

· 心血管影像学 ·

低浓度低剂量对比剂宝石能谱 CT 肺动脉成像的初步研究

何霖, 万正国, 尹喜, 王成伟

【摘要】 目的:探讨应用低浓度、低剂量对比剂宝石能谱 CT 肺动脉成像的可行性。**方法:**60 例临床拟诊为肺动脉栓塞(PE)的患者随机分成两组,每组 30 例,行 CT 肺动脉血管成像(CTPA)检查。A 组为常规组,使用浓度为 370 mg I/mL 的对比剂碘帕醇,用量为 60 mL,扫描管电压为 120 kVp。B 组为能谱组,使用浓度为 300 mg I/mL 的对比剂碘帕醇,用量为 20 mL,扫描方式为能谱模式(GSI)。比较常规组和能谱最佳单能量组肺动脉 CT 值、图像背景噪声、信噪比(SNR)、对比噪声比(CNR)、CT 剂量指数(CTDIvol)、剂量长度乘积(DLP)、有效辐射剂量(ED)及图像质量主观评分的差异。**结果:**B 组肺动脉最佳单能量图像能量水平集中在 63~68 keV。能谱组(7.5g)较常规组(24.0g)所用的碘总量明显下降,两组差异有统计学意义($P<0.05$)。能谱最佳单能量组图像质量与常规组 CTPA 相比,两者肺动脉 CT 值、图像噪声、SNR、CNR、DLP、ED 以及主观评分之间差异均无统计学意义($P>0.05$)。**结论:**宝石能谱 CT 低浓度、低剂量对比剂 CTPA 检查,在降低人体碘摄入量的同时,能达到与常规 120 kVp 结合高浓度、常规剂量对比剂相当的图像质量,且辐射剂量未增加。

【关键词】 体层摄影术, X 线计算机; 肺动脉; 对比剂; 辐射剂量

【中图分类号】 R543.2; R814.42 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2016)01-0059-04

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2016.01.014

Preliminary study of low dose, low concentration contrast media in CT pulmonary angiography with spectrum gemstone CT

HE Lin, WANG Zheng-guo, YIN Xi, et al. Department of CT Room, the First Affiliated Hospital of the Medical College of Shihezi University, Xinjiang 832002, P. R. China

【Abstract】 Objective: To evaluate the feasibility of low dose, low concentration contrast agent in CT pulmonary angiography (CTPA) with spectrum gemstone CT. **Methods:** A total of 60 patients with suspected pulmonary embolism (PE) were randomly divided into 2 groups, with 30 patients in each group, CTPA was performed. Group A (conventional group) received 60mL (370mg I/mL) lopamidol at tube voltage as 120kVp; group B (spectrum group) were scanned with GSI mode, 20mL (300mg I/mL) lopamidol was used. The differences of CT value of pulmonary artery, image noise, signal-to-noise ratio (SNR), contrast-to-noise ratio (CNR), volume CT dose index (CTDIvol), dose length product (DLP), effective dose (ED) and the subjective scoring of image quality of these 2 groups were compared. **Results:** The optimal monochromatic images of pulmonary artery in group B were at 63~68keV. The total amount of iodine in group B was obviously lower than that in group A (7.5 vs 24.0g), with statistically significant difference ($P<0.05$). No statistical differences between these two groups were found in CT values of pulmonary arteries, image noise, SNR, CNR, DLP, ED and subjective scoring of image quality ($P>0.05$). **Conclusions:** Spectral CT monochromatic imaging with low concentration and low dosage of contrast agent can provide the same image quality as that of the conventional (120kVp) CTPA technique, without an increase of radiation dosage.

【Key words】 Tomography, X-ray computed; Pulmonary artery; Contrast medium; Radiation dose

多排螺旋 CT 肺动脉血管成像(computed tomography pulmonary angiography, CTPA)已经成为临床怀疑肺动脉栓塞(pulmonary embolism, PE)患者首选的影像检查方法^[1]。在进行 CTPA 检查时必然要使用对比剂,目前使用的碘对比剂相对来说是安全的,但是是一些对比剂的不良反应如对比剂肾病还是有一定的发生率^[2]。对比剂肾病的发生与机体摄入的碘总量有着密切关系^[3],减少对比剂用量或降低对比剂浓度

都能降低对比剂肾病的发生率。本研究拟通过能谱 CT 最佳单能量图像结合低浓度、低剂量对比剂 CTPA 检查,以期达到与常规 120 kVp 扫描结合高浓度、常规剂量对比剂相似的肺动脉强化效果,从而减少碘对比剂的用量及降低对比剂肾病的发生率。

材料与方法

1. 病例资料

搜集 2014 年 12 月—2015 年 5 月我院拟诊为肺动脉栓塞行 CTPA 检查的 60 例患者。按照不同扫描方式及对比剂用量随机分为 A、B 两组, A 组(120 kV、

作者单位: 832002 新疆, 石河子大学医学院(何霖、万正国);
832002 石河子大学第一附属医院 CT 室(尹喜、王成伟)
作者简介: 何霖(1986—), 男, 甘肃天水人, 硕士研究生, 主要从事
肿瘤与神经系统疾病的影像诊断工作。
通讯作者: 王成伟, E-mail: 308199733@qq.com

对比剂用量 60 mL, 碘帕醇 370 mg/mL) 及 B 组(能谱模式, 对比剂用量 20 mL, 碘帕醇 300 mg/mL) 各 30 例。其中 A 组男 18 例, 女 12 例, 年龄 40~78 岁, 平均(63.9±8.7)岁, 体质指数(body mass index, BMI) 20.42~24.61 kg/m², 平均(22.6±1.3) kg/m²。B 组男 19 例, 女 11 例, 年龄 45~80 岁, 平均(62.9±11.1), BMI 16.14~27.58 kg/m², 平均(22.8±3.2) kg/m²。病例排除标准: 碘对比剂过敏、严重肝肾功能不全、严重失代偿性心功能不全、BMI>28 kg/m² 的患者。本研究系前瞻性研究, 已通过医院伦理委员会的审查, 所有研究对象均签署了知情同意书。

2. 检查方法

采用 GE Discovery CT 750HD 64 排螺旋 CT 扫描仪。扫描参数: A 组管电压 120 kV, 自动管电流技术, 噪声指数 Ni=15, 探测器宽度 64×0.625 mm, 螺距 1.375, 机架旋转速度 0.4 s/r; B 组采用宝石能谱成像(gemstone spectral imaging, GSI)扫描模式, 管电压在 0.5 ms 内进行 140 kV 和 80 kV 切换, 管电流 600 mA, 探测器宽度 64×0.625 mm, 螺距 1.375, 机架旋转速度 0.4 s/r。扫描范围为肺底至肺尖。两组扫描数据均进行 0.625 mm 层厚的重建, 将重建数据传输至 AW4.6 工作站。

3. 对比剂注射方案

使用 Medrad 高压双筒注射器注射对比剂。首先采用小剂量团注测试法, 将 5 mL 对比剂以 5 mL/s 的流率经右侧肘静脉注射, 追加 10 mL 生理盐水, 于对比剂注射开始后延时 4 s 在靶平面开始低剂量监测扫描(80 kV, 20 ms), 扫描时间为 0.5 s, 间隔为 1.5 s, 共 20 层。选择肺动脉主干为兴趣区进行监测, 获得肺动脉主干的时间-密度曲线, 计算峰值时间, 根据曲线形态加 2~3 s 的经验值为检查的延时时间 T。两组注射流率均为 5 mL/s, 以同样的流率追加生理盐水 40 mL。在开始注射对比剂后延时 T 时间开始扫描, 其中包括 5 s 为指导患者屏气和患者执行屏气的时间。

4. 图像评价

客观评价: 将采集的原始数据传输至 GE AW4.6 工作站。测量肺动脉主干、左右肺动脉干、左右上叶肺动脉(气管隆突层面)、左右基底段肺动脉(大致左心房层面)、左右基底段肺动脉亚段(大致左心室层面)的 CT 值, 同时测量相邻上下两个层面该肺动脉 CT 值, 对 3 个数据取平均值并记录。每次放置兴趣区(region of interest, ROI)的位置、大小、面积尽量一致。当有肺动脉栓塞时, ROI 应避免栓子处或放弃测量。测量图像噪声(以胸大肌 CT 值的标准差为图像噪声)、信噪比(signal noise ratio, SNR)及对比噪声比(contrast to noise ratio, CNR), 其中 SNR=肺动脉主

干 CT 值/胸大肌 CT 值的标准差, CNR=(肺动脉主干 CT 值-胸大肌 CT 值)/胸大肌 CT 值的标准差。B 组的 GSI 数据在工作站载入到 GSI Volume Viewer 界面中, 测量肺动脉主干与胸大肌之间的具有最佳 CNR 时对应的单能量值, 此时该组图像的单能量值就是其最佳单能量值, 然后在该最佳单能量对应的图像上进行上述测量。

主观评价: 采用 5 级评分标准对图像质量进行评价, 图像质量评分如下: 5 分, 血管边缘平滑锐利, 分支及远端显示好, 可用于诊断; 4 分, 血管显示较好, 分支显示较好, 远端显示较好, 可用于诊断; 3 分, 血管主干显示较好, 主要分支显示较好, 远端显示欠佳, 可用于诊断; 2 分, 血管边缘毛糙, 分支及远端显示差, 诊断困难; 1 分, 血管边缘毛糙, 主干、分支显示均欠佳, 无法诊断^[4]。图像主观评分 3~5 分符合诊断要求, 1~2 分不符合诊断要求。上述图像质量评价由 2 位放射科医师采用双盲法完成, 意见不同时经讨论达成一致。

5. 辐射剂量参数

记录扫描后容积 CT 剂量指数(volume CT dose index, CTDIvol)、剂量长度乘积(dose length product, DLP)以及有效剂量(effective dose, ED), ED=DLP×0.014。

6. 统计学处理

使用 SPSS 17.0 软件进行统计学分析。对两组患者年龄、身高、体重及体质指数进行两独立样本的 *t* 检验, 对男女比例及阳性率(CTPA 检查确诊为肺动脉栓塞的患者数占总人数的百分比)进行 χ^2 检验, 对肺动脉 CT 值、图像噪声、SNR 及 CNR 值进行 *t* 检验, 对辐射剂量参数 CTDIvol、DLP 及 ED 值进行 *t* 检验。所有数据行 *t* 检验之前进行 Shapiro-Wilk 正态性检验, 若数据不符合正态分布则采用 Mann-Whitney U 非参数秩和检验。对主观评分进行 Mann-Whitney U 非参数秩和检验。以 *P*<0.05 为差异有统计学意义。

结 果

两组患者的基本临床资料见表 1, 在性别、年龄、身高、体重、BMI、阳性率之间差异均无统计学意义(*P* 值均>0.05)。

表 1 两组患者基本临床资料比较

指标	A 组	B 组	统计学值	<i>P</i> 值
性别(男/女)	18/12	19/11	0.071 ^a	0.791
年龄(岁)	63.9±8.7	62.9±11.7	-1.578 ^c	0.115
身高(cm)	165.0±7.7	164.2±6.4	-3.42 ^c	0.733
体重(kg)	61.7±6.9	61.6±10.7	0.057 ^b	0.954
BMI(kg/m ²)	22.6±1.3	22.8±3.2	-0.21 ^b	0.835
阳性率	30%(9/30)	27%(8/30)	0.082 ^a	0.774

注: a: χ^2 值; b: *t* 值; c: *Z* 值。

2. 最佳单能量的选择

对于 B 组 30 例患者的 GSI 扫描数据进行重建,发现肺动脉最佳单能量图像能量水平集中在 63~68 keV(图 1)。

3. 常规组与最佳单能量组比较

常规组与最佳单能量组进行图像客观质量以及辐射剂量参数比较,两组间 CTDIvol 差异有统计学意义($P<0.05$),其余图像质量客观评价指标及辐射剂量参数差异均无统计学意义(P 值均 >0.05 ,表 2)。

表 2 常规组与最佳单能量组图像质量及辐射剂量参数的比较

指标	常规组	最佳单能量组	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
肺动脉主干(HU)	361.2±69.8	343.4±66.5	1.015	0.314
右肺动脉(HU)	353.6±72.5	337.9±64.2	0.892	0.376
左肺肺动(HU)	351.2±73.5	336.0±67.0	0.837	0.406
左右上叶肺动脉(HU)	347.6±59.8	338.6±61.2	0.812	0.419
左右基底段肺动脉(HU)	337.2±72.6	319.1±54.5	1.547	0.125
左右基底段肺动脉亚段(HU)	309.5±71.0	300.3±53.7	0.790	0.428
噪声(HU)	18.4±4.2	17.4±4.6	0.877	0.384
SNR	20.1±3.0	20.5±4.3	-0.403	0.689
CNR	17.5±3.1	18.1±4.2	-0.645	0.522
CTDIvol(mGy)	8.8±3.9	12.72±0.0	-5.569	0.000
DLP(mGy·cm)	277.2±95.7	307.7±17.8	-1.716	0.096
ED(mSv)	3.9±1.3	4.3±0.3	-1.716	0.096

4. 图像质量主观评分

常规组和最佳单能量组的图像质量均符合诊断要求,其中常规组中评分为 5 分者 16 例,4 分者 10 例,3 分者 4 例(图 2);最佳单能量组中评分为 5 分者 17 例,4 分者 8 例,3 分者 5 例(图 3)。两组图像主观评分间差异无统计学意义($Z=-1.698,P=0.089$)。

讨 论

CTPA 的图像质量与肺动脉的强化程度有很大关系,而肺动脉的强化又与对比剂的种类、用量、注射流

率以及患者个体因素密切相关。单位时间内进入肺动脉内的含碘对比剂越多,管腔的强化程度就越好,图像质量更佳,但是对比剂剂量的增加又会使对比剂肾病的发病率增高^[5];单位时间内进入肺动脉的含碘对比剂减少将影响肺动脉的强化程度,可能无法显示栓子而造成漏诊。如何在满足临床诊断要求和降低对比剂肾病的发生率之间达到平衡,已经成为临床及影像工作者需要共同面对的问题。低浓度、低剂量对比剂 CTPA 检查在普通 CT 中难以实现,但双能 CT 单能量成像技术使得该问题的解决成为可能。

单能量图像是指处于某一能量水平的 X 线穿过物质后产生的衰减图像,对于同一能量水平的单能量图像,物质的衰减系数取决于其本身密度,从而保证了同一物质衰减系数的恒定,避免了硬化效应的产生,图像质量得到改善^[6]。与传统混合能量图像相比,单能量图像能够大大降低硬化伪影的影响并获得相对纯净 CT 值的图像,并且提高图像的 CNR。本研究首先使用优化图像质量和对比噪声比功能确定最大 CNR,然后确定在最大 CNR 时该组图像的最佳 keV 值,最后重建出具有最大 CNR 的最佳单能量图像。本研究发现使用低浓度、低剂量对比剂条件下肺动脉最佳单能量范围为 63~68 keV。Cheng 等^[7]使用能谱 CT 发现肺动脉栓子的最佳 keV 值为 65~70 keV,此时图像具有较低的噪声和较高的 CNR,并且能够满足临床诊断要求,本研究的最佳 keV 略低于 Cheng 等的结果,主要原因可能是由于使用的对比剂浓度不同,其使用的是高浓度对比剂(370 mg I/mL),本研究使用的是低浓度对比剂(300 mg I/mL)。

目前临床上对进行 CTPA 检查的对比剂用量尚无统一标准,多数文献采用的对比剂用量为 60~

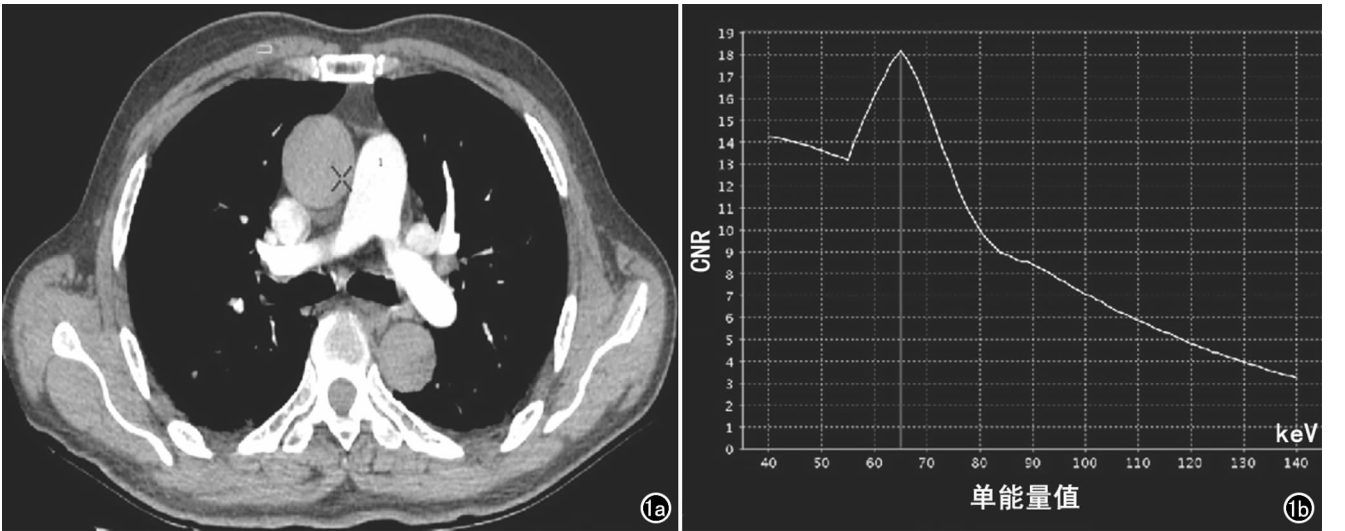


图 1 a) 应用能谱分析软件,在肺动脉主干选取兴趣区,以胸大肌为背景;b) 应用软件自动生成具有最高 CNR 时对应的单能量 keV 值。

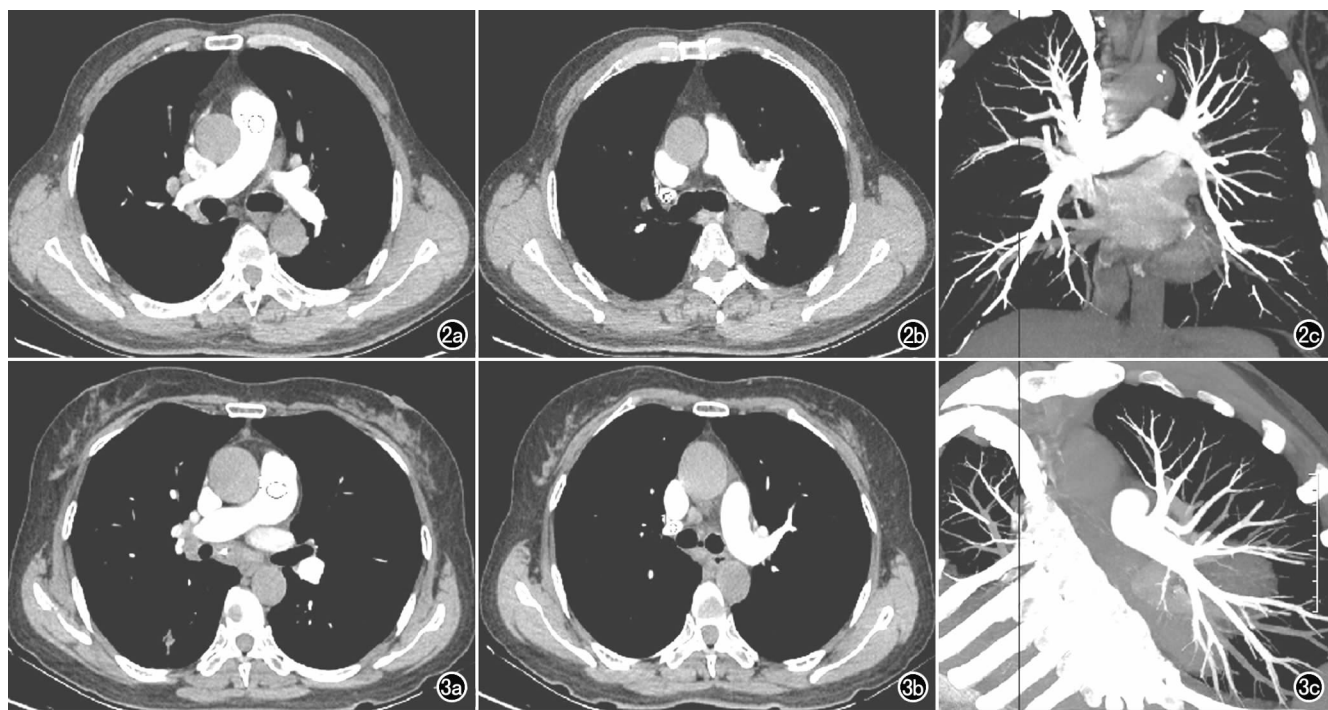


图 2 常规 120 kVp 组图像。a) 肺动脉主干 CT 值为 349 HU; b) 右上肺动脉 CT 值为 336 HU; c) MIP 重建图像示肺动脉及其分支显示清晰。图 3 最佳单能量组图像。a) 肺动脉主干 CT 值为 340 HU; b) 右上肺动脉 CT 值为 326 HU; c) MIP 重建图像示肺动脉及其分支显示清晰。

100 mL^[8,9]。肺动脉 CTA 检查一般采用肘静脉给药的方式,对比剂的循环途径为:肘静脉-上腔静脉-右心房-右心室-肺动脉,由于它不经过体循环,可以不必按照体重来计算对比剂用量。Singh 等^[10]采用 120 kV、200~340 mAs 的扫描参数对 24 例肾功能不全且怀疑肺动脉栓塞的患者行 CTPA 检查,使用 30 mL 对比剂 (350 mg I/mL),结果发现肺动脉的强化程度很高,肺动脉主干及叶肺动脉平均 CT 值为 247 HU,段及亚段肺动脉 CT 值也超过 200 HU。本研究采用的对比剂剂量、浓度都低于 Singh 等的研究,若采用 120 kV 扫描方式,肺动脉内 CT 值势必会下降,从而影响对疾病的诊断,所以笔者又结合能谱 CT 最佳单能量图像以增加图像的对比度。比较最佳单能量组和常规组肺动脉 CT 值、图像噪声、SNR、CNR,虽然最佳单能量组各级肺动脉的 CT 值均低于常规组,但是两组之间差异均无统计学意义,并且最佳单能量组的 SNR、CNR 值均高于常规组。Bae 等^[11]研究报道当肺动脉内 CT 值 >250 HU 就能够达到诊断肺动脉栓塞的要求,本研究中肺动脉各级分支管腔 CT 值均 >250 HU,并且常规组和最佳单能量组图像主观评分差异无统计学意义,均能满足诊断要求。在诊断肺动脉栓塞阳性率方面,常规组的阳性率为 30%,能谱组为 27%,两组差异也无统计学意义。

本研究中常规组人体摄入的碘总量为 24.0 g,能谱组为 7.5 g,因为本研究采用的是小剂量团注测试法

计算延时时间,相对于团注对比剂跟踪技术要多用 5 mL 的对比剂,如果采用团注对比剂跟踪技术,那么人体碘的摄入量可降为 6 g。Marenzi 等^[12]认为碘对比剂用量是导致对比剂肾病发生的独立危险因素,在满足临床诊断要求的同时尽量减少碘对比剂用量,可有效降低对比剂肾病的发生率。

虽然本研究中能谱组 ED 值较常规组高,但两组之间差异无统计意义。在 GSI 扫描模式中使用的管电流为 600 mA,在本文发稿过程中我科的能谱 CT 进行了升级,升级后 GSI 扫描模式能够选择不同的 CT-DIvol 值。笔者在 CT-DIvol 为 8.79 mGy、管电流为 440 mA 时做了几例低浓度、低剂量 CTPA 初期测试,其 DLP 约为 210 mGy·cm,ED 约为 2.9 mSv,但是在增加样本量以后,其在图像质量及辐射剂量方面与常规组是否有差异,有待进一步研究。

综上所述,能谱 CT 最佳单能量图像结合低浓度、低剂量对比剂进行 CTPA 检查,在降低人体碘摄入的同时,能够达到与常规 120 kV 结合高浓度、常规剂量对比剂相当的图像质量,同时满足临床诊断要求。

参考文献:

- [1] Dogan H, de Roos A, Gelejiins J, et al. The role of computed tomography in the diagnosis of acute and chronic pulmonary embolism[J]. Diagn Interv Radiol, 2015, 21(4): 307-316.
- [2] Newhouse JH, RoyChoudhury A. Quantitating contrast medium-induced nephropathy: controlling the controls[J]. Radiology,

- 2013;267(1):4-8.
- [3] Katzberg RW, Barrett BJ. Risk of iodinated contrast material—induced nephropathy with intravenous administration[J]. Radiology, 2007, 243(3):622-628.
- [4] Matsuoka S, Hunsaker AR, Gill RR, et al. Vascular enhancement and image quality of MDCT pulmonary angiography in 400 cases: comparison of standard and low kilovoltage settings[J]. AJR, 2009, 192(6):1651-1656.
- [5] 古丽娜·阿扎提, 潘存雪, 刘文亚, 等. 能谱 CT 成像结合低浓度对比剂用于冠状动脉 CT 血管成像的初步研究[J]. 中华放射学杂志, 2014, 48(10):805-810.
- [6] 林晓珠, 沈云, 陈克敏, 等. CT 能谱成像的基本原理与临床应用研究进展[J]. 中华放射学杂志, 2011, 45(8):798-800.
- [7] Cheng J, Yin Y, Wu H, et al. Optimal monochromatic energy levels in spectral CT pulmonary angiography for the evaluation of pulmonary embolism[J]. PLoS One, 2013, 8(7):e63140.
- [8] 汤振华, 连庆峰. 64 层螺旋 CT 血管成像在肺动脉栓塞中的诊断价值[J]. 医学影像学杂志, 2010, 20(7):971-973.
- [9] 黄源义, 万兵, 刘四斌. MSCT 肺动脉血管诊断肺血管病变的临床价值[J]. 放射学实践, 2010, 25(12):1354-1357.
- [10] Singh T, Lam KV, Murray C. Low volume contrast CTPA in patients with renal dysfunction[J]. J Med Imaging Radiat Oncol, 2011, 55(2):143-148.
- [11] Bae KT, Tao C, Gurel S, et al. Effect of patient weight and scanning duration on contrast enhancement during pulmonary multidetector CT angiography[J]. Radiology, 2007, 242(2):582-589.
- [12] Marenzi G, Assanelli E, Campodonico J, et al. Contrast volume during primary percutaneous coronary intervention and subsequent contrast-induced nephropathy and mortality[J]. Ann Intern Med, 2009, 150(3):170-177.

(收稿日期:2015-06-29 修回日期:2015-09-02)

《放射学实践》杂志微信公众平台开通啦!

2015 年 6 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, 2008 年之后的第 3 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,为关注医学影像领域的广大人士服务,也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. 或者在“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”,将手机镜头对准下面的二维码,扫出后点击关注即可。



期待您的加入!