

## Application of dual-source CT coronary angiography in step-and-shoot mode in patients with high heart rate

GUO Xiao-juan, MA Zhan-hong, LIU Min, GUO You-min\*, SI Li-fang, ZHAI Ren-you  
(Department of Radiology, Beijing Chaoyang Hospital, Capital Medical University,  
Beijing 100020, China)

**[Abstract]** **Objective** To investigate the value of dual-source CT coronary angiography (DSCTA) in step-and-shoot (SAS) mode in patients with high heart rate. **Methods** Fifty-eight consecutive patients (heart rates  $\geq 70$  bpm) underwent DSCTA in adaptive cardio sequence without additional heart rate control were enrolled. Data sets were acquired in 45% and reconstructed in  $45\% \pm 8\%$  R-R intervals of cardiac cycle. Kruskal Wallis H test was performed. Receiver operating characteristic curve (ROC) were applied to analyze the effect of mean heart rate and heart rate changes on motion artifacts. Fourteen patients underwent coronary angiography after accepting DSCTA. The effective radiation dose was calculated. **Results** Diagnostic image quality rank 1—3 was obtained in 95.68% (907/948) of all coronary segments of 58 patients. There was difference of image quality for LAD, LCX in different heart rate changes ( $P < 0.05$ ). Mean heart rate had significant effect on motion artifacts (AUC: 0.75; 95%CI: 0.55—0.96;  $P < 0.05$ ). The sensitivity of DSCTA in SAS mode for the  $< 50\%$  stenosis and  $\geq 50\%$  stenosis was 80.00% (8/10) and 90.48% (38/42), respectively. The specificity was 95.51% (170/178) and the negative predictive value was 96.59% (170/176) in the diagnosis of coronary artery stenosis. The mean estimated effective dose was  $(6.46 \pm 0.12)$  mSv. **Conclusion** It is not necessary to decrease the patient's heart rate over 70 bpm. If the heart rates vary stably, good diagnostic image quality and high performance can be obtained with adaptive cardio sequence, meanwhile effective radiation dose can be reduced significantly.

**[Key words]** Coronary angiography; Heart rate; Radiation dosage; Tomography, X-ray computed

## 双源 CT 自适应心脏步进扫描技术 在高心率患者冠状动脉成像中的应用

郭晓娟, 马展鸿, 刘敏, 郭佑民\*, 司丽芳, 翟仁友  
(首都医科大学附属北京朝阳医院放射科, 北京 100020)

**[摘要]** **目的** 探讨双源 CT 自适应心脏步进扫描技术在高心率患者冠状动脉成像中的应用价值。 **方法** 连续采集 58 例接受 DSCTA 检查 (心率  $\geq 70$  次/分, 均未进行人为干预) 的患者资料。数据收集期为 45% R-R 间期, 重建期为  $45\% \pm 8\%$ 。采用 Kruskal Wallis H 检验分析平均心率、心率变化与图像质量间的关系; ROC 曲线分析平均心率、心率变化对移动伪影产生的影响。14 例患者在 DSCTA 后接受冠状动脉造影 (CAG) 检查。采用 CTDI 和 DLP 计算有效辐射剂量。 **结果** 58 例纳入患者中, 可供评价的血管为 948 段, 图像质量评价为 1~3 级者占 95.68% (907/948)。对于不同的心率变化, 不同级别的 LAD、LCX 的显示节段数比较差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ )。ROC 曲线分析表明平均心率对冠状动脉移动伪影的产生有统计学意义 (AUC: 0.75, 95%CI: 0.55~0.96,  $P < 0.05$ )。DSCTA 诊断狭窄程度  $< 50\%$  及  $\geq 50\%$  血管的敏感度分别为 80.00% (8/10) 和 90.48% (38/42); 诊断血管狭窄的特异度为 95.51% (170/178), 阴性预测值为 96.59% (170/176)。有效辐射剂量为  $(6.46 \pm 0.12)$  mSv。 **结论** 双源 CT 自适应心脏步进扫描技术对于心率  $\geq 70$  次/分的患者无需刻意降低心率, 心率变化平稳患者均能得到良好的图像质量, 诊断效能较高, 可明显降低辐射剂量。

**[关键词]** 冠状动脉血管造影术; 心率; 辐射剂量; 体层摄影术, X 线计算机

**[中图分类号]** R445; R814.42 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2010)07-1358-05

**[作者简介]** 郭晓娟 (1980—), 女, 甘肃天水人, 硕士, 主治医师。研究方向: 胸部影像诊断。E-mail: xjguo1001@126.com

**[通讯作者]** 郭佑民, 首都医科大学附属北京朝阳医院放射科, 100020。E-mail: cjr.guoyoumin@vip.163.com

**[收稿日期]** 2009-11-23 **[修回日期]** 2010-02-04

自适应心脏步进扫描技术(adaptive cardio sequence)是基于心电信号准确预测出下一个固定的心动期相,且只采集某一预先设定的固定期相数据的前瞻性采集方法,可减少不必要的辐射剂量。研究<sup>[1]</sup>表明基于双源 CT 的自适应心脏步进扫描技术对于心率(heart rate, HR) < 70 次/分的稳定心率患者可以获得满意的图像质量,且大大降低辐射剂量,但是对处于高心率状态的受检者其成像质量如何目前鲜见报道。本研究采用双源 CT 自适应心脏步进扫描技术,收集高心率患者(HR ≥ 70 次/分)的冠状动脉成像数据,通过评估图像质量及患者的辐射剂量,探讨其临床可行性及应用价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料 2008 年 9 月—2009 年 5 月间接受双源 CT 冠状动脉造影(dual-source computed tomography coronary angiography, DSCTA)自适应步进扫描的患者共 82 例。排除标准:年龄 < 35 岁;行冠状动脉搭桥术及支架置入;各种原因致心率不齐;对比剂过敏及有活动性出血等;心率 < 70 次/分。纳入标准:有冠心病症状及其危险因素,拟诊冠心病,由专科医师建议需行该项检查。排除数据缺失者 3 例和心率不符合纳入标准者 21 例,最后入选病例 58 例,男 22 例,女 36 例,平均(61.0 ± 10.8)岁,心率 70~105 次/分,所有患者均未进行人为的心率控制。

1.2 仪器与方法

1.2.1 扫描方法 应用 Siemens Somatom Definition 双源 CT, Adaptive Cardio Sequence 序列。扫描前对患者进行呼吸训练。患者仰卧于检查床上,双手上举过头顶,于深吸气后屏气扫描。对比剂注入方法:首先注入 5 ml 地塞米松及 20 ml 生理盐水以减少过敏事件发生并保证置管通畅,再经前臂静脉用高压注射器注入 80~90 ml 非离子型对比剂(优维显, 370 mgI/ml),注药速率 5.0 ml/s,对比剂注射完毕同时再注入 40 ml 生理盐水。

1.2.2 扫描参数 电压 120 kV、电流根据患者体质量修正,参考电流 450 mAs,准直 0.6 mm,球管旋转 1 周 0.33 s,有效层厚 0.75 mm,重建间隔 0.5 mm,矩阵 512 × 512,数据采集期相固定为 45% R-R 间期,重建期相为 45% ± 8%,图像重建函数核(kernel)B30f 平滑算法。在工作站(GE Advantage Workstation AW 4.2)进行血管三维重建后分析评价图像。采用人工自动触发扫描,触发点定于气管分支下约 1 cm 升主动脉水平,触发阈值 100 HU,延时 6 s 扫描。

1.2.3 图像评价方法 以冠状动脉节段为单位评价图像质量。采用美国心脏病协会推荐的改良 16 分段法评价<sup>[5]</sup>(如有中间支,定义为第 17 段)冠状动脉树。以轴位原始图像为评判基础,结合多平面重建(multiplanar re-

construction, MPR)、最大密度投影(maximum intensity projection, MIP)、曲面重建(curved planar reconstruction, CPR)及容积重建(volume rendering, VR)以保证血管腔及管壁显示最佳。

图像质量由 2 名具有 3 年以上心血管 CT 诊断经验的医师采用盲法判定,结果不一致时由 1 名高年资医师裁定。图像评价标准:1 级:优(无伪影,管壁显示清晰锐利);2 级:良(轻度伪影,图像质量较好);3 级:中(有伪影,但不影响管壁显示);4 级:差(明显伪影,无法评价血管)。

1.2.4 影响图像质量的因素 ①血管纤细导致管腔密度浅淡;②血管壁钙质沉积;③血管运动伪影。

1.2.5 冠状动脉造影(coronary angiography, CAG) 本组 14 例患者接受 CAG 检查。冠状动脉插管采用 Seldinger 方法股动脉入路,分别行左、右冠状动脉造影,对比剂种类及浓度同 DSCTA。由心内科医师完成,并在不知道 DSCTA 结果的情况下评价造影结果。

1.2.6 辐射剂量估计 采用 CT 剂量指数(CT volume dose index, CTDI)及剂量长度乘积(the dose-length product, DLP)评估患者的受检剂量;有效辐射剂量[effective dose, ED(mSv)] = DLP × k<sup>[2]</sup>,其中 k 为 Monte Carlo 转换系数<sup>[2]</sup>[男女平均为 0.017 mSv/(mGy · cm)]。

1.3 统计学方法 采用 SPSS 13.0 软件进行统计学分析。计量资料以  $\bar{x} \pm s$  表示,计数资料采用频数及百分数表示;图像质量的比较采用多个独立样本的 Kruskal Wallis H 检验,采用受试者工作特征曲线(receiver operating characteristic curve, ROC)分析检验不同心率和心率变化对血管运动伪影产生的影响。以 CAG 结果为金标准,计算 DSCTA 诊断冠状动脉病变的敏感度、特异度、阴性预测值。显著性水准  $\alpha = 0.05$ 。

2 结果

表 1 图像质量分级与平均心率间的关系(n=948,段)

图像分级	平均心率			$\chi^2$ 值	P 值
	70 次/分 ≤ 心率 < 75 次/分 (n=25)	75 次/分 ≤ 心率 < 85 次/分 (n=26)	85 次/分 ≤ 心率 ≤ 105 次/分 (n=7)		
RCA					
1	72	68	26	5.35	0.07
2	33	42	7		
3	14	17	1		
4	5	3	1		
LAD					
1	91	82	27	4.38	0.11
2	41	44	8		
3	11	20	3		
4	1	5	2		
LCX					
1	80	73	22	0.84	0.66
2	32	38	9		
3	18	23	5		
4	10	10	4		

表 2 图像质量分级与心率变化间的关系(n=948,段)

图像分级	心率变化			$\chi^2$ 值	P 值
	≤5 次/分(n=16)	5~10 次/分(n=20)	>10 次/分(n=22)		
<b>RCA</b>					
1	48	61	57	3.88	0.14
2	23	28	31		
3	7	10	15		
4	1	1	7		
<b>LAD</b>					
1	59	76	65	8.70	0.01
2	24	27	42		
3	9	10	15		
4	0	1	7		
<b>LCX</b>					
1	57	64	54	20.75	<0.001
2	23	27	29		
3	11	13	22		
4	3	7	14		

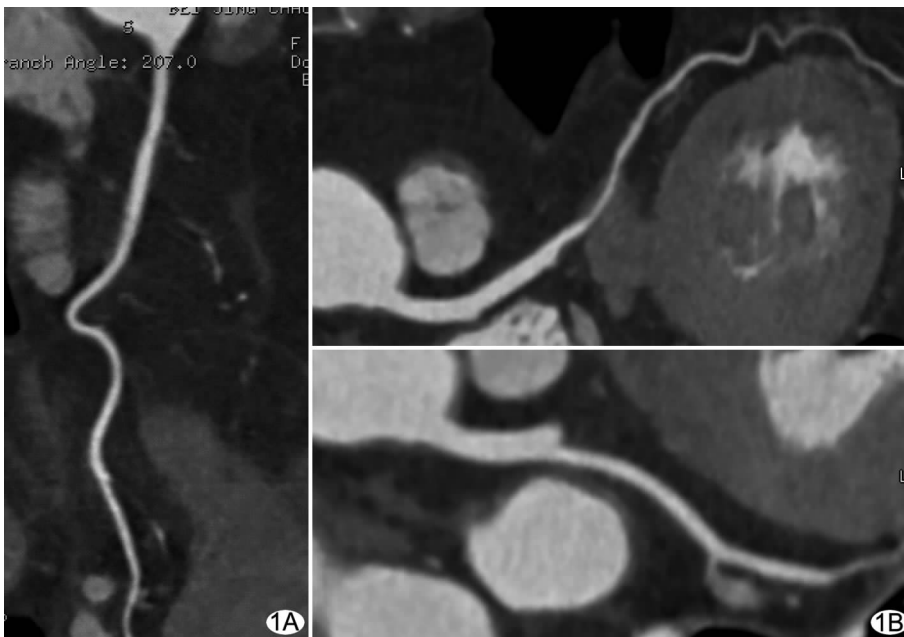


图 1 患者女,76 岁,平均心率 86 次/分,心率变化 5 次/分 RCA(A)、LAD 和 LCX(B),管腔连续,管壁清晰锐利,LAD 近段可见一条块状软斑块影,管腔轻度狭窄

2.1 图像质量分析结果 58 例患者中可显示的血管节段为 948 段(15 段中间支缺如,23 段因解剖变异未显示)。图像质量评价为 1~3 级者占 95.68%(907/948)。左前降支(left anterior descending artery, LAD)图像质量评为 1 级的节段最多(200/335, 59.70%),左旋支(left circumflex artery, LCX)评为 4 级的节段最多(24/324, 7.41%)。无法做出评价的冠状动脉节段中,LCX 占 58.54%(24/41)(11 段:1,12 段:8,13 段:3,14 段:6,15 段:6),右冠状动脉(right coronary artery, RCA)中段占 12.12%(5/41)。图像质量降低的主要原因是血管运动伪影 28.07%(266/948),其次为血管壁的钙质沉积 7.07%(67/948)、血管纤细致对比剂充盈不佳 2.74%

(26/948)、移动伪影及钙质沉积同时存在 3.27%(31/948)。

冠状动脉在不同心率及心率变化时的图像质量比较见表 1、2。对不同的心率、不同级别的 RCA、LAD、LCX 的显示节段数比较差异均无统计学意义,但对不同的心率变化、不同级别的 LAD、LCX 的显示节段数比较差异有统计学意义。RCA 显示节段数比较虽无统计学意义,但随着心率变化增大,图像质量评为 3、4 级的冠状动脉节段所占比例增高(图 1、2)。

ROC 曲线分析(图 3、4)表明平均心率对冠状动脉运动伪影的产生有显著的影响(AUC:0.75, 95%CI:0.55~0.96, P<0.05);心率变化对运动伪影的产生影响不大(AUC:0.52, 95%CI:0.24~0.80, P=0.88)。由图 3 可知平均心率为 78 次/分是预测运动伪影产生的最佳临界心率。

### 2.2 基于自适应心脏步进扫描技术 DSCTA 诊断冠状动脉病变的效能

DSCTA 可供评价冠脉血管 230 段,诊断狭窄程度<50%及≥50%血管分别为 8 段和 38 段,正常血管 184 段;CAG 诊断狭窄程度<50%及≥50%血管分别为 10 段和 42 段,正常血管 178 段。DSCTA 诊断狭窄程度<50%及≥50%血管的敏感度分别为 80.00%和 90.48%;诊断血管狭窄的特异度为 95.50%,阴性预测值为 96.59%(图 5)。

2.3 辐射剂量的评价 患者 CTDI 为(28.48±0.30)mGy,ED 为(6.46±0.12)mSv。

### 3 讨论

自适应心脏步进扫描技术与 DSCT 的有机结合,在不影响扫描成功率的情况下能明显降低辐射剂量。对于心率较低的患者,在预设的舒张期采集数据,即可获得满足诊断要求的图像;对于心率较快的患者,最佳的重建时相从舒张期移到收缩期<sup>[3-4]</sup>。因此,对于高心率患者,在收缩末期可获得较好的图像质量。本文探索性地对心率≥70 次/分的患者在心脏的收缩期预设采集期相(45%),并在 45%±8%重建图像,结果表明约 85%的冠脉节段可达到满意的图像质量(1、2 级),对不同心率的组间比较显示,随着心率的加快,图像质量并未受到显著影响。然而心率变化仍会对 LAD、LCX 的图像质量产生影响,虽然心率变化对 RCA 的影响无统计学意义,但随着心率变化幅度增加,不良图像质量的冠状动脉节段比率增加。

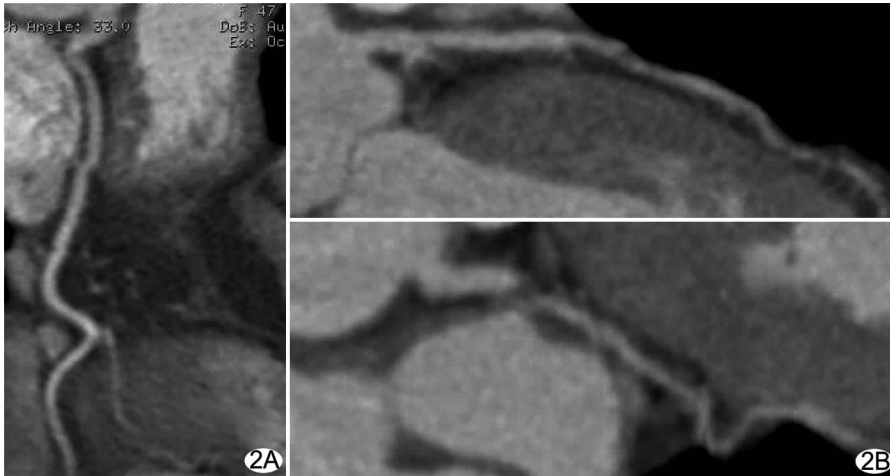


图 2 患者女,47 岁,平均心率 82 次/分,心率变化 15 次/分 RCA(A)、LAD 和 LCX(B);RCA 可见明显的阶梯状运动伪影,LAD 及 LCX 管腔欠连续,管壁模糊不清楚

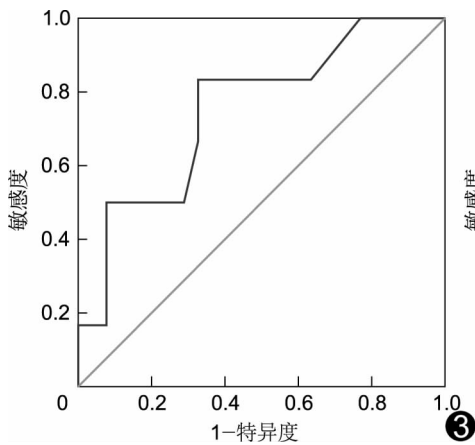


图 3 平均心率与血管运动伪影间的 ROC 曲线分析

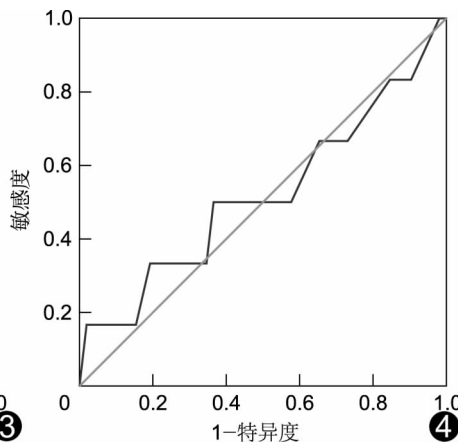


图 4 心率变化与血管运动伪影间的 ROC 曲线分析

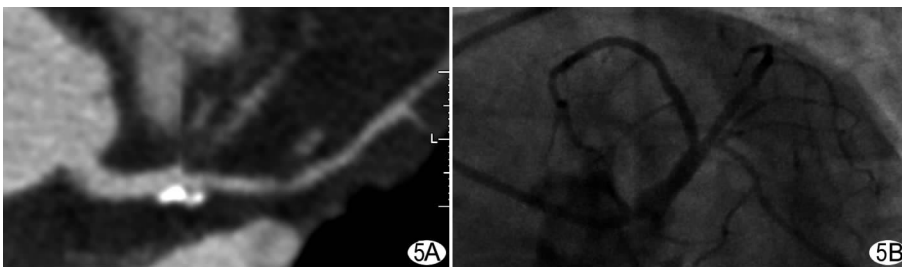


图 5 患者女,70 岁 A. DSCTCA 显示 LAD 开口处条块状钙化斑块,管腔轻度狭窄,近段可见一偏心性软斑块,局部管腔轻中度狭窄; B. CAG 显示 LAD 近段局限性狭窄,狭窄程度 50%~70%

本研究结果表明对于心率较快的患者,DSCTA 图像质量受心率变化的影响,心率变化越大,图像质量受影响越显著。有学者<sup>[5]</sup>报道图像质量与心率相关,心率超过 63 次/分的患者中 14.80% 以上的冠状动脉节段无法评估。本研究中仅 4.32% 的节段因严重伪影而无法评估,且右冠状动脉随着心率的加快运动伪影的产生率较左冠状动脉明显,与 Stolzmann 等<sup>[1]</sup>的研究结果相同。ROC 曲线分析结果显示,平均

心率对冠状动脉运动伪影的产生有显著意义,平均心率为 78 次/分是预测产生运动伪影的最佳临界心率。

本组 14 例患者接受 CAG,对照结果显示,基于自适应心脏步进扫描技术的 DSCTA 诊断血管狭窄程度的敏感度及特异度均较高,表明该扫描模式的图像质量能够满足诊断要求,且诊断效能较高,具有一定的临床可行性和实用价值;但与国内研究<sup>[6]</sup>相比本研究结果偏低,可能与后者采用回顾性序列及无心率要求有关。

降低管电流是 CT 扫描中一种减小辐射剂量的重要方法。研究表明<sup>[7]</sup>基于自适应管电流技术的 CTCA 不仅可行,而且比固定管电流模式能明显降低辐射剂量。本研究采用结合管电流自适应技术的前置心电门控扫描方法,避免了不必要的辐射剂量。国外研究<sup>[8]</sup>通过比较 DSCT 前门控和后门控采集序列的图像质量和辐射剂量,认为二者在图像质量、对比剂噪声及信噪比上差异无统计学意义,而前者的平均受检剂量显著降低。本研究患者平均 ED 为  $(6.46 \pm 0.12)$  mSv,与 64 排后门控 CTCA 的辐射剂量相比<sup>[9]</sup>降低了近 1/3,但高于前门控辐射剂量,推断与后者纳入人群的心率明显低于本研究有关;与 Stolzmann 等<sup>[10]</sup>报道的自适应心电门控模式的 DSCTA 的辐射剂量(7~9 mSv)比较有所降低。

双源 CT 时间分辨率的提高拓宽了需要行该项检查的人群,对于心率超过 65 次/分的患者不但无须刻意降低心率,而且还能明显提高图像质量<sup>[11]</sup>。本研究表明,对高心率患者采用自适应步进扫描模式所得冠状动脉图像不仅可满足诊断要求,而且具有较高的诊断效能,同时降低了患者的辐射剂量。本研究的不足之处是样本量少,所得结论还需大样本研究进一步证实。

[参考文献]

[1] Stolzmann P, Leschka S, Scheffel H, et al. Dual-source CT in step-and-shoot mode: noninvasive coronary angiography with low radiation dose. Radiology, 2008,249(1):71-80.

- [2] Menzel HG, Schibilla H, Teunen D. European guidelines on quality criteria for computed tomography. Luxembourg: European Commission, 2000.
- [3] 张竹花, 金征宇, 张抒扬, 等. 高心率患者双源 CT 冠状动脉成像初步研究. 实用放射学杂志, 2007, 23(8):1106-1109.
- [4] Seifarth H, Wienbeck S, Pusken M, et al. Optimal systolic and diastolic reconstruction windows for coronary CT angiography using dual-source CT. AJR Am J Roentgenol, 2007, 189(6):1317-1323.
- [5] Husmann L, Valenta I, Gaemperli O, et al. Feasibility of low-dose coronary CT angiography: first experience with prospective ECG-gating. Eur Heart J, 2008, 29(2):191-197.
- [6] 王明亮, 董光, 耿海, 等. 双源 CT 冠状动脉成像与冠状动脉造影对照的初步研究. 中国医学影像技术, 2008, 24(6):881-884.
- [7] Deetjen A, Mollmann S, Conradi G, et al. Use of automatic exposure control in multislice computed tomography of the coronaries: comparison of 16-slice and 64-slice scanner data with conventional coronary angiography. Heart, 2007, 93(9):1040-1043.
- [8] Blankstein R, Shah A, Pale R, et al. Radiation dose and image quality of prospective triggering with dual-source cardiac computed tomography. Am J Cardiol, 2009, 103(8):1168-1173.
- [9] 姚金龙, 姚慧, 刘斌, 等. 64 排螺旋 CT 前置与后置心电门控冠状动脉成像比较. 中国介入影像与治疗学, 2009, 6(5):417-420.
- [10] Stolzmann P, Scheffel H, Schertler T, et al. Radiation dose estimates in dual-source computed tomography coronary angiography. Eur Radiol, 2008, 18(3):592-599.
- [11] Achenbach S, Ropers D, Kuettner A, et al. Contrast-enhanced coronary artery visualization by dual-source computed tomography-initial experience. Eur J Radiol, 2006, 57(3):331-335.

## 临床放射医生论坛——2010·北京

由中国医师协会放射医师分会主办, 临床放射医生论坛组委会承办的临床放射医生论坛——2010·北京, 主题为“影像学诊断——学习、实践和交流”将于 2010 年 8 月 21—22 日在北京国际会议中心举行。本次论坛同时作为“北京医学影像发展论坛”和“第十九届中国国际医用仪器设备展览会暨技术交流会”的卫星会举办。旨在提高影像诊断水平, 促进临床放射专业领域的发展, 为临床放射医生搭建一个更高水平的学习交流平台。

本次论坛将邀请国内外从事放射诊断学临床应用的一线著名专家学者, 结合临床常见的各系统的慢性疾病, 就放射诊断学临床新技术和传统技术的合理应用, 临床实践和科学研究的结合展开充分的探讨和交流, 使我们每个人的工作能够在临床应用中实实在在地、及时有效地结合于我们的临床和科研, 造福于社会和广大患者。参加本次会议可获得国家继续教育 I 类学分。

1. 会议时间 2010 年 8 月 21 日—22 日。

2. 会议地点 北京国际会议中心(北京市朝阳区北辰东路 8 号)。

3. 注册费 600 元(食宿费自理)。

网上注册: 2010 年 6 月 1 日开始(<http://CRF.radiologist.cn/>或 <http://CRF.clinimg.org/>)。现场报到时间: 2010 年 8 月 21 日全天报到。

4. 联系方式

联系人: 程晓光

电子信箱: xiao65@263.net

联系地址: 北京市西城区新街口东街 31 号, 北京积水潭医院放射科 100035