

## • 对比剂研究 •

## 对比剂注射流率对双源 CT 上腹部虚拟平扫图像质量的影响

彭晋, 张龙江, 周长圣, 赵艳娥, 蔡军, 马延, 朱正庭, 卢光明

**【摘要】 目的:**比较对比剂注射流率对双源 CT 上腹部虚拟平扫图像质量的影响。**方法:**2009 年 2~5 月 60 例临床疑似上腹部病变患者行双源 CT 上腹部常规平扫(CNCT)及动脉期双能量扫描(80 kVp/400 mA 和 140 kVp/95 mA)。随机每组 20 例分成 3 组。对比剂注射流率分别为 3.0 ml/s、4.0 ml/s 及 5.0 ml/s。利用 Liver VNC 软件处理得到动脉期虚拟平扫数据,比较 3 组动脉期 VNC 在图像质量、平均 CT 值、信噪比、辐射剂量及病灶检出上差异是否有显著性意义。**结果:**三组虚拟平扫所测肝脏、腹主动脉平均 CT 值的差异均无显著性意义( $P>0.05$ );3.0 ml/s、4.0 ml/s 组所测脾脏平均 CT 值差异无显著性意义( $P>0.05$ ),5.0 ml/s 组差异有显著性意义( $P\leq 0.05$ );三组虚拟平扫之间信噪比差异无显著性意义( $P>0.05$ );虚拟平扫的图像质量较常规平扫有下降,但可满足临床诊断需求,三组虚拟平扫图像质量评分的差异无显著性意义( $P=0.07$ );三组虚拟平扫和常规扫描病灶检出性能相似。**结论:**尽管注射流率对动脉期虚拟平扫的图像质量差异无显著性意义,但 3 ml/s 组图像质量有更好的趋势,推荐在临床使用。

**【关键词】** 体层摄影术, X 线计算机; 辐射剂量; 图像处理, 计算机辅助

**【中图分类号】** R814.42; R816.5 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2010)02-0215-04

**Influence of Injection Rate of Contrast Medium on Image Quality of Dual Energy Virtual Non-contrast CT of Epigastrium Using Dual Source CT Scanner: A Preliminary Study** PENG Jing, ZHANG Long-jiang, ZHOU Chang-sheng, et al. Department of Medical Imaging, Nanjing General Hospital of Nanjing Military Command, Nanjing 210002, P. R. China

**【Abstract】 Objective:** To investigate the effect of injection rate of contrast medium on image quality of dual-energy virtual non-contrast CT (VNCT) of epigastrium using dual source CT. **Methods:** From February to May 2009, 60 patients who were suspected of having intrahepatic lesions in our hospital were referred to undergo abdominal CT scan; conventional (CNCT) and arterial phase enhanced scanning with dual-energy mode (80kVp/400mA and 140kVp/95mA). The patients were classified into three groups (3ml/s, 4ml/s, and 5ml/s) according to injection rate. The dedicated software of Liver VNC was used to reformat VNCT images. Image quality, radiation dose, the average CT value, signal to noise ratio, and lesion detectability of 3 groups were compared. **Results:** There was no statistical significance among three groups for CT numbers of the liver and abdominal aorta for VNCT images among three groups ( $P>0.05$ ). No statistical significance for CT numbers of spleen was found between groups 3ml/s and 4ml/s, while statistical significance was present for group 5ml/s ( $P\leq 0.05$ ). There was no statistical significance for SNR among three groups ( $P>0.05$ ). Image quality of VNCT was lower but more practical for diagnosis than CNCT ( $P>0.05$ ), there was no statistical significance for three VNCT images ( $P=0.07$ ). VNCT images of the three groups had similar performance to that of CNCT in the detection of lesions. **Conclusions:** Injection rate of 3ml/s is recommended to be used in the clinical setting, though having no statistical significance but possessing the tendency of increasing image quality.

**【Key words】** Tomography, X-ray computed; Radiation dosage; Image processing, computer-assisted

最近有报道评价了肾肿块双能量 CT 虚拟平扫的价值<sup>[1]</sup>。笔者在前期研究中探讨了上腹部双能量虚拟平扫技术临床应用价值,认为动脉期的双能量 CT 扫描可获得质量较好的虚拟平扫图像,同时可兼获肝脏富血供病变更高的信噪比<sup>[2]</sup>。本研究旨在探讨对比剂注射流率对上腹部动脉期虚拟平扫的图像质量、CT 值、信噪比、辐射剂量及病变检出的影响。

## 材料与方法

### 1. 临床资料

2009 年 2~5 月于我院就诊的 60 例临床疑似上腹部病变患者纳入本研究,其中男 39 例,女 21 例,年龄 15~83 岁,平均年龄( $57\pm 13$ )岁。病例纳入标准:体质指数(body mass index, BMI)在正常范围(18.3~24.9)之内;无碘对比剂过敏;无严重心、肺、肾功能不全;非孕、产妇。

### 2. 检查方法与参数

所有病例均在德国西门子双源 CT 机(Somatom Definition)上进行检查。首先常规扫描定位,然后行常规平扫。扫描范围均从横膈顶至肝脏下缘,常规平扫参数:管电压 120 kV,有效电流 230 mA;开启实时动态曝光剂量调节软件(CARE Dose 4D);螺距 1.2,球管旋转时间 0.5 秒/圈,层厚 10 mm,重建间隔

10 mm。平扫完成后经右侧肘前静脉分别以 3 ml/s、4 ml/s、5 ml/s 流率(每组 20 例)应用双筒高压注射器注射浓度为 300 mg I/ml 的优维显 80 ml,注射完对比剂后再以相同的流率注射 40 ml 生理盐水。由于在前期研究<sup>[2]</sup>中发现动脉期双能量 CT 获得的虚拟平扫图像质量较高,因此本研究只在动脉期设置双能量扫描。将动脉期定义为注射对比剂后 25 s。扫描参数:A 球管电压 140 kV,有效电流 96 mA;B 球管电压 80 kV,有效电流 404 mA;开启实时动态曝光剂量调节 CARE Dose 4D;准直器 64×0.6 mm、视野 260 mm、螺距 0.55、球管旋转时间 0.5 秒/圈、DE composition=0.3 (即按照 70% 140 kV 的数据与 30% 80 kV 的数据比率,通过特殊计算后融合),自动重建层厚 0.75 mm、重建间隔 0.5 mm,再根据患者体型适度放大视野后,重建层厚 10 mm、重建间隔 10 mm,得到的 3 组数据(140 kV、80 kV、DE composition=0.3 数据)。

3. 影像重组及图像分析

扫描完成后将数据传输至工作站(Syngommwp VE31A),将动脉期双能量数据(80 kV 与 140 kV 数据)调入双能量软件内,启动应用程序内的 Liver VNC 处理,通过调整 CT 与碘对比剂的融合比率,将 CT 的融合比率调节到 100%,碘对比剂的融合比率调整到 0%,得到动脉期虚拟平扫的重组数据并分别保存。将保存后的数据再次调入 3D 软件内,重组出层厚 10 mm、间隔 10 mm 的序列图像,设置窗宽与常规平扫相同。

由一名影像科医师独立测量常规平扫和动脉期虚拟平扫的 CT 值,层面选择在肝门平面,其中肝实质选取 3 个兴趣区,脾及腹主动脉各 1 个,兴趣区大小约为 1 cm<sup>2</sup>。首先在常规平扫上确定兴趣区后,利用复制和粘贴功能直接将这些兴趣区复制到虚拟平扫上以保证兴趣区大小和位置完全相同。在该部分的 CT 值测量时,尽量避开明确的病变区。

为了评价虚拟平扫的图像质量是否可以满足影像学诊断,由 2 名具有 15 年以上临床诊断经验的副主任医师分别对普通平扫及虚拟平扫的图像质量进行评分,意见不一致时共同协商决定。阅片顺序为常规平扫、动脉期虚拟平扫。评分标准<sup>[3]</sup>如下:5 分,解剖细节清晰,能够简单明了地评价;4 分,解剖结构和细节较清楚,能够评价,但不是特别好;3 分,大部分解剖结构可以满足诊断,但少数图像不能进行评价;2 分,解剖结构不清楚,解剖细节不足以被发现;1 分,解剖结构模糊,不能诊断。

以增强后图像显示的病灶为参照标准,分别计算 3 组虚拟图像显示病灶的数目情况。

4. 辐射剂量评估

每例患者检查时由机器自动生成的容积 CT 剂量指数(CT dose index,CTDIvol,单位为 mGy)及剂量长度乘积(dose length product,DLP,单位为 mGy×cm)。CTDIvol 反映整个扫描容积中的平均剂量;DLP 用来评价受检者一次完整 CT 扫描总的辐射剂量。根据公式有效剂量(effective dose,ED)=DLP×C<sup>[4]</sup>换算成有效剂量(单位为 mSv),其中 C 为换算因子,文中采用欧洲 CT 质量标准指南提出的腹部平均值 0.015<sup>[5]</sup>。

5. 统计学处理

应用 SPSS 12.0 软件对上述各组数据进行统计学分析,对各组普通平扫及虚拟平扫所测兴趣区的平均 CT 值、信号噪声比以及辐射剂量行配对 t 检验分析,对图像质量评分行非参数检验(Mann-Whitney U),而后不同流率虚拟平扫组间各参数的比较行单因素方差分析;如差异存在显著性意义则进行组间两两比较。以增强扫描结果为依据,利用  $\chi^2$  检验对各组图像中肝脏病变的检出情况进行比较。 $P\leq 0.05$  为差异有显著性意义。

结 果

1. 平均 CT 值以及信号噪声比

3.0 ml/s 组虚拟平扫图像中肝脏、脾脏 CT 值及 4.0 ml/s 组虚拟平扫图像中脾脏 CT 值与普通平扫差异无显著性意义( $P\geq 0.05$ );其余各组兴趣区 CT 值与普通平扫差异均有显著性意义( $P<0.05$ );3 组虚拟平扫图像肝脏、腹主动脉兴趣区 CT 值的差异无显著性意义;脾脏 CT 值的差异有显著性意义,组间分析显示 5.0 ml/s 组与 3.0 ml/s、4.0 ml/s 组的差异有显著性意义( $P<0.05$ ),而 3.0 ml/s 组与 4.0 ml/s 组脾脏 CT 值之间的差异无显著性意义( $P=0.47$ ,表 1)。

表 1 三组 VNCT 与 CNCT 图像兴趣区平均 CT 值 (HU)

| CT 图像 | 3ml/s       | 4ml/s       | 5ml/s      | F 值  | P 值  |
|-------|-------------|-------------|------------|------|------|
| 肝脏    |             |             |            | 0.32 | 0.73 |
| 普通平扫  | 57.89±6.89  | 54.41±11.14 | 56.45±9.41 |      |      |
| VNC   | 58.72±8.61  | 57.17±11.54 | 59.71±9.95 |      |      |
| P 值   | 0.40        | 0.00        | 0.00       |      |      |
| 脾脏    |             |             |            | 6.04 | 0.04 |
| 普通平扫  | 47.54±4.00  | 46.93±3.15  | 49.98±4.80 |      |      |
| VNC   | 51.00±11.12 | 48.82±8.11  | 58.75±8.99 |      |      |
| P 值   | 0.08        | 0.31        | 0.00       |      |      |
| 腹主动脉  |             |             |            | 1.96 | 0.15 |
| 普通平扫  | 41.40±4.28  | 39.35±5.95  | 42.81±6.89 |      |      |
| VNC   | 35.82±8.25  | 31.13±11.26 | 36.71±8.97 |      |      |
| P 值   | 0.00        | 0.00        | 0.02       |      |      |

三组虚拟平扫图像中肝脏、脾脏及腹主动脉兴趣区 SNR 与普通平扫差异均有显著性意义( $P<0.05$ );虚拟平扫图像中除 4.0 ml/s 组与 5.0 ml/s 组间脾脏

SNR 的差异有显著性意义( $P=0.007$ )外,其余各组虚拟平扫 SNR 之间的差异无显著性意义, $P>0.05$ (肝脏  $P=0.55$ 、腹主动脉  $P=0.65$ )(表 2)。

表 2 三组 VNCT 与 CNCT 图像兴趣区信号噪声比(SNR)

| CT 图像 | 3ml/s      | 4ml/s      | 5ml/s      | F 值  | P 值  |
|-------|------------|------------|------------|------|------|
| 肝脏    |            |            |            | 0.61 | 0.55 |
| 普通平扫  | 7.42±1.48  | 6.26±1.82  | 6.69±1.98  |      |      |
| VNC   | 11.42±2.00 | 10.79±2.36 | 10.69±2.45 |      |      |
| P 值   | 0.40       | 0.00       | 0.00       |      |      |
| 脾脏    |            |            |            | 4.03 | 0.02 |
| 普通平扫  | 6.03±0.95  | 5.54±0.95  | 5.87±1.32  |      |      |
| VNC   | 9.79±2.91  | 8.43±1.66  | 10.67±2.79 |      |      |
| P 值   | 0.00       | 0.00       | 0.00       |      |      |
| 腹主动脉  |            |            |            | 0.43 | 0.65 |
| 普通平扫  | 4.63±0.64  | 4.33±1.03  | 4.68±1.09  |      |      |
| VNC   | 5.86±1.78  | 5.31±2.08  | 5.68±1.88  |      |      |
| P 值   | 0.01       | 0.02       | 0.02       |      |      |

2. 图像质量

60 例患者体重指数均在正常范围(18.5~24.9)之内,三组虚拟平扫图像评分与普通平扫差异有显著性意义( $P$  值=0.00),结果显示普通平扫图像质量优于虚拟平扫;3.0 ml/s、4.0 ml/s 及 5.0 ml/s 组虚拟平扫图像质量评分分别为 4.1±0.45 分、3.75±0.55 分、3.80±0.52 分。对三组图像行单因素方差分析,组间差异无显著性意义( $F$  值=2.71, $P=0.07$ ),但 3

组虚拟平扫评分均在 3 分以上,均能满足临床诊断要求。

3. 肝脏病变的检出情况比较

以动、静脉期增强扫描图像诊断为标准,三组 VNC 均能检出所有病灶( $K$  值=1.0,一致性非常好):3.0 ml/s 组患者中检出 15 例患者 19 处病灶,其中囊性病变 5 处、转移灶 4 处、原发性肝癌 2 处(图 1)、血管瘤 2 处、钙化结石 2 处、肝癌术后碘油沉积 2 处,另有 2 例腹水,提示 VNC 与 CNCT 具有相似的病灶检出性能;4.0 ml/s 组患者中检出 7 例患者 9 处病灶,其中囊性病变 5 处、血管瘤 2 处、肝脓肿 1 处、肝癌术后碘油沉积 1 处;5.0 ml/s 组患者中检出 6 例患者 7 处病灶,其中囊性病变 2 处、原发性肝癌 2 处、血管瘤 2 处、肝癌术后碘油沉积 1 处;其中碘油沉积在 VNC 图像中呈明显低密度影,需结合动、静脉期图像综合考虑。所有患者中发现最小囊性病灶最大直径约为 5 mm,本研究中发现最大径<3 mm 的点状钙化灶在虚拟平扫中难以显现。

4. 辐射剂量

虚拟平扫图像所测的 CTDIvol、DLP、ED 值与普通平扫的差异均无显著性意义( $P>0.05$ ),提示虚拟平扫辐射剂量与普通平扫相当。

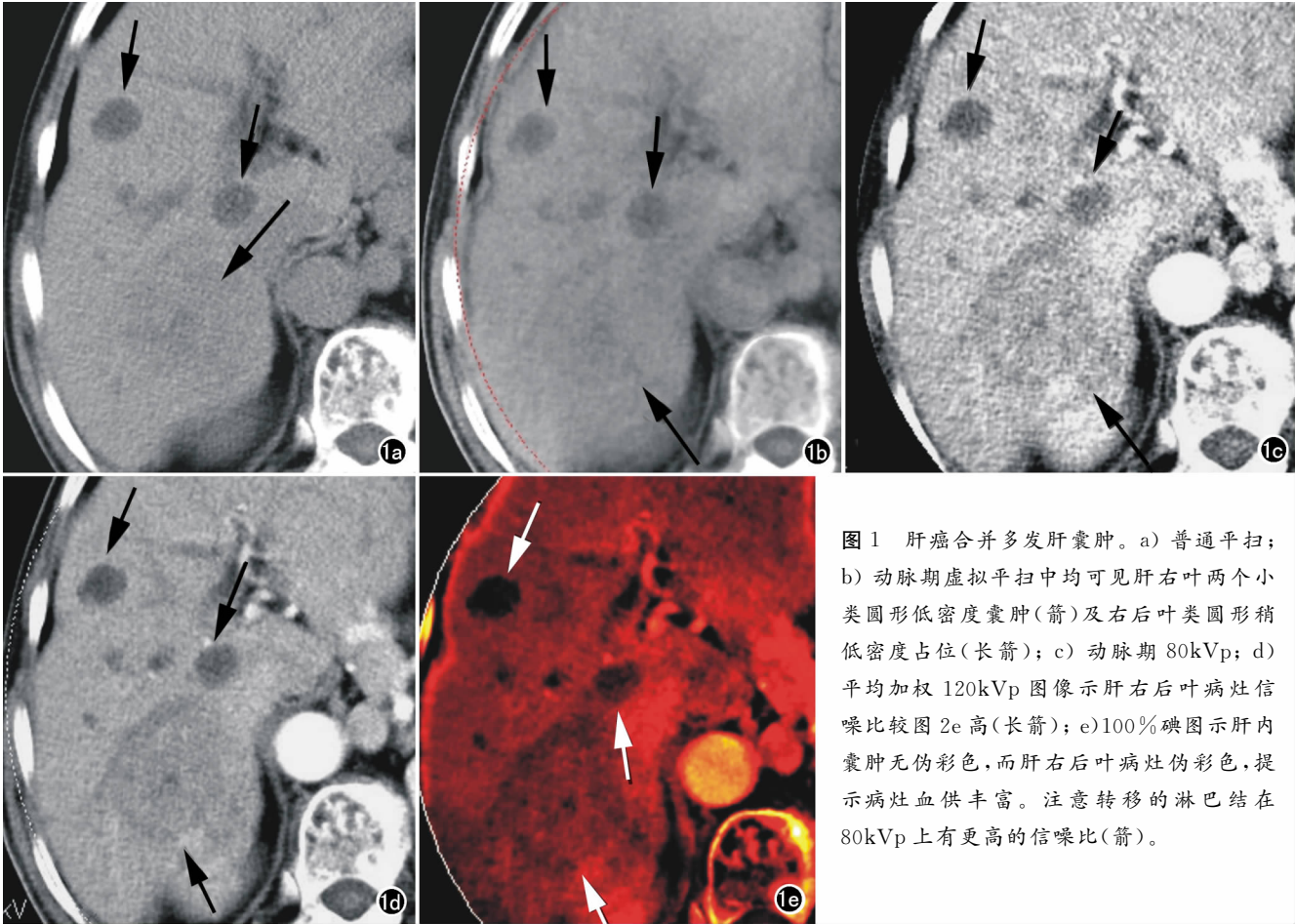


图 1 肝癌合并多发肝囊肿。a) 普通平扫; b) 动脉期虚拟平扫中均可见肝右叶两个小类圆形低密度囊肿(箭)及右后叶类圆形稍低密度占位(长箭); c) 动脉期 80kVp; d) 平均加权 120kVp 图像示肝右后叶病灶信噪比较图 2e 高(长箭); e) 100%碘图示肝内囊肿无伪彩色,而肝右后叶病灶伪彩色,提示病灶血供丰富。注意转移的淋巴结在 80kVp 上有更高的信噪比(箭)。

## 讨 论

目前双能量 CT 已经用于全身多个部位以及病变如泌尿系结石的检出和化学成分分析<sup>[6]</sup>、肺灌注成像等<sup>[7]</sup>,体现了积极的临床价值。然而复习文献还没有发现利用双能量 CT 进行肝脏虚拟平扫的研究报道。我们在前期的研究中发现动脉期的虚拟平扫图像中肝脏及脾脏的平均 CT 值与普通平扫差异无显著性意义;信号噪声比明显要高于普通平扫;图像质量尽管较常规平扫有下降,但足以满足临床诊断需求;而且和常规扫描病灶检出性能相似;患者接受的辐射剂量也与常规平扫相当<sup>[2]</sup>。本研究发现注射流率对 3 组虚拟平扫图像上肝脏的平均 CT 值、信噪比、图像质量以及病灶检出上的差异无显著性意义,而虚拟平扫图像肝脏的信噪比明显高于普通平扫,二者的辐射剂量相当。

尽管 3 个不同对比剂注射流率组获得的图像质量之间差异无显著性意义,但从中可见 3.0 ml/s 注射流率组的平均图像质量积分为 4.10,有高于 4.0 ml/s (3.75)和 5.0 ml/s (3.80)注射流率组图像质量的趋势;而且统计学分析显示  $P$  值仅为 0.07,提示如果加大样本量很有可能出现差异有显著性意义。SNR 的比较中也可见,3.0 ml/s 注射流率组肝脏的信噪比 (11.42)有高于 4.0 ml/s (10.79)和 5.0 ml/s (10.69)注射流率组的趋势;而在所测平均 CT 值的比较中 3 组虚拟平扫图像上所测肝脏的平均 CT 值只有 3.0 ml/s 注射流率与常规平扫之间的差异无显著性意义。这些都提示 3.0 ml/s 注射流率组获得的虚拟平扫图像更接近于常规平扫的图像质量。临床工作中因为很多患者存在静脉入路的困难,3.0 ml/s 的注射流率较 4.0 ml/s 和 5.0 ml/s 注射流率更容易实施,而且 3.0 ml/s 注射流率足以获得满意的图像质量。结合笔者前期和本研究中发现的现象,推荐在进行肝脏的双能量虚拟平扫时利用 3.0 ml/s 的注射流率在动脉期设置双能量扫描可获得比较好的图像质量,满足临床诊断的需求。

动脉期设置双能量扫描的优势不仅在于动脉期可获得比较好的图像质量,而且还因为双能量图像提供了很好的信噪比,有助于病变的检出。这份研究证实虚拟平扫图像 SNR 明显要高于普通组。SNR 是衡量图像免受干扰的能力,与管电压、管电量、层厚、重建算法、扫描时能量源数目及某些软件的应用等密切相关。管电量越高,层厚越厚;管电压越低,SNR 越高。虚拟平扫图像是按照 0.3 的权重系数(即 70%的信息来自 140 kV 的数据,30%的信息来自 80 kV 的数据)通过特殊计算后融合而成,而 80 kVp 图像管电压低,有效

电流高(404 mA),SNR 值高,最终使得融合而成的虚拟平扫图像信噪比高于普通平扫图像。低电压时导致高的 SNR 在腹盆部病变的检出中有重要价值,例如 80 kVp 扫描通过提高 SNR,可以提高对富血供小肝癌的检出能力<sup>[8]</sup>。图 1C 为 1 例 80kVp 的肝癌图像,可见相比于 120 kVp 图像而言明显提高了病灶的信噪比,碘图像(图 1e)还能够提供病变的强化程度,有助于病灶的检出和定性。由于可以在动脉期设置双能量扫描模式,获得虚拟平扫的图像,从而使得常规平扫不再需要,因此可以减少 1 次平扫的辐射剂量(ED, 2.65 mSv),这也符合国际放射防护委员会提出的合理使用低级量(ALARA)原则<sup>[9]</sup>。

总之,本研究发现尽管 3 组动脉期虚拟平扫图像质量差异无显著性意义,能基本满足诊断需要;均具有较高的信噪比、相似的病灶检出性能;但 3.0 ml/s 组虚拟平扫图像中肝脏的 CT 值更接近普通平扫,SNR 和图像质量也较其他 2 组虚拟平扫有增高的趋势,推荐在临床实际工作中应用。

## 参考文献:

- [1] Graser A, Johnson TR, Hecht EM, et al. Dual-Energy CT in Patients Suspected of Having Renal Masses: Can Virtual Nonenhanced Images Replace True Nonenhanced Images[J]. Radiology, 2009, 252(2): 433-440.
- [2] 彭晋, 张龙江, 吴新生, 等. 双源 CT 双能量上腹部虚拟平扫临床应用价值的初步探讨[J]. 临床放射学杂志, 2009, 28(12): 1680-1684.
- [3] Behrendt FF, Schmidt B, Plumhans C, et al. Image Fusion in Dual Energy Computed Tomography: Effect on Contrast Enhancement, Signal-to-noise Ratio and Image Quality in Computed Tomography Angiography[J]. Invest Radiol, 2009, 44(1): 1-6.
- [4] Nakayama Y, Awai K, Funama Y, et al. Low Tube Voltage Reduces Contrast Material and Radiation Doses on 16-MDCT Aortography[J]. AJR, 2006, 187(5): 490-497.
- [5] Menzel H, Schibilla H, Teunen D. European Guidelines on Quality Criteria for Computed Tomography [M]. Luxembourg: Official Publications of the European Communities, 2006. 32-33.
- [6] Scheffel H, Stolzmann P, Frauenfelde TR, et al. Dual-energy Contrast-enhanced Computed Tomography for the Detection of Urinary Stone Disease[J]. Invest Radiol, 2007, 42(12): 823-829.
- [7] 张龙江, 卢光明, 黄伟, 等. 双源 CT 肺双能量灌注成像的初步观察[J]. 中华放射学杂志, 2008, 42(11): 1183-1186.
- [8] Marin D, Nelson RC, Samei E, et al. Hypervascular Liver Tumors: Low Tube Voltage, High Tube Current Multidetector CT During Late Hepatic Arterial Phase for Detection-initial clinical Experience[J]. Radiology, 2009, 251(3): 771-779.
- [9] Slovis TL. The ALARA Conception in Pediatric CT: Myth or Reality[J]. Radiology, 2002, 223(1): 5-6.

(收稿日期: 2009-07-28)