

• 双低剂量 CT 成像专题 •

100 kVp 条件下碘克沙醇(320 mg I/mL)应用于冠状动脉 CTA 检查:最佳重建参数的选择

王鹤, 王蕊, 王霄英, 邹明宇, 衣闯, 胡刚, 蒋孟茜, 赵承琳, 张保翠, 罗健, 高福生

【摘要】 目的:探讨 100 kVp 条件下碘克沙醇(320 mg I/mL)应用于冠状动脉 CTA(CCTA)检查时,使用不同比例自适应统计迭代重建(ASiR)的图像质量,得出最佳重建参数。**方法:**前瞻性收集临床疑诊冠脉病变、身体质量指数(BMI)20~25 kg/m²的患者资料。所有患者均行 64 排冠状动脉 CTA 检查,采用前瞻性心电触发扫描模式,管电压 100 kVp,管电流 600 mA。增强扫描使用对比剂碘克沙醇(320 mg I/mL),共 60 mL。采用滤波反投影(FBP)及 30%~40%、60%、80%、100% ASiR 对原始数据进行重建,得到 5 组图像。由 2 名有经验的影像科医师分别对冠状动脉各节段的 5 组重建图像进行主观评价,包括整体评分和细节评分,并行统计学分析。测量冠脉各节段 CT 值,定量计算 5 组图像噪声及对比噪声比(CNR),并行统计学分析。**结果:**共 40 例受试者入组,共分析 4 个血管节段,冠脉各节段图像质量均达到临床诊断要求。30%~40% ASiR 组诊断信心明显高于其它各组,且在冠脉边缘锐利度、斑块与冠脉管腔对比度、图像主观噪声方面评分不低于其它各组。共分析 16 个血管节段,所有冠脉节段平均 CT 值均>300 HU。不同比例 ASiR 组的噪声均低于 FBP 组,CNR 均高于 FBP 组,且各组间差异有统计学意义。**结论:**100 kVp 条件下碘克沙醇(320 mg I/mL)应用于 CCTA 检查,可以满足临床诊断需要,推荐使用 30%~40% ASiR 进行图像重建。

【关键词】 冠状动脉; 体层摄影术,X 线计算机; 对比剂; 迭代重建; 辐射量; 体型特异性剂量估计

【中图分类号】 R814.42; R816.2 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2014)03-0259-05

Coronary CT angiography with 100kVp and iodixanol (320mg I/mL): the optimization of iterative reconstruction WANG He, WANG Rui, WANG Xiao-ying, et al. Department of Radiology, Peking University First Hospital, Beijing 100034, P. R. China

【Abstract】 Objective: To evaluate the image quality of 100kVp CT angiography (CCTA) using iterative reconstruction with iodixanol (320mg I/mL). **Methods:** Patients with clinically suspected coronary artery diseases were prospectively collected, with body mass index (BMI) 20~25kg/m². Prospective ECG-triggered CCTA images were acquired with following parameters: 100kVp, 600mA; iodixanol 320mg I/mL, total volume 60mL. The raw data were reconstructed with filtered back projection (FBP) and 30%~40%, 60%, 80%, 100% adaptive statistical iterative reconstruction (ASiR), respectively. For subjective assessment, 2 experienced radiologists assessed both the overall image impression and details of vessel demonstration for each segment. For objective assessment, CT value and contrast-to-noise ratio (CNR) of the coronary lumen were measured by segment. **Results:** Forty cases were enrolled. The image quality of CCTA met clinical diagnostic criteria, both as whole and as segment. Among the CCTA images with different reconstruction algorithm, image with 30%~40% ASiR was considered to provide higher diagnostic confidence than others. **Conclusion:** 100kVp CCTA using 30%~40% iterative reconstruction with iodixanol (320mg I/mL) is feasible for clinical application.

【Key words】 Coronary artery; Tomography, X-ray computed; Contrast medium; Iterative reconstruction; Radiation dose; Size-specific dose estimate

冠状动脉 CTA (coronary CT angiography, CCTA) 是检出冠状动脉狭窄、闭塞、动脉瘤或畸形的一种非常有效的检查方法^[1-2]。但其广泛使用,增加了人群辐射损伤的危险性^[3]。同时,CCTA 检查需使用碘对比剂,也可能导致肾功能损害^[4-6]。迭代重建技术可以降低图像噪声,使降低射线辐射、减少对比剂总量

在 CCTA 检查中成为可能,但需进一步探索多种不同条件组合情况下的最佳成像方案。因此,本文对 100 kVp 条件下碘克沙醇(320 mg I/mL)应用于 CCTA 检查时,使用不同比例自适应统计迭代重建(adaptive statistical iterative reconstruction, ASiR)的图像质量进行比较,得出此种组合时最佳重建参数。

材料与方法

1. 受试者入组

本研究为前瞻性、多中心研究,获北京大学第一医院伦理委员会批准,所有受试者均签署书面知情同意

作者单位:100034 北京,北京大学第一医院影像科(王鹤、王蕊、王霄英、蒋孟茜、赵承琳、张保翠、罗健、高福生);110016 沈阳,沈阳军区总医院(邹明宇);130021 长春,吉林省人民医院(衣闯);100700 北京,北京军区总医院(胡刚)
作者简介:王鹤(1981—),男,天津人,博士,主治医师,主要从事腹部及心、胸部影像诊断工作。
通讯作者:王霄英, E-mail: cjr. wangxiaoying@vip. 163. com

书。

入组标准:2013 年 4 月—8 月,临床疑似冠状动脉病变,在北京大学第一附属医院、沈阳军区总医院、吉林省人民医院、北京军区总医院行 CCTA 检查的患者,BMI 20~25 kg/m²,年龄 18~80 岁。

排除标准:孕妇或哺乳期妇女,严重器官衰竭,中度以上肾功能不全(eGFR<60 mL/min/1.73 m²),碘对比剂过敏、甲亢、其它含碘对比剂禁忌证,具有不太可能完成本研究所需程序的伴随疾病等。

2. CT 扫描方案

患者于检查前 0.5~1.0 h 口服 β 受体阻滞剂(倍他乐克 25 mg)1~2 片以降低心率至 65 次/分以下,检查前 5 min 舌下含服硝酸甘油 0.25 mg 以扩张冠脉。

采用 GE Discovery CT750HD 64 排螺旋 CT,前瞻性心电触发扫描模式,管电压 100 kVp,管电流 600 mA。常规钙化积分扫描后,采用高压注射经肘正中静脉以 5 mL/s 流率注射对比剂碘克沙醇(320 mg I/mL)60 mL。采用对比剂追踪自动触发,兴趣区设定于升主动脉起始部,阈值为 100 HU,延时 5s 扫描。

记录设备显示的 CT 剂量指数(CT dose index,CTDIvol)、剂量长度乘积(dose length product,DLP),根据公式①计算有效剂量(effective dose,ED)。测量扫描野内每位患者最大前后径(AP)和相应水平左右径(Lat),计算(AP+Lat)并查询转换因子(f_{size}^{32X}),根据公式②计算体型特异性剂量估计(size-specific dose estimate,SSDE)值^[7]。

$$ED = 0.014 \times DLP \quad (1)$$

$$SSDE = f_{size}^{32X} \times CTDIvol \quad (2)$$

3. 图像后处理

图像原始数据在主机上进行重建,每个病例均得到滤波反投影(filtered back projection,FBP)及 30%~40%、60%、80%、100%ASiR 重建,共 5 组图像(A、B、C、D、E 组)。

4. 图像评估

主观评价:将扫描的 DICOM 数据传至 GE ADW4.5 后处理工作站,由 2 名心血管系统影像诊断医师共同对图像进行分析,当两者分析结果不一致时,由另一位有 15 年心血管影像诊断经验的医师进行判断,并得出最终结论。

图像整体评分:采用 5 分法在 30%~40%ASiR 图像上对左主干(left main coronary artery,LM)、左前降支(left anterior descending branch,LAD)、左回旋支(left circumflex branch,LCX)、右冠(right coronary artery,RCA)图像质量进行主观评价。评分标准为:5 分,血管显示非常好,无噪声或伪影;4 分,血管显示较好,有极轻微的噪声或伪影;3 分,血管显示尚可,

有轻度噪声和/或伪影;2 分,血管显示欠清,有中度噪声和/或伪影;1 分,血管显示不清,有重度噪声和/或伪影。图像评分 3~5 分认为满足临床诊断需求;图像评分 1~2 分认为不满足诊断要求。

图像细节评分:采用 5 分法分别对 FBP 及 30%~40%、60%、80%、100%ASiR 图像进行评价。评价内容包括冠脉边缘锐利度、斑块与冠脉管腔对比度、图像主观噪声、诊断信心,评分标准见表 1。

表 1 图像细节评分标准

评分	冠脉边缘锐利度	斑块与冠脉管腔对比度	图像主观噪声	诊断信心
5 分	清晰锐利	极佳	几乎无	充足
4 分	边缘较锐利	较好	极轻微	较大
3 分	边缘尚锐利	尚可	较小	尚可
2 分	边缘较模糊	较差	较大	有限
1 分	边缘模糊	极差	很大	无

客观评价:冠脉 CT 值测量:在 30%~40%ASiR 图像上进行 CT 值测量,将冠脉按照美国心脏协会(American Heart Association)标准分为 15 段,包括 RCA 近、中、远段,后降支(右冠优势型)(right posterior descending artery,r-PDA),LM,LAD 近、中、远段,第一对角支(1st diagonal branches,D1),第二对角支(2nd diagonal branches,D2),LCX 近、远段,钝缘支(obtuse marginal branch,OM),左室后侧支(postero-lateral branch,PL),后降支(左冠优势型及均衡型)(left posterior descending artery,l-PDA),加上主动脉共 16 段进行管腔 CT 值测量。感兴趣区(region of interest,ROI)面积要超过血管管腔面积的一半,避开斑块及支架,于冠脉各段中间及其前、后分别进行测量,并取三次测量均值。对内径<2 mm 的血管,不进行测量。

噪声及对比噪声比的定量计算:将 ROI 放置于主动脉根部发出 LM 的层面、上一层、下一层,共三层分别进行测量,ROI 面积约为 100 mm²,窗宽 1200 HU、窗位 240 HU,取均值。将其标准差作为噪声(CT 噪)。测量主动脉根部邻近脂肪 CT 值,ROI 面积约为 20 mm²,按照公式③计算对比噪声比(contrast-to-noise ratio,CNR):

$$CNR = \frac{CT_{\text{主动脉}} - CT_{\text{脂肪}}}{CT_{\text{噪}}} \quad (3)$$

5. 统计学分析

采用 SPSS 17.0 统计软件进行统计学分析。患者一般资料以均值±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,冠脉各段的图像质量评分、CT 值及辐射剂量均采用($\bar{x} \pm s$)表示;FBP 及不同比例 ASiR 图像的主观评分的比较采用非参数检验(Friedman 检验);FBP 及不同比例 ASiR 图像中血管 CT 值比较采用重复测量数据方差分析。以 $P < 0.05$ 认为差异具有统计学意义。

结 果

1. 受试者情况

共 47 例患者签署知情同意书后行 CCTA 检查, 其中 7 例因以下原因出组: 1 例检查过程中憋气差; 1 例检查过程中心率突然加快; 1 例触发延迟、冠脉 CT 值低图像无法评价; 4 例因数据缺失。最终对 40 例患者的 CCTA 图像进行分析: 男 26 例, 女 14 例, 年龄 27~76 岁, 平均(53.53±11.82)岁, BMI 平均(23.0±1.2) kg/m²。

2. 辐射剂量

CTDI_{vol} 均值为(11.27±3.59) mGy, DLP 均值为(128.47±43.41) mGy·cm, SSDE 均值为(15.66±5.09) mGy, ED 均值为(1.80±0.61) mSv。

3. 图像主观评估结果

图像整体主观评估结果: 根据五分法分别对 LM、LAD、LCX 及 RCA 进行评定, 其中 5 分 119 个, 4 分 31 个, 3 分 10 个, 无 3 分以下图像。

图像细节主观评估结果: 根据五分法分别对 FBP 及 30%~40%、60%、80%、100% ASiR 图像进行评价(表 2)。其中 FBP 及 30%~40% ASiR 图像冠脉边缘均清晰、锐利, 两组间差异无统计学意义(表 3)。斑块与冠脉管腔对比度五组图像大部分均极佳, 各组间差异无统计学意义。关于图像主观噪声, 不同比例 ASiR 组图像主观噪声明显低于 FBP 组, 但不同比例 ASiR

组之间差异无统计学意义。诊断信心方面, 30%~40% ASiR 组诊断信心明显优于其它组, 各组间差异均有统计学意义(图 1)。

表 2 5 组图像细节主观评估结果 (例)					
图像细节评分	FBP	30%~40% ASiR	60% ASiR	80% ASiR	100% ASiR
冠脉边缘锐利度					
1 分	0	0	0	0	0
2 分	0	0	0	0	0
3 分	0	0	0	9	37
4 分	0	0	25	31	3
5 分	40	40	15	0	0
斑块与冠脉管腔对比度					
1 分	0	0	0	0	0
2 分	0	0	0	0	0
3 分	0	0	0	0	0
4 分	3	1	1	1	1
5 分	37	39	39	39	39
图像主观噪声					
1 分	0	0	0	0	0
2 分	0	0	0	0	0
3 分	10	9	9	8	8
4 分	28	13	12	13	13
5 分	2	18	19	19	19
诊断信心					
1 分	0	0	0	0	0
2 分	0	0	0	0	0
3 分	10	5	5	10	29
4 分	22	7	23	30	11
5 分	8	28	12	0	0

4. 图像客观评估结果(表 4、5)

所有冠脉主干节段 CT 值均大于 250 HU。CT 值

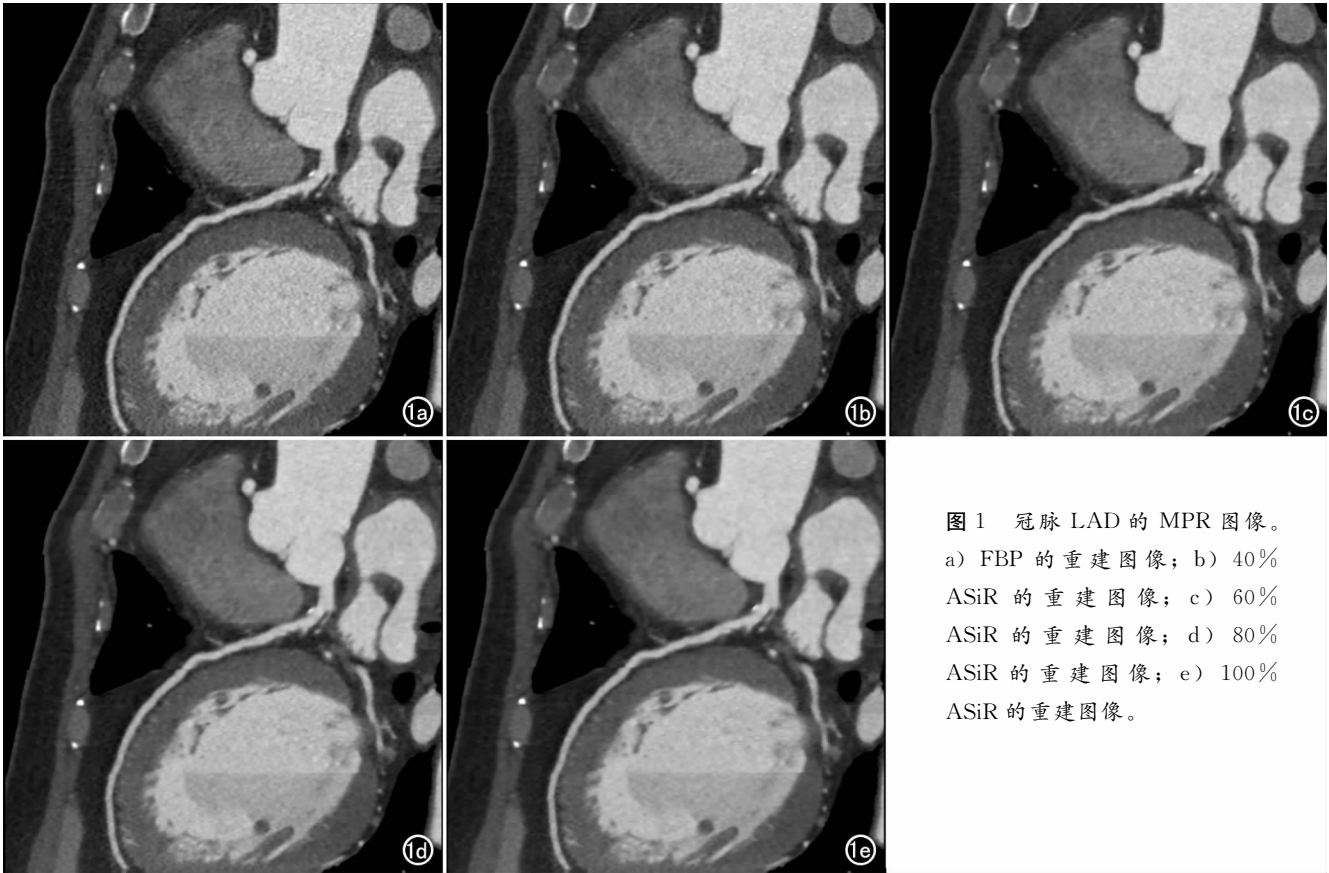


图 1 冠脉 LAD 的 MPR 图像。
a) FBP 的重建图像; b) 40% ASiR 的重建图像; c) 60% ASiR 的重建图像; d) 80% ASiR 的重建图像; e) 100% ASiR 的重建图像。

表 3 5 组图像细节主观评估比较

图像细节	P 值									
	A 与 B 组	A 与 C 组	A 与 D 组	A 与 E 组	B 与 C 组	B 与 D 组	B 与 E 组	C 与 D 组	C 与 E 组	D 与 E 组
冠脉边缘锐利度	1.000	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
斑块与冠脉管腔对比度	0.157	0.157	0.157	0.157	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
图像主观噪声	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.317	0.157	0.157	0.317	0.317	1.000
诊断信心	<0.001	0.061	0.073	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

均值最小者为 I-PDA 支, CT 值为 (308.00 ± 61.61) HU (表 4), 最大者为主动脉, CT 值为 (533.05 ± 96.17) HU。不同比例 ASiR 图像的噪声均低于 FBP 组 (表 5), 且各组间差异有统计学意义 (P 值均 <0.001)。不同比例 ASiR 图像的 CNR 均高于 FBP 组, 且各组间差异有统计学意义 (P 值均 <0.001)。

表 4 冠状动脉 16 段分支管腔 CT 值 (HU)

序号	血管节段	测量节段数	最小 CT 值	最大 CT 值	平均 CT 值
1	主动脉	40	741	349	533.05 ± 96.17
2	RCA 近段	40	740	289	500.95 ± 103.53
3	RCA 中段	34	250	669	443.85 ± 109.93
4	RCA 远段	33	299	728	506.94 ± 105.39
5	r-PDA	28	241	649	387.04 ± 85.94
6	LM	40	328	695	510.08 ± 94.42
7	LAD 近段	40	324	710	474.20 ± 100.36
8	LAD 中段	40	269	624	452.03 ± 98.34
9	LAD 远段	40	251	614	393.70 ± 87.49
10	D1	39	182	570	365.33 ± 83.25
11	D2	28	205	545	355.29 ± 66.22
12	LCX 近段	40	286	686	471.60 ± 94.46
13	LCX 远段	33	260	658	394.21 ± 83.07
14	OM	30	261	613	397.8 ± 110.42
15	PL	18	216	697	365.11 ± 102.27
16	I-PDA	6	226	395	308.00 ± 61.61

讨 论

CCTA 已越来越多地应用在冠脉病变的检查中, 但带来了射线辐射和对比剂风险的增加。根据辐射防护的 ALARA 原则^[8], 降低辐射剂量, 同时使用更少的对比剂来获取满足临床诊断需要的图像, 成为一个重要的研究方向。

CT 技术诞生以来已经研发了众多图像重建算法, 其中解析重建和迭代重建是 CT 图像重建的两种基本方法。FBP 是解析重建的主要算法, FBP 重建速度快, 但 X 射线光子统计波动对其影响很大, 且对噪声和伪影很敏感。当辐射剂量降低时, 重建图像质量差, 因此基于 FBP 重建时, 不能大幅度降低辐射剂量。常规剂量条件下, 迭代重建较 FBP 可以显著降低噪声, 因而明显改善了信噪比及对比噪声比^[9], 从而为降低辐射剂量提供了可能。

本研究在迭代重建条件下, 采用前瞻性心电触发扫描模式, 使用 100 kVp 管电压来降低辐射剂量 (常规为 120 kVp)。降低管电压合并迭代重建时, 改善了图像噪声, 保证了图像质量。更重要的是, 降低管电压时, 碘的 CT 值增加, 软组织 CT 值无明显变化, 所以增加了对比增强后冠脉管腔与斑块或邻近组织的对比度^[10], 为降低对比剂使用量创造了可能性。本研究使用 60 mL 碘克沙醇 (320 mg I/mL) 来降低对比剂总量 (常规为 350~370 mg I/mL), 冠脉各节段主观评分均 3 分及以上, 客观指标 CT 值均 >250 HU, 故图像满足临床要求^[10]。同时本研究使用 SSDE 来进一步反映辐射剂量^[11], 在反映患者个体所接受的辐射剂量上更合理。

迭代重建的使用可以降低图像噪声, 增加信噪比, 迭代次数越多 (ASiR 比例越高), 图像噪声会越低, 信噪比相应也越高。但是过度应用该算法时, 图像会出现较重的“模糊”效应^[12-13], 影响图像的主观感受, 甚至有可能影响诊断准确性。因此在临床工作中, 应找到不同人群、不同管电压、不同对比剂条件组合时, 最佳的迭代重建比例。本研究发现, 当迭代重建比例达 60% 时, 部分图像的主观评估开始降低, 当 ASiR 比例达 80% 及 100% 时, 图像主观评分中冠脉边缘锐利度评分较其它组下降, 主观感觉图像过于平滑, 不利于病变的观察, 诊断信心也随之明显下降。因此, 迭代重建比例为 30%~40% 时, 相对来说图像噪声低, 对比噪声比较高, 且无明显的“模糊”效应, 最有助于临床工作中对病变的观察。

本研究有一定的局限性: 首先, 病例数目只有 40 例, 样本量相对偏少, 仍需扩大样本量来验证本研究的结论; 其次, 本研究未对冠脉病变性质进行分类, 对于不同性质的冠脉疾病, 不同比例 ASiR 图像对诊断的影响仍需进一步探索, 将来有条件时, 应进行大样本、以血管造影为金标准的研究。

总之, 100 kVp 条件下碘克沙醇 (320 mg I/mL) 应用于 CCTA 检查可以满足临床诊断需要。使用迭代

表 5 5 组图像质量客观评价结果

参数	FBP	30%~40% ASiR	60% ASiR	80% ASiR	100% ASiR
噪声	36.29 ± 5.96	28.47 ± 4.61	24.95 ± 3.99	21.53 ± 3.46	18.93 ± 2.96
CNR	17.65 ± 4.08	22.51 ± 5.19	25.66 ± 5.81	29.69 ± 6.58	33.76 ± 7.50

重建可降低图像噪声,此种条件下,建议使用 30%~40%ASiR 进行图像重建。

参考文献:

- [1] 邱建星,王继琛,孙晓伟,等. 64 层螺旋 CT 评估冠状动脉粥样硬化病变与血管内超声的对照研究[J]. 中国医学影像技术, 2006, 22(10):1456-1459.
- [2] 蒋学祥,邱建星,刘剑,等. 64 层螺旋 CT 评估冠状动脉狭窄的准确性与传统冠状动脉造影对照研究[J]. 中国医学影像技术, 2006, 22(10):1472-1476.
- [3] Lucaya J, Piqueras J, García-Peña P, et al. Low dose high resolution CT of the chest in children and adults: dose, cooperation, artifact incidence and image quality[J]. AJR, 2000, 175(4):985-992.
- [4] 张保翠,张玉东,赵凯,等. 静脉注射碘对比剂对不同人群肾功能的影响[J]. 中华放射学杂志, 2013, 47(4):335-339.
- [5] Romano G, Briguori C, Quintavalle C, et al. Contrast agents and renal cell apoptosis[J]. Eur Heart J, 2008, 29(20):2569-2576.
- [6] Zhao Y, Tao Z, Xu Z, et al. Toxic effects of a high dose of non-ionic iodinated contrast media on renal glomerular and aortic endothelial cells in aged rats in vivo[J]. Toxicol Lett, 2011, 202(3):253-260.
- [7] 张晓东,郭小超,王霄英,等. 体型特异性剂量估计的概念和方法[J]. 放射学实践, 2013, 28(3):312-314.
- [8] Frush DP, Applegate K. Computed tomography and radiation understanding the issue[J]. J Am Coll Radiol, 2004, 1(2):113-119.
- [9] Silva AC, Lawder HI, Hara A, et al. Innovations in CT dose reduction using adaptive statistical iterative reconstruction algorithm[J]. AJR, 2010, 194(1):191-199.
- [10] 张兆琪,徐磊. 重视冠状动脉多层 CT 成像的低剂量检查[J]. 中华放射学杂志, 2009, 43(7):681-683.
- [11] Schoepf UJ. CT of the heart: principles and applications[M]. New York: Humana Press, 2005:377-380.
- [12] Funama Y, Awai K, Miyazaki O, et al. Radiation dose reduction in hepatic multidetector computed tomography with a novel adaptive noise reduction filter[J]. Radiat Med, 2008, 26(3):171-177.
- [13] 石清磊,赵红梅,张玲,等. 自适应统计迭代重建算法对腹部 CT 扫描中图像质量和辐射剂量影响的模体研究[J]. 中华放射学杂志, 2013, 47(4):326-329.

(收稿日期:2014-01-08)

中华医学会放射学分会第 17 届腹部影像学学术会议征文通知

为加强全国放射学界同道的学术交流,促进学科的繁荣与发展,经中华医学会学术会务部批准,由中华医学会放射学分会腹部学组主办,河南省医学会及河南省医学会放射学分会承办的中华医学会放射学分会第 17 届腹部影像学学术会议,定于 2014 年 5 月 15~19 日在河南省郑州市召开,会议将有国内外著名专家作专题讲座,并进行多种形式的学术交流。欢迎广大同仁积极参与。现将会议有关事宜通知如下。

一、征文内容

1. 腹部常规及数字 X 线成像的临床应用
2. 腹部 CT、MRI 及其新技术应用与基础研究
3. 腹部分子影像学
4. 腹部介入放射诊疗技术应用及研究
5. 腹部影像技术与图像后处理

二、征文要求

1. 凡未在省级以上学术会议或杂志上公开发表过的学术论文均可投寄。论文要求具有科学性、实用性,论据充分、文字精练、重点突出。

2. 来稿摘要文体,请采用结构式,包括:目的、材料与方法、结果、结论。论文应写清楚题目、作者姓名、单位、邮编、E-mail 和联系方式。

3. 本次会议使用 word 文档格式,采用网上投稿。登录大会网站 <http://www.chinaradiology.org>, 实名注册投稿。

4. 截稿日期:2014 年 4 月 20 日。

三、此次会议被列入国家级继续医学教育项目,授予国家级 I 类学分。

四、会议地点:河南省郑州市。

会务组将依据投稿情况邮寄正式会议通知,请代表积极投稿。

联系人:河南省医学会 张晓伟 0371-65953649

河南省肿瘤医院 黎海亮 13903861969

(中华医学会放射学分会 中华医学会放射学分会腹部学组 河南省医学会 河南省医学会放射学分会)