

论 著

低碘流率下不同含碘对比剂对腹部动态增强CT图像质量影响*

邱韵玲¹ 林 砺² 陈奕杰²
王美月^{1*}1.第九〇九医院/厦门大学附属
东南医院药剂科2.第九〇九医院/厦门大学附属东南医院
放射诊断科医学影像研究所
(福建 漳州 363000)

【摘要】目的 比较相同碘负荷、相似的碘输送率下不同含碘对比剂腹部动态增强计算机断层扫描(CT)对腹主动脉、肝实质的增强图像质量影响。**方法** 选择2022年1月至2023年12月在我院接受上腹部动态增强CT检查的受试者180例,根据所用对比剂不同分为A组(碘帕醇, 370 mg I/mL)和B组(碘佛醇, 320 mg I/mL)。两组碘负荷均为350 mg I/kg,相似碘流率(IDR)下,定性、定量比较不同扫描阶段主要解剖结构图像质量。比较对比剂注射过程中的峰值压力和局部不良反应。**结果** 动脉晚期A组和B组腹主动脉的平均CT衰减值为314.16±29.96 HU和312.95±30.66 HU。门静脉期A组和B组门静脉的平均CT衰减值分别为174.01±19.83 HU和169.38±25.43 HU,肝实质的平均CT衰减值分别为117.86±16.12 HU和113.11±19.68 HU,差异均无统计学意义($P>0.05$)。两组在图像质量、峰值注射压力和局部不良反应方面均无统计学差异($P>0.05$)。**结论** 在相似IDR、相同的碘负荷时,不同浓度对比剂的CT图像具有相同增强效果,可以满足诊断和使用需求。

【关键词】 计算机断层扫描; 碘对比剂;
肝脏; 不良反应

【中图分类号】 R333.4

【文献标识码】 A

【基金项目】 福建省科学技术厅区域
发展项目(2019Y3007)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.07.048

The Influence of Different Iodine-containing Contrast Agents on the Quality of Dynamic Enhanced CT Images of the Abdomen at Low Iodine Flow Rates*

QIU Yun-ling¹, LIN Li², CHEN Yi-jie², WANG Mei-yue^{1*}.1.Department of Pharmacy, The 909th Hospital (Dongnan Hospital of Xiamen University),
Zhangzhou 363000, Fujian Province, China2.Department of Diagnostic Radiology & Institute of Medical Imaging, The 909th Hospital
(Dongnan Hospital of Xiamen University), Zhangzhou 363000, Fujian Province, China

ABSTRACT

Objective To compare the effects of different iodine-containing contrast agents on the quality of dynamic contrast-enhanced computed tomography (CT) images of the abdominal aorta and liver parenchyma under the same iodine load and similar iodine delivery rate. **Methods** A total of 180 subjects who underwent upper abdominal dynamic contrast-enhanced CT examination in our hospital from January 2022 to December 2023 were selected and divided into group A (iopamidol, 370 mg I/mL) and group B (iohexol, 320 mg I/mL) according to the different contrast agents used. Both groups had a iodine load of 350 mg I/kg and similar iodine flow rate (IDR). The image quality of major anatomical structures at different scanning stages was qualitatively and quantitatively compared. The peak pressure and local adverse reactions during the injection of contrast agents were also compared. **Results** The mean CT attenuation values of the abdominal aorta in group A and group B were 314.16±29.96 HU and 312.95±30.66 HU, respectively, at the late arterial phase. The mean CT attenuation values of the portal vein in group A and group B were 174.01±19.83 HU and 169.38±25.43 HU, respectively, at the portal venous phase, and the mean CT attenuation values of the liver parenchyma were 117.86±16.12 HU and 113.11±19.68 HU, respectively, at the portal venous phase, with no statistically significant differences (both $P>0.05$). There were no statistical differences in image quality, peak injection pressure, and local adverse reactions between the two groups (both $P>0.05$). **Conclusion** At a similar iodine flow rate and iodine load, CT images with different concentrations of contrast agents have the same enhancement effect, which can meet diagnostic and practical requirements.

Keywords: Computed Tomography; Iodinated Contrast Agent; Liver; Adverse Reactions

静脉注射对比剂可提高腹部计算机断层扫描(computed tomography, CT)对腹部血管、实质脏器的检查效能,能够更清晰的分辨病变范围、肿瘤浸润程度。选择注射对比剂和过程中需要考虑对比剂的浓度、剂体积、注射速率、注射时间等多个因素,其中总碘负荷和碘流率(iodine delivery rate, IDR)对增强CT图像质量影响较大^[1-2]。尽管有研究证实了,在IDR相同下,使用不同成分、浓度的对比剂的CT增强检查的血管图像质量相似^[3]。但既往研究缺少对患者单位体重的总碘负荷计算,且对不同注射速率、不同浓度的碘对比剂对肝脏增强CT图像质量差异研究较少^[4-5]。基于此,本研究比较了相似IDR下且相同的每公斤体重碘负荷(350 mg I/kg)下,不同厂家同浓度对比剂对腹部动态增强CT图像上主动脉、门静脉和肝实质图像质量影响,以期帮助临床工作中对碘对比剂的使用选择。

1 材料与方法

1.1 一般资料收集 选择2022年1月至2023年12月在我院接受上腹部动态增强CT检查的受试者180例。

纳入标准:(1)患者年龄18-80岁;(2)接受了肝脏增强CT扫描;(3)使用碘帕醇或碘佛醇作为对比剂。排除标准:(1)妊娠期妇女;(2)严重肾功能不全者(肌酐清除率低于30 mL/min)、严重心功能不全(NYHA分级III、IV级)、肝硬化患者;(3)碘对比剂过敏史;(4)因化疗或其他药物导致伪影或肝脏灌注异常;(5)原发性肿瘤相对较大或继发性病变累及整个肝脏或多个肝段。本研究经过我院伦理委员会审核。

根据随机数表法,将患者分为A组(碘帕醇)和B组(碘佛醇)。A组90例,使用碘帕醇注射液(规格:国药准字H20184113,北京北陆药业股份有限公司,370mgI/mL),B组90例,均使用碘佛醇注射液(规格:国药准字H20041796,江苏恒瑞医药股份有限公司,320 mgI/mL)。

1.2 图像采集和对比剂注方法 CT检查使用德国西门子Definition 4D双源CT进行。具体参数如下:自动管电压、自动管电流调制、准直器宽度(24×1.2mm)、螺距(0.6)、旋转时间(0.5s)、重建层厚度(1mm)和层间距(1.5mm)。使用高级模型迭代重建(ADMIRE)算法常规重建图像。

根据以往的使用经验,本院将总碘负荷设定为350mg/kg,计算每例患者需要对比剂体积(mL)=体重(kg)×总碘负荷(350 mg/kg)/碘对比剂浓度。IDR(g I/s)=对比剂浓度

【第一作者】邱韵玲,女,药师,主要研究方向:造影剂应用及并发症。E-mail: qiuyunling909@163.com

【通讯作者】王美月,女,主管药师,主要研究方向:医院药学。E-mail: 123266192@qq.com

(mgI/mL) × 对比剂注射速率(mL/s)/1000^[6]。

对比剂使用前均预热至37°C, 并通过静脉留置针(22G)用双筒高压注射器(拜耳stellant D—CE)注射到肘前静脉。在以相似IDR均为(0.962和0.96 gI/s)条件下, A组以2.6mL/s的速率注射碘帕醇, B组以4mL/s的速率注射碘佛醇。

注射对比剂后, 两组患者均以相同的注射速率(A组和B组分别为2.6mL/s和3mL/s)注射生理盐水(50mL)冲洗。通过采用团注追踪触发技术将主动脉内的感兴趣区(region of interest, ROI)设置于横膈膜水平, 以减少心脏功能差异的影响, 触发阈值设置为100 Hounsfield单位(Hounsfield unit, HU)。患者仰卧位头先进, 触发扫描开始时7s后扫描动脉晚期。动脉期完成后45s扫描门静脉期, 注射对比剂后180s后扫描平衡期。

1.3 CT图像的定量和定性分析 CT图像分析由2位经验丰富的放射科医生共同进行, 他们对患者所使用对比剂情况不知情。

定量分析包括: 测量关键解剖结构(包括主动脉、门静脉和肝实质)的CT衰减值(HU)。其中ROI设置为1cm², 测量平扫和增强扫描(即动脉和门静脉期)的图像。当存在肝占位时, 将ROI置于病变相关灌注异常区域外, 以避免干扰。关键解剖结构(包括腹主动脉、门静脉和肝实质)各相CT衰减值减去平扫的CT衰减值记录为不同增强相的增强值。动脉期测量腹主动脉CT衰减值, 门静脉期测量门静脉和肝实质CT衰减值。测量腹主动脉的三个不同层面(升主动脉、降主动脉、腹主动脉主干(右肾动脉水平))血管中心测量CT衰减值的平均值; 门静脉主干、肝门处分为左、右分支处测量CT衰减值的平均值; 肝实质六个不同区域测量的CT衰减值, 包括左叶(II段和III段)、右叶(VII段和VIII段)和肝门下方(V段和VI段), 避开大血管、可见胆管或其他病变区域。

定量分析同样由2位医师盲法下进行。根据Paparo等人^[7]判断标准并使用半定量量表(1=差、2=良好、3=优秀)判断所有CT增强图像的主要解剖结构(主动脉、门静脉或肝实质和邻近解剖结构的对比度和分辨率是否足够)是否令人满意。定量分析评估动脉期主动脉增强质量和门静脉期肝脏增强质量。

1.4 峰值注射压力 使用stellant D-CE双筒对比剂注射器(德国拜耳公司)监测对比剂注射压力曲线。由双筒对比剂注射器所连接控制系统自动计算峰值注射压力, 以磅力/平方英寸(pounds per square inch, PSI)为单位。

1.5 注射部位局部不良反应 使用4级评定量表(0=无; 1=轻度, 可耐受; 2=中度; 3=严重, 无法耐受)评估对比剂注射部位的局部不良反应(如局部疼痛、局部热感)^[8]。监测患者CT检查完成后1 h内不良反应, 如神经毒性反应、发热、心慌、恶心、呕吐、腹痛等。

1.6 统计学方法 研究所有涉及数据均使用SPSS 22.0进行统计分析。计量资料使用D'Agostino-Pearson进行正态分布检验, 使用Levene法进行方差齐性检验, 满足正态分布的计量资料采用均值±标准差描述, 两组间差异使用t检验, 不满足正态分布的计量资料采用中位数(四分位数间距)描述表示, 组间差异使用Mann-Whitney检验分析。计数资料用例数(百分比)描述, 组间差异使用 χ^2 检验。以P<0.05为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组患者的一般资料对比 本研究共纳入接受腹部动态增强CT检查患者180例, 两组患者的年龄、性别、体重、BMI差异均无统计学意义, 两组资料具有可比性(P均>0.05)。见表1。

2.2 不同对比剂图像质量的定性和定量比较 在CT平扫中, 腹主动脉CT衰减值、门静脉CT衰减值, 肝实质CT衰减值, 差异均无统计学意义(P均>0.05)。

腹部动态增强CT动脉期, 腹主动脉CT衰减值、门静脉CT衰减值, 肝实质CT衰减值, 差异均无统计学意义(P均>0.05)。详见表2。

定性图像质量分析结果可见, 两组间动脉期增强图像质量、门静脉期肝脏增强质量差异均无统计学意义(P>0.05), 详见表3。

2.3 两组对比剂PSI及注射部位不良反应比较 两组对比剂峰值注射压力差异无统计学意义。两组注射后局部热感、局部不良反应评分差异均无统计学意义(P>0.05)。两组均无注射部位局部疼痛、对比剂血管外渗、对比剂轻、中、重度过敏反应, 详见表4。

表1 两组患者一般资料对比

分组	A组	B组	t/ χ^2 值	P值
n	90	90		
年龄(岁)	61.52±12.36	62.81±11.47	0.534	0.594
性别, n(%)			0.360	0.549
男	48	52		
女	42	38		
体重(kg)	60.69±14.63	60.73±13.85	0.019	0.985
BMI(kg/m ²)	20.81±4.23	20.27±3.83	0.898	0.371

表2 两组患者不同关键解剖结构的平均CT衰减值比较(HU)

分组	A组	B组	t值	P值
n	90	90		
主动脉-平扫	45.83±5.48	44.42±5.32	1.175	0.082
主动脉-动脉晚期	314.16±29.96	312.95±30.66	0.268	0.789
肝脏-平扫	63.75±5.27	64.85±7.5	1.138	0.256
肝脏-门静脉期	117.86±16.12	113.11±19.68	1.771	0.078
门静脉-平扫	45.61±5.64	44.81±4.82	1.023	0.308
门静脉-门静脉期	174.01±19.83	169.38±25.43	1.362	0.175

表3 两组患者不同关键解剖结构图像质量定性比较

项目	A组			B组			Z值	P值
	中位数	最小值	最大值	中位数	最小值	最大值		
动脉期主动脉增强质量	3	1	3	3	1	3	0.197	0.815
门静脉期肝脏增强质量	3	2	3	3	2	3	0.321	0.753

表4 两组对比剂PSI及注射部位不良反应比较

分组	A组	B组	Z/χ ² 值	P值
n	90	90		
峰值注射压力(PSI), M(Q ₁ ,Q ₃)	66(59, 95)	58(47, 98)	1.175	0.082
局部不良反应评分,M(Q ₁ ,Q ₃)	0(0, 0)	0(0, 0)	0.072	0.989
注射后局部热感, n(%)	8(8.89%)	9(10.00%)	1.138	0.256
注射后局部疼痛, n(%)	0	0	-	1.000*
对比剂血管外渗, n(%)	0	0	-	1.000*
过敏反应, n(%)	0	0	-	1.000*

注: *为精确概率。

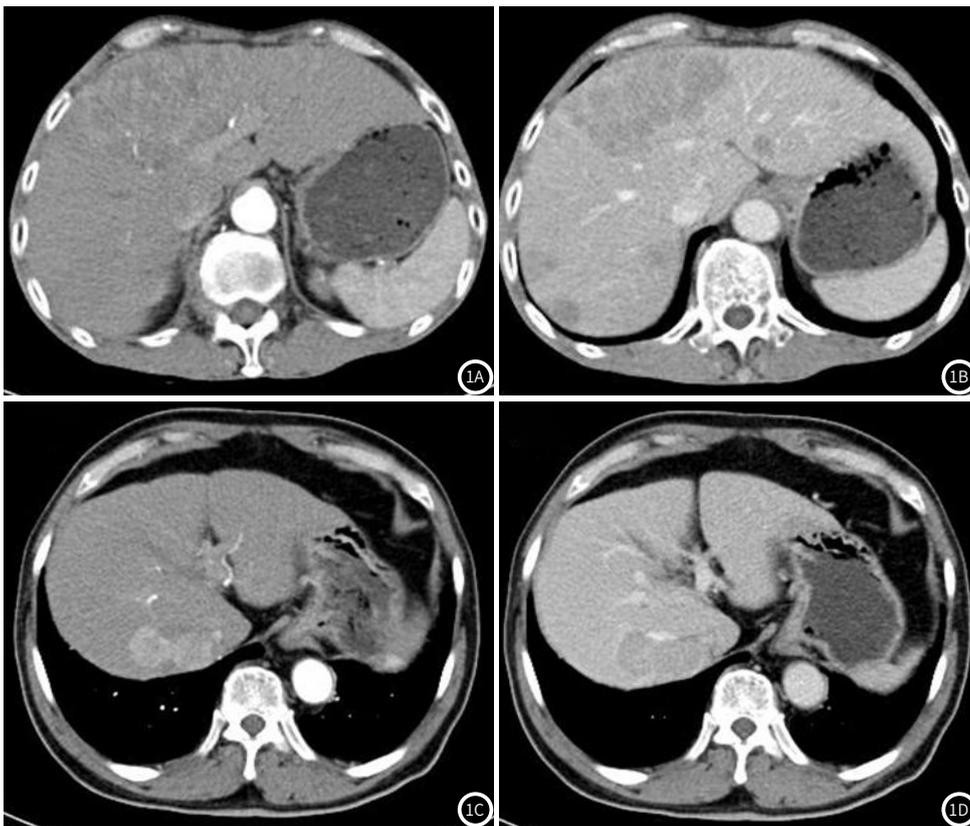


图1A-图1D 接受不同碘对比剂患者的典型增强CT图像。(1A、1B)A组中一例56岁,男性,肝细胞癌患者的动脉期(1A)和静脉期(1B)CT图像;(1C、1D)B组中一例58岁,男性,肝细胞癌患者的动脉期(1C)和静脉期(1D)CT图像。

3 讨论

关于腹部增强CT检查中产生最佳血管、实质器官所需的碘浓度、碘对比剂方案选择一直缺乏共识。关于不同对比剂对增强CT图像的效果已有不少报道,已证实碘浓度较高的对比剂可更好地显示出增强的血管和实质器官^[9-10]。此外,研究比较同一品牌不同浓度碘帕醇(300和370 mgI/mL)在相似IDR、相同碘负荷下CT图像显示,较高浓度的对比剂与主动脉、门静脉和肝实质的较高增强值有关^[11]。毫无疑问, IDR和总碘负荷是影响增强CT图像的关键因素,其中IDR直接影响动脉血管增强,而总碘负荷影响门静脉期的增强^[12]。

本研究中,通过定量和定性分析显示A、B两组患者增强CT图像间没有显著差异,这与既往研究类似。在一项正电子发射计算机断层扫描显像研究中,比较同一品牌两种浓度的碘丙胺(300

mgI/mL vs. 370 mgI/mL)的固定IDR(1.29 gl/s)增强图像差异,发现门静脉期所有解剖部位(升主动脉、腹主动脉、下腔静脉、主门静脉、肝脏、肾脏)的增强程度图像无显著差异^[13]。与该研究不同的是,本研究将上述门静脉期成像结果,扩展到了动脉晚期的腹部、肝脏成像质量。

既往研究认为,使用1.2-1.6 gl/s的IDR值可确保在富含血液的肝细胞癌中发挥出良好的肿瘤-肝脏对比度,更适用于腹部动态增强CT扫描^[14]。如Rengo等人比较了使用两种不同对比剂分子(320 mgI/mL碘克沙醇和400 mgI/mL碘美醇)的关键解剖结构(腹主动脉、门静脉和肝实质)的平均CT衰减发现,两种对比剂在固定IDR(1.6 gl/s)下增强效果类似^[6]。需要指出的是,本研究中使用的IDR低于该研究IDR。主要因为CT扫描过程中使用了自动管电

压技术,实际管电压为90-100 kV,在血管和肝实质增强后,CT衰减增值升高。这一结果也证实了腹部增强CT检查中较低IDR与自动管电压技术相结合,可以提供满足临床诊断需求的图像质量。此外,本研究采用的注射方案具有IDR较低的优点,更有利于外周静脉血管质量较低的患者。

本研究中两组IDR为0.962 gl/s和0.96 gl/s,保持在相对较低的水平,因此未出现对比剂外渗,注射部位局部不适发生率也相对较低。含碘对比剂过程中黏度对结果的影响也是需要考量的重要参数。对比剂粘度主要由对比剂浓度决定,这也受分子结构(如分子大小和有机侧链组成)、渗透压和温度的影响^[12]。为了均衡对比剂粘度对研究结果的影响,本研究中均将所用对比剂预热至37°C后进行使用。目前针对含碘对比剂的流体动力学参数研究较少,分子结构差异是否会导致相同浓度含碘对比剂的注射压力变化仍需要探讨。本研究中全部患者均使用22G静脉留置针和相同连接管,保证了两组患者所用对比剂粘度和峰值注射压力差异无统计学意义。一定程度上,对比剂的化学和流体动力学特征(尤其是粘度)与肾毒性等对比剂相关不良反应相关。对比剂的渗透压线性增加,但其粘度随浓度呈指数增加^[15-16]。因此,肾小管中含对比剂的体液逐渐浓缩,同时渗透压逐渐升高。相比之下,肾小管液的粘度呈指数增加。高粘度延长了对比剂在肾内的滞留时间,导致肾小管上皮细胞长时间暴露于碘对比剂中,从而引起肾毒性。而碘对比剂通过增强血浆粘度直接减少肾髓血流量,肾脏髓质缺氧引起的氧化应激可进一步造成细胞损伤。因此,高粘度对比剂可能会降低肾髓质血流量和肾小球滤过率,从而增加肾毒性的风险^[16-17]。高粘度对比剂的不良反应在脱水患者中可能更明显^[18]。因此,在临床实践中使用相同碘负荷下,通过快速计算对比剂体积和正确设置注射参数,确保较低IDR对减少对比剂不良反应具有积极意义。

本研究存在以下局限性。首先,仅比较了两种碘对比剂的增强效果,今后需要进一步调查其他浓度和品牌的对比剂的增强图像差异。其次,真实世界中接受腹部动态增强CT者多为BMI相对较低的肿瘤患者,因此本纳入研究者中缺少健康人群,对于结果外推性可能产生一定影响。当然,对于不同厂家CT扫描机器和增强重建算法结果也需要进一步研究其差异。

总之,本研究发现在相似IDR、总碘负荷下,不同碘对比剂的腹部动态增强CT的血管和肝脏实质的增强效果差异无统计学意义,可以满足临床诊断和使用需求。

参考文献

- [1] Kesen S, Svensson A, Thor D, et al. Hepatic enhancement at computed tomography: is there a dependence on body weight past institutional contrast dosing limits? [J]. *Acta Radiol*, 2023, 64 (2): 435-440.
- [2] 石倩倩, 陈伟彬. 低管电压联合高浓度低流率对比剂注射方案颈动脉CTA的可行性分析 [J]. *放射学实践*, 2021, 36 (2): 258-261.
- [3] Lubbers MM, Kock M, Niezen A, et al. Iodixanol versus iopromide at coronary CT angiography: lumen opacification and effect on heart rhythm—the randomized IsoCOR trial [J]. *Radiology*, 2018, 286 (1): 71-80.
- [4] 王军大, 冷静, 李艳艳. 7种静脉注射碘对比剂的合理应用及其不良反应分析 [J]. *中国医院药学杂志*, 2018, 38 (6): 634-639.
- [5] Budoff MJ, Lee HS, Roy SK, et al. Efficacy and safety of iodixanol in computed coronary tomographic angiography and cardiac catheterization [J]. *J Cardiovasc Dev Dis*, 2023, 10 (11): 449.
- [6] Rengo M, Caruso D, De Cecco CN, et al. High concentration (400 mgI/mL) versus low concentration (320 mgI/mL) iodinated contrast media in multi detector computed tomography of the liver: a randomized, single centre, non-inferiority study [J]. *Eur J Radiol*, 2012, 81 (11): 3096-3101.
- [7] Paparo F, Garelli I, Bacigalupo L, et al. CT of the abdomen: degree and quality of enhancement obtained with two concentrations of the same iodinated contrast medium with fixed iodine delivery rate and total iodine load [J]. *Eur J Radiol*, 2014, 83 (11): 1995-2000.
- [8] Zhang X, Li S, Liu W, et al. Double-low protocol for hepatic dynamic CT scan: Effect of low tube voltage and low-dose iodine contrast agent on image quality [J]. *Medicine (Baltimore)*, 2016, 95 (26): e4004.
- [9] Ippolito D, Riva L, Talei Franzesi CR, et al. Diagnostic efficacy of model-based iterative reconstruction algorithm in an assessment of coronary artery in comparison with standard hybrid-iterative reconstruction algorithm: dose reduction and image quality [J]. *Radiol Med*, 2019, 124 (5): 350-359.
- [10] 胡勤勤, 张德川, 祝君, 等. 不同碘浓度对比剂对肝脏CT增强扫描静脉期图像质量的影响 [J]. *局解手术学杂志*, 2022, 31 (11): 1000-1004.
- [11] Kok M, Muhl C, Mingels AA, et al. Influence of contrast media viscosity and temperature on injection pressure in computed tomographic angiography: a phantom study [J]. *Invest Radiol*, 2014, 49 (4): 217-223.
- [12] Corrias G, Sawan P, Mahmood U, et al. Dual energy computed tomography analysis in cancer patients: What factors affect iodine concentration in contrast enhanced studies? [J]. *Eur J Radiol*, 2019, 120: 108698.
- [13] Verburg FA, Apitzsch J, Lensing C, et al. Body surface area adapted iopromide 300 mg/ml versus 370 mg/ml contrast medium injection protocol: influence on quantitative and clinical assessment in combined PET/CT [J]. *Eur J Radiol*, 2013, 82 (12): 2348-2352.
- [14] Aschoff AJ, Catalano C, Kirchin MA, et al. Low radiation dose in computed tomography: the role of iodine [J]. *Br J Radiol*, 2017, 90 (1076): 20170079.
- [15] van der Molen AJ, Quattrocchi CC, Mallio CA, et al. Ten years of gadolinium retention and deposition: ESMRMB-GREC looks backward and forward [J]. *Eur Radiol*, 2024, 34 (1): 600-611.
- [16] 中华医学会临床药学分会, 中国药学会医院药学专业委员会, 中华医学会肾脏病学分会. 碘对比剂诱导的急性肾损伤防治的专家共识 [J]. *中华肾脏病杂志*, 2022, 38 (3): 265-288.
- [17] Vahldiek JL, Schaafs LA, Niehues BK, et al. Effect of different iodine concentrations on patient-reported discomfort in contrast-enhanced computed tomography: a prospective comparative trial [J]. *Rofo*, 2020, 192 (10): 945-951.
- [18] Richards CE, Dorman S, John P, et al. Low-radiation and high image quality coronary computed tomography angiography in "real-world" unselected patients [J]. *World J Radiol*, 2018, 10 (10): 135-142.

(收稿日期: 2024-04-06)

(校对编辑: 韩敏求、姚丽娜)