

· 心血管影像学 ·

双能量非线性融合技术补救非峰值肺动脉 CTA 图像质量的应用价值

黄益龙, 韩丹, 蒋悦, 金戈人, 赵雯, 赵卫

【摘要】 目的:探讨双能量非线性融合(NLB)技术在补救非峰值肺动脉 CTA 图像质量(主观评分 ≤ 3 分)中的应用价值。**方法:**回顾性搜集 64 例图像质量主观评分 ≤ 3 分的肺动脉双能 CTA 图像(线性融合图像, LB 组), 将每例患者的原始图像采用 NLB 技术进行后处理, 获得非线性融合图像(NLB 组)。比较两组图像上 7 支肺血管(肺动脉主干、右肺动脉、左肺动脉、左肺上叶动脉、左肺下叶动脉、右肺上叶动脉、右肺下叶动脉)、栓子及背部肌肉的 CT 值及其标准差(SD)、信号噪声比(SNR)、对比噪声比(CNR)和图像质量主观评分。主观评分采用 5 分法, ≤ 3 分为非峰值图像。**结果:**CT 显示肺动脉栓塞 31 例。NLB 组 7 支肺血管 CT 值、SNR 及 CNR 较 LB 组提高($P < 0.05$)。栓子平均 CT 值 NLB 组低于 LB 组, NLB 组栓子 CNR 较 LB 组升高($P < 0.05$), 而 NLB 组血管层面背部肌肉平均 CT 值和 SD 与 LB 组相比, 差异无统计学意义($P > 0.05$)。NLB 组主观评分高于 LB 组, 主观评分提高 0.53 分($P < 0.05$)。**结论:**NLB 技术可提高图像质量并增强肺栓子与血管对比度, 补救非峰值肺动脉 CTA 图像。

【关键词】 肺动脉栓塞; 双能 CT; 血管成像; 非线性融合技术; 图像质量

【中图分类号】 R543.2; R814.42 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2017)04-0383-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2017.04.019

Application value of using dual energy CT with non-linear blending technique to improve the image quality of off-peak CTPA

HUANG Yi-long, HAN Dan, JIANG Yue, et al. Department of Imaging, the First Affiliated Hospital of Kunming Medical University Yunnan, Kunming 650032, China

【Abstract】 Objective: To investigate the application of non-linear blending technique with dual energy CT to improve the image quality on off-peak CTPA with the subjective score ≤ 3 . **Methods:** The CT images of 64 patients undergone contrast-enhanced dual energy CT of chest were collected, the images were defined as linear blending group, their subjective score was ≤ 3 for image quality. The CT raw data of each patient were post-processed with non-linear blending technique. Therefore, images were divided into linear blending (LB) group and non-linear blending (NLB) group. The contrast image quality score, CT value and SD, SNR and CNR of 7 pulmonary arteries including pulmonary artery trunk, right pulmonary artery, left pulmonary artery, left upper lobe artery, left lower lobe pulmonary artery, right upper lobe pulmonary artery and right lower lobe artery, embolus and muscles at the back of chest were measured and calculated, as well as the subjective scoring of image quality was performed. Using 5 grade for the scoring, and ≤ 3 was judged as off-peak image. **Result:** 31 cases showed pulmonary embolism (PE) on CTPA. The CT values, SNRs and CNRs of the 7 pulmonary arteries in NLB group were improved when compared with that of LB group, with significant statistic difference ($P < 0.05$). The mean CT value of pulmonary embolus in NLB group was lower than that of LB group, and the CNR of embolus in NLB group was higher than that of LB group ($P < 0.05$). The mean CT value and SD of the muscles at the back of chest in NLB group had no statistically significant difference when compared with that of LB group ($P > 0.05$). The subjective image score of NLB group increased 0.53 when compared with that of LB group ($P < 0.05$). **Conclusion:** The image quality could be improved by NBL technique, as well as the contrast of pulmonary embolus and artery could be enhanced, thus, the off-peak CTPA images could be rectified.

【Key words】 Pulmonary embolism; Dual-energy CT; Angiography; Non-linear blending technique; Image quality

肺动脉栓塞(pulmonary embolism, PE)是临床常见急症,致死率及致残率均较高。CT 肺动脉血管成像(CT pulmonary angiography, CTPA)已成为临床诊

断 PE 的首选检查,但常因患者肺血管痉挛、心肺循环功能差、呼吸伪影及扫描技术等因素,导致图像质量不佳,甚至影响准确诊断^[1-2]。重复扫描则增加患者所接受的辐射剂量及经济负担。双源 CT 双能量单次扫描可同时获得两种电压的图像及系列衍生图像。一般情况下线性融合(linear blending, LB)图像已能满足诊断要求。而非线性融合(non-linear blending, NLB)技

作者单位:650032 昆明,昆明医科大学第一附属医院影像学科
作者简介:黄益龙(1991-),男,福建莆田人,硕士研究生,主要从事影像诊断工作。
通讯作者:韩丹, E-mail: kmhandan@sina.com
基金项目:云南省创新团队基金项目资助(2014HC018);昆明医科大学研究生创新基金资助(KM2007L33)

术可以改进图像质量。文献报道 NLB 可明显改善肝门静脉和肿瘤病灶的图像质量,目前尚未见 NLB 补救 CTPA 图像质量的临床应用^[3-5]。因此,本研究对行双能胸部 CTPA 检查的非峰值 LB 图像(主观评分 ≤ 3 分)采用 NLB 技术进行后处理,旨在评估 NLB 技术对改善和提高 CTPA 图像质量的临床应用价值。

材料与方法

1. 研究对象

回顾性搜集 2011 年 5 月—2015 年 11 月在本院行双能胸部 CTPA 检查(LB 图像)、且其图像质量评分 ≤ 3 分的 64 例患者的病例资料。其中男 28 例,女 36 例,年龄 23~87 岁,平均 (62.16 ± 16.00) 岁。64 例患者中 31 例 CTPA 诊断为肺栓塞,33 例无肺栓塞征象。

2. 检查方法

使用 Siemens Somatom 第二代双源 CT 机,采用双能量扫描模式,扫描范围自胸廓入口至膈肌水平,足头方向。扫描参数:A/B 管电压 80 kV/Sn140 kV,参考管电流 200/85 mAs,Care dose 4D 技术,64 i $\times$ 0.6 mm,0.28 s/r,螺距 0.45,层厚 1 mm,层距 0.7 mm,FBP 重建。LB 图像融合权重因子 $M=0.6$ (相当于 120 kV 电压扫描)。对比剂为碘普罗胺(370 mg I/mL),注射流率 5 mL/s,总量 50 mL,随后相同流率注射 50 mL 生理盐水。采用对比剂团注跟踪技术,监测平面位于右心室,触发阈值 100 HU,平均扫描时间 4.98 s,延迟时间 2.00 s。

3. 图像后处理及分析

扫描后自动获得 80 kV 和 Sn140 kV 图像及 LB ($M=0.6$) 图像。采用 Siemens 后处理工作站(MM-WP70212—VIA101174)和优化对比(Optimal Contrast)软件,系统默认融合中心(blending center,BC)为 150 HU,融合宽度(blending width,BW)为 200 HU,获得横轴面 NLB 图像,然后进行 MPR、MIP 及 VR 图像重组。

4. 图像质量评价

图像质量客观评价:在横轴面图像上测量 7 支血管(肺动脉主干、右肺动脉、左肺动脉、左肺上叶动脉、左肺下叶动脉、右肺上叶动脉、右肺下叶动脉)及血管对应层面背部肌肉、栓子及栓子同层面相邻血管的 CT 值及其 SD。ROI 置于血管分叉远端 1 厘米的位置,面积占各支血管或栓子截面积的 70%~80%,避开钙化或血管狭窄严重区域。血管部分栓塞的病例只测量栓子及同层面残留血管腔,完全栓塞的病例则不测量。LB 组和 NLB 组各 ROI 所在层面、位置及大小均保持一致。计算各支血管及栓子的信号噪声比

(SNR)和对比噪声比(CNR):

$$\text{血管信噪比 SNR} = \frac{CT_{\text{血管}}}{SD_{\text{对应血管}}} \quad (1)$$

$$\text{对比噪声比 CNR} = \frac{CT_{\text{血管}} - CT_{\text{背部肌肉}}}{SD_{\text{对应血管}}} \quad (2)$$

$$\text{栓子信噪比 SNR} = \frac{CT_{\text{栓子}}}{SD_{\text{栓子}}} \quad (3)$$

$$\text{对比噪声比 CNR} = \frac{|CT_{\text{栓子}} - CT_{\text{相邻血管}}|}{SD_{\text{栓子}}} \quad (4)$$

图像质量主观评价:窗宽 700 HU、窗位 100 HU,由 2 位诊断经验丰富的医师采用双盲法 5 分制进行评分^[6]。5 分:图像对比度优秀,可显示第 7 级肺动脉血管分支,较好显示肺动脉栓塞,可进行肺动脉栓塞诊断;4 分:图像对比度良好,可显示 5 级肺动脉血管分支,可进行肺动脉栓塞诊断;3 分:图像对比度一般,可显示第 4 级肺动脉血管分支,大致能够满足临床诊断要求;2 分:图像对比度较差,肺动脉 3 级血管解剖结构显示较模糊,分支血管不清,无法达到明确诊断要求;1 分:图像对比度差,肺动脉主干结构模糊,显示不清,无法达到诊断要求。评分 ≤ 3 分为非峰值图像质量。可诊断率为评分 3~5 分的病例数量与患者总数的比值,优良率为评分 4~5 分的患者数与患者总数的比值。

5. 统计学分析

使用 SPSS 22.0 统计学软件。计量资料采用 Shapiro-Wilk 正态性检验,服从正态采用分别者采用两组间配对 t 检验。非正态分布数据则采用中位数(上下四分位数)描述,选择 Wilcoxon 检验进行分析。两位观察者图像质量主观评分的一致性采用 Kappa 分析。图像质量评分非正态分布,采用非参数 Mann-Whitney U 检验比较组间差异。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. 血管图像质量的客观评价

LB 组和 NLB 组中 7 支肺血管及相应层面背部肌肉 CT 值、SNR 及 CNR 的测量值见图 1~2。NLB 组 7 支血管的 CT 值及 SD 值、SNR 及 CNR 较 LB 组提高,差异均有统计学意义($P < 0.05$)。NLB 组血管对应层面背部肌肉的 CT 值较 LB 组降低,但两组间差异无统计学意义($P > 0.05$);但 NLB 组背部肌肉的 SD 值较 LB 组降低,差异有统计学意义($P < 0.05$)。

2. 肺栓子的客观评价结果(表 1)

LB 组和 NLB 组肺动脉栓子的 CT 值、SD、SNR、CNR 及栓子相邻血管 CT 值的测量结果及比较见表 1。两组间肺栓子 CT 值的差异无统计学意义($P > 0.05$)。与 LB 组比较,NLB 组中肺栓子的 SD 值减低,SNR、CNR 和栓子相邻血管的 CT 值升高,差异均有

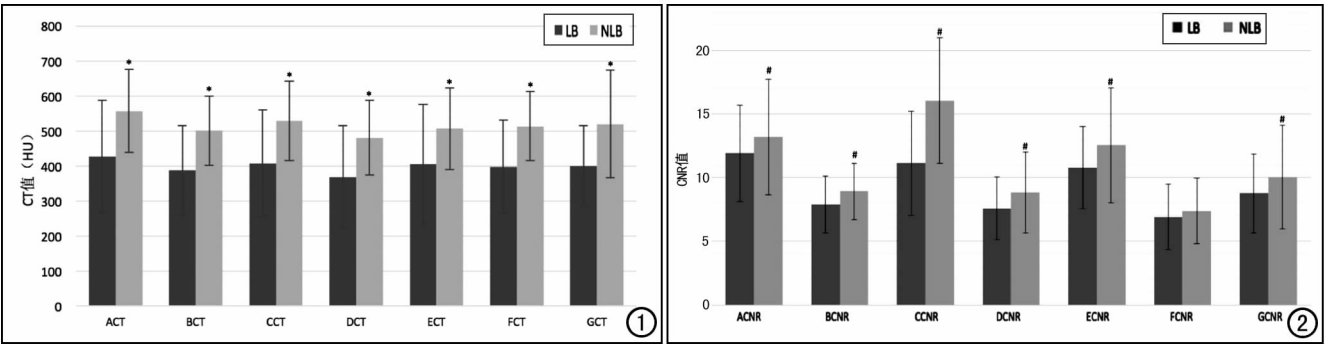


图1 各支肺血管CT值的直方图。NLB组7支肺动脉分支的CT值均高于LB组($P<0.05$)。标准线表示标准差。ACT=肺动脉主干;BCT=右肺动脉;CCT=左肺动脉;DCT=左肺上叶动脉;ECT=左肺下叶动脉;FCT=右肺上叶动脉;GCT=右肺下叶动脉。图2 各支肺血管CNR的直方图。NLB组7支肺动脉的CNR均高于LB组($P<0.05$)。标准线表示标准差。ACNR=肺动脉主干;BCNR=右肺动脉;CCNR=左肺动脉;DCNR=左肺上叶动脉;ECNR=左肺下叶动脉;FCNR=右肺上叶动脉;GCNR=右肺下叶动脉。

表1 LB组合NLB组肺动脉栓子客观指标的比较

指标	LB	NLB	Z 值	P 值
CT 值(HU)	47.00 (32.50, 64.50)	41.50 (33.00, 61.00)	-1.578	0.115
SD(HU)	28.00 (23.00, 33.25)	22.50(18.25, 28.50)	-2.836	0.005
SNR	1.40(1.20, 2.60)	1.69(1.30, 3.15)	-1.977	0.048
CNR	11.8(8.00, 14.93)	20.04(11.53, 27.70)	-3.296	0.001
相邻血管 CT 值(HU)	355.00(300.05, 416.50)	469.50(397.50, 534.75)	-3.297	0.001

注:LB组和NLB组各项数据采用中位数表示,括号内为四分位数。

统计学意义($P<0.05$)。

3. 两组图像的主观评分结果(表2)

表2 两组图像的主观评价结果 (例)

组别	1分	2分	3分	4分	5分	平均得分	可诊断率(%)	优良率(%)
LB	4	28	32	0	0	2.44±0.62	50.00	0
NLB	2	18	26	18	0	2.97±0.78*	68.75	28.13

两位医师的主观评分的一致性很好(Kappa 值 = 0.672)。LB组和NLB组图像质量的平均评分分别为2.44±0.62和2.97±0.78,差异有统计学意义($P<0.05$),通过NLB技术处理后图像质量评分平均增高0.53分,其中LB组1~2分的图像中43.75%(14/32)的评分增高,LB组3分的图像中56.25%(18/32例)的评分增高,图像的可诊断率由50.00%(32/64)提高到68.75%(44/64),优良率提高了28.13%。

讨 论

CTPA是确诊肺动脉栓塞的最有效检查方法,具有敏感性和特异性高、辐射剂量低、检查快速简便及相对无创等优点^[7]。双能量CTA检查后采用融合技术进行图像重建可获得高对比度、低噪声的图像。线性融合技术(LB)将两种能量扫描获取的信息以固定比例融合,而非线性融合(NLB)技术能够根据图像中每个像素的不同,改变双能量的融合比例,以此达到更好的融合效果。张帆等^[8]体外研究发现,NLB图像较线性融合图像能更进一步提高图像的SNR,增加图像的

对比度。多篇文献报道NLB图像可改善肝门静脉和肿瘤病灶等的图像质量^[4-5],但目前未见NLB技术对CTPA图像处理的研究报道。本研究中采用的NLB后处理软件(Optimum Contrast)采用的是Moidal融合,即改良的“S”形函数双能量图像融合,是根据80 kV图像上每个像素的CT值、融合中心(BC)及融合宽度(BW)来决定该像素的融合比例,通过调整融合系数获得最佳融合效果^[3]。Paul等^[9]对颈部LB比例的研究发现,M=0.6时图像SNR和CNR最大。Lv等^[10]比较了腹部多个血管LB(M=0.5)和NLB图像采用单一融合系数(BC=150 HU,BW=200 HU)的图像质量,结果显示NLB对腹部血管的显示更佳。本研究中LB融合权重因子M选择0.6,即40%的80 kV与60%的140 kV图像信息进行融合;而NLB采用默认融合系数BC和BW。

本组64例LB非峰值CTPA图像(主观图像质量评分≤3分)采用NLB技术进行处理后,7支不同分级不同部位肺动脉血管的CT值、SNR及CNR均有明显增高。由于CTPA图像上肺血管的CT值均较高,NLB可使血管以80 kV能量信息成分为主,以此获得高组织对比的图像^[10]。虽然血管噪声略有增高,但不影响对各支血管的观察,因此NLB主要应用于观察血管病变。NLB图像上背部肌肉的平均CT值与LB组比较无明显差异,且噪声降低,说明NLB技术不仅可提高血管的CT值,还可降低软组织噪声,有利于观察

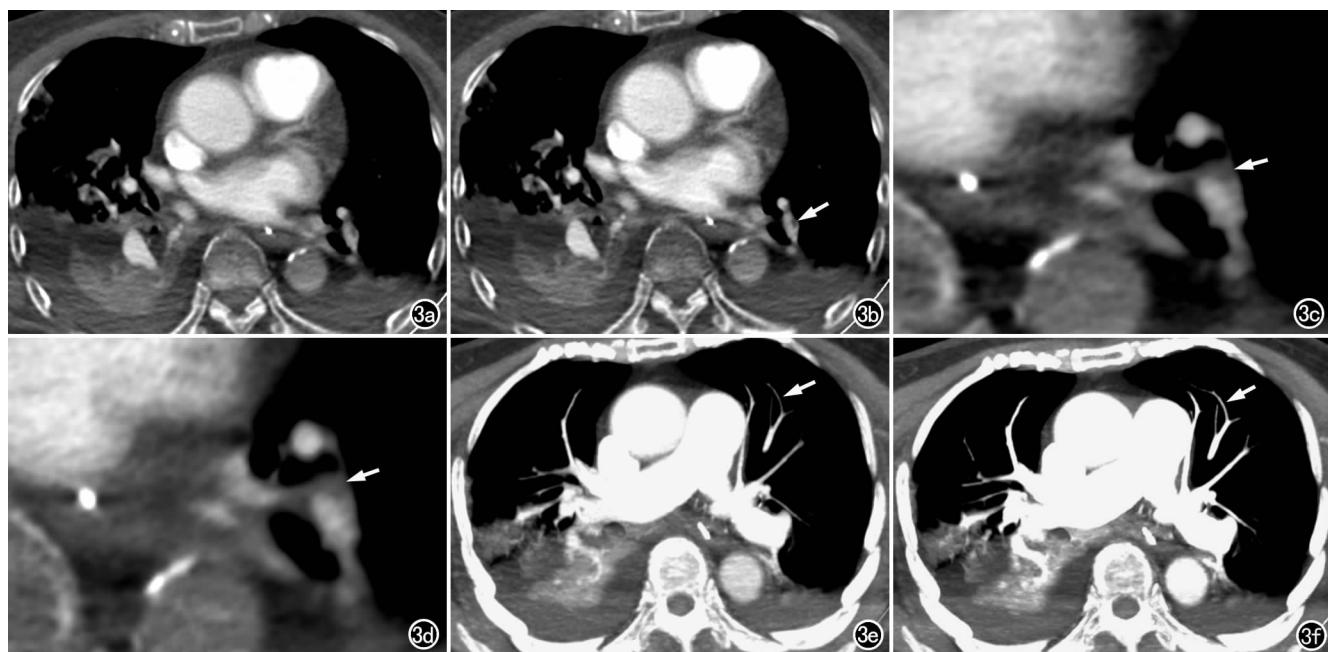


图3 女,87岁,双肺下叶肺动脉栓塞。a)LB图像,图像质量欠佳,主观评分为2分;b)同层面NLB图像,血管对比度更高,栓子显示更清楚(箭),主观评分为3分;c)LB图像,可见左下叶肺动脉内栓子(箭);d)同层面NLB图像,显示栓子的密度和图像噪声减低,邻近血管内CT值增加,栓子与血管间的对比度更高(箭);e)LB-MIP图像,可见远段血管显示模糊(箭);f)同层面NLB-MIP图像,显示的远端细小血管分支更多且更加清晰(箭)。

周围软组织病变。有多位学者的研究结果显示,NBL技术可提高门静脉的CT值和CNR,显著提高门静脉与肝实质的对比^[4,11-13]。NLB图像上肺动脉更清晰锐利,且能显示更远端的血管分支。

本研究中,3分的LB图像通过NLB后处理后28.13%图像质量提高而成为优良图像; ≤ 2 分的LB图像,通过NLB后处理后37.5%的不可诊断、需重扫描的图像转变为可诊断图像,避免了重复扫描所导致的辐射剂量的增加,同时节约了时间。但部分1~2分的图像(20例),经NLB处理后图像质量的改善有限,仍需重新扫描。这可能是由于血管内对比剂含量极低、伪影过大或血管狭窄或痉挛程度较显著等原因。通过调整NBL融合系数后门静脉图像质量较采用默认融合系数的图像有明显提高^[5,13],而本研究中未对是否能通过个性化调节融合系数来获得更佳的CTPA融合图像进行研究。

本组31例CTPA诊断有肺动脉栓塞的病例中,NLB图像上肺动脉栓子的CNR明显高于LB图像,因为NLB技术一方面提高肺动脉栓子相邻血管CT值,一方面可降低栓子的CT值和SD,从而可提高两者间的对比度,能更加精确的观察栓子的大小和范围,更清晰地显示栓子的形态、与管壁的关系及充盈缺损的类型等,可提高对肺动脉栓塞的诊断准确性。有研究发现,NLB技术可增加肿瘤与正常实质间的对比度,能更加明确地显示病灶大小、数目及边缘等,从而

降低漏诊率^[5,14]。本研究结果与此相符。此外,刘杰等^[15]将NLB技术应用于主动脉CTA检查中,发现这一技术可减少对比剂的用量。NLB技术能否减低CTPA检查中的对比剂用量,尚有待研究。

综上所述,双能CTPA采用NBL后处理技术可提高及改善图像质量,提高各级各部位肺动脉CT值和对比噪声比,增强肺栓子与血管的对比度,从而可改善非峰值CTPA图像的质量,弥补部分扫描不足。

参考文献:

- [1] Das M, Wildberger JE. Diagnostics of acute pulmonary embolism: an update[J]. Der Radiologe, 2016, 56(6): 543-556.
- [2] Hargaden GC, Kavanagh EC, Fitzpatrick P, et al. Diagnosis of pulmonary emboli and image quality at CT pulmonary angiography: influence of imaging direction with multidetector CT[J]. Clin Radiol, 2006, 61(7): 600-603.
- [3] Holmes DR, Fletcher JG, Apel A, et al. Evaluation of non-linear blending in dual-energy computed tomography[J]. Eur J Radiol, 2008, 68(3): 409-413.
- [4] Li S, Wang C, Jiang X, et al. Effects of dual-energy CT with non-linear blending on abdominal CT angiography [J]. Korean J Radiol, 2014, 14(4): 430-438.
- [5] 刘欢欢, 张欢, 石磊, 等. 双源CT双能量融合图像在直肠癌应用中的研究初探[J]. 实用放射学杂志, 2013, 29(10): 1610-1612.
- [6] Wittram C. How I do it: CT pulmonary angiography[J]. AJR, 2007, 188(5): 1255-1261.
- [7] Ghaye B, Szapiro D, Mastora I, et al. Peripheral pulmonary arteries: how far in the lung does multi-detector row spiral CT allow analysis[J]. Radiology, 2001, 219(3): 629-636.

- [8] 张帆,杨立. 双能量 CT Moidal 非线性图像融合技术对 CT 图像质量的影响[J]. 中华放射学杂志, 2011, 45(2): 138-141.
- [9] Paul J, Bauer RW, Maentele W, et al. Image fusion in dual energy computed tomography for detection of various anatomic structures-effect on contrast enhancement, contrast-to-noise ratio, signal-to-noise ratio and image quality[J]. Eur J Radiol, 2011, 80(2): 612-619.
- [10] Lv J, Liu P, Wu R, et al. Use of non-linear image blending with dual-energy CT improves vascular visualization in abdominal angiography[J]. Clin Radiol, 2014, 69(2): 63-69.
- [11] 王琦,刘响,王丽佳,等. 双能 CT 非线性融合技术提高门静脉血管图像质量[J]. 中国医学影像学杂志, 2014, 22(6): 427-430.
- [12] Wang Q, Shi GF, Xue LF, et al. Comparative study of hepatic venography using non-linear-blending images, monochromatic images and low-voltage images of dual-energy CT[J]. Br J Radiol, 2014, 87 (1042): 20140220-20140229. DOI: 10. 1259/bjr. 20140220..
- [13] Wang Q, Shi GF, Liu X, et al. Optimal contrast of computed tomography portal venography using dual-energy computed tomography[J]. J Comput Assist Tomogr, 2013, 37(2): 142-148.
- [14] 薛华丹,刘炜,孙昊,等. 第二代双源 CT 双能扫描模式对胰腺癌的影像诊断价值初探[J]. 中国医学科学院学报, 2010, 32(6): 640-644.
- [15] 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脉成像的可行性[J]. 中华放射学杂志, 2014, 48(6): 505-506.

(收稿日期:2016-10-15 修回日期:2017-01-08)

第十四届中国介入放射学学术大会

由中华医学会、中华医学会放射学分会、中华放射学分会介入放射专业委员会、中华医学会放射学分会放射护理专业委员会及河南省医学会主办,河南省医学会介入治疗学分会、河南省医学会放射学分会、河南省人民医院、河南省肿瘤医院及郑州大学第一附属医院承办的第十四届中国介入放射学学术大会暨 2017 年中国放射护理学术大会、河南省医学会介入治疗学分会年会、放射学分会年会、中原脑血管病论坛及中原血管论坛将于 2017 年 6 月 15—18 日在中国郑州国际会展中心举行。

会议内容将涵盖神经、外周血管、肿瘤、综合及护理等有关介入领域的影像、临床与基础研究。

大会将继续秉承「交流、创新、融合、发展」的宗旨,高度重视学术性,始终坚持博采众长、共赢进步的理念。河南省医学会、河南省医师协会、河南省抗癌协会及河南省护理学会将共同努力为全国介入同行打造一个无缝交流、畅通合作的学术共享平台。

医学永无止境,吾辈上下求索。届时国内外介入及相关学科的 500 余学者及 5000 余名参会代表将汇聚于中国郑州,在全球介入领域最大的学术盛会 CSIR2017 中相互渗透、吸收和融合,共同推动中国介入医学的学术进步,共同促进世界介入医学事业的发展和繁荣。

会议报到地点:郑州国际会展中心(郑州市郑东新区商务内环路中央公园 1 号)

会议报到时间:2017 年 6 月 15 日全天报到 08:00—22:00

大会网站:www.csir2017.org

官方微信平台:CSIR2017

会议秘书组联系人(国内联络组):贺迎坤(13783620308) 吴立恒(18638664012) 董俊娇(15238654510)

马俊丽(13526726859) 国内联系邮箱:csir2017@126.com

国外联络组联系人:曹广劭(Dr. Cao, +8615093103069) 白卫星(Dr. Bai, +8613526678722)

朱良付(Dr. Zhu, +8613598881630) 国外联系邮箱:csir2017@hotmail.com

会务公司联系人:刘芳(17710452286 17710502286)

(丁香园)