

• CT 低剂量影像学专题 •

肾上腺双能 CT 增强扫描方案的优化

李玮, 刘婧, 王霄英, 邱建星, 张帅, 蒋学祥

【摘要】 目的:探讨肾上腺病变双能 CT 增强扫描检查方案的优化及其临床应用价值。**方法:**2011 年 3 月—2011 年 6 月来我院就诊并接受双能成像(GSI)三期增强扫描的患者 12 例(共 12 个肾上腺结节, 腺瘤 9 个、恶性病变 3 个), 测量病变在平扫、门脉期(对比剂注射后 70 s)及长延迟期(对比剂注射后 5 min)的密度值, 计算出病变在各单能量下的完全廓清率(APW)和相对灌注廓清率(RPW), 并与病理及临床诊断结果进行对照分析, 使用受试者工作特征(ROC)曲线计算各能级下的最大诊断效能。**结果:**在各 KeV(40~140KeV)下使用文献经典对比剂廓清率的诊断敏感度和特异度偏低。使用 ROC 曲线计算各 KeV 下鉴别腺瘤和恶性肿瘤的 APW 和 RPW 能达到较高的诊断敏感度和特异度, 其中 APW 界值范围为 -19.5%~36.0%, RPW 界值范围为 11%~19%; 并且, APW 及 RPW 的敏感度和特异度在低能级(40~70 KeV)下均较高:敏感度为 100%、特异度为 66.7%。**结论:**双能 CT 虽不能明显提高延迟 5 min 时经典对比剂廓清率对肾上腺病变的诊断敏感度和特异度, 但有估算出在各个能级下的 APW 和 RPW 诊断界值范围的潜在价值; 综合各能级下的廓清率界值范围有利于提高对肾上腺良恶性结节的鉴别诊断敏感度和特异度。

【关键词】 体层摄影术, X 线计算机; 能谱成像; 肾上腺病变; 廓清率

【中图分类号】 R814.42; R736.6 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2013)03-0307-05

Preliminary study of dual-energy CT with contrast enhancement in improving differential diagnosis of adrenal lesions LI Wei, LIU Jing, WANG Xiao-ying, et al. Department of Radiology, the First Hospital of Peking University, Beijing 100034, P. R. China

【Abstract】 Objective: To explore the value of dual-energy CT with contrast enhancement in improving differential diagnosis of adrenal gland. **Methods:** From March 2011 to June 2011, twelve patients with 12 adrenal nodules underwent three-phase enhanced CT spectral imaging. CT values under each KeV of unenhanced, enhanced (70s after contrast injection) and delayed images (5min after contrast injection) were measured. Absolute percentage washout (APW) and relative percentage washout (RPW) under each KeV were calculated. ROC curve analysis was conducted to calculate the diagnostic efficiency under each KeV. **Results:** Among these 12 nodules, 9 benign adenomas and 3 malignancies were diagnosed. The diagnostic efficiencies of classical APW and RPW showed low under each KeV, while the diagnostic efficiencies of APW and RPW calculated by ROC curve analysis could reach higher. **Conclusion:** Short-time delayed imaging cannot improve diagnostic efficacy of the classical percentage washout in differentiating benign nodules from malignancies on dual-energy CT. However, it is still promising to apply CT spectral imaging with 5min delayed images to estimate cut-off values of both APW and RPW under each KeV between benign nodules and malignant ones.

【Key words】 Tomography, X-ray computed; Spectral imaging; Adrenal gland diseases; Percentage washout

肾上腺最常见的良性肿瘤为腺瘤, 发生率为 2%~9%^[1], 而最需要与之鉴别的则是恶性肿瘤(主要为转移瘤)。两者的鉴别方法除了判别肿瘤内部是否含有脂肪外, 另一种获得普遍认可的检查方法则是通过测量肾上腺结节的平扫、增强及延迟 10~15 min 时的 CT 值, 计算其对比剂廓清率^[2-3]。但是由于需要延迟 10~15 min, 这对临床检查工作来说是比较繁琐的。

双能 CT 的出现是 CT 技术的革新, 它可以通过一次扫描获得病灶在 40~140 KeV 范围内的所有 CT 值^[4-5]。近两年有文献报道通过比较不同能级下的

CT 值来鉴别肾上腺结节的良恶性^[6], 但关于双能增强扫描计算廓清率的方式尚未见相关报道。因此, 本研究的主要目的是通过计算延迟 5 min 时不同能级下肾上腺腺瘤及恶性肿瘤的廓清率, 初步观察流出公式在双能 CT 上对病变诊断的敏感度和特异度, 探讨双能 CT 上是否能够缩短鉴别增强扫描的延迟时间来鉴别肾上腺良恶性结节, 旨在进一步优化肾上腺病变的 CT 检查方案。

材料与方法

1. 一般材料

本研究方案由医院伦理委员会审批同意, 所有患者均知情同意。研究对象为 2011 年 3 月—2011 年 6 月来我院就诊, 在 CT 扫描中发现有单侧或双侧肾上

作者单位: 100034 北京, 北京大学第一医院医学影像科(李玮、刘婧、王霄英、邱建星、蒋学祥); 201203 上海, GE 中国 CT 研究中心(张帅)

作者简介: 李玮(1982—), 男, 北京人, 技师, 主要从事 CT 及 MRI 技术工作。

通讯作者: 刘婧, E-mail: liujing_83512@163.com

腺结节的连续病例。入组标准:平扫 CT 值 >10 HU 的腺瘤;肾上腺恶性肿瘤。排除标准:平扫 CT 值 <10 HU 的腺瘤;除腺瘤以外的良性病变(包括囊肿、髓质瘤等)和交界性肿瘤(如嗜铬细胞瘤)。

诊断标准:手术病理证实;CT 平扫随访 5~6 个月,病变大小变化不超过 15% 视为良性病变;由临床医师结合病史和临床资料而确诊。

本研究中共 33 例患者行双能 CT 扫描,最后入组 12 例患者共 12 个肾上腺结节,其中腺瘤 9 个、恶性病变 3 个(皮质癌 2 个、肾癌伴肾上腺转移瘤 1 个)。12 例中男 5 例,女 7 例,年龄 20~83 岁,平均 (43 ± 16) 岁。7 个结节(包括腺瘤 4 个、皮质癌 2 个和肾癌伴肾上腺转移瘤 1 个)经手术病理确诊;2 个腺瘤经 CT 平扫随访 5~6 个月,病变大小变化不超过 15% 而确立诊断;3 个腺瘤由临床医师结合病史和临床资料而确诊。

2. 检查方法

所有检查均在 GE Discovery CT750 HD 64 排螺旋 CT 机上进行,均采用三期双能扫描模式。其中平扫和长延迟期(注射对比剂后 5 min)扫描范围只包括肾上腺,门脉期(注射对比剂后 70 s)扫描范围自膈顶

下至腹主动脉分叉水平。扫描参数:0.8 s/r,探测器宽度 40 mm,螺距 1.375,电压为高低能量(140 kVp 和 80 kVp)瞬时(0.5 ms)切换,600 mA,扫描层厚及层间距均为 5 mm。增强扫描采用高压注射器经外周静脉注射优维显 300(碘普罗胺)80~100 ml,注射流率 3~4 ml/s。

3. 图像分析与测量

图像分析及测量均在专业工作站 AW4.4 (GE Healthcare, USA) 上进行,由一位影像科医师完成,对病变的平扫、增强及延迟期图像进行分析。首先将混合能量图像载入 GSI 观察与分析系统(GSI viewer 软件)进行分析,选择病灶最大层面,在病灶中央放置圆形或椭圆形 ROI,面积为病灶的 $1/2 \sim 2/3$,如密度不均匀则尽量避开囊性成分;接着保存生成的 ROI 能谱曲线图以及相应的数据文件,包含 40~140 KeV、以 10 KeV 为间隔的各能量水平的 CT 值(图 1、2)。

4. 廓清率的计算

绝对廓清率(absolute percentage washout, APW)和相对廓清率(relative percentage washout, RPW)计算公式:

$$APW = \frac{E-D}{E-U} \times 100\% \quad (1)$$

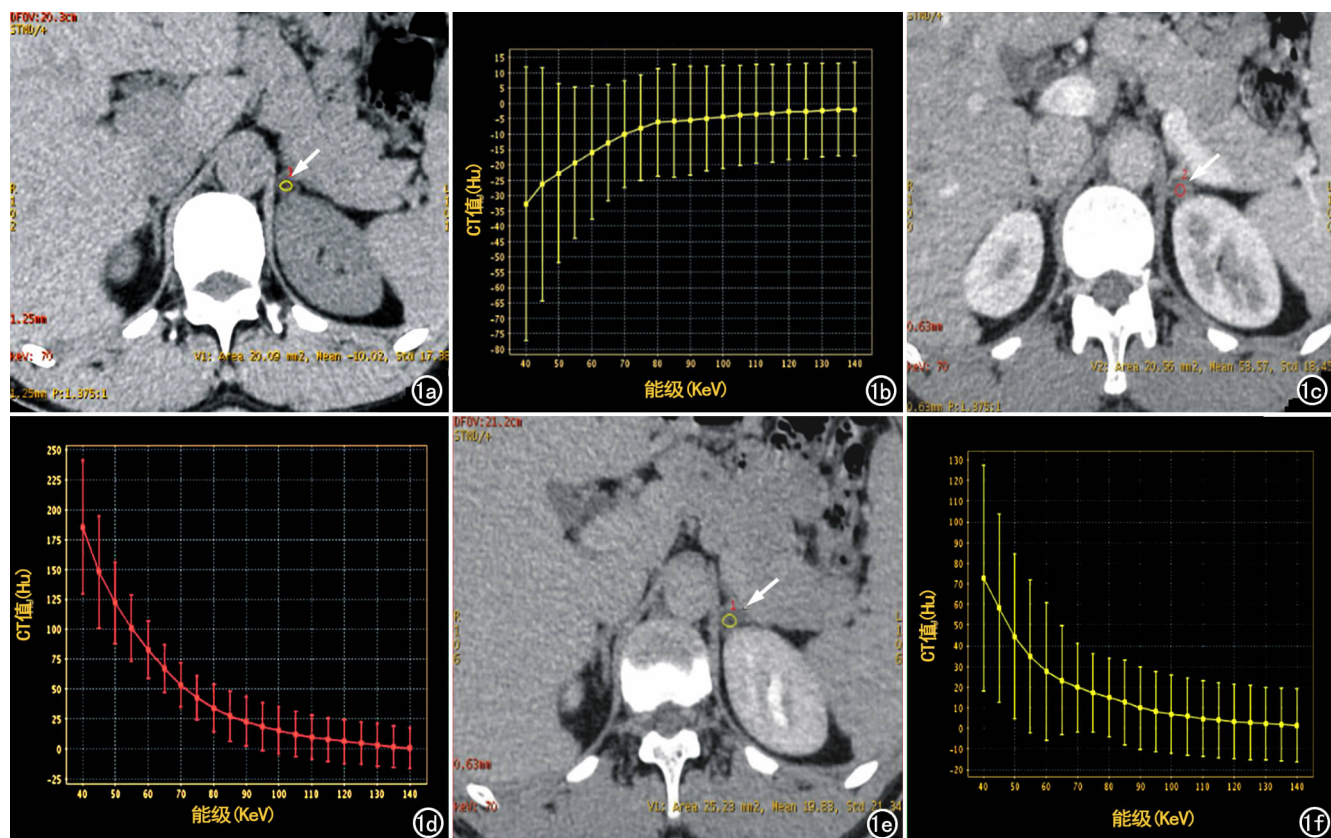


图1 肾上腺腺瘤 70 KeV CT 扫描。a)平扫示左侧肾上腺小结节(箭),CT 值为 -10 HU; b)平扫能谱曲线,示结节密度随着能级增大而增高,提示含有脂肪成分; c)门脉期 CT 示左侧肾上腺小结节轻度强化(箭),CT 值约为 54 HU; d)门脉期能谱曲线,示结节密度随着能级增大而降低,这是结节中含有碘剂的结果; e)延迟期示左侧肾上腺小结节的 CT 值约为 20 HU(箭); f)延迟期能谱曲线,示结节密度随着能级增大而降低,且密度范围明显低于门脉期,这是良性结节中碘剂清除迅速的结果。

$$RPW = \frac{E-D}{E} \times 100\% \quad (2)$$

其中 E 为增强 CT 值, D 为延迟 CT 值, U 为平扫 CT 值。

5. 统计学处理

所有数据统计学分析均采用 SPSS 20.0 软件, 使用 ROC 曲线计算各 KeV 下 APW 和 RPW 鉴别良恶性结节的诊断价值。

结 果

良性结节的对比剂廓清率较快(图 1), 而恶性结节相对较慢(图 2)。如果绝对廓清率 $>60\%$ 、相对廓清率 $>40\%$, 则腺瘤可能性大; 如果绝对廓清率 $<60\%$ 、相对廓清率 $<40\%$, 则恶性可能性大^[2]。在各 KeV 下使用文献上经典对比剂廓清率诊断标准来诊断病变良恶性的结果见表 1、2。其中 APW 的敏感度在 40 KeV 最高(为 55.6%), 而在其它能级均低于 50%; 特异度在 40 KeV 最低, 为 33.3%, 在 100~120 KeV 为 66.7%, 在其余各能级下为 100%。RPW 的敏感度均低于 50%, 特异度在各能级下均为 100%。

使用 ROC 曲线计算各 KeV 下鉴别腺瘤和恶性肿瘤达到最高诊断效能的 APW 和 RPW, 结果见表 3、4。其中 APW 界值范围为 $-19.5\% \sim 36.0\%$, 明显低于经典 APW 界值(60%); RPW 界值范围为 $11\% \sim 19\%$, 也明显低于经典 RPW 界值(40%), 但是敏感度和特异度几乎均在 50% 以上, 明显高于经典廓清率的诊断效能。

讨 论

对比剂廓清率作为鉴别肾上腺良恶性病变的重要方式已在国内外得到了普遍认可^[2,3,11]。对于单能 CT 来说, 廓清率需要延迟 10~15 min 才能达到较高的诊断敏感度及特异度, 这对于临床工作来说是有局限性的。双能 CT 是一种全新概念的计算机辅助成像技术, 它可将透过人体组织的混合 X 线能谱解析为不同能级的单能谱线, 这对临床某些疾病的诊断具有较大的帮助。与混合能量 CT 不同, 低 KeV 的单能级更接近于碘剂的结合能^[7-9], 因此能更好的显示增强病变^[10], 而对于肾上腺病变增强后对比剂廓清率的计算则主要是针对碘剂的含量进行的。目前, 随着双能

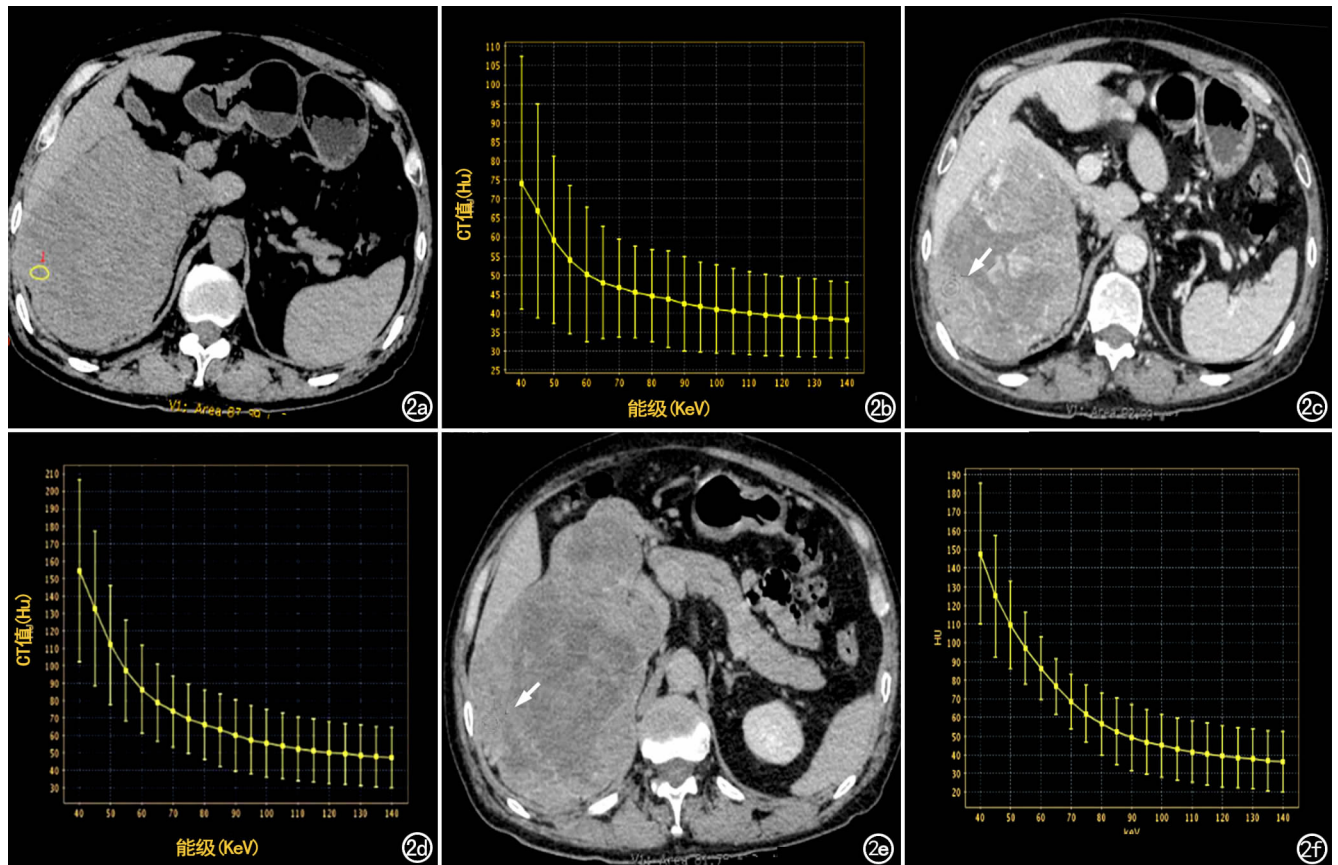


图2 肾上腺嗜铬质瘤 70 KeV CT 扫描。a) 平扫示右侧肾上腺巨大肿块, 其实性成分的 CT 值约为 48HU; b) 平扫能谱曲线, 示结节密度随能级增大而降低; c) 门脉期示右侧肾上腺肿块实性成分轻度不均匀强化(箭), CT 值约为 74HU; d) 门脉期能谱曲线, 示结节密度随能级增大而降低, 且密度范围明显高于平扫, 这是结节中含有碘剂的结果; e) 延迟期示右侧肾上腺肿块的实性成分 CT 值约为 69HU(箭); f) 延迟期能谱曲线, 示结节密度随能级增大而降低, 但密度范围与门脉期几乎接近, 这是恶性结节中碘剂清除缓慢的结果。

表 1 各 KeV 下经典廓清率的诊断结果

(例)

廓清率诊断	40KeV		50 KeV		60 KeV		70 KeV		80 KeV		90 KeV		100 KeV		110 KeV		120 KeV		130 KeV		140 KeV	
	良性	恶性	良性	恶性	良性	恶性	良性	恶性	良性	恶性	良性	恶性	良性	恶性	良性	恶性	良性	恶性	良性	恶性	良性	恶性
APW																						
良性	5	2	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	2	1	0	1	3	1	0	0	0	0
恶性	4	1	9	3	9	3	9	3	7	3	7	3	7	2	9	2	6	2	9	3	9	3
RPW																						
良性	1	0	1	0	1	0	2	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
恶性	8	3	8	3	8	3	7	3	8	3	8	3	8	3	8	3	8	3	8	3	8	3

表 2 各 KeV 下经典廓清率的诊断效能

廓清率诊断	40KeV	50 KeV	60 KeV	70 KeV	80 KeV	90 KeV	100 KeV	110 KeV	120 KeV	130 KeV	140 KeV
APW											
敏感度(%)	55.6	0	0	0	22.2	22.2	22.2	0	33.3	0	0
特异度(%)	33.3	100	100	100	100	100	66.7	66.7	66.7	100	100%
RPW											
敏感度(%)	11.1	11.1	11.1	22.2	11.1	11.1	11.1	11.1	11.1	11.1	11.1
特异度(%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

表 3 使用 ROC 曲线计算各 KeV 下鉴别良、恶性结节达到最佳诊断效能的绝对廓清率

能级(KeV)	ROC 曲线面积	标准误	渐进 P 值	APW 界值	敏感度(%)	特异度(%)
40	0.667	0.272	0.405	-0.070	100	66.70
50	0.963	0.054	0.021	0.190	100	66.70
60	0.963	0.054	0.021	0.160	100	66.70
70	0.926	0.085	0.033	0.245	100	66.70
80	0.741	0.166	0.229	0.355	77.80	66.70
90	0.667	0.209	0.405	0.360	77.80	66.70
100	0.630	0.231	0.518	0.350	77.80	66.70
110	0.444	0.249	0.782	-0.195	100	33.30
120	0.556	0.214	0.782	0.315	77.80	66.70
130	0.370	0.194	0.518	0.175	66.70	33.30
140	0.185	0.167	0.116	0.210	55.60	33.30

表 4 使用 ROC 曲线计算各 KeV 下鉴别良、恶性结节达到最佳诊断效能的相对廓清率

能级(KeV)	ROC 曲线面积	标准误	渐进 P 值	RPW 界值	敏感度(%)	特异度(%)
40	0.815	0.167	0.116	0.155	100	66.70
50	0.852	0.140	0.079	0.135	100	66.70
60	0.852	0.140	0.079	0.110	100	66.70
70	0.852	0.140	0.079	0.125	100	66.70
80	0.741	0.166	0.229	0.170	77.80	66.70
90	0.778	0.145	0.166	0.200	66.70	66.70
100	0.741	0.145	0.229	0.200	66.70	100.00
110	0.667	0.153	0.405	0.185	66.70	66.70
120	0.667	0.153	0.405	0.165	66.70	66.70
130	0.593	0.173	0.644	0.150	66.70	66.70
140	0.593	0.173	0.644	0.130	66.70	66.70

CT 的研究价值逐渐被开发,笔者首次利用双能 CT 成像探讨了延迟 5 min 时对比剂廓清率对鉴别肾上腺腺瘤和恶性结节的诊断效能。

对比剂廓清率主要包括 APW 及 RPW,主要是根据病变在平扫、增强后 70 s 及延迟期的密度值进行计算得出的百分比。一般认为肾上腺恶性肿瘤(如转移瘤)内部新生的幼稚毛细血管比较多,血管通透性相对较差,对比剂滞留时间较长,因此廓清率会比良性肿瘤(如腺瘤)延迟^[2-3]。一般认为延迟 10~15 min 后,腺瘤的廓清率较高,如 APW>60%或 RPW>40%;而恶性病变的廓清率偏低,如 APW<60%或 RPW<40%^[4]。而本组研究结果显示,利用这种经典的廓清率鉴别良恶性,其诊断效能偏低(表 1、2)。原因之一

可能是因为延迟时间不够,而笔者推断延迟 10 min 后应该会使廓清率达到较高的诊断敏感度,但因和单能 CT 相差无几,而失去了双能 CT 的优越性。原因之二是因为我们剔除了平扫 CT 值<10 HU 的腺瘤,这可能降低了诊断的敏感度。但是,平扫 CT 值<10 HU 的肾上腺结节诊断为富含脂肪型的腺瘤并无争议,因此没有必要再利用增强扫描计算廓清率做进一步诊断,故未纳入本研究。

双能 CT 与混合能量 CT 的主要不同在于能够通过一次扫描获得从低到高的多个单 KeV 能量图,低 KeV(如 60~80 KeV)的能级更接近于碘剂的结合能,可更佳的显示增强病变^[10-12]。本研究中使用 ROC 曲线计算的廓清率结果显示,APW 及 RPW 的诊断效能

在低能级(40~70 KeV)下几乎均为最高;敏感度为100%、特异度为66.7%。而即使在其他能级下利用ROC曲线计算的廓清率的诊断效能也远远高于经典的廓清率。

因此,双能CT虽不能明显提高延迟5 min时对比剂廓清率诊断肾上腺病变的敏感度和特异度,但有可能估算出在各个能级下APW和RPW的诊断界值范围,从而也可鉴别良恶性提供更多的方法和思路,不过,这需要今后通过大样本的研究加以实现,尤其是增加恶性病变的例数。

本研究的目的是讨论双能CT可否在常规CT影像诊断困难时提供更多的信息。然而,出于对剂量的考虑,选择双能CT的合理适应证是非常必要的。

总之,虽然本研究在双能增强CT上并未实现缩短延迟时间获得较高的对比剂廓清率的敏感度和特异度,但通过较短的延迟时间、利用双能CT独有的特点,也能为今后鉴别肾上腺良恶性肿瘤提供更广阔的研究前景。

参考文献:

- [1] Copeland PM. The incidentally discovered adrenal mass[J]. Ann Surg, 1984, 199(1): 116-122.
- [2] Caoili EM, Korobkin M, Francis IR, et al. Adrenal masses: characterization with combined unenhanced and delayed enhanced CT[J]. Radiology, 2002, 222(3): 629-633.
- [3] Caoili EM, Korobkin M, Francis IR, et al. Delayed enhanced CT of

- lipid-poor adrenal adenomas[J]. AJR, 2000, 175(5): 1411-1415.
- [4] Pache G, Krauss B, Strohm P, et al. Dual-Energy CT virtual non-calcium technique: detecting posttraumatic bone marrow lesions: feasibility study[J]. Radiology, 2010, 256(2): 617-624.
- [5] Takahashi N, Vrtiska TJ, Kawashima A, et al. Detectability of urinary stones on virtual nonenhanced images generated at pyelographic-phase dual-energy CT[J]. Radiology, 2010, 256(1): 184-190.
- [6] Gupta RT, Ho LM, Marin D, et al. Dual-energy CT for characterization of adrenal nodules: initial experience[J]. AJR, 2010, 194(6): 1479-1483.
- [7] 王乐, 刘斌, 汪洁, 等. 能谱CT对碘含量测量准确性的实验研究[J]. 放射学实践, 2012, 27(3): 264-267.
- [8] 邵伟光, 刘典美, 周茂义, 等. 双能CT正常成人甲状腺碘浓度测定的初步研究[J]. 实用放射学杂志, 2012, 28(2): 193-195.
- [9] 陈步东, 贺文, 李剑颖, 等. 双能能谱CT定量检测尘肺SiO₂[J]. 中国医学影像技术, 2011, 27(12): 2393-2397.
- [10] Graser A, Johnson TR, Chandarana H, et al. Dual energy CT: preliminary observations and potential clinical applications in the abdomen[J]. Eur Radiol, 2009, 19(1): 13-23.
- [11] 刘婧, 王鹤, 王霄英, 等. 双能CT成像鉴别肾上腺良恶性病变的初步研究[J]. 放射学实践, 2012, 27(3): 242-245.
- [12] 王乐, 刘斌, 余永强, 等. 能谱成像测量单能量下CT值与碘含量的相关性分析[J]. 实用放射学杂志, 2012, 28(5): 784-787.
- [13] Chiro GD, Brooks RA, Kessler RM, et al. Tissue signatures with dual-energy computed tomography[J]. Radiology, 1979, 131(2): 521-523.

(收稿日期: 2013-01-23 修回日期: 2013-02-19)

《中国介入影像与治疗学》杂志 2013 年征订启事

《中国介入影像与治疗学》杂志创刊于2004年,是由中国科学院主管,中国科学院声学研究所主办,中国工程院医药卫生工程学部协办的国家级学术期刊,主编为邹英华教授。刊号:ISSN 1672-8475, CN 11-5213/R。是中国精品科技期刊、中国科技论文统计源期刊(中国科技核心期刊)、中国科学引文数据库核心期刊、中国期刊全文数据库全文收录期刊、荷兰《医学文摘》收录源期刊、俄罗斯《文摘杂志》收录源期刊、波兰《哥白尼索引》收录源期刊。

《中国介入影像与治疗学》杂志以报道介入影像与治疗学、介入超声学、介入材料学、药理学与护理学等方面的临床研究、基础研究以及医、理、工结合的成果与新进展为主,在学术上追求高起点、创新性;在技术上追求先进性、实用性和规范化;信息报导上追求真实性、时效性、可读性。本刊是介入影像、治疗学工作者学习、交流的园地,也是图书馆必备的学术刊物。

《中国介入影像与治疗学》为月刊,64页,大16开本,彩色印刷。单价:16元,全年定价192元。订户可随时向当地邮局订阅,邮发代号:80-220;亦可向编辑部直接订阅,免邮寄费(欢迎通过银行转账,附言栏请注明订阅杂志名称)。

欢迎广大医务工作者踊跃订阅和投稿,我们将为您提供最优质、便捷的服务。电话:010-82547903 联系人:孟辰凤
地址:100190 北京市海淀区北四环西路21号大猷楼502室 E-mail: cjiit@mail. ioa. ac. cn

银行账户名:《中国医学影像技术》期刊社 开户行:招商银行北京分行清华园支行 账号:110907929010201

传真:010-82547903 网址:www. cjiit. com