

DOI:10.3969/j.issn.1672-9463.2026.01.002

# TyG 指数联合 WATCH-DM 评分对 2 型糖尿病患者射血分数保留心力衰竭的预测价值

邝姣姣<sup>1</sup> 杨庆宇<sup>1</sup> 黄宇理<sup>2</sup>

**【摘要】目的** 评估甘油三酯-葡萄糖 (TyG) 指数与 WATCH-DM 评分及其联合应用对 2 型糖尿病 (T2DM) 患者发生射血分数保留心力衰竭 (HFpEF) 的预测价值。**方法** 以 2024 年 8 月~2025 年 8 月为调查时段, 共纳入蚌埠医科大学第一附属医院收治的 T2DM 患者 308 例。所有患者均采集基线资料并完成心脏超声检查左心室射血分数 (LVEF)。依据 2024 年版中国心力衰竭诊疗指南, 将患者分为两组: T2DM 组 ( $n=152$ , LVEF $\geq 50\%$  且无心力衰竭临床表现) 和 T2DM-HFpEF 组 ( $n=156$ , LVEF $\geq 50\%$  且符合 HFpEF 诊断标准)。对两组间的 TyG 指数与 WATCH-DM 评分进行比较, 并运用多因素 Logistic 回归分析以明确 HFpEF 发生的独立危险因素。此外, 通过绘制受试者工作特征 (ROC) 曲线, 评估上述两个指标及其联合模型对 HFpEF 的预测价值。**结果** T2DM-HFpEF 组的年龄、空腹血糖 (FBG)、甘油三酯 (TG)、肌酐 (Cr)、血尿素氮 (BUN)、TyG 指数及 WATCH-DM 评分均显著高于 T2DM 组, 而左房前后径 (LAD)、高密度脂蛋白胆固醇 (HDL-C) 低于 T2DM 组 ( $P<0.05$ )。多因素 Logistic 回归分析显示, TyG 指数 ( $OR=2.159$ , 95%  $CI$ : 1.391~3.353) 和 WATCH-DM 评分 ( $OR=1.302$ , 95%  $CI$ : 1.129~1.502) 为 T2DM 患者并发 HFpEF 的独立危险因素 ( $P<0.05$ )。ROC 曲线分析提示, TyG 指数预测 HFpEF 的曲线下面积 (AUC) 为 0.663, WATCH-DM 评分的 AUC 为 0.757, 而两者联合的 AUC 提高至 0.776, 差异有统计学意义 ( $P<0.05$ )。**结论** TyG 指数与 WATCH-DM 评分对 T2DM 患者并发 HFpEF 均具有一定的预测价值, 二者联合可显著提升预测效能, 为筛查高危人群提供了一种简单实用的方法。

**【关键词】** 甘油三酯-葡萄糖指数 WATCH-DM 评分 射血分数保留的心力衰竭 2 型糖尿病 预测

## The role of combined TyG index and WATCH-DM score in predicting heart failure with preserved ejection fraction among individuals with type 2 diabetes

Kuang Jiaojiao<sup>1</sup>, Yang Qingyu<sup>1</sup>, Huang Yuli<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of General Practice; <sup>2</sup>Department of Cardiology, The First Affiliated Hospital of Bengbu Medical University, Bengbu 233099

Corresponding author: Yang Qingyu, E-mail: 38200880@qq.com

**【Abstract】 Objective** To evaluate the predictive value of the Triglyceride-Glucose (TyG) index, the WATCH-DM score, and their combination for heart failure with preserved ejection fraction (HFpEF) in patients with type 2 diabetes mellitus (T2DM). **Methods** Between Aug 2024 and Aug 2025, a total of 308 T2DM patients admitted to the First Affiliated Hospital of Bengbu Medical University were enrolled. All patients underwent baseline data collection and echocardiography to measure left ventricular ejection fraction (LVEF). According to the 2024 Chinese Guidelines for the Diagnosis and Treatment of Heart Failure, patients were divided into two groups: the T2DM group ( $n=152$ , LVEF $\geq 50\%$  without clinical manifestations of heart failure) and the T2DM-HFpEF group ( $n=156$ , LVEF $\geq 50\%$  and meeting the diagnostic criteria for HFpEF). The TyG index and WATCH-DM score were compared between the two groups. Multivariate logistic regression analysis was used to identify independent risk factors for HFpEF. Receiver operating characteristic (ROC) curves were plotted to evaluate the predictive value of these two indicators and their combined model for HFpEF. **Results** Compared with the T2DM group, patients in the

▲基金项目:安徽省教育厅高校科学研究项目(编号:SK2020A0351);安徽省临床医学研究转化专项立项目(编号:202304295107020079)

作者单位:<sup>1</sup>蚌埠医科大学第一附属医院全科医学科;<sup>2</sup>心血管科,安徽 蚌埠 233099

通信作者:杨庆宇, E-mail: 38200880@qq.com

T2DM-HFpEF group had significantly higher age, fasting blood glucose (FBG), triglyceride (TG), creatinine (Cr), blood urea nitrogen (BUN), TyG index, and WATCH-DM score, while high-density lipoprotein cholesterol (HDL-C) and left atrial anteroposterior diameter (LAD) were significantly lower ( $P<0.05$ ). Multivariate logistic regression analysis showed that the TyG index ( $OR=2.159$ , 95 %  $CI: 1.391\sim 3.353$ ) and WATCH-DM score ( $OR=1.302$ , 95 %  $CI: 1.129\sim 1.502$ ) were independent risk factors for HFpEF in T2DM patients ( $P<0.05$ ). ROC curve analysis showed that the area under the curve (AUC) for predicting HFpEF was 0.663 for the TyG index, 0.757 for the WATCH-DM score, and 0.776 for their combination, with a statistically significant difference ( $P<0.05$ ). **Conclusion** Both the TyG index and the WATCH-DM score have certain predictive value for HFpEF in T2DM patients, and their combination can significantly improve predictive efficacy, providing a simple and practical method for screening high-risk populations.

**【Key words】** Triglyceride glucose index WATCH-DM score Heart failure with preserved ejection fraction Type 2 diabetes mellitus Prediction

左心室射血分数保留的心力衰竭 (heart failure with preserved ejection fraction, HFpEF) 在心力衰竭中占比超过 50%，其发病率及病死率均较高，且临床中易出现漏诊或误诊<sup>[1]</sup>。糖尿病作为心血管疾病 (包括心力衰竭) 的重要危险因素，可使心力衰竭的发生风险增加 2~5 倍<sup>[2, 3]</sup>。现有证据表明，HFpEF 与 2 型糖尿病 (T2DM) 之间存在双向病理生理影响，形成恶性循环，进一步加剧疾病进展<sup>[4]</sup>。因此，在 T2DM 患者中早期识别 HFpEF 发生风险并实施干预，具有重要的临床意义。甘油三酯-葡萄糖 (triglyceride glucose, TyG) 指数是一种简便的胰岛素抵抗替代指标，且已被多项研究证实与心血管疾病风险显著相关<sup>[5]</sup>。WATCH-DM 评分是一种基于常规临床指标构建的评估工具，能用于预估 T2DM 患者因心力衰竭住院的可能性<sup>[6]</sup>，然而，该评分仍存在一定局限性：其一，未对心力衰竭进行区分；其二，未纳入反映代谢异常的关键指标。基于当前研究现状，本研究创新性地将 WATCH-DM 评分应用于尚未发生 HFpEF 的 T2DM 人群，并联合胰岛素抵抗标志物 TyG 指数，首次构建用于预测新发 HFpEF 风险的整合模型，旨在为早期识别高危 T2DM 患者提供更为高效、实用的风险评估工具，具有一定的理论价值及临床应用前景。

## 1 资料与方法

**1.1 研究对象** 以 2024 年 8 月~2025 年 8 月为调查时段，共纳入蚌埠医科大学第一附属医院收治的 T2DM 患者 308 例作为研究对象。根据《中国心力衰竭诊断和治疗指南》<sup>[7]</sup>，将患者分为两组：T2DM 组 ( $n=152$ )，即左心室射血分数 (left

ventricular ejection fraction, LVEF)  $\geq 50\%$  且无心力衰竭临床症状者；T2DM-HFpEF 组 ( $n=156$ )，即 LVEF  $\geq 50\%$  且符合 HFpEF 诊断标准<sup>[8]</sup>，并伴有心力衰竭症状。其中男 145 例，女 163 例，年龄 60~90 岁，平均 (71.62 $\pm$ 8.26) 岁。纳入标准：满足 T2DM 及 HFpEF 诊断标准。其中，T2DM 的诊断依据以下血糖标准 (符合一项即可)：空腹血糖 (FPG)  $\geq 7.0$  mmol/L，或餐后 2 h 血糖  $\geq 11.1$  mmol/L<sup>[7]</sup>。排除标准：① LVEF  $< 50\%$ ，或合并结构性心脏病 (如扩张性心肌病、中重度心脏瓣膜病等) 者；② 非 T2DM 类型糖尿病或其他类型心力衰竭者；③ 严重肾功能不全或患有活动性恶性肿瘤者；④ 长期卧床、生活无法自理者；⑤ 关键临床资料缺失或超声心动图质量不符合分析要求者。本研究方案经我院伦理委员会审批通过 (伦科批字 [2021] 第 214)，并符合《赫尔辛基宣言》(2013 年修订版) 的伦理准则。

### 1.2 资料收集

**1.2.1 临床与生化指标** 记录患者的基线资料，包括年龄、性别、体质量、身高、体质量指数 (body mass index, BMI)、收缩压 (systolic blood pressure, SBP)、舒张压 (diastolic blood pressure, DBP)、糖尿病病程、心肌梗死病史、冠状动脉搭桥术 (coronary artery bypass grafting, CABG) 史、QRS 波时限以及钠-葡萄糖协同转运蛋白 2 抑制剂 (sodium-glucose cotransporter 2 inhibitor, SGLT2i) 用药史。实验室检测方面，所有患者禁食至少 8 h，于次日清晨采集静脉血，检测空腹血糖 (fasting blood glucose, FBG)、甘油三酯 (triglycerides, TG)、总胆固醇 (total cholesterol, TC)、高密度脂蛋白胆固醇 (high-density lipoprotein cholesterol, HDL-C)、低密度脂蛋白胆

固醇 (low-density lipoprotein cholesterol, LDL-C)、天门冬氨酸氨基转移酶 (aspartate aminotransferase, AST)、丙氨酸氨基转移酶 (alanine aminotransferase, ALT)、肌酐 (creatinine, Cr) 及血尿素氮 (blood urea nitrogen, BUN)。根据检测结果计算衍生指标, TyG 指数 =  $\ln [空腹 TG (mg/dL) \times FBG (mg/dL) / 2]$  [5]; WATCH-DM 评分依据年龄、BMI、SBP、DBP、血肌酐、HDL-C、FBG、QRS 时限、心肌梗死及 CABG 史变量构建 [6]。

1.2.2 超声心动图测量 使用心脏超声测量左房前后径 (left atrial anteroposterior diameter, LAD)、左心室舒张末期内径 (left ventricular end-diastolic dimension, LVEDD)、左心室收缩末期内径 (left ventricular end-systolic dimension, LVESD) 以及 LVEF。

1.3 统计学分析 使用 SPSS 27.0 软件对所有数据进行统计分析。首先, 根据数据类型与分布特征选择统计描述与检验方法: 符合正态分布的计量资料以均数 ± 标准差 ( $\bar{x} \pm s$ ) 表示, 组间行独立样本 *t* 检验; 非正态分布的计量资料以中位数 (四分位

数) [M (P25, P75)] 描述, 组间行 Mann-Whitney U 检验; 计数资料以例数 (百分比) 描述, 组间行  $\chi^2$  检验。其次, 为探讨 HFpEF 的独立危险因素, 采用多因素 Logistic 回归分析。通过 ROC 曲线, 评估了 TyG 指数、WATCH-DM 评分及其联合指标对 T2DM 患者患 HFpEF 的预测能力, 并计算曲线下面积 (area under the curve, AUC) 以评估预测效能。设  $P < 0.05$  为差异具有统计学意义。

## 2 结果

2.1 T2DM 组与 T2DM-HFpEF 组基线特征对比 T2DM 组与 T2DM-HFpEF 组在性别、体质量、身高、BMI、SBP、DBP、糖尿病病程、心肌梗死病史、CABG、TC、LDL-C、AST、ALT、QRS 时限、LVEDD、LVESD、LVEF、SGLT2i 用药史等方面差异均无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。与 T2DM 组相比, T2DM-HFpEF 组的年龄、FBG、TG、Cr、BUN、TyG 指数及 WATCH-DM 评分更高, 而 HDL-C、LAD 则更低, 差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ )。见表 1。

表 1 T2DM 组与 T2DM-HFpEF 组基线特征对比 [M (P25, P75)]

组别	T2DM 组 (n=152)	T2DM-HFpEF 组 (n=156)	$\chi^2/Z$	<i>P</i>
男性 [n(%)]	72 (47.37)	73 (46.79)	0.010	0.920
体质量 (kg)	65.00 (58.00, 75.00)	65.00 (56.250, 75.000)	-0.129	0.897
年龄 (岁)	69.00 (62.00, 75.75)	74.00 (68.00, 80.00)	-4.736	<0.001
身高 (cm)	162.00 (158.00, 170.00)	160.00 (156.00, 170.00)	-0.839	0.402
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	24.200 (22.000, 27.650)	24.350 (21.600, 27.475)	-0.134	0.894
SBP (mmHg)	139.00 (128.00, 150.00)	135.00 (117.25, 149.75)	-1.793	0.073
DBP (mmHg)	76.00 (68.00, 83.00)	74.00 (67.00, 84.00)	-0.608	0.543
糖尿病病程 (年)	10.00 (4.00, 16.75)	10.00 (5.00, 12.00)	-0.239	0.811
心肌梗死病史 [n(%)]	18 (11.84)	31 (19.87)	3.710	0.054
CABG [n(%)]	31 (22.37)	41 (26.28)	0.640	0.424
FBG (mmol/L)	6.7950 (5.0850, 8.3075)	7.8500 (5.8625, 11.7400)	-4.094	<0.001
TG (mmol/L)	1.1700 (0.9100, 1.4675)	1.2650 (0.9600, 1.8425)	-2.818	0.005
TC (mmol/L)	3.8250 (3.1550, 4.6050)	3.6350 (2.9475, 4.3100)	-1.934	0.053
HDL-C (mmol/L)	1.14 (0.99, 1.30)	1.0500 (0.8900, 1.2300)	-2.788	0.005
LDL-C (mmol/L)	2.12 (1.56, 2.77)	2.0050 (1.4950, 2.5775)	-1.424	0.155
AST (U/L)	21.00 (17.00, 25.00)	22.00 (16.00, 28.00)	-0.794	0.427
ALT (U/L)	18.00 (12.00, 23.00)	18.00 (14.00, 25.00)	-1.416	0.157
Cr (μmol/L)	64.00 (53.25, 76.00)	72.00 (59.00, 102.75)	-3.684	<0.001
BUN (μmol/L)	6.2000 (5.3000, 8.0750)	7.6000 (5.5250, 9.6875)	-2.793	0.005
QRS 时限 (s)	86.00 (82.00, 95.00)	86.00 (80.00, 95.75)	-0.529	0.597
LVEDD	45.00 (42.25, 48.00)	46.00 (44.00, 48.00)	-1.022	0.307
LVESD	32.00 (30.00, 34.00)	32.00 (30.00, 35.00)	-1.446	0.148
LVEF (%)	55.00 (52.00, 57.00)	55.00 (53.00, 58.00)	-1.118	0.264

续表 1

组别	T2DM 组(n=152)	T2DM-HFpEF 组(n=156)	$\chi^2/Z$	P
LAD	31.00(28.00, 33.75)	30.00(28.00, 32.00)	-2.200	0.028
TyG 指数	8.7500(8.4025, 9.0800)	9.0300(8.6025, 9.5650)	-4.632	<0.001
WATCH-DM 评分(分)	9.50(8.00, 11.00)	12.00(10.00, 14.00)	-7.851	<0.001
SGLT2i 用药史[n(%)]	17(11.18)	25(16.03)	1.532	0.216

**2.2 多因素 Logistic 回归分析 T2DM 并发 HFpEF 的危险因素** 在进行多因素 Logistic 回归分析前, 对所有变量进行了多重共线性诊断。TyG 指数是由 FBG 和 TG 计算得出的复合指标, 若将其与 FBG 和 TG 同时纳入模型, 将导致严重的多重共线性问题 (TyG 指数的方差膨胀因子 VIF=6.84)。为避免模型失真并确保变量的独立, 最终在多因素分析中仅纳入 TyG 指数, 而未纳入具有统计学差异的原始成分指标 FBG 和 TG。此外, 尽管 SGLT2i 用药史在本研究的单因素分析中与 HFpEF 无显著性关联 ( $P > 0.05$ ), 但考虑到其为影响心力衰竭发生与进展的明确临床因素, 故仍将其作为关键协变量纳入模型以控制其潜在影响。各变量赋值情况见表 2。Logistic 回归分析结果显示, TyG 指数与 WATCH-DM

评分均为 T2DM 患者并发 HFpEF 的独立危险因素 ( $P < 0.05$ )。见表 3。

表 2 各变量赋值情况

变量	赋值
因变量	
患病	是=1, 否=0
自变量	
年龄	原值代入
HDL-C	原值代入
Cr	原值代入
BUN	原值代入
LAD	原值代入
TyG 指数	原值代入
WATCH-DM 评分	原值代入
SGLT2i 用药史	有=1, 无=0

表 3 T2DM 并发 HFpEF 的独立危险因素

变量	回归系数	标准误	Wald	P	OR	95%CI
年龄	0.030	0.019	2.516	0.113	1.031	0.993~1.070
HDL-C	-0.676	0.493	1.881	0.170	0.509	0.194~1.336
Cr	0.004	0.007	0.313	0.576	1.004	0.990~1.017
BUN	0.024	0.055	0.195	0.659	1.024	0.920~1.140
LAD	-0.073	0.040	3.357	0.067	0.930	0.860~1.005
TyG 指数	0.770	0.224	11.761	<0.001	2.159	1.391~3.353
WATCH-DM 评分	0.264	0.073	13.100	<0.001	1.302	1.129~1.502
SGLT2i 用药史	0.071	0.400	0.031	0.859	1.073	0.490~2.353

**2.3 TyG 指数、WATCH-DM 评分单独及联合辅助诊断 T2DM-HFpEF 的效能比较** 基于 ROC 分析, TyG 指数预测 T2DM-HFpEF 的 AUC 为 0.663 (95% CI: 0.592~0.714,  $P < 0.05$ ), 最佳截断值为 9.355, 对应的灵敏度、特异度及约登指数为 0.372、0.921 和 0.293。WATCH-DM 评分的预测效能更高, AUC 为 0.757 (95% CI: 0.704~0.810,  $P < 0.05$ ), 最佳截断值为 10.500 分, 对应的灵敏度、特异度及约登指数分别为 0.718、0.671 和 0.389; 而 TyG 指数联合 WATCH-DM 评分预测的 AUC 提高至 0.776 (95% CI: 0.725~0.828,  $P < 0.05$ ), 联合模型的灵敏度为 0.724, 特异度为 0.743, 约登指数为 0.468, 诊断效能优于单一指标。见图 1。

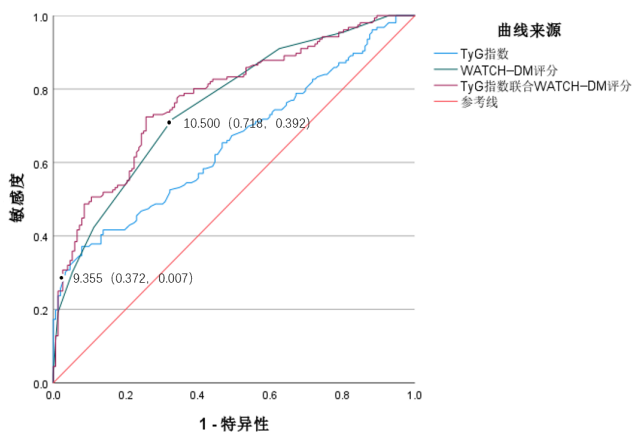


图 1 TyG 指数、WATCH-DM 评分单独及联合辅助诊断 T2DM-HFpEF 的效能 ROC 曲线

### 3 讨论

HFpEF 是一种临床表现异质性强、病理机制复杂的心力衰竭类型，其发生与发展涉及代谢紊乱、慢性炎症、微血管功能障碍及心肌纤维化等多个相互关联的生理过程。大量研究证实，T2DM 是 HFpEF 的危险因素，约 40%~50% 的 HFpEF 患者合并 T2DM，提示糖脂代谢异常在其发病中可能起到核心作用<sup>[9, 10]</sup>。然而，目前临床尚缺乏能够有效识别 T2DM 患者中 HFpEF 高危人群的实用预测工具。本研究通过建立多因素 Logistic 回归模型，首次系统评估了 TyG 指数与 WATCH-DM 评分对 T2DM 患者新发 HFpEF 的联合预测价值。

本研究结果显示，在校正了包括年龄、血脂、肾功能、心脏结构参数以及 SGLT2i 用药史在内的多种潜在混杂因素后，TyG 指数 ( $OR=2.159$ ) 与 WATCH-DM 评分 ( $OR=1.302$ ) 为 T2DM 患者发生 HFpEF 的独立危险因素 ( $P<0.05$ )。这一结果凸显了 TyG 指数预测价值的稳健性。进一步分析揭示，TyG 指数预测效能的一个关键数据特征是在最佳截断值处表现出极高的特异度 (0.921)。这提示，当 TyG 指数超过此阈值时，其反映的已非普通的代谢波动，而是一种能够精准标识 HFpEF 高危个体的、显著的胰岛素抵抗 (IR) 状态。这一来自本研究队列的量化研究发现，为理解 TyG 指数的预测机制提供了直接的临床关联。TyG 指数作为评估 IR 的可靠替代指标<sup>[11, 12]</sup>，其关联的病理生理过程可能如下：IR 状态可导致游离脂肪酸代谢异常和线粒体功能紊乱，促进活性氧簇 (ROS) 过量生成，激活氧化应激并引发慢性炎症反应<sup>[13, 14]</sup>；继而，升高的炎症因子水平和一氧化氮生物利用度下降共同导致内皮功能障碍和微血管灌注异常，损害心肌舒张功能<sup>[15]</sup>；最终，持续的高胰岛素血症和糖脂毒性直接刺激心肌成纤维细胞活化，促进细胞外基质重塑与心肌纤维化，推动 HFpEF 的特征性病理改变<sup>[16]</sup>。多项前瞻性研究也表明，TyG 指数与心力衰竭事件风险呈正相关，且与 HFpEF 患者的不良预后密切相关<sup>[17-21]</sup>，进一步支持其在心衰风险评估中的价值<sup>[22-24]</sup>。因此，本研究不仅验证了 TyG 指数独立于传统危险因素 (包括用药史) 的预测价值<sup>[25]</sup>，更通过其高特异度的截断值，将抽象的 IR 机制与具体的 HFpEF 高风险表型进行了实证连接。

另一方面，WATCH-DM 评分作为一项整合多维度临床指标的综合风险评估工具，其预测效能源于对个体整体风险负荷的量化。该评分每增加 1 分，心力衰竭风险便相应升高，说明其能有效反映 T2DM 患者心脑血管系统的累积损害程度<sup>[6]</sup>。本研究首次将 WATCH-DM 评分应用于 HFpEF 发病风险的前瞻性预测，弥补了既往研究仅关注其预后评估价值的局限<sup>[26]</sup>。本研究最重要的发现是 TyG 指数与 WATCH-DM 评分的联合模型显示出更优的预测性能 ( $AUC=0.776$ )。具体而言，TyG 指数 (反映深层 IR 的代谢驱动因素) 虽特异度高 (0.921)，但灵敏度有限 (0.372)；而 WATCH-DM 评分 (反映表型临床危险因素的累积) 虽灵敏度高 (0.718)，但特异度相对不足 (0.671)。联合模型成功整合了二者优势，在几乎完全保留 WATCH-DM 评分高灵敏度 (联合模型 0.724 vs. WATCH-DM 0.718) 的同时，借助 TyG 指数的高特异性，将模型整体特异度显著提升至 0.743。这一数据层面的优化证实，联合策略既能广泛初筛潜在高危患者 (高灵敏度)，又能通过识别其中具有显著代谢紊乱特征的个体来精准确认风险 (高特异性)，从而实现了 HFpEF 高危人群更精准、更高效的风险分辨。这提示代谢异常与临床危险因素在 HFpEF 发病中存在协同效应，多维度评估策略能够更全面地捕捉疾病前期的异质性风险特征。此外，该模型所采用的变量均来自常规临床检测，成本低廉，计算简便，具备在基层医疗环境中推广应用的潜力，尤其适合于大规模 T2DM 人群的 HFpEF 早期筛查与分级管理。

本研究尚存在一定的局限性。首先，单中心、回顾性的设计带来了固有的方法学限制。单一中心的数据在疾病谱、地域和临床实践方面可能缺乏足够的代表性，从而影响了研究结论向更广泛 T2DM 人群的外推性。其次，回顾性的数据收集可能引起信息偏倚，例如，部分早期或症状不典型的 HFpEF 患者可能被纳入对照组，这种错分理论上会低估 TyG 指数、WATCH-DM 评分等预测指标与 HFpEF 发病之间的真实关联强度。再次，本研究的样本量有限，尤其在高维模型中存在过拟合风险。最后，在诊断与评估层面，HFpEF 的诊断主要依赖超声心动图和临床标准，未能全面纳入有创血流动力学、心脏磁共振或更多新型生物标志物 (如 NT-proBNP、GDF-15 等)，这可能影响

病例分组的精确性，并限制了我们对预测模型更深层次的病理生理学机制的探讨。

综上所述，TyG 指数和 WATCH-DM 评分是 T2DM 患者并发 HFpEF 的独立预测因子，二者联合可构建具有较高诊断效能的预测模型。该模型有助于早期识别 HFpEF 高危人群，为实施针对性干预措施提供依据，从而改善 T2DM 患者的心血管预后。未来研究应通过多中心、前瞻性设计进一步验证该模型的临床应用价值，并探索将其与新型生物标志物相结合的可能性。

### 参 考 文 献

- Gentile F, Ghionzoli N, Borrelli C, et al. Epidemiological and clinical boundaries of heart failure with preserved ejection fraction [J]. *Eur J Prev Cardiol*, 2022, 29 (8): 1233-1243.
- Kannel WB, Hjortland M, Castelli WP. Role of diabetes in congestive heart failure: the Framingham study [J]. *Am J Cardiol*, 1974, 34 (1): 29-34.
- Nichols GA, Gullion CM, Koro CE, et al. The incidence of congestive heart failure in type 2 diabetes: an update [J]. *Diabetes Care*, 2004, 27 (8): 1879-1884.
- Pieske B, Tschöpe C, de Boer RA, et al. How to diagnose heart failure with preserved ejection fraction: the HFA-PEFF diagnostic algorithm: a consensus recommendation from the heart failure association (HFA) of the European society of cardiology (ESC) [J]. *Eur Heart J*, 2019, 40 (40): 3297-3317.
- Dong RH, Chen JS, Zheng JH, et al. The role of oxidative stress in cardiometabolic risk related to phthalate exposure in elderly diabetic patients from Shanghai [J]. *Environ Int*, 2018, 121 (Pt 1): 340-348.
- Segar MW, Vaduganathan M, Patel KV, et al. Machine learning to predict the risk of incident heart failure hospitalization among patients with diabetes: the WATCH-DM risk score [J]. *Diabetes Care*, 2019, 42 (12): 2298-2306.
- 王富军, 王文琦. 《中国 2 型糖尿病防治指南 (2020 年版)》解读 [J]. *河北医科大学学报*, 2021, 24 (12): 1365-1371.
- 许顶立, 宋霖. 《中国心力衰竭诊断和治疗指南 2024》解读 [J]. *临床心血管病杂志*, 2024, 40 (6): 437-439.
- Nair N. Epidemiology and pathogenesis of heart failure with preserved ejection fraction [J]. *Rev Cardiovasc Med*, 2020, 21 (4): 531-540.
- Echouffo-Tcheugui JB, Xu HL, DeVore AD, et al. Temporal trends and factors associated with diabetes mellitus among patients hospitalized with heart failure: findings from get with the guidelines-heart failure registry [J]. *Am Heart J*, 2016, 182: 9-20.
- Park K, Ahn CW, Lee SB, et al. Elevated TyG index predicts progression of coronary artery calcification [J]. *Diabetes Care*, 2019, 42 (8): 1569-1573.
- Ormazabal V, Nair S, Elfeky O, et al. Association between insulin resistance and the development of cardiovascular disease [J]. *Cardiovasc Diabetol*, 2018, 17 (1): 122.
- Rask-Madsen C, King GL. Mechanisms of disease: endothelial dysfunction in insulin resistance and diabetes [J]. *Nat Clin Pract Endocrinol Metab*, 2007, 3 (1): 46-56.
- Zhao S, Yu SK, Chi C, et al. Association between macro- and microvascular damage and the triglyceride glucose index in community-dwelling elderly individuals: the northern Shanghai Study [J]. *Cardiovasc Diabetol*, 2019, 18 (1): 95.
- Hotamisligil GS. Inflammation and metabolic disorders [J]. *Nature*, 2006, 444 (7121): 860-867.
- Xiao H, Li H, Wang JJ, et al. IL-18 cleavage triggers cardiac inflammation and fibrosis upon  $\beta$ -adrenergic insult [J]. *Eur Heart J*, 2018, 39 (1): 60-69.
- Haring B, Schumacher H, Mancina G, et al. Triglyceride-glucose index, low-density lipoprotein levels, and cardiovascular outcomes in chronic stable cardiovascular disease: results from the ONTARGET and TRANSCEND trials [J]. *Eur J Prev Cardiol*, 2024, 31 (3): 311-319.
- Dang KK, Wang XY, Hu JX, et al. The association between triglyceride-glucose index and its combination with obesity indicators and cardiovascular disease: NHANES 2003-2018 [S]. *Cardiovasc Diabetol*, 2024, 23 (1): 8.
- Dong WY, Gong YX, Zhao JQ, et al. A combined analysis of TyG index, SII index, and SIRI index: positive association with CHD risk and coronary atherosclerosis severity in patients with NAF-LD [J]. *Front Endocrinol (Lausanne)*, 2024, 14: 1281839.
- Sun CX, Hu LQ, Li XY, et al. Triglyceride-glucose index's link to cardiovascular outcomes post-percutaneous coronary intervention in China: a meta-analysis [J]. *ESC Heart Fail*, 2024, 11 (3): 1317-1328.
- Dong JK, Yang HJ, Zhang YP, et al. A high triglyceride glucose index is associated with early renal impairment in the hypertensive patients [J]. *Front Endocrinol (Lausanne)*, 2022, 13: 1038758.
- Zhang FD, Hou X. Association between the triglyceride glucose index and heart failure: NHANES 2007-2018 [J]. *Front Endocrinol (Lausanne)*, 2024, 14: 1322445.
- Wang TT, Xu JN, Zhang H, et al. Triglyceride-glucose index for the detection of subclinical heart failure with preserved ejection fraction in patients with type 2 diabetes [J]. *Front Cardiovasc Med*, 2023, 10: 1086978.
- Zhou Q, Yang J, Tang HY, et al. High triglyceride-glucose (TyG) index is associated with poor prognosis of heart failure with preserved ejection fraction [J]. *Cardiovasc Diabetol*, 2023, 22 (1): 263.
- Chen F, Pan Y, Liu ZQ, et al. Impact of visit-to-visit triglyceride-glucose index variability on the risk of cardiovascular disease in the elderly [J]. *Int J Endocrinol*, 2022, 2022: 5125884.
- Zhang XX, Lv X, Wang N, et al. WATCH-DM risk score predicts the prognosis of diabetic phenotype patients with heart failure and preserved ejection fraction [J]. *Int J Cardiol*, 2023, 385: 34-40.

(收稿:2025-10-13)