# •影像技术学 •

# 双低 MSCT 技术对非肥胖患者门脉成像的临床研究

王辉,韩宇欣,汤漪凡,于长路,姜涛,刘金梦

【摘要】目的:探讨联合应用低管电压和低对比剂方案用于非肥胖患者门静脉成像(MSCTP)的可行性。方法:纳入 接受 MSCTP,体质量指数《25 kg/m<sup>2</sup> 的患者 160 例,采用数字法随机分为 2 组,每组 80 例。常规组管电压为 120 kVp,对 比剂用量为 1.2 mL/kg,双低组管电压为 80 kVp,对比剂用量为 1.0 mL/kg。采用独立样本 t 检验比较各组 CT 剂量容积 指数(CTDIvol)、有效管电流(mAs)、剂量长度乘积(DLP)、有效辐射剂量(ED)和对比剂用量、肝实质 CT 值(CTH)、门静 脉 CT 值(CTp)、图像噪声(SD)、肝实质 SNR(SNRH)、门静脉与肝实质 CNR(CNRp)的差异;采用秩和检验比较两组图像 评分。采用 Kappa 检验两位 医师评分结果一致性。结果:双低组 CTDIvol[(4.59±1.03) mGy]低于常规组 CTDIvol [(7.50±1.45) mGy(P<0.05)],均有统计学差异;双低组 ED[(1.71±0.50) mSv]低于常规组[(2.75±0.67) mSv(P< 0.05)];双低组平均辐射剂量比常规组减少了 1.05 mSv,减少 38.09%;双低组图像质量评分(3.93±0.88)高于常规组 [(3.33±0.81),有统计学差异(P<0.05)];双低组 CTH和 CTp 分别为(126.74±30.59)和(223.78±45.85) HU 均明显 高于常规组(95.60±15.89)和(161.47±25.37) HU,差异有统计学意义(P<0.05);双低组 SD(24.61±2.77) HU 高于 常规组(1.65±3.38) HU,P<0.05],双低组 SNRH 为(5.20±1.24) HU 低于常规组 SNRH(7.00±2.44) HU,差异有统 计学差异(P<0.05),但是双低组门静脉与肝实质 CNRp 为(4.33±0.97) HU 与常规组(4.67±1.44) HU 比较差异无统 计学意义(P>0.05);双低组平均对比剂用量为(66.56±2.48) mL 显著低于常规组[(80.48±2.97) mL(P<0.05)],双 低组平均造影剂用量较常规组减少 17.30%。结论:采用 80 kVp 低管电压结合低剂量和对比剂方案对非肥胖患者进行 MSCTP 能降低辐射剂量和对比剂用量并进一步提高图像质量。

【关键词】 体层摄影术,X线计算机;血管造影术;辐射剂量;对比剂

【中图分类号】R814.42; R816.2; R981.1 【文献标识码】A 【文章编号】1000-0313(2016)10-0991-05

DOI:10.13609/j. cnki. 1000-0313. 2016. 10. 020

A clinical study of double low dose MSCT portography in non-obese patient WANG Hui HAN Yu-xin, TANG Yi-fan, et al. Department of Radiology, Tianjin Third Central Hospital, Tianjin 300170, China

**(Abstract)** Objective: To investigate the feasibility of low tube voltage protocol combined with low dose contrast media in MSCT portography (MSCTP) in non-obese patients, **Methods**. Totally 160 patients with body mass  $\leq 25 \text{kg/m}^2$  underwent MSCTP. The patients were randomly divided into 2 groups, 80 cases in each group. The regular group was examed using tube voltage of 120kVp with contrast media of 1. 2mL/kg, while the study group using tube voltage of 80kVp with contrast media of 1.0mL/kg. The image quality was assessed in both objective and subjective methods. Independent samples t-test was used to compare the average volume CT dose index (CTDIvol), effective mAs, dose length product (DLP), effective dose (ED), CT value of hepatic parenchyma ( $CT_{H}$ ) and portal vein ( $CT_{P}$ ), image noise (SD), SNR of hepatic parenchyma (SNR<sub>H</sub>) and CNR of portal vein (CNR<sub>P</sub>) between two groups. Interobserver agreement with regard to image quality was assessed using kappa test. And the subjective image score was compared using Wilcoxon rank sum test. Results: The average CTDIvol in the study group  $\lceil (4.59 \pm 1.03) \,\mathrm{mGy} \rceil$  was lower than that in regular group  $\lceil (7.50 \pm 1.45) \,\mathrm{mGy} (P < 1.50 \pm 1.45) \,\mathrm{mGy$ 0.05)]. ED in the study group  $[(1.71\pm0.50)$  mSv] was significantly lower than that in regular group  $[(2.75\pm0.67)$  mSv (P < 0.05)]. Compared with the regular group, the ED in study group was decreased 38.09%. The score of image quality in study group (3.93 $\pm$ 0.88) was significantly higher than that in regular group (3.33 $\pm$ 0.81, P<0.05 ). CT<sub>H</sub>(126.74 $\pm$ 30.59),  $CT_P(223.78\pm45.85)$  and SD (24.61±2.77) HU in the study group were all higher than those in regular group  $[(CT_{H}(95.60 \pm 15.89) Hu; CT_{P}(161.47 \pm 25.37) HU, SD (1.65 \pm 3.38) HU, P < 0.05]$ . SNR<sub>H</sub> in the study group  $[(5, 20\pm 1, 24) \text{HU}]$  was lower than that in regular group  $[(7, 00\pm 2, 44) \text{HU}, P < 0.05]$ . There was no significant difference of  $\text{CNR}_{\text{P}}$  between the two groups  $\lceil (4.33 \pm 0.97) \text{HU}$  vs  $(4.67 \pm 1.44) \text{HU} \rceil$ . The contrast media dose in study group  $\lceil (66, 56 \pm 2, 48) \text{ mL} \rceil$  was lower than that in regular group  $\lceil (80, 48 \pm 2, 97) \text{ mL}, P < 0, 05 \rceil$ . Compared with regular group, the contrast media dose in study group was decreased by 17. 30%. Conclusion: In MSCTP of non-obese patients, the quality of image is improved, and the radiation dose is reduced by using low tube voltage of 80kVp combined with low contrast media scan protocol.

了解门静脉的解剖结构及不同的分型对于治疗肝 脏疾病及介入治疗门静脉高压和外科肿瘤切除术前评 估非常重要<sup>11</sup>,肝脏 CT 多期增强扫描可以用于评价 肝内门静脉高压情况及由此产生的侧支循环<sup>[2]</sup>。CT 门静脉成像这种造影技术在肝脏检查中已经可以取代 数字化血管造影[3]。门静脉与周围组织对比较小,为 了提高成像质量,以往通常会提高对比剂用量及加快 对比剂注射速率,这样虽然可提高门静脉成像效果,但 同时增加造影剂用量会增加了对比剂不良反应的发生 率[4]。并且辐射剂量越来越受到关注,有研究显示,公 众照射剂量每增加1Sv,癌症发生率将增加4.1%<sup>[5]</sup>, 所以如何在满足诊断需求的前提下,尽可能减少辐射 剂量成为了亟待解决的关键问题。采用低管电压技术 血管成像技术可以降低辐射剂量并同时减少对比剂用 量<sup>[6,7]</sup>。本研究讨论低管电压联合低对比剂方案 MSCT 门脉成像(multislice spiral CT portography, MSCTP)的应用价值。

#### 材料与方法

## 1. 一般资料

搜集我院 2014 年 5 月 - 2015 年 3 月接受 MSCTP的患者 160 例,体质量指数(body mass index,BMI)  $\leq$  25 kg/m<sup>2</sup>的患者。排除标准:①介入术 后或射频消融术后;②腹腔内有内置物,伪影严重;③ 肝先天性血管畸形、急性门静脉炎、肝移植、肝硬化断 流分流手术术后、布 - 加氏综合症、骨髓增生性疾病。 采用数字法随机分为 2 组,常规组 80 例,男 45 例,女 35 例,年龄 31~78 岁,平均年龄(52.59±12.12)岁, BMI(22.13±1.73) kg/m<sup>2</sup>;双低组 80 例,男 43 例,女 37 例,年龄 27~79 岁,平均年龄(51.76±12.89)岁, BMI(22.52±1.53) kg/m<sup>2</sup>。扫描前患者均知情并签 署知情同意书。

2. 扫描设备与方法

采用西门子双源 CT 仪 (Definition Flash, Siemens Healthcare, Germany), 嘱患者仰卧, 扫描范围 自膈顶至髂前上棘水平。常规组采用 120 kVp, 参考 管电流 210 mAs(机器设定值); 双低组采用 80 kVp, 参考管电流 675 mAs(机器设定值), 两组均采用自动 毫安秒技术(CARE Dose 4D)模式调节管电流。两组 准直  $64 \times 0.6$  mm, 层厚, 转速 0.5 s, 螺距 0.8 pitch, 层 厚 5.0 mm, 层间隔 5.0 mm, 视野 350 mm, 矩阵 512× 512, 重建层厚 0.75 mm, 重建层间隔 0.75 mm, 窗宽 350 HU, 窗位 50 HU。采用高压注射器以流率 3.0 mL/s经肘正中静脉注入对比剂采用碘海醇 (350 mg I/mL);常规组对比剂用量为 1.2 mL/kg,双 低组对比剂用量为 1.0 mL/kg;采用对比剂自动跟踪 技术(bolus-tracking),触发点置于降主动脉膈顶层 面,阈值设定为 100 HU,注射后 10 s 监测,阈值后 50 s 后行门静脉期扫描,将扫描数据图像传送至西门子工 作站(Siemens syngo MMWP workstation)中进行处 理。最大密度投影(maximum intensity projection, MIP);容积再现(volume rendering, VR)和多平面重 组((multi-planner reformation, MPR)等方法重建图 像。

3. 肝功能及 child-push 分级

记录两组肝功及凝血功能标包括血清总胆红素、 胆碱酯酶、血清白蛋白,凝血酶原时间;两组患者结合 临床上患者腹水、脑病情况划分肝储备功能(child-Push分级)。

4. 图像分析

筛选最佳 CT 图像用于门静脉血管评价。由2名 主治医师分别为6年资和8年资结合轴位和容积再现 及最大密度投影对图像质量在不知道具体分组的情况 下进行评估。

主观评价(图 1):1分,清晰显示门静脉主干;2 分,清晰显示门静脉左右支;3分,清晰显示肝叶门静 脉分支;4分,可显示肝段及以远门静脉分支,血管边 缘模糊;5分,清晰显示肝段及以远门静脉分支,血管 边缘清晰锐利<sup>[8]</sup>。

客观评价:①肝实质 CT 值:于门静脉主干水平 肝右前叶、右后叶及肝左外叶各划取 ROI,避开血管及 病灶,大小约 20mm<sup>2</sup>,测量 CT 值,取其平均值代表肝 实质 CT 值(CTH,图 2);②门静脉 CT 值:于门静脉 主干自左右支汇合处向下连续测量 2 个层面 CT 值, 取其平均值代表门静脉 CT 值(CTP,图 3);③测量与 门静脉相同肝脏实质 CT 值标准差(SD)作为图像噪 声值(图 3),计算肝实质 SNRH=CTH/SD,门静脉与 肝实质 CNRP=(CTP-CTH)/SD。

5. 有效射线剂量分析

扫描完成后记录 CT 容积剂量指数(CT dose index volume, CTDIvol)和剂量长度乘积(dose length product, DLP),单位有效剂量(effective dose, ED)=k ×DLP(k值参照欧盟委员会关于 CT 的质量标准指 南,腹部 k=0.015mSv/mGy•cm)<sup>[9]</sup>。

# 6. 统计学分析

采用 SPSS 19.0 软件对所得数据进行统计学分析,计量资料以  $\overline{x} \pm s$  表示,应用独立样本 t 检验比较 2 组患者年龄、BMI和辐射剂量(CTDIvol、DLP和ED)、



图 1 MSCTP 图像示肝段以及远门静脉分支,血管边缘毛糙,远端分支模糊,图像质量评分 4 分。a) 常规组 MIP; b) 常规组 VR 图像; c) 双低组 MIP; d) 双低组 VR 图像清晰显示肝段及以远门静脉分支,血管边缘清晰锐利(箭),图像质量评分 5 分。 图 2 肝实质 CT 值测量 ROI。a) 常规组; b) 双低组。

图像噪声 SD、肝实质 SNRH 和对比信噪比 CNRP;采 用秩和检验比较两组图像评分。采用 Kappa 检验分 析评价两名医师图像质量评分的一致性,Kappa>0.7为一致性较好,0.4 $\leq$ Kappa $\leq$ 0.7 为一致性中等, Kappa<0.4 为一致性差。以 P<0.05 认为差异有统 计学意义。

### 结果

1. 一般情况比较

两组患者年龄、BMI、差异无统计学意义(P> 0.05);有效管电流双低组(234.34±52.92) mAs 高于

图 3 门静脉 CT 值及 SD 值测量 ROI。a) 常规组; b) 双低组(红圈为门静脉测量 ROI)。 图 4 男,65岁,肝硬化、脾大。80kVp 双低组。a) MIP 图像清晰显示门 静脉主干血栓形成(箭); b) VR 图像清晰显示门静脉血栓位置(箭),胃底周围静 脉及食管下端静脉曲张(短箭)。

常规组(113.06±23.56) mAs,差 异有统计学意义(P<0.05,表1)。 2.双低组和常规组临床肝功 能及凝血功能标包括血清总胆红 素、胆碱酯酶、血清白蛋白、凝血酶 原时间,Child-Push 分级两组均无 统计学差异(P 均>0.05)。

### 3. 辐射剂量

双低组 CTDIvol [(4.59 ± 1.03) mGy]低于常规组 CTDIvol [(7.51±1.45) mGy(P < 0.05)]; 双低组剂量长度乘积 DLP 为 [(113.67±33.09) mGy•cm]和 常规组[(183.58±44.35) mGy•cm (P < 0.05)]明显降低。双低组 ED[(1.71±0.50) mSv]明显低于 常规组[(2.75±0.67) mSv(P < 0.05)]。双低组平均辐射剂量比 常规组减少了 1.05 mSv,减少 38.09%。

表1 两组患者一般情况、有效射线剂量、CT 容积剂量指数、有效管电流比较

指标	常规组	双低组	<i>t</i> 值	P 值
年龄(岁)	52.59 $\pm$ 12.12	51.76±12.89	0.42	0.677
性别(女性)	35 (43.75%)	37 (46.25%)	_	_
$BMI(kg/m^2)$	$22.13 \pm 1.73$	22.52 $\pm$ 1.53	-1.53	0.128
CT 容积剂量指数(mGy)	$7.50 \pm 1.45$	$4.59 \pm 1.03$	14.61	0.000
剂量长度乘积(mGy•cm)	$183.58 \pm 44.35$	$113.66 \pm 33.09$	11.30	0.000
有效射线剂量(mSv)	2.75 $\pm$ 0.67	$1.71 \pm 0.50$	11.30	0.000
平均对比剂碘海醇用量(mL)	80.48±2.97	66.56 $\pm$ 2.48	32.121	0.000
有效管电流(mAs)	$113.06 \pm 23.56$	$234.34 \pm 52.92$	-18.73	0.000

双低组平均对比剂碘海醇 (350 mg I/mL)用量为(66.56± 2.48) mL 显著低于常规组 [(80.48±2.97) mL (*P* < 0.05)],双低组平均对比剂用量 较常规组减少17.30%(表1)。

# 讨 论

常规 120 kVp 条件下

4.图像质量主观评分比较及门静脉血管重建分析
2名主管医师对图像质量进行主观评分,双低组
评分(Kappa=0.785)和常规组评分(Kappa=0.921),
均具有较高一致性(两组 P<0.05)。</li>

由于两组数据具有高度一致性,采用 8 年资主治 医师组数据进行图像评分;双低组图像质量评分 (3.93±0.88)明显高于常规组(3.33±0.81,P< 0.05,表 2)。

表 2 主观图像质量评分比较

指标	常规组	双低组	Z 值	P 值
主观评分	$3.33 \pm 0.81$	$3.93 \pm 0.88$	-4.18	0.000
Kappa	0.921	0.785		

MSCTP 常规组 MIP 结合 VR 能显示门静脉主干 管腔及门静脉侧枝血管及病变情况。MSCTP 双低组 MIP 结合 VR 重建同样很好显示门静脉主干管腔情 况、临近肝内病变对门脉的侵犯,并可直观显示门静脉 侧支血管情况,可以通过不同角度和方位观查到门脉 血栓及门脉侧枝曲张程度(图 4)。双低组能很好全面 观察门静脉栓子及侧枝病变范围。并且门静脉侧枝显 示双低组较常规组更佳。

5. 图像客观评价:图像噪声、对比信噪比比较

双低组 CTH(126.74±30.59) HU 高于常规组 [(95.60±15.89) HU(P < 0.05)];CTP 为(223.78± 45.85) HU 显著高于常规组[(161.47±25.37) HU (P < 0.05)],差异均有统计学意义。双低组 SD (24.61±2.77) HU 高于常规组 SD[(1.65±3.38) (P < 0.05)],差异有统计学意义(P < 0.05),双低组 SNRH 为(5.20±1.24)低于常规组 SNRH(7.00± 2.44),差异有统计学差异(P < 0.05);双低组 CNRP (4.33±0.97)与常规组(4.67±1.44)比较,差异无统 计学差异(P > 0.05,表 3)。

表 3 两组图像 CT 值、图像噪声、对比信噪比 CNR 比较

组别	常规组	双低组	<i>t</i> 值	P 值
CTH(Hu)	$95.60 \pm 15.89$	$126.74 \pm 30.59$	-8.08	0.000
CTP(Hu)	$161.47 \pm 25.37$	$223.78 \pm 45.85$	-10.63	0.000
SD(Hu)	$1.65 \pm 3.38$	$24.61 \pm 2.77$	-20.41	0.000
SNRH	7.00 $\pm 2.44$	5.20 $\pm$ 1.24	5.92	0.000
CNRP	4.67±1.44	4.33±0.97	7.76	0.081

6. 对比剂用量

MSCTP由于门静脉与周围组织的对比较小,即CT 差值较小;部分患者肝段及以远门静脉分支,血管边缘 模糊。CT差值越大,门静脉与周围组织差值越大,门 静脉成像越清晰,远门静脉分支边缘显示越好,可通过 于门静脉期提高门静脉与周围软组织间的CT差值来 提高门静脉成像质量。以往通常会提高对比剂用量及 加快对比剂注射速率,这样虽然可提高门静脉成像效 果,但同时增加对比剂用量会增加了对比剂不良反应 的发生率;降低管电压 80 kVp,可明显提高血管CT 值,并降低辐射剂量。研究表明辐射剂量与管电压平 方呈正比关系<sup>[10]</sup>。所以降低管电压是最有效的降低 辐射剂量的方法。

由于低管电压情况下光子通量减少,引起图像噪 声增加[11]。在噪声合理的情况下,图像的清晰度取决 于图像对比度;但是在噪声增加的情况下,降低管电压 同时提高管电流可以改善图像噪声,并同时改善图像 CNRP。Sebastian<sup>[12]</sup>研究表明增加 80 kVp 协议管电 流为 675 mAs 的情况下,可显著提高腹部富血供病变 的检出率。同样 Marin 等<sup>[13]</sup>研究表明,腹部扫描采用 降低管电压,同时提高管电流的方法可以有效的降低 辐射剂量并增加图像质量,应用低管电压 80 kVp,管 电流 540 mAs 分析动脉晚期图像,有效辐射剂量降低 71%,有效降低图像噪声并提高图像 CNRP。与 Sebastian<sup>[12]</sup>和 Nakayama 等<sup>[14]</sup>研究相同,本研究两组有 效管电流均远小于参考管电流。这与入组患者 BMI ≪25 kg/m<sup>2</sup> 有关;双低组有效管电流高于常规组。虽 然两组图像噪声 SD 双低组高于常规组。图像 SNRH 双低组低于常规组。但是两组 CNRP 无统计学差异。 双低组 CTH 和 CTP 为均显著高于常规组,且双低组 CTH和CTP差值高于常规组,门静脉与周围软组织 间差值增大有利于 MSCTP。双低组主客观评分均高 于常规组。双低组门静脉显示更清晰。MSCTP 双低 组 MIP 结合 VR 重建对能很好显示门静脉主干官腔 情况、临近肝内病变对门脉的侵犯,并可直观显示门静 脉侧支血管情况,可以通过不同角度和方位观查到门 脉血栓及门脉侧枝曲张程度。双低组能很好全面观察 门静脉栓子及侧枝病变范围;并且门静脉侧枝双低组 较常规组显示更佳。与此同时,双低组 ED 明显降低, 平均辐射剂量双低组比常规组减少 38.09%。

常规门静脉增强往往采用 60~70 s 的延迟方案。 但 Jian-Zhong 等<sup>[15]</sup>的研究及 Ichikawa 等<sup>[16]</sup>研究建议 在 40~50 s 后开始扫描,因为此时门脉已有增强而肝 实质尚未增强。作者在日常工作中已采用 bolustracking 技术获得了很好地效果。在此次双低研究中 也采用了此方法。

本研究将研究对象设定为 BMI ≤ 25 kg/m<sup>2</sup> 的非 肥胖患者是由于低管电压的扫描序列通常认为不适合 大体重患者。这是由于过厚的组织可能增加图像噪声 及伪影。因此本研究主要讨论了双低扫描方案在非肥 胖患者扫描中对图像质量的影响。而将低管电压用于 肥胖患者腹部扫描的应用尚需进一步研究。另外本研 究在降低管电压的同时将对比剂用量由 1.2 mL/kg 体质量降至 1.0 mL/kg 体质量,对比剂用量双低组组 较常规组降低 17.30%。本研究的局限性是两组扫描 方案没能应用同一个体。并且双低技术对于肝内病变 的检测还有待进一步研究。

综上所述,对 BMI ≤ 25 kg/m<sup>2</sup> 的患者,应用 80 kVp低管电压结合低剂量和对比剂方案对于非肥 胖患者进行 MSCTP 能降对比剂用量并进一步提高图 像质量并能够有效地降低辐射剂量,有很好的临床个 体化应用价值。

#### 参考文献:

- [1] 刘龙平,王成林.门脉高压分型及 CT、MRI 诊断现状[J].中国 CT 和 MRI 杂志,2015,13(5):117-120.
- [2] Zhao LQ, He W, Chen G. Characteristics of paraesophagealvarices:a study with 64-row multidetectorcomputedtomography portal venography[J]. World J astroenterol, 2008, 14(34):5331-5335.
- [3] Lee WK, Chang SD, Duddalwar VA, et al. Imaging assessmentof congenital and acquired abnormalities of the portal venoussystem[J]. Radiographics, 2011, 31(4):905-926.
- [4] 石红春,杨远利.对717例CT增强使用对比剂的观察[J].放射学 实践,2008,23(1):95-96.
- [5] 潘自强,周永增,周平坤,等.国际放射防护委员会第103号出版 物,国际放射防护委员会2007年建议书[M].北京:原子能出版

社,2008:50-51.

- [6] 王怡宁,曹剑,孔令燕,等.高灵敏探测器结合迭代重建在低管电
   压冠状动脉 CT 血管成像的价值[J].中华放射学杂志,2014,48
   (2):109-113.
- [7] Nakaura T, Nakamura S, et al. Low contrast agent and radiation dose protocol for hepatic dynamic CT of thin adults at 256-detector row CT: effect of low tube voltage and hybrid iterative reconstruction algorithm on image quality[J]. Radiology, 2012, 264(2): 445-454.
- [8] 王道才,刘凯,等.低管电压联合低剂量对比剂扫描方案用于 MSCT门静脉成像[J].中国介入影像与治疗学,2014,11(10): 684-687.
- [9] Wen JW, Liang Z, Xiao LH, et al. Low-dose hepatic computed tomography perfusion imaging and its preliminary study[J]. J Digestive Diseases, 2011, 12(3):204-209.
- [10] Kubo T, Lin PJ, Stiller W. Radiation dose reduction in chest CT: a review[J]. AJR, 2008, 190(2): 335-343.
- [11] Cao JX, Wang YM, Lu JG, et al. Radiation and contrast agent doses reductions by using 80kV tube voltage in coronary computed tomographic angiography: a comparative study [J]. Eur J Radioloy, 2014, 83(2): 309-314.
- [12] Schindera ST, Nelson RC, Mukundan S Jr, et al. Hypervascularl iver tumors: low tube voltage, high tube current multi-detector row CT for enhanced detection-phantom study[J]. Radioloy, 2008,246(1):125-132.
- [13] Marin D, Nelson RC, Schindera ST, et al. Low-tube-voltage, high-tube-current multidetector abdominal CT; improved image quality and decreased radiation dose with adaptive statistical iterative reconstruction algorithm-initial clinical experience[J]. Radiology,2010,254(1):145-153.
- [14] Nakayama Y, Awai K, et al. Abdominal CT with low tube voltage:preliminary observations about radiation dose, contrast enhancement, image quality, and noise[J]. Radiology, 2005, 237(3) 945-951.
- [15] Yin JZ, Shen W, Bian TC, et al. The phase setting and optimization of multislice CT on hepatic CT angiography[J]. Chinese J Radiology, 2003, 37(6):551-555.
- [16] Tomoaki I, Utaroh M, Hiroyuki M, et al. Optimal iodine dose for 3-dimensional multidetector-row CT angiography of the liver[J]. Eur J Radiology, 2012, 81(9): 2450-2455.

(收稿日期:2015-12-14 修回日期:2016-03-29)