

分类号：
学号：20212114047

密级：公开
单位代码：10759

石河子大学

硕士学位论文



胰岛素抵抗替代指标与 PCAD 的关系探究 及风险预测模型构建

学位申请人	甄旭东
指导教师	刘克坚
申请学位类别	专业硕士
专业名称	临床医学
研究领域	内科学
所在学院	医学院

中国·新疆·石河子

2024年5月

分类号：
学号：20212114047

密级：公开
单位代码：10759

石河子大学

硕士学位论文



胰岛素抵抗替代指标与 PCAD 的关系探究 及风险预测模型构建

学位申请人	甄旭东
指导教师	刘克坚
申请学位类别	专业硕士
专业名称	临床医学
研究领域	内科学
所在学院	医学院

中国·新疆·石河子

2024年5月

**Exploring the relationship between insulin resistance
substitute indicators and PCAD, as well as constructing a risk
prediction model**

A Dissertation Submitted to

Shihezi University

In Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of Medicine

By

Zhen Xu-dong

(Internal Medicine)

Dissertation Supervisor:Liu Ke-jian

May. 2024

石河子大学学位论文独创性声明及使用授权声明

学位论文独创性声明

本人所提交的学位论文是在我导师的指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含其他个人已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中作了明确的说明并表示谢意。

研究生签名：甄旭东

时间：2024年5月15日

使用授权声明

本人完全了解石河子大学有关保留、使用学位论文的规定，学校有权保留学位论文并向国家主管部门或指定机构送交论文的电子版和纸质版。有权将学位论文在学校图书馆保存并允许被查阅。有权自行或许可他人将学位论文编入有关数据库提供检索服务。有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

研究生签名：甄旭东

时间：2024年5月15日

导师签名：刘克坚

时间：2024年5月15日

摘要

目的：探究胰岛素抵抗（IR）替代指标与早发冠心病（PCAD）发生、临床类型及严重程度之间的相关性，基于患者的 IR 替代指标、基本资料以及临床检验指标，开发并验证机器学习算法，有效预测 PCAD 的发生。

方法：本研究纳入 2017 年 1 月至 2023 年 12 月期间在石河子大学第一附属医院心内科首次接受冠状动脉造影术(CAG)，且年龄满足男性<55 岁、女性<65 岁的患者 793 例。经 CAG 确诊 PCAD 组 446 例，其中稳定性心绞痛（SAP）组 109 例，不稳定性心绞痛（UAP）组 148 例，急性心肌梗死（AMI）组 189 例，选取同期行 CAG 除外冠状动脉粥样硬化性心脏病（CAD）的 347 例作为对照组。收集研究对象的基本资料、实验室检验指标、CAG 结果视图及检查结果，并计算出 IR 替代指标：甘油三酯葡萄糖指数(TyG 指数)、甘油三酯与高密度脂蛋白胆固醇比值(TG/HDL-C 比值)、胰岛素抵抗代谢评分（METS-IR 评分）。采用 R4.3.1 软件分析 PCAD 组与对照组间所有资料的差异性，计量资料的组间比较采用 t 检验，计数资料的组间比较采用卡方检验，将具有统计学意义的变量纳入多因素 logistic 回归模型分析 PCAD 的独立危险因素，应用 Gensini 评分评估冠状动脉病变严重程度并使用 Pearson 相关性分析各种指标与该评分的相关关系，并绘制 TyG 指数、TG/HDL-C 比值、METS-IR 评分诊断 PCAD 的 ROC 曲线。TyG 指数、TG/HDL-C 比值、METS-IR 评分在 PCAD 不同临床类型之间的比较采用方差分析，并使用 Tukey HSD 检验进行两两组间的差异性比较。使用 LASSO 回归对患者基本资料和实验室检验指标进行特征变量选择，并使用支持向量机构建 PCAD 的风险预测模型。以 $P<0.05$ 作为检验水准。

结果：

(1) PCAD 组与对照组中 IR 替代指标的组间比较显示：PCAD 组中 TyG 指数、TG/HDL-C 比值和 METS-IR 评分均高于对照组，其中 TyG 指数($8.82 \pm 0.53 > 8.47 \pm 0.44, P<0.001$)、TG/HDL-C 比值($4.01 \pm 2.20 > 2.75 \pm 1.48, P<0.001$)、METS-IR 评分($40.9 \pm 6.66 > 38.2 \pm 6.30, P<0.001$)，组间比较差异性极其显著 ($P<0.001$)。

(2) 将 PCAD 组与对照组中 IR 替代指标纳入校正 logistic 回归分析显示：模型 1 校正了患者基本资料显示：TyG 指数 (OR: 4.078, 95%CI: 2.835-5.866, $P<0.001$)、TG/HDL-C 比值 (OR: 1.541, 95%CI: 1.375-1.727, $P<0.001$) 以及 METS-IR 评分 (OR: 1.226, 95%CI: 1.150-1.306, $P<0.001$) 均为 PCAD 发生的独立危险因素。模型 2 进一步校正了临床检验指标显示：TyG 指数 (OR: 3.191, 95%CI: 2.045-4.979, $P<0.001$)、TG/HDL-C 比值 (OR: 1.158, 95%CI: 1.291-1.712, $P<0.001$) 以及 METS-IR 评分 (OR: 1.226, 95%CI: 1.150-1.306, $P<0.001$) 仍为 PCAD 发生的独立危险因素。

(3) IR 替代指标预测 PCAD 的 ROC 曲线分析显示：TyG 指数曲线下面积为 0.691 (95%CI:

0.654-0.727)；TG/HDL-C 比值曲线下面积为 0.693 (95% CI: 0.657-0.730)；METS-IR 评分曲线下面积为 0.623 (95%CI: 0.584-0.662)。

(4) PCAD 各临床亚组的 TyG 指数、TG/HDL-C 比值、METS-IR 评分有显著差异 ($P<0.001$)，进一步比较发现 UAP 组和 AMI 组的 TyG 指数、TG/HDL-C 比值、METS-IR 评分高于对照组和 SAP 组 ($P<0.05$)，但在 UAP 组和 AMI 组之间以及对照组和 SAP 组之间无统计学差异 ($P>0.05$)。

(5) IR 替代指标与 PCAD 患者冠脉病变严重程度 (Gensini 评分) 相关性分析显示：PCAD 组 TyG 指数、METS-IR 评分均与 Gensini 评分呈正相关 ($r=0.13$, $P=0.0055$; $r=0.13$, $P=0.0082$)。

(6) 支持向量机模型在训练集中的 AUC 值达到 0.862 (95%CI: 0.834-0.890)，准确率、灵敏度、特异度、精确率、召回率和 F1 评分分别为 0.783、0.781、0.784、0.738、0.781 和 0.759；在测试集中的 AUC 值达到 0.871 (95%CI: 0.816-0.925)，准确率、灵敏度、特异度、精确率、召回率和 F1 评分分别为 0.810、0.812、0.809、0.767、0.812 和 0.789。支持向量机的泛化能力优于其余 5 个模型，具有更强的实际应用价值。

结论：

(1) TyG 指数、TG/HDL-C 比值、METS-IR 评分是 PCAD 的独立危险因素，并且对 PCAD 发生都具有预测价值。

(2) TyG 指数、METS-IR 评分与 PCAD 的 Gensini 评分呈正相关，表明 TyG 指数、METS-IR 评分水平越高，PCAD 的冠脉病变程度越严重。

(3) TyG 指数、TG/HDL-C 比值、METS-IR 评分与 PCAD 临床类型显著相关，在 AMI 组和 UAP 组中最高，但在 UAP 组和 AMI 组之间以及对照组和 SAP 组之间无统计学差异。

(4) 利用支持向量机结合患者的 TyG 指数、TG/HDL-C 比值、METS-IR 评分、年龄、吸烟史、高血压病史、嗜酸性细胞计数、白细胞计数、血红蛋白计数、门冬氨酸转移酶、碱性磷酸酶和谷氨酰转肽酶构建的支持向量机模型预测 PCAD 性能较强，可以帮助医务工作者准确且及时了解 PCAD 患者的发病风险。

关键词：胰岛素抵抗替代指标；早发冠心病；冠脉病变严重程度；机器学习；预测模型

Abstract

Objective: Investigate the association between indicators of insulin resistance (IR) replacement and the onset, clinical presentation, and severity of premature coronary heart disease (PCAD). Utilize patient-specific IR replacement indicators, along with basic demographic data and clinical test results, to construct and validate machine learning algorithms for accurately forecasting PCAD occurrence.

Methods: This research enrolled 793 patients who underwent their initial coronary angiography (CAG) at the Department of Cardiology, First Affiliated Hospital of Shihezi University, spanning from January 2017 to December 2023, with males under 55 years and females under 65 years of age. Among them, 446 were diagnosed with PCAD through CAG, comprising 109 cases of stable angina pectoris (SAP), 148 cases of unstable angina pectoris (UAP), and 189 cases of acute myocardial infarction (AMI). The control group consisted of 347 cases of coronary atherosclerotic heart disease (CAD) excluded by CAG. Data including basic demographics, laboratory test results, CAG findings, and examination outcomes were collected for analysis. Insulin resistance (IR) surrogate markers, namely triglyceride glucose index (TyG index), triglyceride to high-density lipoprotein cholesterol ratio (TG/HDL-C ratio), and insulin resistance metabolic score (METS-IR score), were calculated. Statistical analysis was performed using R4.3.1 software, employing t-tests for quantitative data comparison and chi-square tests for categorical data. Significant variables were incorporated into a multivariate logistic regression model to identify independent risk factors for PCAD. Severity of coronary artery disease was assessed using the Gensini score, and Pearson correlation analysis explored associations between various indicators and this score. ROC curves were generated for diagnosing PCAD based on TyG index, TG/HDL-C ratio, and METS-IR score. Differences in these indicators across different clinical types of PCAD were analyzed through ANOVA, with Tukey HSD test for pairwise comparisons. Feature selection for patient demographics and laboratory tests was performed using LASSO regression, followed by building a PCAD risk prediction model with support vector machine. A significance level of $P < 0.05$ was applied throughout the analysis.

Results:

(1) Comparative analysis between the PCAD and control groups revealed elevated TyG index, TG/HDL-C ratio, and METS-IR score in the PCAD group (TyG index: $8.82 \pm 0.53 > 8.47 \pm 0.44$, $P < 0.001$; TG/HDL-C ratio: $4.01 \pm 2.20 > 2.75 \pm 1.48$, $P < 0.001$; METS-IR score: $40.9 \pm 6.66 > 38.2 \pm 6.30$, $P < 0.001$), indicating significant intergroup differences ($P < 0.001$).

(2) The inclusion of IR replacement indicators in the PCAD group and control group in the

adjusted logistic regression analysis showed that Model 1 adjusted for demographic data, which showed that TyG index (OR: 4.078, 95% CI: 2.835-5.866, $P < 0.001$), TG/HDL-C ratio (OR: 1.541, 95% CI: 1.375-1.727, $P < 0.001$), and METS-IR score (OR: 1.226, 95% CI: 1.150-1.306, $P < 0.001$) were all independent risk factors for the occurrence of PCAD. Model 2 further corrected clinical test indicators, showing that TyG index (OR: 3.191, 95% CI: 2.045-4.979, $P < 0.001$), TG/HDL-C ratio (OR: 1.158, 95% CI: 1.291-1.712, $P < 0.001$), and METS-IR score (OR: 1.226, 95% CI: 1.150-1.306, $P < 0.001$) are still independent risk factors for the occurrence of PCAD.

(3) ROC curve analysis demonstrated predictive utility for PCAD: TyG index (AUC: 0.691, 95% CI: 0.654-0.727), TG/HDL-C ratio (AUC: 0.693, 95% CI: 0.657-0.730), METS-IR score (AUC: 0.623, 95% CI: 0.584-0.662).

(4) Analysis of clinical subgroups within PCAD revealed significant differences in TyG index, TG/HDL-C ratio, and METS-IR score ($P < 0.001$). Specifically, the UAP and AMI groups exhibited higher values compared to the control and SAP groups ($P < 0.05$), with no significant difference between the UAP and AMI groups, nor between the control and SAP groups ($P > 0.05$).

(5) Correlation analysis in PCAD patients indicated positive correlations between TyG index, METS-IR score, and Gensini score (TyG index: $r = 0.13$, $P = 0.0055$; METS-IR score: $r = 0.13$, $P = 0.0082$).

(6) In the training set, the support vector machine model achieved an AUC of 0.862 (95% CI: 0.834-0.890), with corresponding accuracy, sensitivity, specificity, precision, recall, and F1 scores of 0.783, 0.781, 0.784, 0.738, 0.781, and 0.759, respectively. In the test set, the AUC was 0.871 (95% CI: 0.816-0.925), with accuracy, sensitivity, specificity, precision, recall, and F1 scores of 0.810, 0.812, 0.809, 0.767, 0.812, and 0.789, respectively. The support vector machine exhibited superior generalization ability and practical value compared to other models.

Conclusions:

(1) The TyG index, TG/HDL-C ratio, and METS-IR score emerged as independent risk factors for PCAD and demonstrated predictive capability for the condition.

(2) A positive correlation was evident between the TyG index, METS-IR score, and Gensini score in PCAD patients, indicating that higher levels of these indicators correlated with more severe coronary artery lesions.

(3) The TyG index, TG/HDL-C ratio, and METS-IR score exhibited significant associations with the clinical presentation of PCAD, notably elevated in the AMI and UAP groups. However, no statistically significant difference was observed between the UAP and AMI groups, nor between the control and SAP groups.

(4) The performance of PCAD was predicted by a Support vector machine Support vector machine

model combining TyG Index, TG-HDL-C ratio, METS-IR score, age, smoking history, hypertension history, eosinophil count, white blood cell count, hemoglobin count, L-Aspartic Acid transferase, Alkaline phosphatase and glutamyl transpeptidase, it can help medical workers to know the risk of PCAD accurately and timely.

Key words:Insulin resistance surrogate markers;Premature coronary heart disease;Severity of coronary artery disease;Machine learning; Prediction model

目 录

摘要.....	I
Abstract.....	III
中英文缩略词表.....	VIII
第 1 章 前言.....	1
第 2 章 研究对象与方法.....	5
2.1 研究对象.....	5
2.1.1 对象选择.....	5
2.1.2 入选标准.....	5
2.1.3 排除标准.....	5
2.1.4 诊断标准.....	5
2.2 研究方法.....	6
2.2.1 观察指标与检测方法.....	6
2.2.2 冠脉动脉造影术.....	7
2.2.3 冠状动脉病变程度评价（图表）.....	7
2.2.4 相关参数计算.....	7
2.2.5 分组依据.....	7
2.3 质量控制.....	8
2.3.1 样本筛选.....	8
2.3.2 数据采集.....	8
2.4 统计学方法.....	8
第 3 章 结果.....	10
3.1 PCAD 组与对照组组间各因素分析.....	10
3.1.1 PCAD 组与对照组的基本资料组间比较.....	10
3.1.2 PCAD 组与对照组的临床检验指标比较.....	11
3.1.3 PCAD 影响因素的多因素 logistic 回归分析.....	12
3.2 IR 替代指标在 PCAD 组与对照组之间的比较.....	13
3.2.1 PCAD 组与对照组 IR 替代指标比较.....	13
3.2.2 IR 替代指标的校正 logistic 回归分析.....	14
3.3 IR 替代指标对 PCAD 的预测价值.....	15
3.4 PCAD 各临床类型 IR 替代指标的比较.....	16

3.5 PCAD 冠脉病变严重程度的相关性分析	17
3.6 PCAD 预测模型的建立	20
3.6.1 PCAD 预测模型的特征变量选择	20
3.6.2 PCAD 模型的建立及预测性能评价	22
第 4 章 讨论	27
4.1 PCAD 的危险因素及临床特点	27
4.2 IR 替代指标是 PCAD 的独立危险因素	28
4.3 IR 替代指标对 PCAD 发生风险的预测价值	29
4.4 PCAD 冠脉病变严重程度的影响因素分析	30
4.5 利用支持向量机构建结合 IR 替代指标的 PCAD 预测模型	32
4.6 研究的创新性及局限性	33
第 5 章 结论	35
第 6 章 综述	36
6.1 IR 产生的分子学基础及病理生理学机制	37
6.2 IR 患者的生活管理	38
6.2.1 健康饮食可改善 IR	38
6.2.2 适度运动可改善 IR	38
6.2.3 纠正不良生活习惯可改善 IR	38
6.3 IR 在 CAD 中的作用机制	39
6.3.1 炎症反应	39
6.3.2 氧化应激	39
6.3.3 内皮功能障碍	39
6.4 IR 的评估方法	40
6.5 IR 替代指标与 CAD 的研究进展	40
6.5.1 TyG 指数与 CAD	40
6.5.2 TG/HDL-C 比值与 CAD	41
6.5.3 METS-IR 评分与 CAD	42
6.6 总结与展望	43
参考文献	44
附录	52
致谢	53
作者简介	54
导师评阅表	55

中英文缩略词表

英文缩写	英文全称	中文全称
PCAD	Premature coronary artery disease	早发冠心病
CVD	Cardiovascular disease	心血管疾病
CAD	Coronary atherosclerotic heart disease	冠状动脉粥样硬化性心脏病
TyG	Triglyceride glucose	甘油三酯葡萄糖
TG/HDL-C	Triglyceride/high-density lipoprotein cholesterol	甘油三酯/高密度脂蛋白胆固醇
METS-IR	Insulin resistance metabolic score	胰岛素抵抗代谢评分
IR	Insulin resistance	胰岛素抵抗
HOMA-IR	Evaluation of IR homeostasis model	评估稳态模型技术
HEC	Hperinsulinemic-euglycemic clamp	高胰岛素-正葡萄糖钳夹技术
CAG	Coronary angiography	冠状动脉造影术
PCI	Percutaneous coronary intervention	经皮冠脉介入治疗
AS	Atherosclerosis	动脉粥样硬化
BMI	Body mass index	身体质量指数
FPG	Fasting blood glucose	空腹血糖
AMI	Acute myocardial infarction	急性心肌梗死
SAP	Stable angina pain	稳定性心绞痛
UAP	Unstable angina pain	不稳定性心绞痛
ACS	Acute coronary syndrome	急性冠脉综合征
TG	Triglyceride	甘油三酯
LDL-C	Low-density lipoprotein cholesterol	低密度脂蛋白胆固醇
HDL-C	High-density lipoprotein cholesterol	高密度脂蛋白胆固醇
VLDL	Very low-density lipoprotein	极低密度脂蛋白
OGTT	Oral glucose tolerance test	口服糖耐量试验
NO	Nitric oxide	一氧化氮
LASSO	Absolute shrinkage and selection operator	绝对收缩与选择算子
ROC	Receiver operating characteristic	受试者工作特征
AUC	Area under the curve	曲线下面积

OR	Odds ratio	比值比
CI	Confidence interval	置信区间
HR	Hazard ratio	风险比

第 1 章 前言

目前，心血管疾病（Cardiovascular disease, CVD）在全球范围内仍具有很高的发病率和致死率，给公众健康和医疗费用带来了沉重的负担^[1]。据《中国心血管健康与疾病报告 2022》^[2]指出，中国 CVD 的发病率呈逐年升高趋势，CVD 患者现约为 3.3 亿，其中有 1139 万例为冠状动脉粥样硬化性心脏病（Coronary atherosclerotic heart disease, CAD）患者。过去 CAD 主要以中老年群体为主，但伴随着经济的发展，城市化进程的加快，生活习惯的变化，CAD 越发年轻化，疾病负担逐渐加重^[3]。由此，美国心脏病学会提出早发冠心病（Premature coronary heart disease, PCAD）的概念^[4]，为发生在年龄小于 55 岁男性和小于 65 岁女性的 CAD 患者。PCAD 的发病过程复杂且隐匿，早期诊断和干预对于提高患者的生存率至关重要，PCAD 的临床特征及相关危险因素的研究多来源于国外，欧美人群在种族、饮食、身高、体重及实验室检查等方面与中国人群有差异，不能全面反映中国人群的临床特征^[5]。并且当前诊断 CAD 的“金标准”仍是冠状动脉造影术（Coronary angiography, CAG），但它是微创操作且价格昂贵，并不适用于医疗资源相对匮乏的农村地区。因此，寻找合适的血清学标记物来评价 PCAD 的发病风险，不仅有助于降低我国农村地区不良心血管事件的发生率，还对于我国 PCAD 的防治具有重要意义。

CAD 是指冠脉内皮损伤、脂质沉积、免疫细胞及炎性因子等共同作用，造成冠脉血管管腔狭窄或阻塞，进而引起心肌缺血、缺氧、坏死等病理改变^[6]。但近年来，研究者发现胰岛素抵抗（Insulin resistance, IR）与 CAD 的发生密切相关。研究人员应用放射免疫分析技术检测血浆胰岛素含量，结果显示：血浆中的胰岛素含量越少，其对胰岛素的敏感性越高，而胰岛素含量越多的患者越不敏感，由此提出了 IR 的概念^[7]。IR 是指肝脏、肌肉、脂肪等器官或组织对胰岛素的敏感性降低，从而导致胰岛素无法发挥其降血糖作用^[8]。《美国医学会杂志》刊登了一项基于 28024 名青年女性的前瞻性队列研究，其结果显示，除了高血压、吸烟、肥胖等传统 CAD 危险因素以外，糖尿病及 IR 为青年女性 CAD 过早发生的最强危险因素^[9]。Xue Tian 等人^[10]同样发现糖尿病和 IR 是 CVD 过早发生的最强危险因素。CAD 过早发生过去常以吸烟、家族性高胆固醇血症、CAD 家族史为主要原因，而随着饮食的调

整，肥胖、血脂及血糖异常等代谢紊乱疾病成为了主要的病因，且代谢紊乱对年轻人的影响比老年人更严重^[11]。

当前测量人体 IR 的“金标准”是正糖-高胰岛素钳夹技术（Hyperinsulinemic-euglycemic clamp, HEC），但其耗费大量财力和人力，并且对患者的依从性要求较高，因此研究者开发了胰岛素稳态评估模型（Evaluation of IR homeostasis model, HOMA-IR）。HOMA-IR 是一种测定 IR 相对简便的方式，但研究发现 HOMA-IR 可能会因胰岛素测量精度不准而导致偏差，并且仍需要反复抽血而不适用于临床^[12]。除此以外评估 IR 的方法有很多，例如口服糖耐量试验（Oral glucose tolerance test, OGTT）、最小模型法、小计量短时胰岛素耐量试验等，其不适用于临床评估，主要原因是这些评估方法需要多次抽血化验、过程繁琐、存在争议或者测量精度有限^[13]。近年来发现许多 IR 简易的替代评估指标，但许多替代指标对 IR 评估的准确性不够高。相关研究发现，甘油三酯葡萄糖（Triglyceride glucose, TyG）指数、甘油三酯与高密度脂蛋白胆固醇比值（Triglyceride/high-density lipoprotein cholesterol, TG/HDL-C）、胰岛素抵抗代谢评分（Insulin resistance metabolic score, METS-IR）等指标评估 IR 的灵敏度、特异度及诊断价值均较高^[14-18]。

TyG 指数是由甘油三酯（Triglyceride, TG）和空腹血糖（Fasting Blood Glucose, FBG）组成的综合性指标，在一项对健康人群的大规模横断面研究中发现，与 HOMA-IR 相比，TyG 指数是 IR 的良好替代指标（特异度 84%）^[14]。不仅如此，在 2010 年，Guerrero-Romero 等人^[15]进行了一项横断面研究，纳入 99 名体重和糖耐量不同的个体，与金标准 HEC 相比，TyG 指数显示出较高的灵敏度（96.5%）和特异度（85.0%），他们将 TyG 指数确定为评估 IR 的最佳指标。Azarpazhooh 等研究人员^[16]发现与 HOMA-IR 相比，TG/HDL-C 比值能很好地体现 IR 的程度，并且 Young^[17]以横断面方式研究 TG/HDL-C 比值与 IR 和 β 细胞功能之间的关系，发现 TG/HDL-C 指标比 HOMA-IR 等其他测量方法更准确。2018 年墨西哥研究人员^[18]创建了一种评估 IR 的新指标为 METS-IR 评分，是由 TG、FBG、高密度脂蛋白胆固醇（High-density lipoprotein cholesterol, HDL-C）、体质指数（Body mass index, BMI）计算而来，发现 METS-IR 评分与 IR 有显著相关性（ $P < 0.001$ ）。以上三种指标均可用作 IR 的替代指标，并且容易获得，计算方式简单，适用于基层医院临床应用及推广。

Wu 等研究人员^[19]发现 CAD 组 TyG 指数、TG/HDL-C 比值、METS-IR 评分均高于非 CAD 组患者，并具有统计学意义（ $P < 0.05$ ）。Zhang 等研究人员^[20]发现多根病变冠脉血管 CAD 组患者 TyG 指数、TyG-BMI 指数、TG/HDL-C 比值、

METS-IR 均明显高于单根病变冠脉血管 CAD 组, 在调整混杂因素后, 这四个指标与多根病变冠脉血管 CAD 的风险显著相关 ($P < 0.001$)。并通过构建受试者工作特征曲线来评估 CAD 的严重程度, 利用 Gensini 评分评价 CAD 的严重程度, 在预测 CAD 严重程度方面, METS-IR 的预测价值最高。可见, IR 替代指标与 CAD 发生与发展密切相关, 但研究发现降糖药物、降脂药物会影响上述指标的准确性^[17, 21], 因此本研究纳入人群为未服用过降脂、降糖药物, 尽可能减少混杂因素的影响。并且 TyG 指数、TG/HDL-C 比值、METS-IR 评分在 PCAD 患者中鲜有研究, 本研究将进一步探究 TyG 指数、TG/HDL-C 比值、METS-IR 评分与 PCAD 发生、临床类型及严重程度之间的相关性, 并探究 PCAD 的危险因素及冠脉病变严重程度的影响因素, 为临床诊断 PCAD 提供一种新的思路。

随着计算机技术的蓬勃发展, 人工智能技术在医疗领域的疾病预测、诊断和治疗等方面发挥着重要的作用^[22]。机器学习算法逐渐被用于疾病的预测当中, 机器学习是近几年来随着计算机和信息技术的快速发展而出现的一种新的科学计算方式, 其基于强大的计算能力, 可以将所有可以抽象为机器学习的问题都能转化为机器学习问题^[23]。在医学领域, 常规的诊断方法主要依赖于医生的主观经验, 极易造成漏诊或误诊, 这对患者和社会都产生了巨大的影响。机器学习以其强大的学习能力, 逐渐被应用于医疗领域, 它可以通过患者的检查来学习数据, 并利用所学到的规律来预测疾病, 从而帮助医生做出正确的诊治决定, 减少患者的经济负担, 是一种非常有效的方法。并且国内外大量研究人员将机器学习算法运用到 CVD 的预测当中^[24]。

目前有多种机器学习算法被应用于 CAD 的预测中, Mirjalili 等人^[25]使用 TyG 指数对基于年龄、性别以及血压等资料构建的预测模型进行修正, 发现 TyG 指数对于 CAD 具有良好的预测效果。Fan 等人^[26]使用随机森林构建了一个 2 型糖尿病患者的 CAD 风险预测模型, 其外部数据集验证 AUC 值为 0.71。Cao 等人^[27]使用极度梯度提升树与 BP 神经网络、Logistic 回归模型、以及随机森林模型进行比较, 发现极度梯度提升树模型在 CAD 的预测中表现出最好的预测性能。尽管这些研究对 CAD 的风险预测做出了一定的贡献, 但目前还缺乏将 TyG 指数、TG/HDL-C 比值以及 METS-IR 评分这三种 IR 替代指标、患者基本资料以及临床检验指标结合起来的预测模型。支持向量机作为一种强大的机器学习算法, 具有在非线性数据建模方面的优势, 能够处理高维数据和复杂模式识别任务^[28]。在医学领域, 已经有许多研究者将其应用于肝病诊断、糖尿病诊断、以及阑尾炎诊断等各个方面^[29-31]。当前 PCAD 的发病率逐年升高, 但关于这类人群的预测模型较少, 尚缺乏将支持向量机运用到 PCAD 的风险预测当中。因此, 本研究将进一步使用支持向量机结合