临床研究 DOI：10.13406/j.cnki.cyxb.003927

# 基于人工智能的冠状动脉周围脂肪衰减指数联合狭窄率及斑块特征预测心肌缺血的价值

方 慧，殷 润，金 利，方 磊
（复旦大学附属浦东医院放射科，上海 201399）

**【摘 要】目的：**探讨基于人工智能的冠状动脉周围脂肪衰减指数（fat attenuation index，FAI）联合冠状动脉CT血管成像（coronary CT angiography，CCTA）诊断的狭窄率与斑块特征预测心肌缺血的价值。**方法：**回顾性分析2024年5月至2024年12月在复旦大学附属浦东医院行CCTA检查的资料，共纳入231例患者及其310个斑块。基于斑块分析CT血流储备分数（CT derived fractional flow reserve，CT-FFR）、FAI、狭窄率及斑块特征，根据CT-FFR≤0.80和CT-FFR>0.80，分为心肌缺血组和非心肌缺血组。比较FAI、狭窄率及斑块特征在2组间的差异；使用logistic回归分析筛选出心肌缺血的独立危险因素，构建并比较不同模型对心肌缺血的预测价值。**结果：**FAI、狭窄率、斑块总体积、斑块长度、脂质斑块体积、纤维斑块体积、钙化斑块占比在2组间差异有统计学意义（$P<0.05$）；脂质斑块占比、纤维斑块占比、钙化斑块体积、高危斑块占比在2组间差异无统计学意义（$P>0.05$）。与单一预测模型相比，FAI、狭窄率、斑块长度＋脂质斑块体积的联合模型具有最高的预测效能（AUC=0.843，$P<0.05$）。**结论：**FAI、狭窄率、斑块长度、脂质斑块体积是心肌缺血的独立危险因素；FAI、狭窄率、斑块长度＋脂质斑块体积的预测模型均对心肌缺血有较好的预测价值；联合应用可提高对心肌缺血的预测效能。

**【关键词】**冠状动脉疾病；人工智能；脂肪衰减指数；血流储备分数
**【中图分类号】**R445.3 **【文献标志码】**A

# Value of artificial intelligence-based pericoronary fat attenuation index combined with stenosis rate and plaque characteristics in predicting myocardial ischemia

*Fang Hui, Yin Run, Jin Li, Fang Lei*
(*Department of Radiology, Pudong Hospital Affiliated to Fudan University*)

**【Abstract】*Objective*:** To investigate the value of artificial intelligence-based pericoronary fat attenuation index (FAI) combined with stenosis rate and plaque characteristics diagnosed by coronary CT angiography (CCTA) in predicting myocardial ischemia. ***Methods*:** A retrospective analysis was performed for the data of 231 patients (310 plaques) who underwent CCTA in Pudong Hospital Affiliated to Fudan University from May to December 2024. CT-derived fractional flow reserve (CT-FFR), FAI, stenosis rate, and plaque characteristics were analyzed, and according to CT-FFR≤0.80 and CT-FFR>0.80, the patients were divided into myocardial ischemia group and non-myocardial ischemia group. FAI, stenosis rate, and plaque characteristics were compared between the two groups, and a logistic regression analysis was used to identify independent risk factors for myocardial ischemia, construct different models, and compare the value of these models in predicting myocardial ischemia. ***Results*:** There were significant differences between the two groups in FAI, stenosis rate, total plaque volume, plaque length, lipid plaque volume, fibrous plaque volume, and the proportion of calcified plaques ($P<0.05$), while there were no significant differences between the two groups in the proportions of lipid plaque and fibrous plaques, calcified plaque volume, and the proportion of high-risk plaques ($P>0.05$). Compared with the predictive model based on a single factor, the model based on the combination of FAI, stenosis rate, plaque length, and lipid plaque volume had the highest predictive efficacy (AUC=0.843, $P<0.05$). ***Conclusion*:** FAI, stenosis rate, plaque length, and lipid plaque volume are independent risk factors for myocardial ischemia. The predictive models based on FAI, stenosis rate, plaque length, and lipid plaque volume have a good predictive value for myocardial ischemia, and the model based on the combination of these four factors can enhance the predictive efficacy for myocardial ischemia.

**【Key words】**coronary artery disease; artificial intelligence; fat attenuation index; fractional flow reserve

**作者介绍：**方 慧，Email：fanghui13855138@163.com，研究方向：心血管影像诊断。
**通信作者：**方 磊，Email：flei0601@163.com。
**基金项目：**浦东新区卫生健康委员会卫生科技面上资助项目（编号：PW2022A-09）。
**优先出版：**https://link.cnki.net/urlid/50.1046.R.20250827.1455.022（2025-08-27）

冠心病（coronary artery disease，CAD）是由于冠状动脉粥样硬化导致管腔狭窄或阻塞，从而引起心肌缺血、缺氧等一系列不良血管事件发生的心脏疾病[1]。伴随着人口老龄化的压力与城镇化进程的增速，CAD危险因素对居民健康的影响愈加明显，其患病率和死亡率仍呈现快速升高趋势，已成为全球重大的公共卫生问题[2]。冠状动脉CT血管成像（coronary CT angiography，CCTA）因其无创性及较高的阴性预测值，是目前评估CAD的首选检查方法；CCTA衍生的CT血流储备分数（CT derived fractional flow reserve，CT-FFR）可以帮助识别心肌缺血，与有创性FFR具有较高的相关性，并降低了有创性冠状动脉造影的比例[3]。冠状动脉周围脂肪衰减指数（fat attenuation index，FAI）作为CCTA的1个新型影像学指标，通过测量冠状动脉周围脂肪组织的衰减变化来反映血管周围炎症水平，其与人工智能（artificial intelligence，AI）的结合对冠心病的早期检测与预后分析具有重要的临床价值[4-5]。本研究旨在探讨基于AI的冠状动脉周围FAI联合CCTA诊断的狭窄率与斑块特征预测心肌缺血的价值，通过建立有效的预测模型，为心肌缺血的早期无创性诊断提供有价值的参考。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

回顾性搜集2024年5月至2024年12月因疑似冠心病在复旦大学附属浦东医院行CCTA检查的患者资料，纳入标准：①年龄≥18岁，临床资料和影像资料完整；②冠状动脉狭窄率在30%~90%之间，管腔直径>2 mm。排除标准：①图像质量差，无法进行影像分析；②既往冠状动脉支架植入术或旁路搭桥术；③冠状动脉起源异常。本研究已通过本院医学伦理委员会批准（审查批号：2025-Ⅱ T-011-E01）。

### 1.2 检查方法

采用西门子第二代双源CT（Definition Flash CT）进行扫描，患者仰卧位，扫描范围从气管隆突下到心底。扫描参数：管电压120 kV，采用自动管电流调节技术（CareDose4D），重建层厚0.75 mm，重建间距0.50 mm。采用前瞻性心电门控，经右肘静脉注入对比剂，对比剂用量50~70 mL，注射速率5.0 mL/s，将感兴趣区（region of interest，ROI）放置在主动脉弓，阈值为100 HU，延迟3 s启动扫描，对比剂注射完成后，随即以5.0 mL/s注射生理盐水50 mL。

### 1.3 图像处理及数据分析

目标斑块的识别主要基于CCTA原始轴面图像以及处理后的重建图像信息，图像处理均在血管CT影像辅助诊断系统（Dr.Wise-CCTAS，V1.1.0.1）上进行，该系统基于AI算法，可自动计算出CT-FFR、FAI、CCTA狭窄率，自动勾画并计算出斑块的不同成分及占比。选择右冠状动脉、左前降支及左回旋支的斑块作为研究对象，当单支血管存在多处斑块时，以狭窄率最高处的斑块为目标斑块。CT-FFR及FAI的测量由2名具有10年以上心血管诊断经验的影像科医师独立完成，将2人测量之后的平均值纳入分析，高危斑块的判断由以上2名医师共同分析确定。

CT-FFR计算：测量位置在目标斑块远端1~2 cm处，本研究将CT-FFR阈值设为0.80，CT-FFR≤0.80时定义为心肌缺血组（存在血流动力学显著性缺血）；CT-FFR>0.80时纳入非心肌缺血组（无血流动力学显著性缺血）。

FAI测量：FAI阈值范围为-190~-30 Hounsfield单位（Hounsfield unit，HU），ROI为目标斑块所在节段的冠状动脉外壁周围脂肪组织，人工调整纵向测量范围为斑块的长度，径向测量范围为相应节段的血管直径。

CCTA狭窄率：AI软件智能分割冠状动脉管腔中心线及内-外膜边界，必要时可手动编辑。狭窄程度计算公式为：狭窄率（%）=（参考管腔直径-狭窄处管腔直径）/参考管腔直径×100%。

CCTA斑块特征：AI软件自动分析并分别计算出斑块长度、斑块的成分及占比。AI软件根据斑块内部成分的CT值，分为脂质成分（-100~49 HU），纤维成分（49~150 HU）、钙化成分（150~1 300 HU）。根据文献[6]中的定义判定高危斑块的征象有正性重构、低密度斑块、餐巾环征和点状钙化。

### 1.4 统计学方法

使用R4.4.1软件进行所有数据的分析。符合正态分布的计量资料用均数±标准差（$\bar{x}\pm s$）表示，2组间比较采用独立样本$t$检验；非正态分布的计量资料用$M_d(P_{25},P_{75})$表示，2组间比较采用Mann-Whitney $U$检验；计数资料采用率或构成比（%）表示，2组间比较采用卡方检验。采用logistic回归分析心肌缺血的独立危险因素并建立模型，以受试者工作特征（receiver operating characteristic curve，ROC）曲线评价不同模型的预测效能，采用DeLong检验对各模型的曲线下面积（area under the curve，AUC）进行比较，并采用Bonferroni校正来调整多重比较的$P$值。检验水准$\alpha$=0.05。绘制列线图对联合预测模型进行可视化，采用Hosmer-Lemeshow检验评价模型拟合优度，$P$>0.05为模型拟合效果良好。

## 2 结 果

### 2.1 一般临床资料

最终纳入231例患者，其中心肌缺血组97例（斑块116个），非心肌缺血组134例（斑块194个）。两组基线临床资料（年龄、性别、吸烟史及合并症等）差异均无统计学意义（均$P$>0.05）（表1）。

### 2.2 2组影像参数的比较

FAI、狭窄率、斑块总体积、斑块长度、脂质斑块体积、纤维斑块体积、钙化斑块占比组间差异有统计学意义（$P$<0.05）；脂质斑块占比、纤维斑块占比、钙化斑块体积、高危斑块占比组间差异无统计学意义（$P$>0.05）（表2）。

表1　2组一般临床资料比较（$\bar{x}\pm s$；$n$，%）

| 项目 | 心肌缺血组（$n$=97） | 非心肌缺血组（$n$=134） | $t/\chi^2$值 | $P$值 |
|---|---|---|---|---|
| 年龄（岁） | 61.44±14.19 | 63.00±11.37 | −0.89 | 0.373 |
| 性别（男） | 57（58.76） | 75（55.97） | 0.08 | 0.773 |
| 吸烟史 | 42（43.30） | 41（30.60） | 3.41 | 0.065 |
| 糖尿病 | 17（17.53） | 28（20.90） | 0.22 | 0.639 |
| 高血压 | 38（39.18） | 58（43.28） | 0.24 | 0.624 |
| 高血脂 | 40（41.24） | 58（43.28） | 0.03 | 0.861 |

### 2.3　心肌缺血危险因素分析

将组间差异有统计学意义的参数纳入单因素和多因素logistic分析，发现FAI、狭窄率、斑块长度及脂质斑块体积是心肌缺血的独立危险因素（表3）。

### 2.4　心肌缺血预测模型的构建

根据分类建立预测心肌缺血的模型：模型1（FAI）、模型2（狭窄率）、模型3（斑块长度+脂质斑块体积）、模型4（即联合模型，模型1+模型2+模型3）。DeLong检验显示模型1、模型2、模型3的AUC两两比较差异无统计学意义（均$P$>0.05）。模型4预测心肌缺血发生的AUC优于模型1、模型2、模型3的单独预测价值（图1，表4），差异有统计学意义（$Z$=4.682，$P$<0.001；$Z$=4.068，$P$<0.001；$Z$=3.493，$P$<0.001）。

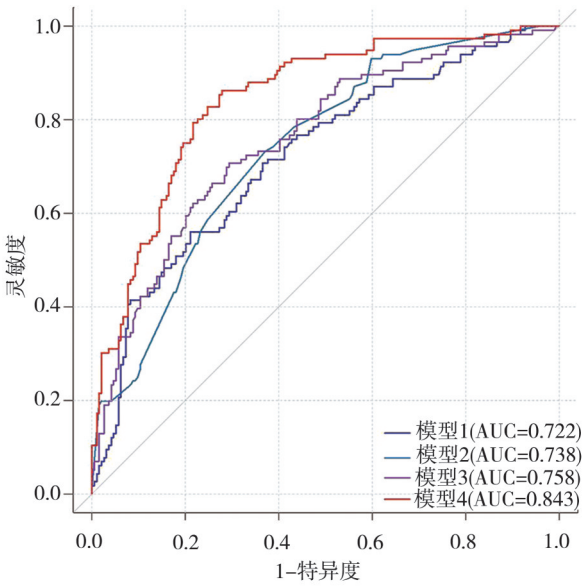



图1　预测心肌缺血的ROC曲线

### 2.5　列线图预测模型构建与评价

使用列线图对模型4进行可视化（图2）。联合模型的AUC值为0.843（95%CI=0.798~0.887），说明该模型对心肌缺血有良好的区分度。Hosmer-Lemeshow检验结果（$\chi^2$=11.451，$P$=0.177），表明联合模型的拟合效果良好。

表2　2组影像参数比较[$M_d$（$P_{25}$，$P_{75}$）；$n$，%]

| 参数 | 心肌缺血组（$n$=97，斑块数=116） | 非心肌缺血组（$n$=134，斑块数=194） | $Z/\chi^2$值 | $P$值 |
|---|---|---|---|---|
| FAI（HU） | −73.92（−78.35，−70.46） | −79.65（−84.95，−75.54） | −6.546 | <0.001 |
| 狭窄率（%） | 65（56，73.50） | 55（40，60） | −7.061 | <0.001 |
| 斑块总体积（$mm^3$） | 129.45（68.79，217.56） | 44.35（20.57，98.64） | −6.521 | <0.001 |
| 斑块长度（mm） | 38.73（26.92，53.69） | 24.35（14.70，38.87） | −5.282 | <0.001 |
| 脂质斑块体积（$mm^3$） | 6.04（1.35，15.65） | 0.19（0，1.73） | −9.017 | <0.001 |
| 脂质斑块占比（%） | 0.03（0.01，0.09） | 0.03（0，0.07） | −1.637 | 0.102 |
| 纤维斑块体积（$mm^3$） | 37.75（13.78，78.32） | 10.64（4.14，18.96） | −7.455 | <0.001 |
| 纤维斑块占比（%） | 0.33（0.17，0.54） | 0.29（0.12，0.67） | −0.376 | 0.707 |
| 钙化斑块体积（$mm^3$） | 62.89（31.43，106.79） | 56.29（15.54，135.27） | −0.291 | 0.772 |
| 钙化斑块占比（%） | 0.55（0.26，0.79） | 0.74（0.39，0.86） | −3.168 | 0.002 |
| 高危斑块占比（%） | 60（51.72） | 84（43.30） | 1.747 | 0.186 |

表3　心肌缺血风险因素分析

| 项目 | 单因素分析 | | 多因素分析 | |
|---|---|---|---|---|
| | $OR$（95%CI） | $P$值 | $OR$（95%CI） | $P$值 |
| FAI | 1.131（1.087~1.178） | <0.001 | 1.149（1.094~1.206） | <0.001 |
| 狭窄率 | 1.061（1.042~1.080） | <0.001 | 1.043（1.022~1.065） | <0.001 |
| 斑块长度 | 1.030（1.017~1.042） | <0.001 | 1.022（1.001~1.043） | 0.038 |
| 斑块总体积 | 1.005（1.003~1.007） | <0.001 | 1.002（0.998~1.006） | 0.299 |
| 脂质斑块体积 | 1.069（1.041~1.098） | <0.001 | 1.046（1.001~1.092） | 0.044 |
| 纤维斑块体积 | 1.020（1.013~1.028） | <0.001 | 0.995（0.980~1.011） | 0.554 |
| 钙化斑块占比 | 0.325（0.148~0.712） | 0.005 | 0.676（0.183~2.494） | 0.557 |

表4　不同模型对心肌缺血的预测价值

| 参数 | AUC | 95%CI | 灵敏度（%） | 特异度（%） |
|---|---|---|---|---|
| 模型1 | 0.722 | 0.663~0.781 | 56.0 | 78.9 |
| 模型2 | 0.738 | 0.683~0.793 | 73.3 | 62.9 |
| 模型3 | 0.758 | 0.703~0.813 | 70.7 | 70.6 |
| 模型4 | 0.843 | 0.798~0.887 | 86.2 | 72.2 |

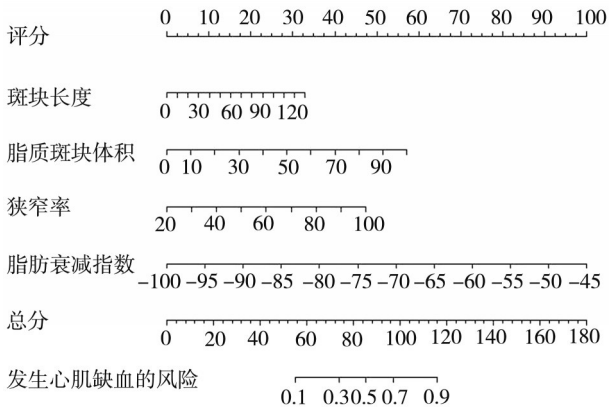


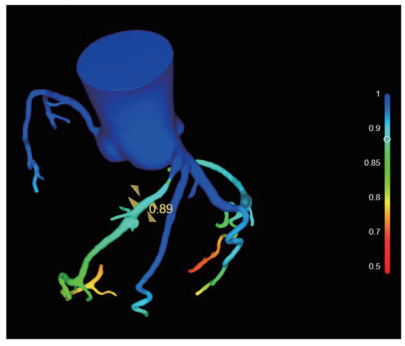

图2　发生心肌缺血的联合预测模型列线图

2.6　典型病例

典型病例1，见图3，患者女，79岁，主诉“胸闷”入院，影像学检查结果。



A. CCTA曲面重组图像：左前降支近段混合性斑块，管腔狭窄率70%




B. CT-FFR分析：CT-FFR值为0.89，符合非心肌缺血组判定标准



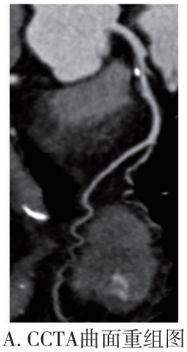
C. 斑块周围脂肪组织影像




D. FAI测定：FAI值约为−76.99 HU

图3　非心肌缺血组病例

典型病例2，见图4，患者女性，57岁，主诉胸闷入院，影像学检查结果。



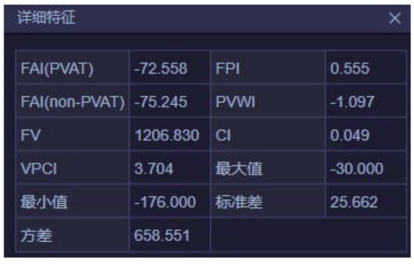
A. CCTA曲面重组图像：左前降支近段~中段混合性斑块，管腔狭窄率68%




B. CT-FFR分析：CT-FFR值为0.77，符合心肌缺血组判定标准



C. 斑块周围脂肪组织影像




D. FAI测定：FAI值约为−72.56 HU

图4　心肌缺血组病例

## 3　讨　论

AI结合CCTA在冠心病的诊断、治疗、风险和预后评估的全程管理中发挥着越来越重要的作用，传统的CCTA手动重建和测量分析方法正逐渐被AI自动辅助诊断技术所取代，在未来的CCTA影像诊断过程中，AI技术将为临床提供更为精确和个性化的风险分层及预后评估，最终使广大患者受益[7]。鉴于现有技术条件下CT-FFR与有创FFR较高的一致性，本研究根据CT-FFR进行分组，筛选出了心肌缺血发生的独立危险因素，分析了不同模型对心肌缺血的预测价值，并使用列线图对联合模型进行可视化分析，发现联合模型的预测效能最高。

本研究通过对比2组冠状动脉斑块周围FAI差异，结果显示FAI是心肌缺血的独立危险因素。王钰璇等[8]通过CT-FFR将患者分为心肌缺血组和非心肌缺血组，研究显示FAI均值是心肌缺血的独立危险因素，AUC为0.724。陆意歌等[9]研究结果表明，心肌缺血组斑块周围FAI明显高于非心肌缺血组，使用机器学习模型进一步分析，准确率达到了

0.903，AUC 为 0.931。Long YF 等[10]研究结果表明，FAI 是心肌缺血的重要预测因子，AUC 为 0.781。本研究与以上结果相仿，均提示 FAI 对心肌缺血有一定的预测价值。此外，很多研究亦表明 FAI 在冠状动脉疾病中的一级和二级预防中都具有重要的预后价值，不仅与疾病诊断、进展及斑块不稳定性相关，还能改善心脏风险分层，优化治疗策略[4-5,11-12]。原因可能是：炎症改变了冠状动脉周围脂肪组织（pericoronary adipose tissue，PCAT）的生物学特性，导致 PCAT 中的脂质含量和水分含量变化，从而增大了 PCAT 密度。

本研究发现 CCTA 狭窄率是发生心肌缺血的独立危险因素，这与既往研究[13-14]一致。原因可能是冠状动脉狭窄程度的增加通常会导致血流的减少，进而导致相应区域发生心肌缺血性损伤。但是，冠状动脉管腔解剖狭窄程度与心肌缺血的发生并非完全一致，仅依赖于冠状动脉狭窄程度来决定是否进行血管重建可能会低估或高估冠状动脉病变的风险[15]。因此，在评估冠状动脉疾病时，除了传统的狭窄率需要评估外，还应重视斑块特征，以更准确地识别缺血性病变。本研究发现斑块长度及脂质斑块体积是心肌缺血的危险因素。有研究表明，病变长度与 FFR 呈负相关，病变长度>16.1 mm 可以有效预测心肌缺血[16]。原因可能与血管局部压力及其供血区域的血流灌注密切相关[6]，病变长度对狭窄处压力损失的影响可由泊肃叶定律和伯努利原理来解释[17]。较大的脂质斑块容易引起斑块的不稳定，诱发冠状动脉扩张性受限及微血管功能障碍，引起冠状动脉血流动力学异常，从而导致心肌发生缺血性损伤[18]。本研究发现高危斑块占比在组间差异无统计学意义，与既往研究[13,19-21]一致。可能的原因是：高危斑块形态特征指标可预示斑块破裂风险，在前瞻性研究观察斑块变化及斑块破裂引起急性冠状动脉综合征中有价值，但与斑块引起的心肌缺血损伤无直接相关性[21]。

本研究根据分类分别建立模型 1（FAI）、模型 2（狭窄率）、模型 3（斑块长度+脂质斑块体积），模型 4（联合模型，模型 1+模型 2+模型 3），其 AUC 分别为 0.722、0.738、0.758、0.843，DeLong 检验显示模型 1、模型 2、模型 3 的 AUC 两两比较差异无统计学意义；模型 4 预测心肌缺血的效能优于模型 1、模型 2、模型 3 的单独使用，差异有统计学意义。Long YF 等[10]研究表明，FAI 预测心肌缺血虽有一定效果，但低于斑块长度，结合 FAI 与斑块长度的联合模型在识别心肌缺血方面有良好诊断效能。Ma SW 等[22]研究表明，病灶周围 FAI 与 CCTA 狭窄率是心肌缺血发生的预测因子，FAI 结合 CCTA 狭窄率可以提高对心肌缺血的预测价值。Yan HK 等[23]研究结果表明，在 CAD 患者中，FAI、狭窄程度和斑块特征可作为预测病变缺血的有效指标，相比于单独使用冠状动脉狭窄来评估缺血性病变，采用 FAI 和斑块定量评估的组合方法可以更有效地识别缺血病变。以上研究与本研究结果相仿，即均表明联合 CCTA 多参数可以提高对心肌缺血的预测价值。同时提示心肌缺血的发生可能由多种复杂因素共同导致，采用单一 CCTA 参数难以准确对病变进行全面评估。

本研究存在局限性：①本研究为样本量较少的单中心、回顾性研究，未考虑其他炎症标志物及验证长期预后价值；②本研究以 CT-FFR 为分组标准，虽然与有创 FFR 有较高的一致性；③本研究没有对斑块进行连续性随访以明确肇事斑块。未来可开展前瞻性的多中心研究，建立大样本的斑块随访队列来验证本次预测模型。

综上，基于 AI 的 FAI、狭窄率、斑块几何参数（长度+脂质核心体积）对心肌缺血发生具有较好的预测价值，联合应用提高了对心肌缺血的预测效能，有助于为临床更好的识别出心肌缺血高风险患者并优化治疗策略提供参考。

**利益冲突** 所有作者声明不存在利益冲突

**作者贡献声明** 方慧：实施研究、论文撰写；殷润：数据收集；金利：分析数据；方磊：研究方案设计、论文修改

## 参 考 文 献

[1] 李俊清，刘丽君，鲍海龙，等. 颈动脉粥样硬化与冠心病关系的研究进展[J]. 中国医药，2022，17(9)：1418-1422.
Li JQ，Liu LJ，Bao HL，et al. Research progress on the relationship between carotid atherosclerosis and coronary atherosclerotic heart disease[J]. Chinese Medicine，2022，17(9)，1418-1422.

[2] 刘明波，何新叶，杨晓红，等.《中国心血管健康与疾病报告2023》要点解读[J]. 中国全科医学，2025，28(1)：20-38.
Liu MB，He XY，Yang XH，et al. Interpretation of Report on Cardiovascular Health and Diseases in China 2023[J]. Chinese General Practice，2025，28(1)：20-38.

[3] Guo B，Xing W，Hu C，et al. Clinical effectiveness of automated coronary CT-derived fractional flow reserve：a Chinese randomized controlled trial[J]. Radiology，2024，313(1)：e233354.

[4] Simantiris S, Pappa A, Papastamos C, et al. Perivascular fat: a novel risk factor for coronary artery disease[J]. Diagnostics (Basel), 2024,14(16):1830.

[5] Antonopoulos AS, Sanna F, et al. Detecting human coronary inflammation by imaging perivascular fat[J]. Sci Transl Med, 2017, 9(398): eaal2658.

[6] 赵 娜,高 扬,徐 波,等. 基于冠状动脉CT血管成像的狭窄率与斑块特征联合分析对提高CT诊断心肌缺血效能的价值[J]. 中华放射学杂志,2021,55(1):40-47.

Zhao N, Gao Y, Xu B, et al. The value of combined analysis of plaque characteristics and stenosis based on coronary CT angiography in improving CT diagnostic performance for lesion-specific myocardial ischemia[J]. Chin J Radiol, 2021,55(1):40-47.

[7] 谢圆圆,李冬梅,毛鑫乐,等. 人工智能在超声诊断冠心病中的应用现状[J/OL]. 中华医学超声杂志(电子版),2024,21(2):170-174.

Xie YY, Li DM, Mao XL, et al. Application of artificial intelligence in ultrasonic diagnosis of coronary heart disease[J/OL]. Chin J Med Ultrasound Electron Ed, 2024,21(2):170-174.

[8] 王钰璇,任 超,孙宵宇,等. 冠状动脉周围脂肪衰减指数、冠状动脉狭窄程度及肝脏脂肪含量与心肌缺血的关系研究[J]. 中国医学计算机成像杂志,2024,30(4):421-426.

Wang YX, Ren C, Sun XY, et al. Study on the Relationship of Myocardial Ischemia with Pericoronary Fat Attenuation Index, Degree of Coronary Artery Stenosis and Liver Fat Content[J]. Chin Comput Med Imag, 2024,30(4):421-426.

[9] 陆意歌,何 玮,林泓言,等. CT冠状动脉周围脂肪衰减结合机器学习算法诊断冠心病心肌缺血[J]. 中国动脉硬化杂志,2024,32(6):514-520.

Lu YG, He W, Lin HY, et al. CT coronary perivascular fat attenuation combined with machine learning algorithms for diagnosis of myocardial ischemia in coronary heart disease[J]. Chin J Arterioscler, 2024,32(6):514-520.

[10] Long YF, Guo R, Jin KY, et al. Analysis of the perivascular fat attenuation index and quantitative plaque parameters in relation to haemodynamically impaired myocardial ischaemia[J]. Int J Cardiovasc Imag, 2024,40(7):1455-1463.

[11] Klüner LV, Oikonomou EK, Antoniades C. Assessing cardiovascular risk by using the fat attenuation index in coronary CT angiography [J]. Radiol Cardiothorac Imaging, 2021,3(1):e200563.

[12] Lu ZF, Yin WH, Schoepf UJ, et al. Prediction value of pericoronary fat attenuation index for coronary in-stent restenosis[J]. Eur Radiol, 2024,34(8):4950-4959.

[13] Yu MM, Dai X, Deng JH, et al. Diagnostic performance of perivascular fat attenuation index to predict hemodynamic significance of coronary stenosis: a preliminary coronary computed tomography angiography study[J]. Eur Radiol, 2020,30(2):673-681.

[14] Wang J, Wu QX, Zeng SY, et al. Nomogram for evaluating coronary revascularisation necessity based on multi-parameter coronary CT angiography[J]. Clin Radiol, 2023,78(7):e526-e534.

[15] 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.

Chen LD, Tu SX, Li ZH, et al. Impact of coronary plaque on the precision of computational fractional flow reserve derived from CTA[J]. J Sun Yat Sen Univ Med Sci, 2023,44(5):823-829.

[16] Iguchi T, Hasegawa T, Nishimura S, et al. Impact of lesion length on functional significance in intermediate coronary lesions[J]. Clin Cardiol, 2013,36(3):172-177.

[17] Shibutani H, Fujii K, Matsumura K, et al. Differential influence of lesion length on fractional flow reserve in intermediate coronary lesions between each coronary artery[J]. Catheter Cardiovasc Interv, 2020,95(6): e168-e174.

[18] Ahmadi N, Ruiz-Garcia J, Hajsadeghi F, et al. Impaired coronary artery distensibility is an endothelium-dependent process and is associated with vulnerable plaque composition[J]. Clin Physiol Funct Imaging, 2016,36(4):261-268.

[19] Yu MM, Lu ZG, Shen CX, et al. The best predictor of ischemic coronary stenosis: subtended myocardial volume, machine learning-based FFRCT, or high-risk plaque features [J]. Eur Radiol, 2019, 29(7):3647-3657.

[20] Waksman R, Legutko J, Singh J, et al. FIRST: fractional flow reserve and intravascular ultrasound relationship study[J]. J Am Coll Cardiol, 2013,61(9):917-923.

[21] 高 艳,顾 慧,杨世锋,等. 基于冠状动脉CT血管成像的斑块定量分析及其与心肌缺血损伤的相关性研究[J]. 中华放射学杂志,2020,54(2):129-135.

Gao Y, Gu H, Yang SF, et al. Correlation study of coronary plaque quantitative analysis and myocardial ischemic injury based on coronary CT angiography[J]. Chin J Radiol, 2020,54(2):129-135.

[22] Ma S, Chen X, Ma Y, et al. Lesion-specific peri-coronary fat attenuation index is associated with functional myocardial ischemia defined by abnormal fractional flow reserve[J]. Front Cardiovasc Med, 2021,8:755295.

[23] Yan HK, Zhao N, Geng WL, et al. Pericoronary fat attenuation index and coronary plaque quantified from coronary computed tomography angiography identify ischemia-causing lesions[J]. Int J Cardiol, 2022,357:8-13.

（收稿：2025-03-09；修回：2025-04-21；录用：2025-05-10）

（责任编辑：周一青）

本文引用格式：

方 慧,殷 润,金 利,等. 基于人工智能的冠状动脉周围脂肪衰减指数联合狭窄率及斑块特征预测心肌缺血的价值[J]. 重庆医科大学学报,2026,51(5):709-714.