

论 著

对比剂个性化在肝脏增强CT扫描的初步研究*

黄海波 卢 瑜 秦杏清
何 飞 石 琴 赵沁萍
周 丽 丁 可*

广西医科大学第三附属医院放射科
(广西南宁 530021)

【摘要】目的 探讨对比剂个性化在肝脏增强CT应用的图像质量及可重复性。方法 肝脏三期增强受检者以个性化方案扫描，评价图像质量及肝实质期强化效应可重复性。结果 192例受检者实际单位体重碘剂量 (374.8 ± 52.1) mgI/Kg，实际注射碘流量 (1138.0 ± 130.9) mgI/s，有效碘总量 (21320.0 ± 3017.7) mgI，肝脏EU肝实质期为 (53.2 ± 7.0) Hu。主动脉强化、动脉期时机、肝实质期强化满足诊断分别约89.06%、94.3%、97.9%；医师间主动脉强化 $(\chi^2=3.333)$ 与扫描时机 $(\chi^2=1.833)$ 、肝实质期强化效应 $(\chi^2=7.667)$ 评价未见显著差异(均 $P \geq 0.05$)，医师评价高度一致(kappa值分别为0.861, 0.803, 0.914, 均 $P=0.000$)，样本均数与50Hu比较未见统计差异($t=1.745$, $P=0.083$)，变异系数为13.13%，其中16例受检者两次扫描肝实质EU分别为 (49.8 ± 6.4) Hu、 (50.3 ± 6.7) Hu，差值均数 (-0.5000 ± 2.8432) Hu与0比较未见统计差异($t=-0.703$, $P=0.493$)。结论 对比剂个性化扫描的肝脏图像质量优良、可重复性较好，易于推广应用。

【关键词】对比剂；个性化；增强扫描；肝脏

【中图分类号】R333.4

【文献标识码】A

【基金项目】国家自然科学基金(81560278)；
广西卫生健康委员会科研课题
(Z20200953)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2024.02.032

A Preliminary Study of Personalized Contrast Agent in the Liver with CT Scanning*

HUANG Hai-bo, LU Yu, QIN Xing-qing, HE Fei, SHI Qin, ZHAO Qin-ping, ZHOU Li, DING Ke*.

Department of Radiology, the Third Affiliated Hospital of Guangxi Medical University, Nanning 530021, Guangxi Zhuang Autonomous Region, China

ABSTRACT

Objective evaluate the image quality and its repeatability of contrast agent personalization in liver enhanced CT applications. **Methods** A total of 192 consecutive patients whom suspected liver disease were recruited and accepted tri-phase enhanced CT scans with a personalized iodine contrast medium protocol prospectively, using a 64-MDCT scanner. Recording the actual unit weight iodine dose, effective total iodine dose, real injection rate. The image quality and the reproducibility was evaluated, and physician consistency was tested by Kappa coefficient or paired data McNemar. **Results** A total of 192 subjects were included, of whom 109 males and 83 females, the actual unit weight iodine dose was (374.8 ± 52.1) mgI/Kg, actual injection iodine flow rate was (1138.0 ± 130.9) mgI/s, effective total iodine dose was (21320.0 ± 3017.7) mgI. The measurement showed that the enhancement unit(EU) of hepatic parenchymal phase is (53.2 ± 7.0) Hu. The evaluation showed that the proportion of aortic enhancement meeting the diagnosis was about 89.06% during arterial phase; the proportion of the scanning timing meeting the diagnosis was about 94.3% during the arterial phase timing; the proportion of liver EU meeting the diagnosis was about 97.9% during hepatic parenchymal phase. There was no significant difference in the evaluation of inter physician aortic enhancement($\chi^2=3.333$), scanning timing($\chi^2=1.833$), and hepatic parenchymal enhancement effect($\chi^2=7.667$)($P \geq 0.05$). The image evaluation of two physicians were highly consistent(kappa values were 0.861, 0.803, 0.914, $P=0.000$), and there was no statistical difference between the single sample mean and 50Hu($t=1.745$, $P=0.083$), the coefficient variance meet 13.13%. Of them, 16 subjects underwent initial and follow-up scans, with liver parenchymal EU values of (49.8 ± 6.4) Hu and (50.3 ± 6.7) Hu, respectively, and there was no significant statistical difference between the mean difference (-0.5000 ± 2.8432) and zero($t=-0.703$, $P=0.493$). **Conclusion** The personalized contrast agent scheme obtained not only a well-quality image in liver, but the good repeatability. This technology is easy to operable, and has high clinical promotion value.

Keywords: Iodine Contrast Medium; Personalized; Enhanced CT Scanning; Liver

增强扫描^[1]指经静脉引入的水溶性碘对比剂到达靶器官或分布于目标结构时，采用CT扫描并后处理获得对比剂体内分布的方法。可反映组织特性、病理成份及血流动力学等生理信息，为组织识别、疾病定性定量、肿瘤分期等提供依据。增强扫描业已成为各级医院常规检查项目，然而，不同等级、不同单位的医技师对增强扫描的理解、对比剂应用的标准不一，结果常导致图像质量及其一致性欠佳，不同患者之间、患者不同时间扫描图像的重复性难于保证。故此，本研究拟采用单位体重碘剂量、体重对应碘流量的统一标准^[2-4]融合设计对比剂个性化扫描方案，探索肝脏CT增强图像质量及其可重复性。

1 资料与方法

1.1 一般材料 前瞻性随机募集2022年8月至2022年10月放射科成人肝脏受检者，入组标准：18岁≤年龄≤80岁，言语理解并配合，图像噪声良好、无肾功能不全、无碘对比剂不良反应史及甲亢未治愈、重症肌无力。排除标准：年龄>80岁或<18岁、信息记录不全、图像伪影严重、肾功能不全、碘对比剂禁忌等。受检者均签署知情同意书，右肘前静脉留置针(22[#]~18[#])、双筒高压注射器，浓度300~370mgI/mL非离子型碘对比剂，研究获得伦理委员会批准。

1.2 方法

1.2.1 设备与方法：64排GE Discovery CT 750HD扫描仪，探测器64×0.625mm，仰卧头先进体位，对比剂注射前平扫、注射后三期增强扫描[动脉期(AP)、肝实质期(HPP)、延迟期(DP)]，范围包括肝脏上下缘1~2cm；对比剂个性化设计：以450mgI/Kg为标准计算对比剂量、体重对应碘流量(50kg~80kg对应1.4~2.2gI/s)计算注射速率(范围2.5~6.0mL/s)，对比剂量与注射速率随管电压[即管电压120Kv下降为100Kv或100Kv降低至80kv，对比剂总量与注射速率减少20~30%]、心率[心率>80bpm提高注射速率10%~20%]改变；管电压设置为体重≥90kg选择120~140kv、60≤体重<90kg选择100kv、体重<60kg选择80kv，智能曝光剂量(mAs)、预设噪声12.0hu，团注追踪并跟注30~50mL生理盐水、监测腹腔干水平腹主动脉管腔，对比剂注射后10秒跟踪扫描，触发阈值200Hu并延迟10~12s扫描动脉期、肝实质期扫描为注射开始后55秒至65秒、延迟期为180秒。

1.2.2 图像分析与评价：自适应迭代(ASIR)算法重建5mm横断位图像传输至工作站，窗宽250Hu、窗位40Hu，记录体重、实际单位碘剂量、有效总碘剂量、注射流

【第一作者】黄海波，男，主任医师，主要研究方向：腹部、心血管影像诊断及MR/CT序列优化。E-mail: jackie000528@163.com

【通讯作者】丁 可，男，主任医师，主要研究方向：腹部影像诊断。Email: 272480365@qq.com

率、图像噪声及辐射剂量等。医师双盲法处理图像,以圆形ROI(50~100mm²)测量平扫及肝实质期肝门或上层左叶内(或外)段、右叶前段、后段位置并记录均值作为肝实质CT值,避开肉眼可见脉管、病灶、钙化等,图像噪声以标准差表示;以肝实质期与平扫密度差作为肝实质期增强值(enhance Unit, EU),测量动脉期门脉主干及同层腹主动脉CT值。肝实质期EU值评价^[2]:强化满意50hu≤EU≤70hu,可接受30hu≤EU<50hu,强化过度EU>70hu,强化不足EU<30hu,以强化满意+可接受+强化过度作为满足诊断比例;动脉期时机评价:满意 门静脉中度(主干密度≥130Hu)以上强化、肝静脉未见强化,可接受100hu≤EU<130hu,过早 门静脉未强化或仅轻微强化(主干密度<100Hu)、肝静脉未强化,太晚 门静脉强化、肝静脉已经强化,以强化满意+可接受作为满足诊断计数;主动脉^{动脉期}强化评价^[5]:优秀 密度为300~550hu、无运动伪影,可接受 密度为220~299hu、无运动伪影,强化过度 密度为550hu以上、无运动伪影,显影不足 密度为220hu以下、无运动伪影,以优秀+强化可接受+强化过度作为满足诊断计数。

1.2.3 扫描剂量:记录剂量长度乘积(DLP),以欧盟委员会公式^[6]计算辐射剂量(ED)=DLP×K, K值0.015mSv/(mGy·cm)。

1.2.4 统计学:计量资料以均数和标准差($\bar{x} \pm s$)及范围表示、计数资料以百分比记录,图像评价医师一致性采用Kappa系数或配对数据MaNemar χ^2 检验,分析动脉期主动脉强化、扫描时机、肝实质期强化效应评价分布,检验肝实质期强化可重复性, $P<0.05$ 为有统计学意义。

2 结果

2.1 纳入受检者共192例,男性109例、女性83例,年龄 58.2 ± 15.0 (18~79)岁,体重 58.1 ± 11.1 (38~85)Kg,心率 72.4 ± 11.1 (56~98)bpm,实际单位体重碘剂量 374.8 ± 52.1 (210~630)mgI/Kg,实际注射碘流率 (1138.0 ± 130.9) (741.1~2255.6)mgI/s,有效碘总量 21320.0 ± 3017.7 (14080.0~37600.0)mgI,主动脉CT值^{动脉期}为 338.6 ± 47.3 (181.0~591.0)Hu,肝门静脉CT值^{动脉期}为 176.2 ± 20.3 (86.0~286.0)Hu,肝脏EU^{肝实质期}为 53.2 ± 7.0 (23.0~78.3)Hu。

2.2 医师图像评价 主动脉强化优秀108例(56.3%)、可接受56例(29.2%)、强化过度21例(10.9%)、显影不足7例(3.7%),满足诊断约89.06%(171/192);动脉期时机满意160例(83.3%)、可接受21例(10.9%)、过早10例(5.2%)、太晚1例(0.5%),满足诊断约94.3%(181/192);增强三期图像噪声分别为 8.5 ± 1.2 (6.8~10.6)Hu、 8.3 ± 1.3 (6.7~10.9)Hu、 8.1 ± 1.2 (6.5~10.3)Hu,辐射剂量约 10.3 ± 1.6 (6.8~12.9)mSv。肝实质期强化评价满意106例(55.2%)、可接受35例(18.2%)、强化过度47例(24.5%)、强化不足4例(2.1%),满足诊断约97.9%(188/192)。

2.3 主动脉强化($\chi^2=3.333$)、扫描时机($\chi^2=1.833$)、肝实质期强化($\chi^2=7.667$)评价医师间未见统计差异(P 值分别为0.504,0.608,0.053),图像评价医师间高度一致(kappa值分别为0.861, 0.803, 0.914,均 $P=0.000$),数据正态分布,样本均数53.2Hu与50Hu比较未见统计差异($t=1.745$, $P=0.083$),变异系数约13.13%;其中16例完成首次与复查扫描,肝实质期EU分别为 (49.8 ± 6.4) Hu、 (50.3 ± 6.7) Hu,差值均数 (-0.5000 ± 2.8432) 与0比较未见统计差异($t=-0.703$, $P=0.493$);病例图像见图1-图3。

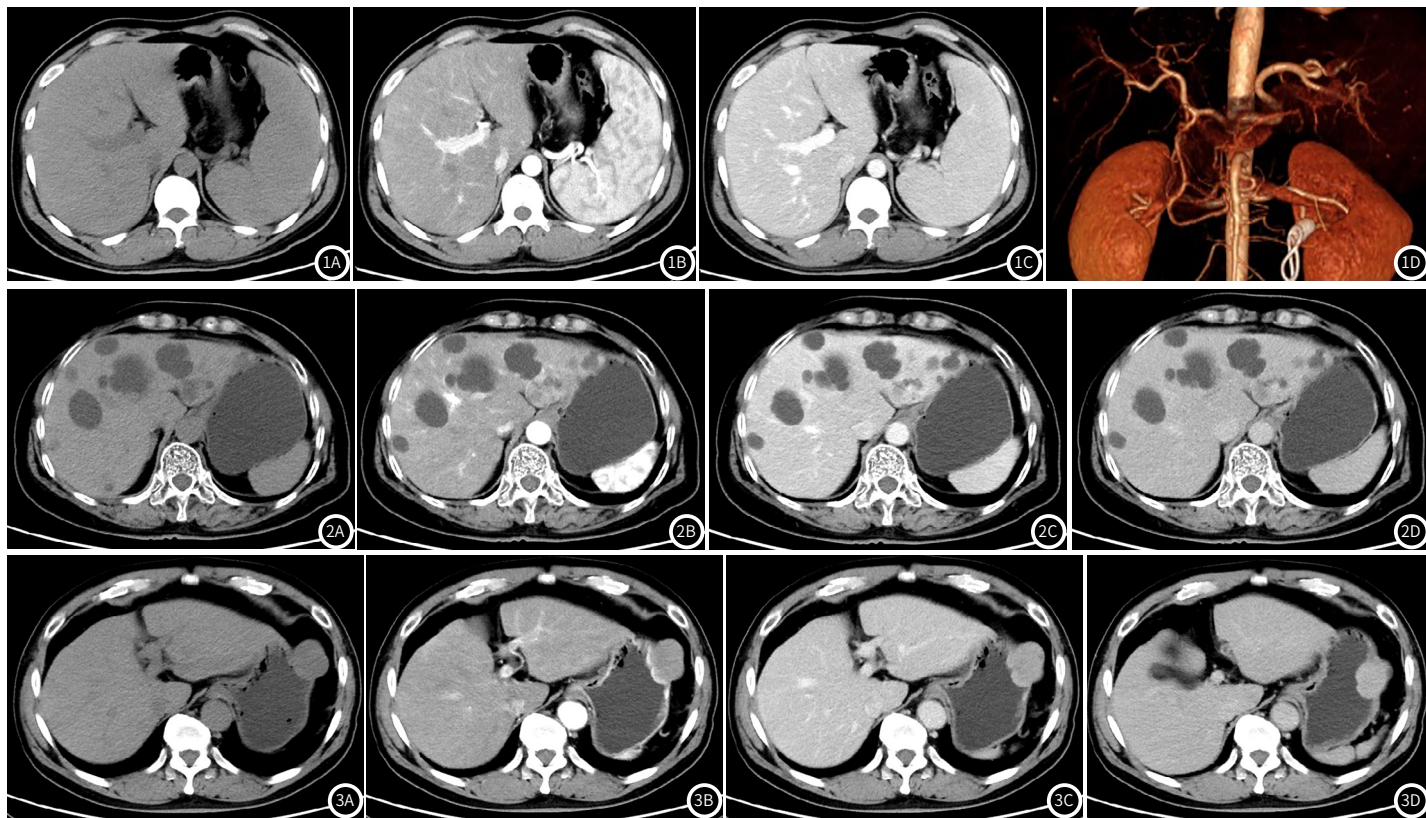


图1A-图1D 乙肝患者:男性,45岁,67kg, BMI=23.2, 73bpm;对比剂300mgI/mL、单位体重碘剂量315mgI/Kg、注射碘流率1200mgI/s、有效碘总量21105mgI,辐射剂量9.2mSv;主动脉强化及扫描时机评价满意、肝实质期强化评价优秀,兼容CTA重建较好。

图2A-图2D 乳腺癌术后并肝囊肿病例:女性,64岁, BMI=23.0, 主动脉与门脉强化满意、肝实质期强化优秀,辐射剂量7.5mSv。

图3A-图3D 胃肿块病例:男性,56岁, BMI=24.1, 主动脉与门脉强化满意、肝实质期强化优秀,辐射剂量8.1mSv。

图2-图3提示两个病例的影像质量均满足诊断并具可比性,部分信息见下表。

表1 受检者间对比病例个性化指标及对比剂方案

变量	体重(Kg)	心率(bpm)	对比剂总量(mL)及浓度(mgI/mL)	注射速率(mL/s)	平扫/噪声(Hu)	肝实质期密度/噪声(Hu)	EU(Hu)
病例4	57.5	82	55/300	3.3mL/s	62.7/9.2	112.0/9.2	49.3
病例5	70.0	68	69/320	3.9mL/s	55.0/8.0	105.7/8.1	50.7
病例6	68.0	62	61/350	3.6mL/s	60.0/8.7	108.7/8.2	48.7

3 讨 论

增强扫描为肝脏疾病诊断、血流动力学与疗效评价的常用手段^[7-8]，根据不同病例及目的使用包括240mgI/mL~400mgI/mL浓度的对比剂；既往研究^[3,9]表明，EU值40~50Hu基本可满足医师肉眼对强化病灶的识别或具备良好的强化效果，对应碘剂量约(400~600)mgI/kg。

图像质量的影响因素包括体重及单位体重碘剂量、对比剂浓度及注射速率、管电压、心率、扫描时机等^[2]，单位体重碘剂量、对比剂总量、体重对应碘流率与肝实质期强化效应和或主动脉强化正相关^[2,10]。专家指南^[4,11]指出，120KVP降至100KVP或100KVP降到80KVP扫描，对比剂量相应降低20%~30%即可获得同样的肝脏强化。日常工作中，受检者体重、检查目的等各不相同，常需选择不同的对比剂与管电压。与单位体重碘剂量、体重对应碘流率(1.4gI/s~2.2gI/s)、对比剂总量相比，匹配对比剂浓度、管电压的实际单位体重碘剂量、实际注射碘流率与有效碘总量指标更具科学性，肝实质或主动脉强化与此述指标理论上具有更高的相关性^[1,2,10]，有利于影像重现性并减少对比剂量、辐射剂量，此为研究设计的重要原理。

目前，学者以肝体积^[10]、体重^[2,3]/体质量指数^[12-13]、体表面积^[14-15]等对最佳对比剂量开展了大量个性化研究，然而对于如何确定对比剂总量、个体化方案尚未形成共识。宋巍等^[10]应用固定对比剂、注射流率及电压条件，参照BSA计算碘总量[17600mgI/m²、(27720.0±4120.0)mgI]并获得肝体积，推导回归方程Y_{总碘量}=7.225X_{体积}+16486.754并将方程预测值与实际碘用量比较认为，基于肝体积测算的对比剂个体化腹部增强方案具有可行性。胡茂清等^[15]结果显示，与全体质量和BSA相比，去脂肪体质量为肝脏增强碘剂量的计算指标可减少受检者间的强化差异。龚剑英^[13]等认为，体重/去脂肪体重、BMI、BSA、肝体积均与主动脉强化、肝脏增强EU值轻或中度负相关，基于去脂肪体重或BSA的个性化方案有助于提高肝脏增强的一致性。

本研究显示，匹配对比剂浓度、管电压等变量的实际单位体重碘剂量、实际注射碘流率设计的个性化扫描，在辐射控制良好、噪声合理前提下获得了较为满意的肝脏图像：肝实质强化、主动脉强化及扫描时机满足诊断分别为97.9%、89.1%、94.3%；两次扫描的受检者肝实质期EU差值(-0.50)与0比较未见统计差异(P=0.493)，192例受检者肝实质期EU均值53.2Hu与50Hu比较亦未见统计差异(P=0.083)，虽然变异系数(13.13%)略超过10%，但是对于众多因素影响的肝脏强化来说尚可接受，由此可初步认为，个性化方案中肝脏强化在同一患者间、不同病例间均有较好的重复性；同时，方案以相对较低的单位体重碘剂量、碘流率、碘总量完成研究，在一定程度上减少了碘剂摄入；另外，研究采用体重对应碘流率计算注射流率，目的在于同时获得较大程度的兼容CTA重建，尽量避免后期对比剂反复应用。

基于去脂体重^[15-16]或肝体积测量^[10]并通过公式计算对比剂量的个性化方案将获得更优秀的图像质量与可重复性，但缺点为相对繁杂，不利于日常工作开展；研究组以充分考虑对比剂浓度、扫描电压、体重对应碘流率等指标的实际单位体重碘剂量、实际注射碘流率的个性化方案，亦获得了较为满意的结果，且体重指标容易获取、结合电压简单计算即可获得碘总量、注射流率等关键指标，便于技师掌握应用，比较适合放射科推广。

创新点：研究组以基于体重、管电压、心率等因素的实际体重对应碘剂量、实际体重对应碘流率设计个性化方案进行肝脏增强扫描，目前尚未见可查询的文献报道，此为研究的创新点。不足之处，研究组发现(1)样本中4例强化未能满足诊断即EU值<30Hu，原因主要为体重太低或过大[体重<50kg或>80kg]，对比剂量相对偏低，这与文献^[2]报告一致，体重过高或太小的受检者，强化效果可能有别于正常体重人群，因此在合理的计算公式发掘之前，可能需要给予一定的对比剂补偿；(2)变异系数(13.13%)略超过10%，稍低于既往研究^[10,15-16]，可能与对比剂方案及样本个体差异等有关。

参考文献

[1] 中华医学会放射学分会对比剂安全使用工作组. 碘对比剂使用指南(第2版)[J]. 中华放射学杂志, 2013, 10(47): 3363-3369.

[2] 付海鸿, 王斌. CT造影理论(翻译版)[M]. City: 人民卫生出版社, 2019.

[3] Martens B, Hendriks B M F, Eijssvoegel N G, et al. Individually body weight-adapted contrast media application in computed tomography imaging of the liver at 90 kVp[J]. Invest Radiol, 2019, 54(3): 177-182.

[4] 中华医学会放射学分会心胸学组.《中华放射学杂志》心脏冠状动脉多排CT临床应用指南写作专家组.心脏冠状动脉CT血管成像技术规范应用中国指南[J]. 中华放射学杂志, 2017, 10(51): 732-743.

[5] 国家心血管病专业质控中心专家委员会心血管影像质控专家工作组. 冠状动脉CT血管成像扫描与报告书写专家共识[J]. 协和医学杂志, 2019, 10(1): 23-30.

[6] Stecker M S, Balter S, Towbin R B, et al. Guidelines for patient radiation dose management[J]. J Vasc Interv Radiol, 2009, 20(7 Suppl): S263-273.

[7] 周庆峰, 欧文, 拉海阿支. 肝脏增强CT扫描与MRI在肝癌诊断中的研究价值[J]. 中国CT和MRI杂志, 2017, 15(8): 94-97.

[8] 郑晓君, 谭玲, 时高峰. 肝脏增强CT扫描在肝癌诊断中的研究价值[J]. 中国CT和MRI杂志, 2016, 14(10): 80-82.

[9] Taguchi N, Oda S, Nakaura T, et al. Contrast enhancement in abdominal computed tomography: influence of photon energy of different scanners[J]. Br J Radiol, 2018, 91(1081): 20170285.

[10] 宋巍, 吕梁, 刘兴利, 等. 基于肝体积测量计算腹部CT增强扫描碘对比剂剂量个体化方案的可行性[J]. 中华放射学杂志, 2020, 54(5): 403-407.

[11] 国家心血管病专业质控中心心血管影像质控专家工作组, 中华医学会放射学分会心胸学组.《中华放射学杂志》心脏冠状动脉多排CT临床应用指南写作专家组. 冠状动脉CT血管成像的适用标准及诊断报告书写规范[J]. 中华放射学杂志, 2020, 11(54): 1044-1045.

[12] Li J, Udayasankar U K, Tang X, et al. An optimal contrast dose indicator for the determination of hepatic enhancement in abdominal multidetector computed tomography: comparison of patient attenuation indicator with total body weight and body mass index[J]. J Comput Assist Tomogr, 2010, 34(6): 874-878.

[13] 龚剑英, 谢军, 喻科, 等. 基于身体指数测量计算肝脏CT增强扫描个体化碘对比剂方案的研究[J]. 中国CT和MRI杂志, 2022, 20(10): 84-86.

[14] Awai K, Kanematsu M, Kim T, et al. The optimal body size index with which to determine iodine dose for hepatic dynamic CT: a prospective multicenter study[J]. Radiology, 2016, 278(3): 773-781.

[15] 胡茂清, 龙防, 龙晚生, 等. 基于全体质量、去脂肪体质量和体表面积计算肝脏CT增强碘对比剂用量的对比研究[J]. 实用放射学杂志, 2019, 35(11): 1831-1835.

[16] Costa A F, Peet K, Abdolell M. Dosing iodinated contrast media according to lean versus total body weight at abdominal CT: a stratified randomized controlled trial[J]. Acad Radiol, 2020, 27(6): 833-840.

(收稿日期: 2023-06-13)
(校对编辑: 孙晓晴)