

## 论 著

## 冠状动脉CTA与CT-FFR评估冠心病冠脉钙化程度并预测MACE价值研究

贺俊伟\* 张绍金 杨 林

穆 兰

郫都区人民医院放射科 (四川 成都 611730)

【摘要】目的 探索冠状动脉CT血管成像(cCTA)与CT血流储备分数(CT-FFR)预测冠脉钙化程度与心血管不良事件(MACE)的临床价值。方法 采用回顾性研究设计,收集2020年4月至2022年4月期间于本院就诊的冠心病患者基本资料,患者均进行cCTA检查,并计算CT-FFR数值,根据cCTA检查的病变血管钙化积分分为轻度钙化组(冠脉整体钙化积分 $\leq 99$ 分,  $n=38$ )、中重度钙化组(冠脉整体钙化积分 $> 100$ 分,  $n=70$ ),比较两组cCTA参数值,并分析其参数与冠脉钙化的关系。亚组分析中,根据CT-FFR临界值(0.85)分为高CT-FFR( $> 0.85$ ,  $n=48$ )、低CT-FFR( $\leq 0.85$ ,  $n=60$ )为两组,均随访24个月,统计MACE发生情况,经Kaplan-Meier分析CT-FFR指数预测MACE的临床价值。结果 两组CTA参数比较,两组的斑块总体积、脂质斑块体积、非钙化斑块体积负荷均无统计学差异性( $P>0.05$ ),但中重度钙化组斑块总体积负荷、钙化斑块体积及CT-FFR高于轻度钙化组( $P<0.05$ );经pearson法分析,冠脉钙化程度与钙化斑块体积、CT-FFR呈正相关性( $r=0.694$ 、 $0.776$ ,  $P<0.05$ )。经ROC曲线分析,CT-FFR预测患者发生MACE的AUC为0.721,临界值为0.85,敏感性、特异性分别是65.00%,特异度是80.0%;低CT-FFR的MACE率为14.58%,高CT-FFR的MACE率为18.33%,经Kaplan-Meier分析显示,CT-FFR指数各自表达情况的MACE率、发生时间比较差异有统计学意义( $P<0.05$ )。结论 cCTA定量参数可有效评估冠脉钙化程度,二者存在一定相关性,且CT-FFR指数越高,患者后期发生MACE的风险越高。

【关键词】cCTA; CT-FFR; 冠脉钙化; MACE; 生存预后

【中图分类号】R543.3

【文献标识码】A

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.08.027

## Coronary Artery CTA and CT-FFR Assess the Degree of Coronary Artery Calcification and Predict the Value of MACE in Coronary Heart Disease

HE Jun-wei\*, ZHANG Shao-jin, YANG Lin, MU LAN.

Department of Radiology, Pi Du District People's Hospital, Chengdu 611730, Sichuan Province, China

## ABSTRACT

**Objective** To explore the clinical value of coronary CT angiography (cCTA) and CT flow storage fraction (CT-FFR) in predicting the degree of coronary calcification and cardiovascular adverse events (MACE). **Methods** Retrospective study design, collect in April 2020 to April 2022 of coronary heart disease (CHD) patients in our hospital during the period of basic data, the patients were inspected cCTA, and computed tomography (CT) - FFR numerical calculation, according to cCTA check pathological vascular calcification score divided into mild calcification group (coronary calcium score 99 points or less whole,  $n=38$ ) and moderate to severe calcification group (global coronary calcification score  $> 100$ ,  $n=70$ ), the values of cCTA parameters of the two groups were compared, and the relationship between CCTA parameters and coronary calcification was analyzed. In subgroup analysis, according to the critical value of CT-FFR (0.85), the two groups were divided into high CT-FFR ( $> 0.85$ ,  $n=48$ ) and low CT-FFR ( $\leq 0.85$ ,  $n=60$ ), and were followed up for 24 months to analyze the occurrence of MACE. CT-FFR index was analyzed by Kaplan-Meier to predict the clinical value of MACE. **Results** Compared with CTA parameters between the two groups, there were no statistical differences in the total plaque volume, lipid plaque volume and non-calcified plaque volume load between the two groups ( $P>0.05$ ), but the total plaque volume load, calcified plaque volume and CT-FFR in moderate and severe calcification group were higher than those in mild calcification group ( $P<0.05$ ). The degree of coronary calcification was positively correlated with the volume of calcified plaque and CT-FFR by pearson analysis ( $r=0.694$ ,  $0.776$ ,  $P<0.05$ ). According to ROC curve analysis, the AUC of MACE predicted by CT-FFR was 0.721, the critical value was 0.85, the sensitivity and specificity were 65.00%, and the specificity was 80.0%. The MACE rate of low CT-FFR was 14.58%, and the MACE rate of high CT-FFR was 18.33%. Kaplan-Meier analysis showed that there were statistically significant differences in the MACE rate and occurrence time of CT-FFR index expression ( $P<0.05$ ). **Conclusion** cCTA quantitative parameters can effectively evaluate the degree of coronary artery calcification, and there is a certain correlation between the two, and the higher the CT-FFR index, the higher the risk of later MACE.

**Keywords:** cCTA; CT-FFR; Coronary Artery Calcification; MACE; Survival Prognosis

冠状动脉粥样硬化性心脏病简称冠心病,是威胁人类健康的主要心血管疾病,容易并发多种心血管不良事件(major adverse cardiovascular events, MACE),如心力衰竭、非致死性心肌梗死等,预后不佳,针对此类慢性病需尽早筛查、发现、预防<sup>[1]</sup>。冠状动脉CT血管成像(coronary computed tomography angiography, cCTA)是评价冠心病常用的无创影像手段,不仅能够评估冠脉程度,准确反映冠脉血流动力学改变,还能够利用高级后处理功能,定量、定性评估斑块<sup>[2-3]</sup>。随着CCTA技术的完善和改进,CT血流储备分数(CT-fractional flow reserve, CT-FFR)开始备受学者重视,其作为一种能够同时提供无创CT心脏功能成像技术和冠脉形态学功能学信息,能够准确评估冠状动脉循环阻力、血流量,在血管水平上具有更高的诊断性能,同时临床医师还可在CT-FFR指导下的制定相应的治疗策略,相比常规的经验性治疗,能更好改善患者预后<sup>[4]</sup>,尤其是冠心病患者存在血管壁代谢异常、脂质沉积,可能诱发巨噬细胞活化并导致斑块不稳定,增加MACE风险<sup>[5-6]</sup>。此外,相关研究显示, cCTA能通过显示血管壁上斑块性质病对其定量评估外,还可用于MACE预测中,但目前相关的文献较少,有关冠心病的影像学研究的重点让在于疾病的早期发现和评估方面,通过影像学表现探索MACE风险的研究并不多,为此,本文将针对cCTA成像结果进一步分析,一方面用于验证cCTA在冠心病冠脉钙化程度评估效能,另外一方面结合CT-FFR参数分析其在预测MACE的应用价值,以期临床疾病判定、预后评估提供科学依据。现报道如下。

## 1 资料与方法

**1.1 资料** 回顾性分析的108例冠心病患者临床资料,资料均在2020年4月至2022年4月期间收集,其中男性74例,女性34例,年龄34~78岁,平均年龄( $64.15 \pm 3.06$ )岁,病程4~15个月,平均病程( $10.76 \pm 3.75$ )个月,体重54.6~73.5kg,平均体重( $61.13 \pm 5.44$ )kg, LVEF在52~65.7%,平均LVEF( $60.48 \pm 3.32$ )%;冠脉病变血管分布:右冠脉7例,回旋支30例,前降支71例;冠脉狭窄程度:单支病变55例,两支病变32例,多支病变21例。

【第一作者】贺俊伟,男,主治医师,主要研究方向:心胸影像。E-mail: zhunzhu62222888@163.com

【通讯作者】贺俊伟

纳入标准：经冠状动脉造影检查，确诊为冠状动脉粥样硬化性心脏病；符合cCTA检查适应症；临床资料齐全。排除标准：冠状动脉CT血管造影存在严重错位、伪影以及图像缺失；因左主干开口病变距离主动脉<3mm、心肌桥痉挛引起的冠状动脉狭窄者；对三磷酸腺苷、腺苷、碘造影剂过敏者；有严重大出血或凝血功能障碍者；急性心肌梗死直接行PCI治疗者；合并先天性心脏病、瓣膜病变、主动脉夹层病变者；随访期间信息不全，影响统计分析者。

**1.2 方法** cCTA成像方案：选择SOMATOM Drive光子双源CT检查，采用双头高压注射器注射非离子型对比剂碘普胺，以4.0-5.0ml/s速率注射，总量40~60mL，再以相同速率注射生理盐水30ml。扫描时，要求受检者取平卧位，扫描范围从气管隆突下1.0cm至心脏下缘1.5cm。参数调节：(1)双源CT：管电压100或120kv，管电流350mAs，管球转速0.28s，重建层厚0.500mm，探测器宽度38mm，准直128×0.500；(2)Aquilion One CT：管电流200~400mA，管电压120kV或100kV，管球转速0.35s，重建层厚0.500mm，探测器宽度160mm。准直320×0.500；(3)Revolution CT：管电流采用Smart-mA技术自动选择，管电压120kV，管球转速0.28s，重建层厚0.625mm，探测器宽度160mm，准直256×0.625。

所有设备均采用心电门控进行图像采集，选择优质图像重建，传至后处理工作站分析，采用半自动化定量分析冠状动脉斑块，对于每个病变采用数据手动识别斑块，软件自动分割血管边界和斑块，主要分析斑块总体积、脂质斑块体积、斑块总体积负荷、非钙化斑块体积负荷、钙化斑块体积等。

CT-FFR测量：根据CT血管造影影响，采用自带工作平台重建动脉3D解剖模型，利用人工智能软件模拟冠状动脉最大血流，利用流体力学法计算各分支血流速度，测压力值，得到CT-FFR值。

**1.3 观察指标**

1.3.1 冠状动脉钙化程度判定 扫描自气管分叉至膈肌下1cm，

其中钙化积分扫描需在心率>65次/min或心率<65次/min条件下，触发钙评分扫描。而扫描时，需经肘静脉注射60~80mL碘海醇，速率4~5mL/s，随后再注入生理盐水40mL增强扫描，标记每支钙化病变。钙化定义：CT值>130Hu，根据钙化最大密度和总面积，采用Agatston法计算病变血管钙化积分，对冠脉的整体钙化情况进行量化评估，积分计算原理是钙化密度赋分×钙化面积，将所有截面中各个冠脉的平分相加得到总钙化的评分。0~99分范围为轻度斑块负荷，100~399分属于中度斑块负荷，400分以上为重度斑块负荷。

1.3.2 血管斑块体积相关指标 记录两组的cCTA成像参数，包括斑块总体积负荷、钙化斑块体积、斑块总体积、脂质斑块体积、非钙化斑块体积负荷，测量CT-FFR值。

1.3.3 研究终点和随访 通过电话、上门、查阅病历等方式对患者进行随访，以cCTA检查当天为随访起点，以MACE为终点。MACE主要包括因不稳定心绞痛住院、心力衰竭、非致死性心肌梗死、心源性死亡等。

**1.4 统计学处理** 使用SPSS 27.0软件计算数据，计数资料用(n, %)表示；相关性采用pearson法分析，采用Kaplan-Meier生存曲线分析生存率，以Log Rank(Mantel-Cox)检验差异性；行 $\chi^2$ 检验；计量资料符合正态分布，用()表示，行独立样本t检验；钙化斑块体积、CT-FFR预测价值利用ROC曲线模型分析；P<0.05为差异有统计学意义。

**2 结果**

**2.1 两组血管斑块相关指标比较** 两组的斑块总体积、脂质斑块体积、非钙化斑块体积负荷均无统计学差异性(P>0.05)，中重度钙化组斑块总体积负荷、钙化斑块体积及CT-FFR高于轻度钙化组(P<0.05)。如表1所示。

**2.2 分析相关性** 经pearson法分析，冠脉钙化程度与钙化斑块体积、CT-FFR呈正相关性(P<0.05)。如表2所示。

表1 两组血管斑块相关指标比较

| 组别     | n  | 斑块总体积负荷(%) | 钙化斑块体积(mm <sup>3</sup> ) | 斑块总体积(mm <sup>3</sup> ) | 脂质斑块体积(mm <sup>3</sup> ) | 非钙化斑块体积负荷(%) | CT-FFR    |
|--------|----|------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------|-----------|
| 轻度钙化组  | 38 | 53.74±6.51 | 4.12±0.73                | 217.89±23.48            | 36.15±11.41              | 51.41±7.69   | 0.75±0.14 |
| 中重度钙化组 | 70 | 56.25±4.38 | 5.67±0.68                | 227.06±25.54            | 39.74±12.64              | 52.68±6.40   | 0.91±0.11 |
| t      | -  | 2.385      | 11.023                   | 1.832                   | 1.457                    | 0.916        | 6.545     |
| P      | -  | 0.019      | <0.001                   | 0.069                   | 0.148                    | 0.362        | <0.001    |

**2.3 CT-FFR预测MACE发生的ROC曲线分析** 108例患者经2年随访，合计28例发生MACE，所占比25.93%，随访时间14~24个月，CT-FFR预测患者发生MACE的ROC曲线如下：结果可见AUC=0.721，临界值为0.85，此时诊断敏感性、特异性分别是65.00%，特异度是80.0%，具体见图1。

**2.4 CT-FFR预测MACE预后的K-M曲线分析** 根据CT-FFR临界值，0.85作为划定标准，≤0.85为低CT-FFR，>0.85为高CT-FFR。108例患者经2年随访，28例发生MACE(25.93%)，而CT-FFR不同值患者MACE率、发生时间如表3。经Kaplan-Meier分析显示，CT-FFR指数各自表达情况的MACE率、发生时间比较差异有统计学意义(P<0.05)，如表4、图2。

**2.5 典型病例影响分析** 见图3。

表3 对比不同CT-FFR值患者的MACE率和发生时间

| 指标          | 表达情况    | n  | MACE率     | 发生时间       |
|-------------|---------|----|-----------|------------|
| CT-FFR      | 低CT-FFR | 48 | 7(14.58)  | 23.31±0.78 |
|             | 高CT-FFR | 60 | 11(18.33) | 23.88±0.26 |
| t/ $\chi^2$ | -       | -  | 0.605     | 5.306      |
| P           | -       | -  | 0.049     | <0.001     |

表2 分析冠脉钙化程度与各项指标相关性

| 指标        | 冠脉钙化程度 |        |
|-----------|--------|--------|
|           | r      | P      |
| 斑块总体积负荷   | 0.132  | 0.056  |
| 钙化斑块体积    | 0.694  | <0.001 |
| 斑块总体积     | 0.107  | 0.122  |
| 脂质斑块体积    | 0.110  | 0.111  |
| 非钙化斑块体积负荷 | 0.177  | 0.365  |
| CT-FFR    | 0.776  | <0.001 |

表4 冠心病患者2年后MACE发生情况平均值分析

| 指标     | 表达情况    | 2年后MACE发生情况平均值(E) |       |             |        | Log Rank |       |
|--------|---------|-------------------|-------|-------------|--------|----------|-------|
|        |         | 估算                | SE    | 95% 置信区间中位数 |        | $\chi^2$ | P     |
|        |         |                   |       | 下限          | 上限     |          |       |
| CT-FFR | 低CT-FFR | 23.331            | 0.170 | 23.998      | 23.665 | 7.696    | 0.006 |
|        | 高CT-FFR | 23.887            | 0.071 | 23.749      | 24.026 |          |       |
|        | 总体      | 23.671            | 0.100 | 23.474      | 23.868 |          |       |

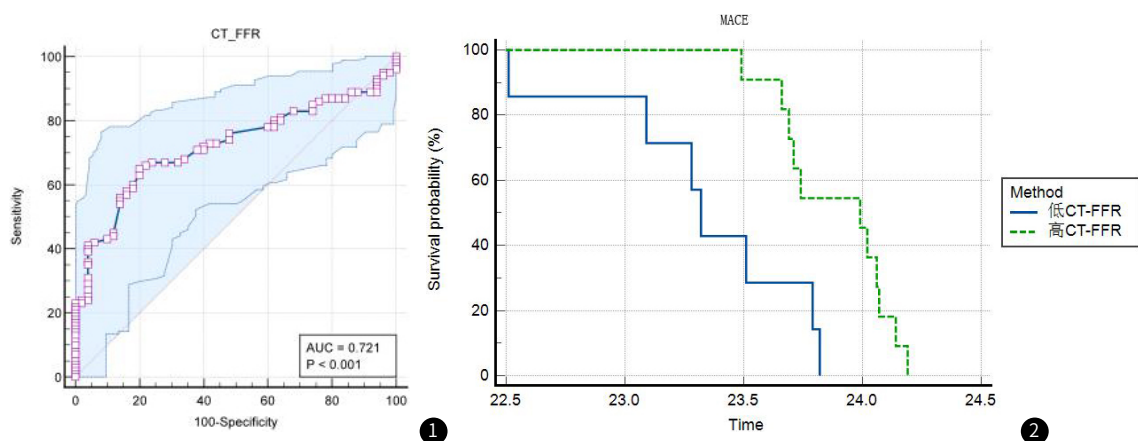


图1 ROC曲线。图2 冠心病患者2年后MACE发生曲线图。

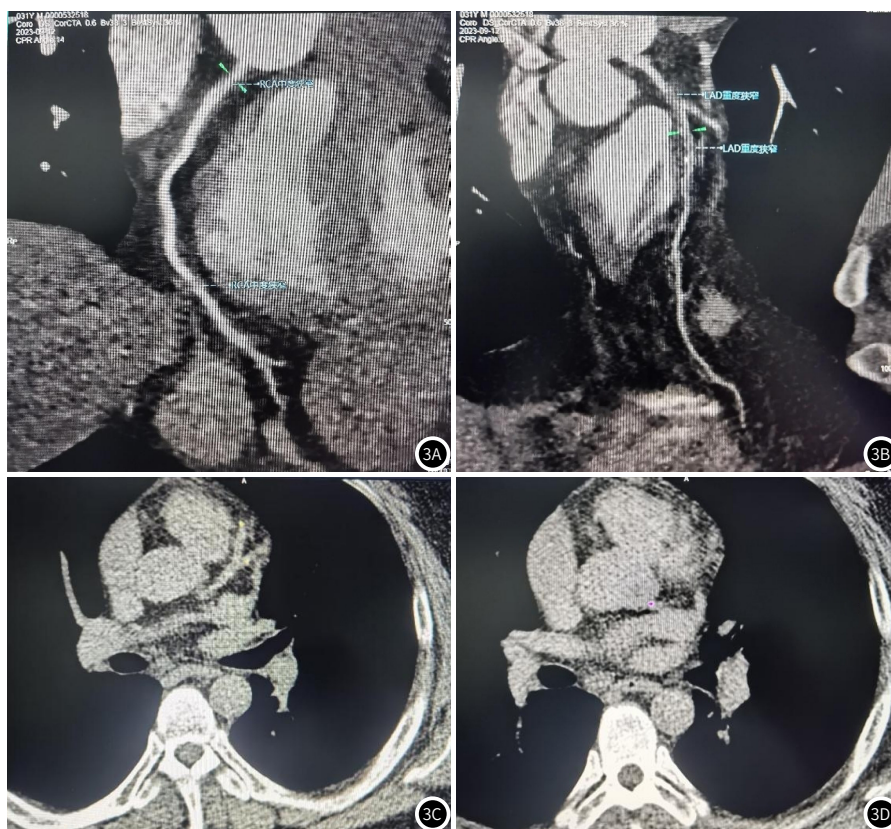


图3A~图3D 典型病例影像分析结果。患者入院经冠状动脉CTA检查，右侧冠状动脉近端非钙化斑块，管腔轻度狭窄，如图3A所示；左侧冠状动脉前降支近、中段节段性钙化及非钙化斑块，管腔重度狭窄，累及对角支，如图3B所示。CT-FFR参考值为：RCA: 0.76，LAD: 0.66，LCX: 0.90 冠状动脉总钙化积分44.7分：左侧冠状动脉主干为22.5分、前降支为22.2分，如图3C~3D所示。

### 3 讨论

冠心病是一种缺血性心脏病，主要是因胆固醇和其他物质在冠状动脉内积累形成斑块，导致心脏血液供应中断，形成动脉闭塞或狭窄，进而引发胸闷、胸痛，严重时会导致心肌梗死、缺血缺氧，故需尽早诊疗，目前主要以影像学检查为主<sup>[7-8]</sup>。其中超声心动图具有可重复、实时、无创等优势，利用超声波能够观察心脏功能、结构，但对某些部位受限，如肥胖、肺部气体干扰等；MRI能够观察冠脉血流供应情况，但需使用放射性物质，可能存在辐射风险；冠脉造影虽是判定冠心病金标准，可以清晰地显示冠状动脉狭窄程度、范围、部位，准确性较高，但属于创伤性操作，易增加感染、出血并发症，且需使用X射线，可能会造成辐射暴露。

cCTA具有无创、简便、性价比高、准确率高等优势，能够准确评估心脏结构，避免了冠脉造影带来的并发症和创伤风险，但传统cCTA对心率存在一定要求，若心律不齐或心率过快均会导致图像质量下降，影响准确性<sup>[9-10]</sup>。而CT-FFR是一种功能学评价指标，能够表示无狭窄情况下和狭窄后血流量比值，该比值可帮助医生了解心肌缺血和冠脉血管狭窄关系，为治疗方案拟定、预后评估提供科学依据<sup>[11-12]</sup>。相比于传统cCTA更关注血管解剖结构，准确反映冠脉狭窄对心肌供血影响。分析本次结果，重度钙化组钙化斑块体积、CT-FFR高于轻度钙化组，可能是因钙化斑块形成是一个漫长过程，涉及血管壁内钙盐沉积，当患者处于重度钙化状态，意味着机体钙盐程度更为严重，这也导致了钙化斑块体积

增加,随着钙化斑块体积增大,占据空间更多,导致血管内径变窄,血流受阻,加重冠状动脉狭窄程度,使得在充血状态下冠状动脉血流供应能力降低,从而增高CT-FFR值<sup>[13-14]</sup>。经Spearman法分析,冠脉钙化程度与钙化斑块体积、CT-FFR呈正相关性,提示CT-FFR值与冠脉钙化程度存在一定关联,随着动脉粥样硬化加剧,钙沉积也会增加,从而导致冠脉钙化程度提高,增加CT-FFR值。然而,进一步分析两者关系时,本次利用ROC曲线模型预测,结果显示,钙化斑块体积、CT-FFR预测冠脉钙化程度的AUC分别为0.804、0.909,均具有较高诊断价值,且与魏庆民学者<sup>[15]</sup>结论大致相同,进一步说明CT-FFR在诊断钙化斑块中具有较高特异性和敏感。此外,本次还进一步分析了CT-FFR与MACE关系,Kaplan-Meier分析显示,高CT-FFR指数患者MACE率高于低CT-FFR,说明CT-FFR指数与心血管不良事件的发生率密切相关,高CT-FFR可能预示着更高的心血管不良事件风险。究其原因:CT-FFR可通过测量冠状动脉狭窄近端、远端压力差来评估冠状动脉血流储备能力,高CT-FFR可能表示冠状动脉血管狭窄较严重,血流受限,导致心肌供血不足,此种情况下,心脏为了维持正常运转,需要大量心肌耗氧量,若无法及时提供足够血液,则会增加心血管不良事件<sup>[16]</sup>。

综上所述,CT-FFR能够预测冠脉钙化程度,具有较高特异性和敏感性,且与MACE发生存在一定关联,CT-FFR指数越高,MACE发生率越高,对此需重点监测患者CT-FFR变化,以期及时发现异常、处理,改善预后。

## 参考文献

- [1]宋瑶,霍怀璧,李哈,等.冠状动脉CTA多参数AI特征对急性冠脉综合征的诊断价值[J].放射学实践,2023,38(7):873-878.
- [2]赵桂喜,潘靛,邢伟.基于心肌缺血危险因素的冠状动脉CTA和CT-FFR诊断价值的探讨[J].影像研究与医学应用,2023,7(1):19-22.
- [3]Anastasius M,Maggiore P,Huang A,et al.The clinical utility of FFRCT stratified by age[J].J Cardiovasc Comput Tomogr,2021,15(2):121-128.
- [4]Peper J,Suchá D,Swaans M,et al.Functional cardiac CT-Going beyond Anatomical evaluation of coronary artery disease with Cine CT,CT-

- FFR,CT perfusion and machine learning[J].Br J Radiol,2020 Sep 1;93(1113):20200349.
- [5]胡广新,姚龙.CTA+CT-FFR在冠心病患者心脏功能及新生斑块血管评价[J].贵州医药,2023,47(1):119-120.
- [6]张维明,顾立君,张吟,等.基于Revolution CT的冠状动脉血管成像联合血流储备分数评估冠心病并发性心力衰竭患者NYHA心功能分级及预后的效果[J].岭南心血管病杂志,2023,29(4):395-399.
- [7]Beg F,Rehman H,Chamsi-Pasha MA,et al.Association between FFRCT and instantaneous wave-free ratio (iFR) of intermediate lesions on coronary computed tomography angiography[J].Cardiovasc Revasc Med,2021 Oct;31:57-60.
- [8]陈娇,明贤芳,吴永波.CT血管造影联合血清尿素、胱抑素C、甘油三酯葡萄糖糖酵解指数对冠心病患者冠脉狭窄程度的诊断价值和斑块性质的关系[J].中国CT和MRI杂志,2024,22(1):74-77.
- [9]严诚,黄健峰,张利军,等.基于工作站的CT-FFR对评估冠状动脉功能性狭窄的临床初步探究[J].复旦学报(医学版),2021,48(3):356-362.
- [10]陈柳丹,涂圣贤,李泽杭,等.斑块对基于CTA虚拟计算冠状动脉血流储备分数的影响[J].中山大学学报(医学科学版),2023,44(5):823-829.
- [11]杨友常,殷若涵,汤晓强,等.冠状动脉CT血管造影结合机器学习算法预测心肌缺血的价值研究[J].临床放射学杂志,2023,42(2):258-262.
- [12]赵建春,龚沈初,张凡,等.基于CAD-RADS的高危斑块特征联合CT-FFR对冠状动脉临
- 界病变预后的预测价值[J].南通大学学报(医学版),2024,44(1):53-58.
- [13]Gohmann RF,Seitz P,Pawelka K,et al.Combined coronary CT-angiography and TAVI planning:utility of CT-FFR in patients with morphologically ruled-out obstructive coronary artery disease[J].J Clin Med,2022,11(5):1331.
- [14]庞智英,杨飞,苏亚英,等.冠状动脉CT血管成像联合基于CT的血流储备分数预测阻塞性冠心病主要不良心脏事件的价值[J].实用医学杂志,2021,37(20):2675-2680.
- [15]施武,陈溯明,吴少杰,等.探究冠状动脉CT血管造影定量指标对冠心病患者主要心血管不良事件的预测价值[J].心血管病防治知识,2020,10(31):31-33.
- [16]Aquino GJ,Abadia AF,Schoepf UJ,et al.Coronary CT fractional flow reserve before transcatheter aortic valve replacement:clinical outcomes[J].Radiology,2022,302(1):50-58.

(收稿日期:2024-05-21)

(校对编辑:姚丽娜、韩敏求)

(上接第97页)

## 参考文献

- [1]方项,王涵,朱雪萌.心肌灌注显像与CT冠状动脉成像检查对糖尿病并发冠心病患者冠状动脉狭窄的诊断准确度分析[J].罕少疾病杂志,2025,32(6):83-85.
- [2]Duggan JP,Peters AS,Trachiotis GD,et al.Epidemiology of coronary artery disease[J].Surg Clin North Am,2022,102(3):499-516.
- [3]韩媛.超声参数与颈动脉粥样硬化斑块形成脂代谢、易损性的关系分析[J].罕少疾病杂志,2025,32(1):44-46.
- [4]赵晨,贾海波,李丽丽.炎症反应对于冠状动脉斑块易损性的影响[J].中国介入心脏病学杂志,2020,28(3):163-166.
- [5]李俭,尚潇云.冠状动脉CT血管成像定量分析在冠心病患者评估中的应用[J].山西医药杂志,2022,51(9):1002-1004.
- [6]复旦大学上海医学院.实用内科学-第13版[J].中国医刊,2009(12):43-43.
- [7]Sigamani A,Gupta R.Revisiting secondary prevention in coronary heart disease[J].Indian Heart J,2022,74(6):431-440.
- [8]Alpert JS.New coronary heart disease risk factors[J].Am J Med,2023 Apr;136(4):331-332.
- [9]刘洋,张舒媛,司斌,等.冠状动脉CT血管成像检测对冠状动脉易损斑块和主要不良心血管事件风险预测的评估[J].中国循环杂志,2020,35(9):894-899.

- [10]陈新杰,邓凌达,陈海雄,等.血清残余脂蛋白胆固醇浓度对冠状动脉易损斑块的诊断价值[J].广东医学,2022,43(5):597-602.
- [11]开慧华,沈栋,潘昌杰.冠脉CTA定量参数预测薄纤维帽粥样硬化斑块易损性的可行性[J].放射学实践,2021,36(8):1000-1004.
- [12]赵娜,侯志辉,安云强,等.基于冠状动脉CT血管成像的冠状动脉粥样硬化斑块量化特征及易损性的门诊队列研究[J].中华放射学杂志,2020,54(5):467-473.
- [13]王若芑,顾慧,高艳,等.基于冠状动脉CT血管成像斑块定量分析探究甘油三酯葡萄糖指数与斑块负荷及斑块易损特征的相关性[J].中华放射学杂志,2021,55(11):1153-1160.
- [14]朱鹏汀.冠脉CTA对OCT诊断易损斑块的预测价值[D].大连医科大学,2021.
- [15]李培杰.冠状动脉CTA观察HIV感染者冠状动脉斑块特征及易损斑块[D].郑州大学,2020.

(收稿日期:2024-06-05)

(校对编辑:姚丽娜、韩敏求)