

CTI在冠心病中的研究进展

邵春雨¹, 侯天华^{2*}

¹承德医学院研究生学院, 河北 承德

²河北省承德市中心医院心血管内科一病区, 河北 承德

收稿日期: 2026年7月18日; 录用日期: 2026年8月11日; 发布日期: 2026年8月24日

摘要

近年来, 冠心病的死亡率呈持续上升趋势, 已经严重威胁国民的健康水平和生活质量。冠心病发生与发展的核心病理基础是动脉粥样硬化, 这一过程涉及脂质代谢异常、炎症反应、内皮功能障碍等多种机制的共同参与。C反应蛋白 - 甘油三酯 - 葡萄糖指数(CTI)是一种整合了C反应蛋白和甘油三酯 - 葡萄糖指数的新型复合指标, 可同时反映系统性炎症与胰岛素抵抗水平。本文从CTI的定义与计算方法、理论基础、与冠心病危险因素的关系及其在冠心病诊断与预后中的临床应用等方面进行综述, 以期冠心病的诊疗提供新的方向。

关键词

C反应蛋白 - 甘油三酯 - 葡萄糖指数, 冠心病, 炎症, 胰岛素抵抗, 综述

Research Progress of CTI in Coronary Heart Disease

Chunyu Shao¹, Tianhua Hou^{2*}

¹Graduate School of Chengde Medical University, Chengde Hebei

²The First Ward of Department of Cardiology, Chengde Central Hospital of Hebei Province, Chengde Hebei

Received: July 18, 2026; accepted: August 11, 2026; published: August 24, 2026

Abstract

In recent years, the mortality rate of coronary heart disease (CHD) has shown a sustained upward trend, posing a significant threat to public health and quality of life. The core pathological basis underlying the onset and progression of CHD is atherosclerosis, a process involving multiple mechanisms such as abnormal lipid metabolism, inflammatory responses, and endothelial dysfunction.

*通讯作者。

文章引用: 邵春雨, 侯天华. CTI 在冠心病中的研究进展[J]. 临床个性化医学, 2026, 5(4): 533-542.
DOI: 10.12677/jcpm.2026.54280

The C-reactive protein-triglyceride-glucose index (CTI) is a novel composite biomarker that integrates both C-reactive protein and the triglyceride-glucose ratio, providing simultaneous assessments of systemic inflammation and insulin resistance levels. This review examines the CTI's definition, calculation methodology, theoretical foundations, relationship with CHD risk factors, and clinical applications in CHD diagnosis and prognosis, aiming to offer new insights for CHD management.

Keywords

C-Reactive Protein-Triglyceride-Glucose Index, Coronary Heart Disease, Inflammation, Insulin Resistance, Review

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来,我国在心血管疾病(CVD)诊治方面已经取得了一定进步,然而,随着不健康生活方式的普及、人口老龄化进程加快及代谢性疾病患病率的上升,CVD的患病率仍逐年上升,目前CVD仍是我国城乡居民的首位死因。冠状动脉粥样硬化性心脏病(CHD)作为CVD中最常见的类型之一,其死亡率近年来呈持续上升趋势。据《中国卫生健康统计年鉴2022》¹数据显示,2021年城市和农村地区的CHD死亡率分别达到135.08/10万和148.19/10万。CHD的高发病率及高死亡率已令其成为严重的公共卫生问题,严重威胁着国民的健康水平和生活质量[1]-[3]。

CHD发生与发展的核心病理基础是动脉粥样硬化(AS),其特征是动脉壁内脂质积聚和斑块形成。脂质在内膜层中沉积导致内膜增厚、斑块进展,最终可能引发血管狭窄、斑块破裂及血栓形成,造成心肌缺血甚至梗死。这一过程涉及脂质代谢异常、炎症反应、内皮功能障碍等多种机制的共同参与[4][5]。早期识别并干预这些危险因素,对CHD的预防和治疗具有重要价值。C反应蛋白-甘油三酯-葡萄糖指数(CTI)是一种整合了C反应蛋白(CRP)和甘油三酯-葡萄糖(TyG)指数水平的新型复合指标,它可以综合反映炎症与胰岛素抵抗(IR)带来的影响。近年来,CTI在CHD领域的应用研究逐渐增多,本文就CTI的定义与计算方法、理论基础、与CHD危险因素的关系及其在CHD诊断与预后中的临床应用等方面展开综述,以期对CHD的诊疗提供新的参考。

2. CTI的来源

CTI是一种整合了系统性炎症与IR的新型复合指标,最早由Ruan等[6]于2022年提出,并在一项纳入5221例肿瘤患者的多中心队列研究中首次被验证为有效的预后预测工具。其计算公式为: $CTI = 0.412 \times \ln[CRP(mg/L)] + TyG \text{ 指数}$, 其中 $TyG \text{ 指数} = \ln[\text{空腹甘油三酯}(mg/dL) \times \text{空腹血糖}(mg/dL)/2]$ 。CTI的构建依托大样本数据的统计校准完成,它可同时反映机体的代谢情况和炎症状态,已被证实与多种疾病有关,尤其是心血管疾病、神经系统疾病和代谢性疾病[7]-[9]。

3. CTI在CHD中应用的理论基础

2019年ESC指南将CHD定义为心外膜冠状动脉发生粥样硬化斑块积聚的慢性、进展性病理过程,

¹ 《中国卫生健康统计年鉴2022》。 <https://www.nhc.gov.cn/mohwsbwstjxxzx/tjtnj/202305/49beded3bd984669bfe9089c6f231cf5.shtml>

斑块可呈阻塞性或非阻塞性。该过程具有动态演变的特征,既可以长期处于稳定阶段,也可能在任一时刻因斑块破裂或侵蚀引发急性动脉粥样硬化血栓事件而转为不稳定状态。从病理生理层面看,病变始于内皮功能受损及脂质浸润,历经脂纹形成、纤维斑块进展乃至钙化等阶段,最终可导致管腔狭窄或闭塞,造成心肌血流供需失衡[10],其核心病理基础是 AS。在促进 AS 的多种因素中,高血压、血脂异常、糖尿病和吸烟长期以来被公认为四大标准可调控心血管危险因素(SMuRFs)。然而,现有证据表明,相当一部分 CHD 患者并不具备上述传统危险因素,除了已知的 SMuRFs 之外,还存在其他能够影响 AS 发生与进展的病理机制,其中炎症通路的持续激活及代谢异常被认为发挥着不可忽视的作用[11],这也是 CTI 这一复合指标的理论基础。以下分别从 IR 和炎症两个核心机制出发,阐述 CTI 在 CHD 中应用的理论基础。

IR 与 CHD 发病密切相关。它不仅通过促进传统危险因素致病,更可以直接驱动冠状动脉疾病进程。有研究表明,IR 可以加剧体内血脂代谢紊乱程度,放大葡萄糖介导的血管损伤,加速 AS 斑块的进展[12];也可以通过诱导内皮功能障碍、激活肾素-血管紧张素系统以及促进血管平滑肌细胞向成骨表型转化等多条通路促进活动性血管钙化[13]。在 IR 状态下,PI3K-Akt 信号通路介导的一氧化氮(NO)生成减少,氧化应激反应增强,内皮素-1 分泌增加,最终可以导致血管舒张功能障碍,增加血管僵硬度[14]。有研究表明,IR 不仅是 CHD 的致病因素,也可用于评估 CHD 的严重程度和预后[13]。TyG 指数作为 IR 的替代标志物,已被证实与不良心血管结局密切相关[15][16],且该指标能有效预测心血管疾病[17]。

系统性炎症在 AS 的发生与发展中发挥着同等关键的驱动作用。CRP 作为经典的炎症生物标志物,被认为是心血管残余风险的潜在预测因子[18]。从机制层面看,CRP 可通过诱导内皮功能障碍、促进氧化脂蛋白积聚以及促进白细胞浸润来推动 AS 的形成[19]。有证据表明,促炎细胞因子可损害 NO 的产生及胰岛素信号传导通路,导致血管舒张功能下降和血管僵硬度增加,从而加速 AS 的形成;同时,包括 CRP 在内的促炎细胞因子还可促进单核细胞募集和泡沫细胞形成,进一步推动斑块发展[12]。CRP 作为系统性炎症的公认标志物,在多项研究中被证实与心血管残余风险密切相关,已用于多项 CHD 风险评估,并有望在心血管疾病的分层管理策略中发挥重要作用[19]。

近年来大量研究揭示,炎症与 IR 之间并非彼此独立,而是存在着密切的双向交互作用[19][20]。一方面,炎症会诱导并加剧 IR。具体而言,由代谢或其他途径产生的炎症因子(如 TNF- α)能够激活细胞内如 JNK、p38 MAPK 等应激激酶。这些激酶通过对胰岛素受体底物(IRS)进行抑制性的丝氨酸磷酸化,直接干扰了胰岛素信号正常的酪氨酸磷酸化与下游传导,从而削弱胰岛素的生物学效应。另一方面,IR 状态本身会削弱胰岛素经由 PI3K-Akt 通路发出的天然抗炎信号,相当于解除了对炎症反应的生理性抑制,从而维持并加剧炎症状态[21]。这种双向交互作用使炎症与 IR 形成恶性循环,进一步放大 AS 过程[12]。鉴于上述交互关系的存在,现有研究强调在心血管疾病一级预防中联合评估和管理炎症与致 AS 性血脂异常的必要性[19]。且已有研究表明,CTI 比单独的 CRP 及 TyG 指数具有更好的预测性能[22]-[26],这也是 CTI 在心血管疾病中应用的重要理论基础。

4. CTI 与 CHD 常见危险因素的关系

4.1. CTI 与高血压

高血压是最常见的心血管综合征之一,它的核心特征是体循环动脉压增高。流行病学数据显示,近年来高血压患病率持续升高,全球 30~79 岁的成年人中近 1/3 罹患高血压[27][28]。目前已被证实,高血压已经成为心脑血管疾病发病和死亡的首要可调控危险因素[29]。IR 可与炎症通路协同作用,导致血压升高[30][31]。已有研究表明,CTI 与高血压的发生及预后密切相关。一项纳入了 5210 名中老年人群的队列验证了 CTI 的独立预测价值,该关联在校正代谢混杂因素后仍然成立[32]。有研究从长期暴露角度

进一步证实, 累积 CTI 最高四分位组的新发高血压风险可达最低组的 2.16 倍[33], 这一研究填补了单一时间点 CTI 无法反映长期代谢负荷的评价空白。后续前瞻性研究也显示, 将 CTI 与体圆度指数联合构建的预测模型对高血压的 AUC 可达 0.747, 效能显著优于单指标模型, 且该预测价值在不同基线血压分层人群中均保持稳定[34]。

4.2. CTI 与糖尿病

糖尿病是一种最常见的慢性代谢性疾病。据国际糖尿病联盟(IDF)统计, 我国成人糖尿病患病率为 11.9%, 是全球糖尿病患病率最高的国家之一[35]。糖尿病的发病机制复杂, 目前认为 IR 与慢性低度炎症是糖尿病的核心病理基础, 二者相互作用, 共同促进糖尿病的发生与发展[20] [36]。IR 可以直接导致血糖升高和血脂代谢紊乱, 还可以通过长期累积的糖脂毒性损伤外周组织胰岛素的敏感性, 形成恶性循环, 显著增加糖尿病的发病风险[37][38]。长期的炎症状态会导致机体释放多种促炎细胞因子, 这些促炎细胞因子可以干扰胰岛素信号转导, 加剧胰岛 β 细胞功能障碍, 促进细胞凋亡[20] [39]。

现有研究已经从不同角度验证了 CTI 与糖尿病的关联。一项纳入 6728 名中老年人群的全国队列 9 年随访结果显示, CTI 每升高 10 个单位, 新发糖尿病风险增加 45% (HR = 1.45, 95% CI: 1.32~1.59), 其预测效能优于单一 TyG 指数, 这一研究率先在大样本中验证了 CTI 比传统单一指标具有更优价值[8], 然而此研究局限于单次基线检测, 针对于此, Zhou 等[40]利用 CHARLS 的纵向数据, 进一步评估累计暴露指标 cuCTI 的效应, 发现 cuCTI 每升高 1 单位, 糖尿病发病风险增加 16% (HR = 1.16, 95% CI: 1.09~1.25), 持续高 CTI 轨迹组的发病风险是低暴露组的 2.25 倍 (HR = 2.25, 95% CI: 1.53~3.31), 提示单次静态检测可能低估人群实际代谢风险。后续 Sun 等[41]同样基于 CHARLS 队列发现, cuCTI 与糖尿病风险呈线性正相关, 其 7 年、9 年风险预测 AUC 分别达 0.653 和 0.643, 优于基线 TyG 和 hs-CRP 单独指标。在预后方面, Tang 等[42]基于 NHANES 数据对 759 例冠心病合并 2 型糖尿病患者进行了中位 109 个月的随访, 发现 CTI 最高四分位组全因死亡风险是最低组的 3.07 倍 (HR = 3.07, 95% CI: 2.17~4.34), 心血管死亡风险增加 2.75 倍 (HR = 2.75, 95% CI: 1.60~4.72), 提示了 CTI 对共病患者的长期预后分层的价值。

4.3. CTI 与超重及肥胖

流行病学调查显示, 尽管不同性别、不同年龄和不同地区人群超重率和肥胖率有差异, 但总体上我国居民超重肥胖均呈持续上升的趋势[43]。中国健康与营养调查 1997~2011 年 7 轮数据显示, 肥胖与早发动脉粥样硬化性心血管疾病(ASCVD)风险增加相关, 校正的 HR 为 1.64 (95% CI: 1.03~2.61) [44]。肥胖状态下, 脂肪组织中的巨噬细胞持续激活, 大量分泌 TNF- α 、IL-6 等促炎细胞因子, 这些因子会作用于胰岛素受体底物的关键位点, 干扰正常的磷酸化进程, 破坏胰岛素信号传导, 最终诱发 IR [45]。与此同时, 高水平的 CRP 会进一步损害 eNOS 活性, 加重内皮功能损伤, 与心血管疾病的发生直接相关[46] [47]。

Tian 等[48]基于 CHARLS 队列(n = 6303)进行了一项前瞻性研究, 该研究直接探讨了体脂百分比(BFP)与 CTI 在 CVD 发病中的协同效应。结果显示, 与低 BFP + 低 CTI 组相比, 高 BFP (>30.8%) + 高 CTI (>4.68)组 CVD 风险增加 1.476 倍 (HR = 1.476, 95% CI: 1.21~1.80), 且该联合暴露的效应呈现超相加性——超过了单独高 BFP (HR = 1.205, 95% CI: 1.038~1.399)或单独高 CTI (HR = 1.151, 95% CI: 1.004~1.319)各自风险的总和。中介分析进一步揭示了两者之间的双向关系: CTI 介导了 BFP 与 CVD 关联的 8.76%, 而 BFP 介导了 CTI 与 CVD 关联的 12.22% (均 $P < 0.001$)。亚组分析显示, 这一协同效应在年龄 ≤ 60 岁人群 (HR = 1.759, 95% CI: 1.250~1.475)和糖尿病患者 (HR = 3.516, 95% CI: 1.691~7.313)中更为突出。该研究通过中介效应量化了炎症 - 代谢复合指标与体脂指标的双向介导占比, 弥补了此前研究仅停留在关联验证、未深入机制拆解的空白。

5. CTI 在 CHD 中的临床应用

5.1. CTI 对 CHD 的诊断价值

在总体人群中, 多项研究已经表明 CTI 水平升高与 CHD 发病风险呈正相关。一项基于 NHANES 数据库的横断面研究[7]表明, CTI 每升高 1 个标准差, 人群 CHD 患病风险升高 35.7% (OR = 1.357, 95% CI: 1.147~1.604), 在调整多项混杂变量后, 该关联仍具有统计学意义。该研究指出, 最高四分位数组较最低组的 CHD 患病风险增加 80.7% (OR = 1.807, 95% CI: 1.314~2.484), 剂量 - 反应趋势检验结果显著。后续 Zheng 等[23]的横断面研究进一步验证了这一关联。将 CTI 作为连续变量纳入模型后, 结果显示其每升高 1 个单位, CHD 患病风险提升 20% (OR = 1.20, 95% CI: 1.07~1.35), 与此前研究结论方向一致。Sun 等[49]的回顾性分析队列结果同样证实, CTI 最高四分位组的 CHD 患病风险较低水平组显著升高 (OR = 2.82, 95% CI: 1.95~3.97), 弥补了横断面研究无法确定暴露与结局先后关系的不足。国内研究目前多基于 CHARLS 数据库, 以总心血管事件为复合终点。有国内研究表明 CTI 高水平人群 CVD 发病风险显著增高[50], 为 CTI 的心血管风险评估价值提供了中国人群的验证, 但该研究未单独针对 CHD 结局进行评估, 尚不能直接支撑 CTI 针对 CHD 的特异性诊断效能, 后续仍需在更广泛的临床人群中验证。

针对不同人群的分层分析显示, CTI 在特定亚组中诊断效能更强。一项横断面研究纳入了 2237 例住院患者, 根据体质指数和代谢状态将纳入对象分为四种代谢表型, 结果显示, 在代谢不健康 - 正常体重亚组中, CTI 对 CHD 诊断价值最高 (OR = 1.42, 95% CI: 1.28~1.57), 而在代谢不健康 - 超重/肥胖亚组中诊断效能相对减弱 (OR = 1.13, 95% CI: 1.06~1.22) [51]。既往临床常规检查容易忽视体重正常但代谢异常的人群, 这一研究提示 CTI 在识别此类风险人群方面可能具有一定价值。对于不同年龄的人群, Xu 等[7]的研究表明, CTI 对 CHD 的诊断效能在年龄 < 60 岁群体中更为显著, 年龄与 CTI 的交互作用具有统计学意义 ($P < 0.001$), 提示 CTI 可能是中青年人群的心血管风险的潜在预测指标。

在预测效能比较方面, 多项研究支持 CTI 优于单一传统指标。Xu 等[7]的受试者工作特征曲线分析显示, CTI 预测 CHD 的曲线下面积 (AUC = 0.610, 95% CI: 0.603~0.617) 显著高于 CRP (AUC = 0.562, 95% CI: 0.555~0.569) 和 TyG (AUC = 0.587, 95% CI: 0.579~0.595)。将 CTI 加入 Framingham 风险评分后, AUC 从 0.844 升至 0.846 ($P = 0.033$), 连续净重分类改善指数 (NRI = 0.149, 95% CI: 0.091~0.207) 和整体鉴别指数 (IDI = 0.002, 95% CI: 0.000~0.003) 均证实了 CTI 对 CHD 检出具有独立于传统危险因素的增量价值。Zheng 等[23]应用了五种机器学习模型, 对 CTI 的 CHD 分类效能进行了多模型交叉验证, 其中 Naive Bayes 模型 AUC 达 0.825。且此项研究的 SHAP 分析进一步指出, CTI 对 CHD 分类的贡献值大于 CRP 和 TyG。上述研究表明 CTI 比单一指标更能体现代谢与炎症的交互作用, 弥补了单一指标仅反映炎症或 IR 抗单一通路的局限。

5.2. CTI 对 CHD 预后的预测价值

在短期预后方面, 一项前瞻性研究[24]纳入了 300 例因急性冠脉综合征 (ACS) 接受经皮冠状动脉介入治疗 (PCI) 的患者, 结果显示, MACE 发生率随 CTI 四分位数的升高呈阶梯式增长, 从最低组的 10.7% 升至最高组的 44.0% ($P < 0.001$)。调整混杂因素后, 该关联仍具有统计学意义 (校正 OR = 3.28, 95% CI: 1.42~7.56)。限制性立方样条分析揭示了 CTI 与 MACE 风险间的非线性关系, 在 CTI 介于约 1.8 至 3.2 的区间内风险上升更为明显。在预测效能方面, CTI 的曲线下面积 (AUC = 0.703, 95% CI: 0.641~0.766) 显著高于 CRP (AUC = 0.610, 95% CI: 0.540~0.680)、甘油三酯 (AUC = 0.655, 95% CI: 0.585~0.725) 和空腹血糖 (AUC = 0.678, 95% CI: 0.603~0.753); 与仅包含传统风险因素的基线模型相比, 加入 CTI 后的模型, AUC 从 0.682 升至 0.745 ($P < 0.015$), 连续净重分类改善指数 (NRI = 0.213, 95% CI: 0.107~0.319) 和整体鉴别指

数($IDI = 0.036$, $95\% CI: 0.016 \sim 0.056$)均证实了其增量预测价值。亚组分析还显示, CTI 的预测能力在 STEMI 患者($OR = 4.62$, $95\% CI: 1.52 \sim 14.06$)、糖尿病患者($OR = 4.83$, $95\% CI: 1.59 \sim 14.65$)和多支血管病变患者($OR = 3.96$, $95\% CI: 1.46 \sim 10.76$)中更为突出。上述研究结果提示, CTI 可能是 PCI 术后 ACS 患者院内短期 MACE 事件的潜在预测指标, 为临床医师评估 ACS 介入术后早期风险、识别高危人群提供新的参考依据。

在 CHD 远期复合心血管事件方面, Gao 等[25]的回顾性研究纳入了 2383 例接受 PCI 治疗的 CHD 患者, 中位随访 34 个月。为更好地反映 PCI 术后的长期代谢-炎症负荷, 该研究选取术后 2 个月复查的生化指标计算 CTI, 并与 TyG 指数、甘油三酯/高密度脂蛋白胆固醇比值和中性粒细胞/淋巴细胞比值等多项指标进行比较。结果显示, CTI 对主要 MACE 事件的预测能力最强。高 CTI 组较对照组的 MACE 风险增加约 85% (校正 $HR = 1.85$, $95\% CI: 1.44 \sim 2.38$), 且这一关联在所有亚组中均保持稳定。将 CTI 引入传统心血管预后模型后, 模型的净重分类改善指数($NRI = 0.220$, $P < 0.001$)与整体鉴别指数($IDI = 0.009$, $P < 0.001$)均出现显著提升, 并且优于其他所比较的指标。该研究还发现, CTI 与糖尿病、体质指数、白细胞计数、多支血管病变和 SYNTAX 评分等多种心血管代谢危险因素显著相关, 提示该指标可能综合反映了 PCI 术后患者的代谢紊乱和炎症负荷程度。在合并糖尿病、高血压和超重的亚组中, hsCRP 对 TyG 指数与心血管事件关联的中介效应分别达到 24.4%、16.2%和 26.9%, 而在无代谢异常的患者中炎症的中介效应仅为 0.8%~5.03%, 组间差异显著。这一发现为 CTI 在代谢紊乱患者中优于单用 TyG 指数的现象提供了病理生理层面的解释, 提示 CTI 可能为代谢异常的高危 PCI 术后患者提供更简易的远期风险分层工具。

在死亡风险预测方面, 现有研究大多围绕心血管疾病人群, 目前暂无专门针对 CHD 患者人群的验证结果。在现有研究中, Ding 等[52]利用 NHANES 数据库, 纳入了 1429 例确诊心血管疾病的患者, 进行了平均 10.08 年的随访, 调整潜在混杂因素后, CTI 最高四分位组较最低组的全因死亡风险增加 38% ($HR = 1.38$, $95\% CI: 1.04 \sim 1.84$)。后续构建的机器学习模型进一步验证了 CTI 在长期死亡风险预测中的价值, 其中 LightGBM 模型的预测性能最优($AUC = 0.967$)。现有研究可以为 CTI 对于 CHD 患者死亡风险的预测提供一定参考价值, 但最终结论对不同分型的 CHD 人群的适用性, 仍需在广泛的临床人群中验证。

6. 小结与展望

CTI 是一项整合了系统性炎症与胰岛素抵抗的新型复合指标, 它通过整合 CRP 和 TyG 指数, 更全面地反映了炎症与 IR 之间的双向交互作用, 其在 CHD 领域的临床应用价值已经初步得到验证。在危险因素评估层面, CTI 已被证实与高血压、糖尿病及肥胖等 CHD 危险因素具有相关性, 且预测价值优于单独 TyG 指数或 CRP。在 CHD 诊断层面, 多项横断面研究一致表明 CTI 水平升高与 CHD 患病风险呈显著正相关, 尤其在体重正常但代谢紊乱人群和年轻人群中显示出更强的关联。因此对于基层初筛阶段, 针对体重正常、常规传统危险因素筛查无显著异常的中青年群体, CTI 可作为补充指标识别出被常规评估体系低估的潜在 CHD 高风险个体。在 CHD 预后层面, 现有证据涵盖了从短期院内事件到远期复合心血管事件等多个维度, CTI 在风险分层中均展现出独立于传统危险因素的增量价值。尤其在 PCI 术后的 ACS 患者中, CTI 可辅助筛选出远期 MACE 事件风险显著升高的人群, 为临床制定个体化长期随访及干预策略提供参考。

尽管现有研究已从多个维度证实 CTI 的预测效能优于单独 TyG 或 CRP, 但作为基于常规生化指标构建的复合衍生指标, 其结果的稳健性仍受 CRP 这一非特异炎症指标的影响。作为急性时相反应蛋白, CRP 血清浓度可在非 CHD 相关的各类应激状态下出现一过性升高, 包括急性期细菌或病毒感染、围术期创伤、自身免疫性疾病活动期, 这些因素都可能导致 CRP 升高, 从而造成代谢-炎症复合负荷的假性高估。

因此, 计算指标前应先确认入组对象近 2 周内无急性感染史、无外科手术创伤史, 排除自身免疫病活动状态, 同时确认空腹采血标本未出现脂浊、溶血干扰, 尽可能剔除非特异性 CRP 波动的影响, 最大限度地确保结果稳健性。

此外, 当前围绕 CTI 这一指标的证据体系仍处于初步探索阶段, 整体存在多方面的研究空白与待解决问题。首先, CTI 的提出和验证仅限于癌症特异性队列, 目前尚不清楚该指标应用的权重指数是否能够精确反映 CHD 人群中炎症与 IR 协同作用的真实效应占比; 且不同研究间 CTI 的计算方法、测量时间点尚不统一, 限制了不同研究结果的横向比较和临床推广。在证据等级方面, 现有研究多为横断面或回顾性研究, 结局指标多依赖自我报告, 可能引入回忆偏倚和因果倒置风险。在预测效能方面, 目前 CTI 与其他同类型的代谢 - 炎症标志物之间缺乏基于统一队列设计的直接横向比较, 现有研究基本仅以单独 CRP、单独 TyG 作为效能参照对象, 而少有研究纳入已被证实与 CHD 相关且同样基于常规检验项目的同类标志物, 比如中性粒细胞/淋巴细胞比值(NLR)、单核细胞/高密度脂蛋白胆固醇比值(MHR)及 hs-CRP/高密度脂蛋白胆固醇比值(hs-CRP/HDL-C)等, 目前尚不清楚 CTI 的预测效能在与包含上述所有标志物的头对头对比中是否仍能保持优势, 也没有研究证实将 CTI 与这些指标联合使用时能否产生超出单指标叠加的协同获益。此外, 现有研究仅初步验证了 CTI 为 Framingham 风险评分带来的统计增量, 其在其他国际公认的现代心血管风险评估体系(如 ASCVD 风险评分、SCORE2/SCORE2-OP 模型)中的增量价值研究目前仍处于空白阶段, 尚缺乏基于大样本中国人群外部验证队列的针对性分析。且目前多数研究报道的 AUC 值仍处于中等水平, 单独应用该指标用于个体诊断或预后判断的准确性有限, 更适宜作为传统风险评估工具的补充而非替代。针对 CHD 患者群体, 目前关于 CTI 与冠脉病变严重程度、CHD 相关并发症、PCI 术后再狭窄及远期死亡风险关联的研究仍十分匮乏, 该细分领域的证据体系仍存在明显空白。此外, 饮食模式、体力活动、遗传背景及他汀类药物等潜在混杂因素的影响尚未被充分评估。

未来的研究中, 以下几个方面值得进一步探索。考虑开发和验证特定人群或疾病的 CTI 公式, 在大样本 CHD 队列中, 针对该公式的组分权重进一步校准验证, 根据我国 CHD 人群的实际数据特征评估是否需要对该权重指数进行调整。开展多中心、大样本的前瞻性队列研究, 验证 CTI 的纵向预测效能, 明确 CTI 在现有风险评估体系中的增量价值, 根据不同临床场景确定最佳截断值, 填补当前细分领域的证据空白。基于统一队列, 进行 CTI 与同类型的代谢 - 炎症标志物的头对头比较, 明确其预测价值是否在同类型指标中具有优势, 联合此类指标, 评估是否具有超出单指标叠加的协同获益。探索 CTI 动态监测的临床应用价值, 评估 CTI 的长期变化轨迹、累积暴露负荷能否比单次检测提供更精准的预后判断信息。推动 CTI 的标准化, 统一检测方法和采血时机, 建立适用于不同人群和临床场景的风险分层阈值, 也是临床推广的前提。此外, 开展干预性研究, 评估基于 CTI 指导的个体化抗炎或代谢干预策略是否可改善 CHD 患者预后, 将为 CTI 从风险标志物向治疗靶点的转化提供关键证据。将 CTI 与多组学数据相结合, 借助机器学习技术构建整合 CTI 的多维度风险预测模型, 有望推动 CHD 精准预防和个体化诊疗的发展, 展现出更广阔的临床应用前景。

基金项目

2023.12 至 2026.11 承德市科技计划项目(编号 202303A012)。

参考文献

- [1] 国家心血管病中心, 中国心血管健康与疾病报告编写组. 中国心血管健康与疾病报告 2024 概要[J]. 中国循环杂志, 2025, 40(6): 521-559.
- [2] Ralapanawa, U. and Sivakanesan, R. (2021) Epidemiology and the Magnitude of Coronary Artery Disease and Acute Coronary Syndrome: A Narrative Review. *Journal of Epidemiology and Global Health*, 11, 169-177.

- <https://doi.org/10.2991/jegh.k.201217.001>
- [3] 国家卫生健康委员会. 中国卫生健康统计年鉴 2022[M]. 北京: 中国协和医科大学出版社, 2022.
 - [4] Zhong, S., Li, L., Shen, X., Li, Q., Xu, W., Wang, X., *et al.* (2019) An Update on Lipid Oxidation and Inflammation in Cardiovascular Diseases. *Free Radical Biology and Medicine*, **144**, 266-278. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2019.03.036>
 - [5] Rafeian-Kopaei, M., Setorki, M., Douadi, M., *et al.* (2014) Atherosclerosis: Process, Indicators, Risk Factors and New Hopes. *International Journal of Preventive Medicine*, **5**, 927-946.
 - [6] Ruan, G.T., Xie, H.L., Zhang, H.Y., *et al.* (2022) A Novel Inflammation and Insulin Resistance Related Indicator to Predict the Survival of Patients with Cancer. *Frontiers in Endocrinology*, **13**, Article 905266. <https://doi.org/10.3389/fendo.2022.905266>
 - [7] Xu, M., Zhang, L., Xu, D., Shi, W. and Zhang, W. (2024) Usefulness of C-Reactive Protein-Triglyceride Glucose Index in Detecting Prevalent Coronary Heart Disease: Findings from the National Health and Nutrition Examination Survey 1999-2018. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, **11**, Article 1485538. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2024.1485538>
 - [8] Shan, Y., Liu, Q. and Gao, T. (2025) Application of the C-Reactive Protein-Triglyceride Glucose Index in Predicting the Risk of New-Onset Diabetes in the General Population Aged 45 Years and Older: A National Prospective Cohort Study. *BMC Endocrine Disorders*, **25**, Article No. 126. <https://doi.org/10.1186/s12902-025-01947-8>
 - [9] Zhou, S., Ni, H., Sang, H., Liu, K., Zhou, Y., Gu, X., *et al.* (2026) Association between C-Reactive Protein-Triglyceride-Glucose Index and Outcomes after Endovascular Thrombectomy in Patients with Acute Ischemic Stroke. *World Neurosurgery*, **208**, Article 124871. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2026.124871>
 - [10] Knuuti, J., Wijns, W., Saraste, A., *et al.* (2020) 2019 ESC Guidelines for the Diagnosis and Management of Chronic Coronary Syndromes. *European Heart Journal*, **41**, 407-477.
 - [11] Figtree, G.A., Vernon, S.T., Harmer, J.A., *et al.* (2023) Clinical Pathway for Coronary Atherosclerosis in Patients without Conventional Modifiable Risk Factors: JACC State-of-the-Art Review. *Journal of the American College of Cardiology*, **82**, 1343-1359.
 - [12] Cheng, B.J. and Tong, M. (2026) Current Insights and Limitations of Using the C-Reactive Protein-Triglyceride Glucose Index (CTI) in Cardiovascular Diseases: A Narrative Mini-Review. *Endocrine and Metabolic Science*, **21**, Article 100304. <https://doi.org/10.1016/j.endmts.2026.100304>
 - [13] Ye, Z., Xie, E., Song, C., Zhang, R., Wang, H., Wu, C., *et al.* (2026) Prognostic Stratification with Composite Insulin Resistance-Inflammation Biomarkers in Patients with Chronic Kidney Disease and Coronary Artery Disease across Glycemic Statuses. *Cardiovascular Diabetology*, **25**, Article No. 97. <https://doi.org/10.1186/s12933-026-03108-0>
 - [14] Janus, A., Szahidewicz-Krupska, E., Mazur, G. and Doroszko, A. (2016) Insulin Resistance and Endothelial Dysfunction Constitute a Common Therapeutic Target in Cardiometabolic Disorders. *Mediators of Inflammation*, **2016**, 1-10. <https://doi.org/10.1155/2016/3634948>
 - [15] Dang, K., Wang, X., Hu, J., Zhang, Y., Cheng, L., Qi, X., *et al.* (2024) The Association between Triglyceride-Glucose Index and Its Combination with Obesity Indicators and Cardiovascular Disease: NHANES 2003-2018. *Cardiovascular Diabetology*, **23**, Article No. 8. <https://doi.org/10.1186/s12933-023-02115-9>
 - [16] Cui, C., Qi, Y., Song, J., Shang, X., Han, T., Han, N., *et al.* (2024) Comparison of Triglyceride Glucose Index and Modified Triglyceride Glucose Indices in Prediction of Cardiovascular Diseases in Middle Aged and Older Chinese Adults. *Cardiovascular Diabetology*, **23**, Article No. 185. <https://doi.org/10.1186/s12933-024-02278-z>
 - [17] Brie, A.D., Christodorescu, R.M., Popescu, R., Adam, O., Tirziu, A. and Brie, D.M. (2025) Atherosclerosis and Insulin Resistance: Is There a Link between Them? *Biomedicine*, **13**, Article 1291. <https://doi.org/10.3390/biomedicine13061291>
 - [18] Ridker, P.M. (2016) From C-Reactive Protein to Interleukin-6 to Interleukin-1: Moving Upstream to Identify Novel Targets for Atheroprotection. *Circulation Research*, **118**, 145-156. <https://doi.org/10.1161/circresaha.115.306656>
 - [19] Ma, X., Ma, X., Wang, Y., Qiu, G. and Zhang, C. (2025) Associations of Cumulative Exposure and Dynamic Trajectories of the C-Reactive Protein-Triglyceride-Glucose Index with Incident Cardiovascular Disease in Middle-Aged and Older Chinese Adults: A Nationwide Cohort Study. *Cardiovascular Diabetology*, **24**, Article No. 303. <https://doi.org/10.1186/s12933-025-02869-4>
 - [20] Hotamisligil, G.S. (2017) Inflammation, Metaflammation and Immunometabolic Disorders. *Nature*, **542**, 177-185. <https://doi.org/10.1038/nature21363>
 - [21] Gusev, E., Sarapultsev, A. and Zhuravleva, Y. (2026) Insulin Resistance and Inflammation. *International Journal of Molecular Sciences*, **27**, Article 1237. <https://doi.org/10.3390/ijms27031237>
 - [22] Chen, J., Yan, L., He, L. and Wang, W. (2025) Association between Different Dimensions of the C-Reactive Protein-Triglyceride-Glucose Index and Future Cardiovascular Disease Risk in Individuals with Cardiovascular-Kidney-

- Metabolic Syndrome Stages 0-3: A Nationwide Cohort Study. *Diabetology & Metabolic Syndrome*, **17**, Article No. 299. <https://doi.org/10.1186/s13098-025-01882-7>
- [23] Zheng, R., Wang, T., Liu, M. and Cao, X. (2025) Relationship between C-Reactive Protein Triglyceride Glucose Index and Cardiovascular Disease Risk: A Cross-Sectional Analysis with Machine Learning. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, **25**, Article No. 424. <https://doi.org/10.1186/s12911-025-03265-4>
 - [24] Fan, H., Xia, D., Li, J. and Dong, X. (2026) Association between Elevated C-Reactive Protein-Triglyceride-Glucose Index and In-Hospital Major Adverse Cardiovascular Events in Acute Coronary Syndrome Patients after Percutaneous Coronary Intervention: A Single-Center Prospective Observational Study. *Frontiers in Endocrinology*, **16**, Article 1745588. <https://doi.org/10.3389/fendo.2025.1745588>
 - [25] Gao, A., Peng, B., Gao, Y., Yang, Z., Li, Z., Guo, T., *et al.* (2025) Evaluation and Comparison of Inflammatory and Insulin Resistance Indicators on Recurrent Cardiovascular Events in Patients Undergoing Percutaneous Coronary Intervention: A Single Center Retrospective Observational Study. *Diabetology & Metabolic Syndrome*, **17**, Article No. 157. <https://doi.org/10.1186/s13098-025-01687-8>
 - [26] Xu, Y., Chen, S., Zhu, J., Wang, Q., Li, W., Pan, G., *et al.* (2025) C-Reactive Protein-Triglyceride Glucose Index and Stroke Risk in Early Cardiovascular-Kidney-Metabolic Syndrome: A National Cohort Study. *BMC Cardiovascular Disorders*, **25**, Article No. 634. <https://doi.org/10.1186/s12872-025-05143-3>
 - [27] 中国高血压防治指南修订委员会, 高血压联盟(中国), 中国医疗保健国际交流促进会高血压病学分会, 等. 中国高血压防治指南(2024 年修订版) [J]. 中华高血压杂志(中英文), 2024, 32(7): 603-700.
 - [28] NCD Risk Factor Collaboration (NCD-RisC) (2021) Worldwide Trends in Hypertension Prevalence and Progress in Treatment and Control from 1990 to 2019: A Pooled Analysis of 1201 Population-Representative Studies with 104 Million Participants. *The Lancet*, **398**, 957-980.
 - [29] 中华医学会心血管病学分会, 海峡两岸医药卫生交流协会高血压专业委员会, 中国康复医学会心血管疾病预防与康复专业委员会. 中国高血压临床实践指南[J]. 中华心血管病杂志, 2024, 52(9): 985-1032.
 - [30] Natali, A. and Ferrannini, E. (2004) Hypertension, Insulin Resistance, and the Metabolic Syndrome. *Endocrinology and Metabolism Clinics of North America*, **33**, 417-429. <https://doi.org/10.1016/j.ecl.2004.03.007>
 - [31] Rana, J.S., Nieuwdorp, M., Jukema, J.W. and Kastelein, J.J.P. (2007) Cardiovascular Metabolic Syndrome—An Interplay of, Obesity, Inflammation, Diabetes and Coronary Heart Disease. *Diabetes, Obesity and Metabolism*, **9**, 218-232. <https://doi.org/10.1111/j.1463-1326.2006.00594.x>
 - [32] 刘艺轩, 王可馨, 王文杰, 等. C 反应蛋白-甘油三酯-葡萄糖指数与中老年高血压风险的关系研究[J]. 中国医药, 2026, 21(4): 481-485.
 - [33] Dou, J., Zhang, S., Ding, C., Li, H. and Zhang, P. (2026) Cumulative Exposure and Dynamic Trajectories of the C-Reactive Protein-Triglyceride-Glucose Index (CTI) versus the Cholesterol, High-Density Lipoprotein, and Glucose Index (CHG) for Incident Hypertension Prediction: A National Cohort Study. *Cardiovascular Diabetology*, **25**, Article No. 160. <https://doi.org/10.1186/s12933-026-03175-3>
 - [34] Liao, C., Liu, L., Bao, W., Lai, H., Tian, R., Zhang, S., *et al.* (2026) Joint Associations of Anthropometric Indices and C-Reactive Protein-Triglyceride-Glucose Index with Incident Hypertension: A Stratified Analysis by Blood Pressure Level from the CHARLS, 2011-2020. *Cardiovascular Diabetology*, **25**, Article No. 135. <https://doi.org/10.1186/s12933-026-03132-0>
 - [35] Sun, H., Saeedi, P., Karuranga, S., Pinkepank, M., Ogurtsova, K., Duncan, B.B., *et al.* (2022) IDF Diabetes Atlas: Global, Regional and Country-Level Diabetes Prevalence Estimates for 2021 and Projections for 2045. *Diabetes Research and Clinical Practice*, **183**, Article 109119. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2021.109119>
 - [36] Rohm, T.V., Meier, D.T., Olefsky, J.M. and Donath, M.Y. (2022) Inflammation in Obesity, Diabetes, and Related Disorders. *Immunity*, **55**, 31-55. <https://doi.org/10.1016/j.immuni.2021.12.013>
 - [37] Lytrivi, M., Castell, A., Poitout, V. and Cnop, M. (2020) Recent Insights into Mechanisms of β -Cell Lipo- and Glucolipotoxicity in Type 2 Diabetes. *Journal of Molecular Biology*, **432**, 1514-1534. <https://doi.org/10.1016/j.jmb.2019.09.016>
 - [38] Yarbeygi, H., Farrokhi, F.R., Butler, A.E. and Sahebkar, A. (2019) Insulin Resistance: Review of the Underlying Molecular Mechanisms. *Journal of Cellular Physiology*, **234**, 8152-8161. <https://doi.org/10.1002/jcp.27603>
 - [39] Gregor, M.F. and Hotamisligil, G.S. (2011) Inflammatory Mechanisms in Obesity. *Annual Review of Immunology*, **29**, 415-445. <https://doi.org/10.1146/annurev-immunol-031210-101322>
 - [40] Zhou, Y.F., Zeng, Q.T., Zhang, X.T. and Wang, F.X. (2025) Cumulative of C-Reactive Protein-Triglyceride Glucose Index Exposure and Risk of Diabetes in Middle-Aged and Older Chinese Adults: Findings from a National Longitudinal Cohort. *Diabetology & Metabolic Syndrome*, **18**, Article No. 33. <https://doi.org/10.1186/s13098-025-02056-1>
 - [41] Sun, Q. and Yu, L. (2026) Cumulative C-Reactive Protein-Triglyceride-Glucose Index and Longitudinal Trajectories as

- Predictors of New-Onset Diabetes in Middle-Aged and Older Adults: A Prospective Cohort Analysis from Charls. *Experimental Gerontology*, **218**, Article 113127. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2026.113127>
- [42] Tang, N., Chen, X., Li, H., Cheng, S., Hu, Y., Wang, L., *et al.* (2025) Association of C Reactive Protein Triglyceride Glucose Index with Mortality in Coronary Heart Disease and Type 2 Diabetes from NHANES Data. *Scientific Reports*, **15**, Article No. 24687. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-10184-x>
- [43] 王增武. 《中国心血管健康与疾病报告 2024》: 心血管疾病及其危险因素流行状况[J]. 中国心血管病研究, 2025, 23(9): 771-793.
- [44] Ding, Y., Zhou, Y., Han, H., Chen, C. and Tarasenko, Y. (2024) Risk Factors of Premature Atherosclerotic Cardiovascular Disease in China: A Longitudinal Analysis of the China Health and Nutrition Survey Cohort. *Asia Pacific Journal of Public Health*, **36**, 192-201. <https://doi.org/10.1177/10105395241226525>
- [45] Shoelson, S.E., Lee, J. and Goldfine, A.B. (2006) Inflammation and Insulin Resistance. *Journal of Clinical Investigation*, **116**, 1793-1801. <https://doi.org/10.1172/jci29069>
- [46] Sjöholm, Å. and Nyström, T. (2005) Endothelial Inflammation in Insulin Resistance. *The Lancet*, **365**, 610-612. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(05\)17912-4](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(05)17912-4)
- [47] Theuma, P. and Fonseca, V.A. (2004) Inflammation, Insulin Resistance, and Atherosclerosis. *Metabolic Syndrome and Related Disorders*, **2**, 105-113. <https://doi.org/10.1089/met.2004.2.105>
- [48] Tian, X., Qu, Z., Yang, X., Cao, Y. and Zhang, B. (2025) Synergistic Effects of Body Fat Percentage and C-Reactive Protein Triglyceride-Glucose Index on Cardiovascular Disease Risk: A Chinese Cohort Study. *Scientific Reports*, **15**, Article No. 40266. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-24094-5>
- [49] Sun, Y., Guo, Y., Ma, S., Mao, Z., Meng, D., Xuan, K., *et al.* (2025) Association of C-Reactive Protein-Triglyceride Glucose Index with the Incidence and Mortality of Cardiovascular Disease: A Retrospective Cohort Study. *Cardiovascular Diabetology*, **24**, Article No. 313. <https://doi.org/10.1186/s12933-025-02835-0>
- [50] 刘园, 郝杰, 方奎, 等. 中国中老年人 C-反应蛋白-甘油三酯葡萄糖指数与心血管疾病风险研究[J]. 陕西医学杂志, 2026, 55(4): 480-484.
- [51] Chen, Y., Jia, W., Guo, J., Yang, H., Sheng, X., Wei, L., *et al.* (2025) Association between the C-Reactive Protein-Triglyceride Glucose Index and New-Onset Coronary Heart Disease among Metabolically Heterogeneous Individuals. *Cardiovascular Diabetology*, **24**, Article No. 316. <https://doi.org/10.1186/s12933-025-02876-5>
- [52] Ding, W., Shi, F., Wang, Z., Wang, L. and Fang, C. (2025) The Relationship between C-Reactive Protein-Triacylglycerol-Glucose Index and All-Cause Mortality in Patients with Cardiovascular Disease: A Retrospective Cohort Study and Development of a Machine Learning Prediction Model. *Cardiovascular Therapeutics*, **2025**, Article 6914985. <https://doi.org/10.1155/cdr/6914985>