

低管电压联合高浓度碘对比剂对腹部 CT 增强图像质量及辐射剂量的影响

张卫国, 贾秀琴, 蒋涛

【摘要】 目的:探讨腹部 CT 增强扫描个性化碘对比剂注射方案匹配不同管电压对图像质量、对比剂用量及辐射剂量的影响。**方法:**将行腹部 CT 增强检查的 150 例患者随机分为 3 组(各 50 例):对照组(120 kV, 低浓度对比剂)、低浓度组(100 kV, 低浓度对比剂)和高浓度组(100 kV, 高浓度对比剂)。测量并比较三组患者动脉期及门脉期图像的信噪比(SNR)、对比噪声比(CNR)及噪声(SD),同时,记录并分析三组患者扫描的容积 CT 剂量指数(CTDIvol)、剂量长度乘积(DLP)及有效剂量(ED)。**结果:**分析三组患者图像质量评价的客观指标发现,高浓度组腹主动脉 SNR($T=2.83, P<0.01$)、CNR(Mann-Whitney $U=16.43, P<0.001$)显著高于低浓度组;发现高浓度组的碘总量最低($3.44\pm0.47\text{g}$),腹主动脉 CT 值最高($348.75\pm61.19\text{HU}$)。比较三组患者门脉期的辐射剂量发现,高浓度组的 CTDIvol($T=3.31, P=0.001$)、DLP(Mann-Whitney $U=755.50, P=0.001$)和 ED(Mann-Whitney $U=755.50, P=0.001$)值均显著低于低浓度组。**结论:**降低管电压并降低碘总量不影响图像质量,高浓度对比剂联合低管电压可以获得较好的增强图像质量,并显著降低对比剂用量和辐射剂量,提高患者耐受性和降低对比剂急性肾损伤发生的风险。

【关键词】 低管电压; 碘对比剂; 辐射剂量; 体表面积; 图像质量

【中图分类号】 R814.42; R816.5 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2019)03-0311-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2019.03.014

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Effect of low tube voltage combined with high concentration of iodine contrast medium on enhanced abdominal CT image quality and radiation dose ZHANG Wei-guo, JIA Xiu-qin, JIANG Tao. Department of Radiology, Beijing Chaoyang Hospital, Capital Medical University, Beijing 100020, China

【Abstract】 Objective: The purpose of this study was to explore the effect of personalized iodine contrast medium combined with different tube voltage on image quality, iodine contrast medium dose, and radiation dose during enhanced abdominal CT examination. **Methods:** One hundred and fifty participants who underwent enhanced abdominal CT examination were randomly assigned to three groups ($n=50$ each): control group (120kV with low concentration contrast), low concentration group (100kV with low concentration contrast) and high concentration group (100kV with high concentration contrast). The image quality of arterial phase and portal phase was evaluated and compared by signal-to-noise ratio (SNR), contrast to noise ratio (CNR) and noise (SD) between groups. Furthermore, the volume CT dose index (CTDIvol), dose length product (DLP), and effective dose (ED) were measured and analyzed between groups. **Results:** The objective evaluation of image quality showed that the high concentration group exhibited significantly higher SNR ($T=2.83, P<0.01$) and abdominal aorta CNR (Mann-Whitney $U=16.43, P<0.001$) than those of the low concentration group. Meanwhile the subjective evaluation of image quality found that the high concentration group exhibited the lowest total iodine dose ($3.44\pm0.47\text{g}$) and the highest abdominal aorta CT value ($348.75\pm61.19\text{HU}$). Comparing the radiation doses of portal phase among the three groups, it was found that the CTDIvol ($T=3.31, P=0.001$), DLP (Mann-Whitney $U=755.50, P=0.001$) and ED (Mann-Whitney $U=755.50, P=0.001$) values in the high concentration group were significantly lower than

作者单位: 100020 北京, 首都医科大学附属北京朝阳医院放射科

作者简介: 张卫国(1976—), 男, 北京人, 主管技师, 主要从事影像技术工作。

通讯作者: 蒋涛, E-mail: jiangt8166@hotmail.com

基金项目: 国家自然科学基金面上基金项目(61672065)

those of the low concentration group. **Conclusion:** The total iodine dose can be reduced without affecting the image quality by reducing the tube voltage ca. CT scan with high concentration of contrast medium combined with low tube voltage yields better image quality, reduction of contrast medium dose and less radiation dose. Thus, the patient's tolerance has been improved and the risk of acute renal injury due to contrast medium is decreased.

[Key words] Low tube voltage; Iodine contrast medium; Radiation dose; Body surface area; Image quality

多排螺旋 CT 多期增强扫描技术已广泛应用腹部疾病诊断中,碘对比剂碘浓度和碘总量的合理选择及应用对成像效果至关重要。碘对比剂的不良反应和患者接受的辐射剂量也逐渐受到重视。CT 增强扫描若想获得理想的图像,往往依赖于增加对比剂浓度或剂量,这样可能引起或加重患者对比剂肾病风险。探讨如何在满足诊断要求的前提下,降低 CT 辐射剂量、减少对比剂总碘量,以降低对比剂肾病(CIN)的发生率已成为研究的热点^[1]。因此,本研究探讨使用根据人体体表面积估算的碘总量的 80% 的对比剂用量和低管电压进行腹部多期增强扫描,为临床提供高质量图像以及降低辐射剂量的可行性。

材料与方法

1. 研究对象

搜集本院行上腹部 CT 检查的 150 例患者为研究对象。排除标准:①合并严重的心脏、肾脏功能障碍的患者(血清肌酐大于 2.0 mg/dL);②碘过敏的患者;③存在意识障碍无法配合屏气的患者;④腹部扫描范围内有金属植入物的患者;依据管电压与不同碘浓度对比剂组合,用完全随机方法将患者分为:对照组,120 kV,碘浓度 300 mg I/mL 对比剂;低浓度组,100 kV,碘浓度 300 mg I/mL 对比剂;高浓度组,100 kV,碘浓度 370 mg I/mL 对比剂。每组 50 例患者,三组患者在年龄、体质量指数(BMI)及体表面积(BSA)上相匹配,差异无统计学意义($P>0.05$)。本研究经医院伦理委员会批准,所有患者均签署了知情同意书。

2. 数据采集

采用 GE Optima CT 520Pro 16 层螺旋 CT 机,设备状态检测合格,扫描参数:三组旋转速度 0.8 s/r,螺距 0.969:1,扫描层厚 5 mm,重建层厚 5 mm,扫描准直 0.625×16 ,重建算法 ASIR,噪声指数 10.41,对照管电压 120 kV,管电流 80~300 mA;低浓度组管电压 100 kV,管电流 80~300 mA;高浓度组管电压 100 kV,管电流 80~250 mA。算法均采用 ASIR 40% 迭代算法。对照组及低浓度组对比剂采用碘普罗安(300 mg I/mL),高浓度组对比剂采用碘帕醇(370 mg

I/mL)。碘总量:对照组为 $BSA(m^2)\times 18.6\text{ g I}/m^2$;低浓度组、高浓度组为 $BSA(m^2)\times 14.9\text{ g I}/m^2$,是对照组碘总量的 80%,注射流率为 3 mL/s,扫描范围从膈肌顶端至髂脊,于腹主动脉第二肝门层面触发扫描,触发阈值 100 HU,到达阈值后 6 s 开始扫描动脉期图像,从开始注射对比剂后 45~50 s 开始扫描门脉期图像,采用吸气后屏气扫描,检查前对患者进行屏气训练。

3. 测量指标及辐射剂量估算

对比三组患者的信噪比(signal to noise ratio, SNR)、对比噪声比(contrast to noise ratio, CNR)、噪声(SD)、平均容积 CT 剂量指数(volume CT dose index, CTDIvol)、剂量长度乘积(dose length product, DLP)、有效剂量(effective dose, ED)。记录患者动脉期、门脉期 CTDIvol 和 DLP,并根据公式计算有效剂量 ED, $E = DLP\times k$,其中 k 为换算因子,采用欧洲 CT 质量标准指南腹部平均值,取 $0.015\text{ mSv}/\text{mGy}\cdot\text{cm}^{[2]}$ 。由于腹部 CT 扫描各期扫描参数相同,故平扫期、动脉期、门脉期及静脉期的辐射剂量基本相同,本文重点比较门脉期图像质量及辐射剂量。

4. 图像质量分析

客观评价:记录各组所用对比剂的碘总量,腹主动脉,门脉期肝脏的 CT 值及门脉期肝脏的 CT 值与平扫期肝脏的 CT 值之差,差值大于 50 HU 认为高诊断质量的对比图像。分别测量第二肝门层面肝左、右叶、肝下缘处的 CT 值,取平均值作为肝脏 CT 值($ROI_{\text{肝脏}}$);同层面测量左、右两侧的竖脊肌 CT 值,取平均值作为肌肉的 CT 值($ROI_{\text{肌肉}}$)。测量前、后背景 CT 值,取平均值作为背景 CT 值($ROI_{\text{背景}}$)。连续测量 5 层图像、同位置背景 CT,噪声被定义为背景 CT 值的标准差,ROI 面积为 1.00 cm^2 。计算 SNR 和 CNR: $SNR = ROI_{\text{肝脏}}/\text{噪声}$, $CNR = (ROI_{\text{肝脏}} - ROI_{\text{肌肉}})/\text{噪声}$ 。分别测量并计算动脉期、门脉期的 SNR、CNR 及 SD,分别比较并做出最终评价。

主观评价:由 2 名高年资放射科医师采用双盲法对门脉期图像进行评判,有分歧时请上级医师综合分析,并达成共识。参考胡敏霞等^[3]的 4 分制评分法对图像质量进行评价:4 分,图像无明显噪声,细腻,各器官边界清晰,肝边缘处无肋缘下伪影,肾上腺显示清

晰;3 分,图像噪声较小,较细腻,各器官边界较清晰,肝边缘处有轻度肋缘下伪影,肾上腺能够显示,但边缘欠清晰;2 分,图像噪声较大,各器官边界尚较清楚,肝边缘处有明显肋缘下伪影,肾上腺能够分辨,但边缘较模糊;1 分,图像噪声大,各器官边界欠清晰,肝边缘处有严重的肋缘下伪影,并与其他伪影,肾上腺显示不清或虽能显示但难以确定边界。评分>2 分的图像,认为可以满足诊断要求。

5. 统计学分析

采用 SPSS 22.0 软件包进行统计学分析。首先对实验数据进行正态分布检验。除性别采用卡方检验以外,三组患者的其他数据采用单因素方差分析(参数检验)或 Kruskal-Wallis 检验(非参数检验)比较组间主效应是否显著,组间比较采用双样本 *t* 检验(参数检验)或 Mann-Whitney U 检验(非参数检验)进行统计分析,采用 Bonferroni 校正,以 *P*<0.05 为差异具有

统计学意义。

结 果

1. 患者基本资料统计学分析

三组患者性别、年龄、身高、体重、BMI 和 BSA 差异均无统计学意义(表 1)。

2. 图像客观及主观质量评分

除门脉期 CNR 无统计学意义(*P*=0.31)外,三组患者的 SNR、腹主 A 的 CNR、噪声的差异均有统计学意义(*P*<0.005),见表 2。高浓度组与对照比较发现:腹主 A 的 SNR、CNR、噪声及门脉期的 SNR、噪声比较,均有明显差异;高浓度组与低浓度组比较发现:腹主 A 的 SNR、CNR 有明显差异;低浓度组与对照组比较发现:腹主 A、门脉期的噪声比较有明显差异,其他比较无显著差异。结果证明高浓度组的图像质量明显优于对照组,可以满足诊断需求。

表 1 三组患者的基本资料统计学分析

基本资料	对照组	低浓度组	高浓度组	χ^2/F	<i>P</i> 值
性别(男/女)	23/27	25/25	24/26	0.923	0.92
年龄(岁)	50.58±16.45	55.90±12.17	55.62±14.56	2.496	0.29
身高(cm)	166.72±8.43	164.86±8.19	165.80±7.48	1.253	0.53
体重(kg)*	67.03±12.02	67.98±10.92	64.62±11.99	1.103	0.34
BMI(kg/m ²)	24.00±3.96	24.92±3.21	23.40±3.39	5.326	0.07
BSA(m ²)*	1.76±0.17	1.76±0.17	1.72±0.19	0.820	0.44

注:* 参数检验。

表 2 三组患者图像 SNR、CNR 及噪声比较

参数	对照组	低浓度组	高浓度组	χ^2/F	<i>P</i> 值
SNR					
腹主 A [#]	19.00±3.54	19.59±4.05	22.26±5.30	7.956	0.001 ^{ab}
门脉期	10.54±1.52	9.81±1.82	9.50±1.76	11.047	0.004 ^a
CNR					
腹主 A	16.91±3.95	18.36±5.41	24.05±7.17	30.509	<0.001 ^{ab}
门脉期 [#]	4.88±1.41	4.74±1.50	4.45±1.35	1.182	0.31
噪声					
腹主 A	12.85±1.09	14.97±1.77	16.51±6.59	61.834	<0.001 ^{*a}
门脉期	11.13±1.22	12.39±1.72	12.65±2.00	23.996	<0.001 ^{*a}

注:[#] 参数检验;* 对照组与低浓度组差异有统计学意义;^a 对照组与高浓度组存在显著性差异;^b 低浓度组与高浓度组存在显著性差异;腹主 A 为腹主动脉。

表 3 三组患者图像主观质量评价比较

参数	对照组	低浓度组	高浓度组	χ^2/F	<i>P</i> 值
碘总量(g)	32.54±3.48	26.22±2.58	25.60±2.80	77.302	<0.001 ^{*a}
腹主动脉 CT 值(HU)	242.63±42.07	290.17±58.39	348.75±61.19	59.585	<0.001 ^{*ab}
门脉期平扫期强化差值 [#] (HU)	63.13±12.13	64.92±13.70	62.00±9.49	0.770	0.465
主观评分	3.68±0.46	3.56±0.49	3.44±0.47	6.445	0.04 ^a

注:[#] 参数检验;* 对照组与低浓度组存在显著性差异;^a 对照组与高浓度组存在显著性差异;^b 低浓度组与高浓度组存在显著性差异;腹主 A 为腹主动脉。

表 4 三组患者门脉期的辐射剂量

参数	对照组	低浓度组	高浓度组	χ^2/F	<i>P</i> 值
CTDIvol(mGy) [#]	7.68±2.71	7.43±2.04	6.20±1.68	6.594	0.002 ^{ab}
DLP(mGy·cm)	199.37±74.71	198.52±59.45	163.59±47.74	11.740	0.003 ^{ab}
ED(mSv)	2.99±1.12	2.98±0.89	2.45±0.72	11.740	0.003 ^{ab}

注:[#] 参数检验;^a 对照组与高浓度组存在显著性差异;^b 低浓度组与高浓度组存在显著性差异。

如表 3 所示,除门脉期与平扫期强化差值无统计学意义($P=0.31$)外,三组患者碘总量、腹主动脉 CT 值和图像主观评分均有统计学意义($P<0.005$),三组结果比较发现:高浓度组的碘总量最低、腹主动脉 CT 值最高(图 1),主观评分高浓度组与低浓度组无差异,但略低于对照组。说明随着管电压的降低及对比剂浓度的增加,患者所接受的对比剂碘总量越少,图像 SNR 明显升高,其中高浓度组 SNR 最高,图像的肝期肝 CT 值与平扫期肝 CT 的差值均大于 50HU 并保证了图像增强的效果,有助于乏血供病变的检出。其中三组门脉期图像中高浓度组肝实质 CT 值最高(图 2)。

3. 辐射剂量比较

三组患者门脉期的 CTDIvol、DLP 和 E 差异均有统计学意义($P<0.005$),高浓度组与低浓度组及对照组比较发现,高浓度组降低了自动管电流上限数值,所以高浓度组的 CTDIvol、DLP 和 ED 值均显著小于低浓度组及对照组,进一步降低了患者的辐射剂量(表 4)。

4. 一致性比较

两名医师对图像质量评价的结果一致性较好($Kappa=0.85, P<0.05$)。

讨 论

肝脏增强 CT 图像质量和患者体重有密切的关联,固定对比剂剂量基本是一个标准化体重患者的假设,实行普遍。但这种方法并不合理,临床工作中患者

的体重、身高条件各不相同,尤其是体重因素对增强图像的质量有明显的影响,在体型大的患者中,固定对比剂剂量可能降低肿瘤与肝脏的对比度显示。而在体型偏小的患者,过量的对比剂剂量可能导致不必要的成本增加,并可能会增加患者肾毒性的风险。

腹部增强图像质量受很多相关因素影响,包括对比剂的浓度、剂量、注射速率、注射持续时间、注射后延迟时间以及患者因素(体重、体型和心功能输出率)。通常认为对比剂增强效果是与患者体重成反比,大体重的患者需要的碘总量大于小体重的患者,才能实现肝脏增强后与平扫期 CT 值相差 50HU^[4]这样高诊断质量的图像要求。目前,在腹部增强常规采用根据患者 BMI 计算对比剂用量,但腹部脏器中肝脏的脂肪含量个体差异性很大,特别是超重患者,肝脏脂肪含量高,按 BMI 计算对比剂用量可能会高估所需对比剂。近期,Ho 等^[5]和 Kondo 等^[6-7]报道使用去脂体重(LBW)计算对比剂用量,可使肝实质和血管增强均匀度提高,但需要使用人体脂肪监测仪测量身体脂肪百分比,临床应用中不切实际。本研究使用体表面积(BSA)计算对比剂用量,结果显示三组图像都能满足诊断且门脉期肝 CT 值与平扫期肝 CT 值差值都大于 50HU,对照组图像评分明显高于低浓度、高浓度组,说明在不考虑扫描条件时,使用 BSA 计算对比剂用量可以为每位患者提供准确的碘总量,与以前的报道^[8-11]指出根据患者 BSA 计算造影中对比剂用量是

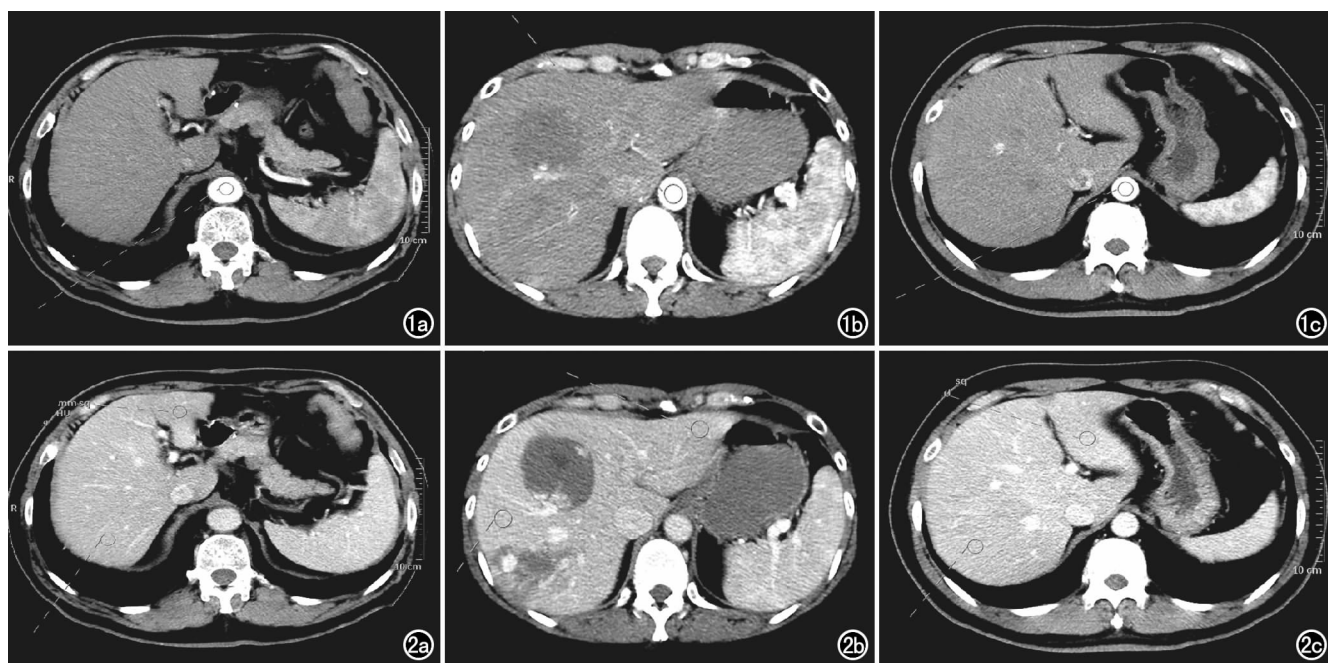


图 1 腹主动脉 CT 值。a) 对照组 201.0HU; b) 低浓度组 307.5HU; c) 高浓度组 422.3HU,高浓度组腹主动脉的 CT 值明显高于其他两组。图 2 门脉期肝实质强化 CT 值。a) 对照组 95.5HU; b) 低浓度组 132.8HU; c) 高浓度组 141.0HU,高浓度组门静脉期肝实质 CT 值高于其他两组,可以更好的显示肝脏的病灶。

合理的观点相符,且计算简便,方便操作。低浓度、高浓度组使用碘总量是对照组的 80%,碘总量使用中高浓度组最低,降低患者对比剂肾病的发生率,同时降低原材料成本。肝脏增强图像效果除了取决于扫描时机的把握,还会受到对比剂浓度或剂量的影响。Guerrisi 等^[12]的研究显示使用高浓度碘对比剂能够大大提高肝脏动脉增强效果,高浓度组腹主动脉 CT 值最高,这是因为使用相同注射流率、相同碘含量时,高浓度对比剂用量低于低浓度对比剂,因而注射时间短,导致通过目标血管的单位时间内的碘含量升高,导致靶血管内 CT 值增高。本研究使用 BSA 估算碘总量基础上,高浓度对比剂的碘总量是低浓度对比剂碘总量的 80%,说明采用高浓度对比剂联合低管电压的结果与上述观点相符。

腹部各脏器组织之间的密度差很小,对比度相对较低。以往为了保证腹部各脏器能有良好对比,一般使用 120kV 扫描。有研究^[13]认为降低管电压与降低管电流相比,能够更有效地降低辐射剂量。但是,低管电压扫描能够导致图像噪声和颗粒状伪影的增加而影响图像的评价。唐坤等^[14]研究表明,对于低对比的腹部,单纯降低管电压会导致图像 CNR 下降。本文研究结果与上述观点一致,高浓组优势明显,与对照组、低浓度组比较,高浓度组图像腹主动脉 SNR 和 CNR 及噪声均显著高于对照组和低浓度组,门脉期 SNR 高浓度组略低于对照组,与低浓度组无差别,门脉期 CNR 三组差异不明显,但高浓度组患者辐射剂量最低。已有研究表明,管电流对辐射剂量起决定性作用,与辐射剂量成正比线性相关,在其他参数不变的情况下,降低管电流即可降低辐射剂量^[15-17]。本研究中,高浓度对比剂提高了组织的 SNR 和 CNR,因此,在保证图像质量的同时,降低了管电流,在管电压及 BMI 相同时,辐射剂量随管电流的降低而减少,高浓度组管电流的上限数值比对照组和低浓度组低 16%,所以辐射剂量比对照组降低 18%,比低浓度组降低 17.5%。

总之,在对比剂注射流率 and 对比剂注射后延迟时间相同时,使用体表面积估算的对比剂用量是相对准确的;使用 100kV 匹配高浓度对比剂,保证为临床提供高对比的增强图像前提下,减少对比剂用量,降低患者辐射剂量,提高患者耐受性和降低对比剂急性肾损伤发生的风险。

参考文献:

- [1] 郑生喜,黄宝生,杨晶晶,等.“双低”技术在 CT 肺动脉成像滤波反投影算法中可行性研究[J]. 中华放射医学与防护杂志,2015,35(9):717-720.
- [2] American Association of Physicists in Medicine. The measurement,reporting,and management of radiation dose in CT:report

- of AAPM Task Group 23 of the Diagnostic Imaging Council CT Committee. AAPM Report No. 96[R]. College Park,MD;AAPM,2008.
- [3] 胡敏霞,赵心明,宋俊峰,等.64 层螺旋 CT 腹部扫描参数优化的个体化选择[J]. 中华放射学杂志,2012,46(7):624-628.
- [4] Heiken JP,Brink JA,McClennan BL,et al. Dynamic incremental CT:effect of volume and concentration of contrast material and patient weight on hepatic enhancement[J]. Radiology,1995,195(2):353-357.
- [5] Ho LM,Nelson RC,Delong DM. Determining contrast medium dose and rate on basis of lean body weight:does this strategy improve patient-to-patient uniformity of hepatic enhancement during multi-detector row CT[J]. Radiology,2007,243(2):431-437.
- [6] Kondo H,Kanematsu M,Goshima S,et al. Aortic and hepatic enhancement at multidetector CT:evaluation of optimal iodine dose determined by lean body weight[J]. Eur J Radiol,2011,80(3):e273-e277.
- [7] Kondo H,Kanematsu M,Goshima S,et al. Body size indexes for optimizing iodine dose for aortic and hepatic enhancement at multidetector CT:comparison of total body weight,lean body weight,and blood volume[J]. Radiology,2010,254(1):163-169.
- [8] Bae KT,Seeck BA,Hildebolt CF,et al. Contrast enhancement in cardiovascular MDCT:effect of body weight,height,bodysurface area,body mass index,and obesity [J]. AJR,2008,190(3):777-784.
- [9] Yanaga Y,Awai K,Nakaura T,et al. Contrast material,injection protocol with the dose adjusted to the body surface area for MDCT aortography[J]. AJR,2010,194(4):903-908.
- [10] Onishi H,Murakami T,Kim T,et al. Abdominal multi-detector row CT:effectiveness of determining contrast medium dose on basis of body surface area[J]. Eur J Radiol,2010,80(3):643-647.
- [11] Svensson A,Nouhad J,Cederlund K,et al. Hepatic contrast medium enhancement at computed tomography and its correlation with various body size measures[J]. Acta Radiol,2012,53(6):601-606.
- [12] Guerrisi A,Marin D,Nelson RC,et al. Effect of varying contrast material iodine concentration and injection technique on the conspicuity of hepatocellular carcinoma during 64-section MDCT of patients with cirrhosis[J]. Br J Radiol,2011,84(1004):698-708.
- [13] 李剑,郑敏文,石明国,等.低 kV 和 CARE Dose 4D 技术对降低双源 CT 主动脉成像辐射剂量的价值[J]. 临床放射学杂志,2011,30(10):1528-1531.
- [14] 唐坤,曹国全,李瑞,等.低管电压腹部 CT 扫描对图像质量及辐射剂量影响的体模实验[J]. 中国医学影像技术,2012,28(4):800-804.
- [15] 李杨飞,樊树峰.CT 检查中 mAs 与辐射剂量的比较分析[J]. 现代中西医结合杂志,2007,16(33):5006.
- [16] 王一民,曹建新,杨诚,等.低管电压对双源 CT 冠状动脉成像图像质量和辐射剂量的影响[J]. 放射学实践,2010,25(9):999-1002.
- [17] 李娜,祁丽,周长圣,等.双源双能量 CT 肺动脉成像辐射剂量与图像质量的比较研究[J]. 放射学实践,2014,29(9):1003-1007.

(收稿日期:2018-06-26 修回日期:2018-11-20)