

论 著 · 胸部

个性化碘对比剂注射方案在冠脉CT造影中应用及影响因素*

程凡芝 马海鸿* 买买提明·马合木提
新疆维吾尔自治区喀什地区第二人民医院
放射影像中心(含导管室) (新疆喀什 844000)

【摘要】目的 探讨个性化碘对比剂注射方案在冠脉CT造影中应用效果及其影响因素分析。**方法** 选取2023年2月至2024年2月在新疆维吾尔自治区喀什地区第二人民医院行冠状动脉CT造影检查的患者85例, 简单随机法分为A(n=29)、B(n=28)、C(n=28)三组, 分别采用350 mgI/mL、370 mgI/mL、400 mgI/mL的碘对比剂, 比较三组图像质量[图像质量评分、对比噪声比(CNR)、信噪比(SNR)、主动脉图像噪声(SD_{主动脉})及主动脉根部(AO)、左前降支(LAD)、左回旋支(LCX)和右冠状动脉(RCA)近端和远端的平均CT值]、辐射剂量参数[CT容积剂量指数(CTDIvol)、剂量长度乘积(DLP)、有效辐射剂量(ED)]。记录入组患者的AO及冠状动脉的平均CT值, 多元线性回归分析影响图像质量的危险因素。**结果** 三组SD_{主动脉}、CNR、SNR对比无差异($P>0.05$)。A组图像质量评分、AO、LAD近端、LAD远端、LCX近端、LCX远端、RCA近端、RCA远端的CT值均低于C组($P<0.05$)。A组CTDIvol、DLP、ED均低于B组、C组, 且较于B组、C组上述指标水平更高($P<0.05$)。85例患者各部位血管均满足诊断要求, 其中AO的平均CT值为(433.05±91.59)HU, 冠状动脉的平均CT为(355.44±66.71)HU。不同体质指数、心率和体表面积(BSA)患者AO和冠状动脉的平均CT值比较, 差异均有统计学意义($P<0.05$)。多元线性回归分析显示体质指数和心率高均为影响AO和冠状动脉图像质量的危险因素($P<0.05$)。**结论** 基于BSA计算的个性化碘对比剂注射方案在冠脉CT造影检查中应用效果显著, 以370 mgI/mL注射方案最优; 体质指数和心率是影响冠脉CT图像质量的独立因素。

【关键词】 碘对比剂; 注射方案;
冠脉CT造影; 影响因素

【中图分类号】 R814.43

【文献标识码】 A

【基金项目】 新疆第二医学院2024年校级科研
基金项目资助(ZR202410)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.10.023

Application of Personalized Iodine Contrast Agent Injection Schemes in Coronary CT Angiography and Its Influencing Factors*

CHENG Fan-zhi, MA Hai-hong*, Maimaitiming·Mahemuti.

Radiological Imaging Center, the Second People's Hospital of Kashgar Region, Kashgar 844000, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China

ABSTRACT

Objective To explore application effect of personalized iodine contrast agent injection schemes in coronary CT angiography and its influencing factors. **Methods** A total of 85 patients undergoing coronary CT angiography in The Second People's Hospital of Kashgar Region, Xinjiang Uygur Autonomous Region Second Medical College were enrolled between February 2023 and February 2024, and they were randomly divided into group A (n=29, 350 mgI/mL iodine contrast agent), group B (n=28, 370 mgI/mL iodine contrast agent) and group C (n=28, 400 mgI/mL iodine contrast agent). The image quality [score of image quality, contrast-to-noise ratio (CNR), signal-to-noise ratio (SNR), image noise of aorta (SD_{aorta}), proximal and distal mean CT values of aorta (AO), left anterior descending branch (LAD), left circumflex branch (LCX), right coronary artery (RCA)] and radiation dose parameters [CT volumetric dose index (CTDIvol), dose-length product (DLP), effective radiation dose (ED)] in the three groups were compared. The mean CT values of AO and coronary artery were recorded. The risk factors affecting image quality were analyzed by multivariate linear regression analysis. **Results** There was no difference in SD_{aorta}, CNR or SNR among the three groups ($P>0.05$). The score of image quality, CT values of AO, proximal LAD, distal LAD, proximal LCX, distal LCX, proximal RCA and distal RCA in group A were all lower than those in group C ($P<0.05$). CTDIvol, DLP and ED were gradually increased in group A, group B and group C ($P<0.05$). The vessels at different sites in all the 85 patients met the diagnostic requirements. The mean CT values of AO and coronary artery were (433.05±91.59) HU and (355.44±66.71) HU, respectively. There were significant differences among patients with different body mass index, heart rate and body surface area (BSA) in mean CT values of AO and coronary artery ($P<0.05$). Multivariate linear regression analysis showed that high body mass index and heart rate were risk factors of image quality in AO and coronary artery ($P<0.05$). **Conclusion** The application effect of personalized iodine contrast agent injection schemes based on BSA calculation is significant in coronary CT angiography, especially 370 mgI/mL injection scheme. Body mass index and heart rate are independent influencing factors of quality of coronary CT images.

Keywords: Iodine Contrast Agent; Injection Scheme; Coronary CT Angiography; Influencing Factor

冠脉CT造影因时间、空间分辨率及阴性预测值均较高的特点而被作为冠状动脉疾病筛查的主要检查方式, 现已广泛应用于临床^[1-2]。冠脉CT造影能否准确评估诊断主要取决于血管强化程度, 而血管强化程度与患者自身相关因素、CT设备参数、对比剂浓度、注射剂量和注射速度相关^[3-4]。以往冠脉CT造影检查中采用的注射方案较为统一, 多为固定流速和用量的对比剂, 由于患者个体差异化较大, 导致不同患者冠脉强化效果出现高低差异, 最终造成漏诊或误诊^[5]。与此同时, 冠脉CT造影中使用碘对比剂诱发肾损伤的问题也日益凸显, 且碘对比剂所致的肾毒性与其剂量有关^[6]。故在保证图像质量及减少对比剂后肾损伤的同时优化碘对比剂注射方案尤为重要。体表面积(body surface area, BSA)被认为是未来制定碘对比剂注射方案的最准确参考指标, 其可较好的衡量人体代谢情况, 且受脂肪含量异常的影响较小。既往等研究显示^[7], 基于BSA制定碘对比剂方案的平均图像质量评分均大于4分, 符合临床诊断要求。据此, 本研究将根据患者BSA制定碘对比剂注射方案, 探讨不同规格(350 mgI/mL、370 mgI/mL、400 mgI/mL)的碘对比剂在冠脉CT造影中应用效果, 并进一步对影响图像质量的因素进行分析, 为临床选择最佳碘对比剂方案提供一定循证依据, 以提高图像质量。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取2023年2月至2024年2月在新疆维吾尔自治区喀什地区第二人民医院行冠状动脉CT造影检查的患者85例, 简单随机法分为A(n=29)、B(n=28)、C(n=28)三组, 分别采用350 mgI/mL、370 mgI/mL、400 mgI/mL的碘对比剂。

纳入标准: 疑似冠心病拟行冠脉CT造影者; 年龄18~90岁; 无需服用药物或经药物控制后, 心率<70次/min; 患者对此次研究知情。排除标准: 对碘过敏或肾小球滤过率≤120mL/min者; 精神疾病者; 外周静脉血管注射要求不能保证5mL/s以上者; 搭桥史者; 屏气困难, 呼吸伪影重者; 严重肝肾功能不全者; 哺乳期及妊娠期妇女; 冠状动脉钙化重度者。此次研究经医院伦理委员会同意(伦理审批号: KS2024-06-024)。

1.2 方法 采用第二代双源CT(SOMATOM Definition Flash)及双筒高压注射器。扫描范围: 头部至足部方向覆盖至整个心脏。采用对比剂跟踪触发技术, 将感兴趣区(region of Interest, ROI)设于升主动脉内, 触发阈值为100HU, 达到阈值后嘱患者屏气6s后开始

【第一作者】 程凡芝, 女, 主管技师, 主要研究方向: 心血管影像技术。E-mail: 19915293333@163.com

【通讯作者】 马海鸿, 女, 主任医师, 主要研究方向: 全身血管CTA及腹部疾病的影像诊断。E-mail: 1727359370@qq.com

扫描。扫描参数：管电压100 kV，管电流370 mAs，转速0.28s/r，层厚10mm，准直器宽度2×64×0.6mm，螺距3.4，重建层厚0.75mm、重建间隔0.5mm。

对比剂：A组采用350 mgI/mL碘佛醇[江苏恒瑞医药股份有限公司, 国药准字H20143027, 100mL: 35g(I)]、B组采用370mgI/mL碘普罗胺(成都倍特药业股份有限公司, 国药准字H20223632, 100mL:76.89g)、C组采用400 mgI/mL碘美普尔[上海博莱科信谊药业有限责任公司, 国药准字H20067802, 100mL : 40g(I) 注射剂]。三组患者的对比剂注射剂量均按照BSA计算，根据患者在身高、体重测算仪器上得出的值换算成BSA值，BSA值从低到高对应1.2~2.0gI/s 区间内相应的碘流率，获得的碘流率除以使用的碘对比剂浓度，即计算出碘对比剂的推注速率[碘流率(gI/s)=碘对比剂浓度(mgI/mL)×推注速率(mL/s)]；最后根据设备的平台时间乘以推注的速率换算得到碘对比剂注射总量[碘对比剂总量(mL)=推注速率(mL/s)×注射时间(s)]。待对比剂注射完毕后，均以相同的注射流率追加0.9%氯化钠注射液30mL。

图像重建及分析：将图像传送至后处理工作站，采用多平面重建、最大密度投影和容积再现等对图像进行重组和观察。

1.3 观察指标

1.3.1 图像质量主观评价 由两位具有5年以上影像诊断经验的医生进行双盲独立诊断，采用美国心脏协会15 段分段标准(不包括中间支)随机评分^[8]。按照 Likert 5分制的评分标准^[9]：1分为极差，血管内及其分支显示不清晰，静脉伪影明显，无法进行诊断；2分为差，图像显影一般，血管轮廓大部分显示不清，存在静脉伪影且管壁毛糙，无法用于诊断；3分为良，动脉血管内及其分支显示较为清晰，血管壁有轻度毛糙并存在轻微的静脉伪影，能够用于诊断，但准确性可能受影响；4分为好，大部分血管轮廓边界清楚，仅有少量伪影，基本不影响诊断；5分为极好，血管边界清楚，无伪影，对诊断无影响。≥3分的图像被视为可诊断即图像质量不影响诊断。诊断结果存在出入时引入第三位影像医生进行讨论，记录讨论后的诊断结果。

1.3.2 图像质量客观评价 测量各血管的平均CT值，包括主动脉根部(aorta, AO)、左前降支(left anterior descending branch, LAD)近端、LAD远端，左回旋支(left circumflex branch, LCX)近端、LCX远端、右冠状动脉(right coronary artery, RCA)近端、RCA远端，测量时固定窗宽800HU，窗位100HU，AO的ROI面积为90mm²，其余均为1mm²。冠状动脉节段测量时应尽可能的避开血管管壁、斑块及钙化部分。连续测量3次，取平均值。CT值大于250HU则认为满足图像诊断要求^[10]。

主动脉图像噪声(SD_{主动脉})：测量升主动脉根部的标准差(SD值)作为图像噪声；以同层面左主干周围的心包内脂肪CT值为背景，计算图像对比噪声(CNR)和信噪比(SNR)，CNR=(CT_{动脉}-CT_{背景})/SD_{主动脉}；SNR：CT_{动脉}/ CT_{背景}。

1.3.3 辐射剂量 记录扫描过程中患者的CT容积剂量指数(CT volumetric dose index, CTDIvol)、剂量长度乘积(Dose-length product, DLP)，并计算有效辐射剂量(Effective radiation dose, ED)，ED = DLP *k，k为转换系数，取k=0.014mSv/mGy/cm^[11]。

1.3.4 危险因素 记录所有患者主动脉根部及冠状动脉平均CT值，并比较不同临床资料患者主动脉和冠状动脉平均CT值差异，多元线性回归分析影响图像质量危险因素。

1.4 统计学处理 将SPSS 22.0作为数据分析软件，计量资料使用($\bar{x} \pm s$)表示，采用t检验或单因素方差分析，计数资料采用例(%)表示，行 χ^2 检验，采用多元线性回归分析影响图像质量危险因素，均以P<0.05提示有统计学意义。

2 结 果

2.1 三组基线资料对比 三组基线资料对比无差异(P>0.05)，见表1。

表1 三组基线资料对比[n(%)]

基线资料	A组(n=29)	B组(n=28)	C组(n=28)	F/ χ^2	P
性别				1.103	0.603
男	16(55.17)	12(42.86)	15(53.57)		
女	13(44.83)	16(57.14)	13(46.43)		
年龄(岁)	45.69±4.13	45.81±4.25	45.42±4.09	0.065	0.937
体质量指数(kg/m ²)	21.40±1.22	21.57±1.31	21.38±1.49	0.170	0.844
心率(次/min)	64.25±1.65	65.12±1.47	64.37±1.82	2.298	0.107
BSA(m ²)	1.65±0.42	1.73±0.46	1.79±0.51	0.653	0.523
文化水平				0.424	0.809
高中及以上	19(65.52)	17(60.71)	16(57.14)		
高中以下	10(34.48)	11(39.29)	12(42.86)		

2.2 三组图像质量对比 三组SD_{主动脉}、CNR、SNR对比无差异(P>0.05)。A组图像质量评分、AO、LAD近端、LAD远端、LCX近端、LCX远端、RCA近端、RCA远端的CT值均低于C组(P<0.05)，但A组与B组，B组与C组对比无差异(P>0.05)。见表2。

2.3 三组辐射剂量参数对比 A组CTDIvol、DLP、ED均低于B组、C组，且与B组比较，C组上述指标均更高(P<0.05)，见表3。

2.4 85例患者的AO及冠状动脉的平均CT值 85例患者各部位血管均满足诊断要求，其中AO的平均CT值为(433.05±91.59)HU，冠状动脉的平均CT为(355.44±66.71)HU。

2.5 不同临床资料患者AO和冠状动脉的平均CT值差异 不同体质量指数、心率和BSA患者AO和冠状动脉的平均CT值比较，差异均有统计学意义(P<0.05)，见表4。

表2 三组图像质量对比

指标	A组(n=29)	B组(n=28)	C组(n=28)	F	P
图像质量评分(分)	3.82±0.58	3.91±0.52	4.15±0.41*	3.180	0.047
CT值(HU)					
AO	405.61±90.55	435.12±91.82	468.39±92.43*	3.348	0.040
LAD近端	350.36±64.48	361.27±65.59	392.08±64.16*	3.163	0.047
LAD远端	342.12±67.89	357.45±66.41	385.76±65.28*	3.142	0.048
LCX近端	331.28±62.53	360.32±64.37	375.41±63.50*	3.571	0.033
LCX远端	340.33±63.27	351.60±63.20	381.52±64.37*	3.173	0.047
RCA近端	317.56±74.31	342.28±73.50	369.42±71.29*	3.590	0.032
RCA远端	324.07±68.90	348.75±68.35	370.80±69.41*	3.283	0.042
SD _{主动脉} (HU)	21.27±2.43	22.45±2.69	21.61±2.53	1.607	0.207
CNR	32.49±3.16	33.01±3.08	33.43±3.21	0.637	0.531
SNR	23.59±3.50	24.13±3.42	23.47±3.38	0.294	0.746

注：与A组比较，*P<0.05。

2.6 多元线性回归分析 以患者AO和冠状动脉的平均CT值作为因变量，将2.5中的具有差异的因素作为自变量进行多元线性回归分析，具体赋值为：体质质量指数<21 kg/m²=0、≥21 kg/m²=1；心率<65次/min=0、≥65次/min=1；BSA<1.70 m²=0、≥1.70 m²=1。

结果显示体质质量指数和心率高均为影响AO和冠状动脉图像质量的危险因素($P<0.05$)。见表5、6。

2.7 典型病例 见图1A~1C。

表3 三组辐射剂量参数对比

指标	A组(n=29)	B组(n=28)	C组(n=28)	F	P
CTDIvol(mGy)	14.48±2.34	16.34±2.61*	19.72±2.58**	31.781	<0.001
DLP(mGy·cm)	341.51±62.04	374.63±63.61*	412.78±61.52**	9.303	<0.001
ED(mSv)	4.78±0.87	5.24±0.85*	5.78±0.86**	9.639	<0.001

注：与A组比较，* $P<0.05$ ；与B组比较，** $P<0.05$ 。

表4 不同临床资料患者AO和冠状动脉的平均CT值差异(HU)

特征	例数	AO平均CT值	统计值/P值	冠状动脉平均CT值	统计值/P值
年龄(岁)			0.196/0.845		0.262/0.794
≥45	46	431.26±90.65		353.69±65.72	
<45	39	435.16±92.70		357.50±67.88	
性别			0.149/0.882		0.127/0.899
男	43	434.51±91.82		354.53±66.05	
女	42	431.56±91.35		356.37±67.39	
文化程度			0.125/0.901		0.061/0.952
高中及以上	52	432.06±89.44		355.79±67.21	
高中以下	33	434.61±94.98		354.89±65.92	
体质质量指数(kg/m ²)			3.590/<0.001		4.142/<0.001
≥21	39	394.21±84.39		322.64±57.86	
<21	46	465.98±97.69		383.25±74.21	
心率(次/min)			4.028/<0.001		4.315/<0.001
≥65	37	387.45±89.09		319.74±60.32	
<65	48	468.20±93.52		382.96±71.64	
BSA(m ²)			5.940/<0.001		4.167/<0.001
≥1.70	38	367.38±88.32		321.84±62.05	
<1.70	47	486.14±94.23		382.61±70.48	

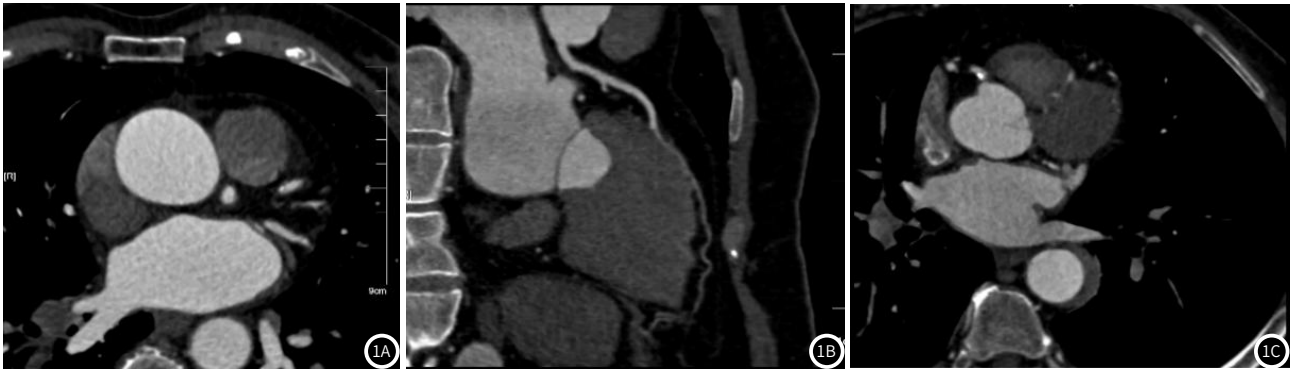


图1 不同碘对比剂注射方案患者的冠状动脉CT造影图像。
图1A：女性，60岁，以间断胸痛、胸闷20年，加重1周为主诉，以冠心病、高血压(三级)2023年1月12日入院，心电图：窦性心律不齐，房性早搏，心脏B超二尖瓣轻度反流，左室顺应性欠佳。350 mgI/mL碘对比剂方案，冠脉CT提示左前降支近段小软斑，管腔轻度狭窄；评分4分，平均CT值291HU。
图1B：男性，52岁，发作性胸痛3年为主诉，以冠心病、心功能I级、高血压3级于2024年1月23日入院。动态心电图提示窦性心律、短阵房性心动过速；心脏B超：心脏形态及瓣膜正常，左室顺应性欠佳。370 mgI/mL碘对比剂方案，冠脉CT提示左前降支近段局限性钙斑，中段局限性混斑，管腔轻微狭窄，中间支远端表浅肌桥；评分4分，平均CT值312HU。
图1C：57岁；发作性胸痛1个月为主诉，加重1周；以不稳定性心绞痛、冠心病、高血压于2024年2月11日入院，血压152/100mmHg。心脏B超心脏形态结构及瓣膜未见明显异常；动态心电图：窦性心律、房性早搏、心室晚电位阴性。400 mgI/mL碘对比剂方案，冠脉CT提示：左前降支中段、第1对角支混合斑块，管腔轻度狭窄；回旋支近段钙斑，管腔轻微狭窄，右冠状动脉近段及远端混斑，管腔轻微狭窄。评分5分，平均CT值342HU。

表5 影响AO图像质量的多元线性回归分析

自变量	回归系数	标准误	标准化回归系数	t	P
体质质量指数	-0.198	0.526	-0.725	1.796	<0.001
心率	-0.264	0.439	-0.546	1.632	<0.001
BSA	-0.394	0.382	-0.105	1.023	>0.05

表6 影响冠状动脉图像质量的多元线性回归分析

自变量	回归系数	标准误	标准化回归系数	t	P
体质质量指数	-0.046	0.010	-0.429	-4.718	0.001
心率	-0.035	0.011	-0.287	-2.854	0.005
BSA	-1.346	0.658	4.184	0.260	0.072

3 讨 论

冠脉CT造影是一种无创性冠状动脉检查方案，以其较高的空间分辨率和时间分辨率在临床广泛应用，可明确冠状动脉有无狭窄及狭窄的部位、程度和范围等，从而指导临床进一步治疗^[12-13]。由于冠状动脉管径小且迂曲，因此图像质量对准确判断狭窄及其严重程度十分重要。既往临床多采用固定碘流率和碘负荷的对比剂方案，虽然能获得满足临床诊断要求的冠状动脉CT值，但患者个体差异大，增强水平过高不仅会影响对钙化斑块的显示，还会导致扫描过程中右心以及上腔静脉残留大量碘对比剂，影响对冠状动脉及心脏结构的观察；而增强水平过低不利于冠状动脉与周围组织的良好对比，影响对血管狭窄的判断^[14-15]。故采取个性化碘对比剂方案对于提高冠状动脉图像质量，降低辐射剂量和并发症有积极意义。

临床实践发现基于体质量指数调节碘对比剂注射方案，结果显示冠状动脉强化程度变异性仍很大，这可能与患者间血容量差异性较大有关，血容量差异会通过影响碘对比剂被稀释的程度，导致冠状动脉强化程度不同^[16]。由于血容量与碘对比剂浓度有关，又因血容量与BSA呈正相关，且相关性远高于与体重的相关性，故推测BSA对指导碘对比剂注射方案的调节有潜在价值。因此本研究将根据患者BSA制定碘对比剂注射方案，采用多种规格的碘对比剂(350mgI/mL、370mgI/mL、400mgI/mL)在第二代双源CT设备的辅助下探讨最佳注射实施方案。结果显示本研究三组SD_{主动脉}、CNR、SNR对比无差异，A组图像质量评分、AO、LAD近端、LAD远端、LCX近端、LCX远端、RCA近端、RCA远端的CT值均低于C组，但A组与B组，B组与C组对比无差异，且上述血管内的CT值均>250HU，满足图像诊断要求，提示基于BSA制定的碘对比注射方案均能获得相似的血管强化程度，且均满足临床对冠状动脉成像的要求，其中高浓度(400mgI/mL)图像质量更优，与Yin等^[17]研究结果类似。考虑为：动脉血管内的强化程度与碘流率呈正相关，并与总碘负荷有关。而碘流率由碘对比剂浓度和推注速率决定，故而碘对比剂浓度越高，碘流率越快，强化程度越高，图像质量越佳。但也有研究认为^[18]，碘对比剂浓度差异对冠状动脉强化程度并无显著影响，进行标准化冠脉CT造影扫描相关因素和碘流率后，使用不同浓度的对比剂仍可获得相似的冠状动脉血管内强化程度。本研究与其不一致，可能与纳入样本量偏少及碘流率的不固定有关。

据文献报道显示^[19]，2017~2018年我国冠状动脉CT造影检查的ED为11.84 mSv，DLP为695 mGy·cm。本研究显示，三组CTDIvol、DLP、ED值均低于上述报道中的辐射剂量，其中A组CTDIvol、DLP、ED均低于B组、C组，且与B组比较，C组上述指标均更高，提示冠状动脉CT造影检查的辐射剂量有所改善，且以350 mgI/mL碘对比剂浓度辐射更低，安全性更优。既往蔡晓松等^[20]研究也指出，采用低浓度对比剂进行冠状动脉CT造影检查能降低辐射剂量，本研究结果与其基本一致，证实了低浓度对比剂应用的可行性和安全性。

进一步对影响图像质量的危险因素进行分析，结果显示体质量指数和心率高均为影响AO和冠状动脉图像质量的危险因素，与袁由生^[21]、马燕辉^[22]等研究部分相符。考虑为体质量指数过高者，其体内的脂肪越多，血容量相对较大，使对比剂在血管内的稀释程度偏高，导致血管内碘浓度降低，最终降低血管内强化程度。既往也有研究认为^[23]，体质量指数较高患者，冠状动脉CT值相对较低，进一步证实了体质量指数与冠状CT造影图像质量密切相关。心率过高曝光时间短、检查时间短、上腔静脉及右心系统极易出现对比剂聚集而产生伪影，降低血管强化程度^[24]。故在制定对比剂方案时应考虑患者心率，尽可能将心率控制在60~70次/min以满足临床诊断需求。

综上所述，基于BSA制定的个性化碘对比剂注射方案应用于冠脉CT造影检查中能获得较高质量的影像图像，应用370 mgI/mL注射方案在保证图像质量的同时利于减少辐射剂量。体质量指数和心率是影响冠脉CT图像质量的独立因素。本研究局限性：纳入样本量偏少，研究结果覆盖范围不够全面；采用第二代双源CT设备完成检查，不同设备间的参数差异可能对结果产生影响并未分

析。今后应扩大样本量，并对不同设备间的差异进行深入研究。

参考文献

[1] Akil S,Hedeer F,Carlsson M,et al.Qualitative assessments of myocardial ischemia by cardiac MRI and coronary stenosis by invasive coronary angiography in relation to quantitative perfusion by positron emission tomography in patients with known or suspected stable coronary artery disease[J].J Nucl Cardiol,2020,27(6):2351-2359.

[2] Goldman LH,Lerer R,Shabrang C,et al.Clinical significance of incidental findings on coronary CT angiography: Insights from a randomized controlled trial[J].J Nucl Cardiol,2020,27(6):2306-2315.

[3] Perez-Cervera J,Arce J,Fattouh M,et al.Influence of BMI on virtual coronary artery calcium scoring[J].Int J Cardiovasc Imaging,2023,39(4):863-872.

[4] Xu PP,Li JH,Zhou F,et al.The influence of image quality on diagnostic performance of a machine learning-based fractional flow reserve derived from coronary CT angiography[J].Eur Radiol,2020,30(5):2525-2534.

[5] 李瑞秋,杨世锋,顾慧,等.双源CT基于自动管电压技术定制对比剂注射方案在冠状动脉成像中的临床应用[J].中华放射学杂志,2020,54(9):853-858.

[6] 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.

[7] Jin L,Jie B,Gao Y,et al.Low dose contrast media in step-and-shoot coronary angiography with third-generation dual-source computed tomography:feasibility of using 30 mL of contrast media in patients with body surface area <1.7 m²[J].Quant Imaging Med Surg,2021,11(6):2598-2609.

[8] Leipsic J,Abbara S,Achenbach S,et al.SCTT guidelines for the interpretation and reporting of coronary CT angiography:a report of the Society of Cardiovascular Computed Tomography Guidelines Committee[J].J Cardiovasc Comput Tomogr,2014,8(5):342-358.

[9] Sun Y,Hua Y,Wang M,et al.Evaluation of a high concentrated contrast media injection protocol in combination with low tube current for dose reduction in coronary computed tomography angiography:a randomized,two-center prospective study[J].Acad Radiol,2017,24(12):1482-1490.

[10] 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,2017,51(10):732-743.

[11] Kidoh M,Nakaura T,Nakamura S,et al.Contrast material and radiation dose reduction strategy for triple-rule-out cardiac CT angiography:feasibility study of non-ECG-gated low kVp scan of the whole chest following coronary CT angiography[J].Acta Radiol,2014,55(10):1186-96.

[12] 高新春,李勇,葛恒松,等.基于不同体重制定个性化造影剂方案对CT冠脉成像效果的影响[J].中国CT和MRI杂志,2021,19(2):74-76.

[13] 张丹丹.负荷动态CT心肌灌注结合冠状动脉CT血管成像对冠心病心肌缺血的诊断价值观察[J].护理实践与研究,2020,17(1):153-155.

[14] 于易通,尹卫华,马伟,等.冠状动脉CTA个体化对比剂注射方案实现图像质量均一化的可行性研究[J].放射学实践,2019,34(4):427-431.

[15] 王泽醇,王询,肖康.CT冠状动脉造影不同对比剂用量对冠状动脉及冠状静脉窦的价值体会[J].河北医科大学学报,2020,41(9):1007-1010,1046.

[16] 杨琴,何其舟,余飞,等.基于体表面积和体重的个体化对比剂方案在冠脉CT血管造影中的应用价值[J].解放军医学杂志,2018,43(2):135-139.

[17] Yin WH,Yu YT,Zhang Y,et al.Contrast medium injection protocols for coronary CT angiography:should contrast medium volumes be tailored to body weight or body surface area?[J].Clin Radiol,2020,75(5):395.e17-395.e24.

[18] 荣梅,李彩辉,闫建华,等.基于体表面积调节的低浓度对比剂个体化注射方案在冠状动脉支架CTA中的应用[J].河北医药,2021,43(2):214-218.

[19] 任心爽,安云强,吕滨,等.中国冠状动脉CT血管成像扫描技术及辐射剂量的现状调查[J].中国放射学杂志,2022,56(4):405-410.

[20] 蔡晓松,刘岳峰,殷红伟,等.对比剂浓度对CT冠状动脉造影图像质量和辐射剂量影响的对照研究[J].实用放射学杂志,2022,38(11):1878-1881.

[21] 袁由生.30mI碘对比剂70kV管电压前瞻性心电触发大螺旋冠状动脉CT成像的图像质量及其影响因素研究[D].辽宁:大连医科大学,2019.

[22] 马燕辉,徐妍妍,孙宏亮,等.个体化对比剂注射方案在常规体质量指数患者冠状动脉CT血管成像中的应用[J].实用放射学杂志,2022,38(9):1525-1528.

[23] 马燕辉,陈岩,徐妍妍,等.不同碘浓度对比剂对冠脉CT血管造影图像质量的影响[J].中日友好医院学报,2021,35(2):85-88,封3.

[24] 王凤仙,刘利霞,张记清,等.个体化对比剂注射方案在冠状动脉CT血管成像中的应用[J].实用放射学杂志,2022,38(2):311-315.

(收稿日期:2024-06-20)
(校对编辑:姚丽娜、赵望淇)