·心血管影像学·

人工智能优化算法对提高大体型患者低剂量扫描冠状动脉图像质量的价值

刘珮君，王怡宁，于敏，王曼，闫爽，易妍，徐橙，王沄，金征宇

【摘要】 **目的**：探讨人工智能(AI)图像优化算法对提高大体型患者低剂量扫描冠状动脉图像质量的价值。**方法**：前瞻性连续纳入 2018 年 2－5 月在本院 NeuViz 128 CT 行冠状动脉 CTA 检查的 28 例大体型患者(BMI＞26 kg/m^2)。所有的患者均采用步进扫描模式，管电压 100 kV，自动管电流调制(233.4±46.7 mAs)。对原始数据采用迭代算法(Clearview＋ 50％)进行重建得到 A 组图像，进一步对该组图像采用 AI 图像优化技术进行处理，所得图像作为 B 组。分别在主动脉根部、左主干开口、左前降支中段、左回旋支中段及右冠状动脉中段选取不同的兴趣区，测量这两组图像的冠状动脉的 CT 值、噪声、信噪比(SNR)、对比噪声比(CNR)，由两名高年资的医生以 Likert 4 级评分法评估该两组图像的主观评分(1 分，优秀；4 分，不能诊断)。**结果**：患者平均 BMI 为(29.31±3.19) kg/m^2，平均心率(64.89±8.13)次/分。与 A 组图像相比，B 组图像主动脉根部、左主干开口、左前降支中段、左回旋支中段及右冠状动脉中段的噪声分别降低了 68.36％、45.89％、28.41％、32.49％和 31.25％。B 组图像 SNR 和 CNR 明显优于 A 组图像(P 均＜0.01)。B 组冠状动脉主观评分明显优于 A 组图像质量(1.66±0.27 vs. 1.82±0.20，P＜0.001)。扫描过程中 CT 剂量指数为(10.6±0.9) mGy，剂量长度乘积为(167.8±26.2) mGy·cm，有效剂量为(2.3±0.4) mSv。**结论**：AI 图像优化算法可以有效提高大体型患者在低剂量扫描时的冠状动脉图像质量，为大体型患者降低辐射剂量及优化冠脉动脉图像质量提供了新思路和新方法。

【关键词】 人工智能；图像优化；迭代重建；冠状动脉 CT；冠状动脉疾病

【中图分类号】R814.42；R－05 【文献标识码】A 【文章编号】1000-0313(2019)07-0760-07

DOI：10.13609/j.cnki.1000-0313.2019.07.009 开放科学(资源服务)标识码(OSID)：

Impact of artificial intelligence-based optimization algorithm on image quality of low dose coronary CT angiography in big size patients LIU Pei-jun, WANG Yi-ning, 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**: The aim of this study was to assess the impact of artificial intelligence (AI)-based optimization algorithm on image quality (IQ) with low dose coronary CT angiography (CCTA) in big size patients. **Methods**: Twenty-eight consecutive patients with a body mass index greater than 26kg/m^2 underwent clinical indicated CCTA examinations on NeuViz 128 CT scanner. All CCTA examinations were performed with step-and-shoot mode using 100kV, automatic current modulation (233.4±46.7mAs) and 60mL contrast medium. Images were reconstructed with iterative algorithm (group A) and further AI-based optimization algorithm (group B). Image noise, signal-to-noise ratio (SNR) and contrast-to-noise ratio (CNR) were calculated on the aorta root (Ao), left main artery (LM), left anterior descending (LAD), left circumflex (LCX), and right coronary artery (RCA) to evaluate IQ objectively. Subjective IQ score was graded independently and blindly by two radiologists with a four-point scale (1 for excellent and 4 for poor). In addition, CT dose index volumes (CTDIvol), dose length product (DLP) and effective dose (ED) were recorded. **Results**: The average body mass

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(刘珮君、王怡宁、王曼、闫爽、易妍、徐橙、王沄、金征宇)；100193 北京东软医疗设备有限公司(于敏)

作者简介：刘珮君(1991－)，女，山西人，博士，主要从事心血管影像诊断工作。

通讯作者：王怡宁，E-mail：wangyining@pumch.cn

基金项目：国家自然科学基金(81471725)；“十三五”国家重大慢性非传染性疾病防控研究(2016YFC1300402)

index (BMI) and heart rate were (29.31±3.19) kg/m^2, (64.89±8.13) min^{-1} respectively. Compared with group A, group B yielded significantly reduction in image noise in the Ao, LM, LAD, LCX and RCA of 68.36%, 45.89%, 28.41%, 32.49% and 31.25%, respectively. SNR and CNR were both significantly increased in group B compared with group A (all $P<0.01$). The subjective IQ score has significantly difference between group A and group B (1.82±0.20 vs. 1.66±0.27, $P<0.001$). The CTDIvol, DLP and ED was (10.6±0.9) mGy, (167.8±26.2) mGy·cm and (2.3±0.4) mSv. **Conclusion**: The AI-based optimization algorithm can effectively improve IQ of coronary CT angiography with low kV scan in big size patients, which can be an innovative and promising method.

【Key words】 Artificial intelligence; Image optimization technique; Iterative reconstruction; Coronary CT angiography; Coronary artery disease

心血管疾病(cardiovascular disease, CVD)已经成为全世界发病率和死亡率最高的疾病之一[1]。在我国,心血管疾病患病率及死亡率处于上升阶段,推算我国 CVD 现患病人数约 2.9 亿,其中冠心病患病人数约 1100 万,因此冠心病早期诊断及准确评估对于患者的有效防治及预后非常重要[2]。随着 CT 技术的不断发展,冠状动脉 CT 血管成像(coronary computed tomography angiography, CCTA)技术已日渐成熟并作为疑似冠状动脉疾病(coronary artery disease, CAD)患者首选的无创影像学检查方法广泛应用于临床[3-5]。以侵入性冠状动脉造影检查(invasive coronary angiography, ICA)为参考标准,CCTA 对冠状动脉狭窄有很高的诊断价值,尤其对于低到中度冠状动脉疾病风险的患者,CCTA 有较高的敏感度(95%～99%)及阴性预测值(97%～99%),成为了筛查排除阻塞性 CAD 的可靠手段[6-8]。但是,CCTA 检查用于大体型患者人群有局限性。当大体型患者行 CCTA 检查时,X 线散射以及图像噪声的增加降低了图像质量,从而影响冠状动脉小血管及非钙化斑块的显示[9-11]。Brodoefel 等[10]研究证实,大体型患者是影响冠状动脉图像质量的独立因素。同样的,Alkadhi 等[12]研究证实,大体型患者会使 CCTA 检查的特异性及阳性预测值降低。在 CT 扫描中,大体型患者扫描通常需要增加管电压和管电流才能达到和正常体重患者一样的冠状动脉图像质量,但这样增加了患者的辐射剂量[13]。而低管电压扫描用于大体型患者似乎有些挑战,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。为了克服上述问题,迭代重建(iterative reconstruction, IR)被引入临床。相比于传统的滤波反投影(filtered back projection, FBP)算法,IR 算法通过降低图像噪声及抑制伪影产生,提高冠状动脉图像质量和诊断准确性。Sun 等[14]研究证实 100 kV 管电压联合迭代重建算法用于身体质量指数(body mass index, BMI) 26～30 kg/m^2 患者,其冠状动脉图像具有诊断价值。然而,IR 算法也其限制性,需要较长的处理时间以及足够的投影数据[15]。

随着深度学习技术的飞速进展,基于卷积神经网络(convolutional neural network, CNN)的人工智能(artificial intelligence, AI)优化算法逐渐深入影像学的各个领域,比如处理 CT 中常见的噪声增加和细节丢失等问题,从而提高图像质量[16-18]。本研究的目的是通过将 AI 图像优化技术及迭代重建算法结合在一起用于提升大体型患者的冠状动脉的图像质量,并初步探讨其临床应用价值。

材料与方法

1. 研究对象

前瞻性纳入 2018 年 2 月－5 月 28 例临床上疑似有冠状动脉疾病的大体型患者(BMI>26 kg/m^2)[19]进行 CCTA 扫描。排除标准:严重肝肾功能不全,对比剂过敏,严重心律不齐,失代偿性心功能不全,孕妇或哺乳期妇女及冠状动脉旁路移植术后患者。本研究经伦理委员会批准,所有患者签署知情同意书。共纳入 28 例患者,男 17 例,女 11 例,年龄 41～69 岁,平均(58.5±7.4)岁。

2. 检查方法

①图像采集与重建:采用东软医疗 NeuViz 128 CT 心电门控前瞻性步进扫描。患者取仰卧位,扫描范围从气管分叉下方 1 cm 至心脏膈面水平。CT 扫描参数:管电压 100 kV、应用基于定位像的自动管电流调制[参考电流 210 mAs,管电流(233.4±46.7) mAs],旋转时间 0.35 s,螺距 0.23,层厚及层间距均为 0.625 mm,重建矩阵 512×512,准直 128×0.625 mm,滤波参数为 Cardiac 20,迭代算法 ClearView+50%。所有患者于右侧肘前静脉开通静脉通路,采用双筒高压注射器(美国 Mallinckrodt Optivantage V5)及 18G 套管注入对比剂和生理盐水。注射方案:对比剂采用碘帕醇(370 mg I/mL,上海博莱科信谊药业有限公司)60 mL,注射流率 4 mL/s,对比剂注射完成后以相同流率追加注入 40 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。所有心率大于 70 次/分的患者扫描前 60 分钟口服倍他乐克 25～50 mg，无硝酸甘油禁忌症者于扫描前 3 min 舌下喷硝酸甘油 0.5～1.0 mg。所有的患者扫描前严格训练呼吸。

②AI 图像优化技术的原理及图像后处理：将重建层厚 1.0 mm、重建层间距 0.5 mm 的原始数据传至东软医疗 AVW 1.0.8 专业工作站进行 AI 图像优化处理和心脏重建后处理。

AI 图像优化处理的原理：利用生成对抗网络（generative adversarial networks，GAN）实现低剂量 CT 图像的降噪过程。此技术以再生数据域通过常规剂量优质图像质量 CCTA 增加高斯噪音的方式模拟低剂量高噪声的图像作为训练数据输入，把对应的相同组织结构的常规剂量优质图像质量的 CCTA 图像作为学习对象，通过基于深层神经网络的深度学习方法得到定制化噪声模型，即可精确地将噪声与图像分离。将待优化目标图像即 A 组图像载入此模型，得到优化后 B 组低噪声图像。此过程中应用生成对抗网络及损失函数评价模型的预测值与真实值的不一致程度，从而选取最优化模型。GAN 是一种具有特定网络结构的 CNN，它包含两个 CNN 网络，一个叫做生成网络 G（Generative Network），另一个叫做判别网络 D（Discriminative Network）。在 GAN 训练过程中，G 网络与 D 网络类似于一种博弈过程，在 G 和 D 不断的博弈过程中，G 网络输出的去噪结果越来越好，最终完成训练过程。在进行图像优化过程中，只需要正向传递处理模型，不再需要耗时复杂的迭代计算，就可以快速准确得到图像处理结果，大数据训练得到的噪声模型在对噪声得到精确处理的同时，可以最大限度保留图像的真实细节。

对 A 组和 B 组图像进行心脏后处理重建，重建图像包括多平面重组（multi planer reconstruction，MPR）、最大密度投影（maximum intensity projection，MIP）、曲面重组（curved planar reconstruction，CPR）以及容积再现（volume rendering，VR）图像。

3. 图像质量分析

①客观分析：采用原始横轴面图像，对 A 组及 B 组图像的相同层面同时进行测量，在主动脉根部、左主干开口、左前降支中段、左回旋支中段及右冠状动脉中段选取不同的兴趣区，保证兴趣区尽可能大，但不包括血管壁、钙化及斑块。分别测量这些层面相应血管的 CT 值，测量血管周围脂肪组织的 CT 值，其 CT 值的标准差定义为图像噪声，并通过计算得到信噪比（signal to noise ratio，SNR）和对比噪声比（contrast to noise ratio，CNR）。冠状动脉 SNR、CNR 计算公式[20]如下，SNR＝各段血管的 CT 值/图像噪声；CNR＝（各段血管 CT 值－血管周围脂肪组织 CT 值）/图像噪声。

②主观分析：采用美国心血管 CT 协会最新推荐的 18 分段标准改良分段法[21]，将冠状动脉分为 18 个节段，闭塞血管以远段及支架所在段不计入分析。采用冠状动脉图像质量 Likert 4 级评分法[22]，相应评分为 1～4 分，分级标准为：1 级，血管强化优异，边界清晰，无阶梯样伪影及血管中断；2 级，血管强化良好，边界略模糊，有轻度伪影，节段略模糊；3 级，血管强化一般，边界模糊，有中度伪影，但没有血管中断；4 级，血管显示不清或有中断，有严重的阶梯样伪影。将图像质量评为 1～3 级的血管定义为可评估血管，图像质量评为 4 级的血管评为不可评估的血管。由两名工作经验 5 年以上的影像科医生不知道客观分析结果的情况下对图像进行评估，评分不一致时，请第 3 名影像科专家对图像质量进行分析，最后得出结论。

4. 有效辐射剂量

通过 CT 扫描自动计算得到 CT 剂量指数（CT dose index，CTDIvol），剂量长度乘积（dose length product，DLP），有效剂量（effective dose，ED）＝k×DLP（k＝0.014 mSv/mGy·cm）[23]。

5. 统计学分析

所有数据采用 SPSS 20 统计学软件进行统计学分析。连续变量采用均值±标准差，分类变量用频数表示。服从正态分布计量资料的组间比较采用配对 t 检验，不服从正态分布计量资料的组间比较采用 Wilcoxon 秩和检验。以 $P<0.05$ 为差异具有统计学意义。

结　果

1. 患者的基本信息

患者 BMI 为（29.31±3.19）kg/m^2，CTDIvol 为（10.6±0.9）mGy，DLP 为（167.8±26.2）mGy·cm，ED 为（2.3±0.4）mSv（表 1）。

表 1　患者的基本信息

基本信息	数值（范围或百分比）
年龄（岁）	58.5±7.4（41～69）
性别（男/女）	17/11
BMI（kg/m^2）	29.31±3.19（26.12～36.20）
高血压（例）	17（60.7%）
高血脂（例）	16（57.1%）
高血糖（例）	18（64.3%）
吸烟史（例）	15（53.6%）
家族史（例）	16（57.1%）
CTDIvol（mGy）	10.6±0.9（8.7～12.3）
剂量长度乘积（mGy·cm）	167.8±26.2（131.1～242.4）
有效辐射剂量（mSv）	2.3±0.4（1.8～3.4）

2. 冠状动脉图像分析

A 组和 B 组主动脉根部 CT 值差异无统计学意义[(498.59±62.49)HU vs. (497.21±62.41)HU, t=0.083, P=0.934]。B 组图像主动脉根部噪声明显低于 A 组图像(9.50±2.27 vs. 30.04±8.51, t=16.537, P<0.001), B 组图像主动脉根部的 SNR 明显优于 A 组图像(55.82±17.71 vs. 18.47±7.67, t=−17.099, P<0.001), 另外 B 组图像主动脉根部的 CNR 也明显优于 A 组图像(71.62±45.10 vs. 24.10±10.86, t=−6.938, P<0.001), 见图 2。其余客观图像质量参数见表 2。

表 2　A 组和 B 组冠状动脉客观分析结果

参数	A 组	B 组	t 值	P 值
CT 值				
AO	498.59±62.49	497.21±62.41	0.083	0.934
LM	475.62±78.17	466.89±70.99	0.438	0.663
LAD	480.4±121.33	471.02±117.00	0.295	0.769
LCX	455.74±85.45	444.96±75.66	0.500	0.619
RCA	471.21±88.10	466.98±84.22	0.184	0.855
噪声				
AO	30.04±8.51	9.50±2.27	16.537	<0.001
LM	28.28±13.13	15.30±8.51	6.352	<0.001
LAD	25.10±15.50	17.97±13.69	6.628	<0.001
LCX	27.71±11.70	18.71±9.33	7.295	<0.001
RCA	29.52±19.28	20.30±15.98	6.804	<0.001
信噪比				
AO	18.47±7.67	55.82±17.71	−17.099	<0.001
LM	20.81±11.01	39.53±21.33	−6.446	<0.001
LAD	25.18±13.83	38.07±20.91	−5.358	<0.001
LCX	19.03±8.52	34.91±31.78	−2.971	0.006
RCA	21.05±12.94	38.55±35.16	−3.751	0.001
对比噪声比				
AO	24.10±10.86	71.62±45.10	−6.938	<0.001
LM	27.58±13.67	64.33±43.90	−5.447	<0.001
LAD	32.45±17.13	62.77±53.88	−3.598	0.001
LCX	24.79±11.80	52.08±48.61	−3.620	0.001
RCA	28.02±15.27	64.39±52.93	−4.704	<0.001

注：AO 为主动脉根部；LM 为左主动脉；LAD 为左前降支；LCX 为左循环支；RCA 为右冠状动脉。

A 组和 B 组冠状动脉图像主观评分结果见表 3。28 名患者冠状动脉节段共有 360 个，A 组和 B 组图像可评估冠状动脉节段均为 350 个(97.22%)，但 B 组平均主观图像质量评分明显优于 A 组图像(1.66±0.27 vs. 1.82±0.20, t=5.224, P<0.001)。

表 3　A 组和 B 组冠状动脉图像质量主观评分比较

分组	A 组	B 组
节段数	360	360
1 分	111(30.83%)	156(43.33%)
2 分	213(59.17%)	179(49.72%)
3 分	26(7.22%)	15(4.17%)
4 分	10(2.78%)	10(2.78%)
可评估血管节段(%)	350(97.22)	350(97.22)
平均得分	1.82±0.20	1.66±0.27

讨　论

本研究采用前瞻性步进、100 kV 管电压、管电流调制等低剂量技术联合 Clearview＋迭代重建及 AI 图像优化技术用于大体型患者冠状动脉 CTA 扫描。结果显示，此方案可明显降低大体型患者冠状动脉的图像噪声，改善冠状动脉的图像质量。同时，患者接受的有效辐射剂量仅为(2.3±0.4) mSv。

CCTA 作为疑似冠心病患者的首选影像学检查方法广泛应用于临床实践，但是目前大部分 CCTA 的研究是基于正常体重的患者，大体型患者 CCTA 检查

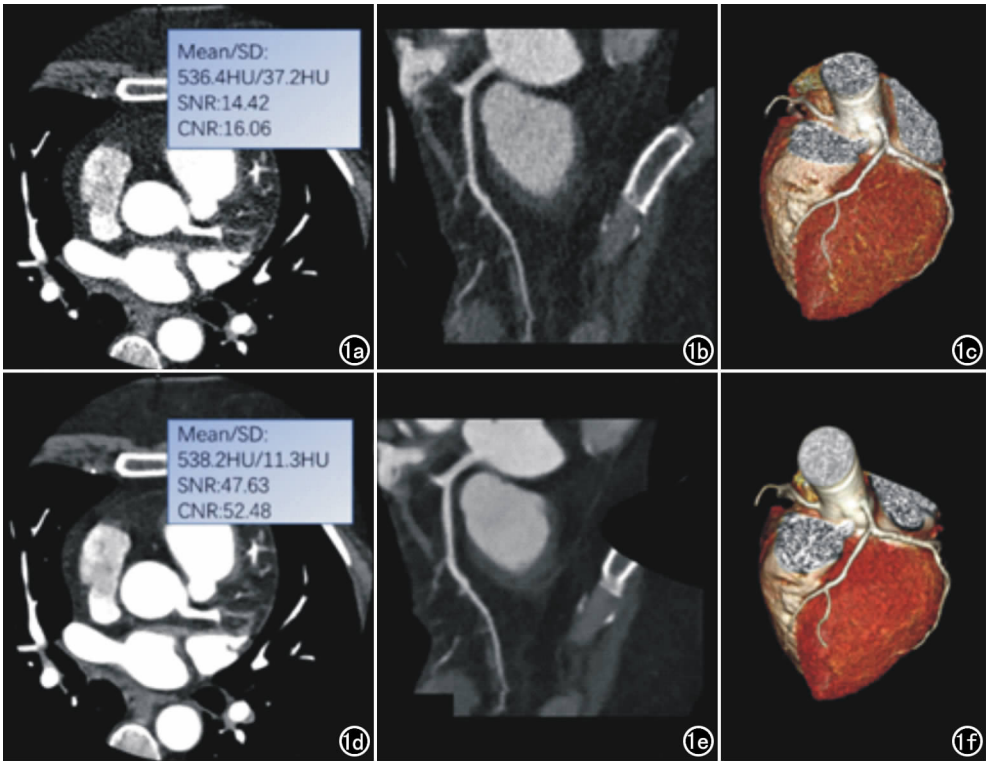

图 1　男，54 岁，BMI 为 32.49kg/m^2。a～c 是 A 组图像，d～f 是 B 组图像。a) 冠状动脉 MPR 图像，主动脉根部的 CT 值为 536.4 HU，噪声为 37.2 HU，SNR 为 14.42，CNR 为 16.06；b) 左前降支 CPR 图像；c) 冠状动脉 VR 图像；d) 冠状动脉 MPR 图像，主动脉根部的 CT 值为 538.2 HU，噪声为 11.3 HU，SNR 为 47.63，CNR 为 52.48；e) 左前降支 CPR 图像；f) 冠状动脉 VR 图像。B 组图像的噪声明显低于 A 组，且图像质量客观指标(SNR、CNR)优于 A 组。

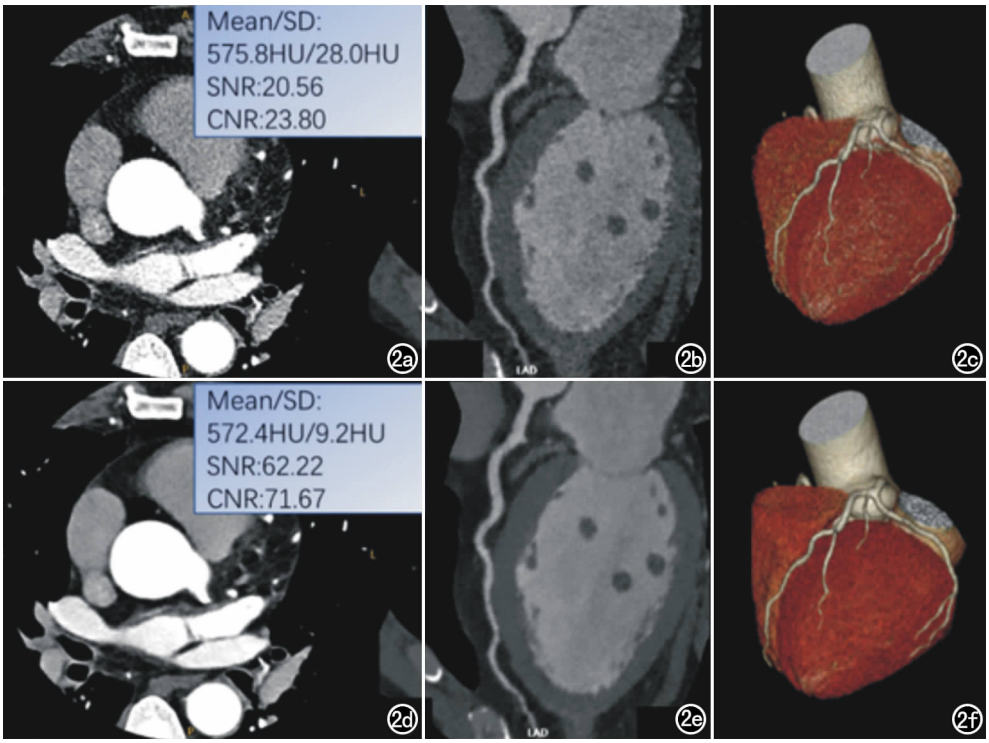

图 2 女，53 岁，BMI 为 28.41 kg/m^2。a～c 是 A 组图像，d～f 是 B 组图像。a) 冠状动脉 MPR 图像，主动脉根部的 CT 值为 575.8 HU，噪声为 28 HU，SNR 为 20.56，CNR 为 23.80；b) 左前降支 CPR 图像；c) 冠状动脉 VR 图像；d) 冠状动脉 MPR 图像，主动脉根部的 CT 值为 572.4 HU，噪声为 9.2 HU，SNR 为 62.22，CNR 为 71.67；e) 左前降支 CPR 图像；f) 冠状动脉 VR 图像。B 组图像的噪声明显低于 A 组，且图像质量客观指标(SNR、CNR)优于 A 组。

一直存在挑战，因为大体型患者皮下增厚的软组织会引起更多的光子衰减导致图像噪声的增加。同时，大体型患者因血液分布的变化会造成达峰时间血管乳化差，从而使血管内对比剂显影差。因此，CCTA 扫描时，大体型患者的冠状动脉图像质量会降低[12,24]。为了弥补因患者高 BMI 导致的冠状动脉图像质量的降低，目前主要方法有增加管电压等，研究表明使用上述方法虽然可以提高冠状动脉的图像质量，但同时也增加了患者接受的辐射剂量和降低了图像的时间分辨率[11]。以前 CCTA 研究证实大体型患者接受的辐射剂量是 15.6～22 mSv[11,25]。此研究患者 BMI 范围 26.12～36.20 kg/m^2，辐射剂量仅为(2.3±0.4) mSv。降低管电压可以降低患者的辐射剂量，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。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。相比于传统的滤波反投影算法，迭代重建算法作为一种新的重建方法，可以通过降低图像噪声提高图像质量[14,26]。Gebhard 等[26]研究用 64 层探测器比较了 70 个大体型患者使用迭代重建和滤波反投影技术后的冠状动脉图像质量(每组 35 个)。结果显示，迭代重建算法可以明显提高大体型患者冠状动脉图像质量。此研究通过将 AI 图像优化技术及迭代重建算法结合在一起评价大体型患者的冠状动脉图像质量。相比于迭代重建技术，AI 图像优化技术本质是用卷积神经网络来学习低剂量 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，相比于迭代算法采用的通用型、经验噪音模型，这种定制化噪声模型往往会得到更好的结果[27]。此研究结果显示：相比于单独的迭代重建算法(A 组)，利用 AI 图像优化技术联合迭代重建(B 组)主动脉根部的噪声降低 68.36%，SNR 和 CNR 分别提高了 202.22%和 197.18%，同时利用 AI 图像优化技术联合迭代重建(B 组)的主观图像质量评分也优于 A 组。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[28]，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[18]。

随着 AI 技术的发展，基于深度学习的 AI 目前已经应用于临床各个阶段，包括病灶检测、病理诊断以及术后预测等[29-30]。在医学影像方面的应用也已经从最成熟的肿瘤领域拓展到非肿瘤影像诊断[31]。在 AI 图像优化技术的同类研究中，Chen 等[28]基于 CNN 的深度学习算法可以改善腹部的低剂量 CT 的图像质量。赵莹等[16]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≥25 kg/m^2)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，将低剂量高噪音的图像和相应的高剂量低噪音进行配对训练并学习其相关性。此类 AI 图像优化技术的研究都局限于 2D 轴位图像重建[28]，不能满足全方位观察 CT 图像的需求。王明等[27]研究证明东软医疗自主研发

研发的人工智能图像优化技术可以很好的观察主动脉三维后处理图像，联合 ClearView＋迭代算法，使“双低”扫描可以获得和常规扫描同样的图像质量，并且有效地降低了辐射剂量和对比剂用量。此外，此 AI 图像优化技术应用了最新的 GAN 深度学习模型，尽可能保证其优化后图像的真实性。Wolterink 等[32]研究同样证实 GAN 深度学习模型的对抗性反馈训练可以生成与常规剂量 CT 图像质量相当冠状动脉 CT 钙化积分图像，并且所进行的反馈训练阻止了图像的平滑处理，允许在 CT 钙化积分扫描中更精确地量化钙化斑块。

此研究亦存在一些不足之处，首先入组病例少，存在选择偏倚。其次，缺乏和 120 kV 常规数据进行对照。最后，本研究只分析了冠状动脉图像质量的主观和客观评价，没有和有创冠状动脉造影“金标准”对照分析该技术的诊断准确性，未来将进一步扩大样本量，研究这项技术的诊断准确性。

综上所述，通过将 AI 图像优化技术及迭代重建算法相结合评价大体型患者冠状动脉的图像质量，结果显示 AI 图像优化技术可以有效提高冠状动脉的图像质量，为大体型患者冠状动脉扫描提供了新思路及新方法。

参考文献：

[1] Benjamin EJ, Blaha MJ, Chiuve SE, et al. Heart disease and stroke statistics-2017 update: a report from the American heart association[J]. Circulation, 2017, 135(10): e146-e603.

[2] 陈伟伟，高润霖，刘力生，等.《中国心血管病报告 2017》概要[J]. 中国循环杂志，2018，33(1)：1-8.

[3] Dreisbach JG, Nicol ED, Roobottom CA, et al. Challenges in delivering computed tomography coronary angiography as the first-line test for stable chest pain[J]. Heart, 2018, 104(11): 921-927.

[4] Wintersperger BJ, Bamberg F, De Cecco CN. Cardiovascular Imaging: the past and the future, perspectives in computed tomography and magnetic resonance imaging[J]. Invest Radiol, 2015, 50(9): 557-570.

[5] De Cecco CN, Meinel FG, Chiaramida SA, et al. Coronary artery computed tomography scanning[J]. Circulation, 2014, 129(12): 1341-1345.

[6] Hamon M, Biondi-Zoccai GG, Malagutti P, et al. Diagnostic performance of multislice spiral computed tomography of coronary arteries as compared with conventional invasive coronary angiography: a meta-analysis[J]. J Am Coll Cardiol, 2006, 48(9): 1896-1910.

[7] Budoff MJ, Dowe D, Jollis JG, et al. Diagnostic performance of 64-multidetector row coronary computed tomographic angiography for evaluation of coronary artery stenosis in individuals without known coronary artery disease: results from the prospective multicenter ACCURACY (Assessment by Coronary Computed Tomographic Angiography of Individuals Undergoing Invasive Coronary Angiography) trial[J]. J Am Coll Cardiol, 2008, 52(21): 1724-1732.

[8] von Ballmoos MW, Haring B, Juillerat P, et al. Meta-analysis: diagnostic performance of low-radiation-dose coronary computed tomography angiography[J]. Ann Intern Med, 2011, 154(6): 413-420.

[9] Yoshimura N, Sabir A, Kubo T, et al. Correlation between image noise and body weight in coronary CTA with 16-row MDCT[J]. Acad Radiol, 2006, 13(3): 324-328.

[10] Brodoefel H, Tsiflikas I, Burgstahler C, et al. Cardiac dual-source computed tomography: effect of body mass index on image quality and diagnostic accuracy[J]. Invest Radiol, 2008, 43(10): 712-718.

[11] Leschka S, Stinn B, Schmid F, et al. Dual source CT coronary angiography in severely obese patients: trading off temporal resolution and image noise[J]. Invest Radiol, 2009, 44(11): 720-727.

[12] Alkadhi H, Scheffel H, Desbiolles L, et al. Dual-source computed tomography coronary angiography: influence of obesity, calcium load, and heart rate on diagnostic accuracy[J]. Eur Heart J, 2008, 29(6): 766-776.

[13] Lee SM, Lee W, Chung JW, et al. Effect of kVp on image quality and accuracy in coronary CT angiography according to patient body size: a phantom study[J]. Int J Cardiovasc Imaging, 2013, 29(Suppl 2): 83-91.

[14] Sun G, Hou YB, Zhang B, et al. Application of low tube voltage coronary CT angiography with low-dose iodine contrast agent in patients with a BMI of 26～30kg/m^2[J]. Clin Radiol, 2015, 70(2): 138-145.

[15] Nelson RC, Feuerlein S, Boll DT. New iterative reconstruction techniques for cardiovascular computed tomography: how do they work, and what are the advantages and disadvantages[J]. J Cardiovasc Comput Tomogr, 2011, 5(5): 286-292.

[16] 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.

[17] Kida S, Nakamoto T, Nakano M, et al. Cone beam computed tomography image quality improvement using a deep convolutional neural network[J]. Cureus, 2018, 10(4): e2548.

[18] 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)：123-129.

[19] Gu D, He J, Duan X, et al. Body weight and mortality among men and women in China[J]. JAMA, 2006, 295(7): 776-783.

[20] Cademartiri F, Maffei E, Arcadi T, et al. CT coronary angiography at an ultra-low radiation dose (<0.1mSv): feasible and viable in times of constraint on healthcare costs[J]. Eur Radiol, 2013, 23(3): 607-613.

[21] Wu FZ, Wu MT. 2014 SCCT guidelines for the interpretation and reporting of coronary CT angiography: a report of the society of cardiovascular computed tomography guidelines committee[J]. J Cardiovasc Comput Tomogr, 2015, 9(2): e3.

[22] Yi Y, Cao J, Lin L, et al. A preliminary study on a 70kV high-pitch dual- source CT coronary angiography using an ultra- low contrast media[J]. Int J Clin Exp Med, 2017, 10(4): 6237-6249.

[23] Hausleiter J, Meyer T, Hermann F, et al. Estimated radiation dose associated with cardiac CT angiography[J]. JAMA, 2009, 301(5): 500-507.

[24] Raff GL, Gallagher MJ, O'Neill WW, et al. Diagnostic accuracy of noninvasive coronary angiography using 64-slice spiral computed tomography[J]. J Am Coll Cardiol, 2005, 46(3): 552-557.

[25] Chinnaiyan KM, McCullough PA, Flohr TG, et al. Improved noninvasive coronary angiography in morbidly obese patients with dual-source computed tomography[J]. J Cardiovasc Comput Tomogr, 2009, 3(1): 35-42.

[26] Gebhard C, Fuchs TA, Fiechter M, et al. Image quality of low-dose CCTA in obese patients: impact of high-definition computed tomography and adaptive statistical iterative reconstruction[J]. Int J Cardiovasc Imaging, 2013, 29(7): 1565-1574.

[27] 王明, 王怡宁, 于敏, 等. AI 成像优化联合迭代算法在"双低"主动脉 CTA 的初步应用[J]. 放射学实践, 2018, 33(10): 1009-1016.

[28] Chen H, Zhang Y, Kalra MK, et al. Low-dose CT with a residual encoder-decoder convolutional neural network[J]. IEEE Trans Med Imaging, 2017, 36(12): 2524-2535.

[29] Chang HY, Jung CK, Woo JI, et al. Artificial intelligence in pathology[J]. J Pathol Transl Med, 2019, 53: 1-12.

[30] Paul R, Hawkins SH, Balagurunathan Y, et al. Deep feature transfer learning in combination with traditional features predicts survival among patients with lung adenocarcinoma[J]. Tomography, 2016, 2(4): 388-395.

[31] 金征宇. 人工智能医学影像应用: 现实与挑战[J]. 放射学实践, 2018, 33(10): 989-991.

[32] Wolterink JM, Leiner T, Viergever MA, et al. Generative adversarial networks for noise reduction in low-dose CT[J]. IEEE Trans Med Imaging, 2017, 36(12): 2536-2545.

(收稿日期: 2018-11-21 修回日期: 2019-02-17)

《放射学实践》杂志微信公众平台开通啦!

2018 年 9 月,《放射学实践》杂志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 5 次入选临床医学/特种医学类核心期刊。

《放射学实践》杂志微信公众平台立足于准确地传递医学影像领域的最新信息,致力于为关注医学影像领域的广大人士服务。欢迎大家通过微信平台,以文字、图片、音频和视频等形式与我们互动,分享交流最新的医学影像资讯。您还可以通过微信平台免费阅读及搜索本刊所有发表过的论文,投稿作者可以查询稿件状态等。

您可以通过以下方式关注《放射学实践》杂志微信公众平台:

1. 打开微信,通过"添加朋友",在搜索栏里直接输入"放射学实践"进行搜索。

2. 在"查找微信公众号"栏里输入"放射学实践"即可找到微信公众号,点击"关注",添加到通讯录。

3. 打开微信,点击"扫一扫",手机镜头对准下面的二维码,扫出后点击关注即可。

关注有惊喜!