

TyG指数、TyG-BMI指数及RDW与冠脉病变支数及严重程度的研究进展

魏麟博, 孙宓颖*

北华大学附属医院心血管二疗区, 吉林 吉林

收稿日期: 2026年3月9日; 录用日期: 2026年4月3日; 发布日期: 2026年4月13日

摘要

冠状动脉粥样硬化性心脏病(Coronary Heart Disease, CHD)目前仍然属于全球心血管疾病中主要的类型, 对于人类的生命健康已经产生了严重的危害。其中胰岛素抵抗可以通过炎症、氧化应激等多种途径参与并且作用于冠状动脉疾病的发生发展过程中。现在已经有研究表明, 甘油三酯葡萄糖指数(TyG指数)、甘油三酯葡萄糖体质量指数(TyG-BMI指数)两个都是胰岛素抵抗(Insulin Resistance, IR)的一种新型替代评估指标, 与冠状动脉疾病的发生发展及冠状动脉的严重程度有着重要的意义; 而红细胞分布宽度(RDW), 作为血液学的指标, 最近几年随着对于临床研究不断深入的过程中, RDW被发现与炎症反应以及心血管疾病有着密切的联系。因此本文就TyG指数、TyG-BMI指数及RDW与冠脉病变支数及严重程度相关性的研究进展进行综述。

关键词

TyG指数, TyG-BMI指数, RDW, 冠状动脉病变支数, 冠状动脉病变严重程度

Research Progress on the Relationship between TyG Index, TyG-BMI Index, RDW and the Number and Severity of Coronary Artery Lesions

Linbo Wei, Miying Sun*

Department II of Cardiology, Affiliated Hospital of Beihua University, Jilin Jilin

Received: March 9, 2026; accepted: April 3, 2026; published: April 13, 2026

*通讯作者。

文章引用: 魏麟博, 孙宓颖. TyG 指数、TyG-BMI 指数及 RDW 与冠脉病变支数及严重程度的研究进展[J]. 临床医学进展, 2026, 16(4): 2457-2466. DOI: 10.12677/acm.2026.1641496

Abstract

Coronary heart disease (CHD) remains one of the major types of cardiovascular disease globally and poses a serious threat to human health. Insulin resistance plays a role in the onset and progression of coronary artery disease through various mechanisms, including inflammation and oxidative stress. Recent studies have shown that the triglyceride-glucose index (TyG index) and the triglyceride-glucose body mass index (TyG-BMI index) are novel surrogate markers for insulin resistance (IR), both of which are significantly associated with the occurrence, development, and severity of coronary artery disease. Meanwhile, red blood cell distribution width (RDW), a hematological parameter, has recently been found to be closely related to inflammation and cardiovascular disease as clinical research deepens. Therefore, this paper reviews the current research progress on the correlations among the TyG index, TyG-BMI index, RDW, and the number and severity of coronary artery lesions.

Keywords

TyG Index, TyG-BMI Index, RDW, Number of Coronary Artery Lesions, Severity of Coronary Artery Lesions

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

冠状动脉粥样硬化性心脏病(简称冠心病), 现已成为临床上常见的心血管性疾病, 其发生的本质就是产生并形成了动脉粥样硬化斑块, 形成的斑块轻则会导致管腔出现狭窄, 重则会形成管腔的闭塞导致血流的中断, 而血流的改变又会导致心肌出现缺血、缺氧, 甚至是出现心肌坏死, 形成心肌梗死[1][2]。动脉粥样硬化(Atherosclerosis, AS)是冠心病发生发展的核心病理过程, AS的形成则是一种缓慢又复杂的炎性病理改变, 其主要特征是脂质的堆积、平滑肌细胞和胶原纤维的增生, 以及内皮下钙化斑块的形成[3]。AS的发病机制涉及到多种学说, 其中有学说认为AS最初的因素为内皮损伤, 但它并不是唯一的条件[4][5]。导致内皮损伤这一过程的因素颇多, 其中包括了传统危险因素(例如高血压、糖尿病等)以及最近几年新兴起的危险因素(例如胰岛素抵抗、慢性炎症等)[6][7]。因此, 寻找简单有效且无创, 又能够低成本地预测冠脉病变严重程度的血清学或血液学标志物, 近几年来一直是心血管病学领域的研究热点。其中, 甘油三酯-葡萄糖指数(Triglyceride-Glucose index, TyG指数)、TyG-体重指数(TyG-BMI index)以及红细胞分布宽度(Red blood cell Distribution Width, RDW)这三项指标中脱颖而出。它们三项分别从代谢脂质紊乱(胰岛素抵抗为核心)[8]、代谢-肥胖交互作用[9], 以及炎症、氧化应激[10]的角度, 为预测冠脉粥样硬化的发生以及发展的严重程度提供了一个新颖而且有力的视角。本文就TyG指数、TyG-BMI指数及RDW在冠状动脉中病变的支数及病变的严重程度中的作用机制以及与冠心病的相关性的研究进展进行综述。

2. TyG指数概述

2.1. TyG指数定义

甘油三酯-葡萄糖指数(Triglyceride-Glucose Index, TyG指数)是指空腹的甘油三酯和空腹的血糖水

平搭建的胰岛素抵抗替代的指标,其计算公式为: $TyG = \ln[\text{空腹甘油三酯}(\text{mg/dL}) \times \text{空腹血糖}(\text{mg/dL})/2]$ 。当 TyG 指数升高时,提示了机体对于胰岛素抵抗程度加重以及对于糖、脂质的代谢紊乱反映更为明显。目前存在大量的研究证实,冠心病和 IR 之间有着密不可分的关系,其中最著名的检测 IR 的两个方法,高胰岛素正常葡萄糖钳夹试验(Hyper Insulinemic Euglycemic Glucose Clamp, HEGC)和胰岛素抵抗的稳态评估模型(Homeostasis Model Assessment, HOMA),分别于 1979 年和 1985 年被首次提出,但是这两种的操作方法均需要操作者有着丰富的经验,且消耗时间长、实验强度大,因此不适宜在临床中广泛的应用[11]。TyG 指数最开始是由 SIMMENTAL-MENDÍA 等学者提出,仅需要通过空腹甘油三酯及空腹葡萄糖的数值就可以进行计算。与传统的 HEGC 及 HOMA-IR 指数相比, TyG 指数的敏感性和特异性对比另外两个而言,更胜一筹[12] [13]。而且 TyG 指数的计算不需要用到胰岛素的浓度,这样就可以避免了标准化的程度不高、费用比较昂贵等等缺点。TyG 指数被作为一种新型的 IR 替代标志物,其本身就是能评估血糖与血脂的一个综合指标,其中血糖和血脂的代谢异常又都与心血管的疾病有着密切的联系[14] [15]。高甘油三酯血症是临床上常见的脂质代谢出现异常的一种疾病,高甘油三酯血症一方面既可以使小而致密低密度脂蛋白的形成增加,加速了动脉粥样硬化斑块的形成,而低密度脂蛋白形成增加的同时还可以促使高密度脂蛋白的形成减少,这样“一多一少”的过程,会让血管内皮更容易受到损伤[16]。另一方面使游离的脂肪酸向肝脏增多,这样肝脏生成的葡萄糖也会相应的增加,而葡萄糖生成增加又可进一步的引发 IR [17]。因此, TyG 指数它本质上就是将两种可以引发 IR 的关键指标整合到一起,间接反映了胰岛素的敏感性。

2.2. TyG 指数与冠脉病变之间的关联性

TyG 指数是可以作为胰岛素抵抗(IR)的一个反映指标,其参与了多重的动脉粥样硬化(AS)发生发展过程。

2.2.1. 内皮功能的障碍

AS 往往出现第一个损伤的就是血管内皮。正常情况下,胰岛素是把刺激磷脂酰肌醇 3 激酶(PI3K)/蛋白激酶 B (Akt)作为最重要的通路,从而使内皮细胞受到刺激产生一氧化氮(NO),舒张血管内皮。但是只要发生了 IR,这条“通路”就会受到明显的限制,导致 NO 的产生明显降低。最麻烦的是,胰岛素本来可以通过 MAPK 通路使得血管收缩和刺激血管平滑肌出现细胞增殖的作用,在 IR 状态下基本上不受到影响。这种“一松一紧”的失衡状态,导致血管变得收缩和增生简单容易,舒张困难,这样也会更容易发生炎症,内皮的障碍为 AS 的发生拉开了序幕[18] [19]。

2.2.2. 脂蛋白谱的改变

IR 对于整个身体的脂质代谢都会存在着影响[20]。在脂肪组织中,IR 不仅能抑制脂蛋白脂酶(LPL)活性,还可以同时使激素敏感性脂肪酶(HSL)的活性增强,这样就会加速脂肪的分解,可以使得大量游离的脂肪酸(FFA)跑到肝脏中。而在肝脏中,甘油三酯(TG)需要 FFA 为其提供合成所必需的底物,这样才能使极低密度脂蛋白(VLDL)的合成和分泌,一旦 FFA 异常增加,也会间接使得血液中的 TG 合成增多[21]。在血浆中,更重要的是,因为富含了 TG 的脂蛋白(例如 VLDL)与胆固醇酯转运蛋白(CETP)两者之间的交换量增加,间接增加了小而密低密度脂蛋白(sdLDL)生成的数量以及大幅度降低了高密度脂蛋白(HDL)的数量和功能。这样会使得 sdLDL 颗粒更小、更致密,就会更容易透过血管内膜,而且 sdLDL 与 LDL 受体的亲和力较低,在血液里待得时间越久,也越容易被氧化成有害的氧化型 LDL (ox-LDL)。这些 ox-LDL 不但会降低 NO 的生物利用度,同时还会损害内皮所依赖性的舒张功能,之后被巨噬细胞大量吞噬形成了泡沫细胞,这些都是形成 AS 斑块的核心病理过程[22]。

2.2.3. 慢性炎症状态

IR 与慢性炎症之间二者互帮互助, 形成了一个恶性循环。脂肪组织, 尤其是那些出现功能失调的内脏脂肪组织, 原本可以正常进行能量的储存, 失调后它不再是一个简单的储存仓库, 而是摇身一变, 变成了一个“炎症工厂”。这些失调的内脏脂肪组织将会分泌出大量的促炎因子, 例如肿瘤坏死因子- α (TNF- α)、白细胞介素-6 (IL-6)、单核细胞趋化蛋白-1 (MCP-1)等, 同时还能不断地减少抗炎因子的产生, 例如脂联素的分泌。这些失调的内脏脂肪组织源源不断的分泌的促炎因子, 这些炎症因子则通过激活核因子 κ B (NF- κ B)等关键信号通路, 来使得血管内皮细胞表达黏附分子分泌增加, 这样可以使单核细胞进入到内膜下的间隙就会增多, 进入后单核细胞分化为巨噬细胞, 使局部的炎症反应进一步扩大[23]。

2.3. TyG 指数与冠脉病变支数及严重程度的潜在关联

冠脉病变的支数(单支、双支或多支病变)反映了动脉粥样硬化的弥漫程度。正向增长的趋势: 有些研究发现, 当 TyG 指数四分位数的增加时, 多支血管的病变比例压在跟随着显著升高, TyG 指数与冠脉病变的支数存在着正向的线性关系。代谢的负担: 一般情况下, 机体内 TyG 指数水平升高时, 通常也会伴随着出现更严重的高胰岛素血症, 这意味着二者的高水平都会刺激血管平滑肌细胞的增殖, 导致冠脉血管主干及各个分支也会相应的受到广泛的损害, 而不是局限于某一个单根血管[24] [25]。同时, 使用 Gensini 积分也能精细地量化评估冠脉病变的总体负荷程度。一项对冠心病患者的研究中表明, TyG 指数不仅与 Gensini 积分呈显著正相关, 且也与多支冠脉病变呈现显著的相关性。当按 TyG 指数四分位数将患者分组以后, 可观察到 Gensini 积分呈现出明显的剂量 - 反应关系, 随着 TyG 指数分位的越来越高, Gensini 积分的均值也随之出现了显著递增, 与此同时, 研究对象中冠脉多支病变的数量占比也出现了相应的增加[26] [27]。还有实验证明, 即使在努力全面校正了相关的传统危险因素以后, TyG 指数仍然可以作为冠脉病变的独立影响因素[28]。而另一项研究中利用了 SYNTAX 积分进行评估, 结果表明 TyG 指数较高的患者, 其冠脉病变的不仅是狭窄程度较重, 而且相对的解剖结构较常人也更加的复杂, 介入治疗时对应的难度也会有所提升, 导致预后可能较常人比较更差[29] [30]。这些的发现共同确立了 TyG 指数在对于冠脉病变支数及严重程度中的有力地位。

3. TyG-BMI 指数概述

3.1. TyG-BMI 指数定义

TyG-BMI 指数是指 TyG 指数和体重指数(Body Mass Index, BMI)二者的乘积, 其计算公式为: TyG-BMI 指数 = TyG 指数 \times BMI (kg/m^2)。这个复合指标它的优势之处在于, 它将可以反映胰岛素抵抗的标志物 TyG 指数与反映全身性肥胖的体重指数 BMI, 这两个息息相关并且共同可以对心血管的健康产生影响的危险因素进行整合[31]。肥胖, 尤其是中心性的肥胖, 是促进 IR 的最主要的因素之一。不仅如此, IR 时会导致促进脂质的代谢功能异常增加, 从而形成肥胖, 这样, 两者之间就可以形成一个恶性循环[32]。因此, TyG-BMI 指数在综合评估个体的代谢健康状况时, 可以从“代谢紊乱”和“肥胖”这两个角度来进行, 理论上应该比单独使用 TyG 指数或体重指数 BMI 能更全面地评估对心血管健康所产生的双重影响。

3.2. TyG-BMI 指数与冠脉病变的相关性研究

TyG-BMI 指数虽然是整合了两者, 但其发病的机制并非 TyG 指数和体重指数 BMI 二者发病的机制简单相加在一起, 而是两者存在着协同放大的效应: 一方面, 脂肪组织功能异常时: 肥胖和机体出现胰岛素抵抗有着必然的联系。脂肪细胞本身可以产生瘦素(Leptin), 但脂肪细胞异常增多时, 瘦素的产生就

会明显增加, 瘦素的升高又可以导致机体出现炎症, 同时瘦素还会刺激内皮细胞产生 NO, 但值得需要注意的情况是, IR 与“瘦素抵抗”一般都会同时出现在机体内[33]。这也就是说, 机体出现“瘦素抵抗”时, 血管内的炎症及内皮功能障碍都会更加明显。另一方面, 脂肪细胞分泌出来的脂联素(Adiponectin)具有抗炎、抗动脉粥样硬化作用, 但由于肥胖, 使得 IR 增加, 间接导致了脂肪细胞分泌脂联素的水平明显降低。这种“一高一低”的变化, 又会推进 IR、系统性炎症和内皮功能障碍大大加剧[34]。

异位脂肪沉积

当过于肥胖时, 皮下的白色脂肪组织储存能力达到极限以后, 多余的脂肪组织会过多的“溢出”来, 并且沉积在肝脏、胰腺、心脏和血管周围, 甚至是骨骼肌等一些非脂肪组织中, 这个就是异位脂肪的沉积。例如当出现肝脏脂肪的异位沉积时(非酒精性脂肪肝, NAFLD), 它会与肝的 IR 相互促进, 导致合成过多的 VLDL, 使得动脉粥样硬化性脂蛋白谱出现更加的紊乱。再例如胰腺脂肪浸润时, 他会损害 β 细胞的功能, 功能出现异常时就会加速出现糖耐量的异常, 就可以向着糖尿病发生进展。这些异位脂肪本身的代谢活性也很高, 这些都会导致分泌更多的炎症因子, 使得局部和全身都在促进 AS 的发生发展[35]。炎症与氧化应激: 肥胖, 本身就属于一种慢性的低度炎症状态。而长期的营养过剩则会导致脂肪细胞增大, 发生缺氧坏死, 坏死的脂肪细胞又吸引大量的巨噬细胞等免疫细胞浸润, 使 TNF- α 、IL-6 等促炎因子爆发式增加[36]。然后这些因子则会通过血液循环系统作用于全身各个地点, 与 IR 共同形成一个“炎症-IR-肥胖”的恶性循环的圈子, 这个圈子将会不断地放大对血管内皮的损伤。与此同时, 肥胖相关的氧化应激也会发生的更加剧烈, 这些因素综合进一步加速了 AS 的发展进程[37]。

3.3. TyG-BMI 指数对冠脉病变支数及严重程度的价值

在冠状动脉多支病变及严重程度的预测价值这方面, 已经出现了越来越多的研究, 且大部分均提示 TyG-BMI 指数较其二者任一单独分组具有更明显的风险分层优势。诸多研究中的其中一项, 研究了 2356 名患者显示, TyG-BMI 指数不仅与病变血管支数及 Gensini 评分成正相关, 而且 ROC (Receiver Operating Characteristic)分析还表明了, TyG-BMI 指数比另外两个单独的指标预测冠心病价值都更有成效(TyG-BMI AUC 0.673 > BMI AUC 0.656 > TyG AUC 0.625) [38]。在另外一项针对中国人群的大样本研究中表明, 当随着 TyG-BMI 指数的分层提高时, 冠脉病变多支血管及严重程度的病变风险都随着升高, 呈现了显著的递增趋势[39]; 数据显示 TyG-BMI 指数分层最高的人群发生多支冠脉病变后, 为其校正后, 风险仍然可达低分层人群的约 3 倍以上[40]。而且需要值得注意的是, 这种强关联不仅存在 TyG-BMI 指数中, 在非糖尿病人群中也同样存在, 这就提示了 TyG-BMI 指数可以更早且更加有效地识别出糖尿病前期甚至是一些高危人群。这些都充分证明了, 结合肥胖因素后, 该指标可以更敏感的且较为准确地识别出冠脉病变范围更广的冠心病患者[41]。

4. RDW 指数概述

4.1. RDW 指数定义

红细胞分布宽度(RDW)是血常规中的一个常规参数, 其定义为红细胞体积大小的变异系数(Coefficient of Variation, CV), 计算公式为: $RDW = (\text{红细胞体积的标准差} / \text{平均红细胞体积}) \times 100\%$ 。它正常可以客观反映了外周血中红细胞大小的异质性(即大小不均的程度)。在生理状态下, 成熟红细胞大小均一, RDW 值维持在较为正常的小范围内(例如一般是 11.5%~14.5%)。所以当 RDW 升高时, 提示了红细胞存在着大小不均的情况, 这些可以间接的反映了红细胞在生成、成熟或破坏过程中的异常紊乱[42][43]。传统上来说, RDW 主要是用于不同类型的贫血的鉴别诊断(例如缺铁性贫血时 RDW 常升高, 而地

中海贫血 RDW 多为正常)[44]。但是近十余年的研究表明, RDW 的临床意义已经远远地超出了“鉴别贫血诊断指标”这一传统的范畴。在多项临床与流行病学的研究中发现, 即便在没有合并明显贫血的患者或一般人群里面, RDW 的升高也同样和多种心血管疾病的发生及不良的预后关系密切, 其中就包括了冠心病、心力衰竭及肺动脉高压等, 这些发现说明了 RDW 可以作为预测心血管结局的独立因子[45]。此外, 近期的综述也指出, RDW 和冠心病风险事件、心血管死亡率之间存在着比较稳固的关联, 可能与其潜在的发病机制途径, 如炎症反应、氧化应激、营养状态不良以及红细胞可变形性下降导致的微循环灌注障碍等相关[46]。

4.2. RDW 与冠脉病变的研究进展

在当前社会的普遍认知中, RDW 升高时, 主要反映的是“慢性炎症 - 氧化应激 - 造血功能紊乱”的一种综合状态, 而恰好慢性的低度炎症正是驱动发生发展 AS 的关键因素之一。在慢性炎症的环境中, 炎症因子 IL-6 位于核心地位: 一方面, 它抑制肾脏间质细胞的生成和释放促红细胞生成素(EPO), 可以通过 JAK/STAT 通路, 使得降低肾性促红细胞的生成信号; 另一方面, 其又可以降低骨髓造血的祖细胞对于 EPO 以及其他造血生长因子的敏感性, 使得本就紧张的 EPO 信号在骨髓层面进一步减低, 最正常导致了有效红系造血效率的降低。在进行上述步骤的同时, IL-6 还可能会诱导肝细胞合成铁调素(hepcidin), 铁调素会降解铁输出转运蛋白(ferroportin), 使小肠及巨噬细胞回收的铁很难进入到循环中, 投入使用, 这就造成了“功能性铁缺乏”。机体在这种状态下, 红细胞合成血红蛋白就会受到限制, 导致成熟红细胞体积变小, 部分未成熟或大小不均的红细胞被提前释放进入外周血, RDW 也会因此而升高。其中有一点需要了解的是, 这些促炎因子不仅能够影响造血功能异常, 还能够直接或间接的参与 AS 的发生全过程: 上调内皮黏附分子表达、促进单核 - 巨噬细胞的黏附和浸润, 推动泡沫细胞的形成, 参与纤维帽的胶原降解, 使得斑块更易破裂。RDW 的升高就是像我们提示, 机体可能长期处于慢性低度炎症负荷的状态, 需注意与冠心病的预后[47]。

4.2.1. 氧化应激损伤

慢性炎症状态总是伴随着活性氧簇(ROS)和活性氮簇(RNS)的过量生成, 二者在红细胞和血管的病变中协同作用。ROS 可以直接攻击红细胞膜的多不饱和脂肪酸和膜骨架蛋白, 从而降低了红细胞膜的流动性、变形能力减低, 机械性溶血和清除的概率升高, 大大缩短了红细胞的寿命。在红细胞寿命缩短、外周消耗增加的情况下, 骨髓为了维持氧气的运输就会启动一些代偿性改变: 一方面加速了红系的增生, 另一方面提前释放网织红细胞和部分发育不完全的红细胞进入到循环中。但是由于这些细胞未发育完全, 体积和血红蛋白含量与正常相比, 有很大的差距, 就会导致红细胞的体积分布不均匀, 使 RDW 明显升高。除此之外, 氧化应激还能够使氧化的红细胞膜表面的蛋白改变其带电的特性, 增加其清除率。更为重要的是, ROS 本身也是一种可以直接的作用于血管系统的致病因子: 它不仅可以使一氧化氮(NO)大量的消耗增加, 让血管的舒张反应大打折扣, 还会使得血管的张力升高; 氧化 LDL 变成 ox-LDL, 促进了其被巨噬细胞摄取并形成泡沫细胞, 加速斑块的形成和进展。因此, RDW 升高既可以反映造血系统受到了损害, 也在一定程度上反映了机体氧化应激与内皮功能受损的严重程度, 同时与冠心病和不良心血管事件的发生具有一致的病理基础[48]。

4.2.2. 神经内分泌的激活

冠心病患者中普遍存在交感神经系统(SNS), 当 RDW 升高明显时, 会使 SNS 过度的激活, 肾素 - 血管紧张素 - 醛固酮系统(RAAS)功能就会出现亢进。一方面原因是, 儿茶酚胺及 Ang II 两者均可以间接通过影响血管收缩, 让肾血流动力学受到改变以及直接作用于肾小管 - 间质, 使 EPO 的生成调节产生偏移;

另一方面原因是, SNS 激活和 RAAS 亢进可以改变骨髓的造血微环境, 例如影响到骨髓的血流灌注、间质细胞的分泌以及交感神经末梢对造血干/祖细胞的调控, 从而改变了红细胞的生成节奏和发育程度。在临床研究也可以观察到, 在非瓣膜性房颤、心力衰竭等伴有明显的神经内分泌激活及慢性炎症的心血管疾病患者中, 他们的血清 CRP、RDW 与 NLR 等炎症 - 应激的指标往往呈现出一致性的升高, 并且预后大多不良。这也提示了 RDW 很可能是神经内分泌激活、炎症反应和骨髓造血应激三者的共同作用下所导致的最终结局[49]。

4.3. RDW 与冠脉病变支数及严重程度的研究进展

多项研究表明, RDW 水平的高低与冠脉病变的范围大小呈现明显的正相关。一项 2025 年最新综述总结显示, 高 RDW 值是冠心病的独立危险因素, 与冠状动脉疾病严重程度呈显著的正相关, 并且多支病变的患者 RDW 显著高于单支病变组[50][51]。这个结果在 ACS 事件中关联甚至更强。研究发现, ACS 患者罪犯血管分层斑块组的 RDW 明显高于非分层组, 最佳截断点 13.05%, 提示高 RDW 与斑块反反复复的修复、冠脉多发病变的高度相关。这表明持续系统性炎症(RDW 反映)最终都会导致冠脉多支损害[52]。关于 RDW 与 Gensini 积分相关性的研究证据也较为充分和量化。一项纳入了 82 例回顾性研究对此进行了系统评价, 结果显示 RDW 水平与 Gensini 积分之间存在显著的正相关关系($P < 0.05$)。提示其可作为冠脉粥样硬化负荷的血液学标志[53]。

5. 小结

本综述系统的梳理了并综合了甘油三酯 - 葡萄糖指数(TyG 指数)、TyG-BMI 指数以及红细胞分布宽度(RDW)与冠状动脉病变支数及严重程度之间的研究进展, 对一些相关的临床研究与基础实验进行了一个相对较为全面的归纳。在目前现有的文献查询基础上, 基本可以形成以下较为一致的认识与结论。首先, TyG 指数作为一个代谢性指标, 被普遍认为是胰岛素抵抗评估的简便的替代标志物, 具有检测方便、成本便宜、重复性较好等优势。大量的研究结果也提示, TyG 指数的升高与冠状动脉粥样硬化斑块负荷增加、病变范围的扩大、病变复杂程度的升高密切相关, 且与 Gensini 评分和 SYNTAX 评分呈显著正相关, 可作为独立的反映冠状动脉病变范围及严重程度的指标。其潜在机制包括: 胰岛素抵抗介导的一氧化氮生成减少与血管舒张功能受损, 导致内皮功能发生障碍; 促炎因子上调和慢性炎症状态, 均促进血管壁内皮损伤与斑块进展; 活性氧的过度生成引发了氧化应激, 增强了内皮的损伤; 以及最后高甘油三酯血症和脂质代谢的异常紊乱加速了 AS 的形成等多重途径协同作用所产生的结局。因此, TyG 指数可作为反映冠脉病变支数及严重程度的客观生化标志物, 具有较高的临床应用价值。其次, TyG-BMI 指数在整合了 TyG 指数与 BMI 指数后, 展现出较单一指标预测更优, 更能体现出“代谢性肥胖”对 AS 发生与进展的协同影响。据研究显示, TyG-BMI 指数与冠状动脉多支病变、病变负荷及病变复杂性之间存在着显著的相关性, 在预测多支病变、病变严重程度、早发冠心病和 AS 总体方面, 优于 TyG 指数或 BMI 任一单独参数, 提示其在临床危险分层中的判别能力较二者更强。在心血管疾病高危人群中的识别、早期的筛查和分层的管理中具有更高的临床实用价值。最后, RDW 作为能够反映红细胞体积分布变异程度的常规血液参数, 与炎症及氧化应激关系密切。有多项研究表明, RDW 水平升高与冠状动脉病变范围、狭窄程度、病变复杂性及不良的预后风险均有显著相关, 而且还可用于冠心病患者中的长期预后判断。其可能机制包括: 慢性炎症与氧化应激均会干扰骨髓生成红细胞和红细胞成熟过程, 导致红细胞体积不均; 脂质的过氧化损伤了红细胞膜, 缩短了红细胞的寿命从而引起了形态的改变; 同时微循环灌注障碍和组织缺氧则会进一步加剧破坏。由于 RDW 检测简便、费用低廉且已经广泛纳入常规血常规检查, 所以, 将 RDW 纳入到了冠心病风险评估与预后分层中, 具有较高的可行性。值得强调的是, 这三项指标虽

然是来源各不相同,但却共同指向同一条病理通路——“胰岛素抵抗-炎症/氧化应激-动脉粥样硬化”:其中, TyG 指数和 TyG-BMI 指数两者主要量化了胰岛素抵抗及代谢性肥胖负荷两个方面,而 RDW 是从血液学的综合角度下反映了在该背景下被持续激活的慢性炎症和氧化应激状态所直接或间接导致的红细胞生成的异常。换言之, RDW 所代表的炎症和氧化应激状态是连接 TyG/TyG-BMI (IR)二者与冠状动脉病变进展之间的一个重要的中间环节,从而使得三者可以在同一病理通路上实现了从“代谢-肥胖-炎症”到“斑块负荷和病变复杂度”的连续表达。综合上述, TyG 指数、TyG-BMI 指数与 RDW 均具备了简便、经济、重复性好和易于获取的四大特点,可在冠心病的临床预防、早期诊断、危险分层和预后评估多个环节中发挥重要的辅助作用,为传统危险因素评估体系提供了补充。然而,目前相关研究仍存在部分局限,如研究人群多为单中心或特定疾病队列,样本量及随访时间有限,不同研究间检测方法与阈值设定尚未完全统一,因果关系及阈值效应尚需进一步明确等等。因此,未来研究可在大样本、多中心、长期随访的总体框架下,进一步围绕几个尚未解决的关键问题展开。首先,有必要在不同的临床亚组中对 TyG 指数、TyG-BMI 指数及 RDW 三者的预测价值进行更精细的验证,尤其是针对目前证据相对不足的无糖尿病的但是却合并了肥胖或代谢综合征的人群,明确三者在这类“隐匿高危”人群中对冠状动脉病变支数、严重程度及远期预后的预测价值。其次,现有的研究多是观察性的关联研究,它们缺乏一些干预性的证据,未来可设计以生活方式进行干预(例如减重、改善饮食结构、增加运动等)或进行药物治疗(例如胰岛素增敏剂、降脂及抗炎类药物)为基础的一些随机性对照试验,观察三者的水平动态变化与斑块负荷减轻、事件风险下降等临床事件获益是否一致,从而探讨“降低这些指标”是否具有意义。此外,还可以结合血管内超声(IVUS)、光学相干断层成像(OCT)及冠状动脉 CT 等影像学技术,系统评估上述指标与斑块脂核体积、纤维帽厚度、钙化形态等等易损特性征之间的关系,判断其是否不仅反映“病变数量和狭窄程度”,更能反映“斑块质量和易损程度”,从而为个体化危险分层和干预策略提供更加精细的依据。

参考文献

- [1] 刘昊, 李响. 冠状动脉疾病发病机制及治疗策略研究进展[J]. 生物技术进展, 2025, 15(2): 254-262.
- [2] 林小梅, 李霞. 冠心病的慢性炎症机制研究进展[J]. 医学综述, 2023, 29(4): 635-639.
- [3] Libby, P. (2021) The Changing Landscape of Atherosclerosis. *Nature*, **592**, 524-533. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03392-8>
- [4] Milutinović, A., Šuput, D. and Zorc-Pleskovič, R. (2020) Pathogenesis of Atherosclerosis in the Tunica Intima, Media, and Adventitia of Coronary Arteries: An Updated Review. *Bosnian Journal of Basic Medical Sciences*, **20**, 21-30. <https://doi.org/10.17305/bjbms.2019.4320>
- [5] Askin, L., Duman, H., Ozyıldız, A., Tanrıverdi, O. and Turkmen, S. (2020) Association between Omentin-1 and Coronary Artery Disease: Pathogenesis and Clinical Research. *Current Cardiology Reviews*, **16**, 198-201. <https://doi.org/10.2174/1573403x16666200511085304>
- [6] Mancusi, C., de Simone, G., Best, L.G., Wang, W., Zhang, Y., Roman, M.J., *et al.* (2019) Myocardial Mechano-Energetic Efficiency and Insulin Resistance in Non-Diabetic Members of the Strong Heart Study Cohort. *Cardiovascular Diabetology*, **18**, Article No. 56. <https://doi.org/10.1186/s12933-019-0862-9>
- [7] Hill, M.A., Yang, Y., Zhang, L., Sun, Z., Jia, G., Parrish, A.R., *et al.* (2021) Insulin Resistance, Cardiovascular Stiffening and Cardiovascular Disease. *Metabolism*, **119**, Article 154766. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2021.154766>
- [8] Natarajan, P., Kohli, P., Baber, U., Nguyen, K.H., Sartori, S., Reilly, D.F., *et al.* (2015) Association of APOC3 Loss-of-Function Mutations with Plasma Lipids and Subclinical Atherosclerosis. *Journal of the American College of Cardiology*, **66**, 2053-2055. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2015.08.866>
- [9] 李琦, 李娇, 陈雅芳, 等. TyG 和 TyG-BMI 与冠心病患者颈动脉粥样硬化的相关性[J]. 心脏杂志, 2024, 36(3): 277-282.
- [10] 沈健, 张皓然, 王枫, 等. 颈脑一体化超声联合红细胞分布宽度检测对冠心病的诊断价值[J]. 河北医学, 2022, 28(11): 1869-1873.

- [11] 杨文晓, 郭文玲. TyG 指数与冠心病关系的研究进展[J]. 中西医结合心脑血管病杂志, 2025, 23(18): 2794-2797.
- [12] Guerrero-Romero, F., Simental-Mendía, L.E., González-Ortiz, M., Martínez-Abundis, E., Ramos-Zavala, M.G., Hernández-González, S.O., *et al.* (2010) The Product of Triglycerides and Glucose, a Simple Measure of Insulin Sensitivity. Comparison with the Euglycemic-Hyperinsulinemic Clamp. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, **95**, 3347-3351. <https://doi.org/10.1210/jc.2010-0288>
- [13] Vasques, A.C.J., Novaes, F.S., de Oliveira, M.D.S., Matos Souza, J.R., Yamanaka, A., Pareja, J.C., *et al.* (2011) Tyg Index Performs Better than HOMA in a Brazilian Population: A Hyperglycemic Clamp Validated Study. *Diabetes Research and Clinical Practice*, **93**, e98-e100. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2011.05.030>
- [14] Ormazabal, V., Nair, S., Elfeky, O., Aguayo, C., Salomon, C. and Zuñiga, F.A. (2018) Association between Insulin Resistance and the Development of Cardiovascular Disease. *Cardiovascular Diabetology*, **17**, Article No. 122. <https://doi.org/10.1186/s12933-018-0762-4>
- [15] Di Pino, A. and DeFronzo, R.A. (2019) Insulin Resistance and Atherosclerosis: Implications for Insulin-Sensitizing Agents. *Endocrine Reviews*, **40**, 1447-1467. <https://doi.org/10.1210/er.2018-00141>
- [16] Ginsberg, H.N., Packard, C.J., Chapman, M.J., Borén, J., Aguilar-Salinas, C.A., Averna, M., *et al.* (2021) Triglyceride-rich Lipoproteins and Their Remnants: Metabolic Insights, Role in Atherosclerotic Cardiovascular Disease, and Emerging Therapeutic Strategies—A Consensus Statement from the European Atherosclerosis Society. *European Heart Journal*, **42**, 4791-4806. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehab551>
- [17] Arnold, S.V., Bhatt, D.L., Barsness, G.W., Beatty, A.L., Deedwania, P.C., Inzucchi, S.E., *et al.* (2020) Clinical Management of Stable Coronary Artery Disease in Patients with Type 2 Diabetes Mellitus: A Scientific Statement from the American Heart Association. *Circulation*, **141**, e779-e806. <https://doi.org/10.1161/cir.0000000000000766>
- [18] Zhou, Q., Yan, H., Jin, A., Meng, X., Lin, J., Li, H., *et al.* (2023) Adipose Tissue Specific Insulin Resistance and Prognosis of Nondiabetic Patients with Ischemic Stroke. *Diabetology & Metabolic Syndrome*, **15**, Article No. 246. <https://doi.org/10.1186/s13098-023-01235-2>
- [19] Wang, M., Mei, L., Jin, A., Cai, X., Jing, J., Wang, S., *et al.* (2022) Association between Triglyceride Glucose Index and Atherosclerotic Plaques and Burden: Findings from a Community-Based Study. *Cardiovascular Diabetology*, **21**, Article No. 204. <https://doi.org/10.1186/s12933-022-01638-x>
- [20] Pazin, D.C., da Matta, S.S., Faria-Neto, J.R. and Bloch, K.V. (2021) Association between Anthropometric Measures and Insulin Resistance in Brazilian Adolescents: Data from the National Study of Cardiovascular Risk Factors in Adolescents-Erica. *Journal of Pediatric Endocrinology and Metabolism*, **34**, 1001-1008. <https://doi.org/10.1515/jpem-2021-0191>
- [21] Dhokte, S. and Czaja, K. (2024) Visceral Adipose Tissue: The Hidden Culprit for Type 2 Diabetes. *Nutrients*, **16**, Article 1015. <https://doi.org/10.3390/nu16071015>
- [22] Zhu, Y., Xian, X., Wang, Z., Bi, Y., Chen, Q., Han, X., *et al.* (2018) Research Progress on the Relationship between Atherosclerosis and Inflammation. *Biomolecules*, **8**, Article 80. <https://doi.org/10.3390/biom8030080>
- [23] Szukiewicz, D. (2023) Molecular Mechanisms for the Vicious Cycle between Insulin Resistance and the Inflammatory Response in Obesity. *International Journal of Molecular Sciences*, **24**, Article 9818. <https://doi.org/10.3390/ijms24129818>
- [24] Kurniawan, L.B. (2024) Triglyceride-Glucose Index as a Biomarker of Insulin Resistance, Diabetes Mellitus, Metabolic Syndrome, And Cardiovascular Disease: A Review. *European Journal of IFCC*, **35**, 44-51.
- [25] Liu, F., Ling, Q., Xie, S., Xu, Y., Liu, M., Hu, Q., *et al.* (2023) Association between Triglyceride Glucose Index and Arterial Stiffness and Coronary Artery Calcification: A Systematic Review and Exposure-Effect Meta-Analysis. *Cardiovascular Diabetology*, **22**, Article No. 111. <https://doi.org/10.1186/s12933-023-01819-2>
- [26] Xie, E., Ye, Z., Wu, Y., Zhao, X., Li, Y., Shen, N., *et al.* (2023) Association of Triglyceride-Glucose Index with Coronary Severity and Mortality in Patients on Dialysis with Coronary Artery Disease. *European Journal of Medical Research*, **28**, Article No. 437. <https://doi.org/10.1186/s40001-023-01410-1>
- [27] Zhao, S., Wang, Z., Qing, P., Li, M., Liu, Q., Pang, X., *et al.* (2024) Comprehensive Analysis of the Association between Triglyceride-Glucose Index and Coronary Artery Disease Severity across Different Glucose Metabolism States: A Large-Scale Cross-Sectional Study from an Asian Cohort. *Cardiovascular Diabetology*, **23**, Article No. 251. <https://doi.org/10.1186/s12933-024-02355-3>
- [28] Wang, X., Xu, W., Song, Q., Zhao, Z., Meng, X., Xia, C., *et al.* (2022) Association between the Triglyceride-Glucose Index and Severity of Coronary Artery Disease. *Cardiovascular Diabetology*, **21**, Article No. 168. <https://doi.org/10.1186/s12933-022-01606-5>
- [29] Xiong, S., Chen, Q., Long, Y., Su, H., Luo, Y., Liu, H., *et al.* (2023) Association of the Triglyceride-Glucose Index with Coronary Artery Disease Complexity in Patients with Acute Coronary Syndrome. *Cardiovascular Diabetology*, **22**, Article No. 56. <https://doi.org/10.1186/s12933-023-01780-0>
- [30] Liang, S., Wang, C., Zhang, J., Liu, Z., Bai, Y., Chen, Z., *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>
- [31] Xiao, S., Zhang, Q., Yang, H., Tong, J. and Yang, R. (2024) The Association between Triglyceride Glucose-Body Mass Index and All-Cause and Cardiovascular Mortality in Diabetes Patients: A Retrospective Study from NHANES Database. *Scientific Reports*, **14**, Article No. 13884. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-63886-z>
- [32] Tian, X., Chen, S., Wang, P., Xu, Q., Zhang, Y., Luo, Y., et al. (2022) Insulin Resistance Mediates Obesity-Related Risk of Cardiovascular Disease: A Prospective Cohort Study. *Cardiovascular Diabetology*, **21**, Article No. 289. <https://doi.org/10.1186/s12933-022-01729-9>
- [33] Kumar, R., Mal, K., Razaq, M.K., Magsi, M., Memon, M.K., Memon, S., et al. (2020) Association of Leptin with Obesity and Insulin Resistance. *Cureus*, **12**, e12178. <https://doi.org/10.7759/cureus.12178>
- [34] 余维, 钟金清, 张忠英, 等. 瘦素-脂联素比值: 代谢健康中的可靠指标[J]. 生命科学, 2024, 36(5): 658-668.
- [35] Zhang, N. and Li, X.M. (2024) Association between Aging and Ectopic Fat Depositions in Abdominal Viscera. *Chinese Journal of Clinical Medicine*, **31**, 860-867.
- [36] 许虎彪, 张颖. 代谢健康型肥胖与炎症因子的研究进展[J]. 临床医学进展, 2024, 14(1): 546-551.
- [37] Li, Y., Wu, X., Pan, J., Gong, L. and Min, D. (2023) Hepatocyte Steatosis Activates Macrophage Inflammatory Response Accelerating Atherosclerosis Development. *Journal of Zhejiang University (Medical Sciences)*, **52**, 751-765. <https://doi.org/10.3724/zdxbyxb-2023-0315>
- [38] Liu, R., Li, J., Sun, Z., Zhou, T., Zhao, C., Tian, Q., et al. (2025) The Positive Correlation between the Triglyceride Glucose-Body Mass Index and the Presence and Severity of Early-Onset Coronary Artery Disease. *Annals of Medicine*, **57**, Article 2564277. <https://doi.org/10.1080/07853890.2025.2564277>
- [39] Yang, X., Li, K., Wen, J., Yang, C., Li, Y., Xu, G., et al. (2024) Association of the Triglyceride Glucose-Body Mass Index with the Extent of Coronary Artery Disease in Patients with Acute Coronary Syndromes. *Cardiovascular Diabetology*, **23**, Article No. 24. <https://doi.org/10.1186/s12933-024-02124-2>
- [40] Wang, L., Li, Z., Qiu, R., Luo, L. and Yan, X. (2025) Triglyceride Glucose Index-Body Mass Index as a Predictor of Coronary Artery Disease Severity in Patients with H-Type Hypertension across Different Glucose Metabolic States. *Diabetology & Metabolic Syndrome*, **17**, Article No. 15. <https://doi.org/10.1186/s13098-024-01568-6>
- [41] Jia, Y., Zhang, S. and Liu, J. (2025) Exploring Bmi's Mediating Influence on Cardiovascular Risk Correlations with the Triglyceride-Glucose Index: Using NHANES and CHARLS Cohorts. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, **12**, Article ID: 1593413. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2025.1593413>
- [42] Ferreira, J.P., Lamiral, Z., Bakris, G., Mehta, C., White, W.B. and Zannad, F. (2021) Red Cell Distribution Width in Patients with Diabetes and Myocardial Infarction: An Analysis from the examine Trial. *Diabetes, Obesity and Metabolism*, **23**, 1580-1587. <https://doi.org/10.1111/dom.14371>
- [43] Turgay Yıldırım, Ö., Aydın, F., Hüseyinoğlu Aydın, A. and Akşit, E. (2020) Red Cell Distribution Width and Its Prediction Value of Mortality. *Heart & Lung*, **49**, Article 205. <https://doi.org/10.1016/j.hrtlng.2019.10.008>
- [44] 马玉, 张小丽, 高爱民. 红细胞分布宽度在慢性肾脏病中的应用进展[J]. 临床医学进展, 2021, 11(4): 1755-1761.
- [45] 许旭霞, 吴胜军, 赵宗霞, 高海燕. 部分外周血参数与冠心病的研究进展[J]. 临床医学进展, 2025, 15(2): 1463-1467.
- [46] 关杨, 李红, 郭飞, 等. 红细胞分布宽度和血管生成素 2 及缺氧诱导因子 1 α 对慢性心力衰竭远期预后的影响[J]. 中华老年心脑血管病杂志, 2022, 24(4): 393-395.
- [47] Lorkowski, S.W. and Smith, J.D. (2022) HDL Is Not Dead Yet. *Biomedicines*, **10**, Article 128. <https://doi.org/10.3390/biomedicines10010128>
- [48] 赵慧芳, 吕荣华. 红细胞分布宽度对肺栓塞临床价值研究的进展[J]. 临床医学进展, 2023, 13(6): 10291-10297.
- [49] 李冬菊, 竟雪莹, 汤凤英, 祖磊, 胡茜, 何佰生, 薛鹏程, 夏丽. 非瓣膜性房颤病人血清 CRP、RDW 和 NLR 的变化及其临床意义[J]. 蚌埠医学院学报, 2023, 48(5): 606-609.
- [50] 常进, 刘利军, 张春德, 等. 冠心病患者 HDL-C 与红细胞分布宽度的相关性[J]. 心血管康复医学杂志, 2023, 32(6): 580-584.
- [51] Xiang, L., Zhang, M., Wu, H. and Xie, D. (2021) The Expression and Prognostic Value of Ischemia Modified Albumin (IMA), Red Blood Cell Distribution Width (RDW), and Lipoprotein (LP) in Patients with Diabetes Mellitus Complicated with Coronary Heart Disease. *Annals of Palliative Medicine*, **10**, 4463-4471. <https://doi.org/10.21037/apm-21-425>
- [52] Yu, Z., Chen, Q. and Yang, Y. (2023) Correlation between Red Blood Cell Distribution and Layered Plaques in Patients with Acute Coronary Syndrome. *Journal of Clinical Cardiology*, **39**, 681-687.
- [53] 高瑛, 李玉凤, 刘颖. 血清总胆红素和红细胞分布宽度与冠脉狭窄程度的关系[J]. 心血管病防治知识, 2022, 12(9): 10-12.