

• LI-RADS 临床应用研究专题 •

低辐射剂量肝脏 CT 增强扫描:80kVp 结合迭代重建技术的初步研究

姜健, 王可, 许玉峰, 徐莎莎, 刘建新, 王霄英

【摘要】 目的:探讨 80 kVp 管电压结合迭代重建技术(SAFIRE)在正常体重人群肝脏 CT 增强扫描中应用的可行性。**方法:**前瞻性地对身体质量指数(BMI)18~24 kg/m²、临床怀疑肝脏疾病的 46 例患者采用低辐射剂量(80 kVp、420 mAs)进行 CT 增强扫描,对比剂注射采用个性化方案。以滤波反投影法(FBP)和 5 种强度 SAFIRE(1~5)方法分别进行图像重建。图像质量的客观评估指标:图像噪声、对比噪声比(CNR)、品质指数(FOM)。图像质量的主观评估:对图像噪声、血管显示、伪影及图像整体质量进行主观评分,并对动脉晚期的期相进行评估。**结果:**图像质量客观评估结果:SAFIRE-5 图像的噪声最小,CNR 及 FOM 值最高,与其余 5 组图像间差异均有统计学意义($P < 0.05$)。图像质量主观评估结果:SAFIRE-5 图像的噪声、血管显示情况及硬化伪影的评估结果均优于其它 5 组,但“蜡样”伪影的评分明显低于其它各组,使其图像整体评分受到影响;SAFIRE-3 图像的整体评分最高,与其它各组间差异有统计学意义;95.6%(44/46)的动脉晚期图像质量合格。**结论:**正常体型人群行肝脏 CT 增强扫描时,使用 80kVp 结合迭代重建技术及个性化对比剂注射方案,能得到较好的图像质量;此种条件下,建议使用 SAFIRE-3 进行图像重建。

【关键词】 体层摄影术,X 线计算机;管电压;迭代重建技术;图像质量;肝脏疾病

【中图分类号】 R814.42; R875 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2016)04-0316-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2016.04.008

Low dose in contrast-enhanced CT scan of liver:80kVp with sinogram affirmed iterative reconstruction technique JIANG Jian,WANG Ke,XU Yu-feng,et al. Department of Radiology,the First Hospital of Peking University,Beijing 100034,China

【Abstract】 Objective: To evaluate the feasibility of 80kVp with sinogram affirmed iterative reconstruction (SAFIRE) technique in liver contrast-enhanced CT scan of normal weight adults. **Methods:** Forty-six patients with body mass index of 18~24kg/m² and suspected of hepatic diseases were prospectively recruited and then underwent liver contrast-enhanced CT using low dose (80kVp and 420mAs) and personalized contrast injection protocol. Filtered back projection (FBP) and five SAFIRE algorithms were used respectively for image reconstruction, and 6 sets of images were obtained for each patient. For objective evaluation, image noise, contrast-to-noise ratio (CNR) and figure of merit (FOM) were measured and calculated. For subjective evaluation, subjective score of image noise, vessel conspicuity, artifacts and overall image quality were assessed, as well as the timing of late arterial phase. **Results:** For objective analysis, images with SAFIRE-5 algorithm showed the least image noise and the highest CNR and FOM, with statistical difference from those of the other 5 groups ($P < 0.05$). For subjective analysis, images with SAFIRE-5 algorithm showed the highest scores of image noise, vessel conspicuity and beam hardening artifacts, and the least score of reconstruction artifacts. As for overall image quality, the image scores of SAFIRE-3 were the highest compared with the other 5 groups. 95.6% (44/46) of the patients could obtain appropriate images in late arterial phase. **Conclusion:** In liver contrast-enhanced CT, 80kVp with iterative reconstruction technique and personalized contrast media injection protocol can obtain high quality post-contrast images; SAFIRE-3 algorithm is recommended for image reconstruction.

【Key words】 Tomography, X-ray computed; Tube voltage; Iterative reconstruction technique; Image quality; Liver disease

常规腹部 CT 检查是临床广泛应用的检查方法,但辐射剂量较高^[1]。使用低管电压技术可以降低 CT 的辐射剂量,同时可以提高 CT 对比增强扫描图像中含碘区域的对比度,对诊断有益^[2-3]。但是降低管电

压,图像噪声增加,将影响图像质量。与临床常用的滤波反投影重建法(filtered back projection, FBP)相比,迭代重建算法(iterative reconstruction, IR)可以降低图像噪声。而正弦图迭代重建(sinogram-affirmed iterative reconstruction, SAFIRE)作为新一代迭代重建技术,可以更好地降低图像噪声并且提高图像的对比度。本研究旨在探讨低剂量扫描(80 kVp)结合

作者单位:100034 北京,北京大学第一医院医学影像科

作者简介:姜健(1989-),女,辽宁省大连人,博士研究生,主要从事影像新技术研究工作。

通讯作者:王霄英, E-mail: cjr.wangxiaoying@vip.163.com

SAFIRE 技术在正常体重人群肝脏 CT 增强扫描中应用的可行性。

材料与amp;方法

1. 一般材料

本研究经医院伦理委员会批准,前瞻性将本院 2014 年 7 月—2015 年 7 月临床疑诊肝脏病变需行肝脏 CT 增强检查的患者纳入研究。共 46 例患者入组,男 28 例,女 18 例,年龄 19~78 岁,平均(45.6±13.1)岁,身体质量系数(body mass index, BMI) 18~24 kg/m²。行腹部 CT 增强检查前对患者进行风险评估,确定患者无 CT 增强检查的禁忌证。

2. 扫描及后处理方法

使用 Siemens Somatom Definition 双源 CT 机。患者仰卧位,扫描方向为头足位。常规行 CT 平扫和三期动态增强扫描(动脉晚期、门静脉期及延迟期)。其中平扫及动脉晚期的扫描范围自膈顶至肝下缘,门静脉期扫描范围自肝上缘至髂嵴上方,延迟期扫描范围自膈顶至肝下缘。使用双筒高压注射器(Stellant, Medrad, USA)推注对比剂碘佛醇(320 mg I/mL),剂量 1.1 mL/kg,注射时间 30 s,计算对比剂注射流率,之后立即以相同流率注射 30 mL 生理盐水冲管。

CT 扫描参数:80 kVp, 420 mAs, 准直 128i × 0.6 mm, 0.5 s/r, 螺距 0.6。增强扫描的延迟时间:动脉晚期为注药后 35 s,门静脉期为 65 s,延迟期为 180 s。对动脉晚期图像分别采用 FBP 及 5 种重建强度的 SAFIRE 算法进行重建,共获得 6 组数据,卷积核分别为 B26f 及 I26f,重建层厚 1.0 mm,间隔 0.8 mm。将重建后的数据传至后处理工作站,应用 3D 软件进行分析测量。

在 FBP 重建图像中进行 CT 值的测量。在动脉晚期图像中选择肝门层面,在肝实质内取 4 个等大的感兴趣区(region of interest, ROI)测量 CT 值,取其平均值作为肝实质 CT 值;测量同层面内主动脉的 CT 值;测量双侧竖脊肌的 CT 值作为软组织 CT 值;测量皮下脂肪 CT 值,计算其标准差(standard deviation, SD)作为图像噪声。在门静脉期、延迟期图像上测量肝实质 CT 值,方法同上。所有数值的测量都在重建图像的同层面、相同位置进行。

记录 CT 设备上提供的扫描时的容积 CT 剂量指数(CT dose index, CTDIvol)和剂量长度乘积(dose length product, DLP)。根据公式(1)和(2)计算得到有效剂量(effective dose, ED)及体型特异性剂量估计值(size-specific dose estimate, SSDE):

ED=k×DLP (1)

SSDE=∫size32X×CTDIvol (2)

其中 k 为转换因子,k=0.014Sv/(mGy·cm)。转换系数 是通过计算腹部前后径和左右径之和,然后查找线性关系表,得到相应的转换系数[4]。

3. 图像分析

图像质量的客观评价指标:肝实质、主动脉和软组织的平均 CT 值,图像噪声,对比噪声比(contrast-noise ratio, CNR)及图像的品质指数(figure of merit, FOM)[5]。CNR 和 FOM 的计算公式如下:

CNR=CT肝实质-CT软组织SD (3)

FOM=CNR²ED (4)

对动脉晚期的期相进行评估,LI-RADS 中指出合格动脉晚期图像的评估标准为由 2 位有经验的放射科医师采用盲法阅片,评价内容包括:图像噪声评分、血管显示情况(肝动脉、门静脉及肝静脉)、图像硬化伪影、“蜡样”伪影及图像质量整体评分。评分标准见表 1。图像质量评分≥3 分为符合临床诊断要求,≤2 分为不能达到临床诊断要求。同时对动脉晚期的期相进行评估,LI-RADS 中提出的合格动脉晚期图像的评估标准:肝动脉显影清楚,门静脉内充盈对比剂,肝静脉内无顺序性对比剂充盈[6]。

表 1 图像质量主观评价指标的评分标准

评分	图像噪声	血管显示情况	硬化伪影	“蜡样”伪影	图像整体评分
1 分	噪声大	不能分辨	大量伪影	大量伪影	结构模糊,伪影多,不能诊断
2 分	较多噪声	分辨困难	伪影明显	伪影明显	结构不清楚,伪影较多
3 分	部分噪声	边界模糊	少量伪影	少量伪影	大部分结构显示尚清,伪影不多
4 分	少量噪声	边界较清楚	没有伪影	无伪影	结构显示清楚,少量伪影
5 分	没有/极少噪声	边界非常清楚	—	—	结构细节显示清晰,无伪影

4. 统计学分析

采用 SPSS 20.0 软件进行统计学分析。采用重复测量方差分析对 6 组重建图像的客观评价指标进行比较。采用非参数秩和检验中的 Friedman 检验和 Wilcoxon 检验对 6 组重建图像的主观评分进行统计学分析。采用 Kappa 检验评价 2 位医师对图像质量主观评分的一致性。P<0.05 为差异有统计学意义。

结 果

1. 扫描剂量分析

本研究中动脉晚期 CT 扫描的辐射剂量:CTDIvol为(8.14±0.00) mGy, DLP 为(145.41±19.27) mGy·cm, ED 为(2.08±0.32) mSv, SSDE 为(12.37±1.06) mGy。本研究中对对比剂平均用量为(76.98±9.13) mL。

2. 图像客观评估结果

肝实质在平扫、动脉晚期及门静脉期的 CT 值分

别为(56.78±5.81)、(73.64±8.98)和(129.65±19.03) HU。门静脉期肝实质强化值为(72.87±19.44) HU。在动脉晚期图像上全部患者的主动脉 CT 值均高于 250 HU,平均值为(327.50±44.82) HU。

6 组重建图像的噪声、CNR 和 FOM 值见表 2。

表 2 6 组重建图像的噪声、CNR 和 FOM 值

重建方法	SD(HU)	CNR	FOM
FBP	12.97±3.39	1.46±0.97	1.56±1.90
SAFIRE 1	14.47±3.75	1.31±0.89	1.24±1.60
SAFIRE 2	13.36±3.60	1.42±0.95	1.45±1.78
SAFIRE 3	12.22±3.41	1.55±1.04	1.73±2.15
SAFIRE 4	11.04±3.35	1.73±1.15	2.12±2.60
SAFIRE 5	9.89±3.36	1.95±1.30	2.70±3.27

SD、CNR、FOM 在 6 组间比较,差异均有统计学意义($P<0.05$)。进一步两两比较,SAFIRE 1 组噪声最大,SAFIRE 5 组噪声最小,FBP 组与 SAFIRE 2 组之间的噪声差异没有统计学意义($P>0.05$),其余各组间的差异均有统计学意义 SAFIRE 5 组的 CNR 及 FOM 最大,SAFIRE 1 组最小,FBP 组与 SAFIRE

2 组之间的 CNR 和 FOM 的差异无统计学意义($P>0.05$),其余各组间的 CNR 值的差异均有统计学意义,FBP 组及 SAFIRE 3 组之间 FOM 的差异无统计学意义($P>0.05$),其余各组间 FOM 值的差异均有统计学意义。

3. 图像主观评价结果

两位医师对图像质量的主观评价结果见表 3。

SAFIRE 5 图像的噪声、血管显示及硬化伪影的得分均高于其它各组,但“蜡样”伪影的得分明显低于其它各组。SAFIRE 3 图像的整体评分最高(图 1),与其它各组的差异有统计学意义($P<0.05$)。46 例受试者的动脉晚期图像上肝动脉、门静脉均可显示,肝静脉内未见顺行性对比剂填充 44 例。动脉晚期图像的合格率为 95.6%。

讨 论

CT 检查的广泛应用,使人们在关注其诊断效能的同时,也关注射线辐射的风险。降低辐射的方法有

表 3 6 组重建图像的主观评分结果及比较

评价指标	FBP	SAFIRE 1	SAFIRE 2	SAFIRE 3	SAFIRE 4	SAFIRE 5	F 值	P 值
图像噪声	4.21	3.38	3.90	4.32	4.78	4.87	182.95	<0.05
血管显示	4.53	3.63	3.92	4.71	4.75	4.82	161.31	<0.05
硬化伪影	3.65	3.39	3.54	3.78	3.78	3.87	52.72	<0.05
“蜡样”伪影	3.35	3.96	3.74	3.03	2.15	1.30	193.52	<0.05
图像整体评分	4.36	3.78	4.51	4.85	3.98	3.41	143.17	<0.05

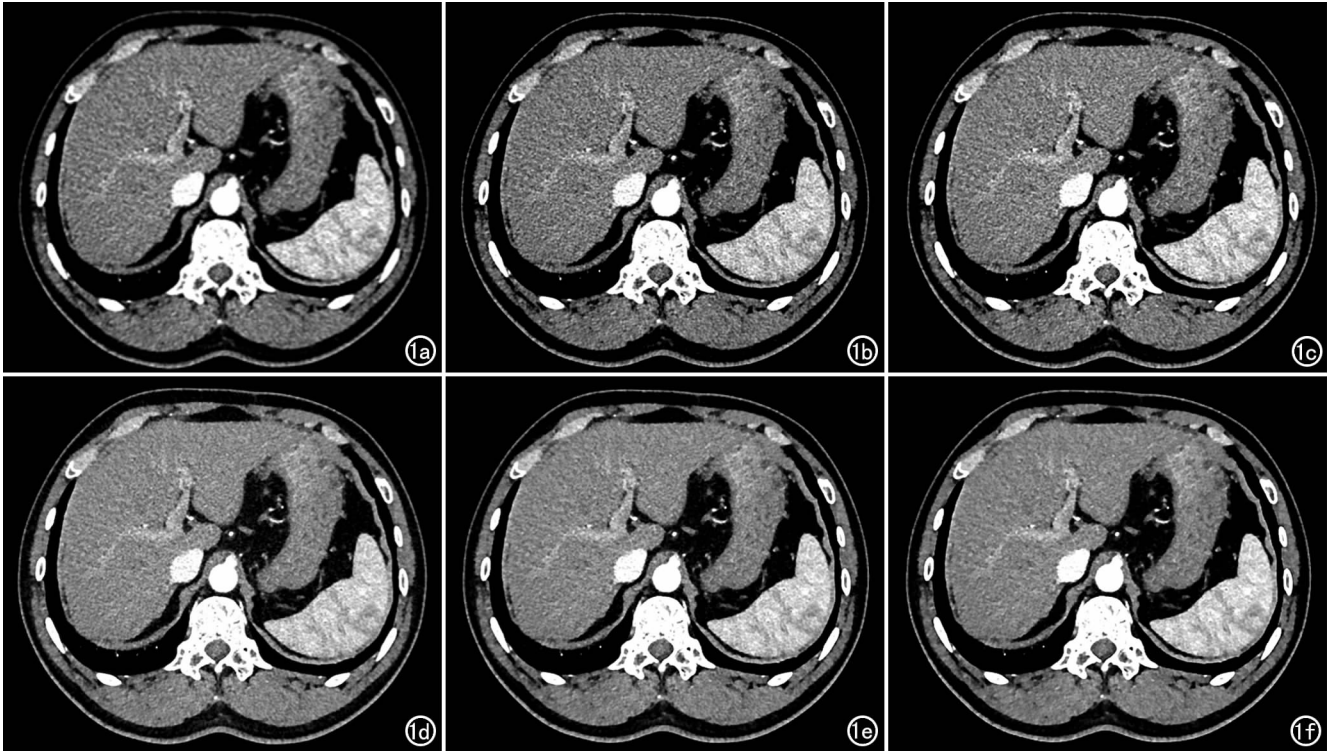


图 1 男,56 岁,腹痛原因待查患者,腹部 CT 增强动脉晚期图像。a) FBP 重建图像;b) SAFIRE 1 重建图像;c) SAFIRE 2 重建图像;d) SAFIRE 3 重建图像;e) SAFIRE 4 重建图像;f) SAFIRE 5 重建图像。其中以 SAFIRE 3 重建图像的图像质量整体评分最高。

很多,如降低管电压、自动管电流、缩短扫描长度、减少扫描期相和避免不必要的重复检查等。其中,降低管电压是减少辐射剂量最常用的技术手段之一。本研究发现,针对 BMI 18~24 kg/m² 的人群,使用 80 kVp 管电压结合 SAFIRE 重建技术行肝脏增强 CT 扫描,可以明显降低患者的辐射剂量,同时提供较好的图像质量。

如何能在保证图像质量的前提下,尽可能地减低患者受到的辐射剂量,是每一个影像医疗工作者所关注的问题,根据患者情况,进行“个性化检查”是主要解决方案。本研究中,涉及个性化的内容,包括患者体型的分层和对比剂注射方案的个性化。个性化的前提,首先是对患者进行分层。根据《中国成人超重与肥胖症预防控制指南》^[7],BMI 18~24 kg/m² 为正常体重人群。本研究针对这一人群,我们采用 80 kVp 管电压、420 mAs 管电流进行扫描,并且根据患者自身体重个性化计算对比剂用量及注射流率。

由于使用了 80 kVp 的管电压,本研究中患者接受的辐射剂量(CTDIvol)较其它研究中的 120 kVp 管电压结合自动管电流技术降低约为 40%^[8],与近期某些学者的研究结果相似^[9-10]。本研究结果表明,在减低患者辐射剂量的条件下,图像的对比度、血管及肝实质在动脉晚期的强化程度仍可以达到临床诊断要求。在如此低辐射剂量的条件下,图像质量合格的原因,是同时应用了优化的迭代重建技术及对比剂注射方案。

当管电压下降时,会增加图像的噪声,本研究中通过迭代重建(SAFIRE 1~SAFIRE 5)来降低图像噪声及增加图像对比度,以纠正管电压降低对图像质量的影响^[11]。有研究表明,在低剂量扫描条件下使用 SAFIRE 重建可以提高组织的对比度^[12]。SAFIRE 技术采用支持原始数据的噪声模型,该模型可以将原始数据中的噪声投射到图像中,并在每一次迭代算法中被抑制,经过数次循环使图像噪声降低,在尽量少地改变图形锐利度的同时,尽可能地减少硬化伪影,其重建后的图像将不断和原始图像进行对比,得到的图像是一次次迭代重建后的组合,直到得到最佳质量的图像^[13]。读片者对图像质量的主观感觉,受多种因素的影响。本研究中 SAFIRE 5 图像的图像噪声、血管显示及硬化伪影的得分均高于其它各组,但“蜡样”伪影的得分明显低于其它各组。由于读片者对“蜡样”伪影的接受度较低,所以最终的整体图像质量评分,以 SAFIRE 3 重建图像为最佳,SAFIRE 3 是最理想的重建方式。

CT 增强扫描所使用的含碘对比剂对于肾脏的毒性作用也越来越被人们所重视,尤其是针对那些有肾功能损伤的患者^[14]。在低管电压条件下,碘的衰减增

加,同等剂量的碘在图像上的 CT 值增高。因而在低管电压条件下,如果对强化程度的要求不变,可适当降低对比剂用量,减少对对比剂带来的风险^[15]。通常认为在 120 kVp 条件下行腹部 CT 增强检查时,注射碘对比剂的剂量达到 520~600 mg I/kg 即可满足肝脏疾病的临床诊断要求。在理论推测和 CTA 的研究中已证实,当使用 80 kVp 管电压时,若想达到与 120 kVp 管电压相同的 CT 值,需碘量只需 120 kVp 条件下的 64%^[9,16]。本研究以此为依据,在使用 80 kVp 管电压时,受试者所需碘量只要达到 352 mg I/kg 即可。因此,在 CT 增强检查过程中,根据受试者体重及对对比剂浓度,计算得到受试者注射的含碘对比剂总量。

在肝脏 CT 增强检查技术中,除了要求强化程度足够,更要求在合适的增强扫描时相采集图像,目前公认动脉晚期图像对肝脏富血供病变、尤其是肝细胞肝癌的检出和诊断最有价值^[17]。多数研究者认为固定注药时间更易于准确选择各个期相的扫描时间^[18],对无循环异常的患者,通常推荐注药时间为 30 s。本研究采用固定注药时间为 30 s、并延迟 5 s 启动动脉晚期扫描,发现所有动脉晚期图像上主动脉的 CT 值均高于 250 HU,46 例受试者肝动脉、门静脉均可显示,44 例受试者肝静脉内未见对比剂填充,获得了合格的动脉晚期图像。

本研究存在一定的局限性。首先,受试者的数量较少,应该进一步收集;其次,本研究的结果只适用于 BMI 18~24 kg/m² 的正常体型人群,应进一步对其它 BMI 组人群进行研究。

总之,正常体型人群行肝脏 CT 增强扫描时,可使用 80 kVp 结合迭代重建技术及个性化注药方案,能得到较好的图像质量。此种条件下,建议使用 SAFIRE 3 进行图像重建。

参考文献:

- [1] Brenner DJ, Hall EJ. Computed tomography: an increasing source of radiation exposure[J]. N Engl J Med, 2007, 357(22): 2277-2284.
- [2] Sigal-Cinqualbre AB, Hennequin R, Abada HT, et al. Low-kilovoltage multi-detector row chest CT in adults: feasibility and effect on image quality and iodine dose[J]. Radiology, 2004, 231(1): 169-174.
- [3] Ertl-Wagner BB, Hoffmann RT, Bruning R, et al. Multi-detector row CT angiography of the brain at various kilovoltage settings[J]. Radiology, 2004, 231(2): 528-535.
- [4] 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.
- [5] Borg M, Badr I, Royle GJ. The use of a figure-of-merit (FOM) for optimisation in digital mammography: a literature review[J]. Radiat Prot Dosimetry, 2012, 151(1): 81-88.
- [6] American College of Radiology. Liver imaging reporting and data

- system version 2014[J]. Accessed 12 2015, from <http://www.acr.org/Quality-Safety/Resources/LIRADS>.
- [7] 陈春明,孔灵芝. 中国成人超重与肥胖症预防控制指南[M]. 北京:人民卫生出版社,2006:3-4.
- [8] Nakaura T, Awai K, Oda S, et al. Low-kilovoltage, high-tube-current MDCT of liver in thin adults: pilot study evaluating radiation dose, image quality, and display settings[J]. AJR, 2011, 196(6): 1332-1338.
- [9] 王蕊,张保翠,王霄英,等. 80kVp、低浓度对比剂冠状动脉 CTA 检查的初步研究[J]. 放射学实践, 2013, 28(5): 501-504.
- [10] 蒋孟茜,王鹤,王霄英,等. 80kVp 条件下碘克沙醇(270mg I/mL)应用于冠状动脉 CTA 检查的可行性研究[J]. 放射学实践, 2014, 29(3): 249-253.
- [11] 戴丽娟,王霄英,郭小超,等. 迭代重建对日常 CT 检查平均辐射剂量的影响[J]. 放射学实践, 2013, 28(3): 291-293.
- [12] Baker ME, Dong F, Primak A, et al. Contrast-to-noise ratio and low-contrast object resolution on full- and low-dose MDCT: SAFIRE versus filtered back projection in a low-contrast object phantom and in the liver[J]. AJR, 2012, 199(1): 8-18.
- [13] Fletcher JG, Grant KL, Fidler JL, et al. Validation of dual-source single-tube reconstruction as a method to obtain half-dose images to evaluate radiation dose and noise reduction: phantom and human assessment using CT colonography and sinogram-affirmed iterative reconstruction (SAFIRE) [J]. J Comput Assist Tomogr, 2012, 36(5): 560-569.
- [14] 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.
- [15] 李玮,刘建新,王霄英,等. 低电压、低对比剂剂量头颈 CTA 的可行性研究[J]. 放射学实践, 2013, 28(5): 482-485.
- [16] Bae KT. Intravenous contrast medium administration and scan timing at CT: considerations and approaches [J]. Radiology, 2010, 256(1): 32-61.
- [17] Yu MH, Lee JM, Yoon JH, et al. Low tube voltage intermediate tube current in liver MDCT: sinogram-affirmed iterative reconstruction algorithm for detection of hypervascular hepatocellular carcinoma[J]. AJR, 2013, 201(1): 23-32.
- [18] Ichikawa T, Erturk SM, Araki T. Multiphasic contrast-enhanced multidetector-row CT of liver: contrast-enhancement theory and practical scan protocol with a combination of fixed injection duration and patients' body-weight-tailored dose of contrast material [J]. Eur J Radiol, 2006, 58(2): 165-176.

(收稿日期:2016-03-03 修回日期:2015-03-28)

欢迎订阅 2016 年《放射学实践》

《放射学实践》是由国家教育部主管,华中科技大学同济医学院主办,与德国合办的全国性影像学学术期刊,创刊至今已 31 周年。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。

本刊坚持服务广大医学影像医务人员的办刊方向,关注国内外影像医学的新进展、新动态,全面介绍 X 线、CT、磁共振、介入放射及放射治疗、超声诊断、核医学、影像技术学等医学影像方面的新知识、新成果,受到广大影像医师的普遍喜爱。

本刊为国家科技部中国科技论文核心期刊、中国科学引文数据库统计源期刊,在首届《中国学术期刊(光盘版)检索与评价数据规范》执行评优活动中,被评为《CAJ—CD 规范》执行优秀期刊。

主要栏目:论著、继续教育园地、专家荐稿、研究生展版、图文讲座、本刊特稿、实验研究、传染病影像学、影像技术学、外刊摘要、学术动态、请您诊断、病例报道、知名产品介绍、信息窗等。

本刊为月刊,每册 15 元,全年定价 180 元。

国内统一刊号:ISSN 1000-0313/CN 42-1208/R 邮政代号:38-122

电话:(027)83662875 传真:(027)83662887

E-mail:fsxsjzz@163.com 网址:<http://www.fsxsj.net>

编辑部地址:430030 武汉市解放大道 1095 号 同济医院《放射学实践》编辑部