

# 甘油三酯 - 葡萄糖指数在心血管风险分层中的动态演进与临床应用背景

徐佳依<sup>1</sup>, 米亚非<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>绍兴文理学院医学院, 浙江 绍兴

<sup>2</sup>绍兴文理学院浙江省台州医院心血管内科, 浙江 台州

收稿日期: 2026年3月8日; 录用日期: 2026年4月2日; 发布日期: 2026年4月9日

## 摘要

甘油三酯 - 葡萄糖(triglyceride-glucose, TyG)指数作为评估胰岛素抵抗的简便指标, 近年来在心血管风险分层领域引发了持续关注。传统的风险评估模型在面对代谢紊乱人群时, 其预测效能往往有所欠缺, 而TyG指数恰好凭借其数据易获取、计算简便的特点, 在一定程度上弥补了这一短板。本文旨在系统梳理TyG指数从静态标志物向动态轨迹评估的演进脉络, 重点探讨其在心血管风险中的动态关联机制、临床转化价值, 以及未来可能的发展走向。现有证据表明, 相较于单次测量结果, TyG指数的长期累积负荷、波动幅度及其变化轨迹, 往往能更准确地反映出心血管事件的发生风险。基于动态分型所构建的闭环管理策略, 有望推动心血管疾病的预防策略从群体化指南向个体化决策转变, 为精准干预开辟出新的思路。

## 关键词

甘油三酯 - 葡萄糖指数, 胰岛素抵抗, 心血管风险, 动态轨迹, 精准干预

# Dynamic Evolution and Clinical Application of the Triglyceride-Glucose Index in Cardiovascular Risk Stratification

Jiayi Xu<sup>1</sup>, Yafei Mi<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>School of Medicine, Shaoxing University, Shaoxing Zhejiang

<sup>2</sup>Department of Cardiology, Taizhou Hospital of Zhejiang Province, Shaoxing University, Taizhou Zhejiang

Received: March 8, 2026; accepted: April 2, 2026; published: April 9, 2026

\*通讯作者。

文章引用: 徐佳依, 米亚非. 甘油三酯-葡萄糖指数在心血管风险分层中的动态演进与临床应用背景[J]. 临床医学进展, 2026, 16(4): 2169-2177. DOI: 10.12677/acm.2026.1641463

## Abstract

The triglyceride-glucose (TyG) index, a simple surrogate marker of insulin resistance, has attracted sustained attention in cardiovascular risk stratification in recent years. Traditional risk assessment models often show limited predictive performance in populations with metabolic disorders. By contrast, the TyG index, with its readily available components and straightforward calculation, partially overcomes this limitation. This review systematically outlines the evolutionary trajectory of the TyG index from a static biomarker to a dynamic trajectory-based assessment tool. We focus on its dynamic association with cardiovascular risk, clinical translational value, and future research directions. Accumulating evidence indicates that, compared with a single measurement, the long-term cumulative burden, variability, and trajectory of the TyG index can more accurately predict cardiovascular events. A closed-loop management strategy based on dynamic phenotyping shows potential to shift cardiovascular prevention from population-based guidelines toward individualized decision-making, thereby opening new avenues for precision cardiovascular intervention.

## Keywords

Triglyceride-Glucose Index, Insulin Resistance, Cardiovascular Risk, Dynamic Trajectory, Precision Intervention

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

### 1.1. 心血管风险分层的临床困境

心血管疾病精准风险分层一直属于临床实践中的核心难题。尽管 Framingham 风险评分以及传统血脂指标已经在临床得到广泛应用, 但其在代谢紊乱人群中的预测效能仍存在一定局限[1]。胰岛素抵抗作为冠状动脉疾病重要独立危险因素, 借助促进内皮功能出现障碍、引发慢性炎症以及造成脂代谢异常等诸多病理机制, 成为连接代谢综合征与心血管事件的关键枢纽[2] [3]。然而, 现有的 IR 评估工具像胰岛素抵抗指数(HOMA-IR), 通过依靠空腹胰岛素检测来开展工作, 在临床进行推广过程中会遇见成本偏高、操作流程复杂等一系列实际存在的阻碍[4], 这就使得与 IR 相关的代谢风险在常规的心血管风险评估当中长期以来一直处于被低估的状态。

### 1.2. TyG 指数的崛起: 从代谢视角补位传统模型

甘油三酯 - 葡萄糖(triglyceride-glucose, TyG)指数, 简单来说, 就是将空腹血糖与甘油三酯结合起来计算得出的一项指标。近年来, 它已被广泛视作 IR 的有效替代标志物。TyG 指数的计算公式是:  $TyG = \ln[\text{空腹 TG (mg/dL)} \times \text{空腹血糖 (mg/dL)} / 2]$ 。相比操作繁琐的高胰岛素 - 正葡萄糖钳夹技术, 或者同样需要检测空腹胰岛素的 HOMA-IR, TyG 指数的优势在于仅凭常规生化检查就能获取数据。这一特性使其在大规模流行病学调查及医疗资源有限场景中展现出较好的可及性[5] [6]。

既往研究表明, TyG 指数和冠状动脉多支病变风险存在独立正相关关系和剂量 - 反应关系。在糖尿病前期的人群当中, 这种关联显得格外突出, 这说明 TyG 指数可以在糖代谢出现异常的早期阶段去识别

出冠脉粥样硬化的高风险个体[7]。依据 NHANES 数据库所开展的大规模样本研究又进一步察觉到, TyG 指数与其相关的肥胖衍生指标如甘油三酯葡萄糖 - 体重指数(TyG-BMI)、甘油三酯葡萄糖 - 腰围指数(TyG-WC)、甘油三酯葡萄糖 - 腰高比指数(TyG-WHtR), 均能独立预测高血压患者心血管死亡以及全因死亡风险[8]。值得注意的是, 不同衍生指标在生物学意义上存在显著差异: TyG-BMI 反映全身性肥胖负荷, TyG-WC 侧重于中心性肥胖, 而 TyG-ABSI(结合身体形状指数)则更特异地指向内脏脂肪分布, 后者与胰岛素抵抗及炎症的关联更为密切[9]。

TyG 指数一方面弥补了传统模型在识别代谢异常人群时所存在的缺陷, 另一方面凭借自身的便捷性以及敏感性, 给心血管风险分层带来了可以推广应用的代谢方面的全新视角, 由此也开启了从静态的风险评估朝着动态的代谢调控转变的全新篇章。

## 2. TyG 指数与心血管风险的动态关联机制

### 2.1. 基线水平的预测价值及其局限

横断面研究已经给出了相关证据, 能够说明基线 TyG 指数和颈动脉粥样硬化的标志物之间存在明显正相关。其中的机制或许跟胰岛素抵抗所诱导的氧化应激、炎症反应以及血管内皮损伤有所牵连[10]。从前瞻性队列研究所得出的信息来看, 在华北地区的中青年群体当中, 基线 TyG 指数每上升一个单位, 那么随之发生动脉粥样硬化性心血管疾病的风险就会增加百分之二十[11]。另有研究表明, 累积 TyG 指数和新发心力衰竭的风险是呈现出独立正相关的态势, 并且存在剂量 - 反应关系。并且这种关联在那些 BMI 以及腰围都处于正常水平的人群当中会显得更为突出[12]。

然而, 仅凭一次 TyG 测量是很难全面且细致地去评估个体所面临的风险状况。众所周知, 甘油三酯以及空腹血糖水平都是存在着生理方面的波动情况的, 如此一来, 单纯依靠某一个点去进行评估的话, 就很容易受到回归稀释倚倚方面的影响, 进而对精准识别个体真实的代谢风险起到了一定限制作用。相关研究已经证实, TyG 指数和心血管结局之间的关联并不是呈线性关系的。具体来讲, 在患有 ST 段抬高型心肌梗死以及非 ST 段抬高型心肌梗死的患者当中, TyG 指数能够成为院内死亡的独立危险因素, 然而其对于 12 个月内发生主要不良心脑血管事件的预测价值却相对比较低[13]。上述发现表明, 单凭一次测量所得到的 TyG 指数, 在针对短期风险进行预测时存在明显局限性, 所以有必要引入动态评估的全新视角。

### 2.2. 动态轨迹的异质性: 超越单次测量的风险分层能力

TyG 指数累积暴露所经历的时间进程具备独立预测心血管疾病以及全因死亡风险的价值。一项针对 51,734 名社区人群开展的前瞻性队列研究显示, 当累积 TyG 指数的总暴露量是相同的状况下, 那些在早期就开始累积 TyG 指数的人相较于在晚期才累积的人而言, 面临着更高的心血管疾病(CVD)以及全因死亡风险, 并且这种关联在年龄小于 60 岁的人群当中表现得更加明显[14]。上述发现揭示了 TyG 指数动态变化所呈现出的时间异质性, 这也说明尽早对 TyG 指数水平加以控制, 对于降低远期出现 CVD 的风险极为关键。

基于潜在类别模型所开展的轨迹分型相关研究, 进一步将风险的异质性模式给揭示了出来。就现有的各类研究情况来看, 其主要能够识别出如下这几类轨迹: 稳定型轨迹: 指相关指标在随访期间保持相对稳定的水平, 依据平均水准的高低可进一步划分成低稳定型、中稳定型以及高稳定型三个类型。在这些类型当中, 高稳定型轨迹和最高的心血管事件发病率存在关联[15]。动态变化型轨迹: 指指标随时间呈现明显的变动趋势。比如上升型轨迹, 即指标出现比较显著的提升——有研究发现, 那些呈现 TyG-BMI 上升型轨迹的人, 其颈动脉粥样硬化的进展发生率要明显高于稳定组, 这种关联在年轻成人及成年女性

中更为突出[16]。此外, 在 2 型糖尿病移植术后的患者中, 还识别出一种恶化型轨迹, 这部分人发生主要不良心血管事件的风险同样显著升高[17]。持续高水平与增加型轨迹: 类似的风险模式, 在结合了炎症指标的 C 反应蛋白 - 甘油三酯葡萄糖指数(CTI)中也得到了验证。相比那些 CTI 持续较低的人, CTI 持续处于高水平、且轨迹呈增加型的个体, 其新发 CVD 的风险会明显更高[18]。

不同 TyG 衍生指标的动态轨迹对风险的捕捉能力存在差异。系统比较发现, TyG-WC 和 TyG-CVAI (中国内脏脂肪指数)的动态轨迹在血糖调节受损人群中展现出最高的预测效能[15]。这一现象可从生物学角度解释: TyG-WC 结合了反映中心性肥胖的腰围指标, 而中心性肥胖与内脏脂肪堆积、炎症激活及胰岛素抵抗的关联较全身性肥胖更为直接; TyG-CVAI 则整合了年龄、腰围、血脂等变量, 对中国人群内脏脂肪的估测更为精准。因此, 当需要识别以代谢紊乱为核心的高危人群时, 侧重中心性/内脏肥胖的衍生指标(如 TyG-WC、TyG-ABSI)可能优于反映全身肥胖的 TyG-BMI [9] [19]。

### 2.3. 轨迹分析的临床意义: 识别干预窗口与高危亚群

TyG 指数动态轨迹分析所揭示出来的风险异质性有着三方面的临床意义: 不管是指标的平均水平还是其变化的趋势, 都能够为风险分层给予关键信息, 而且这些信息是独立于基线值的; 轨迹分析可以识别出那些从低风险状态逐渐向高风险状态过渡的“上升型”人群, 进而为早期干预确定精准的靶点; 轨迹的变化或许能反映出像胰岛素抵抗、肥胖、炎症这类核心病理过程的动态演变情况, 从而为理解心血管风险的代谢驱动机制提供纵向的证据。

不同 TyG 组合指标在风险预测中各有侧重: TyG-BMI 更适合评估与全身性肥胖相关的长期代谢负荷; TyG-WC/TyG-ABSI 则更适用于识别与内脏脂肪相关的急性代谢失代偿风险[19]。临床应用中, 应根据目标人群特征及预测终点选择合适的衍生指标——例如, 在年轻人群中筛查早期代谢风险时, TyG-WC 可能更具敏感性; 而在老年人群中评估长期累积风险时, TyG-BMI 或累积 TyG 指数可能更为适宜。

### 2.4. TyG 指数动态变化的病理生理学机制

TyG 指数的波动性并非单纯的测量变异, 而是反映机体代谢稳态调控能力的动态指标, 其背后涉及多重病理生理机制: 首先, 氧化应激与内皮功能紊乱是连接 TyG 波动与心血管损伤的核心环节。胰岛素抵抗状态下, 线粒体功能异常导致活性氧(ROS)生成增加, 而血糖和甘油三酯的波动会进一步加剧氧化应激——波动的血糖可通过蛋白激酶 C(PKC)活化、多元醇通路激活等机制诱导内皮细胞凋亡; 波动的甘油三酯则促进极低密度脂蛋白(VLDL)过量生成, 加重脂质过氧化损伤[20]。这种“波动 - 氧化应激”的恶性循环可导致血管内皮功能障碍、一氧化氮生物利用度下降, 最终加速动脉粥样硬化进程。其次, 慢性低度炎症的动态演变驱动 TyG 指数变化。胰岛素抵抗可激活核因子- $\kappa$ B (NF- $\kappa$ B)通路, 促进肿瘤坏死因子- $\alpha$  (TNF- $\alpha$ )、白细胞介素-6 (IL-6)等炎症因子释放; 这些炎症因子又可反作用于胰岛素信号通路, 加重胰岛素抵抗[17] [18]。TyG 指数的波动性可能正是这种“代谢 - 炎症”双向反馈循环的外在表现——当炎症占优势时, TyG 指数趋于上升; 当代谢调控占优势时, TyG 指数趋于下降。轨迹分析中识别出的“上升型”人群, 可能正是处于炎症持续激活状态的代谢失代偿亚群。再者, 内皮祖细胞(EPCs)耗竭与血管修复能力下降。动态变化的代谢负荷可影响骨髓来源 EPCs 的数量与功能。研究表明, 胰岛素抵抗状态下的高血糖和高甘油三酯可抑制 EPCs 的增殖、迁移及成管能力, 而代谢负荷的波动则会进一步干扰 EPC 的动员与归巢, 导致血管内皮损伤后修复能力下降[21]。TyG 指数持续高水平或呈上升轨迹者, 可能伴随 EPC 功能进行性恶化, 从而面临更高的心血管事件风险。累积 TyG 指数对心血管风险的预测价值优于单次测量, 其机制可能与“代谢记忆”有关——高血糖及高甘油三酯暴露可通过组蛋白修饰、DNA 甲基化等表观遗传机制, 在血管细胞中留下持久的功能改变, 即使后续代谢指标改善, 这种“记忆”效应仍可持续

推动动脉粥样硬化进展[22]。因此, 早期累积 TyG 指数暴露者的心血管风险更高, 正是“代谢记忆”效应的体现。

### 3. TyG 指数在精准干预中的实践转化

#### 3.1. 风险分层工具的开发: 从静态指标到动态模型

TyG 指数作为一种用来衡量胰岛素抵抗的较为简单的替代指标, 在针对冠状动脉疾病风险展开的精细分层工作当中, 有其潜在应用价值。就对中国 CAD 人群所开展的回顾性队列研究情况来看, TyG 指数和多支血管病变风险之间存在着独立正相关关系以及剂量 - 反应关系。而在糖尿病前期的亚组当中, 即便 TyG 指数出现升高情况, 其与多支血管病变之间的关联依旧保持着显著的状态, 这也说明该指数对于在糖代谢出现异常的早期阶段去识别那些冠脉病变进展的高危个体有一定帮助[7]。

当动态评估的视角被引入后, 风险分层的精准度又上了一个台阶。相关研究表明, TyG 指数在不同访视之间的变异性, 不仅与心血管疾病风险独立相关, 还与基线 TyG 水平存在交互作用[23]。例如, 对糖尿病患者心血管风险控制行动(ACCORD)试验数据进行二次分析后发现, 累积 TyG 指数与主要不良心血管事件的风险呈独立正相关, 而将累积 TyG 指数纳入模型后, 传统风险模型的预测能力得到了显著提升[24]。上述研究表明, 动态监测 TyG 指数的长期变化, 不仅有助于识别高危人群, 它本身也可能成为早期强化代谢干预的一个潜在靶点。

再加上人工智能技术的整合, 风险分层工具的开发又多了新的助力。借助 AI 驱动的全自动影像分析流程, 可以从非增强胸部 CT 图像中自动量化冠脉钙化、左心房容积、左心室质量等一系列指标, 整个处理过程大约只需要 18 秒, 相当高效。而且, 联合模型的预测效能, 比起单项指标或者放射科医生主观判断, 优势要明显得多[25]。未来, 如果能将 TyG 动态轨迹与 AI 影像指标结合起来, 构建一个多模态风险分层系统, 或许能进一步提升中低风险人群的分层精度。

#### 3.2. 动态监测指导干预: 识别时机与强度

TyG 指数的长期变化, 实际上为心血管风险管理提供了一个动态评估的维度。拿中国开滦队列来说, 研究发现 TyG 指数在不同访视之间的变异性与心血管疾病风险独立相关, 处于最高变异性三分位组的人, 比起较低组, 风险增加了 12% [23]。而来自伊朗德黑兰血脂与血糖研究所的数据则表明, TyG 指数的长期平均值对 2 型糖尿病、高血压、心血管疾病和全因死亡都有独立的预测价值, 与此同时, 变异性也与高血压风险存在独立相关性[26]。

针对处于不同代谢状态的人群而言, TyG 指数所呈现出的动态变化和心血管风险之间的关联模式存在差异。在糖尿病前期的人群当中, TyG 指数处于最高三分位组时, 其多支病变的风险相较于最低组增加了 54.1% [7]。而在并非糖尿病的人群之中, TyG 指数的长期平均值每增加 1 个标准差, 那么心血管疾病的风险就会增加 18% [26]。从上述相关研究能够看出, TyG 指数的长期累积水平及其动态波动, 可作为评估代谢风险的动态指标, 有助于在不同代谢状态的人群中精细化心血管风险分层, 进而为个体化干预策略的制定提供循证参考。

#### 3.3. 干预效果评估标志物: 从终点事件到中间指标

TyG 指数及其与肥胖相关的衍生指数, 其动态变化也可以充当评估心血管干预效果的中间标志物。基于中国健康与养老追踪调查的一项前瞻性研究, 通过 K 均值(K-means)聚类算法识别出 TyG-WC 的几种变化轨迹后发现, 那些一直处于高水平的组, 相比持续低水平组, 患 CVD 的风险增加了将近一倍。累积暴露分析也表明, 累积 TyG-WC 最高四分位组的人, 其 CVD 风险比最低组高出 79% [27]。这些结果

说明, TyG 相关指标的长期动态变化, 对心血管疾病有独立的预测价值, 而持续高水平 and 累积高暴露, 恰恰是识别高危人群的关键特征。

开滦研究的分析结果再一次证实了累积 TyG 指数对于心力衰竭风险所具有的预测价值。在长达中位数为 10.04 年的随访时段当中, 累积 TyG 指数处于最高四分位的那一组相较于最低组而言, 其心衰风险增加了足足 40%。并且, 当把累积 TyG 指数纳入到 ACC/AHA (美国心脏病学会/美国心脏学会) 心衰风险预测模型之后, 该模型的预测能力有了明显的提高[12]。这一相关发现表明, TyG 指数的长期累积暴露情况能够作为对心衰风险展开动态评估的一个有效指标, 进而可为指导开展早期干预的相关工作提供相应的依据。

## 4. 挑战与未来方向

### 4.1. 现存争议: 截断值异质性与衍生指标优先级

TyG 指数作为心血管风险分层工具, 目前面临的一个核心挑战在于, 它的最佳截断值在不同人群中差异明显。例如, 一项针对 65 岁以下美国糖尿病或糖尿病前期人群的研究发现, 他们的 TyG 截断值与亚洲或欧洲人群可能存在不小出入[28]。中国的一些队列研究也提示, TyG 指数与 ASCVD 的关联, 在非糖尿病人群中更明显, 而在糖尿病人群中则有所减弱[29]。这种种群差异, 背后可能涉及遗传背景、生活方式以及共病负担的多样性, 所以当下迫切需要开展大规模的跨国队列研究, 以建立分层化的截断标准。

TyG 和肥胖指标的衍生组合在风险预测优先级方面依旧存在一定的争议, 其本质在于不同指标反映的肥胖类型存在生物学差异。TyG-BMI 结合体质指数, 反映全身性肥胖负荷, BMI 作为整体肥胖指标, 与胰岛素抵抗的关联强度受脂肪分布影响较大——部分 BMI 升高者可能为“代谢健康型肥胖”, 其心血管风险相对较低。因此, TyG-BMI 在识别以全身性肥胖为主的人群时表现较好, 但可能漏诊以中心性肥胖为主的代谢高危个体[9]。TyG-WC 结合腰围, 侧重于中心性肥胖。腰围与内脏脂肪堆积的关联较 BMI 更为密切, 而内脏脂肪组织分泌的炎症因子(如 IL-6、TNF- $\alpha$ )可直接加重胰岛素抵抗及血管内皮损伤。因此, TyG-WC 在预测与代谢炎症相关的心血管事件时可能优于 TyG-BMI, 尤其在血糖调节受损人群中表现突出[15]。TyG-ABSI 结合身体形状指数, 更特异地指向内脏脂肪分布。ABSI 通过腰围、BMI、身高等参数构建, 对内脏脂肪的估测较腰围更为精准。研究发现, TyG-ABSI 对心血管死亡率的预测效能优于所有传统 TyG 衍生指标, 其优势在老龄、糖尿病等人群中尤为显著[9]。这可能是因为 ABSI 能更准确识别那些“体重正常但内脏肥胖”的代谢高危个体。因此, 在临床应用中选择 TyG 衍生指标时, 需考虑目标人群特征及预测终点: 筛查普通人群整体心血管风险时, TyG-BMI 可能已足够; 识别以代谢综合征为核心的早期高危个体时, TyG-WC 更具优势; 而在老年、糖尿病等复杂人群中评估精细风险时, TyG-ABSI 可能提供增量价值。

### 4.2. 研究空白: 机制验证与干预试验

虽然 TyG 指数动态轨迹和心血管结局存在独立关联已经得到证实, 然而其与多器官损伤共同演变的具体机制到目前为止还没有明晰。TyG 指数波动性可能通过氧化应激、内皮祖细胞耗竭、表观遗传修饰等机制加速靶器官损伤, 但这些机制假设目前尚缺乏基于纵向队列的生物学证据支持。未来需开展重复生物标志物检测及影像学随访研究, 验证 TyG 动态变化与炎症标志物(hs-CRP、IL-6)、内皮功能指标(血流介导的扩张)、亚临床动脉粥样硬化(冠脉钙化积分)的动态关联。

当下有关 TyG 指数的干预策略大多属于观察性研究范畴, 缺少随机对照试验来证实其在降低心血管事件方面所具有的有效性。那么凭借基于 TyG 的动态风险分层是否能够对精准降脂或者降糖治疗的选择起到指导作用呢? 要解答这些问题, 就需要借助多中心 RCT, 同时联合连续 TyG 监测以及靶向代谢干

预, 以此给出高级别的循证医学证据。

### 4.3. 前沿展望：数字健康与多模态融合

连续血糖监测和便携式血脂检测技术的突破, 让实时 TyG 计算逐渐成为可能。如果能将动态葡萄糖数据和甘油三酯数据整合起来, 就能构建出个体化的 TyG 轨迹图谱, 识别出那些短暂性的代谢异常窗口期, 最终实现“即时风险评估-反馈干预”的闭环管理。

未来的风险分层, 或许需要把 TyG 指数和多模态数据融合在一起, 构建综合性的预测模型。由人工智能驱动的多模态系统, 可以自动整合 TyG 动态轨迹、影像学特征以及各种生物标志物, 从而提高对中低风险人群的分层精度。往后看, 研究的方向可能会集中在几个方面: 一是开展跨国、多中心的队列研究, 验证 TyG 动态指标在不同种族人群中的普适性; 二是探索标准化的 TyG 变异性评估方法, 让不同研究之间更具可比性; 三是整合多源纵向数据, 开发出适用于不同人群的风险预测模型。

## 5. 结论

### 5.1. 从静态标志物到动态轨迹的范式转变

既往传统心血管风险评估往往依靠的是针对基线 TyG 指数所开展的单时间点检测方式, 不过这种检测方式对于代谢动态异质性的描绘存在一定局限性。近年来的相关研究表明, TyG 指数动态轨迹在预测心血管风险方面所具有的价值要明显优于那些静态指标。就纵向队列来看, TyG 指数的波动性跟心血管事件风险之间呈现出独立正相关联系, 并且其累积负荷相较于单纯的单次测量而言, 有着更为强大的预测价值。轨迹分型方面的研究也发现, 持续处于中高水平或者呈现缓慢上升趋势的 TyG 指数轨迹, 对于老年人群来说是 CVD 的一项独立危险因素[30]。这就意味着, 在进行心血管风险评估的时候, 可以尝试着从单纯“单次测量”逐渐朝着“动态变化”这个方向去延伸拓展, 借助于对 TyG 及其相关指标长期变化轨迹的识别, 进而精准捕捉到代谢失调所呈现出的异质演进路径。

### 5.2. 动态分型驱动预测-预防-个体化的闭环管理

依据 TyG 指数及其肥胖相关衍生指标所呈现出的长期动态变化轨迹, 可识别出有着不同风险等级的人群亚组。相关研究已经发现, 那些 TyG 指数一直处于持续升高状态的人, 相比于 TyG 指数保持稳定或者出现下降情况的人而言, 他们患心血管病的风险会有较为显著的增加。将肥胖指标与 TyG 指数结合起来进行动态评估, 能够在一定程度上进一步提高对风险进行预测的能力, 从而给早期识别出高危个体以及开展分层干预等相关工作提供相应的依据。运用 K-means 聚类分析所识别出来的四种不同的动态变化轨迹当中, TyG-WC 这种变化形式和 CVD 风险之间的关联最为紧密, 持续处于最高水平组的个体, 其发病风险显著增加达 94% [27]。

通过动态监测、分型和反馈这一整套机制, 心血管风险管理或许正迈向所谓的“精准医学 2.0”时代。未来, 还需要进一步探索多组学数据融合和实时监测技术, 完善动态风险评估的临床转化路径, 最终实现从群体化指南到个体化决策的转型。

## 参考文献

- [1] Lu, Y., Chang, C., Chou, R., Tsai, Y., Liu, L., Chen, L., *et al.* (2021) Gender Difference in the Association between Tyg Index and Subclinical Atherosclerosis: Results from the I-Lan Longitudinal Aging Study. *Cardiovascular Diabetology*, **20**, Article No. 206. <https://doi.org/10.1186/s12933-021-01391-7>
- [2] Wang, Z., He, H., Xie, Y., Li, J., Luo, F., Sun, Z., *et al.* (2024) Non-Insulin-Based Insulin Resistance Indexes in Predicting Atrial Fibrillation Recurrence Following Ablation: A Retrospective Study. *Cardiovascular Diabetology*, **23**, Article No. 87. <https://doi.org/10.1186/s12933-024-02158-6>

- [3] Duan, M., Zhao, X., Li, S., Miao, G., Bai, L., Zhang, Q., *et al.* (2024) Metabolic Score for Insulin Resistance (METS-IR) Predicts All-Cause and Cardiovascular Mortality in the General Population: Evidence from NHANES 2001-2018. *Cardiovascular Diabetology*, **23**, Article No. 243. <https://doi.org/10.1186/s12933-024-02334-8>
- [4] Jiao, Y., Su, Y., Shen, J., Hou, X., Li, Y., Wang, J., *et al.* (2022) Evaluation of the Long-Term Prognostic Ability of Triglyceride-Glucose Index for Elderly Acute Coronary Syndrome Patients: A Cohort Study. *Cardiovascular Diabetology*, **21**, Article No. 3. <https://doi.org/10.1186/s12933-021-01443-y>
- [5] Liu, L., Wu, Z., Zhuang, Y., Zhang, Y., Cui, H., Lu, F., *et al.* (2022) Association of Triglyceride-Glucose Index and Traditional Risk Factors with Cardiovascular Disease among Non-Diabetic Population: A 10-Year Prospective Cohort Study. *Cardiovascular Diabetology*, **21**, Article No. 256. <https://doi.org/10.1186/s12933-022-01694-3>
- [6] Wang, L., Cong, H., Zhang, J., Hu, Y., Wei, A., Zhang, Y., *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>
- [7] 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>
- [8] Li, C., Zhang, Z., Luo, X., Xiao, Y., Tu, T., Liu, C., *et al.* (2025) The Triglyceride-Glucose Index and Its Obesity-Related Derivatives as Predictors of All-Cause and Cardiovascular Mortality in Hypertensive Patients: Insights from NHANES Data with Machine Learning Analysis. *Cardiovascular Diabetology*, **24**, Article No. 47. <https://doi.org/10.1186/s12933-025-02591-1>
- [9] He, H., Xie, Y., Chen, Q., Li, Y., Li, X., Fu, S., *et al.* (2025) The Synergistic Effect of the Triglyceride-Glucose Index and a Body Shape Index on Cardiovascular Mortality: The Construction of a Novel Cardiovascular Risk Marker. *Cardiovascular Diabetology*, **24**, Article No. 69. <https://doi.org/10.1186/s12933-025-02604-z>
- [10] Li, W., Chen, D., Tao, Y., Lu, Z. and Wang, D. (2022) Association between Triglyceride-Glucose Index and Carotid Atherosclerosis Detected by Ultrasonography. *Cardiovascular Diabetology*, **21**, Article No. 137. <https://doi.org/10.1186/s12933-022-01570-0>
- [11] Hou, Q., Qi, Q., Han, Q., Yu, J., Wu, J., Yang, H., *et al.* (2024) Association of the Triglyceride-Glucose Index with Early-Onset Atherosclerotic Cardiovascular Disease Events and All-Cause Mortality: A Prospective Cohort Study. *Cardiovascular Diabetology*, **23**, Article No. 149. <https://doi.org/10.1186/s12933-024-02249-4>
- [12] Zheng, H., Chen, G., Wu, K., Wu, W., Huang, Z., Wang, X., *et al.* (2023) Relationship between Cumulative Exposure to Triglyceride-Glucose Index and Heart Failure: A Prospective Cohort Study. *Cardiovascular Diabetology*, **22**, Article No. 239. <https://doi.org/10.1186/s12933-023-01967-5>
- [13] Rokicka, D., Hudzik, B., Wróbel, M., Stołtny, T., Stołtny, D., Nowowiejska-Wiewióra, A., *et al.* (2024) The Prognostic Impact of Insulin Resistance Surrogates in Patients with Acute Myocardial Infarction with and without Type 2 Diabetes. *Cardiovascular Diabetology*, **23**, Article No. 147. <https://doi.org/10.1186/s12933-024-02240-z>
- [14] Tian, X., Chen, S., Zhang, Y., Zhang, X., Xu, Q., Wang, P., *et al.* (2022) Time Course of the Triglyceride Glucose Index Accumulation with the Risk of Cardiovascular Disease and All-Cause Mortality. *Cardiovascular Diabetology*, **21**, Article No. 183. <https://doi.org/10.1186/s12933-022-01617-2>
- [15] Zhong, J., Liu, D., Huang, X., Yuan, J., Hong, Y., Xuan, W., *et al.* (2025) Triglyceride Glucose-Waist Circumference Dynamics and Cardiovascular Risk: A National Longitudinal Study. *Lipids in Health and Disease*, **24**, Article No. 354. <https://doi.org/10.1186/s12944-025-02774-5>
- [16] Wang, C., Xu, Y., Zhang, Y., Peng, P., Li, J. and Ye, H. (2025) Longitudinal Tyg-BMI Trajectories Predict Carotid Atherosclerosis Progression in a Chinese Retrospective Cohort. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, **12**, Article ID: 1672514. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2025.1672514>
- [17] Zheng, J., Cao, Y., Wang, H., Shi, X., Wei, J., Guo, L., *et al.* (2025) Longitudinal Trajectories of the Triglyceride-Glucose Index Predict Long-Term Major Cardiovascular Events in Type 2 Diabetes after Simultaneous Pancreas-Kidney Transplantation: A Retrospective Cohort Study. *Lipids in Health and Disease*, **24**, Article No. 326. <https://doi.org/10.1186/s12944-025-02688-2>
- [18] Ma, X., Ma, X., Wang, Y., Qiu, G. and Zhang, C. (2025) Associations of Cumulative Exposure and Dynamic Trajectories of the C-Reactive Protein-Triglyceride-Glucose Index with Incident Cardiovascular Disease in Middle-Aged and Older Chinese Adults: A Nationwide Cohort Study. *Cardiovascular Diabetology*, **24**, Article No. 303. <https://doi.org/10.1186/s12933-025-02869-4>
- [19] Wang, C., He, S., Xie, G., Zhang, S., Xiong, Z., Lu, H., *et al.* (2025) Associations of Longitudinal Trajectories of Triglyceride-Glucose Index Combined with Classical and Novel Obesity Indices and Cardiovascular Disease: Evidence from a Nationwide Prospective Cohort Study in China. *Cardiovascular Diabetology*, **24**, Article No. 431. <https://doi.org/10.1186/s12933-025-02972-6>

- 
- [20] Yuan, T., Yang, T., Chen, H., Fu, D., Hu, Y., Wang, J., *et al.* (2019) New Insights into Oxidative Stress and Inflammation during Diabetes Mellitus-Accelerated Atherosclerosis. *Redox Biology*, **20**, 247-260. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2018.09.025>
- [21] 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>
- [22] Si, S., Li, J., Li, Y., Li, W., Chen, X., Yuan, T., *et al.* (2021) Causal Effect of the Triglyceride-Glucose Index and the Joint Exposure of Higher Glucose and Triglyceride with Extensive Cardio-Cerebrovascular Metabolic Outcomes in the UK Biobank: A Mendelian Randomization Study. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, **7**, Article ID: 583473. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2020.583473>
- [23] Li, H., Zuo, Y., Qian, F., Chen, S., Tian, X., Wang, P., *et al.* (2022) Triglyceride-Glucose Index Variability and Incident Cardiovascular Disease: A Prospective Cohort Study. *Cardiovascular Diabetology*, **21**, Article No. 105. <https://doi.org/10.1186/s12933-022-01541-5>
- [24] 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>
- [25] Miller, R.J.H., Killekar, A., Shanbhag, A., Bednarski, B., Michalowska, A.M., Ruddy, T.D., *et al.* (2024) Predicting Mortality from AI Cardiac Volumes Mass and Coronary Calcium on Chest Computed Tomography. *Nature Communications*, **15**, Article No. 2747. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-46977-3>
- [26] Molavizadeh, D., Cheraghloo, N., Tohidi, M., Azizi, F. and Hadaegh, F. (2024) The Association between Index-Year, Average, and Variability of the Triglyceride-Glucose Index with Health Outcomes: More than a Decade of Follow-Up in Tehran Lipid and Glucose Study. *Cardiovascular Diabetology*, **23**, Article No. 321. <https://doi.org/10.1186/s12933-024-02387-9>
- [27] Zhu, X., Xu, W., Song, T., Wang, X., Wang, Q., Li, J., *et al.* (2024) Changes in the Combination of the Triglyceride-Glucose Index and Obesity Indicators Estimate the Risk of Cardiovascular Disease. *Cardiovascular Diabetology*, **23**, Article No. 192. <https://doi.org/10.1186/s12933-024-02281-4>
- [28] Liu, C. and Liang, D. (2024) The Association between the Triglyceride-Glucose Index and the Risk of Cardiovascular Disease in US Population Aged  $\leq 65$  Years with Prediabetes or Diabetes: A Population-Based Study. *Cardiovascular Diabetology*, **23**, Article No. 168. <https://doi.org/10.1186/s12933-024-02261-8>
- [29] Xia, X., Chen, S., Tian, X., Xu, Q., Zhang, Y., Zhang, X., *et al.* (2024) Association of Triglyceride-Glucose Index and Its Related Parameters with Atherosclerotic Cardiovascular Disease: Evidence from a 15-Year Follow-Up of Kailuan Cohort. *Cardiovascular Diabetology*, **23**, Article No. 208. <https://doi.org/10.1186/s12933-024-02290-3>
- [30] Wang, Y., Chen, X., Shi, J., Du, M., Li, S., Pang, J., *et al.* (2024) Relationship between Triglyceride-Glucose Index Baselines and Trajectories with Incident Cardiovascular Diseases in the Elderly Population. *Cardiovascular Diabetology*, **23**, Article No. 6. <https://doi.org/10.1186/s12933-023-02100-2>