

TyG指数与胰岛素抵抗及其相关代谢性疾病的研究进展

田 柳*, 潘建鑫[#]

重庆医科大学附属大学城医院健康管理中心, 重庆

收稿日期: 2025年5月23日; 录用日期: 2025年6月16日; 发布日期: 2025年6月23日

摘 要

目前我国高血压、高血糖、肥胖、脂代谢异常等代谢性疾病发病率随社会发展持续上升, 显著增加心血管疾病、2型糖尿病、代谢相关脂肪性疾病、代谢综合征等慢性非传染性疾病发病风险。胰岛素抵抗 (insulin resistance, IR) 作为核心病理机制, 其早期识别对疾病防控至关重要。甘油三酯 - 葡萄糖指数 (triglyceride-glucose index, TyG index) 通过空腹甘油三酯与血糖乘积的对数值计算, 作为新型非侵入性生物标志物, 在评估胰岛素抵抗及预测代谢性疾病风险中展现独特优势。本综述将对TyG指数与胰岛素抵抗的作用机制作基本概括, 重点阐述其在代谢性疾病诊断、风险预测及临床管理中的应用价值, 以期疾病的预防和治疗及临床综合管理提供一种思路和研究方向。

关键词

甘油三酯 - 葡萄糖指数, 胰岛素抵抗, 代谢性疾病

Research Progress on the TyG Index for Insulin Resistance and Associated Metabolic Diseases

Liu Tian*, Jianxin Pan[#]

Health Management Center, University-Town Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing

Received: May 23rd, 2025; accepted: Jun. 16th, 2025; published: Jun. 23rd, 2025

Abstract

In the context of China's ongoing societal progression, the incidence of metabolic disorders,

*第一作者。

[#]通讯作者。

文章引用: 田柳, 潘建鑫. TyG 指数与胰岛素抵抗及其相关代谢性疾病的研究进展[J]. 临床医学进展, 2025, 15(6): 1420-1429. DOI: 10.12677/acm.2025.1561868

including hypertension, hyperglycemia, obesity, and dyslipidemia, is witnessing a relentless surge, significantly exacerbating the risk of chronic non-communicable diseases including cardiovascular diseases, type 2 diabetes mellites, metabolic-associated fatty liver disease, and metabolic syndrome. Insulin resistance (IR), as a core pathological mechanism, is crucial for early identification in disease prevention and control. Triglyceride-glucose (TyG) index, calculated as the logarithmic product of fasting triglycerides and glucose, serves as a novel non-invasive biomarker and demonstrates unique advantages in assessing IR and predicting the risk of metabolic diseases. This review will provide a basic overview of the mechanisms underlying TyG index and IR, with a focus on its application value in the diagnosis, risk prediction, and clinical management of metabolic diseases, aiming to offer insights and research directions for disease prevention, treatment, and comprehensive clinical management.

Keywords

Triglyceride-Glucose Index, Insulin Resistance, Metabolic Diseases

Copyright © 2025 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

据《Lancet》发布的最新中国疾病负担结果显示,我国居民健康负担最重的疾病已由1990年的传染病变为慢性非传染性疾病,尤其是代谢性疾病的显著上升[1]。其中,胰岛素抵抗(insulin resistance, IR)在这些代谢紊乱疾病包括2型糖尿病、肥胖、代谢相关脂肪性肝病、代谢综合征、心血管疾病等的发病机制中均起着关键作用[2]。多项研究证实,甘油三酯-葡萄糖指数(triglyceride-glucose index, TyG index)可作为评估代谢紊乱和胰岛素抵抗的有效指标[3]。本文将国内外近年关于TyG指数的相关性研究进行归纳,主要从TyG指数与胰岛素抵抗相关机制及其相关代谢性疾病之间的关联方面进行总结。以期为进一步临床实践提供便利与证据支持。

2. 胰岛素抵抗

2.1. 胰岛素抵抗的概念

胰岛素抵抗(insulin resistance, IR)是指机体对胰岛素的敏感性下降,以胰岛素分泌增加和血糖水平升高为主要特征的一种病理状态[4]。胰岛素是胰腺分泌的一种重要激素,可调节人体内葡萄糖、脂质和蛋白质的代谢平衡。胰岛素通过与膜受体结合发挥作用,并通过一系列蛋白质-蛋白质相互作用在细胞中传递代谢信号。胰岛素可刺激肌肉中的葡萄糖摄取和糖酵解。在肝脏中,胰岛素可抑制内源性葡萄糖生成,抑制糖异生,并刺激肝糖原合成。在脂肪组织中,胰岛素可抑制脂肪分解和非酯化脂肪酸释放,刺激脂肪酸再酯化和甘油三酯合成。胰岛素抵抗导致肌肉葡萄糖摄取减少,肝脏葡萄糖生成增加以及脂肪组织中脂肪分解增加。胰岛素抵抗发生时,人体中外源性或内源性胰岛素无法发挥其在葡萄糖摄取和利用中的作用。这种情况下,需要更高的胰岛素水平来实现血糖调节[5][6]。

2.2. 胰岛素抵抗的病因及发病机制

胰岛素抵抗的病因包括遗传性和获得性两大因素。不同病因所致胰岛素抵抗的机制亦有差异。胰岛素的降糖作用主要依赖于胰岛素受体-胰岛素受体底物-磷脂酰肌醇3激酶(PI3K)-磷脂酰肌醇磷酸依赖

的蛋白激酶(PIP3)-PDK 通路, 该通路的任何环节的异常皆能引起胰岛素抵抗[7] [8]。同时, 升糖激素增加、糖脂毒性、炎症、氧化应激、内质网应激、线粒体功能紊乱、胰岛素的清除、外泌体、miRNA 等均与胰岛素抵抗有关[7] [8]。超重、肥胖是引起胰岛素抵抗最重要的获得性因素, 其诱发胰岛素抵抗的机制较为复杂, 与脂肪组织缺氧、炎症、氧化应激、游离脂肪酸增加、脂联素分泌减少等因素有关[9] [10]。此外, 营养失衡、葡萄糖毒性、脂毒性、膳食、增龄、脂肪组织发育不良、骨骼肌量减少亦可诱发胰岛素抵抗[9] [10]。

2.3. 胰岛素抵抗的危害

胰岛素抵抗作为代谢紊乱的核心环节, 是影响心血管相关疾病发生发展和各种代谢异常疾病的共同危险因素。胰岛素抵抗是 2 型糖尿病、心血管疾病、代谢相关脂肪性肝病以及代谢综合征等多种慢性代谢相关性疾病的共同病理生理基础, 危害巨大[11]: 胰岛素敏感性下降导致血糖调节效率降低, 促使胰岛 β 细胞代偿性增加胰岛素分泌, 引发代偿性高胰岛素血症。随着胰岛 β 细胞代偿功能的减退, 血糖水平持续上升, 最终发展为糖尿病。这一状态还加速了脂质的合成, 引起肥胖、脂肪异位沉积以及血脂异常, 促使代谢综合征、代谢相关脂肪性肝病等的发生。此外, 代偿性高胰岛素血症通过增强交感神经活性和激活肾素-血管紧张素-醛固酮系统, 导致血管阻力增加, 水钠潴留, 增加循环血容量等机制, 从而升高血压, 进而引起高血压和心血管疾病。同时, 胰岛素抵抗还会导致血管内皮细胞功能紊乱, 连同血脂紊乱和高血压的共同作用, 加速动脉粥样硬化的进程, 进而增加动脉粥样硬化性心血管疾病的风险。

2.4. 胰岛素抵抗的评估方法

目前已发展出多种评估胰岛 β 细胞功能和胰岛素抵抗的静态、动态试验和计算指标。高胰岛素-血糖钳夹法(hyperinsulinemic-euglycemic clamp method, HEC)是评估胰岛素抵抗的金标准, 但由于此方法需要持续监测血糖和胰岛素输注, 操作复杂且耗时, 在临床上的适用性有限, 仅用于小规模研究; Matsuda 指数(Matsuda-DeFronzo insulin sensitivity index, Matsuda index)是目前非侵入性胰岛素抵抗评估中较为准确的指标, 与 HEC 检测结果相关性较强, 能较全面反映全身胰岛素敏感性, 但此方法基于标准口服葡萄糖耐量试验(OGTT)的动态评估, 操作复杂且成本高, 适用于需精确评估胰岛素抵抗动态变化的研究, 不适合大规模筛查[12]。临床上使用较为广泛并已被验证的方法是胰岛素抵抗稳态模型评估(homeostatic model assessment of insulin resistance, HOMA-IR) [13]。HOMA-IR 与 HEC 检测结果相关性较好, HOMA-IR 数值越高, 表示对胰岛素的抵抗就越强。尽管如此, HOMA-IR 的计算基于空腹血糖和空腹胰岛素水平, 而后的检测在许多基层医疗机构中尚难以广泛开展。近年来, 基于人体测量数据(如体重指数、腰围)和实验室指标(如甘油三酯、高密度脂蛋白-胆固醇、血糖等)计算出的新指标, 如 TyG、TG/HDL-C, 也成为衡量胰岛素抵抗的指标。

3. TyG 指数

3.1. TyG 指数的概念

甘油三酯-葡萄糖指数(triglyceride-glucose index, TyG index)是近年来被广泛应用于评估胰岛素抵抗的一个综合指标, 通过计算自然对数 $[\ln(\text{空腹甘油三酯}(\text{mg/dL}) \times \text{空腹葡萄糖}(\text{mg/dL})/2)]$ 得出[14], 其升高直接反映高甘油三酯血症和糖代谢异常。TyG 指数升高所表征的高血糖(葡萄糖毒性)与高游离脂肪酸(脂毒性)协同作用, 通过激活 FFA-TLR4/2-PKC 通路, 抑制胰岛素受体底物的酪氨酸磷酸化, 从而阻断 PI3K-PIP3-PDK 信号通路; 同时, 脂质代谢产物可直接干扰胰岛素信号转导, 最终导致胰岛素信号通路关键节点功能障碍, 诱发胰岛素抵抗。在机体胰岛素抵抗状态下, 肝脏胰岛素抵抗导致肝糖异生增加、肝糖原

合成减少, 进一步升高血糖水平; 脂肪组织胰岛素抵抗促使脂解增强, 释放过量游离脂肪酸, 同时极低密度脂蛋白(VLDL)和乳糜微粒(CM)合成增加, 进一步升高血清甘油三酯水平; 而持续的高血糖和高脂血症环境可触发机体炎症与氧化应激的级联反应, 损伤胰岛 β 细胞功能并加重外周组织胰岛素抵抗, 最终形成恶性循环[15]。综上, TyG 指数通过糖脂毒性、炎症、氧化应激及胰岛素信号通路障碍等多维度分子机制, 引发胰岛素信号网络失衡, 导致胰岛素抵抗及代谢紊乱。因此, TyG 指数可以反映机体内胰岛素抵抗状态, 使用 TyG 指数来评估与胰岛素抵抗相关疾病有充分的病理生理基础。

3.2. TyG 指数的临床应用

甘油三酯 - 葡萄糖指数, 是由 Simental-Mendia 等在 2008 年首次提出, 是近年来一种新的、非侵入性的评估胰岛素抵抗的综合指标[16]。相较于其他胰岛素抵抗替代指标, TyG 指数在价格、技术和可及性等方面展现了独特优势。TyG 指数只需进行标准血脂谱及空腹血糖水平检测即可计算, 具有人为误差小、便捷、低成本等优点, 适合大规模普查, 目前被广泛用于胰岛素抵抗评估与相关代谢疾病的研究, 并已被证实胰岛素抵抗中起着独立的危险因素作用[17]。已经有多项研究证实 TyG 指数在评估胰岛素抵抗方面的准确性。一项研究表明[18], TyG 指数的灵敏度和特异度比 HIEC 和 HOMA-IR 更高, 其灵敏度可达 HIEC 法的 96%, 特异性可达 HOMA-IR 法的 99%。此外, 研究人员已经验证了甘油三酯葡萄糖 - 腰围(TyG-WC)、甘油三酯葡萄糖 - 体重指数(TyG-BMI)、甘油三酯葡萄糖 - 腰臀比(TyG-WHR)、甘油三酯葡萄糖 - 腰围身高比(TyG-WHtR)在评估胰岛素抵抗方面的有效性[19]。因此, TyG 指数或许是识别胰岛素抵抗较为简便、理想的最佳指标。此外, 有研究表明[20], TyG 指数越高的患者更容易引起胰岛素抵抗, 相关心血管事件和代谢事件的发生风险也随之升高而增加。另有研究表明[21][22], TyG 指数有助于有效识别心血管事件或 2 型糖尿病高风险人群, 其预测能力超越了传统危险因素。因此, TyG 指数升高反映了机体的胰岛素抵抗状态, 可用于评估胰岛素抵抗相关代谢性疾病的发生。目前虽进行了许多研究, 但因为研究人群的不同, TyG 指数诊断胰岛素抵抗的临界值也有所不同。TyG 指数在不同种族和人群中的适用性可能存在差异, 需要更多的研究来验证其普适性。基于此, 其在诊断、预测胰岛素抵抗及相关代谢性疾病的潜在价值仍需进一步探索。

4. TyG 指数与胰岛素抵抗相关代谢性疾病

4.1. 2 型糖尿病

2 型糖尿病(type 2 diabetes mellites, T2DM)是一组由多病因引起的以慢性高血糖为特征的终身代谢性疾病, 可引起多系统损害, 导致眼、肾、神经、心脏、血管等组织器官的功能不全[23]。糖尿病是全球致死和致残的主要原因之一, 糖尿病患者全因死亡风险是非糖尿病人群的 2 倍[24], 已经成为几乎所有国家卫生健康体系的巨大负担。根据国际糖尿病联合会的最新报告[25], 2021 年全球 20~79 岁人群的糖尿病患病率约为 10.5% (5.37 亿人), 其中超过 90% 为 T2DM, 并且这一数字仍在持续上升。据预测[26], 到 2030 年将达到 6.43 亿, 到 2050 年将飙升至 13 亿。中国是全球糖尿病第一大国, 据估计, 目前我国有超过 1 亿的 2 型糖尿病患者, 占全球的 1/4 [27]。随着患病率上升和人口老龄化, T2DM 的疾病负担将持续增加。T2DM 显著的病理生理学特征为胰岛素调控葡萄糖代谢能力下降伴胰岛 β 细胞功能缺陷所导致的胰岛素分泌减少(相对减少) [28]。因此, 胰岛素抵抗和 β 细胞功能障碍是 T2DM 发生发展的关键机制。在中国成年人中, 胰岛素抵抗对糖尿病发生的归因风险比例是 β 细胞功能障碍的 2 倍, 表明胰岛素抵抗是主要驱动因素[29]。目前已有研究证实 TyG 指数与 T2DM 之间存在多种联系。da Silva A 等[30]对 TyG 指数作为成年人 T2DM 预测指标的多项队列研究进行荟萃分析, 提示 TyG 指数可能成为预测 T2DM 发生风险的一种实用指标。TyG 指数 > 8.97 者患糖尿病的危险比 TyG 指数 < 8.21 者高 5.65 倍。一项基于

NHANES 研究结果表明[31], TyG 指数是糖尿病或糖尿病前期心血管疾病患者发生全因和心血管疾病死亡风险有价值的预测因子, 并且 TyG 指数与死亡率之间的关联是非线性的。近年来, 越来越多的研究探讨了 TyG 指数与 T2DM 并发症及合并症之间的潜在关联。最近的一项随访研究[32]证实了 T2DM 并发主要不良心血管事件的发生率与 TyG 指数呈正相关, 调整混杂因素后, TyG 指数是预测不良心血管事件的有效指标, 提示 TyG 指数可预测 T2DM 个体未来心血管不良事件的发生风险, 并独立于已知的心血管危险因素。此外, 一项研究发现[33], TyG 指数升高与糖尿病肾病风险升高相关, 其最佳评估临界值分别为 9.259。胰岛素抵抗是 T2DM 的始动因素, 贯穿 T2DM 病程始终, 显著增加 T2DM 的发生、进展以及并发症风险。致病机制可能与胰岛素抵抗引起代偿性高胰岛素血症促进血管平滑肌细胞生长、增殖, 导致炎症和动脉粥样硬化的发生及糖血脂代谢异常有关[34]。基于此, 作为评估胰岛素抵抗替代指标的 TyG 指数可能是预测 T2DM 及 T2DM 并发症发生风险的有效工具。

4.2. 代谢综合征

代谢综合征(metabolic syndrome, MetS)是以腹型肥胖、高血糖、血脂异常以及高血压等严重影响机体健康的临床症候群, 是一组在代谢上相互关联的危险因素组合[35]。代谢综合征通过多种机制增加心血管疾病、糖尿病等慢性疾病发病风险。随着超重和肥胖发生率的增加, 代谢综合征的患病率在全球范围内呈上升趋势。据调查显示[36], 我国 25~29 岁人群代谢综合征患病率为 3.1%, 而 70 岁以上人群患病率则为 41%, 预测 2050 年 65 岁以上的老年人将占总人口的 30%。目前我国人口老龄化问题严重, 倘若不加以干预, 代谢综合征在我国势必会流行。胰岛素抵抗被认为是代谢综合征发生脂肪堆积的主要触发机制[37], 血浆中游离脂肪酸浓度升高可以特异性地阻断胰岛素信号的传递, 使机体对内、外源性胰岛素的敏感程度下降, 即人体对胰岛素的利用能力下降, 从而引起机体代偿性地分泌更多的胰岛素, 最后导致高胰岛素血症、糖耐量异常、空腹血糖升高。有研究表明[38], TyG 指数诊断代谢综合征的价值优于甘油三酯、空腹血糖、胰岛素抵抗代谢评分和甘油三酯/高密度脂蛋白比值。TyG 指数判断代谢综合征的最佳临界值为 8.85, 敏感性 81%, 特异性 91%。此外, 另有研究结果提示[39], TyG 指数以及其衍生指标(如 TyG-腰围和 TyG-腰高比)与代谢综合征人群死亡率具有关联性, 高水平的 TyG 指数显著与代谢综合征全因死亡率相关, TyG-WC 和 TyG-WHtR 指数也与其发生心血管死亡率密切相关。然而它们是否具备最佳的鉴别能力来识别存在心脏代谢风险因素或代谢性疾病的个体, 目前仍存在争议[40]。上述研究表明, TyG 指数在预测代谢综合征的发生及死亡风险中具有潜在价值, TyG 指数可作为代谢综合征患者随访的替代生物标志物。胰岛素抵抗是代谢综合征的中心环节, 一方面胰岛素抵抗可诱发高胰岛素血症及代谢综合征中多种疾病, 另一方面胰岛素抵抗的发生机制又与肥胖及代谢综合征的病理变化有关, 互为因果。鉴于其间关系错综复杂, 在代谢综合征中的作用机制有待进一步探讨。

4.3. 代谢相关脂肪性肝病

代谢相关脂肪性肝病(metabolic associated fatty liver disease, MAFLD), 是一种累及全身多个系统的临床疾病[41]。目前已成为全球最常见的慢性肝病, 其发病率、流行率和死亡率正在全世界范围内不断攀升, 受到全球公共卫生系统和世界卫生组织的广泛关注[42]。最近的研究显示[43], MAFLD 的全球患病率达 39.22%, 在中国, MAFLD 患病率为 29.2%。MAFLD 可增加肝脏疾病的发生率、死亡率及肝移植需求[44], 对患者生活质量的影响及其疾病负担均已超过其他慢性肝病。同时, MAFLD 患者不仅面临很高的肝脏相关并发症的发生风险, 还面临着很高的心血管胰岛素抵抗事件和全因病死的发生风险, 对医疗系统造成的巨大经济负担。肝脏胰岛素抵抗和脂肪变性是代谢性相关肝病的主要特征[45]。胰岛素抵抗促进脂质积累、脂质过氧化及线粒体功能障碍, 通过复杂信号通路影响糖异生和脂肪生成。脂肪组织炎症与

全身及肝性胰岛素抵抗紧密相关, 是 MAFLD 进展的重要驱动因素。作为评估胰岛素抵抗的可靠指标, TyG 指数与 MAFLD 之间的关联已得到多项研究的广泛验证[46]。大量研究表明, TyG 指数升高与 MAFLD 的发病风险显著增加呈正相关。Liu 等[47]对 25,535 名体检人群进行了横断面研究, 观察到 TyG 指数与 MAFLD 的患病风险呈正相关, 在校正其他潜在的影响因素后, TyG 指数仍然是 MAFLD 患病的独立危险因素, 并且在人群中对于 MAFLD 的诊断效能比丙氨酸转氨酶更高。有研究在 MAFLD 患者的临床诊疗和随访过程中, 发现 TyG 指数比肥胖和糖尿病病史更能反映当前代谢紊乱状况, 为此, 在常规诊疗中应重视脂肪肝患者 TyG 指数的评估。此外, MAFLD 患者发生严重不良心血管事件的风险较高。有分层分析显示[48], MAFLD 合并动脉粥样硬化患者或仅 MAFLD 患者发生不良心血管事件的风险分别比对照组高 2.32 倍和 1.33 倍。因此, MAFLD 患者面临更高的心血管风险, 普遍筛查、早期诊断及干预可延缓 MAFLD 的进展, 减少严重心血管事件的发生。上述的研究结果说明, TyG 指数可以作为预测 MAFLD 发病风险的可靠指标。同时, 由于研究者之间的异质性, 需要在临床实践中进一步验证来标准化 TyG 的截断值。目前胰岛素抵抗被公认为 MAFLD 发生发展过程中关键的中心环节, 然而, MAFLD 的发病机制极为复杂。胰岛素能够抑制肝脏中的糖异生过程及促进脂肪酸的合成, 在胰岛素抵抗状态下, 胰岛素信号通路发生障碍, 导致糖异生无法被有效抑制, 但肝脏脂质沉积却能持续增加而引发脂肪肝[49]。这一矛盾现象的调控机制迄今尚未得到全面阐明, 具体机制有待进一步研究。

4.4. 心血管疾病

心血管疾病(cardiovascular diseases, CVD), 是以动脉粥样硬化、血栓形成、血管功能障碍或结构异常为基础, 导致心脏、脑部或其他器官的血液供应受阻或紊乱的一组疾病。CVD 是全球范围内导致发病和死亡的首要且日益严重的原因, 其发病率和死亡率远远高于肿瘤和其他慢性疾病, 造成了巨大的健康和经济损失[50]。一项发表在 EJPC 上的特别报告指出[51], CVD 导致全球死亡人数从 1990 年的 1240 万增加到 2022 年的 1980 万。这种趋势在诸如中国这样正经历快速城市化和人口老龄化的中等收入国家尤为显著。同时该研究基于 GBD 数据预测, 2025~2050 年期间, 全球心血管患病率将增加 90.0%, 粗死亡率将增加 73.4%, 预计 2050 年心血管死亡人数将达到 3560 万(2025 年为 2050 万)。且 CVD 负担的持续增加主要归因于动脉粥样硬化性疾病。动脉粥样硬化(atherosclerosis, AS)是一种进行性慢性炎症和代谢性疾病, 动脉粥样硬化的发生发展是心血管疾病主要的病理生理基础[52]。胰岛素抵抗在动脉粥样硬化和斑块形成的病理过程中发挥重要作用, 是心血管事件的独立危险因素, 其导致动脉粥样硬化的潜在机制可能是胰岛素抵抗、炎症状态和内膜细胞的胰岛素信号传导紊乱的交互作用[53]。胰岛素抵抗是导致糖脂代谢紊乱的重要因素, 糖和脂代谢的紊乱对血管的完整性和供应具有深远的不良影响。高甘油三酯和高血糖可引起血管内皮细胞功能紊乱, 内皮细胞损伤连同血脂紊乱、氧化应激可促进动脉粥样硬化的进程, 是心血管疾病高发病率和死亡率的危险因素, 与临床前心血管器官损害密切相关[54]。基于上述机制, 由甘油三酯及空腹血糖计算而得的 TyG 指数可能用于评价动脉粥样硬化的进展。目前多项研究证实, 较高 TyG 指数与动脉粥样硬化性心血管疾病发病风险有着密切关系。Liang 等人包含 41 项研究的荟萃分析表明[55], 与 TyG 指数最低的患者相比, TyG 指数最高的患者冠状动脉疾病风险更高, TyG 指数是对冠状动脉疾病发生风险及疾病预后有着临床意义。研究表明[56], 在一般人群中, ST 段抬高型心肌梗死患者的症状性冠状动脉疾病患病率和主要不良心脑血管事件的风险与较高的 TyG 指数相关。Zou 等[57]研究证实, 在中国高血压人群中, TyG 指数与作为动脉僵硬指标的臂踝脉搏波速度呈独立正相关。这些研究均提示, TyG 指数可以作为评估动脉血管病变简单、实用的工具。一项基于 ChinaHEART 研究的新分析提示[58], TyG 指数与心血管代谢疾病发病风险以及死亡风险升高之间具有相关性, 并且独立于传统的心血管危险因素。上述研究表明, TyG 指数可作为评价动脉粥样斑块进展的指标, 通过血生化检查结果计

算非侵入性指标 TyG 指数来早期评估并发现以动脉粥样硬化性心血管疾病为主的 CVD 患者具有重要的应用价值。

5. 总结

综上所述, TyG 指数作为一种评价胰岛素抵抗更为便捷、低成本的参数, 具有在临床和流行病学研究使用的潜力。TyG 指数已广泛应用于心血管相关疾病和各种代谢异常疾病发生及预后的研究, 并取得了较好的预测结果。越来越多研究证实, TyG 指数与 2 型糖尿病、心血管疾病、代谢相关脂肪性肝病以及代谢综合征等胰岛素抵抗相关代谢性疾病的发生、严重程度以及预后之间存在一定的相关性。然而目前的研究主要集中在回顾性观察患者 TyG 指数水平, 从而推导出 TyG 指数与疾病的发生及预后有关, 存在一定的局限性, 加之 TyG 指数的临界值因研究人群和方法的不同而存在差异, 限制了 TyG 指数在临床中的应用。TyG 指数与胰岛素抵抗相关代谢性疾病的发病机制、预后的关系以及能否增强原有疾病评估方法的预测性能, 未来仍需更多多中心、大样本和前瞻性的研究进一步确定。

参考文献

- [1] Zhou, M., Wang, H., Zeng, X., Yin, P., Zhu, J., Chen, W., *et al.* (2019) Mortality, Morbidity, and Risk Factors in China and Its Provinces, 1990-2017: A Systematic Analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *The Lancet*, **394**, 1145-1158. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(19\)30427-1](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(19)30427-1)
- [2] 宋林阳, 胡依萌, 徐焱成, 等. 胰岛素抵抗的再认识[J]. 中华糖尿病杂志, 2022, 14(12): 1341-1347.
- [3] Leite, M.M., Dutra, M.T., da Costa, M.V.G., Funghetto, S.S., Silva, A.d.O., de Lima, L.R., *et al.* (2021) Comparative Evaluation of Inflammatory Parameters and Substitute Insulin Resistance Indices in Elderly Women with and without Type 2 Diabetes Mellitus. *Experimental Gerontology*, **150**, Article 111389. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2021.111389>
- [4] Gluvic, Z., Zaric, B., Resanovic, I., Obradovic, M., Mitrovic, A., Radak, D., *et al.* (2016) Link between Metabolic Syndrome and Insulin Resistance. *Current Vascular Pharmacology*, **15**, 30-39. <https://doi.org/10.2174/157016114666161007164510>
- [5] Pulakat, L., DeMarco, V.G., Ardhanari, S., Chockalingam, A., Gul, R., Whaley-Connell, A., *et al.* (2011) Adaptive Mechanisms to Compensate for Overnutrition-Induced Cardiovascular Abnormalities. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, **301**, R885-R895. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00316.2011>
- [6] Yokota, T., Kinugawa, S., Hirabayashi, K., Yamato, M., Takada, S., Suga, T., *et al.* (2021) Systemic Oxidative Stress Is Associated with Lower Aerobic Capacity and Impaired Skeletal Muscle Energy Metabolism in Heart Failure Patients. *Scientific Reports*, **11**, Article No. 2272. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81736-0>
- [7] Marassi, M. and Fadini, G.P. (2023) The Cardio-Renal-Metabolic Connection: A Review of the Evidence. *Cardiovascular Diabetology*, **22**, Article No. 195. <https://doi.org/10.1186/s12933-023-01937-x>
- [8] James, D.E., Stöckli, J. and Birnbaum, M.J. (2021) The Aetiology and Molecular Landscape of Insulin Resistance. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, **22**, 751-771. <https://doi.org/10.1038/s41580-021-00390-6>
- [9] Lee, S., Park, S. and Choi, C.S. (2022) Insulin Resistance: From Mechanisms to Therapeutic Strategies. *Diabetes & Metabolism Journal*, **46**, 15-37. <https://doi.org/10.4093/dmj.2021.0280>
- [10] 苏青, 臧丽. 胰岛素抵抗的历史、机制和管理[J]. 中华糖尿病杂志, 2023, 15(1): 6-13.
- [11] Mocciano, G. and Gastaldelli, A. (2022) Obesity-Related Insulin Resistance: The Central Role of Adipose Tissue Dysfunction. In: Eckel, J. and Clément, K., Eds., *Handbook of Experimental Pharmacology*, Springer International Publishing, 145-164. https://doi.org/10.1007/164_2021_573
- [12] Chibalin, A.V., Leng, Y., Vieira, E., Krook, A., Björnholm, M., Long, Y.C., *et al.* (2022) Downregulation of Diacylglycerol Kinase Delta Contributes to Hyperglycemia-Induced Insulin Resistance. *Cell*, **185**, 397-398. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2021.12.044>
- [13] Wallace, T.M., Levy, J.C. and Matthews, D.R. (2004) Use and Abuse of HOMA Modeling. *Diabetes Care*, **27**, 1487-1495. <https://doi.org/10.2337/diacare.27.6.1487>
- [14] Bornfeldt, K.E. and Tabas, I. (2011) Insulin Resistance, Hyperglycemia, and Atherosclerosis. *Cell Metabolism*, **14**, 575-585. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2011.07.015>
- [15] Nayak, V.K.R., Satheesh, P., Shenoy, M.T. and Kalra, S. (2022) Triglyceride Glucose (TyG) Index: A Surrogate Biomarker of Insulin Resistance. *Journal of the Pakistan Medical Association*, **72**, 986-988.

- <https://doi.org/10.47391/jpma.22-63>
- [16] 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>
 - [17] Lee, S., Han, K., Yang, H.K., Kim, M.K., Yoon, K., Kwon, H., *et al.* (2014) Identifying Subgroups of Obesity Using the Product of Triglycerides and Glucose: The Korea National Health and Nutrition Examination Survey, 2008-2010. *Clinical Endocrinology*, **82**, 213-220. <https://doi.org/10.1111/cen.12502>
 - [18] Zhang, M., Wang, B., Liu, Y., Sun, X., Luo, X., Wang, C., *et al.* (2017) Cumulative Increased Risk of Incident Type 2 Diabetes Mellitus with Increasing Triglyceride Glucose Index in Normal-Weight People: The Rural Chinese Cohort Study. *Cardiovascular Diabetology*, **16**, Article No. 30. <https://doi.org/10.1186/s12933-017-0514-x>
 - [19] Lopez-Jaramillo, P., Gomez-Arbelaiz, D., Martinez-Bello, D., Abat, M.E.M., Alhabib, K.F., Avezum, Á., *et al.* (2023) Association of the Triglyceride Glucose Index as a Measure of Insulin Resistance with Mortality and Cardiovascular Disease in Populations from Five Continents (PURE Study): A Prospective Cohort Study. *The Lancet Healthy Longevity*, **4**, e23-e33. [https://doi.org/10.1016/s2666-7568\(22\)00247-1](https://doi.org/10.1016/s2666-7568(22)00247-1)
 - [20] Son, D., Lee, H.S., Lee, Y., Lee, J. and Han, J. (2022) Comparison of Triglyceride-Glucose Index and HOMA-IR for Predicting Prevalence and Incidence of Metabolic Syndrome. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, **32**, 596-604. <https://doi.org/10.1016/j.numecd.2021.11.017>
 - [21] Manolis, A.A., Manolis, T.A., Melita, H. and Manolis, A.S. (2018) Psoriasis and Cardiovascular Disease: The Elusive Link. *International Reviews of Immunology*, **38**, 33-54. <https://doi.org/10.1080/08830185.2018.1539084>
 - [22] Zheng, S., Shi, S., Ren, X., Han, T., Li, Y., Chen, Y., *et al.* (2016) Triglyceride Glucose-Waist Circumference, a Novel and Effective Predictor of Diabetes in First-Degree Relatives of Type 2 Diabetes Patients: Cross-Sectional and Prospective Cohort Study. *Journal of Translational Medicine*, **14**, Article No. 260. <https://doi.org/10.1186/s12967-016-1020-8>
 - [23] Galicia-Garcia, U., Benito-Vicente, A., Jebari, S., Larrea-Sebal, A., Siddiqi, H., Uribe, K.B., *et al.* (2020) Pathophysiology of Type 2 Diabetes Mellitus. *International Journal of Molecular Sciences*, **21**, Article 6275. <https://doi.org/10.3390/ijms21176275>
 - [24] Kramer, C.K., Zinman, B. and Retnakaran, R. (2013) Short-Term Intensive Insulin Therapy in Type 2 Diabetes Mellitus: A Systematic Review and Meta-Analysis. *The Lancet Diabetes & Endocrinology*, **1**, 28-34. [https://doi.org/10.1016/s2213-8587\(13\)70006-8](https://doi.org/10.1016/s2213-8587(13)70006-8)
 - [25] Schlesinger, S., Neuenschwander, M., Barbaresco, J., Lang, A., Maalmi, H., Rathmann, W., *et al.* (2022) Prediabetes and Risk of Mortality, Diabetes-Related Complications and Comorbidities: Umbrella Review of Meta-Analyses of Prospective Studies. *Diabetologia*, **65**, 275-285. <https://doi.org/10.1007/s00125-021-05592-3>
 - [26] Ong, K.L., Stafford, L.K., McLaughlin, S.A., Boyko, E.J., Vollset, S.E., Smith, A.E., *et al.* (2023) Global, Regional, and National Burden of Diabetes from 1990 to 2021, with Projections of Prevalence to 2050: A Systematic Analysis for the Global Burden of Disease Study 2021. *The Lancet*, **402**, 203-234. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(23\)01301-6](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(23)01301-6)
 - [27] Xu, Y., Lu, J., Li, M., Wang, T., Wang, K., Cao, Q., *et al.* (2024) Diabetes in China Part 1: Epidemiology and Risk Factors. *The Lancet Public Health*, **9**, e1089-e1097. [https://doi.org/10.1016/s2468-2667\(24\)00250-0](https://doi.org/10.1016/s2468-2667(24)00250-0)
 - [28] Er, L., Wu, S., Chou, H., Hsu, L., Teng, M., Sun, Y., *et al.* (2016) Triglyceride Glucose-Body Mass Index Is a Simple and Clinically Useful Surrogate Marker for Insulin Resistance in Nondiabetic Individuals. *PLOS ONE*, **11**, e0149731. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0149731>
 - [29] Chen, X., Liu, Z., Yang, Y., Chen, G., Wan, Q., Qin, G., *et al.* (2022) Depression Status, Lifestyle, and Metabolic Factors with Subsequent Risk for Major Cardiovascular Events: The China Cardiometabolic Disease and Cancer Cohort (4C) Study. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, **9**, Article 865063. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2022.865063>
 - [30] da Silva, A., Caldas, A.P.S., Rocha, D.M.U.P. and Bressan, J. (2020) Triglyceride-Glucose Index Predicts Independently Type 2 Diabetes Mellitus Risk: A Systematic Review and Meta-Analysis of Cohort Studies. *Primary Care Diabetes*, **14**, 584-593. <https://doi.org/10.1016/j.pcd.2020.09.001>
 - [31] Zhang, Q., Xiao, S., Jiao, X. and Shen, Y. (2023) The Triglyceride-Glucose Index Is a Predictor for Cardiovascular and All-Cause Mortality in CVD Patients with Diabetes or Pre-Diabetes: Evidence from NHANES 2001-2018. *Cardiovascular Diabetology*, **22**, Article No. 279. <https://doi.org/10.1186/s12933-023-02030-z>
 - [32] Tai, S., Fu, L., Zhang, N., Yang, R., Zhou, Y., Xing, Z., *et al.* (2022) Association of the Cumulative Triglyceride-Glucose Index with Major Adverse Cardiovascular Events in Patients with Type 2 Diabetes. *Cardiovascular Diabetology*, **21**, Article No. 161. <https://doi.org/10.1186/s12933-022-01599-1>
 - [33] Yan, H., Zhou, Q., Wang, Y., Tu, Y., Zhao, Y., Yu, J., *et al.* (2024) Associations between Cardiometabolic Indices and the Risk of Diabetic Kidney Disease in Patients with Type 2 Diabetes. *Cardiovascular Diabetology*, **23**, Article No. 142. <https://doi.org/10.1186/s12933-024-02228-9>
 - [34] Wang, D., Yang, Y., Lei, Y., Tzvetkov, N.T., Liu, X., Yeung, A.W.K., *et al.* (2019) Targeting Foam Cell Formation in

- Atherosclerosis: Therapeutic Potential of Natural Products. *Pharmacological Reviews*, **71**, 596-670. <https://doi.org/10.1124/pr.118.017178>
- [35] 中华医学会健康管理学分会,《中华健康管理学杂志》编辑委员会, 国家老年疾病临床医学研究中心. 成人代谢综合征防控健康教育专家共识[J]. 中华健康管理学杂志, 2024, 18(2): 81-92.
- [36] Xi, B., He, D., Hu, Y. and Zhou, D. (2013) Prevalence of Metabolic Syndrome and Its Influencing Factors among the Chinese Adults: The China Health and Nutrition Survey in 2009. *Preventive Medicine*, **57**, 867-871. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2013.09.023>
- [37] Luo, W., Ai, L., Wang, B. and Zhou, Y. (2019) High Glucose Inhibits Myogenesis and Induces Insulin Resistance by Down-Regulating AKT Signaling. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, **120**, Article 109498. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2019.109498>
- [38] Kang, S.W., Kim, S.K., Kim, Y.S. and Park, M. (2023) Risk Prediction of the Metabolic Syndrome Using Tyg Index and SNPs: A 10-Year Longitudinal Prospective Cohort Study. *Molecular and Cellular Biochemistry*, **478**, 39-45. <https://doi.org/10.1007/s11010-022-04494-1>
- [39] Wei, X., Min, Y., Song, G., Ye, X. and Liu, L. (2024) Association between Triglyceride-Glucose Related Indices with the All-Cause and Cause-Specific Mortality among the Population with Metabolic Syndrome. *Cardiovascular Diabetology*, **23**, Article No. 134. <https://doi.org/10.1186/s12933-024-02215-0>
- [40] Yu, X., Wang, L., Zhang, W., Ming, J., Jia, A., Xu, S., *et al.* (2018) Fasting Triglycerides and Glucose Index Is More Suitable for the Identification of Metabolically Unhealthy Individuals in the Chinese Adult Population: A Nationwide Study. *Journal of Diabetes Investigation*, **10**, 1050-1058. <https://doi.org/10.1111/jdi.12975>
- [41] Eda Kaya, Yusuf Yilmaz. 累及全身多系统的疾病: 代谢相关(非酒精性)脂肪性肝病[J]. 中华肝脏病杂志, 2025, 33(1): 77-87.
- [42] Paik, J.M., Henry, L., Younossi, Y., Ong, J., Alqahtani, S. and Younossi, Z.M. (2023) The Burden of Nonalcoholic Fatty Liver Disease (NAFLD) Is Rapidly Growing in Every Region of the World from 1990 to 2019. *Hepatology Communications*, **7**, e0251. <https://doi.org/10.1097/hc9.0000000000000251>
- [43] Younossi, Z.M., Golabi, P., Paik, J.M., Henry, A., Van Dongen, C. and Henry, L. (2023) The Global Epidemiology of Nonalcoholic Fatty Liver Disease (NAFLD) and Nonalcoholic Steatohepatitis (NASH): A Systematic Review. *Hepatology*, **77**, 1335-1347. <https://doi.org/10.1097/hep.0000000000000004>
- [44] Zhou, X., Cai, J., Targher, G., Byrne, C.D., Shapiro, M.D., Sung, K., *et al.* (2022) Metabolic Dysfunction-Associated Fatty Liver Disease and Implications for Cardiovascular Risk and Disease Prevention. *Cardiovascular Diabetology*, **21**, Article No. 270. <https://doi.org/10.1186/s12933-022-01697-0>
- [45] Guo, W., Lu, J., Qin, P., Li, X., Zhu, W., Wu, J., *et al.* (2020) The Triglyceride-Glucose Index Is Associated with the Severity of Hepatic Steatosis and the Presence of Liver Fibrosis in Non-Alcoholic Fatty Liver Disease: A Cross-Sectional Study in Chinese Adults. *Lipids in Health and Disease*, **19**, Article No. 218. <https://doi.org/10.1186/s12944-020-01393-6>
- [46] Kitae, A., Hashimoto, Y., Hamaguchi, M., Obora, A., Kojima, T. and Fukui, M. (2019) The Triglyceride and Glucose Index Is a Predictor of Incident Nonalcoholic Fatty Liver Disease: A Population-Based Cohort Study. *Canadian Journal of Gastroenterology and Hepatology*, **2019**, Article 5121574. <https://doi.org/10.1155/2019/5121574>
- [47] Liu, Y.T., Wang, W., Tong, J. and Wang, B.Y. (2021) Relationship between Triglyceride-Glucose Index and Non-Alcoholic Fatty Liver Disease. *Chinese Journal of Hepatology*, **29**, 451-455. <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn501113-20200615-00322>
- [48] Sánchez-García, A., Rodríguez-Gutiérrez, R., Mancillas-Adame, L., González-Nava, V., Díaz González-Colmenero, A., Solís, R.C., *et al.* (2020) Diagnostic Accuracy of the Triglyceride and Glucose Index for Insulin Resistance: A Systematic Review. *International Journal of Endocrinology*, **2020**, Article 4678526. <https://doi.org/10.1155/2020/4678526>
- [49] Zheng, R., Du, Z., Wang, M., Mao, Y. and Mao, W. (2018) A Longitudinal Epidemiological Study on the Triglyceride and Glucose Index and the Incident Nonalcoholic Fatty Liver Disease. *Lipids in Health and Disease*, **17**, Article No. 262. <https://doi.org/10.1186/s12944-018-0913-3>
- [50] Mensah, G.A., Fuster, V. and Roth, G.A. (2023) A Heart-Healthy and Stroke-Free World. *Journal of the American College of Cardiology*, **82**, 2343-2349. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2023.11.003>
- [51] Chong, B., Jayabaskaran, J., Jauhari, S.M., Chan, S.P., Goh, R., Kueh, M.T.W., *et al.* (2024) Global Burden of Cardiovascular Diseases: Projections from 2025 to 2050. *European Journal of Preventive Cardiology*, **13**, zwae281. <https://doi.org/10.1093/eurjpc/zwae281>
- [52] 徐倩, 姜志胜. 动脉粥样硬化机制研究的新认识[J]. 中国动脉硬化杂志, 2024, 32(11): 921-931.
- [53] Sánchez-Íñigo, L., Navarro-González, D., Fernández-Montero, A., Pastrana-Delgado, J. and Martínez, J.A. (2016) The Tyg Index May Predict the Development of Cardiovascular Events. *European Journal of Clinical Investigation*, **46**, 189-

197. <https://doi.org/10.1111/eci.12583>
- [54] Park, K., Ahn, C.W., Lee, S.B., Kang, S., Nam, J.S., Lee, B.K., *et al.* (2019) Elevated Tyg Index Predicts Progression of Coronary Artery Calcification. *Diabetes Care*, **42**, 1569-1573. <https://doi.org/10.2337/dc18-1920>
- [55] 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>
- [56] Sun, C., Hu, L., Li, X., Zhang, X., Chen, J., Li, D., *et al.* (2024) Triglyceride-Glucose Index's Link to Cardiovascular Outcomes Post-Percutaneous Coronary Intervention in China: A Meta-Analysis. *ESC Heart Failure*, **11**, 1317-1328. <https://doi.org/10.1002/ehf2.14679>
- [57] Zuo, H., Yang, X., Liu, Q., Zhang, Y., Zeng, H., Yan, J., *et al.* (2018) Global Longitudinal Strain at Rest for Detection of Coronary Artery Disease in Patients without Diabetes Mellitus. *Current Medical Science*, **38**, 413-421. <https://doi.org/10.1007/s11596-018-1894-1>
- [58] He, G., Zhang, Z., Wang, C., Wang, W., Bai, X., He, L., *et al.* (2024) Association of the Triglyceride-Glucose Index with All-Cause and Cause-Specific Mortality: A Population-Based Cohort Study of 3.5 Million Adults in China. *The Lancet Regional Health-Western Pacific*, **49**, Article 101135. <https://doi.org/10.1016/j.lanwpc.2024.101135>