

甘油三酯葡萄糖-体重指数与心血管及代谢性疾病相关性研究进展

宋珂^{1,2} 王毅¹ 潘三葱²

(1. 长治医学院, 山西 长治 046000; 2. 晋城市人民医院心血管内科, 山西 晋城 048000)

【摘要】 甘油三酯葡萄糖指数已被认为是一种简便特异的衡量胰岛素抵抗的可靠指标, 而甘油三酯葡萄糖-体重指数 (TyG-BMI) 则是甘油三酯葡萄糖指数与肥胖相结合所产生的更强有力的胰岛素抵抗替代标志物。TyG-BMI 与心血管及代谢性疾病的严重程度和不良预后之间的相关性日益引起人们的重视。现阐述 TyG-BMI 在高血压、冠状动脉粥样硬化性心脏病、糖尿病、高尿酸血症和非酒精性脂肪性肝病中的临床应用价值和最新研究进展。

【关键词】 甘油三酯葡萄糖-体重指数; 胰岛素抵抗; 心血管疾病; 代谢性疾病

【DOI】 10.16806/j.cnki.issn.1004-3934.2024.07.014

Correlation Between Triglyceride Glucose-Body Mass Index and Cardiovascular and Metabolic Diseases

SONG Ke^{1,2}, WANG Yi¹, PAN Sancong²

(1. Changzhi Medical College, Changzhi 046000, Shanxi, China; 2. Department of Cardiovascular Medicine, Jincheng People's Hospital, Jincheng 048000, Shanxi, China)

【Abstract】 The triglyceride glucose index has been suggested as a simple and specific indicator of insulin resistance, and triglyceride glucose-body mass index (TyG-BMI) is an even stronger proxy for insulin resistance when combined with obesity. The correlation between TyG-BMI and the severity and poor prognosis of cardiovascular and metabolic diseases is increasingly receiving attention. This article describes the clinical application value and latest research progress of TyG-BMI in hypertension, coronary atherosclerotic heart disease, diabetes, hyperuricemia and non-alcoholic fatty liver disease.

【Keywords】 Triglyceride glucose-body mass index; Insulin resistance; Cardiovascular disease; Metabolic disease

随着科技社会的发展及物质生活水平的提高, 心血管疾病逐渐成为全球医疗卫生最严峻的挑战和最大的负担; 主要危险因素包括胰岛素抵抗 (insulin resistance, IR)、高血压、糖尿病、血脂异常、肥胖和吸烟等, IR 对心血管及代谢性疾病的发生发展和预后具有重大影响。然而, 既往 IR 检测方法价格昂贵、操作复杂、临床不易开展。最新研究认为甘油三酯葡萄糖-体重指数 (triglyceride glucose-body mass index, TyG-BMI) 是可靠、敏感、特异的 IR 替代指标, 其与空腹血糖 (fasting plasma glucose, FPG)、血清甘油三酯 (triglyceride, TG) 和体重指数 (body mass index, BMI) 有关, 在心血管及代谢性疾病的早期筛检、疾病分期及预后评估方面有潜在价值。

1 IR

IR 是指胰岛素依赖性器官和组织对胰岛素的敏感性降低或受损, 与糖脂代谢紊乱和氧化应激等因素

有关。IR 不仅导致机体糖耐量异常, 也可导致心肌细胞葡萄糖摄取减少, 正性肌力作用减弱; 因此, 临床上和 IR 相关的指标都有望成为心血管及代谢性疾病的潜在生物标志物。高胰岛素正葡萄糖钳夹技术和 IR 稳态模型是评估 IR 的方法, 但由于其昂贵、耗时和复杂的性质, 难以应用于群体研究和临床环境。故提出甘油三酯葡萄糖 (triglyceride glucose index, TyG) 指数, TyG 指数已被证明是高胰岛素正葡萄糖钳夹技术和 IR 稳态模型高度相关的标志^[1], 通过 TG 和 FPG 水平而计算出, 目前已用于评估 IR。

2 TyG-BMI

理论上, TyG 指数与肥胖参数 [腰围 (waist circumference, WC)、BMI 和腰高比 (waist-to-height ratio, WHtR)] 整合反映 IR 更有利, 通过 BMI 定义的肥胖存在低度炎症状态, 也是影响 IR 的重要因素之一。基于 BMI 和 TyG 指数结合得出的 TyG-BMI 近年

来也被认为是 IR 的标志物。TyG-BMI 首次在 2016 年由 Er 等^[2]提出,计算方式: $\ln[\text{TG}(\text{mg/dL}) \times \text{FPG}(\text{mg/dL})/2] \times \text{BMI}$ (其中 ln 为自然对数),通过对比各种脂质参数得出 TyG-BMI 是高效 IR 的替代标志物,且 TyG-BMI 与 IR 密切相关,变异度为 16.6%。Mirr 等^[3]研究对比 8 项 IR 相关指标的诊断准确性,将 BMI 分为 3 组:正常组(BMI 18.5 ~ < 25 kg/m²)、超重组(BMI 25 ~ < 30 kg/m²)和肥胖组(BMI ≥ 30 kg/m²),结果所有指标均达到了诊断 IR 的标准,正常组最高。Lim 等^[4]研究进一步提出 TyG-BMI 比单独 TyG 指数更能准确地预测 IR。由此可见,该指数由脂质、葡萄糖和肥胖相关代谢标志物组成,是 IR 的可靠预测因

子^[5]。首先,血脂异常会缺乏适当的胰岛素信号转导,导致脂质代谢紊乱,血浆游离脂肪酸水平升高,导致活性氧(reactive oxygen species, ROS)产生增多,诱导炎症和细胞凋亡;其次,葡萄糖代谢紊乱导致高血糖,引发炎症和氧化应激,使一氧化氮(nitric oxide, NO)失活,过度产生 ROS,损害内皮功能;最后,肥胖呈现的是促炎与抗炎免疫细胞失衡的慢性炎症状态,调节胰岛素敏感性,影响糖脂的代谢。以上共同作用均可导致氧化应激和内皮功能障碍,进一步诱导心血管及代谢性疾病的发生发展。现结合国内外研究对 TyG-BMI 的研究进展及意义做一综述。

TyG-BMI 与心血管及代谢性疾病的关系见图 1。

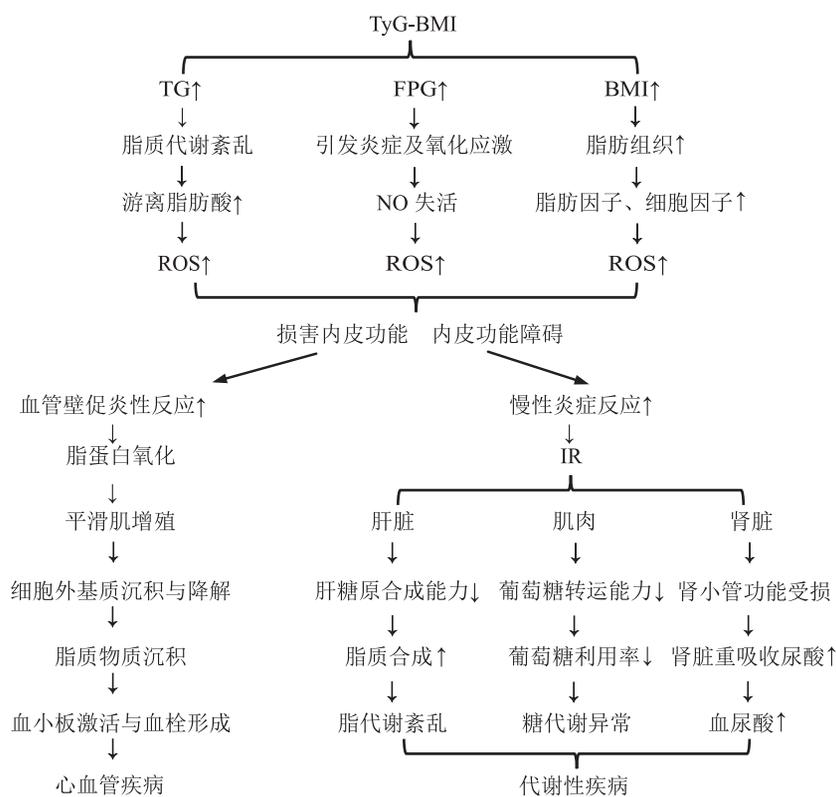


图 1 TyG-BMI 与心血管及代谢性疾病的关系

3 TyG-BMI 与心血管疾病

3.1 TyG-BMI 与高血压及高血压前期

研究^[6]表明,血压 ≥ 130/80 mm Hg (1 mm Hg = 0.133 3 kPa)时,冠状动脉粥样硬化性心脏病(coronary atherosclerotic heart disease, CHD)事件增加 35%,脑卒中增加 95%,心肌梗死增加 99%。高血压长期控制不佳可导致心肌肥厚、冠状动脉狭窄、脑卒中和肾功能衰竭等。IR 和高血压之间的关系已被证实^[7],但临床中测量胰岛素的成本相对较高,Bala 等^[8]探讨 6 个 IR 替代指标与高血压的关联强度,TyG-BMI 与高血压呈正相关,高血压组所有 IR 替代指标均显著高于无高血压组。Zeng 等^[9]研究显示 TyG-BMI 与高血压前期存

在正相关性。Lim 等^[4]发现,对于 IR 预测,TyG-BMI 优于 TyG 指数、TyG-WC 指数和 TyG-WHtR。TyG-BMI 较先前研究加入了 BMI,参考价值高于其他 IR 替代指标,体现了 BMI 在高血压的发展中也至关重要,TyG-BMI 增高会使机体处于炎症状态,导致高胰岛素血症和瘦素增加、交感神经系统和肾素-血管紧张素-醛固酮系统活性增强、肾钠重吸收增加、外周血管阻力和心输出量增加、全身血压升高^[10]。因此,可认为 TyG-BMI 作为 IR 替代标志物是预防和管理高血压简单且临床实用的指标。通过改变生活方式和饮食习惯、控制体重以及药物治疗等手段来管理血压,可减少靶器官损害。

3.2 TyG-BMI 与 CHD

CHD 是冠状动脉血管发生粥样硬化、炎症或栓塞等引起管腔狭窄或阻塞,造成心肌缺血、缺氧或坏死而导致的心脏病^[11]。多数文章已明确 IR 是心血管疾病的主要危险因素,不仅导致糖代谢紊乱,也可导致血脂代谢异常,而 TG 水平升高可进一步促进胰岛细胞发生氧化应激反应,加重 IR。综合考虑 TG 和血糖水平异常更能反映心血管损伤程度,而 BMI 作为 IR 的指标,与 TG 和 FPG 结合,若 3 种危险因素出现在同一个体中,CHD 的发生率将大幅度升高。Huang 等^[12]研究对比传统和新型心脏代谢指标的性能,得出 TyG-BMI 与动脉粥样硬化性心血管疾病风险显著相关。宋晚美等^[11]探讨 TyG-BMI 在 CHD 预测和评估中的应用价值,结果 CHD 患者 TyG-BMI 高于非 CHD 人群;Gensini 评分中度和重度病变者的 TyG-BMI 高于轻度病变者;SYNTAX II 评分高危患者分值大于低危患者。Cheng 等^[13]最新研究发现,TyG-BMI 被证明是药物洗脱支架植入后女性和老年患者主要不良心血管事件的独立预后因素,较高的 TyG-BMI 与女性或老年患者主要不良心血管事件发生率升高相关。在列举的研究中,证实 TyG-BMI 在 CHD 患者中显著高于非 CHD 人群,且该指数为 CHD 的独立危险因素。从分子机制分析,一方面 IR 使糖基化产物和氧自由基增多,导致 NO 的失活,产生 ROS,损害血管内皮细胞^[10];另一方面 IR 使血小板过度活化,增加血栓素 A₂、加速组织因子合成,与血栓形成和炎症相关^[3];最终导致动脉弹性降低及斑块和钙化形成,这是脂质代谢紊乱相关 IR 和心血管疾病相关的主要原因。总结为 IR 造成血脂代谢紊乱、血管内皮功能受损、血栓形成,导致冠状动脉狭窄甚至闭塞。因此,TyG-BMI 能为 CHD 的危险分层及治疗预后提供新思路。

4 TyG-BMI 与代谢性疾病

4.1 TyG-BMI 与糖尿病

糖尿病是一种由血糖代谢紊乱引起的代谢性疾病,胰岛素分泌不足或 IR 导致血糖升高。Mirr 等^[3]指出 IR 替代指标 TyG-BMI 可评估早期糖尿病。糖尿病早期患者中存在 IR,随着程度加重,发展为 2 型糖尿病(type 2 diabetes mellitus, T2DM);T2DM 患者炎症反应和氧化应激均可使 IR 加速形成,影响胰岛素信号传递,葡萄糖利用能力下降,使 IR 进行性加重,二者相互影响。研究^[14]纳入 10 万例健康受试者,较高 TyG-BMI 显著增加个体患糖尿病前期的风险,并且这种风险在女性、非肥胖个体和年龄 < 50 岁的个体中更高;同年有研究^[15]提出 TyG-BMI 预测新发糖尿病最佳截断值为 213.296 6。另一项研究^[16]证实 TyG-BMI 与血

糖水平正常个体发生 T2DM 的风险呈正相关性,最佳阈值为 197.298 7,该风险在年轻人(18 ~ 44 岁)、女性、非高血压人群和不饮酒者中较高。另有研究^[17]显示在老年人群中,TyG-BMI 与 T2DM 发病率呈正相关,在男性、年龄 ≥ 75 岁人群中尤为显著。在不同年龄、性别、有无高血压以及有无饮酒史人群中具有显著差异,考虑生活习惯和男女新陈代谢不同,对血糖、血脂及 BMI 造成不同程度的影响,且单纯 BMI 升高即可使 TyG-BMI 增加,导致糖尿病发病率升高。

4.2 TyG-BMI 与高尿酸血症

BMI 与血清尿酸水平之间的关系已被证实^[18],超重和肥胖被视为高尿酸血症(hyperuricemia, HUA)的危险因素,尿酸增高可引起痛风和慢性肾脏病,在促进高血压、糖尿病和心血管疾病发展中起重要作用。本文提到的 IR、TyG-BMI 与 HUA 也密不可分。Gu 等^[19]研究表明,TyG 指数、TyG-BMI 和 TyG-WC 指数有助于 HUA 的危险分层和预防,患病组与正常组相比,TyG-BMI 对于女性 HUA 的危害大于男性,女性平均差异较高(女性 51.90,男性 36.90)。总之,TyG-BMI 与两性 HUA 风险显著相关,且超重/肥胖通常被认为是 HUA 的独立危险因素。当机体出现 IR 时,一方面,胰岛素介导的葡萄糖清除下降使血清尿酸的清除降低,随着尿酸沉积增多,胰岛 β 细胞的分泌功能受到损害,导致胰岛素分泌障碍;另一方面,糖酵解过程及脂肪酸代谢中血尿酸生成增加,同时增加肾脏对尿酸的重吸收,导致 HUA 的发生和发展,进一步使机体出现糖和脂质的代谢紊乱,继而引发心血管及代谢性疾病。

4.3 TyG-BMI 与非酒精性脂肪性肝病

非酒精性脂肪性肝病(non-alcoholic fatty liver disease, NAFLD)^[20]是一种常见的慢性肝病。肝脏蓄积 TG 能力有限,脂质沉积导致脂肪酸诱导 β 氧化的高速率,增加线粒体呼吸链中 ROS 的产生,导致细胞损伤;IR、高脂血症和内脏肥胖都是常见且公认的 NAFLD 的危险因素^[21]。诸多研究证实 IR 的替代标志物 TyG-BMI 与 NAFLD 密切相关。Li 等^[22]得出在血脂正常非肥胖的中国人人群中,TyG-BMI 每增加 1 个标准差(standard deviation, SD),NAFLD 的风险比随之增加。Zhang 等^[23]使用超声检测出非肥胖受试者中 NAFLD 的患病率随 TyG-BMI 增加而增加。Wang 等^[24]发现,NAFLD 和 TyG-BMI 之间存在稳定的正相关,是一种非线性关系,具有明显的阈值和饱和效应,当 TyG-BMI 在 100 ~ 150 时出现阈值效应,在 300 ~ 400 时相应的 NAFLD 风险达到饱和。Hu 等^[25]研究用 TyG-BMI 可准确区分 NAFLD 人群,使低风险

NAFLD 患者减少额外的筛查。Otsubo 等^[26]发现 TyG-BMI 预测 NAFLD 的曲线下面积 (area under the curve, AUC) 值显著高于其他指标。无论性别、年龄均证明 TyG-BMI 是普通人群 NAFLD 风险筛查的最佳选择, 因为血脂及血糖水平升高, 导致内质网内稳态失衡、破坏溶酶体结构和功能、刺激炎症反应发生等多种途径

使肝细胞受损。此外, BMI 常被用作肥胖和 IR 指标, 脂肪组织分解增加可释放大量游离脂肪酸, 是调节胰岛素敏感性的最重要因素。更重要的是, 构成 TyG-BMI 相关参数的指标在临床上容易获得, 为疾病的防治带来极大的便利。

TyG-BMI 的研究特点和结果见表 1。

表 1 TyG-BMI 的研究特点和结果

疾病类型	作者及年份	研究设计及人群	评价方法	调节变量	结局
高血压	Bala 等 ^[8] (2019)	横断面观察性研究, 1 730 例排除糖尿病的受试者, 733 例健康者	比较高血压与 6 个指标 (TG/HDL-C、TyG、VAI、LAP、TyG-BMI 和 TyG-WC) 之间的关联强度	年龄、吸烟史、BMI、WC、血压、HbA1c、TC、TG、LDL-C、eGFR、TG/HDL-C、TyG、TyG-BMI、TyG-WC、VAI 和 LAP	TyG-BMI 与高血压呈正相关 ($OR = 2.43, 95\% CI 1.82 \sim 3.25$)
高血压	Zeng 等 ^[9] (2020)	横断面研究, 105 070 例正常体重且无高血压的成年人	探索 TyG、TyG-BMI、TyG-WC 和 TyG-WHtR 与高血压前期的相关性	年龄、BMI、WC、WHtR、FPG、TC、TG、HDL-C、LDL-C、ALT、AST、ALP、GGT、TyG、TyG-BMI、TyG-WC 和 TyG-WHtR	TyG-BMI 与高血压前期显著相关 ($OR = 1.669, 95\% CI 1.482 \sim 1.881$)
CHD	宋晚美等 ^[11] (2021)	回顾性研究, 126 例为 CHD 患者, 84 例为非 CHD 人群	评估 TyG-BMI 对 CHD 的诊断价值	年龄、吸烟史、饮酒史、血压、糖尿病、TC、TG、LDL-C、TyG 和 TyG-BMI	TyG-BMI 对 CHD 有诊断价值 ($OR = 0.68, 95\% CI 0.61 \sim 0.76$)
CHD	Huang 等 ^[12] (2021)	观察性研究, 3 143 例健康者	评估心脏代谢指标在动脉粥样硬化性心血管疾病风险增加中的表现	年龄、糖尿病病史、BMI、WC、CVAI、VAI、LAP、ABSI、BRI、CI、TyG、TyG-BMI、TyG-WC、FPG、TC、HDL-C、LDL-C 和 TG	所有心脏代谢指标均与动脉粥样硬化性心血管疾病风险显著相关, 男性 TyG-BMI ($OR = 20.381, 95\% CI 9.854 \sim 42.153$), 女性 TyG-BMI ($OR = 12.846, 95\% CI 6.385 \sim 25.844$)
CHD	Cheng 等 ^[13] (2023)	回顾性研究, 1 438 例接受经皮冠状动脉介入治疗和药物洗脱支架植入术者	评价 TyG-BMI 与心血管疾病发病率的相关性	性别、BMI、糖尿病、TC、TG、HDL-C、LDL-C、靶病变位置、病变特征、干预血管数量、植入支架数量及长度	在老年患者 ($OR = 1.22, 95\% CI 1.011 \sim 1.467$) 和女性患者 ($OR = 1.33, 95\% CI 1.004 \sim 1.764$) 中, TyG-BMI 与主要不良心血管事件之间存在线性关系
糖尿病	Jiang 等 ^[14] (2021)	观察性研究, 按照 WHO 糖尿病前期诊断标准纳入 110 838 例, 按照 ADA 糖尿病前期诊断标准纳入 100 309 例	评估 TyG-BMI 在识别处于糖尿病前期高风险人群中的作用	年龄、身高、体重、FPG、TC、TG、HDL-C、LDL-C、AST、ALT 和 TyG	TyG-BMI 与前驱糖尿病独立相关 (ADA: $HR = 1.23, 95\% CI 1.18 \sim 1.27$; WHO: $HR = 1.40, 95\% CI 1.32 \sim 1.47$)
糖尿病	Wang 等 ^[15] (2021)	回顾性研究, 116 661 例受试者	根据 TyG-BMI 评估糖尿病事件的发生	年龄、糖尿病家族史、身高、体重、BMI、FPG、TC、TG、HDL-C、LDL-C、TyG、AST、ALT 和 BUN	TyG-BMI 是新发糖尿病的独立预测因子 ($HR = 1.50, 95\% CI 1.40 \sim 1.60$), 最佳截断值为 213.296 6
糖尿病	Song 等 ^[16] (2022)	观察性研究-纵向队列研究, 15 464 例非糖尿病患者	研究 TyG-BMI 与 T2DM 的关系	年龄、BMI、WC、ALT、AST、体重、GGT、TC、TG、HDL-C、LDL-C、HbA1c、FPG、TyG、吸烟史和饮酒史	TyG-BMI 是发生 T2DM 的独立预测因子, 最佳阈值为 197.298 7 ($AUC = 0.773 8$)

续表

疾病类型	作者及年份	研究设计及人群	评价方法	调节变量	结局
糖尿病	雷庆华等 ^[17] (2023)	观察性研究-队列研究, 24 665 例年龄 >60 岁人群	探讨中国年龄 >60 岁人群 TyG-BMI 与 T2DM 发病风险的相关性	年龄、性别、BMI、TyG-BMI、FPG、TC、TG、HDL-C、LDL-C、ALT、AST、吸烟史和 T2DM 史	TyG-BMI 与年龄 >60 岁人群发生 T2DM 的风险独立相关, TyG-BMI 每升高 1 个单位, T2DM 患病风险随即增加 (<i>HR</i> = 1.032, 95% <i>CI</i> 1.028 ~ 1.035)
HUA	Gu 等 ^[19] (2020)	观察性研究-纵向队列研究, 42 387 例无 HUA 的健康个体	分析估计 TyG、TyG-BMI、TyG-WC 和 TyG-WHtR 与 HUA 风险的关联	年龄、性别、BMI、WC、WHtR、FPG、TC、TG、HDL-C、LDL-C、TyG、TyG-BMI、TyG-WC、TyG-WHtR 和 eGFR	TyG-BMI 有助于 HUA 的危险分层和预防, 女性平均差异较高(女性: 51.90; 男性: 36.90)
脂肪性肝病	Li 等 ^[22] (2020)	前瞻性队列研究, 9 767 例符合筛选标准的非肥胖个体	分析 TyG-BMI 及其组分对 NAFLD 的预测能力	年龄、性别、FPG 受损、高血压、TG、BMI、AST、ALT 和 GGT	TyG-BMI 对 NAFLD 具有强预测值 (<i>AUC</i> = 0.85, 95% <i>CI</i> 0.84 ~ 0.86), 特异度为 0.73, 灵敏度为 0.82
脂肪性肝病	Zhang 等 ^[23] (2017)	横断面研究, 6 809 例非肥胖个体	研究 TyG-BMI 在非肥胖受试者中识别 NAFLD 的有效性	年龄、性别(男性)、BMI、TC、TG、HDL-C、LDL-C、TyG、TyG-BMI、TG/HDL-C、WBC 和 ALT	TyG-BMI 与 NAFLD 发展具有相关性 (<i>OR</i> = 3.4, 95% <i>CI</i> 3.0 ~ 3.9)
脂肪性肝病	Wang 等 ^[24] (2021)	横断面研究, 14 251 例健康个体	研究一般人群中 NAFLD 与 TyG-BMI 之间的关系及其预测价值	年龄、身高、体重、BMI、WC、AST、ALT、GGT、TC、TG、HDL-C、LDL-C、TyG、TyG-BMI 和 HbA1c	NAFLD 与 TyG-BMI 之间存在稳定的正相关性 (<i>OR</i> = 3.90, 95% <i>CI</i> 3.54 ~ 4.29)
脂肪性肝病	Hu 等 ^[25] (2022)	横断面研究, 14 280 例健康个体	评估 TyG-BMI 在日本人群中检测 NAFLD 的准确性	BMI、WC、饮酒量、年龄、FPG、TG、HbA1c、ALT、TC、AST、BUN 和 GGT	TyG-BMI 能诊断 NAFLD, 准确性为 93.1%
脂肪性肝病	Otsubo 等 ^[26] (2023)	回顾性观察性研究, 24 825 例腹型肥胖受试者	评估 WC、BMI、FLI 和 TyG-BMI 预测 NAFLD 的价值	年龄、性别、WC、吸烟史、高脂血症、糖尿病、TC、TG、HDL-C、LDL-C、TyG、TyG-BMI、HbA1c、Cr、eGFR、WBC、Hb、VAI 和 NAFLD	FLI 和 TyG-BMI 预测 NAFLD 的 <i>AUC</i> 值显著高于其他指标 (FLI: 男性为 0.786, 女性为 0.875; TyG-BMI: 男性为 0.783, 女性为 0.868)

注: HDL-C, 高密度脂蛋白胆固醇; VAI, 内脏脂肪指数; LAP, 脂肪蓄积产物; HbA1c, 糖化血红蛋白; TC, 总胆固醇; LDL-C, 低密度脂蛋白胆固醇; eGFR, 估算肾小球滤过率; ALT, 丙氨酸转氨酶; AST, 天冬氨酸转氨酶; ALP, 碱性磷酸酶; GGT, γ -谷氨酰转氨酶; CVAI, 中国人内脏型肥胖指数; ABSI, 身体形态指数; BRI, 身体圆度指数; CI, 锥度指数; WHO, 世界卫生组织; ADA, 美国糖尿病协会; BUN, 尿素氮; WBC, 白细胞; FLI, 脂肪肝指数; Cr, 肌酐; Hb, 血红蛋白。

5 小结与展望

综上所述, TyG-BMI 由 BMI、FPG 和 TG 三个简易指标组成, 是预测 IR 的可靠因子, 较单一指标对于早期筛查、风险评估、制定策略、人群体检以及流行病学研究极其便利。然而, 目前关于 TyG-BMI 的研究尚不完全。首先, TG 及血糖水平受饮食影响较大, 餐后 TG 和葡萄糖水平的大幅度波动对 TyG-BMI 是否具有临床意义是值得考虑的问题; 其次, TyG-BMI 与心血管疾病的发展和预后相关, 然而, 尚未对 TyG-BMI 作为心血管疾病标志物的应用进行系统分析, 关于与心血管疾病相关的潜在机制的信息较少; 最后, TyG-BMI 与心血管及代谢性疾病机制尚不明确, 目前仅有的研究都

仅支持与 IR 的机制而延伸到 TyG-BMI, 未来有待进一步探索。

参考文献

- [1] Guerrero-Romero F, Simental-Mendía LE, González-Ortiz M, et al. The product of triglycerides and glucose, a simple measure of insulin sensitivity. Comparison with the euglycemic-hyperinsulinemic clamp [J]. *J Clin Endocrinol Metab*, 2010, 95(7): 3347-3351.
- [2] Er LK, Wu S, Chou HH, et al. Triglyceride glucose-body mass index is a simple and clinically useful surrogate marker for insulin resistance in nondiabetic individuals [J]. *PLoS One*, 2016, 11(3): e0149731.
- [3] Mirr M, Skrypnik D, Bogdański P, et al. Newly proposed insulin resistance indexes called TyG-NC and TyG-NHtR show efficacy in diagnosing the metabolic syndrome [J]. *J Endocrinol Invest*, 2021, 44(12): 2831-2843.

- [4] Lim J, Kim J, Koo SH, et al. Comparison of triglyceride glucose index, and related parameters to predict insulin resistance in Korean adults: an analysis of the 2007—2010 Korean National Health and Nutrition Examination Survey[J]. *PLoS One*, 2019, 14(3): e0212963.
- [5] Xie J, Zhang X, Shao H, et al. An affordable approach to classifying type 2 diabetes based on fasting plasma glucose, TyG index and BMI: a retrospective cohort study of NHANES Data from 1988 to 2014[J]. *Diabetol Metab Syndr*, 2022, 14(1): 113.
- [6] Guo X, Zhang X, Zheng L, et al. Prehypertension is not associated with all-cause mortality: a systematic review and meta-analysis of prospective studies[J]. *PLoS One*, 2013, 8(4): e61796.
- [7] Schulman IH, Zhou MS. Vascular insulin resistance: a potential link between cardiovascular and metabolic diseases[J]. *Curr Hypertens Rep*, 2009, 11(1): 48-55.
- [8] Bala C, Gheorghe-Fronea O, Pop D, et al. The association between six surrogate insulin resistance indexes and hypertension: a population-based study[J]. *Metab Syndr Relat Disord*, 2019, 17(6): 328-333.
- [9] Zeng ZY, Liu SX, Xu H, et al. Association of triglyceride glucose index and its combination of obesity indices with prehypertension in lean individuals: a cross-sectional study of Chinese adults[J]. *J Clin Hypertens (Greenwich)*, 2020, 22(6): 1025-1032.
- [10] Samuel VT, Shulman GI. The pathogenesis of insulin resistance: integrating signaling pathways and substrate flux[J]. *J Clin Invest*, 2016, 126(1): 12-22.
- [11] 宋晚美, 刘曦峰, 马小峰. 甘油三酯-血糖指数和甘油三酯-血糖-体质指数指数在冠心病预测和评估中的应用价值[J]. *中国循证心血管医学杂志*, 2021, 13(6): 680-683, 691.
- [12] Huang YC, Huang JC, Lin CI, et al. Comparison of innovative and traditional cardiometabolic indices in estimating atherosclerotic cardiovascular disease risk in adults[J]. *Diagnostics (Basel)*, 2021, 11(4): 603.
- [13] Cheng Y, Fang Z, Zhang X, et al. Association between triglyceride glucose-body mass index and cardiovascular outcomes in patients undergoing percutaneous coronary intervention: a retrospective study[J]. *Cardiovasc Diabetol*, 2023, 22(1): 75.
- [14] Jiang C, Yang R, Kuang M, et al. Triglyceride glucose-body mass index in identifying high-risk groups of pre-diabetes[J]. *Lipids Health Dis*, 2021, 20(1): 161.
- [15] Wang X, Liu J, Cheng Z, et al. Triglyceride glucose-body mass index and the risk of diabetes: a general population-based cohort study[J]. *Lipids Health Dis*, 2021, 20(1): 99.
- [16] Song B, Zhao X, Yao T, et al. Triglyceride glucose-body mass index and risk of incident type 2 diabetes mellitus in Japanese people with normal glycemic level: a population-based longitudinal cohort study[J]. *Front Endocrinol (Lausanne)*, 2022, 13: 907973.
- [17] 雷庆华, 李军华, 霍燕飞, 等. 老年 2 型糖尿病患者甘油三酯葡萄糖指数与体重指数乘积与糖尿病发病率关系[J]. *科学技术与工程*, 2023, 23(5): 1882-1887.
- [18] Nakanishi N, Yoshida H, Nakamura K, et al. Predictors for development of hyperuricemia: an 8-year longitudinal study in middle-aged Japanese men[J]. *Metabolism*, 2001, 50(6): 621-626.
- [19] Gu Q, Hu X, Meng J, et al. Associations of triglyceride-glucose index and its derivatives with hyperuricemia risk: a cohort study in Chinese general population[J]. *Int J Endocrinol*, 2020, 2020: 3214716.
- [20] Younossi ZM, Koenig AB, Abdelatif D, et al. Global epidemiology of nonalcoholic fatty liver disease—Meta-analytic assessment of prevalence, incidence, and outcomes[J]. *Hepatology*, 2016, 64(1): 73-84.
- [21] de Freitas CM, Lage NN, de Souza PA, et al. Effects of açai on oxidative stress, ER stress, and inflammation-related parameters in mice with high fat diet-fed induced NAFLD[J]. *Sci Rep*, 2019, 9(1): 8107.
- [22] Li Y, Zheng R, Li J, et al. Association between triglyceride glucose-body mass index and non-alcoholic fatty liver disease in the non-obese Chinese population with normal blood lipid levels: a secondary analysis based on a prospective cohort study[J]. *Lipids Health Dis*, 2020, 19(1): 229.
- [23] Zhang S, Du T, Li M, et al. Triglyceride glucose-body mass index is effective in identifying nonalcoholic fatty liver disease in nonobese subjects[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2017, 96(22): e7041.
- [24] Wang R, Dai L, Zhong Y, et al. Usefulness of the triglyceride glucose-body mass index in evaluating nonalcoholic fatty liver disease: insights from a general population[J]. *Lipids Health Dis*, 2021, 20(1): 77.
- [25] Hu H, Han Y, Cao C, et al. The triglyceride glucose-body mass index: a non-invasive index that identifies non-alcoholic fatty liver disease in the general Japanese population[J]. *J Transl Med*, 2022, 20(1): 398.
- [26] Otsubo N, Fukuda T, Genhin C, et al. Utility of indices obtained during medical checkups for predicting fatty liver disease in non-obese people[J]. *Intern Med*, 2023, 62(16): 2307-2319.

收稿日期: 2023-06-14