

论 著

## CTA在冠心病冠脉钙化病变定性诊断及MACE事件预测中的应用

付 豪 翟亚娟\*

漯河医学高等专科学校第三附属医院  
影像科 (河南 漯河 462000)

**【摘要】目的** 分析CT血管成像(CTA)在冠心病(CHD)患者冠脉钙化病变定性诊断及主要不良心血管事件(MACE)预测中的应用价值。**方法** 回顾性收集2021年6月至2023年6月至我院就诊的60例老年CHD患者的临床资料,根据随访结果将其划分为MACE组(21例)和非MACE组(39例)。所有患者均接受CTA检查,收集所有患者基线资料、CTA检查结果,分析CTA参数对冠脉钙化病变的定性诊断价值和预测MACE的预测价值。**结果** 60例CHD患者共检出73处斑块,其中脂质斑块31处,纤维斑块23处,钙化斑块19处。不同性质冠状动脉斑块CT值存在显著差异,钙化斑块>纤维斑块>脂质斑块( $P<0.05$ )。MACE组冠脉CT血流储备分数(FFR<sub>CT</sub>)小于非MACE组( $P<0.05$ ),MACE组冠脉狭窄程度大于非MACE组( $P<0.05$ )。logistic回归分析结果显示,FFR<sub>CT</sub>、冠脉狭窄程度为导致CHD患者发生MACE的独立危险因素( $P<0.05$ )。受试者工作特征曲线结果显示,FFR<sub>CT</sub>、冠脉狭窄程度预测MACE的曲线下面积(AUC)为0.886、0.785,二者联合AUC为0.921,显著高于单独指标( $Z=8.793$ 、 $4.639$ ,均 $P<0.001$ ),联合因子敏感度为100.00%,特异度为74.36%。**结论** CTA参数可用于CHD患者冠脉钙化病变的定性诊断,FFR<sub>CT</sub>、冠脉狭窄程度对CHD患者发生MACE具有预测价值,且联合检测可提高预测效能。

**【关键词】** CT血管成像; 冠心病; 定性诊断; 主要心血管不良事件

**【中图分类号】** R541.4

**【文献标识码】** A

**DOI:**10.3969/j.issn.1672-5131.2025.03.027

## Application of CTA in Qualitative Diagnosis of Coronary Artery Calcification and Prediction of MACE in Patients with Coronary Heart Disease

FU Hao, ZHAI Ya-juan\*

Department of Imaging, the Third Affiliated Hospital of Luohe Medical College, Luohe 462000, Henan Province, China

## ABSTRACT

**Objective** To analyze the application value of CT angiography (CTA) in qualitative diagnosis of coronary artery calcification and prediction of major adverse cardiovascular events (MACE) in patients with coronary heart disease (CHD). **Methods** The clinical data of 60 elderly patients with CHD admitted to the hospital from June 2021 to June 2023 were retrospectively collected. According to follow-up results, the patients were divided into MACE group (21 cases) and non-MACE group (39 cases). All patients received CTA. Their baseline data and CTA results were collected. The value of CTA parameters in qualitative diagnosis of coronary artery calcification and prediction of MACE was analyzed. **Results** A total of 73 plaques were detected in 60 patients with CHD, including 31 lipid plaques, 23 fibrous plaques, and 19 calcified plaques. CT values of different properties of coronary artery plaques were significantly different. CT values of calcified plaques, fibrous plaques, and lipid plaques decreased in sequence (all  $P<0.05$ ). The coronary CT-derived fractional flow reserve (FFR<sub>CT</sub>) of MACE group was lower than that of non-MACE group ( $P<0.05$ ), and coronary artery stenosis in MACE group was more severe than that in non-MACE group ( $P<0.05$ ). Logistic regression analysis found that FFR<sub>CT</sub> and the degree of coronary artery stenosis were independent risk factors for MACE in patients with CHD ( $P<0.05$ ). The receiver operating characteristic curve analysis showed that the areas under the curve (AUCs) of FFR<sub>CT</sub> and the degree of coronary artery stenosis for predicting MACE were 0.886 and 0.785. The AUC of combination of the two was 0.921, which was significantly greater than that of a single parameter ( $Z=8.793$ ,  $4.639$ , both  $P<0.001$ ). The sensitivity and specificity of joint prediction were 100.00% and 74.36%. **Conclusion** CTA parameters can be used for qualitative diagnosis of coronary artery calcification in patients with CHD. FFR<sub>CT</sub> and the degree of coronary artery stenosis are helpful for prediction MACE in patients with CHD, and combination of the two can improve predictive efficacy. **Keywords:** CT Angiography; Coronary Heart Disease; Qualitative Diagnosis; Major Adverse Cardiovascular Event

据调查,心血管疾病是全球常见致死原因之一<sup>[1]</sup>,严重威胁人类生命健康。冠状动脉粥样硬化性心脏病(CHD),通常简称为冠心病,是临床常见心血管疾病。CHD以胸痛为典型症状,疼痛可放射至左侧肩部、手指,心前区可出现压迫感,严重者可并发心力衰竭或休克<sup>[2]</sup>。CHD发病率、死亡率均较高<sup>[3]</sup>,且CHD患病人数逐年增加<sup>[4]</sup>,严重影响患者生存质量及预后。CHD大多因动脉粥样硬化而导致,可引起动脉管腔狭窄或闭塞,造成冠脉供血不足、心肌缺血,最终导致CHD。冠状动脉粥样硬化不稳定斑块易破裂、脱落,较大斑块可堵塞血管,病情逐步进展,最终可导致主要不良心血管事件(MACE)<sup>[5]</sup>,严重威胁患者生命安全。因此,在CHD早期使用科学有效的筛查方法明确冠脉斑块性质,有利于指导临床诊疗并改善患者预后。目前临床上,冠状动脉造影(CAG)是诊断CHD的“金标准”<sup>[6]</sup>,准确性高,但冠脉血管造影为有创性操作,与其他检查方法相比,医疗费用较高,故需寻求一种经济、有效又安全的检查方式。有学者<sup>[7]</sup>提出,冠脉CT血管成像(CTA)可用于评估CHD患者冠脉狭窄程度及斑块状态。但CTA是否可用于诊断CHD患者冠脉钙化病变性质、预测MACE发生风险目前尚不明确,基于此,本研究拟分析CTA在CHD患者冠脉钙化病变定性诊断及MACE预测中的应用价值,以指导临床诊疗。

## 1 资料与方法

**1.1 临床资料** 回顾性收集2021年6月至2023年6月至我院就诊的60例老年CHD患者的临床资料。该研究已通过医学伦理审批。

**纳入标准:** 均符合CHD诊断标准<sup>[8]</sup>,经影像学检查确诊;年龄 $\geq 18$ 岁;生命体征平稳,意识清楚;均完成冠脉CTA检查;意识清醒,可正常沟通,无认知障碍或精神类疾病,可配合。排除标准:确诊存在心肌炎、心脏瓣膜疾病等其他心脏疾病;同时伴有恶性肿瘤、严重感染或免疫系统疾病;同时伴有严重肝肾功能障碍;CTA图像不清晰;对CTA检查不能耐受;临床资料缺失。其他疾病诊断标准:①高血压。患者既往非同日 $\geq 3$ 次测得收缩压 $\geq 140$  mmHg或舒张压 $\geq 90$  mmHg,即可诊断为高血压<sup>[9]</sup>;②糖尿病。经检测,患者空腹血糖 $\geq 7.0$  mmol/L和/或餐后2 h血糖 $\geq 11.1$  mmol/L,且伴有典型糖尿病症状,即可诊断为2型糖尿病(T2DM)<sup>[10]</sup>;③高脂血症。经检测,血浆总胆固醇(TC) $> 5.17$  mmol/L且甘油三酯(TG) $> 2.3$  mmol/L,即可诊断为高脂血症<sup>[11]</sup>。

**【第一作者】** 付 豪,男,主管技师,主要研究方向:冠脉血管影像技术及诊断。E-mail: 13939501366@163.com

**【通讯作者】** 翟亚娟,女,副主任医师,主要研究方向:冠脉血管影像技术及诊断。E-mail: 13693953067@163.com

## 1.2 方法

**1.2.1 资料收集** 查阅患者电子病历,以获取相关临床资料,如患者性别、年龄、体质指数(BMI)心功能分级、常见合并症(如高血压、T2DM和高脂血症)及生活史(吸烟史、饮酒史),根据美国纽约心脏病协会(NYHA)分级<sup>[12]</sup>标准进行心功能评定。

**1.2.2 CTA检查方法** 检查仪器为64排CT。检查开始前,告知所有患者注意事项,予以硝酸甘油舌下含服。64排CT参数如下:管电流设置为400 mA,管电压设置为120 kV,检查过程中扫描层厚为0.67 mm,机架旋转时间设置为0.27 s。先行胸部常规扫描,气管分叉处至心底部按序列行增强扫描。增强扫描前于患者肘前静脉处注射对比剂普罗胺,剂量约为60~80 mL,扫描过程中需注意图像清晰度,将所有检测数据传输至工作站进行处理。

**1.2.3 CTA参数** 使用工作站系统对CTA数据进行处理,测量相关参数:(1)冠脉CT血流储备分数( $FFR_{CT}$ )值。 $FFR_{CT}$ 值取狭窄病变远端2~3cm处测量值,若一支血管存在多处病变,则选取最远端病变处进行测量。(2)冠脉狭窄程度。选择最狭窄冠状动脉分支测量最小管腔直径和面积,计算冠脉狭窄程度。(3)形态参数。通过CTA系统软件测量斑块长度和体积,其中斑块体积包括不同性质斑块(脂质、纤维及钙化斑块)体积和总体积。(4)斑块负荷。通过工作站系统计算斑块负荷,即病变血管上斑块总体积与血管总体积比值。(5)斑块定性分析:根据CTA检测结果,对患者冠状动脉斑块进行定性分析,若CT值 $<60$  HU,则判定为脂质斑块;若CT值范围60~129 HU,则判定为纤维斑块;若CT值 $\geq 130$  HU,则判定为钙化斑块。见图1。

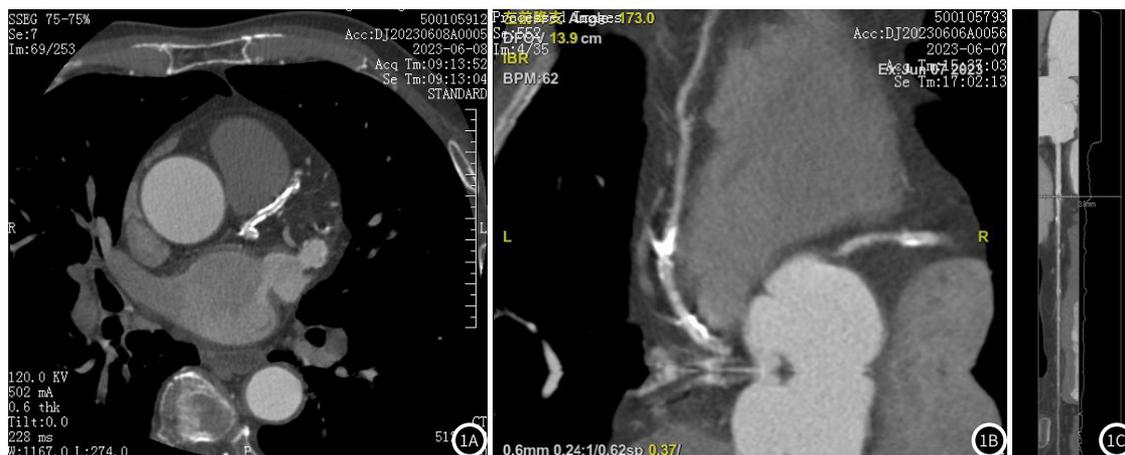


图1A-图1C 不同患者CTA图像。1A:男,82岁,前降支重度钙化性斑块,管腔狭窄程度90%;1B:男,73岁,前降支钙化性斑块,管腔狭窄程度70%~90%;1C:女,57岁,前降支弥漫性混合斑块,管腔狭窄程度70%~90%

**1.2.4 质量控制** CTA检查均由同一位影像科技师(工作经验 $\geq 5$ 年)负责,但该医师对纳入患者的临床资料均不知情,且并不参与后续图像结果判读。CTA图像结果由另外2名高年资(工作经验 $\geq 10$ 年)影像科医师进行独立判读,若判读结果出现争议,则进行商讨以获取统一结论。

**1.2.5 随访及分组方法** 自患者出院起,通过电话、微信、上门随访或门诊复诊等方式进行随访,时间为6个月,截至2023年12月31日。随访内容为询问患者患者是否因发生MACE而再次住院,MACE包括严重心律失常、再发心肌梗死、行血运重建术、心力衰竭、心源性休克及死亡<sup>[13]</sup>。根据入组患者随访结果进行分组,即MACE组(21例)和非MACE组(39例)。

**1.3 统计学分析** 使用SPSS 24.0统计软件分析数据,计量资料如脂质斑块CT值、纤维斑块CT值、钙化斑块CT值、年龄、BMI、冠脉狭窄程度、 $FFR_{CT}$ 、斑块长度、脂质斑块体积、纤维斑块体积、钙化斑块体积、斑块总体积和斑块负荷符合正态分布,以 $(\bar{x} \pm s)$ 表示,行t检验;计数资料以n(%)表示,行 $\chi^2$ 检验。使用多因素logistic回归分析CHD患者发生MACE的危险因素;绘制受试者工作特征曲线(ROC),以曲线下面积(AUC)评价CTA参数预测CHD患者发生MACE的准确性。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

**2.1 不同性质冠状动脉斑块比较** 本研究60例CHD患者共检出73处斑块,其中脂质斑块31处,纤维斑块23处,钙化斑块19处。经比较可知,不同性质冠状动脉斑块CT值存在显著差异,钙化斑块 $>$ 纤维斑块 $>$ 脂质斑块( $P < 0.05$ )。见表1。

**2.2 基线资料比较** 两组患者基线资料比较,差异无统计学意义( $P > 0.05$ ),存在真实可比性。见表2。

**2.3 两组患者CTA参数比较** 经比较可知,MACE组 $FFR_{CT}$ 小于非MACE组( $P < 0.05$ ),MACE组冠脉狭窄程度大于非MACE组( $P < 0.05$ );两组患者斑块长度、不同性质斑块体积、斑块总体积和斑块负荷比较,差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。见表3。

表1 不同性质冠状动脉斑块比较(HU)

斑块性质	处	CT值
脂质斑块	31	56.74 $\pm$ 3.18
纤维斑块	23	67.23 $\pm$ 6.95*
钙化斑块	19	180.39 $\pm$ 27.46*#
F		471.133
P		<0.001

注:与脂质斑块比较,\* $P < 0.05$ ;与纤维斑块比较,# $P < 0.05$ 。

表2 两组患者基线资料比较[n(%)]

项目	MACE组(n=21)	非MACE组(n=39)	t/ $\chi^2$	P
性别			0.028	0.866
男	13(61.90)	25(64.10)		
女	8(38.10)	14(35.90)		
年龄(岁)	61.24 $\pm$ 8.05	58.93 $\pm$ 7.26	1.132	0.262
BMI(kg/m <sup>2</sup> )	24.07 $\pm$ 2.36	23.85 $\pm$ 2.19	0.361	0.719
NYHA心功能分级			0.041	0.839
I~II级	14(66.67)	27(69.23)		
III~IV级	7(33.33)	12(30.77)		
合并症				
高血压	15(71.43)	24(61.54)	0.587	0.444
糖尿病	5(23.81)	10(25.64)	0.024	0.876
高脂血症	10(47.62)	22(56.41)	0.424	0.515
生活史				
吸烟史	6(28.57)	9(23.08)	0.220	0.639
饮酒史	7(33.33)	11(28.21)	0.171	0.679

表3 两组患者CTA参数比较

项目	MACE组(n=21)	非MACE组(n=39)	t	P
冠脉狭窄程度(%)	68.34±11.05	59.27±10.18	3.195	0.002
FFRCT	0.59±0.07	0.72±0.13	4.252	<0.001
斑块长度(mm)	21.04±3.72	19.85±3.69	1.188	0.240
脂质斑块体积(mm <sup>3</sup> )	17.26±3.47	16.85±3.19	0.461	0.647
纤维斑块体积(mm <sup>3</sup> )	113.57±20.14	109.86±19.25	0.701	0.486
钙化斑块体积(mm <sup>3</sup> )	9.58±1.42	10.12±1.63	1.278	0.206
斑块总体积(mm <sup>3</sup> )	140.16±22.38	129.75±20.93	1.794	0.078
斑块负荷(%)	0.74±0.13	0.68±0.11	1.890	0.064

**2.4 多因素logistic回归分析** 运用logistic回归分析导致CHD患者发生MACE的差异变量,以发生MACE为因变量(未发生=0,发生=1),以具有统计学意义的因素为自变量(FFRCT、冠脉狭窄程度均为连续性变量)建立logistic回归模型,结果显示FFRCT、冠脉狭窄程度为CHD患者发生MACE的独立危险因素(P<0.05)。见表4。

表4 多因素logistic回归分析

因素	β	SE	Wald x <sup>2</sup>	P	OR	95%CI
常数项	-11.268	3.147	12.820	<0.001	-	-
FFRCT	-0.549	0.173	10.071	0.002	0.578	0.411~0.811
冠脉狭窄程度	0.836	0.295	8.031	0.005	2.307	1.294~4.113

表5 CTA参数预测CHD患者发生MACE的价值

指标	AUC	SE	P	95%CI	截断点	敏感度(%)	特异度(%)
FFRCT	0.886	0.044	<0.001	0.777~0.953	0.65	85.71	84.62
冠脉狭窄程度	0.785	0.062	<0.001	0.660~0.881	62.06%	85.71	58.97
联合	0.921	0.033	<0.001	0.821~0.975	0.23	100.00	74.36

### 3 讨论

对于CHD患者,评估其冠状动脉血管情况对指导临床诊疗具有重要意义,直接关系到临床疗效及患者预后<sup>[14-15]</sup>。CAG为金标准,具有高准确性,可清晰显示冠状动脉血管情况,但CAG为有创性操作,部分患者由于机体不能耐受或对造影剂过敏等因素而难以完成CAG,需选择其他高效、准确、安全的影像学检查方式。随着医学技术的不断发展,关于心血管的无创检查方式已取得重大进步。

以往对心血管的检查方式以超声为主,近年来,冠脉CTA在临床上得到广泛推崇,冠脉CTA评估冠脉血管情况的准确度在不断提高<sup>[16]</sup>。其他无创检查方式,如心脏磁共振同样具有较高准确度,但检查时间较长,且检查过程较繁琐,检查仪器较昂贵,因此,冠脉CTA仍是临床上用于评估冠脉血管情况的主要方式。受

**2.5 CTA参数对CHD患者发生MACE的预测价值** 根据logistic回归分析结果,以发生MACE为因变量,FFRCT(X<sub>1</sub>)、冠脉狭窄程度(X<sub>2</sub>)为协变量,进行二元logistic回归分析,得到回归方程 $\text{logit}(P)=0.836X_2-0.549X_1$ ,经转换后得到联合预测因子 $(0.836^* \text{冠脉狭窄程度}-0.549^* \text{FFRCT})$ ,FFRCT、冠脉狭窄程度预测MACE的AUC分别为0.886、0.785,二者联合(并联)的AUC为0.921(95%CI: 0.821~0.975),敏感度为100.00%,特异度为74.36%,联合因子AUC显著高于单独指标(Z=8.793, P<0.001; Z=4.639, P<0.001)。见图2、表5。

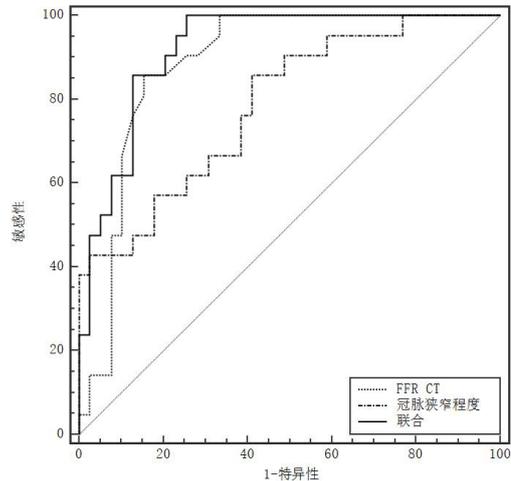


图2 CTA参数预测CHD患者发生MACE的ROC曲线。

血管钙化、图像伪影等因素影响,冠脉CTA在预测冠脉血管阻塞性病变方面的准确度有待提高<sup>[17]</sup>。血流储备分数(FFR)可用于诊断狭窄冠脉血管血流动力学障碍及预后评估<sup>[18-19]</sup>,但FFR为有创性操作,且费用昂贵,在国内应用较少。基于冠脉CTA的FFRCT为心肌最大充血状态下,冠脉分支狭窄远端血管内平均压与冠脉开口处主动脉平均压比值,其数值变化幅度可反映心肌缺血程度<sup>[20]</sup>。FFRCT来源于冠脉CTA参数,属于无创性检查方法,不仅可清晰显示单支血管缺血情况<sup>[21]</sup>,还能避免患者遭受注射药物影响和长时间电离辐射。另外,CTA诊断性能不受冠脉钙化斑块负荷影响,检查耗时少,有利于提高诊疗效率。

衡海艳等<sup>[22]</sup>提出,与管腔狭窄程度相比,血管内斑块特征在评估MACE发生风险方面具有更好预测效能。基于血流动力学角

度,斑块属于血管狭窄段,斑块性质和应变力可影响血管内供血情况及患者预后<sup>[23-24]</sup>。冠脉CTA可用于测量血管斑块形态指标以评估其破裂风险<sup>[25]</sup>,为CHD患者的临床防治措施提供有效参考依据。

观察研究结果可知,60例CHD患者共检出73处斑块,其中脂质斑块31处,纤维斑块23处,钙化斑块19处。经比较可知,不同性质冠状动脉斑块CT值存在显著差异,钙化斑块>纤维斑块>脂质斑块( $P$ 均<0.05)。林红丽等<sup>[26]</sup>在报道中指出,不同CHD心绞痛患者血管内斑块CT值存在显著差异性,与本研究结论一致。MACE组FFRCT小于非MACE组,而冠脉狭窄程度大于非MACE组,提示FFRCT、冠脉狭窄程度与发生MACE有一定相关性。logistic回归分析结果显示,FFRCT、冠脉狭窄程度为导致CHD患者发生MACE的独立危险因素。有研究指出,FFRCT、斑块负荷及冠脉狭窄程度均为CHD患者MACE独立预测因子<sup>[27]</sup>,但本研究结果显示,MACE组与非MACE组患者斑块负荷无显著差异,与以往研究结果存在不同之处,可能与样本量大小、个体化差异等因素有关。ROC曲线分析结果显示,FFRCT、冠脉狭窄程度预测MACE的AUC分别为0.886、0.785,二者联合(并联)的AUC为0.921(95%CI: 0.821~0.975),敏感度为100.00%,特异度为74.36%,联合因子AUC显著高于单独指标,说明联合检测有助于提高诊断准确性<sup>[28]</sup>。

综上所述,CTA参数可用于CHD患者冠脉钙化病变的定性诊断,FFRCT、冠脉狭窄程度可作为MACE的预测指标,且联合检测有助于提高诊断准确性。但本研究属于小样本量的回顾性分析,来源相对集中,且检测指标偏少,可能导致研究结果偏倚,未来可开展前瞻性、大样本、多中心研究以进一步证实。

## 参考文献

- [1] O'Sullivan JW, Raghavan S, Marquez-Luna C, et al. Polygenic risk scores for cardiovascular disease: a scientific statement from the American Heart Association [J]. *Circulation*, 2022, 146 (8): e93-e118.
- [2] Iaconelli A, Pellicori P, Dolce P, et al. Coronary revascularization for heart failure with coronary artery disease: a systematic review and meta-analysis of randomized trials [J]. *Eur J Heart Fail*, 2023, 25 (7): 1094-1104.
- [3] Faro DC, Laudani C, Agnello FG, et al. Complete percutaneous coronary revascularization in acute coronary syndromes with multivessel coronary disease: a systematic review [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2023, 16 (19): 2347-2364.
- [4] Bradley C, Berry C. Definition and epidemiology of coronary microvascular disease [J]. *J Nucl Cardiol*, 2022, 29 (4): 1763-1775.
- [5] 石秀芳, 牛海军, 邓芳. 血小板形成相关血清标志物与冠状动脉斑块纤维帽厚度及疾病预后的关系 [J]. *中华老年心脑血管病杂志*, 2021, 23 (11): 1170-1173.
- [6] 闫慧敏, 郭洋洋. 冠心病患者冠状动脉易损斑块形成的危险因素及CT的诊断价值分析 [J]. *罕少疾病杂志*, 2022, 29 (7): 50-52.
- [7] 丁华永. CTA在冠心病冠脉狭窄程度及斑块状态评估中的应用 [J]. *中国CT和MRI杂志*, 2022, 20 (4): 76-78.
- [8] 韩雅玲. 《2016年美国心脏病学会/美国心脏协会冠心病患者双联抗血小板治疗指南更新》解读 [J]. *中国介入心脏病学杂志*, 2016, 24 (11): 603-606.
- [9] 中国老年学和老年医学学会心脑血管病专业委员会, 中国医师协会心血管内科医师分会. 老年高血压的诊断与治疗中国专家共识 (2017版) [J]. *中华内科杂志*, 2017, 56 (11): 885-893.
- [10] 中国老年医学学会老年内分泌代谢分会, 国家老年疾病临床医学研究中心 (解放军总医院), 中国老年糖尿病诊疗措施专家共识编写组. 中国老年2型糖尿病诊疗措施专家共识 (2018年版) [J]. *中华内科杂志*, 2018, 57 (9): 626-641.
- [11] 中国中西医结合学会心脑血管病专业委员会动脉粥样硬化与血脂异常专业组. 血脂异常中西医结合诊疗专家共识 [J]. *中国全科医学*, 2017, 20 (3): 262-269.
- [12] 李志超, 何燕. MRI与二维超声心动图评价冠心病心功能及其与NYHA分级的关系 [J]. *中国CT和MRI杂志*, 2021, 19 (3): 77-80.
- [13] Gallone G, Bellettini M, Gatti M, et al. Coronary plaque characteristics associated with major adverse cardiovascular events in atherosclerotic patients and lesions: a systematic review and meta-analysis [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2023, 16 (12): 1584-1604.
- [14] 杨瑞金, 肖扬, 马涛, 等. 应用可吸收聚合物西罗莫司洗脱支架与耐用聚合物依维莫司洗脱支架治疗冠状动脉中重度钙化小血管病变的疗效分析 [J]. *中国心血管病研究*, 2021, 19 (11): 1006-1010.
- [15] 季宇萌, 秦会园, 陆小虎, 等. 心外膜脂肪体积与冠状动脉血管病变严重程度评估及预后的相关性研究 [J]. *南京医科大学学报: 自然科学版*, 2023, 43 (8): 1108-1114.
- [16] 吕亚辉, 胡文静, 刘云福. 冠状动脉CTA评估MB及其相关冠状动脉病变的临床价值分析 [J]. *中国CT和MRI杂志*, 2021, 19 (11): 89-91.
- [17] 田晋帆, 邢浩然, 张东风, 等. 临床危险因素下慢性完全闭塞病变斑块成分及病变特点分析: 基于冠脉CTA成像及冠脉造影的回顾性研究 [J]. *中国循证心血管医学杂志*, 2023, 15 (4): 414-419.
- [18] Kayaert P, Coeman M, Ghafari C, et al. iFR/FFR/IVUS discordance and clinical implications: results from the prospective left main physiology registry [J]. *J Invasive Cardiol*, 2023, 35 (5): E234-E247.
- [19] Collet C, Johnson NP, Mizukami T, et al. Impact of Post-PCI FFR stratified by coronary artery [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2023, 16 (19): 2396-2408.
- [20] 王圣楠, 卜荣生, 杜静茹, 等. CT-FFR参数联合斑块定量技术在心肌缺血再灌注损伤预测中的应用 [J]. *中国医学物理学杂志*, 2023, 40 (1): 66-70.
- [21] 周晓婧, 提拉柯孜·图尔荪, 冯伟, 等. 冠状动脉CT血流储备分数在冠状动脉临界狭窄患者心肌缺血诊断中的应用 [J]. *山东医药*, 2023, 63 (27): 43-46.
- [22] 衡海艳, 蒋燕, 杨红, 等. CT血管造影检查急性脑梗死患者大脑中动脉粥样硬化斑块的特征及其临床意义 [J]. *中国现代医学杂志*, 2023, 33 (10): 18-22.
- [23] 丁如, 孔丹, 冯云, 等. 冠状动脉周围脂肪CT值与斑块性质及所在分支的相关性研究 [J]. *临床放射学杂志*, 2022, 41 (5): 850-855.
- [24] 李俊灏, 唐春香, 刘通源, 等. 冠状动脉周围脂肪密度指数与斑块参数及血流储备分数关系分析 [J]. *中华医学杂志*, 2021, 101 (39): 3214-3220.
- [25] 韩霞, 吴孟海, 牛甲民, 等. 冠状动脉CTA钙化积分与炎症因子及斑块稳定相关性分析 [J]. *医学影像学杂志*, 2021, 31 (2): 202-206.
- [26] 林红丽, 张雪菲, 彭慧, 等. MicroRNA-29a与冠心病心绞痛患者血管内皮损伤及斑块不稳定性的相关性 [J]. *中国现代医学杂志*, 2023, 33 (17): 84-88.
- [27] 张方圆, 邱晓晖, 刘艺超, 等. 冠脉CTA相关参数预测冠心病患者主要不良心脏事件的临床价值 [J]. *川北医学院学报*, 2022, 37 (7): 906-909.
- [28] 孙欣杰, 徐怡, 朱晓梅, 等. 基于冠状动脉CTA的FFRCT与斑块特征对冠心病患者主要不良心脏事件的预测价值 [J]. *中国医学计算机成像杂志*, 2021, 27 (4): 296-301.

(收稿日期: 2024-02-04)

(校对编辑: 赵望淇)