

# TyG指数在心血管疾病中的研究进展

王玉宁<sup>1,2</sup>, 余航<sup>1,2</sup>, 胡小菁<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>西安医学院研究生工作部, 陕西 西安

<sup>2</sup>西安市第九医院心内科, 陕西 西安

收稿日期: 2024年2月27日; 录用日期: 2024年3月21日; 发布日期: 2024年3月29日

## 摘要

甘油三酯葡萄糖指数(triglyceride-glucose index, TyG)作为一项胰岛素抵抗(insulin resistance, IR)替代标志物已逐渐被重视。近几年来,大量研究提供了有力的统计证据,证明TyG指数与心血管疾病(CVD)的发生、进展及预后具有重要的价值。但是,TyG指数作为CVD标志物还没有系统标准的评价,关于CVD相关的潜在机制的信息很少。本文总结了TyG指数作为IR替代标记物的历史。通过TyG在心血管疾病中的研究进展,旨在探讨TyG指数在多种CVD类型中的应用价值。

## 关键词

甘油三酯 - 葡萄糖指数, 胰岛素抵抗, 心血管疾病

# Research Progress of TyG Index in Cardiovascular Diseases

Yuning Wang<sup>1,2</sup>, Hang Yu<sup>1,2</sup>, Xiaojing Hu<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Graduate Department of Xi'an Medical University, Xi'an Shaanxi

<sup>2</sup>Department of Cardiovascular Medicine, The Ninth Hospital of Xi'an City, Xi'an Shaanxi

Received: Feb. 27<sup>th</sup>, 2024; accepted: Mar. 21<sup>st</sup>, 2024; published: Mar. 29<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

Triglyceride-glucose index has been paid more and more attention, as an alternative marker of insulin resistance. In recent years, a large number of studies have provided strong statistical evidence that TyG index plays an important role in the occurrence, progression and prognosis of cardiovascular disease (CVD). However, as the evaluation standard of CVD marker system, TyG index has little information about the potential mechanism related to CVD. In this paper, we summarize

\*通讯作者。

the history of TyG index as a substitute marker for IR. Through the research progress of TyG in cardiovascular diseases, the purpose of this paper is to explore the application value of TyG index in many types of CVD.

## Keywords

TyG, Insulin Resistance, Cardiovascular Disease (CVD)

Copyright © 2024 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

心血管疾病(CVD)是全球发病率和死亡率最高的疾病,包括冠状动脉疾病、心脏病、心律失常和其他类型的心血管疾病,近些年农村患心血管疾病的死亡率持续高于城市,因此中国心血管疾病负担日渐加重,对公共卫生造成了严重挑战,并给患者带来巨大的经济负担,防治心血管疾病刻不容缓[1]。虽然现在已经确定了几个心血管疾病的危险因素,包括年龄、男性、肥胖、高血压、高胆固醇血症和糖尿病,但研究表明,一些没有这些危险因素的人也可能患上心血管疾病[2] [3]。因此,寻找心血管疾病新的危险因素,从未停歇,2008年 Simental-Mendia 等人[4]首次发现 TyG 指数是代表体内胰岛素的灵敏度可靠且特异性的指标,与高胰岛素-正葡萄糖钳夹试验(HEC)中的总糖代谢率相关,适用于基层医疗机构及经济欠发达地区。TyG 指不仅可以对 2 型糖尿病(T2DM)有预测价值,且优于空腹血糖及糖化血红蛋白[5];还可以预测健康人群 CVD 的发生与发展,还是评估代谢性疾病的风险媒介,与心血管疾病传统危险因素相关[5]。在这篇综述中,我们系统地描述了 TyG 指数作为 IR 的标志。并尽可能阐明 TyG 指数在各种心血管疾病环境中的应用价值,以及它与心血管疾病相关的潜在机制。

## 2. TyG 与 IR 的关系

IR 是人体对胰岛素作用的敏感性和反应性降低的一种状态,临床上,IR 被称为代谢综合征(MS)。代谢综合征是一组相互关联的多系统因素,可增加心血管疾病和 2 型糖尿病的风险[6]。已被确认为是 2 型糖尿病的一个标志,在患糖尿病之前的几年就会存在[7]。众所周知,胰岛素抵抗患者容易发生几种代谢紊乱,如高血糖、血脂异常和高血压,所有这些都与心血管疾病预后和不良密切相关[8]。因此,在普通人群和糖尿病患者中,IR 不仅被认为是一种致病原因,而且还被认为是心血管疾病的预测因子。高胰岛素-正葡萄糖钳夹试验(HEC)是评估胰岛素抵抗的金标准测量方法[9],通过外周静脉灌注的方法,使受试者血清胰岛素水平上升到约 100 mU/L,并维持在这一水平,给予受试者 20%葡萄糖的灌注,使血糖浓度保持在基础水平不变。在正常血糖条件下,葡萄糖输注率等于体内所有组织对葡萄糖的摄取,是衡量组织对外源性胰岛素敏感性的指标[9]。这项技术在临床上的应用受到限制。由于方法的复杂性,该测试仪仅用于小规模研究,现临床上,存在许多胰岛素抵抗替代指标;包括 HOMA-IR、TyG 指数、TGC/HDL、Quicki 和 McAuley 指数[10]。TyG 指数近年来作为衡量胰岛素抵抗的替代指标越来越流行。TyG 指数是与 IR 相关的更简单的方法,  $TyG \text{ 指数} = \ln[\text{空腹甘油三酯}(\text{mg/dL}) \times \text{空腹血糖}(\text{mg/dL})/2]$ 。通过使用血清甘油三酯检测代替胰岛素检测,这种方法更简单,在资源有限的国家可行性更高[10]。

稳态模型评估胰岛素指数(HOMA-IR)是目前广泛应用的检测胰岛素 B 细胞功能和 IR 方法; TyG 指数与 HOMA-IR 相比具有不同的途径,甘油三酯使游离脂肪酸增加,结果导致游离脂肪酸从脂肪组织向

非脂肪组织转移增加,从而产生胰岛素抵抗。高甘油三酯血症引起转运至肝脏的游离脂肪酸增加,从而导致肝脏葡萄糖输出增加,进而影响靶器官的糖代谢。Khan 等人[11]在 2018 年对患有和不患有 MS 的受试者进行的一项研究, TyG 指数 AUC 为 0.764 (95% CI 0.700~0.828,  $P = 0.001$ ), HOMA-IR 的 AUC 0.619 (95% CI 0.545~0.694,  $P = 0.001$ ), TyG 指数优于 HOMA-IR [11]。TyG 指数能更好的预测患者的代谢状态;健康但肥胖的人可能会有血脂异常和胰岛素抵抗,但糖耐量正常。Lee EY 等人[12]的一项研究发现,高血压、中心性肥胖或高密度脂蛋白水平低更多的出现在 TYG 指数三分位中高位。

### 3. TyG 与冠状动脉粥样硬化性心脏病

#### 3.1. TyG 与稳定性冠心病

冠状动脉粥样硬化性心脏病(CAD)是心血管相关死亡的主要原因之一。虽然有较好的药物和血管重建术等先进的治疗方法,已经有效地降低了胸痛的发生率,但冠心病患者经历重大不良心血管事件(MACEs)的风险仍然增加[7]。TyG 指数升高与冠心病患者的不良预后呈正相关。一项巢式病例对照研究纳入了 1282 名新发稳定性冠心病的 2 型糖尿病患者,调整混杂危险因素,结果显示(HR: 1.693, 95% CI 1.238~2.316), TyG 指数的增加与主要不良心脑血管事件(MACCE)的风险增加相关。金等人的一项研究进一步证实了 TyG 指数在稳定性冠心病患者中的预后价值[13]。一项荟萃分析慢性冠状动脉综合征(CCS)与稳定性冠心病患者, TyG 指数水平最高与最低的个体相比, MACE 的发生率更高, (HR: 1.24, 95% CI 0.96~1.60,  $I^2 = 85%$ ,  $P = 0.09$ ); TyG 指数作为一个连续变量进行分析发现 TyG 指数每增加 1 个单位/1 个标准差,发生 MACE 的风险增加 1.49 倍(95% CI 1.21~1.83,  $I^2 = 75%$ ,  $P = 0.0001$ ) [14]。

TyG 指数除了与已确诊的冠心病患者的预后相关外,还被用于识别有动脉粥样硬化高风险的无症状患者[7]。Lee 等人招募了 888 名无症状的成年 T2DM 患者,通过冠状动脉计算机断层扫描(CT)血管造影术评估冠状动脉狭窄(CAS),发现 TyG 指数较高与 CAS 风险增加相关,和老年、男性、血糖控制差、糖尿病病程较长和不使用他汀类药物等危险因素相似;此外,较高的 TyG 指数被确定为冠心病的独立危险因素(OR: 3.19, 95% CI 1.371~7.424) [12]。一项关于早期亚临床动脉粥样硬化进展的研究表明,在没有心血管危险因素(CVRF)的中年人群中,亚临床动脉粥样硬化的患病率约为 50% [15];在一项回顾性的观察研究中, Park 等人纳入 1250 例没有 CVRF 的韩国人,通过冠状动脉 CT 血管成像评价冠状动脉狭窄程度。发现 TyG 指数与冠心病风险增加有关(OR: 1.473, 95% CI 1.026~2.166),特别是在无钙化和混合斑块的患者中[16]。因此, TyG 指数在识别处于亚临床动脉粥样硬化早期风险的患者具有重要意义。

#### 3.2. TyG 与急性冠脉综合征

急性冠脉综合征(ACS)是最严重的缺血性心脏病,包括不稳定心绞痛(UA)、非 ST 段抬高心肌梗死(NSTEMI)和 ST 段抬高心肌梗死(STEMI)。急性冠脉综合征被认为是动脉粥样硬化心血管疾病(ASCVD)最严重的临床症状。急性冠脉综合征患者 1 年后死亡率约为 15%, 5 年后累积死亡率高达 20% [17]。尽管按照当前指南推荐的治疗方法,包括冠状动脉血运重建技术,如经皮冠状动脉介入(PCI)或冠状动脉旁路移植术(CABG)和最佳药物治疗,但仍然存在部分 ACS 患者仍处于复发心血管事件(CVE)的高危状态[7]。因此,识别 CVE 高危状态的急性冠脉综合征患者,对更积极的治疗策略至关重要。研究表明, TyG 指数对伴或不伴糖尿病的急性冠脉综合征患者的危险分层和预测预后是有用标志。一项回顾性队列研究共纳入 2531 名已确诊的糖尿病患者。这些患者因急性冠脉综合征接受了冠状动脉造影(CAG),完成了 3 年的临床随访。无论患者是否实施侵入性或非侵入性治疗,调整传统的 CVRF 后,结果发现 MACEs 的发生率随着 TyG 指数的增加而增加,且 TyG 指数是 MACEs 的独立预测因子(HR: 1.455, 95% CI 1.208~1.753) [18]。

诸多临床研究也表明 TyG 指数是急性冠脉综合征独立危险因素，一项纳入了 935 例急性冠脉综合征患者的单中心、回顾性研究，急性冠脉综合征患者的 TyG 指数、冠状动脉钙化积分(CACs)、冠状动脉病变严重程度和 ASCVD 预后之间存在显著的相关性，调整了潜在混杂风险因素后，TyG 指数、多支冠状动脉疾病(MVCD)和不利的心血管结局之间独立相关，TyG 指数对 MVCD 和冠状动脉斑块的预测强度与 CACs 相似[17]。另外，Luo 等人纳入了 1092 名接受经皮冠状动脉介入治疗的 STEMI 患者，在调整混杂因素(HR: 1.529, 95% CI 1.001~2.061)后，TyG 指数与 STEMI 患者术后 1 年内 MACCEs 风险的增加呈正相关(HR: 1.529, 95% CI 1.001~2.061) [19]。在非 ST 段抬高的急性冠脉综合征(NSTE-ACS)患者中也发现了类似的情况，无论是否合并糖尿病[20]。此外，一项纳入了经皮冠状动脉介入治疗的 1158 名有冠状动脉旁路手术病史的患者的回顾性研究。中位随访时间 42 个月，根据 TyG 指数的最佳截断值，将患者分为高 TyG 指数组和低 TyG 指数组。与低 TyG 指数组相比，高 TyG 指数组患者的主要心血管事件(MACE) (31.1% VS 23.4%,  $P = 0.003$ )、非致命性中风(4.2% VS 1.9%,  $P = 0.022$ )和非计划重复血管再通(19.4% VS 11.3%,  $P < 0.001$ )的风险更高。COX 回归分析显示，无论 TyG 指数是连续变量还是分类变量，TyG 指数与 MACCE 值均独立相关(HR 1.42, 95% CI 1.09~1.86,  $P = 0.009$ ; HR 1.53, 95% CI 1.16~2.01,  $P = 0.003$ ) [21]。

TyG 指数已被报告有助于早期识别健康的高风险患心血管疾病的人。因此，TyG 指数能否预测无明显危险因素的急性冠脉综合征患者的临床转归是临床需要关注的。Zhang 等人[22]一项研究分析发现，低密度脂蛋白低于 1.8 mmol/L 的急性冠脉综合征患者，高 TyG 指数水平有更高的急性心肌梗死发生率，更大的梗塞面积和更高的血管重建率；有意思的是，TyG 指数高的患者在随访期间更容易发生糖尿病，表明这部分人更有可能发生多支血管病变，这可能是增加血管重建率的潜在因素[22]。这项研究的结果表明，较高的 TyG 指数水平可能是风险相对较低的 ACS 患者早期分层的有效预测因子。

#### 4. TyG 与高血压

高血压仍然是全球人口发病和死亡的一个重要原因，特别是对发展中国家的人[23]。及早发现患高血压的高危人群对于减少高血压及其心血管并发症的发生率至关重要。研究表明，胰岛素抵抗可能通过介导低度全身炎症而参与高血压的发病机制。IR 能引起的高胰岛素血症可增加肾素 - 血管紧张素 - 醛固酮系统(RAAS)的活性，导致血压升高[4]。关注高血压患者 IR 水平并建立适当的 IR 管理方法具有重要意义。

最近，TyG 指数，被认为是胰岛素抵抗的可靠指标[23]。Qi 等人[24]一项研究，按 TyG 指数四分位数分组(Q1~Q4)，新发高血压患病率分别为 18.1%、25.3%、28.5%和 33.4%，COX 模型显示与 Q1 相比高水平的 TyG 指数与新发高血压的风险增加显著相关(调整危险比[aHR]: 1.29, 95% CI 1.07~1.55, Q2; aHR, 1.24, 95% CI 1.03~1.49, Q3; aHR, 1.50, 95% CI 1.22~1.84, Q4)，作为一个连续变量，TyG 指数每增加 1.0 单位，新发高血压的风险增加 17% (Ahr, 1.17; 95% CI 1.04~1.31)；相关性在各亚组和敏感性分析中是一致的。剂量 - 反应曲线显示 TyG 指数与新发高血压风险呈正相关，呈线性关系；高 TyG 指数与新发高血压的风险显著相关，维持相对较低的 TyG 指数水平可能对高血压的一级预防有效。TyG 指数显示与中老年高血压患者全因死亡风险 L 式关联[25]。一项荟萃集研究显示[23]，与 TyG 指数最低类别的人群相比，TyG 指数最高类别的人群患高血压的几率较高[调整危险比(RR): 1.53, 95% CI: 1.26~1.85,  $I^2 = 54%$ ,  $P < 0.001$ ]，每次排除一个数据集进行敏感性分析，结果一致。Jingtao 等人[26]一项 15,450 名血糖正常受试者的回顾性研究，随着 TyG 指数四分位数的增加，高血压前期和高血压的患病率均呈上升趋势。TyG 指数与高血压前期或高血压的患病率有强烈的相关性。提示了 TyG 指数在完善早期高血压管理策略方面的潜在临床价值。

#### 5. TyG 与心力衰竭

流行病学研究表明，心力衰竭(HF)是一种日益严重的健康负担，在成年人中的患病率高达 1~2% [27]。



尽管现在心力衰竭(HF)的管理有所改善,但这种疾病仍然给全球医疗保健系统带来重大负担[28]。心力衰竭患者即使接受了最佳治疗和医疗护理,其病情仍在继续恶化的原因尚不清楚,迫切需要新的工具来帮助临床医生进行风险分层、诊断和预后[28]。一个多世纪以来,胰岛素的敏感性和抵抗之间的联系被注意到,IR是2型糖尿病和HF的典型标志,一些研究表明,这两种情况之间存在双向联系[29]。例如,患有糖尿病的人比没有的人更容易患上心衰。此外,当排除缺血性心脏病时,糖尿病和心衰之间的联系更强[28]。心力衰竭患者的胰岛素抵抗发生率高,患糖尿病的风险也更高[29]。

最近有研究表明,IR是心力衰竭患者预后不良的主要原因,因此,IR替代标记物的识别将在心力衰竭的防治中发挥重要作用。TyG指数与心力衰竭患者的预后呈正相关,较高的TyG指数与左心室结构和功能受损以及心力衰竭风险增加直接相关[28]。TyG指数还与因急性心力衰竭(AHF)入院的非糖尿病患者的短期死亡率[30],或接受PCI的缺血性心力衰竭患者的主要MACE相关[31]。Guo等人一项研究提示,TyG指数与慢性心力衰竭、糖尿病患者的预后呈正相关,他们根据TyG指数水平将患者分为T1组[TyG指数 < 8.55],T2组[8.55 ≤ TyG指数 < 9.06]、T3组[TyG指数 ≥ 9.06],TyG指数越高,心力衰竭导致心血管死亡或再住院的风险就越高(P = 0.001);T3组的主要结局事件发生率高于T1组(HR: 2.33, 95% CI: 1.47~3.68),而T1组和T2组之间没有显著差异(HR: 1.56, 95% CI: 0.97~2.53) [32]。

TyG指数除了预测心力衰竭患者的预后外,还被认为这些患者心脏纤维化的新生物标志。心血管磁共振(CMR)评估的心肌纤维化可以为心力衰竭的心血管风险提供重要的预后信息[7]。Yang等人的研究成果,通过对103例住院心衰患者的分析,发现心肌纤维化可以用CMR对细胞外体积(ECV)分数来定量,多元线性回归分析显示,TyG指数是心力衰竭患者ECV分数的显著决定因素( $r = 0.36$ ),此外,在中位12.3个月的随访中,TyG指数被确定为全原因死亡率和HF住院的独立危险因素(HR: 2.01, 95% CI 1.03~4.01),支持TyG指数为HF管理的分层指标[7]。

胰岛素抵抗是慢性心力衰竭(CHF)的一个重要组成部分,因为代谢稳态与心力衰竭进展之间存在很强的相关性。Lokfai等人[33]探讨CHF患者胰岛素抵抗的替代指标TyG指数与CMR计算的心外膜脂肪体积(EFV)之间的相关性,研究结果表明,TyG指数与心外膜脂肪体积(EFV)呈显著正相关,心外膜脂肪组织积聚,胰岛素抵抗可能与心力衰竭时能量代谢异常有关。一项荟萃分析[28],TyG指数水平高组比TyG指数水平低组发生心力衰竭的风险显著增加(HR 1.21, 95% CI 1.14~1.29,  $P < 0.01$ ),在2型糖尿病或冠心病患者中,TyG指数越高,心衰的发生率越高。此外,心力衰竭患者的不良事件(再入院和死亡率)的发生率与TyG有关。TyG指数可作为评估不同人群心力衰竭发病风险的有价值指标,并可作为心力衰竭患者的预后指标。应该进一步研究,以确认这些关联。

## 6. 结论与展望

TyG指数是由空腹甘油三酯和空腹血糖组成的综合指标,根据以前的研究,IR需要直接检测血清胰岛素水平,价格昂贵,此外,当前所用HOMA-IR指数评估IR的方法,由于外源性胰岛素可能会受干扰,不适用于接受胰岛素治疗的糖尿病患者,而且在发展中国家的大多地方无法获得;TyG指数成本较低,而且普遍可用。IR是代谢紊乱和全身炎症的公认标志物,不仅是CVD的重要危险因素,而且还会导致不好的预后。目前的研究已经证实,TyG指数可以作为IR的一个可靠和方便的替代指标,该指标可以优化用于CVD的风险分层和结果预测,特别是在发展中国家。但现有的研究,没有关于纳入患者相关药物变化的详细信息。因此,不能排除高脂血症、糖尿病和高血压药物的潜在影响;此外,心血管疾病是一系列动态进行性的紊乱状态,以及心肌梗死等急性疾病可能导致应激性高血糖,影响TyG指数的诊断或预测价值;在大多数研究中,只在基线时检查甘油三酯和空腹血糖,而不考虑随时间的变化,这可能会导致潜在的回归稀释偏差。因此,应进一步增大研究数据及不同类型的临床试验,探究TyG指数与心血

管疾病的相关性；和传统的 IR 相比，TyG 指数成本低廉，获取方便，未来对于社区以及农村基层的心血管疾病的分层管理和预后能提供更加经济有效的方法。

## 参考文献

- [1] 胡盛寿, 高润霖, 刘力生, 等. 《中国心血管病报告 2018》概要[J]. 中国循环杂志, 2019, 34(3): 209-220.
- [2] Rosenblit, P.D. (2019) Extreme Atherosclerotic Cardiovascular Disease (ASCVD) Risk Recognition. *Current Diabetes Reports*, **19**, Article No. 61. <https://doi.org/10.1007/s11892-019-1178-6>
- [3] Choi, S. (2019) The Potential Role of Biomarkers Associated with ASCVD Risk: Risk-Enhancing Biomarkers. *Journal of Lipid and Atherosclerosis*, **8**, 173-182. <https://doi.org/10.12997/jla.2019.8.2.173>
- [4] Simental-Mendía, L.E., Rodríguez-Morán, M. and Guerrero-Romero, F. (2008) The Product of Fasting Glucose and Triglycerides as Surrogate for Identifying Insulin Resistance in Apparently Healthy Subjects. *Metabolic Syndrome and Related Disorders*, **6**, 299-304. <https://doi.org/10.1089/met.2008.0034>
- [5] Steven, S., Frenis, K., Oelze, M., *et al.* (2019) Vascular Inflammation and Oxidative Stress: Major Triggers for Cardiovascular Disease. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, **2019**, Article ID: 7092151. <https://doi.org/10.1155/2019/7092151>
- [6] Soewondo, P., Purnamasari, D., Oemardi, M., *et al.* (2010). Prevalence of Metabolic Syndrome Using NCEP/ATP III Criteria in Jakarta, Indonesia: The Jakarta Primary Non-Communicable Disease Risk Factors Surveillance 2006. *Acta medica Indonesiana*, **42**, 199-203.
- [7] Tao, L.C., Xu, J.N., Wang, T.T., *et al.* (2022) Triglyceride-Glucose Index as a Marker in Cardiovascular Diseases: Landscape and Limitations. *Cardiovascular Diabetology*, **21**, Article No. 68. <https://doi.org/10.1186/s12933-022-01511-x>
- [8] Hill, M.A., Yang, Y., Zhang, L., *et al.* (2021) Insulin Resistance, Cardiovascular Stiffening and Cardiovascular Disease. *Metabolism: Clinical and Experimental*, **119**, Article 154766. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2021.154766>
- [9] Tahapary, D.L., Pratisthita, L.B., Fitri, N.A., *et al.* (2022) Challenges in the Diagnosis of Insulin Resistance: Focusing on the Role of HOMA-IR and Triglyceride/Glucose Index. *Diabetes & Metabolic Syndrome*, **16**, Article 102581. <https://doi.org/10.1016/j.dsx.2022.102581>
- [10] Ramdas Nayak, V.K., Satheesh, P., Shenoy, M.T., *et al.* (2022) Triglyceride Glucose (TyG) Index: A Surrogate Biomarker of Insulin Resistance. *The Journal of the Pakistan Medical Association*, **72**, 986-988. <https://doi.org/10.47391/jpma.22-63>
- [11] Khan, S.H., Sobia, F., Niazi, N.K., *et al.* (2018) Metabolic Clustering of Risk Factors: Evaluation of Triglyceride-Glucose Index (TyG Index) for Evaluation of Insulin Resistance. *Diabetology & Metabolic Syndrome*, **10**, Article No. 74. <https://doi.org/10.1186/s13098-018-0376-8>
- [12] Lee, E.Y., Yang, H.K., Lee, J., *et al.* (2016) Triglyceride Glucose Index, a Marker of Insulin Resistance, Is Associated with Coronary Artery Stenosis in Asymptomatic Subjects with Type 2 Diabetes. *Lipids in Health and Disease*, **15**, Article No. 155. <https://doi.org/10.1186/s12944-016-0324-2>
- [13] Jin, J.L., Cao, Y.X., Wu, L.G., *et al.* (2018) Triglyceride Glucose Index for Predicting Cardiovascular Outcomes in Patients with Coronary Artery Disease. *Journal of Thoracic Disease*, **10**, 6137-6146. <https://doi.org/10.21037/jtd.2018.10.79>
- [14] Liang, S., Wang, C., Zhang, J., *et al.* (2023) Triglyceride-Glucose Index and Coronary Artery Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis of Risk, Severity, and Prognosis. *Cardiovascular Diabetology*, **22**, Article No. 170. <https://doi.org/10.1186/s12933-023-01906-4>
- [15] Fernández-Friera, L., Fuster, V., López-Melgar, B., *et al.* (2017) Normal LDL-Cholesterol Levels Are Associated with Subclinical Atherosclerosis in the Absence of Risk Factors. *Journal of the American College of Cardiology*, **70**, 2979-2991. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2017.10.024>
- [16] Park, G.M., Cho, Y.R., Won, K.B., *et al.* (2020) Triglyceride Glucose Index Is a Useful Marker for Predicting Subclinical Coronary Artery Disease in the Absence of Traditional Risk Factors. *Lipids in Health and Disease*, **19**, Article No. 7. <https://doi.org/10.1186/s12944-020-1187-0>
- [17] Wang, J., Huang, X., Fu, C., *et al.* (2022) Association between Triglyceride Glucose Index, Coronary Artery Calcification and Multivessel Coronary Disease in Chinese Patients with Acute Coronary Syndrome. *Cardiovascular Diabetology*, **21**, Article No. 187. <https://doi.org/10.1186/s12933-022-01615-4>
- [18] Wang, L., Cong, H.L., Zhang, J.X., *et al.* (2020) Triglyceride-Glucose Index Predicts Adverse Cardiovascular Events in Patients with Diabetes and Acute Coronary Syndrome. *Cardiovascular Diabetology*, **19**, Article No. 80. <https://doi.org/10.1186/s12933-020-01054-z>

- [19] Luo, E., Wang, D., Yan, G., *et al.* (2019) High Triglyceride-Glucose Index Is Associated with Poor Prognosis in Patients with Acute ST-Elevation Myocardial Infarction after Percutaneous Coronary Intervention. *Cardiovascular Diabetology*, **18**, Article No. 150. <https://doi.org/10.1186/s12933-019-0957-3>
- [20] Zhao, Q., Zhang, T.Y., Cheng, Y.J., *et al.* (2020) Impacts of Triglyceride-Glucose Index on Prognosis of Patients with Type 2 Diabetes Mellitus and Non-ST-Segment Elevation Acute Coronary Syndrome: Results from an Observational Cohort Study in China. *Cardiovascular Diabetology*, **19**, Article No. 108. <https://doi.org/10.1186/s12933-020-01086-5>
- [21] Dong, S., Zhao, Z., Huang, X., *et al.* (2023) Triglyceride-Glucose Index Is Associated with Poor Prognosis in Acute Coronary Syndrome Patients with Prior Coronary Artery Bypass Grafting Undergoing Percutaneous Coronary Intervention. *Cardiovascular Diabetology*, **22**, Article No. 286. <https://doi.org/10.1186/s12933-023-0.2029-6>
- [22] Zhang, Y., Ding, X., Hua, B., *et al.* (2022) High Triglyceride-Glucose Index Is Associated with Poor Cardiovascular Outcomes in Nondiabetic Patients with ACS with LDL-C below 1.8 mmol/L. *Journal of Atherosclerosis and Thrombosis*, **29**, 268-281. <https://doi.org/10.5551/jat.61119>
- [23] Wang, Y., Yang, W. and Jiang, X. (2021) Association between Triglyceride-Glucose Index and Hypertension: A Meta-Analysis. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, **8**, Article 644035. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2021.644035>
- [24] Gao, Q., Lin, Y., Xu, R., *et al.* (2023) Positive Association of Triglyceride-Glucose Index with New-Onset Hypertension among Adults: A National Cohort Study in China. *Cardiovascular Diabetology*, **22**, Article No. 58. <https://doi.org/10.1186/s12933-023-01795-7>
- [25] Pang, J., Qian, L., Che, X., *et al.* (2023) TyG Index Is a Predictor of All-Cause Mortality during the Long-Term Follow-Up in Middle-Aged and Elderly with Hypertension. *Clinical and Experimental Hypertension*, **45**, Article 2272581. <https://doi.org/10.1080/10641963.2023.2272581>
- [26] Xu, J., Xu, W., Chen, G., *et al.* (2023) Association of TyG Index with Prehypertension or Hypertension: A Retrospective Study in Japanese Normoglycemia Subjects. *Frontiers in Endocrinology*, **14**, Article 1288693. <https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1288693>
- [27] Ziaieian, B. and Fonarow, G.C. (2016) Epidemiology and Aetiology of Heart Failure. *Nature Reviews Cardiology*, **13**, 368-378. <https://doi.org/10.1038/nrcardio.2016.25>
- [28] Khalaji, A., Behnoush, A.H., Khanmohammadi, S., *et al.* (2023) Triglyceride-Glucose Index and Heart Failure: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Cardiovascular Diabetology*, **22**, Article No. 244. <https://doi.org/10.1186/s12933-023-01973-7>
- [29] Campbell, P., Krim, S. and Ventura, H. (2015) The Bi-Directional Impact of Two Chronic Illnesses: Heart Failure and Diabetes—A Review of the Epidemiology and Outcomes. *Cardiac Failure Review*, **1**, 8-10. <https://doi.org/10.15420/cfr.2015.01.01.8>
- [30] Cheng, H., Huang, W., Huang, X., *et al.* (2023) The Triglyceride Glucose Index Predicts Short-Term Mortality in Non-Diabetic Patients with Acute Heart Failure. *Advances in Clinical and Experimental Medicine: Official Organ Wroclaw Medical University*, **33**, 103-110. <https://doi.org/10.17219/acem/166043>
- [31] Sun, T., Huang, X., Zhang, B., *et al.* (2023) Prognostic Significance of the Triglyceride-Glucose Index for Patients with Ischemic Heart Failure after Percutaneous Coronary Intervention. *Frontiers in Endocrinology*, **14**, Article 1100399. <https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1100399>
- [32] Guo, W., Zhao, L., Mo, F., *et al.* (2021) The Prognostic Value of the Triglyceride Glucose Index in Patients with Chronic Heart Failure and Type 2 Diabetes: A Retrospective Cohort Study. *Diabetes Research and Clinical Practice*, **177**, Article 108786. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2021.108786>
- [33] Cheang, I., Zhu, X., Lu, X., *et al.* (2024) Correlation of Ventricle Epicardial Fat Volume and Triglyceride-Glucose Index in Patients with Chronic Heart Failure. *The International Journal of Cardiovascular Imaging*. <https://doi.org/10.1007/s10554-024-03048-4>