

• 影像技术学 •

CTPA image quality analysis of different level iterative reconstruction with 80 kV in obese patients

SUN Xiao, TIAN Xingcang, LI Wenling, SUN Kai, MU Lisha, ZHU Li*

(Department of Radiology, General Hospital of Ningxia Medical University, Yinchuan 750004, China)

[Abstract] **Objective** To assess the effects of different level iterative reconstructions (IR) on image quality of obese patients of 80 kV CT pulmonary angiography (CTPA). **Methods** Forty obese patients with clinically suspected pulmonary embolism were examined with CTPA, filtered back projection method (FBP) and three IR levels (iDose¹, 20% IR/80% FBP; iDose³, 40% IR/60% FBP; iDose⁵, 60% IR/40% FBP) to reconstruct images were used. The CT value of pulmonary artery trunk, upper lobe artery and lower lobe basal segment artery of right pulmonary were measured, and the image noise, SNR and CNR of four groups were calculated and compared. **Results** The image noise, SNR and CNR had significant difference in 4 groups (all $P < 0.05$), and the image noise had significant difference between each two groups (all $P < 0.05$), the SNR and CNR had statistical difference between FBP and iDose³, between FBP and iDose⁵ ($P < 0.01$). **Conclusion** Compared with FBP, 80 kV combined with different level IR technologies can significantly decrease image noise and improve objective image quality in CTPA, the radiation dose that obese patients received can be reduced.

[Key words] Tomography, X-ray computed; Iterative reconstruction; Noise; Obesity; Lower tube voltage

DOI:10.13929/j.1672-8475.201611025

肥胖患者 80 kV 不同级别迭代重建技术 CTPA 图像质量分析

孙 潇, 田兴仓, 李文玲, 孙 凯, 穆丽莎, 朱 力*

(宁夏医科大学总医院放射科, 宁夏 银川 750004)

[摘要] **目的** 评估 80 kV 条件下不同级别迭代重建技术对肥胖患者 CT 肺动脉造影(CTPA)图像质量的影响。**方法** 收集临床疑似肺栓塞并行 CTPA 检查的肥胖患者 40 例, 采用滤波反投影(FBP)及 3 个级别的迭代重建技术(iDose¹: 20% IR/80% FBP; iDose³: 40% IR/60% FBP; iDose⁵: 60% IR/40% FBP)重建图像。测量图像的肺动脉主干、右肺上叶动脉及右肺下叶后基底段动脉 CT 值、噪声, 计算并比较 4 组数据的噪声、SNR 及 CNR。**结果** 4 组重建图像噪声、SNR 及 CNR 差异均有统计学意义(P 均 < 0.001), 图像噪声两两比较差异均有统计学意义(P 均 < 0.05); FBP 组的 SNR 及 CNR 与 iDose³ 组和 iDose⁵ 组比较, 差异有统计学意义($P < 0.01$)。**结论** 与 FBP 比较, 80 kV 联合不同级别 IR 技术可明显降低 CTPA 图像噪声, 提高图像质量, 并可进一步降低肥胖患者接受的辐射剂量。

[关键词] 体层摄影术, X 线计算机; 迭代重建; 噪声; 肥胖; 低管电压

[中图分类号] R814.42 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1672-8475(2017)05-0306-04

[第一作者] 孙潇(1991—), 女, 宁夏银川人, 在读硕士。研究方向: 胸部疾病的影像学诊断。E-mail: 625239456@qq.com

[通信作者] 朱力, 宁夏医科大学总医院放射科, 750004。E-mail: zhuli72@163.com

[收稿日期] 2016-11-22 **[修回日期]** 2017-03-19

CT 肺动脉造影 (CT pulmonary angiography, CTPA) 已成为诊断急性肺栓塞的一线检查方法, 其敏感度及特异度分别为 78%、90%^[1]。但随着 CTPA 在临床的广泛应用, 患者所受辐射剂量增加。近年来, 多种降低辐射剂量的方法已用于临床, 包括降低管电压^[2-3]。但管电压的降低会增加图像噪声, 进而降低 CTPA 图像的 CNR, 甚至影响对远端肺动脉内微小栓子的观察。肥胖患者的图像噪声大于正常体质量患者^[4], 当管电压降低后, 图像噪声会进一步增加, CTPA 的图像质量将下降。迭代重建 (iterative reconstruction, IR) 技术可解决管电压过低造成患者 CTPA 图像噪声过大的问题。本研究旨在评估肥胖患者 CTPA 检查中, 低管电压联合 IR 技术在提高图像质量中的可行性。

1 资料与方法

1.1 一般资料 收集 2015 年 10 月—2016 年 3 月本院临床疑似肺栓塞并行 CTPA 检查的门诊及住院的肥胖患者 40 例, 体质量指数 (body mass index, BMI) $>28 \text{ kg/m}^2$, 其中男 22 例, 女 18 例, 年龄 39~79 岁, 中位年龄 62.5 岁, BMI 为 $(29.55 \pm 1.73) \text{ kg/m}^2$, 心率 (78.4 ± 19.7) 次/分。排除标准: 年龄 <18 岁; 妊娠及哺乳期患者; 甲状腺功能亢进未治愈; 碘过敏; 肾功能不全。所有受检者均签署知情同意书。

1.2 仪器与方法 采用 Philips Brilliance iCT 256 机。患者取仰卧位, 头足方向扫描, 扫描范围自胸廓入口到膈肌水平。管电压 80 kV, 实时自动调节管电流, 探测器准直 $128 \times 0.625 \text{ mm}$, 机架旋转时间 0.5 s, 螺距 0.993; 图像重建方式为滤波反投影 (filtered back projection, FBP) 及 IR 技术 (iDose¹: 20% IR/80% FBP; iDose³: 40% IR/60% FBP; iDose⁵: 60% IR/40% FBP), 矩阵 512×512 , 层厚 1 mm, 间隔 0.5 mm。对比剂采用碘普罗胺 (370 mgI/ml) 50 ml, 流速 3.5 ml/s, 后以相同流速注射生理盐水 35 ml。扫描采用自动触发扫描系统, 将 ROI 置于肺动脉主干, 触发阈值 100 HU, 延迟 5 s 开始自动扫描。后将图像自动传至 PACS 系统。

1.3 图像分析 由 2 名高年资胸部影像诊断医师 (工作经验分别为 6、10 年) 分别采用同机 EBW 工作站行 CTPA 图像质量客主观评价, 同时记录有无肺栓塞及栓塞部位。客观评价包括测量肺动脉主干、右肺上叶动脉、右上肺静脉、右肺下叶后基底段动脉和右下肺静脉 CT 值, 并计算肺动静脉 CT 值比值及肺动脉平均 CT 值, 测量背阔肌 CT 值作为背景噪声, 肺动脉主干

CT 值标准差作为噪声, 计算 SNR 和 CNR: $\text{SNR} = \text{肺动脉平均 CT 值} / \text{噪声}$, $\text{CNR} = (\text{肺动脉平均 CT 值} - \text{背阔肌 CT 值}) / \text{噪声}$ 。主观评分采用 5 分法: 1 分, 很差, 伪影、噪声大, 仅肺动脉主干轻度到中度强化, 无法诊断; 2 分, 差, 伪影、噪声较大, 左右肺动脉强化, 远端肺动脉显影差, 诊断可信度明显减低; 3 分, 中度, 伪影、噪声中等, 肺叶以上动脉强化, 远端肺动脉显影欠佳, 但足以诊断; 4 分, 很好, 伪影、噪声较小, 肺段以上动脉强化明显, 远端肺动脉显示良好, 肺静脉强化程度高于肺动脉; 5 分, 优, 伪影轻或无, 噪声小, 亚段肺动脉及远端肺动脉强化明显, 且肺静脉强化程度低于肺动脉。

1.4 辐射剂量 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), 并计算有效剂量 (effective dose, ED): $\text{ED} = \text{剂量长度乘积 (DLP)} \times 0.017$, 0.017 为欧盟委员会推荐的胸部权重系数, 单位 mSv/(mGy · cm)。

1.5 各级肺动脉栓塞显示率 观察采用 EBW 工作站经不同重建方式处理后的 CTPA 图像有无肺栓塞, 并记录显示的栓子数及位置 (段级以上、段级、亚段肺动脉栓塞), 计算 4 组图像对每个部位肺动脉内栓子的显示率, $\text{显示率} = \text{每个部位肺动脉内栓子数} / \text{该重建技术显示的总栓子数} \times 100\%$ 。

1.6 统计学分析 采用 SPSS 17.0 统计分析软件。计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 采用 Shapiro-Wilkins 行正态性分析, 4 组图像客观质量比较采用单因素方差分析, 两两比较采用 LSD 法; 主观质量评分采用 Kruskal-Wallis H 秩和检验, 肺栓塞栓子的显示率比较采用 χ^2 检验; 4 种重建方式显示栓子的一致性采用 Kappa 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

扫描所用平均管电流为 $(353.55 \pm 87.56) \text{ mAs}$, CTDIvol 为 $(7.29 \pm 1.18) \text{ mGy}$, DLP 为 $(288.14 \pm 53.83) \text{ mGy} \cdot \text{cm}$, ED 为 $(4.90 \pm 0.91) \text{ mSv}$ 。

4 组图像客观质量见表 1。肺动脉 CT 值、肺动静脉 CT 值比值的差异无统计学意义 ($P > 0.05$), 而图像噪声、SNR 及 CNR 差异均有统计学意义 (P 均 < 0.001 , 图 1), 且 4 组图像噪声两两比较的差异均有统计学意义 (P 均 < 0.05); FBP 组的 SNR 及 CNR 与 iDose¹ 组比较, 差异无统计学意义 ($P = 0.055, 0.078$), 与 iDose³ 组和 iDose⁵ 组比较, 差异有统计学意义 ($P < 0.01$); iDose¹ 组的 SNR 及 CNR 与 iDose³ 比较, 差异均无统计学意义 ($P = 0.079, 0.116$), 与 iDose⁵ 组相比, 差

表 1 不同重建方式 CTPA 图像客观图像质量 ($\bar{x} \pm s$)

组别	CT 值(HU)				肺动静脉 CT 值比值	噪声 (HU)	SNR	CNR
	肺动脉主干	右肺上叶动脉	右肺下叶后 基底段动脉	肺动脉平均值				
FBP 组	480.26±172.05	493.68±155.68	463.87±152.24	479.27±155.20	1.54±0.70	51.32±11.51	9.48±2.80	8.28±2.73
iDose ¹ 组	476.38±162.03	494.22±160.51	466.15±158.09	478.92±154.37	1.52±0.68	41.57±6.35	11.59±3.56	10.20±3.52
iDose ³ 组	475.86±161.42	491.72±157.88	460.68±157.10	476.08±152.70	1.52±0.67	35.33±5.79	13.53±3.93	11.91±3.89
iDose ⁵ 组	474.88±161.15	492.54±162.79	464.82±160.32	477.41±155.80	1.53±0.69	30.88±5.24	15.60±4.86	13.71±4.82
F 值	0.005	0.001	0.006	0.002	0.004	33.578	11.545	9.264
P 值	0.999	1.000	0.999	1.000	1.000	<0.001	<0.001	<0.001

异有统计学意义 ($P < 0.01$), iDose³ 组与 iDose⁵ 组比较, 差异无统计学意义 ($P = 0.062, 0.099$)。

FBP、iDose¹、iDose³ 及 iDose⁵ 组的主观图像质量评分分别为 4.32 ± 0.48 、 4.35 ± 0.49 、 4.42 ± 0.50 、 4.52 ± 0.51 分, 差异无统计学意义 ($H = 2.508, P = 0.474$)。

急性肺栓塞的显示率为 40.00% (16/40), 阴性率为 60.00% (24/40) 例。4 种重建方式对段级以上肺动脉栓塞、段级肺栓塞和亚段肺动脉栓塞的显示率差异无统计学意义 (P 均 > 0.05 ; 表 2)。4 种重建方式对栓子显示的一致性差, 差异无统计学意义 ($Kap-pa = 0.007, P = 0.839$)。

3 讨论

医疗辐射可导致易感组织癌变、机体免疫力下降及胎儿畸形等, 年龄越小越敏感, 且至少占工业国家平均人口每年总辐射剂量的 1/10^[5-7]。目前, 有多种降低辐射剂量的方法, 其中以降低管电压最常见, 其在胸部 CT 检查中效果最佳, 主要因胸部对 X 线的低吸收特性, 突出了空气与血管、肺间质的对比度; 因此其降低辐射剂量的效果优于其他方法 (如降低管电流、增大螺距等)。正常体质量人群接受 CT 扫描时, 管电压由 120 kV 降至 80 kV, 辐射剂量降低 67.2%^[8], 但 X 线穿透力减弱, 图像的噪声增加。管电压每降低 20 kV, 图

像噪声增加约 16.8%^[8-9]。噪声越大, 图像的 SNR 及 CNR 越低, 影响对外周微小病灶及远端肺动脉内微小栓子的观察, 易漏诊, 且患者体质量越大, 该类情况越严重。IR 解决了降低管电压所造成图像噪声增加的问题^[10]。本研究发现, 在显示肥胖患者微小栓子中, IR 技术较 FBP 显示得更好, 并随着 IR 重建权重的增

表 2 不同重建方式 CTPA 图像对各部位肺栓塞的显示率 (%)

重建方式	段级以上肺动脉栓塞	段级肺栓塞	亚段肺栓塞
FBP	13.33(6/45)	66.67(30/45)	20.00(9/45)
iDose ¹	12.24(6/49)	65.31(32/49)	22.45(11/49)
iDose ³	11.76(6/51)	64.71(33/51)	23.53(12/51)
iDose ⁵	11.32(6/53)	62.26(33/53)	26.42(14/53)
χ^2 值	0.101	0.221	0.584
P 值	0.992	0.974	0.900

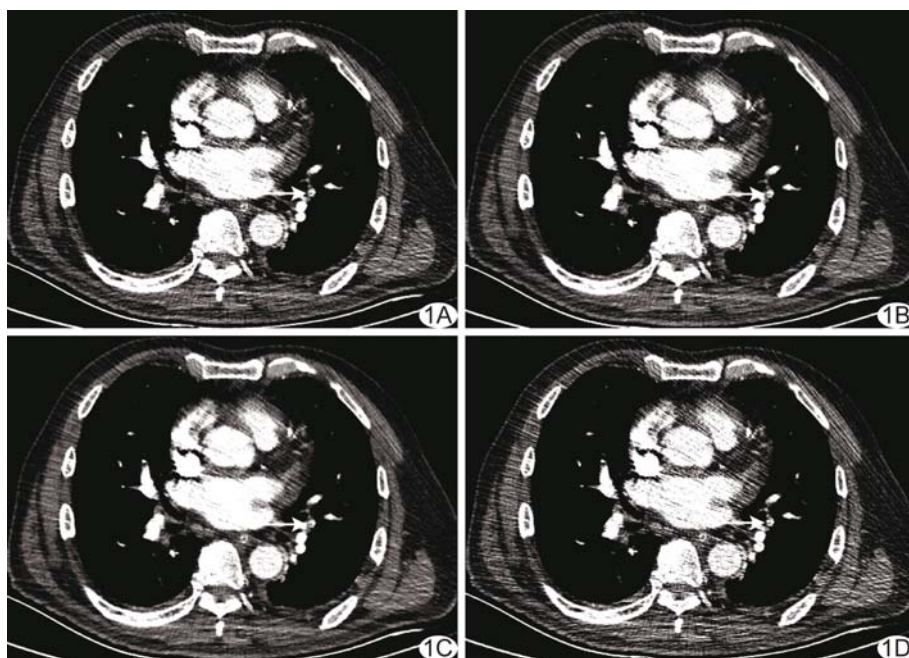


图 1 患者男, 65 岁, BMI=31.22 kg/m², 分别为 iDose⁵ (A)、iDose³ (B)、iDose¹ (C) 及 FBP (D) 法重建轴位图像, 可见左肺下叶背段内栓子 (箭), 图像噪声分别为 35.3、41.8、48.5、54.2, CNR 分别为 10.7、9.1、7.7、6.8, 对左肺下叶背段内栓子的显示效果越来越差, 尤以 FBP 为著

加而提升,其对亚段级肺动脉栓塞的显示率越来越好。且本研究由于 FBP 及 iDose¹ 图像噪声过大,干扰了对亚段肺动脉内栓子的观察,1 例患者 FBP 及 iDose¹ 显示栓子,但在 iDose³ 及 iDose⁵ 图像上并无明显的充盈缺损征象。原因可能为:本研究受检者为肥胖患者,80 kV 扫描条件对其而言较低,有效成像的 X 线光子数减少,投影数据不足,且 FBP 组图像颗粒感明显,血管边缘模糊,再加上伪影,影响了对栓子的显示;iDose¹ 在降低图像噪声方面虽然有所改善,但 IR 比例低于 FBP 所占比例,与 X 线光子分布的真实值有差距,而 iDose³、iDose⁵ 的 IR 比例高,反馈信息较 iDose¹ 丰富,产生的 X 线前向投影估计值与 X 线光子分布的真实值越接近,图像噪声小,对病灶的显示也优于 FBP 及 iDose¹。因此,iDose 级别越高,图像质越好,对亚段肺动脉内小栓子的显示越清晰。

肥胖的体型可降低 X 线的穿透力,增加图像噪声并使患者吸收更多散射线。本研究管电压采用 80 kV,旨在降低肥胖患者所接受的辐射剂量,虽然 CTPA 图像噪声增加的程度高于正常体质量人群,但本研究采用 IR 技术。比较 FBP 与 3 种级别 IR(iDose¹、iDose³、iDose⁵) 技术对肥胖患者图像噪声降低的程度,结果显示,与 FBP 技术相比,低管电压联合 IR 技术可明显降低图像噪声,提高 SNR 及 CNR,差异有统计学意义($P < 0.05$),且 iDose 级别不同,产生的客观图像质量差异也较明显,并且随 iDose 级别提升,图像噪声呈降低趋势,SNR 及 CNR 呈增高趋势。与 Laqmani 等^[11] 采用 80 kV 对正常体质量患者($BMI = 22.5 \text{ kg/m}^2$) 成像,并比较 FBP 和 IR 技术(iDose²、iDose⁴、iDose⁶) 所得结果类似。但本研究中 4 种重建方式的主观图像质量差异无统计学意义,可能原因为:主观图像质量评价标准主要以肉眼所见的肺动脉及其分支的显示程度为主,不考虑对细微结构的显示,且由于 80 kV 的扫描条件,血管强化程度较高,所以 4 组主观评价结果相差不明显。

本研究的有效辐射剂量为 $(4.90 \pm 0.91) \text{ mSv}$, 虽未设置对照组,但与 Megyeri 等^[4] 采用 100 kV 对 BMI 分别为 $25.0 \sim 29.9 \text{ kg/m}^2$ 、 $\geq 30 \text{ kg/m}^2$ 的患者成像时所得体型特异性剂量评估(7.0 、 8.4 mGy) 相比,ED 分别下降 30.0% 、 41.7% 。降低管电压除降低辐射剂量外,还可增加血管的 CT 值,增加血栓和正常血液间的对比度。研究^[6,12] 表明,管电压越低,血管的强化程度越大,80 kV 与 120 kV 相比,肺动脉 CT 值之差 $> 100 \text{ HU}$ 。本研究中,无论肺动脉平均 CT 值还是各

级肺动脉 CT 值,其均值均大于 450 HU ,即使患者体质量较高,对图像噪声影响较大,但 SNR 及 CNR 仍高于上述研究^[6,12]。

本研究的不足:首先只测量了段级动脉及其以上肺动脉的 CT 值,未进行亚段肺动脉 CT 值的测量,因为管径较细,难以测量并易出现数据失真,且亚段肺动脉栓塞的临床意义尚未明确。其次对比剂浓度过高,剂量较大,还有待进一步探讨。

综上所述,低管电压联合 IR 算法(iDose³ 或 iDose⁵) 可安全用于肥胖患者,以降低图像噪声,并在保证 CTPA 图像质量、满足临床诊断需求的前提下尽量降低患者所受的辐射剂量。

[参考文献]

- [1] 陈松,杨如武,郭佑民,等. CT 和 MR 血管成像诊断急性肺栓塞的 Meta 分析. 放射学实践, 2014, 29(12): 1409-1414.
- [2] Szucs-Farkas Z, Megyeri B, Christe A, et al. Prospective randomised comparison of diagnostic confidence and image quality with normal-dose and low-dose CT pulmonary angiography at various body weights. Eur J Radiol, 2014, 24(8): 1868-1877.
- [3] 唐春香,张龙江,卢光明. 急性肺栓塞 CT 肺动脉成像的研究进展. 中国医学影像技术, 2014, 30(9): 1318-1321.
- [4] Megyeri B, Christe A, Schindera ST, et al. Diagnostic confidence and image quality of CT pulmonary angiography at 100 kVp in overweight and obese patients. Clin Radiol, 2015, 70(1): 54-61.
- [5] Schauer DA, Linton OW. National Council on Radiation Protection and Measurements report shows substantial medical exposure increase. Radiology, 2009, 253(2): 293-296.
- [6] Zamboni GA, Guariglia S, Bonfante A, et al. Low voltage CTPA for patients with suspected pulmonary embolism. Eur J Radiol, 2012, 81(4): e580-e584.
- [7] Szucs-Farkas Z, Christe A, Megyeri B, et al. Diagnostic accuracy of computed tomography pulmonary angiography with reduced radiation and contrast material dose: A prospective randomized clinical trial. Invest Radiol, 2014, 49(4): 201-208.
- [8] 富青,余建明,孔祥闯,等. 128 层螺旋 CT 肺动脉低管电压成像的临床可行性研究. 中华放射医学与防护杂志, 2014, 34(1): 62-66.
- [9] 黄伟,徐益明,邵瑾,等. 64 层 CT 管电流调制肺动脉成像: 100 kV 与 120 kV 对比. 中国医学影像技术, 2010, 26(10): 1960-1963.
- [10] 王素雅,王娅敏,刘杰,等. 超低剂量下不同迭代重建技术在肺动脉成像中的优化. 中国医学影像技术, 2016, 32(5): 790-794.
- [11] Laqmani A, Regier M, Veldhoen S, et al. Improved image quality and low radiation dose with hybrid iterative reconstruction with 80 kV CT pulmonary angiography. Eur J Radiol, 2014, 83(10): 1962-1969.
- [12] 路莉,张龙江,周长圣,等. 双源双能量不同管电压 CT 肺动脉成像质量的对比研究. 中华放射学杂志, 2011, 45(12): 1127-1131.