矫正模型、解剖模型及噪音模型;双域即生数据域与图像域)迭代更好的克

服了上述这些缺陷。ClearView+ 90% 迭代是利用 10% 原始剂量的图像生数据与 100% 的原始剂量进行噪声差异匹配,建立噪声模型,在保留细节的前提下,根据解剖模型修正噪声模型。因此,Cleaview+ 的噪声模型的建立及修正是基于真正低剂量数据图像与原始数据图像的匹配构建的,其获得的去除噪声的图像更为真实和自然。其他厂家的噪声模型校正是将图像数据与基于统计的,考虑到光子和电子噪声的理想噪声模型进行比较(而非原始剂量的真实图像),同时得到的图像按照档位比例在图像域融合,如 90% 档位混合迭代,是将 90% 的迭代重建与 10% 的 FBP 重建图像域进行融合,即理想模型占比更多,更易失真。另外,90% 作为 Clearview+ 重建最佳档位联合 80 kVp 低管电压的扫描图像得到相比传统 FBP 图像降低 45.19% 的噪声以及提升 95.96% 的 SNR 和 96.98% 的 CNR。Clearview+ 的最佳重建档位的效果与其他同类研究的迭代算法效果对于“双低”CT 血管成像改善的相比具有明显优势。Winklehner 等^[22] 研究表明德国西门子迭代技术(sinogram affirmed iterative reconstruction, SAFIRE)在主动脉 CTA 检查中可以降低噪声 30.8%。

人工智能作为新兴技术在 CT 图像低剂量改善方面也成为了热点研究课题。本研究采用新一代迭代技术 Clearview+ 的同时,也进一步比较了联合基于 AI 成像优化技术后的图像质量改善的效果。AI 图像优化技术本质是用卷积神经网络(convolutional neural network, CNN)来学习低剂量 CT 图像的噪声模型,进而实现噪声与图像的分离,并保证在此过程中图像细节不会明显丢失,从而降低患者辐射剂量的同时,所得到的图像依然能够满足临床需求。与此同时,AI 优化避免了手动设置经验参数的过程,而是从数据中直接学习出最优的参数,相比于传统方法采用的通用型、经验噪声模型,这种定制化噪声模型往往会得到更好的结果。此外,此 AI 图像优化技术弥补了迭代算法厂家专一性的缺陷^[9],直接对 CT 图像域进行去噪,解决了使用者难以直接获取的 CT 扫描仪中间投影数据的问题^[23],有望成为改善所有厂商的低剂量图像的有力手段。Hu 等^[9] 基于 CNN 的深度学习算法可以改善胸部及腹部的低剂量 CT 的图像质量,但此研究仅限于平扫,未对三维重建图像进行对比。赵莹等^[7] 研究得出深度学习的像素闪烁算法(pixel shine, PS)可提升高体质质量指数(BMI \geq 25 kg/m²)患者低剂量腹部 CT 平扫图像质量。PS 同样是一种基于深度学习的低剂量图像改善的重建算法,将低剂量高噪声的图像和相应的高剂量低噪声进行配对训练并学习其相关性。但此研究仅限于单一体型患者的腹部平扫,实验

组辐射剂量降低仅 28.32%。本研究将 AI 优化技术应用于主动脉 CTA 扫描,不局限患者体形,辐射剂量降低了 79.18%,且 80 kVp 低管电压实验组中 90% 的 Clearview+ 迭代重建算法联合 AI 成像优化技术的图像得到了客观评价指标显著优于传统 120 kVp 管电压的图像,即降噪效果达到 44.08%,SNR 和 CNR 分别提升 92.61% 和 105.05%。这一结果同时也显著优于单独使用 90% 的 Clearview+ 迭代重建算的降噪效果和 SNR 及 CNR 的提升效果。虽然从三者图像质量的主观评分比较并没有显著差异,但客观指标的提升已然说明了改善效果,为改善低剂量图像提供了更多可能。

本研究中尚存在有一些不足之处,本研究的样本量仅有 40 例,其统计结果可能存在偏倚性;其次,研究对于不同 BMI 患者水平采用了统一的对比剂用量;仅探讨对主动脉 CTA 图像质量的影响,未评估其他扫描类型及部位;未评估病灶显示情况或分疾病种类进行评估,将在以后的研究中进一步探讨。

综上所述,NeuViz 128 CT 主动脉“双低”(低辐射剂量和低碘负荷)扫描可以获得和常规扫描同样的图像质量,辐射剂量降 79.18%,对比剂用量降低 50%。ClearView+ 迭代算法的最佳档位为 90%,可以明显改善低剂量图像质量,降低图像噪声,提高图像信噪比及对比噪声比。AI 图像优化可以进一步降低图像噪声,同时保留图像的细节显示。使体重超重患者(BMI $>$ 28 kg/m²)仍可实现 80 kVp 低剂量扫描,给予患者更多保护及关爱,同时降低经济成本。

参考文献:

- [1] Hiratzka LF, Bakris GL, Beckman JA, et al. 2010 ACCF/AHA/AATS/ACR/ASA/SCA/SCAI/SIR/STS/SVM Guidelines for the diagnosis and management of patients with thoracic aortic disease. A report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines, American Association for Thoracic Surgery, American College of Radiology, American Stroke Association, Society of Cardiovascular Anesthesiologists, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, Society of Interventional Radiology, Society of Thoracic Surgeons, and Society for Vascular Medicine[J]. *Circulation*, 2010, 121(13): e266-e369.
- [2] Rompel O, Glöckler M, Janka R, et al. Third-generation dual-source 70kVp chest CT angiography with advanced iterative reconstruction in young children; image quality and radiation dose reduction[J]. *Pediatric Radiology*, 2016, 46(4): 462-472.
- [3] 余永强, 李小虎. 正理解双低的概念及其在头颈部 CT 血管成像的初步应用价值[J]. *中华医学杂志*, 2014, 94(29): 2243.
- [4] 刘杰, 高剑波, 张永高, 等. 双源 CT 非线性融合技术联合低流率注射对比剂行主动动脉的可行性[J]. *中华放射学杂志*, 2014, 48(6): 505-506.
- [5] 武永杰, 郑敏文, 赵宏亮, 等. 低浓度对比剂联合应用低 kV 及迭代

- 重建技术的冠状动脉双源 CT 成像可行性[J]. 中华医学杂志, 2014, 8:2260.
- [6] Fareed A, Vavere AL, Zimmermann E, et al. Impact of iterative reconstruction vs filtered back projection on image quality in 320-slice CT coronary angiography: insights from the CORE320 multicenter study[J]. *Medicine*, 2017, 96(48):e8452.
- [7] Kaln CE Jr. From images to actions: opportunities for artificial intelligence in radiology [J]. *Radiology*, 2017, 285(3):719-720.
- [8] 赵莹, 刘爱连, 刘静红, 等. 基于深度学习的像素闪烁算法对高体质质量指数患者低剂量腹部 CT 平扫图像质量的影响[J]. *中国医学影像技术*, 2018, 34(3):434-438.
- [9] Hu C, Yi Z, Mannudeep KK, et al. Low-dose CT with a residual encoder-decoder convolutional neural network[J]. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 2017, 36(12):2524-2535.
- [10] Kang E, Min J, Ye J. A deep convolutional neural network using directional wavelets for low-dose X-ray reconstruction[J]. *Med Phys*, 2017, 44(10):360-375.
- [11] Stefanie M, Carlo N, Julian L, et al. Effect of automated tube voltage selection, integrated circuit detector and advanced iterative reconstruction on radiation dose and image quality of 3rd generation dual-source aortic CT angiography, an intra-individual comparison[J]. *Eur J Radiology*, 2016, 85(5):972-978.
- [12] Bolen MA, Popovic ZB, Tandon N, et al. Image quality, contrast enhancement, and radiation dose of ECG-triggered high-pitch CT versus non-ECG-triggered standard-pitch CT of the thoracoabdominal aorta[J]. *Am J Roentgenol*, 2012, 198(4):931-938.
- [13] Committee CDDICC. The measurement, reporting, and management of radiation dose in CT. The American Association of Physicists in Medicine report no. 96. AAPM, College Park, MD. 2008
- [14] Moos SI, van Vemde DNH, Stoker J, et al. Contrast induced nephropathy in patients undergoing intravenous (IV) contrast enhanced computed tomography (CECT) and the relationship with risk factors: a meta-analysis[J]. *Eur J Radiol*, 2013, 82(9):e387-399.
- [15] 严亮亮, 杨学华, 张永高, 等. 270 碘对比剂结合低管电压及 SAFIRE 技术在冠状动脉血管成像中的应用[J]. *实用放射学杂志*, 2014, 30(1):143-146.
- [16] Hou P, Feng X, Liu J, et al. Low tube voltage and iterative model reconstruction in follow-up CT angiography after thoracic endovascular aortic repair: ultra-low radiation exposure and contrast medium dose[J]. *Acad Radiol*, 2018, 25(4):494-501.
- [17] Pontana F, Pagniez J, Duhamel A, et al. Reduced-dose low-voltage chest CT angiography with sinogram-affirmed iterative reconstruction versus standard-dose filtered back projection [J]. *Radiology*, 2013, 267(2):609-618.
- [18] Wang R, Schoepf UJ, Wu R, et al. Image quality and radiation dose of low dose coronary CT angiography in obese patients: sinogram affirmed iterative reconstruction versus filtered back projection[J]. *Eur J Radiol*, 2012, 81(11):3141-3145.
- [19] Schoepf UJ. CT of heart: principles and applications[M]. New York, Humana Pres, 2005:377-380.
- [20] 李岩, 束敏, 李坤成. 规范化应用"双低"扫描 CT 血管成像[J]. *中国医学影像技术*, 2018, 34(1):128-131.
- [21] Singh S, Kalra MK, Hsieh J, et al. Abdominal CT: comparison of adaptive statistical iterative and filtered back projection reconstruction techniques[J]. *Radiology*, 2010, 257(2):373-383.
- [22] Winklehner A, Karlo C, Puipe G, et al. Raw data-based iterative reconstruction in body CTA: evaluation of radiation dose saving potential[J]. *Eur Radiol*, 2011, 21(12):2521-2526.
- [23] 章云港, 易本顺, 吴晨玥, 等. 基于卷积神经网络的低剂量 CT 图像去噪方法[J]. *光学学报*, 2018, 38(4):1-7.

(收稿日期:2018-09-10)