

阻塞性冠心病患者 CCTA 高危斑块特征和冠状动脉狭窄程度与冠状动脉血流储备分数异常的关联性分析

杨 飞¹, 陈 蓉², 杨智翔², 杨 越², 庞智英¹, 贾 鹏³, 崔书君¹, 王大伟⁴

基金项目：河北省医学科学研究课题计划项目(编号:20210342)；河北省张家口市科技计划项目(编号:2021030D)

作者单位：1. 河北北方学院附属第一医院医学影像部, 张家口 075000; 2. 河北北方学院, 张家口 075000; 3. 北京怀柔医院, 北京 101400; 4. 河北北方学院附属第一医院胸外科, 张家口 075000

第一作者：杨 飞, 医学博士, 副主任医师, 硕士研究生导师, 研究方向: 心胸大血管疾病的影像学诊断。E-mail: hiyangfei@126.com

通信作者：王大伟, 医学硕士, 副主任医师, 硕士研究生导师, 研究方向: 胸心外科疾病的诊治。E-mail: 15530392140@163.com

【摘要】 目的 分析阻塞性冠心病(CAD)患者冠状动脉 CT 成像(CCTA)高危斑块特征和冠状动脉狭窄程度与冠状动脉血流储备分数异常的关联性。**方法** 回顾性分析 2017 年 1 月至 2018 年 6 月于河北北方学院附属第一医院行 CCTA 检查并确诊为 CAD 的 139 例患者临床资料, 纳入 205 支冠状动脉, 依据冠状动脉基于 CT 血流储备分数(FFR_{CT})值, 将冠状动脉分为 FFR_{CT} 异常组($\text{FFR}_{\text{CT}} \leq 0.80$, 117 支)和 FFR_{CT} 正常组($\text{FFR}_{\text{CT}} > 0.80$, 88 支)。比较两组高危斑块特征、冠状动脉狭窄程度, 采用 logistic 回归分析冠状动脉狭窄程度、高危斑块特征对 FFR_{CT} 异常的影响。**结果** FFR_{CT} 异常组阳性重构(PR)、低密度斑块(LAP)发生率显著高于 FFR_{CT} 正常组($P < 0.05$)。两组冠状动脉狭窄程度比较差异有统计学意义($P < 0.05$)。冠状动脉重度狭窄、LAP、PR 是促进 FFR_{CT} 异常的独立危险因素($P < 0.05$)。**结论** CCTA 冠状动脉重度狭窄及 LAP、PR 与 FFR_{CT} 异常发生密切相关, 该特征有助于指导临床更好地识别血流动力学异常患者。

【关键词】 阻塞性冠心病; 计算机 X 线断层扫描; 血流储备分数; 高危斑块

【中图分类号】 R 541.4 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1674-3806(2024)01-0047-05

doi:10.3969/j.issn.1674-3806.2024.01.09

Analysis on CCTA high-risk plaque characteristics and correlation of the degree of coronary stenosis with abnormal coronary flow reserve fraction in patients with obstructive coronary artery disease YANG Fei¹, CHEN Rong², YANG Zhixiang², YANG Yue², PANG Zhiying¹, JIA Peng³, CUI Shujun¹, WANG Dawei⁴. 1. Department of Medical Imaging, the First Affiliated Hospital of Hebei North University, Zhangjiakou 075000, China; 2. Hebei North University, Zhangjiakou 075000, China; 3. Beijing Huairou Hospital, Beijing 101400, China; 4. Department of Thoracic Surgery, the First Affiliated Hospital of Hebei North University, Zhangjiakou 075000, China

【Abstract】 Objective To analyze coronary computed tomography angiography(CCTA) high-risk plaque characteristics and correlation of the degree of coronary stenosis with abnormal coronary flow reserve fraction in patients with obstructive coronary artery disease(CAD). **Methods** The clinical data of 139 patients who underwent CCTA and were diagnosed with CAD in the First Affiliated Hospital of Hebei North University from January 2017 to June 2018 were retrospectively analyzed, and 205 coronary arteries were enrolled. All the enrolled coronary arteries were divided into abnormal computed tomography(CT)-derived fractional flow reserve(FFR_{CT}) group($\text{FFR}_{\text{CT}} \leq 0.80$, 117 vessels) and normal FFR_{CT} group($\text{FFR}_{\text{CT}} > 0.80$, 88 vessels) according to different values of FFR_{CT} . The characteristics of high-risk plaques and the degree of coronary stenosis were compared between the two groups. The effects of the degree of coronary stenosis and the characteristics of high-risk plaques on FFR_{CT} abnormalities were analyzed by using logistic regression. **Results** The incidence rates of positive remodeling(PR) and low attenuation plaque(LAP) in the abnormal FFR_{CT} group were

significantly higher than those in the normal FFR_{CT} group ($P < 0.05$). There was a statistically significant difference in the degree of coronary artery stenosis between the two groups ($P < 0.05$). Severe coronary stenosis, LAP and PR were independent risk factors of promoting abnormal FFR_{CT} ($P < 0.05$). **Conclusion** CCTA severe coronary artery stenosis, LAP and PR are closely related to abnormal FFR_{CT} , which is helpful to guide clinical practice to better identify patients with hemodynamic abnormalities.

[**Key words**] Obstructive coronary artery disease(CAD); Computed tomography; Fractional flow reserve(FFR); High-risk plaque

血流储备分数(fractional flow reserve, FFR)是目前临床诊断冠状动脉特异性狭窄病变引起血流动力学异常的金标准^[1-2],可准确反映心肌缺血的程度^[3]。研究证实基于CT的血流储备分数(CT-derived fractional flow reserve, FFR_{CT})可以无创、准确地评估冠状动脉狭窄引起的特异性缺血性病变,且与有创FFR具有较高的一致性^[4-6]。近年来,越来越多的研究结果显示,冠状动脉管腔的狭窄程度与心肌缺血之间往往不匹配,许多冠心病临界病变并未引起心肌缺血^[7]。有学者认为冠状动脉粥样硬化斑块特征可能是造成这种不匹配现象的原因^[8]。高危斑块特征的半定量评估法方便、快捷,无需特殊软件。鉴于此,本研究旨在通过半定量评估法探讨高危斑块特征及冠状动脉狭窄程度对冠心病患者 FFR_{CT} 的影响,以期更好地识别血流动力学异常患者,为临床诊断 FFR_{CT} 异常提供参考。

1 资料与方法

1.1 临床资料 回顾性分析2017年1月至2018年6月于河北北方学院附属第一医院行冠状动脉CT成像(coronary computed tomography angiography, CCTA)检查的139例阻塞性冠心病(obstructive coronary artery disease, CAD)患者临床资料,其中男105例,女34例,年龄41~79(61.80 ± 8.60)岁,体质指数 $16.90 \sim 32.90(24.60 \pm 2.80) \text{ kg/m}^2$ 。有吸烟史53例(38.13%),冠心病家族史27例(19.42%)。合并高血压病96例(69.06%),糖尿病53例(38.13%),高脂血症41例(29.50%)。共纳入205支冠状动脉,其中前降支125支(60.98%),回旋支36支(17.56%),右冠状动脉43支(20.98%),左主干1支(0.48%)。本研究参照既往 FFR_{CT} 相关临床研究结果^[9],将 FFR_{CT} 临界值设为0.80。将冠状动脉分为 FFR_{CT} 异常组($\text{FFR}_{\text{CT}} \leq 0.80$, 117支)和 FFR_{CT} 正常组($\text{FFR}_{\text{CT}} > 0.80$, 88支)。本研究获河北北方学院附属第一医院医学伦理委员会批准(批号:K2020237)。

1.2 纳入与排除标准 纳入标准:(1)年龄18~90岁。(2)符合CAD的诊断标准^[10]。(3)接受CCTA检查且结果显示为一支或多支冠状动脉阻塞性狭窄。(4)

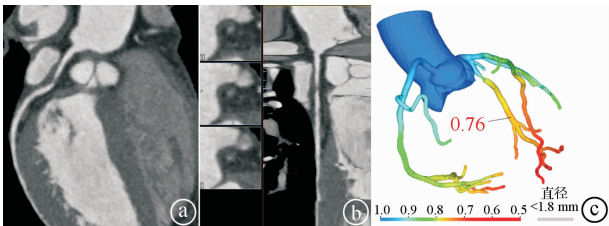
冠状动脉狭窄程度为中度($\geq 50\%$)及以上。排除标准:(1)临床疑诊急性冠状动脉综合征者。(2)既往有心脏手术或支架置入史者。(3)CCTA图像存在严重钙化、伪影及噪声者。(4) FFR_{CT} 分析失败者。

1.3 CCTA扫描方案 治疗前采用佳能640层Aquilion One动态容积CT机(Toshiba Medical Systems,日本)进行扫描。扫描范围为气管分叉处至膈肌水平。主要参数:管电压为100 kV,管电流采用自动调节技术。采用SureStart软件自动触发扫描,监测设定在降主动脉中央层面,阈值为300 HU。钙化积分扫描完成后,经患者肘前静脉以5.5 mL/s速率注射碘克沙醇(320 mgI/mL,中国扬子江药业集团,国药准字H20143309)60~80 mL,随即注入生理盐水30 mL。

1.4 冠状动脉狭窄程度及斑块特征分析 由2名具有5年以上心胸影像诊断经验的主治医师通过斑块分析软件(Version 4.0, Toshiba Medical Systems)共同评估冠状动脉狭窄程度及高危斑块特征,并由具有10年心胸影像学诊断经验的高年资医师确认。采用2016年国际心血管CT协会发布的冠状动脉疾病报告与数据系统(Coronary Artery Disease Reporting and Data System, CAD-RADS)^[11]评估冠状动脉狭窄程度:管径狭窄率 $< 25\%$ 为轻微狭窄,管径狭窄率 $25\% \sim 49\%$ 为轻度狭窄,管径狭窄率 $50\% \sim 69\%$ 为中度狭窄,管径狭窄率 $70\% \sim 99\%$ 为重度狭窄,管径狭窄率100%为血管闭塞。高危斑块特征半定量评估参数^[12]:(1)低密度斑块(low attenuation plaque, LAP)为斑块区CT值 $< 30 \text{ HU}$ 。(2)点状钙化(spotty calcification, SC)为斑块钙化长度 $< 3 \text{ mm}$ 。(3)餐巾环征(napkin-ring sign, NRS)为环状高密度影围绕中央低密度粥样硬化斑块。(4)重构指数(remodeling index, RI)为病变处最大血管横截面积与近端参考横截面积之比, $\text{RI} \geq 1.1$ 为阳性重构(positive remodeling, PR)^[13-14]。

1.5 FFR_{CT} 分析 采用深圳科亚医疗科技有限公司的深脉分数软件分析CCTA图像,自动计算各支冠状动脉 FFR_{CT} 值。在斑块远端2~3 cm处测量,若一支冠状动脉多处发生病变,则测量最远端病变处 FFR_{CT} 值^[15]。冠状动脉重度狭窄与高危斑块特征联

合预测 FFR_{CT} 异常的临床应用, 见图 1。



①CCTA 曲面重建图像可见前降支近段 LAP、管腔重度狭窄; ②斑块短轴面图像及冠状动脉拉直像; ③FFR_{CT} 图, 病变冠状动脉 FFR_{CT} 值为 0.76

图 1 具有 LAP 高危斑块特征的 CAD 患者伴 FFR_{CT} 异常影像所见

表 1 两组高危斑块特征及冠状动脉狭窄程度比较 [n(%)]

组 别	支数	冠状动脉狭窄程度		PR	LAP	NRS	SC
		中度狭窄	重度狭窄				
FFR _{CT} 异常组	117	32(27.35)	85(72.65)	53(45.30)	51(43.59)	27(23.08)	31(26.50)
FFR _{CT} 正常组	88	63(71.59)	25(28.41)	19(21.59)	13(14.77)	11(12.50)	15(17.05)
χ^2		39.532		12.389	19.423	3.721	2.577
<i>P</i>		<0.001		<0.001	<0.001	0.054	0.108

2.2 不同高危斑块特征的冠状动脉 FFR_{CT} 异常发生情况 205 支冠状动脉中, 存在 PR 的冠状动脉 FFR_{CT} 异常发生率为 73.61% (53/72), 存在 LAP 的冠状动脉 FFR_{CT} 异常发生率为 79.69% (51/64), PR 及 LAP 均不存在的冠状动脉 FFR_{CT} 异常发生率为 37.50% (36/96), PR 及 LAP 均存在的冠状动脉 FFR_{CT} 异常发生率为 85.19% (23/27)。

2.3 冠状动脉重度狭窄及高危斑块特征与 FFR_{CT} 异常的多因素 logistic 回归分析结果 以 FFR_{CT} 异常发生情况(1 = 发生, 0 = 不发生) 为因变量, 以表 1 中有统计学意义的指标作为自变量, 进行多因素 logistic 回归分析, 结果显示冠状动脉重度狭窄、LAP、PR 是促进 FFR_{CT} 异常的独立危险因素 (*P* < 0.05), 见表 2。

表 2 冠状动脉重度狭窄及高危斑块特征与 FFR_{CT} 异常的多因素 logistic 回归分析结果

变 量	β	SE	Wald χ^2	<i>P</i>	OR(95% CI)
重度狭窄 (vs 中度狭窄)	1.919	0.342	31.456	<0.001	6.813 (3.483 ~ 13.323)
LAP	1.513	0.402	14.188	<0.001	4.540 (2.066 ~ 9.976)
PR	1.126	0.372	9.175	0.002	3.085 (1.488 ~ 6.394)

3 讨论

3.1 目前 CCTA 是 CAD 的一线影像学检查方法, 充

1.6 统计学方法 应用 SPSS 25.0 统计软件进行数据分析。符合正态分布的计量资料以均数 ± 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示。计数资料以例数(百分率) [*n*(%)] 表示, 组间比较采用 χ^2 检验。采用 logistic 回归分析 FFR_{CT} 异常的影响因素。*P* < 0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组高危斑块特征及冠状动脉狭窄程度比较 FFR_{CT} 异常组冠状动脉 PR、LAP 发生率显著高于 FFR_{CT} 正常组 (*P* < 0.05), 两组 NRS、SC 发生率比较差异无统计学意义 (*P* > 0.05), 两组冠状动脉狭窄程度比较差异有统计学意义 (*P* < 0.05), 见表 1。

分利用 CCTA 图像对病变进行功能学评估, 对于冠状动脉粥样硬化患者的诊治具有重要临床意义^[16-17]。近年来, 国内外许多学者基于 CCTA 图像开展研究, 包括斑块定量及半定量分析、斑块负荷、FFR_{CT}、冠状动脉周围脂肪衰减系数、流体力学特征等多种方法的联合应用, 有助于指导 CAD 患者的诊疗及预后评估^[18]。但多种方法联合应用的同时也延长了评估时间, 临床实际操作受限。高危斑块特征的半定量评估法简单、快捷, 无需特殊软件, 可操作性强, 可在临床工作中广泛应用。而斑块定量评估方法, 由于不同的测量软件、不同的研究对象、斑块的成分参数较多, 往往导致研究结果不完全一致。因此, 本研究采用半定量评估法探讨高危斑块特征对 CAD 患者 FFR_{CT} 异常的影响。

3.2 目前, LAP、PR、NRS 和 SC 都被认为是高危斑块特征^[19-20]。Driessen 等^[21] 研究显示冠状动脉斑块形态学特征对 FFR 有负性影响。Shmilovich 等^[22] 研究显示 CCTA 严重狭窄斑块中存在 LAP 和 PR 对心肌灌注不足具有较强的预测效能。以上研究结果均表明高危斑块特征可预测冠状动脉缺血性病变。本研究发现, LAP、PR 是 FFR_{CT} 异常的独立危险因素, 有助于识别 FFR_{CT} 异常。LAP 是斑块内的脂质核心, 可引起血管炎症、内皮功能障碍和剪切应力模式改变等, 抑制冠状动脉舒张, 进而加重心肌灌注不足^[23],

导致 FFR_{CT} 下降。PR 对 FFR_{CT} 的影响与斑块负荷相似,由于斑块中的炎性细胞聚集、成分复杂,斑块内出血、纤维帽破裂等均可能导致下游心肌缺血^[24],使 FFR_{CT} 下降。更重要的是,LAP 和 PR 是二分类变量,且无需特殊软件,可以快速评估,方便快捷,可在临床中推广应用。

3.3 本研究结果显示,NRS 及 SC 不是 FFR_{CT} 异常的独立危险因素,这与既往研究结论一致^[22,25],原因考虑如下:(1)病理证实的微钙化可能超出了 CCTA 的检测范围。(2)微钙化可能代表动脉粥样斑块演变的后期,先于缺血产生。(3)NRS 及 SC 可能与其他形态特征(如 PR 或 LAP)有关,但本身不会导致缺血。也有部分学者认为 SC、NRS 可预测缺血性病变^[26],需扩大样本量来进一步验证结论。

3.4 本研究发现,存在 PR 或 LAP 的血管 FFR_{CT} 异常发生率增加。Gaur 等^[27]发现 LAP 容积 $\geq 30 \text{ mm}^3$ 与 FFR 异常相关。还有一些研究使用机器学习方法定量分析高危斑块特征与病变特异性缺血^[26]。以上研究均表明高危斑块特征与有创 FFR 测量的病变特异性缺血之间存在关联,这说明高危斑块的存在可预测心肌血流受损^[28],即 FFR_{CT} 异常。

3.5 本研究中,两组冠状动脉狭窄程度比较差异有统计学意义($P < 0.05$)。Advanced FFR_{CT} 注册中心的 5 083 例患者的数据也显示 $\text{FFR}_{\text{CT}} > 0.80$ 组患者冠状动脉狭窄 $< 50\%$ 的发生率为 43.8%,而 $\text{FFR}_{\text{CT}} \leq 0.80$ 组为 14.4%,差异有统计学意义($P < 0.001$)^[29]。Tonino 等^[30]研究发现即使冠状动脉狭窄达 71% ~ 90%,其中约 20% 的病变并不会引起特异性心肌缺血。可见,冠状动脉狭窄程度与心肌缺血之间存在不匹配的情况,冠状动脉狭窄程度与 FFR_{CT} 异常的相关性较弱。因此单独应用冠状动脉狭窄程度评估 FFR_{CT} 异常的价值有限。

3.6 本研究的局限性:(1)样本量较少,且为单中心回顾性研究,可能存在选择偏倚。(2)未采用金标准,未与有创 FFR 进行对比。但国内外诸多研究认为, FFR_{CT} 对于冠状动脉狭窄和缺血的诊断及评价是准确的,与 FFR 相关性较强^[31]。(3)由于空间分辨率的限制和部分容积效应,LAP 的测量可能受影响。

综上所述,高危斑块特征的半定量评估方法结合冠状动脉狭窄程度能够有效识别 FFR_{CT} 异常,提高工作效率,在避免不必要的 FFR_{CT} 或其他相关检查的同时,更好地识别特异性缺血病变,提高医疗资源的合理使用,适合在临床中推广应用。

参考文献

- [1] Nørgaard BL, Gaur S, Fairbairn TA, et al. Prognostic value of coronary computed tomography angiographic derived fractional flow reserve: a systematic review and meta-analysis[J]. Heart, 2022,108(3):194–202.
- [2] 张朋宾,王春元,张 岩. 计算冠状动脉生理学研究进展[J]. 中国心血管病研究,2022,20(3):196–201.
- [3] Driessen RS, Danad I, Stuijzand WJ, et al. Comparison of coronary computed tomography angiography, fractional flow reserve and perfusion imaging for ischemia diagnosis[J]. J Am Coll Cardiol, 2019,73(2):161–173.
- [4] Nous F, Budde RPI, Fairbairn TA, et al. Temporal changes in FFR_{CT} -guided management of coronary artery disease—lessons from the ADVANCE Registry[J]. J Cardiovasc Comput Tomogr, 2021,15(1):48–55.
- [5] 肖亚楠,高传玉,尤世杰. 冠状动脉 CT 血流储备分数研究进展[J]. 国际心血管病杂志,2022,49(1):44–47.
- [6] 谭 宽,胡允兆. 基于 CT 血流储备分数指导冠心病诊疗进展[J]. 医学理论与实践,2020,33(9):1409–1411.
- [7] Stegehuis V, Westra J, Boerhout C, et al. Three-dimensional angiographic characteristics versus functional stenosis severity in fractional and coronary flow reserve discordance: a DEFINE FLOW sub study [J]. Diagnostics(Basel), 2022,12(7):1770.
- [8] Ahmadi A, Kini A, Narula J. Discordance between ischemia and stenosis, or PINSS and NIPSS:are we ready for new vocabulary[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2015,8(1):111–114.
- [9] Nørgaard BL, Terkelsen CJ, Mathiassen ON, et al. Coronary CT angiographic and flow reserve-guided management of patients with stable ischemic heart disease[J]. J Am Coll Cardiol, 2018,72(18):2123–2134.
- [10] Scanlon PJ, Faxon DP, Audet AM, et al. ACC/AHA guidelines for coronary angiography. A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on practice guidelines (Committee on Coronary Angiography). Developed in collaboration with the Society for Cardiac Angiography and Interventions[J]. J Am Coll Cardiol, 1999,33(6):1756–1824.
- [11] Cury RC, Abbata S, Achenbach S, et al. CAD-RADS™: coronary artery disease—reporting and data system: an expert consensus document of the Society of Cardiovascular Computed Tomography(SCCT), the American College of Radiology(ACR) and the North American Society for Cardiovascular Imaging(NASCI). Endorsed by the American College of Cardiology[J]. J Am Coll Radiol, 2016,13(12 Pt A):1458–1466. e9.
- [12] Voros S, Rinehart S, Qian Z, et al. Coronary atherosclerosis imaging by coronary CT angiography: current status, correlation with intravascular interrogation and meta-analysis[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2011,4(5):537–548.
- [13] Senoner T, Plank F, Barbieri F, et al. Added value of high-risk plaque criteria by coronary CTA for prediction of long-term outcomes[J]. Atherosclerosis, 2020,300:26–33.
- [14] 史晓喆,陶欣慰,胡秀华,等. 引起冠状动脉功能学缺血性的斑块特征分析[J]. 临床放射学杂志,2022,41(5):886–891.
- [15] 蒋文溪,于 雪. CT 血流储备分数对冠心病诊疗的指导价值[J].

- 心肺血管病杂志,2022,41(1):98-102.
- [16] 严立,程琦. CCTA 诊断冠状动脉支架内再狭窄的价值及再狭窄相关因素分析[J]. 中国临床新医学,2019,12(6):646-649.
- [17] 黄晶,徐日新,王大新. 中性粒细胞与高密度脂蛋白胆固醇比值与急性冠脉综合征患者冠状动脉狭窄病变程度的关联性分析[J]. 中国临床新医学,2023,16(3):264-268.
- [18] 王蔚然,王蓉,王更新,等. 基于冠状动脉 CT 特征的机器学习技术评价冠状动脉粥样硬化斑块风险[J]. 中华老年多器官疾病杂志,2021,20(9):702-706.
- [19] Ybarra LF, Szarf G, Ishikawa W, et al. Diagnostic accuracy of 320-row computed tomography for characterizing coronary atherosclerotic plaques: comparison with intravascular optical coherence tomography[J]. Cardiovasc Revasc Med, 2020,21(5):640-646.
- [20] Driessen RS, de Waard GA, Stuijzfand WJ, et al. Adverse plaque characteristics relate more strongly with hyperemic fractional flow reserve and instantaneous wave-free ratio than with resting instantaneous wave-free ratio[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2020,13(3):746-756.
- [21] Driessen RS, Stuijzfand WJ, Raijmakers PG, et al. Effect of plaque burden and morphology on myocardial blood flow and fractional flow reserve[J]. J Am Coll Cardiol, 2018,71(5):499-509.
- [22] Shmilovich H, Cheng VY, Tamarappoo BK, et al. Vulnerable plaque features on coronary CT angiography as markers of inducible regional myocardial hypoperfusion from severe coronary artery stenoses[J]. Atherosclerosis, 2011,219(2):588-595.
- [23] Obaid DR, Calvert PA, Brown A, et al. Coronary CT angiography features of ruptured and high-risk atherosclerotic plaques: correlation with intra-vascular ultrasound[J]. J Cardiovasc Comput Tomogr, 2017,11(6):455-461.
- [24] Doris MK, Otaki Y, Arnson Y, et al. Non-invasive fractional flow reserve in vessels without severe obstructive stenosis is associated with coronary plaque burden[J]. Cardiovasc Comput Tomogr, 2018,12(5):379-384.
- [25] 窦冠华. 基于冠脉 CTA 的斑块定量分析及 CT-FFR 对冠脉病变特异性缺血的诊断价值研究[D]. 北京:中国人民解放军医学院,2020.
- [26] Nakazato R, Park HB, Gransar H, et al. Additive diagnostic value of atherosclerotic plaque characteristics to non-invasive FFR for identification of lesions causing ischaemia: results from a prospective international multicentre trial[J]. Eurointervention, 2016,12(4):473-481.
- [27] Gaur S, Øvrehus KA, Dey D, et al. Coronary plaque quantification and fractional flow reserve by coronary computed tomography angiography identify ischaemia-causing lesions[J]. Eur Heart J, 2016,37(15):1220-1227.
- [28] van Diemen PA, Schumacher SP, Driessen RS, et al. Coronary computed tomography angiography and [^{15}O]H $_2$ O positron emission tomography perfusion imaging for the assessment of coronary artery disease[J]. Neth Heart J, 2020,28(Suppl 1):57-65.
- [29] Fairbairn TA, Nieman K, Akasaka T, et al. Real-world clinical utility and impact on clinical decision-making of coronary computed tomography angiography-derived fractional flow reserve: lessons from the ADVANCE Registry[J]. Eur Heart J, 2018,39(41):3701-3711.
- [30] Tonino PA, Fearon WF, De Bruyne B, et al. Angiographic versus functional severity of coronary artery stenoses in the FAME study fractional flow reserve versus angiography in multivessel evaluation[J]. J Am Coll Cardiol, 2010,55(25):2816-2821.
- [31] 易妍,王怡宁,金征宇. FFR $_{\text{CT}}$ 对冠心病诊断的临床应用进展[J]. 国际医学放射学杂志,2018,41(3):263-267.
- [收稿日期 2023-08-11][本文编辑 余军 蒋龙艳]

本文引用格式

杨飞,陈蓉,杨智翔,等. 阻塞性冠心病患者 CCTA 高危斑块特征和冠状动脉狭窄程度与冠状动脉血流储备分数异常的关联性分析[J]. 中国临床新医学,2024,17(1):47-51.