

# 新型胰岛素抵抗指数与代谢性疾病相关性的研究进展

于睿, 刘东方\*

重庆医科大学附属第二医院内分泌代谢病科室, 重庆

收稿日期: 2026年1月5日; 录用日期: 2026年1月29日; 发布日期: 2026年2月6日

## 摘要

胰岛素抵抗(Insulin Resistance, IR)作为关键的病理生理机制, 与2型糖尿病、代谢综合征、动脉粥样硬化性心血管疾病以及缺血性脑卒中等多种疾病的发生发展密切相关。尽管高胰岛素-正葡萄糖钳夹技术被公认为评估胰岛素抵抗的传统金标准, 但其操作流程复杂、实施成本较高且属于有创检查, 因此在常规临床实践与大规模流行病学研究中难以广泛应用。近年来, 多种基于常规代谢指标的新型胰岛素抵抗替代评估指数不断涌现, 包括但不限于甘油三酯-葡萄糖指数(TyG)、其联合体质量指数的衍生指标(TyG-BMI)、胰岛素抵抗代谢评分(METS-IR), 以及血浆致动脉粥样硬化指数(AIP)等。这些新型指数综合了血糖、血脂、肥胖程度及脂质构成等多方面信息, 具备操作简便、无创、成本低廉以及易于获取等显著优势。目前, 它们已在代谢性疾病的危险分层、临床评估与预后预测中体现出重要的应用价值。本文旨在系统综述上述新型胰岛素抵抗指数的构建原理、临床应用现状及研究进展, 以期为胰岛素抵抗及其相关疾病的早期识别与综合防治提供参考依据。

## 关键词

胰岛素抵抗, 甘油三酯葡萄糖指数, 甘油三酯葡萄糖-体质量指数, 胰岛素抵抗代谢评分, 血浆致动脉硬化指数, 代谢性疾病

# Research Advances on the Correlation between Novel Insulin Resistance Indices and Metabolic Diseases

Rui Yu, Dongfang Liu\*

Department of Endocrinology and Metabolism, The Second Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing

Received: January 5, 2026; accepted: January 29, 2026; published: February 6, 2026

\*通讯作者。

文章引用: 于睿, 刘东方. 新型胰岛素抵抗指数与代谢性疾病相关性的研究进展[J]. 临床医学进展, 2026, 16(2): 1556-1564. DOI: [10.12677/acm.2026.162545](https://doi.org/10.12677/acm.2026.162545)

## Abstract

**Insulin Resistance (IR), as a key pathophysiological mechanism, is closely associated with the development and progression of various diseases, including type 2 diabetes, metabolic syndrome, atherosclerotic cardiovascular disease, and ischemic stroke. Although the hyperinsulinemic-euglycemic clamp is recognized as the traditional gold standard for assessing insulin resistance, its complex procedure, high cost, and invasive nature limit its widespread application in routine clinical practice and large-scale epidemiological studies. In recent years, a variety of novel surrogate indices based on routine metabolic parameters have emerged for evaluating insulin resistance. These include, but are not limited to, the Triglyceride-Glucose index (TyG), its derivative combined with Body Mass Index (TyG-BMI), the Metabolic Score for Insulin Resistance (METS-IR), and the Atherogenic Index of Plasma (AIP). These novel indices integrate information from various aspects such as blood glucose, blood lipids, obesity status, and lipid composition. They offer significant advantages, including simplicity of operation, non-invasiveness, low cost, and easy accessibility. Currently, they have demonstrated considerable value in risk stratification, clinical evaluation, and prognosis prediction of metabolic diseases. This article aims to provide a systematic review of the construction principles, current clinical applications, and research progress of these novel insulin resistance indices, intending to offer reference for the early identification, comprehensive prevention, and management of insulin resistance and its related diseases.**

## Keywords

**Insulin Resistance, Triglyceride-Glucose Index, Triglyceride Glucose-Body Mass Index, Metabolic Score for Insulin Resistance, Atherogenic Index of Plasma, Metabolic Diseases**

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

胰岛素抵抗(Insulin Resistance, IR)指机体靶组织对生理浓度胰岛素的敏感性下降,是诸多代谢异常和心血管病变发生发展的共同机制。胰岛素抵抗不仅是2型糖尿病与代谢综合征发生发展的关键病理环节,还能够通过加剧动脉粥样硬化、损害内皮功能以及诱发高凝状态等多种机制,显著提升冠状动脉粥样硬化性心脏病(Coronary Heart Disease, CHD)、缺血性脑卒中(Ischemic Stroke, IS)等心脑血管事件[1]。因此,对胰岛素抵抗进行早期且准确的评估,对于识别高风险个体、实施针对性干预措施以及改善疾病临床结局,具有重要的临床价值。

目前,胰岛素抵抗的评估在临床和科研中存在多种方法。其中,高胰岛素-正葡萄糖钳夹技术(Hyperinsulinemic-Euglycemic Clamp, HIEC)被广泛视为诊断胰岛素抵抗的金标准,然而该方法流程繁琐、耗时较长、具有侵入性且费用昂贵,因此主要适用于样本量有限的研究场景[2]。稳态模型评估的胰岛素抵抗指数(Homeostasis Model Assessment Of Insulin Resistance, HOMA-IR)因操作简便在临床与科研中应用广泛,但其结果易受胰岛素检测方法、种族差异、 $\beta$ 细胞功能状态以及是否使用外源性胰岛素等多种因素干扰,故在实际应用中存在一定的局限性[3]。因此,近年来研究热点逐渐转向开发操作简便、结果可靠且适用于大规模人群筛查及临床常规应用的胰岛素抵抗替代评估指标。

随着对胰岛素抵抗病理生理机制认识的深化,研究者们逐渐利用常规临床检测指标及人体测量学参

数, 开发出一系列不依赖于胰岛素测定的新型评估指数。此类指数大多融合了能够反映糖脂代谢异常与机体营养状况的常规参数, 例如空腹血糖(Fasting Plasma Glucose, FPG)、甘油三酯(Triglyceride, TG)、高密度脂蛋白胆固醇(High-Density Lipoprotein Cholesterol, HDL-C)以及体质量指数(Body Mass Index, BMI)等。在这些指标中, TyG 指数、TyG-BMI 指数、METS-IR 以及 AIP 等因其操作便捷、与金标准评估方法相关性良好, 并显示出对相关疾病的预测价值, 已引起学术界广泛关注[4]-[8]。本文旨在系统梳理上述新型胰岛素抵抗指数的构建原理、其与代谢性疾病关联的循证医学证据、在疾病预测方面的价值以及存在的局限性, 从而为相关疾病的预防与临床管理提供新的视角。

## 2. 新型胰岛素抵抗指数的构建与原理

### 2.1. 甘油三酯葡萄糖指数

TyG 指数最初由 Simental-Mendía 等人[4]于 2008 年首次提出, 其计算公式如下:  $TyG = \text{Ln}[\text{空腹 TG (mg/dL)} \times \text{空腹 FPG (mg/dL)} / 2]$ 。TyG 指数同时涵盖了空腹血糖与甘油三酯两项参数, 能够综合反映糖代谢与脂代谢的异常状态。多项研究均表明, TyG 指数与基于高胰岛素 - 正葡萄糖钳夹技术测定的胰岛素敏感性, 以及稳态模型评估的胰岛素抵抗指数(HOMA-IR)均存在显著相关性, 可作为评估胰岛素抵抗的一种简便且可靠的指标。鉴于该指数仅需依赖常规生化检测项目, 成本较低, 因而适用于基层医疗实践及大规模人群流行病学调查。

### 2.2. 甘油三酯葡萄糖 - 体质量指数

肥胖是胰岛素抵抗的独立危险因素。为弥补 TyG 指数未纳入肥胖相关参数的不足, Er 等[5]于 2016 年提出了 TyG-BMI 指数, 其计算公式为:  $TyG-BMI = TyG \times BMI$ 。该指数综合了反映糖毒性的空腹血糖、代表脂毒性的甘油三酯以及体现全身肥胖程度的体质量指数, 旨在更全面地评估代谢性肥胖或内脏脂肪超标个体的胰岛素抵抗状态。研究表明, 在诊断胰岛素抵抗的效能方面, TyG-BMI 指数优于 TyG 指数及其他一些传统指标, 尤其在非糖尿病人群中展现出更好的判别能力[9]。通过纳入 BMI, 该指数能够更有效地识别因能量过剩所驱动的胰岛素抵抗表型。

### 2.3. 胰岛素抵抗代谢评分

METS-IR 是由 Bello-Chavolla 等人[6]于 2018 年提出, 其计算公式为:  $METS-IR = \text{Ln}[(2 \times \text{FPG (mg/dL)} + \text{TG (mg/dL)}) \times \text{BMI (kg/m}^2\text{)}] / \text{Ln}[\text{HDL-C (mg/dL)}]$ 。该评分不仅包含了空腹血糖、甘油三酯和体质量指数, 同时引入了对心血管具有保护作用的高密度脂蛋白胆固醇。高密度脂蛋白胆固醇水平降低是胰岛素抵抗及代谢综合症的典型特征之一。METS-IR 综合了能量过剩(表现为高 BMI)、糖脂代谢异常(高空腹血糖与高甘油三酯)以及保护性脂蛋白减少(低高密度脂蛋白胆固醇)等多重病理因素, 因而被视为一种更为稳定和全面的非胰岛素依赖型胰岛素抵抗评估工具。研究显示, METS-IR 在中国人群中是评估胰岛素抵抗的有效指标, 并且在预测 2 型糖尿病及高血压等疾病方面具有较高的价值[10] [11]。

### 2.4. 血浆致动脉硬化指数

由 Dobiášová 等人[7]提出的 AIP(血浆致动脉粥样硬化指数), 计算公式为:  $AIP = \text{Log}(\text{TG}/\text{HDL-C})$ 。该指数通过甘油三酯与高密度脂蛋白胆固醇比值的对数转换, 用于评估血浆脂质的整体致动脉粥样硬化风险。研究表明, AIP 与小而密低密度脂蛋白胆固醇(small dense Low-Density Lipoprotein Cholesterol, sdLDL-C)水平呈负相关, 而 sdLDL-C 是致动脉粥样硬化作用最强的脂蛋白亚型[12]。AIP 不仅可用于反映混合性血脂异常, 还与糖代谢受损程度及胰岛素抵抗的严重性相关, 是一种评估动脉粥样硬化风险的综合性血脂指标[13]。

### 3. 新型胰岛素抵抗指数与代谢性疾病

#### 3.1. 新型胰岛素抵抗指数与 2 型糖尿病及糖尿病前期

2 型糖尿病(T2DM)作为一种慢性代谢性疾病,其主要特征包括胰岛素抵抗以及胰岛  $\beta$  细胞功能相对不足所导致的胰岛素分泌缺陷。糖尿病前期是介于正常糖代谢与糖尿病之间的中间阶段,也是预防 2 型糖尿病发生的关键时期。新型胰岛素抵抗指数在识别糖尿病高风险人群及预测 2 型糖尿病发病方面表现出显著优势,其预测能力甚至超过传统的空腹血糖或糖化血红蛋白等单项检测指标。

作为评估胰岛素抵抗的核心简易指标, TyG 指数已被多项大规模队列研究证实是 2 型糖尿病发病的有效预测因子。Wang 等人[14]进行的一项回顾性队列研究覆盖了超过 11 万名受试者,结果显示 TyG-BMI 是新发糖尿病的独立预测因子,其最佳截断值为 213.30,对应的风险比为 1.50。该研究结果进一步证实,整合肥胖相关参数有助于提升对疾病风险的预测准确性。Jiang 等人[15]的研究重点关注糖尿病前期人群,结果显示较高的 TyG-BMI 值会显著增加个体进展至糖尿病前期的风险,且这种关联在女性、非肥胖者以及年龄低于 50 岁的人群中更为明显。这表明 TyG-BMI 指数有助于在更早阶段、更广泛的人群中识别出代谢异常个体。Song 等人[16]针对日本血糖正常人群开展的纵向队列研究也得出了相似的结论,并进一步确定 TyG-BMI 预测 2 型糖尿病的最佳阈值为 197.30。

METS-IR 因包含具有保护作用的高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C),能够更全面地反映代谢异常状态。Zhang 等人[11]的研究发现, METS-IR 及其在 6 年内的变化值与 2 型糖尿病的发病风险独立相关,这表明动态监测 METS-IR 的变化可能有助于更精准地评估糖尿病的发生风险。

这些指数之所以能有效预测糖尿病,根本原因在于它们直接反映了 2 型糖尿病的核心病理生理机制——胰岛素抵抗。胰岛素抵抗会导致肌肉和脂肪组织对葡萄糖的摄取与利用障碍,同时引起肝脏糖异生作用增强,这些因素共同作用,最终导致血糖水平升高。与此同时,与胰岛素抵抗相关的脂代谢紊乱(如高甘油三酯血症、低高密度脂蛋白胆固醇血症)以及肥胖状态,进一步加重了糖代谢异常的程度[17]。在临床工作中,运用这些基于常规体检指标(如血脂、血糖、身高、体重)构建的指数,能够在典型高血糖症状出现之前,以较低成本且高效地筛查出糖尿病高风险个体。这为实施早期生活方式干预或药物预防提供了明确目标,契合“治未病”的慢性病管理理念。

#### 3.2. 新型胰岛素抵抗指数与高尿酸血症(HUA)

高尿酸血症是一种因嘌呤代谢紊乱所致的疾病,它不仅是痛风发作的病理基础,同时也是高血压、心血管疾病、慢性肾脏病以及代谢综合征的独立危险因素。胰岛素抵抗与高尿酸血症之间存在着密切的双向关联。

多项横断面研究及队列研究已证实,新型胰岛素抵抗指数与高尿酸血症风险呈显著正相关。例如,Gu 等人[18]开展的一项大规模队列研究表明, TyG 指数及其衍生指标(如 TyG-BMI、TyG-WC)均与高尿酸血症风险升高有关,且 TyG-BMI 在女性群体中的风险差异较男性更为明显,提示该指数在评估高尿酸血症风险时存在性别差异。另一项针对中国东北地区人群的研究也发现, TyG 指数与血清尿酸水平呈显著线性正相关,并使高尿酸血症风险增加 54%[19]。

胰岛素抵抗导致高尿酸血症的机制主要与肾脏尿酸排泄功能受损有关。胰岛素能够促进肾脏近端小管对尿酸的重吸收。在胰岛素抵抗状态下,机体出现代偿性高胰岛素血症,持续刺激肾小管,导致尿酸重吸收增加而排泄减少,进而引起血尿酸水平上升[20]。此外,胰岛素抵抗常伴随肥胖、高血压和脂代谢紊乱等情况,这些因素可能通过改变肾脏血流动力学及诱发慢性微炎症状态,间接促进高尿酸血症的发生与发展。因此, TyG-BMI 等综合反映糖代谢、脂代谢及肥胖程度的指数,能够较为全面地捕捉这一系

列相互关联的代谢异常, 从而有效提示高尿酸血症的风险。

### 3.3. 新型胰岛素抵抗指数与非酒精性脂肪性肝病(NAFLD)

非酒精性脂肪性肝病(NAFLD)是全球范围内最为普遍的慢性肝脏疾病, 其疾病谱涵盖从单纯性肝脂肪变、非酒精性脂肪性肝炎(NASH), 到肝纤维化、肝硬化乃至肝细胞癌等多个阶段。胰岛素抵抗是 NAFLD 发生与进展的核心驱动因素。

新型胰岛素抵抗指数, 尤其是 TyG-BMI, 在识别非酒精性脂肪性肝病方面展现出较高的诊断价值。Zhang 等人[21]研究发现, 在非肥胖人群中, TyG-BMI 对 NAFLD 的识别能力优于其构成指标(如 TyG、BMI、TG 和空腹血浆葡萄糖)。Li 等[22]针对中国非肥胖且血脂正常人群的前瞻性研究也证实, TyG-BMI 每升高 1 个标准差, NAFLD 风险显著增加, 其预测 NAFLD 的受试者工作特征曲线下面积达到 0.85。Wang 等[23]在一般人群中的研究进一步表明, TyG-BMI 与 NAFLD 之间存在稳定的正向关联, 且呈现非线性关系, 存在明显的阈值效应与饱和趋势。日本学者 Otsubo 等[24]的回顾性研究亦指出, 在非肥胖个体中, TyG-BMI 和脂肪肝指数(FLI)预测 NAFLD 的曲线下面积显著高于腰围、BMI 等单一指标, 其中在女性人群中该指数预测的 AUC 可达 0.868。

胰岛素抵抗通过多重机制促使肝脏脂肪异常堆积。首先, 外周脂肪组织分解加速, 向肝脏输送过量游离脂肪酸; 其次, 伴随的高胰岛素血症激活肝脏内的固醇调节元件结合蛋白-1c, 进而增强肝脏新生脂肪的合成; 同时, 胰岛素抵抗削弱了胰岛素对肝脏糖异生的抑制作用, 造成血糖升高, 并通过激活碳水化合物反应元件结合蛋白等途径, 进一步促进肝脏脂肪生成[25]。TyG-BMI 中所包含的甘油三酯和空腹血糖, 直接反映了肝脏脂肪输入的来源以及合成代谢的底物供应状况; 而体质指数则体现了全身性脂肪负荷及相关炎症水平。三者结合, 能够较为系统地勾勒出非酒精性脂肪性肝病背后的整体代谢紊乱背景。

### 3.4. 新型胰岛素抵抗指数与糖尿病肾脏病(DKD)

糖尿病肾脏病是糖尿病最严重的微血管并发症之一, 也是导致终末期肾病的主要病因。胰岛素抵抗不仅参与 2 型糖尿病的发生发展, 也持续影响着糖尿病肾脏病的疾病进展过程。

越来越多的研究证据表明, 新型胰岛素抵抗指数与糖尿病肾脏病的发生及进展存在关联。Srinivasan 等[26]对印度 2 型糖尿病患者开展的横断面研究发现, DKD 与较高的 TyG 指数显著相关(OR = 1.703)。Liu 等[27]的横断面研究进一步量化了这种关联, 结果显示 TyG 指数诊断 T2DM 患者合并 DKD 的最佳截断值为 9.66, 并且较高的 TyG 指数与尿白蛋白排泄率增加相关, 提示其可能反映肾损伤的严重程度。为验证因果关系, Lv 等[28]进行的纵向分析表明, 基线 TyG 指数较高的 T2DM 患者, 发生微量白蛋白尿的风险显著增加(HR = 1.727), 从而明确了 TyG 指数对 DKD 的预测价值。Mu 等[29]的研究比较了多种胰岛素抵抗替代指标, 发现 TyG 指数对 DKD 的预测性能甚至优于 HOMA-IR。

胰岛素抵抗通过多种病理机制损害肾脏功能。在代谢层面, 胰岛素抵抗伴随的高血糖及脂毒性可诱发氧化应激并促使晚期糖基化终末产物积累, 直接损伤肾小球内皮细胞、足细胞及肾小管上皮细胞[30]。在血流动力学方面, 胰岛素抵抗会损害肾脏内皮功能, 减少一氧化氮合成, 同时激活肾素-血管紧张素-醛固酮系统, 共同引起肾小球内压力升高及高滤过状态, 这是糖尿病肾病早期的典型改变[31]。此外, 胰岛素抵抗相关的慢性低度炎症可促进肾脏局部炎症因子释放, 激活成纤维细胞, 进而导致肾间质纤维化与肾小球硬化[32]。因此, TyG 等胰岛素抵抗替代指数通过反映全身性的胰岛素抵抗状态, 间接标识了肾脏暴露于上述多重损伤因素的风险水平。

新型胰岛素抵抗指数(如 TyG、TyG-BMI、METS-IR)与 2 型糖尿病、高尿酸血症、非酒精性脂肪性肝

病及糖尿病肾病等多种代谢性疾病密切相关。这些指数不仅是疾病风险的敏感预测指标, 其数值变化也能在一定程度上反映病情的严重程度与活动状态。在临床实践中, 常规检测并计算这些指数, 有助于实现代谢性疾病的早期预警、风险分层与综合管理, 对减轻当前日益加重的代谢性疾病负担具有重要的实践价值。

#### 4. 总结

胰岛素抵抗(IR)是贯穿多种代谢性疾病的共同病理生理基础。传统评估方法中, 高胰岛素-正葡萄糖钳夹技术虽精度高却难以推广, 而稳态模型评估的胰岛素抵抗指数(HOMA-IR)虽操作简便却存在一定局限。为此, 一系列基于常规临床指标构建的新型胰岛素抵抗替代指数逐渐发展起来, 例如甘油三酯-葡萄糖指数(TyG)、其联合体质量指数的衍生指标(TyG-BMI)、胰岛素抵抗代谢评分(METS-IR)以及血浆致动脉粥样硬化指数(AIP)。这些指数通过整合空腹血糖、甘油三酯、高密度脂蛋白胆固醇和体质量指数等易获取参数, 以不同的数学形式, 从糖代谢、脂代谢、肥胖状态及致动脉粥样硬化血脂特征等多角度, 对胰岛素抵抗及相关代谢异常进行综合量化评估。

这些指数在特定临床场景下的有效性可能受限甚至不适用, 需谨慎解读。首先, 对于正在使用降脂药物(如贝特类或高剂量鱼油制剂)的患者, TyG指数、TyG-BMI及AIP的核心指标——甘油三酯(TG), 会因药物干预而发生显著改变。例如, 非诺贝特等贝特类药物可强效降低TG水平, 导致TyG及AIP计算值偏低, 从而可能低估患者实际的胰岛素抵抗状态及心血管残余风险[33]。此时, 上述指标更接近于反映“治疗后的脂质状态”, 而非“基础的胰岛素敏感性”。其次, 严重高甘油三酯血症患者常伴有乳糜微粒血症, 可能干扰空腹血糖的检测结果, 使其出现假性降低或波动, 进而影响TyG、TyG-BMI及METS-IR等指数的准确性[34]。同时, 这类极端的代谢紊乱可能已超出该类指数的最佳评估范围, 削弱其预测价值。再者, TyG-BMI与METS-IR均包含体质量指数(BMI), 因此在非肥胖的2型糖尿病患者中, 即使存在胰岛素抵抗, 也可能因缺乏全身性肥胖特征而导致指数“正常化”, 造成漏诊。尤其对于消瘦的1型糖尿病患者, 其胰岛素抵抗(常称为“双重糖尿病”)往往与炎症、免疫等因素相关, 与典型的糖脂代谢-肥胖通路不同, TyG等指数在此类人群中的适用性尚缺乏充分证据。[35]。此外, 在急性心肌梗死、脑卒中、重症感染等应激状态下, 机体可出现应激性高血糖与血脂谱急性改变, 此时测得的指数主要反映急性代谢应激, 而非慢性胰岛素抵抗状态, 将其用于长期风险评估需格外审慎[36]。

尽管新型胰岛素抵抗指数与金标准(高胰岛素正葡萄糖钳夹术, HIEC)及临床结局之间表现出良好的相关性, 但仍需明确其预测能力并非在所有情况下均等同于或优于金标准。HIEC能够直接、定量地测量外周组织对葡萄糖的摄取率, 是评估胰岛素敏感性最为精准的方法。而TyG等替代指数本质上是基于与HIEC的相关性推导得出的间接标志物, 其本质是间接的替代标志物, 因此在评估胰岛素敏感性的轻度改变或进行精细化代谢分型时, 其敏感性与特异性仍有不足[37]。此外, 多数指数的诊断界值及预测模型建立在特定人群(如墨西哥、韩国、中国人群)的基础上。当应用于其他种族(如非裔、南亚裔)或具有独特遗传背景的人群时, 其预测心血管疾病或糖尿病风险的准确性可能出现下降, 模型效能可能不如在原始人群中稳定[38]。例如, 已有系统评价指出, HOMA-IR与HIEC的相关性在不同种族间存在显著差异, 这提示同类替代指标也可能面临类似的适用性局限[3]。

尽管新型胰岛素抵抗指数展现出广阔的应用前景, 但其在临床实践中的推广仍面临诸多挑战。目前, 各指数的阳性诊断阈值在不同研究、种族、年龄及疾病状态的人群中存在较大差异[39]。未来仍需通过设计严谨的多中心、大样本研究, 建立适用于中国乃至不同亚裔人群的标准化的诊断界值。现有研究证据大多基于观察性设计, 尚难以确立其与临床结局之间的因果关系。未来可借助孟德尔随机化等分析工具, 利用遗传变异作为工具变量, 以更有效地评估这些指数与临床终点事件之间可能存在的因果关联[40]。此

外, 在儿童青少年、孕妇、老年人以及肝肾功能严重不全等特殊人群中, 这些指数的适用性及有效性仍有待进一步研究验证。

新型胰岛素抵抗指数(如 TyG、TyG-BMI、METS-IR 及 AIP)作为连接基础代谢异常与临床终点事件的简便、经济且有效的评估工具, 已为代谢性疾病的早期防治提供了新的思路。这些指数不仅是理想的科研工具, 更具有广泛的临床转化潜力。随着研究的不断深化, 通过推动其标准化建立、精准化评估与临床整合应用, 这类指数有望在未来疾病防控体系中发挥关键作用, 为实现从“以治病为中心”向“以健康为中心”的转变, 降低慢性非传染性疾病带来的社会负担提供有力支持。

## 参考文献

- [1] 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>
- [2] DeFronzo, R.A., Tobin, J.D. and Andres, R. (1979) Glucose Clamp Technique: A Method for Quantifying Insulin Secretion and Resistance. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, **237**, E214. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.1979.237.3.e214>
- [3] Minh, H.V., Tien, H.A., Sinh, C.T., Thang, D.C., Chen, C., Tay, J.C., et al. (2021) Assessment of Preferred Methods to Measure Insulin Resistance in Asian Patients with Hypertension. *The Journal of Clinical Hypertension*, **23**, 529-537. <https://doi.org/10.1111/jch.14155>
- [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] 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>
- [6] Bello-Chavolla, O.Y., Almeda-Valdes, P., Gomez-Velasco, D., Viveros-Ruiz, T., Cruz-Bautista, I., Romo-Romo, A., et al. (2018) METS-IR, a Novel Score to Evaluate Insulin Sensitivity, Is Predictive of Visceral Adiposity and Incident Type 2 Diabetes. *European Journal of Endocrinology*, **178**, 533-544. <https://doi.org/10.1530/eje-17-0883>
- [7] Dobiášová, M. and Frohlich, J. (2001) The Plasma Parameter Log (TG/HDL-C) as an Atherogenic Index: Correlation with Lipoprotein Particle Size and Esterification Rate in apoB-Lipoprotein-Depleted Plasma (FERHDL). *Clinical Biochemistry*, **34**, 583-588. [https://doi.org/10.1016/s0009-9120\(01\)00263-6](https://doi.org/10.1016/s0009-9120(01)00263-6)
- [8] 李融融, 时小东, 陈伟. 新型简化胰岛素抵抗评价指标对糖代谢紊乱预测价值的比较研究[J]. 中华糖尿病杂志, 2022, 14(1): 56-62.
- [9] Lim, J., Kim, J., Koo, S.H. and Kwon, G.C. (2019) 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. *PLOS ONE*, **14**, e0212963. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212963>
- [10] Liu, X.Z., Fan, J. and Pan, S.J. (2019) METS-IR, a Novel Simple Insulin Resistance Indexes, Is Associated with Hypertension in Normal-Weight Chinese Adults. *The Journal of Clinical Hypertension*, **21**, 1075-1081. <https://doi.org/10.1111/jch.13591>
- [11] Zhang, M., Liu, D., Qin, P., Liu, Y., Sun, X., Li, H., et al. (2021) Association of Metabolic Score for Insulin Resistance and Its 6-Year Change with Incident Type 2 Diabetes Mellitus. *Journal of Diabetes*, **13**, 725-734. <https://doi.org/10.1111/1753-0407.13161>
- [12] Kanonidou, C. (2021) Small Dense Low-Density Lipoprotein: Analytical Review. *Clinica Chimica Acta*, **520**, 172-178. <https://doi.org/10.1016/j.cca.2021.06.012>
- [13] Zheng, H., Wu, K., Wu, W., Chen, G., Chen, Z., Cai, Z., et al. (2023) Relationship between the Cumulative Exposure to Atherogenic Index of Plasma and Ischemic Stroke: A Retrospective Cohort Study. *Cardiovascular Diabetology*, **22**, Article No. 313. <https://doi.org/10.1186/s12933-023-02044-7>
- [14] Wang, X., Liu, J., Cheng, Z., Zhong, Y., Chen, X. and Song, W. (2021) Triglyceride Glucose-Body Mass Index and the Risk of Diabetes: A General Population-Based Cohort Study. *Lipids in Health and Disease*, **20**, Article No. 99. <https://doi.org/10.1186/s12944-021-01532-7>
- [15] Jiang, C., Yang, R., Kuang, M., Yu, M., Zhong, M. and Zou, Y. (2021) Triglyceride Glucose-Body Mass Index in Identifying High-Risk Groups of Pre-Diabetes. *Lipids in Health and Disease*, **20**, Article No. 161. <https://doi.org/10.1186/s12944-021-01594-7>

- [16] Song, B., Zhao, X., Yao, T., Lu, W., Zhang, H., Liu, T., *et al.* (2022) 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. *Frontiers in Endocrinology*, **13**, Article 907973. <https://doi.org/10.3389/fendo.2022.907973>
- [17] DeFronzo, R.A. (2010) Insulin Resistance, Lipotoxicity, Type 2 Diabetes and Atherosclerosis: The Missing Links. the Claude Bernard Lecture 2009. *Diabetologia*, **53**, 1270-1287. <https://doi.org/10.1007/s00125-010-1684-1>
- [18] Gu, Q., Hu, X., Meng, J., Ge, J., Wang, S.J. and Liu, X.Z. (2020) Associations of Triglyceride-Glucose Index and Its Derivatives with Hyperuricemia Risk: A Cohort Study in Chinese General Population. *International Journal of Endocrinology*, **2020**, Article ID: 3214716. <https://doi.org/10.1155/2020/3214716>
- [19] Shi, W., Xing, L., Jing, L., Tian, Y. and Liu, S. (2019) Usefulness of Triglyceride-Glucose Index for Estimating Hyperuricemia Risk: Insights from a General Population. *Postgraduate Medicine*, **131**, 348-356. <https://doi.org/10.1080/00325481.2019.1624581>
- [20] Nakagawa, T., Cirillo, P., Sato, W., Gersch, M., Sautin, Y., Roncal, C., *et al.* (2008) The Conundrum of Hyperuricemia, Metabolic Syndrome, and Renal Disease. *Internal and Emergency Medicine*, **3**, 313-318. <https://doi.org/10.1007/s11739-008-0141-3>
- [21] Zhang, S., Du, T., Li, M., Jia, J., Lu, H., Lin, X., *et al.* (2017) Triglyceride Glucose-Body Mass Index Is Effective in Identifying Nonalcoholic Fatty Liver Disease in Nonobese Subjects. *Medicine*, **96**, e7041. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000007041>
- [22] Li, Y., Zheng, R., Li, J., Feng, S., Wang, L. and Huang, Z. (2020) 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. *Lipids in Health and Disease*, **19**, Article No. 229. <https://doi.org/10.1186/s12944-020-01409-1>
- [23] Wang, R., DAI, L., Zhong, Y. and Xie, G. (2021) Usefulness of the Triglyceride Glucose-Body Mass Index in Evaluating Nonalcoholic Fatty Liver Disease: Insights from a General Population. *Lipids in Health and Disease*, **20**, Article No. 77. <https://doi.org/10.1186/s12944-021-01506-9>
- [24] Otsubo, N., Fukuda, T., Cho, G., Ishibashi, F., Yamada, T. and Monzen, K. (2023) Utility of Indices Obtained during Medical Checkups for Predicting Fatty Liver Disease in Non-Obese People. *Internal Medicine*, **62**, 2307-2319. <https://doi.org/10.2169/internalmedicine.1097-22>
- [25] Fujii, H. and Kawada, N. (2020) The Role of Insulin Resistance and Diabetes in Nonalcoholic Fatty Liver Disease. *International Journal of Molecular Sciences*, **21**, Article 3863. <https://doi.org/10.3390/ijms21113863>
- [26] Srinivasan, S., Singh, P., Kulothungan, V., Sharma, T. and Raman, R. (2020) Relationship between Triglyceride Glucose Index, Retinopathy and Nephropathy in Type 2 Diabetes. *Endocrinology, Diabetes & Metabolism*, **4**, e00151. <https://doi.org/10.1002/edm2.151>
- [27] Liu, L., Xia, R., Song, X., Zhang, B., He, W., Zhou, X., *et al.* (2020) Association between the Triglyceride-Glucose Index and Diabetic Nephropathy in Patients with Type 2 Diabetes: A Cross-Sectional Study. *Journal of Diabetes Investigation*, **12**, 557-565. <https://doi.org/10.1111/jdi.13371>
- [28] Lv, L., Zhou, Y., Chen, X., Gong, L., Wu, J., Luo, W., *et al.* (2021) Relationship between the Tyg Index and Diabetic Kidney Disease in Patients with Type-2 Diabetes Mellitus. *Diabetes, Metabolic Syndrome and Obesity: Targets and Therapy*, **14**, 3299-3306. <https://doi.org/10.2147/dmso.s318255>
- [29] Mu, X., Wu, A., Hu, H., Yang, M. and Zhou, H. (2023) Correlation between Alternative Insulin Resistance Indexes and Diabetic Kidney Disease: A Retrospective Study. *Endocrine*, **84**, 136-147. <https://doi.org/10.1007/s12020-023-03574-6>
- [30] Sugahara, M., Pak, W.L.W., Tanaka, T., Tang, S.C.W. and Nangaku, M. (2021) Update on Diagnosis, Pathophysiology, and Management of Diabetic Kidney Disease. *Nephrology*, **26**, 491-500. <https://doi.org/10.1111/nep.13860>
- [31] Tonneijck, L., Muskiet, M.H.A., Smits, M.M., van Bommel, E.J., Heerspink, H.J.L., van Raalte, D.H., *et al.* (2017) Glomerular Hyperfiltration in Diabetes: Mechanisms, Clinical Significance, and Treatment. *Journal of the American Society of Nephrology*, **28**, 1023-1039. <https://doi.org/10.1681/asn.2016060666>
- [32] Shimobayashi, M., Albert, V., Woelnerhanssen, B., Frei, I.C., Weissenberger, D., Meyer-Gerspach, A.C., *et al.* (2018) Insulin Resistance Causes Inflammation in Adipose Tissue. *Journal of Clinical Investigation*, **128**, 1538-1550. <https://doi.org/10.1172/jci96139>
- [33] The ACCORD Study Group (2010) Effects of Combination Lipid Therapy in Type 2 Diabetes Mellitus. *The New England Journal of Medicine*, **362**, 1563-1574. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1001282>
- [34] Borén, J., Chapman, M.J., Krauss, R.M., Packard, C.J., Bentzon, J.F., Binder, C.J., *et al.* (2020) Low-density Lipoproteins Cause Atherosclerotic Cardiovascular Disease: Pathophysiological, Genetic, and Therapeutic Insights: A Consensus Statement from the European Atherosclerosis Society Consensus Panel. *European Heart Journal*, **41**, 2313-2330. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehz962>

- [35] Kilpatrick, E.S., Rigby, A.S. and Atkin, S.L. (2007) Insulin Resistance, the Metabolic Syndrome, and Complication Risk in Type 1 Diabetes. *Diabetes Care*, **30**, 707-712. <https://doi.org/10.2337/dc06-1982>
- [36] Marik, P.E. and Bellomo, R. (2013) Stress Hyperglycemia: An Essential Survival Response! *Critical Care*, **17**, 305. <https://doi.org/10.1186/cc12514>
- [37] Abdul-Ghani, M.A., Matsuda, M., Balas, B. and DeFronzo, R.A. (2007) Muscle and Liver Insulin Resistance Indexes Derived from the Oral Glucose Tolerance Test. *Diabetes Care*, **30**, 89-94. <https://doi.org/10.2337/dc06-1519>
- [38] Lee, J., Lim, N. and Park, H. (2018) The Product of Fasting Plasma Glucose and Triglycerides Improves Risk Prediction of Type 2 Diabetes in Middle-Aged Koreans. *BMC Endocrine Disorders*, **18**, Article No. 33. <https://doi.org/10.1186/s12902-018-0259-x>
- [39] Tahapary, D.L., Pratisthita, L.B., Fitri, N.A., Marcella, C., Wafa, S., Kurniawan, F., *et al.* (2022) Challenges in the Diagnosis of Insulin Resistance: Focusing on the Role of HOMA-IR and Triglyceride/Glucose Index. *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*, **16**, 102581. <https://doi.org/10.1016/j.dsx.2022.102581>
- [40] Li, X., Chan, J.S.K., Guan, B., Peng, S., Wu, X., Lu, X., *et al.* (2022) Triglyceride-Glucose Index and the Risk of Heart Failure: Evidence from Two Large Cohorts and a Mendelian Randomization Analysis. *Cardiovascular Diabetology*, **21**, Article No. 229. <https://doi.org/10.1186/s12933-022-01658-7>