

甘油三酯葡萄糖 - 体重指数与 2 型糖尿病发病风险的关联

张方芳¹, 王云辉², 刘星³, 李静⁴, 阚云龙¹, 张文翠¹, 唐敏华¹, 奚超¹

1. 上海市松江区疾病预防控制中心, 上海 201620; 2. 上海市松江区新桥社区卫生服务中心;
3. 复旦大学公共卫生学院流行病学教研室/公共卫生安全教育部重点实验室; 4. 上海市松江区中山街道社区卫生服务中心

摘要:目的 探索甘油三酯葡萄糖 - 体重指数 (TyG - BMI) 与 2 型糖尿病 (T2DM) 发病风险的关联。方法 数据来源于 2016 年 4 月至 2017 年 9 月建立的上海郊区自然人群队列 (松江子队列)。选取基线中 20 ~ 74 周岁、血糖水平正常的非糖尿病人群作为研究对象 (29 351 名)。通过 Cox 比例风险回归模型和限制性立方样条模型评估基线 TyG - BMI 水平与 T2DM 发病风险之间的关联及剂量 - 反应关系。根据性别、年龄等协变量进行分层并分析其与 TyG - BMI 的交互作用。结果 经历中位随访时间 6.98 年, 共有 584 名男性和 777 名女性被初次诊断为 T2DM。校正混杂因素后, Cox 回归模型显示, TyG - BMI 每增加 1 个 SD, T2DM 发病风险增加 58% ($HR = 1.58, 95\% CI: 1.50 \sim 1.66$)。将 TyG - BMI 按四分位数进行分组后作为分类变量纳入 Cox 回归模型分析, 以 Q1 组为对照, Q2、Q3、Q4 组的 T2DM 发病风险逐渐增加, $HR(95\% CI)$ 分别为 1.42(1.15 ~ 1.75)、2.02(1.66 ~ 2.46) 和 3.47(2.88 ~ 4.19) ($P_{趋势} < 0.001$)。限制性立方样条图显示, TyG - BMI 与 T2DM 发病风险存在非线性关联 ($P_{非线性} = 0.048$)。此外, 亚组分析结果显示, 青中年 (60 岁以下) 居民 TyG - BMI 与 T2DM 发病风险的关联显著高于老年居民 ($P_{交互} < 0.05$)。结论 在血糖水平正常的情况下, 基线 TyG - BMI 与 T2DM 的发病风险呈正相关, 且这种关联在青中年群体中更为显著。

关键词: 2 型糖尿病; 甘油三酯葡萄糖 - 体重指数; 队列研究

中图分类号: R587.1 文献标志码: A 文章编号: 1003 - 8507(2024)24 - 4591 - 06

DOI: 10.20043/j.cnki.MPM.202408306

Association of triglyceride glucose - Body Mass Index (TyG - BMI) and risk of developing type 2 diabetes mellitus

ZHANG Fang - fang*, WANG Yun - hui*, LIU Xing, LI Jing, KAN Yun - long,
ZHANG Wen - cui, TANG Min - hua, XI Chao

* Songjiang Center for Disease Control and Prevention, Shanghai 201620, China

Abstract: Objective To explore the association between Triglyceride Glucose - Body Mass Index (TyG - BMI) and the risk of developing type 2 diabetes mellitus (T2DM). **Methods** The data were obtained from the natural population cohort of Shanghai suburbs established from April 2016 to September 2017 (Songjiang subcohort). 29,351 nondiabetic subjects with normal blood glucose levels aged 20 - 74 years at baseline were included in the analysis. The association and dose - response relationship between baseline TyG - BMI level and the risk of developing T2DM were assessed by Cox proportional risk regression model and restricted cubic spline model. Covariates such as gender and age were stratified according to their covariates and their interaction with TyG - BMI was analyzed. **Results** A total of 584 men and 777 women were initially diagnosed with T2DM after a median follow - up time of 6.98 years. After correcting for confounders, the Cox regression model showed a 58% increase in the risk of T2DM incidence for every 1 SD increase in TyG - BMI ($HR = 1.58, 95\% CI: 1.50 - 1.66$). After grouping TyG - BMI by quartiles and then including it as a categorical variable in the Cox regression model analysis, the risk of T2DM incidence increased progressively in the Q2, Q3, and Q4 groups with $HR(95\% CI)$ of 1.42 (1.15 - 1.75), 2.02(1.66 - 2.46), and 3.47(2.88 - 4.19), respectively ($P_{trend} < 0.001$), using the Q1 group as the control. Restricted cubic spline plots showed a nonlinear association between TyG - BMI and the risk of T2DM incidence ($P_{nonlinear} = 0.048$). In addition, subgroup analyses showed that the association between TyG - BMI and the risk of developing

基金项目: 上海市加强公共卫生体系建设三年行动计划 (2023 - 2025 年) 重点学科建设项目 (GWVI - 11.1 - 23)

作者简介: 张方芳 (1994 -), 女, 硕士, 医师, 研究方向: 健康教育与健康促进。王云辉 (1977 -), 男, 本科, 主管医师, 研究方向: 疾病控制

通信作者: 奚超, E - mail: sjkjyk@126.com

T2DM was significantly higher in young and middle-aged (less than 60 years old) residents than in older residents ($P_{interaction} < 0.05$). **Conclusion** Under normal blood glucose levels, baseline TyG-BMI was positively associated with the risk of developing T2DM, and this association was more significant in the young and middle-aged groups.

Keywords: Type 2 diabetes mellitus; Triglyceride-glucose-body mass index; Cohort study

随着生活方式转变和人口老年化加剧,近年来我国糖尿病患者人数大幅增加,其中最常见类型为 2 型糖尿病 (type 2 diabetes mellitus, T2DM),占比超过 90%^[1]。国际糖尿病联合会发布的数据显示,2021 年我国已有超过 1.4 亿的成年人患有糖尿病,占全球患者的 26.2%,预计到 2045 年,我国糖尿病患者总数将增至 1.74 亿^[2]。胰岛素抵抗 (insulin resistance, IR) 是指胰岛素靶器官或组织对胰岛素的敏感性和反应性降低的一种状态,与 T2DM 的发生密切相关^[3]。目前评价 IR 的金标准是高胰岛素-正葡萄糖钳夹 (hyper-insulinemic euglycemic clamp, HEC) 技术^[4],然而该方法昂贵费时,不适用于广泛的人群筛查和治疗监测。既往研究已证实,甘油三酯葡萄糖指数 (triglyceride glucose index, TyG) 可作为 IR 的简单替代指标^[5-6]。近年来有研究显示, TyG 和体重指数 (body mass index, BMI) 的联合指标甘油三酯葡萄糖-体重指数 (Triglyceride Glucose-Body Mass Index, TyG-BMI) 比单独 TyG 更能准确的评估 IR^[7]。但目前关于 TyG-BMI 与 T2DM 发病之间关联的研究仍然较少^[8-10]。本研究基于人群队列数据探索 TyG-BMI 与 T2DM 发病之间的关系,为 T2DM 的早期预防和管理提供新思路。

1 对象与方法

1.1 研究对象 数据来源于 2016 年 4 月—2017 年 9 月建立的上海郊区自然人群队列 (松江子队列)^[11]。该队列采用多阶段分层整群抽样法招募队列成员,首先根据地理位置和人口规模在上海市松江区选取 4 个社区 (2 个城镇社区、1 个城乡结合社区和 1 个农村社区),然后在抽中的社区中随机抽取 1/3 的居委会 (行政村) 作为队列现场,对每个现场 20~74 周岁、拥有上海户籍或在上海居住时间 ≥ 5 年的居民进行招募,共计 36 404 人纳入队列。本研究剔除人员信息重复、重要体检信息 (空腹血糖 (FPG)、糖化血红蛋白 (HbA1c)、甘油三酯 (TG)) 缺失、BMI 极端值、基线糖尿病患者以及诊断时间距离基线调查 < 180 天者后,最终纳入分析对象 29 351 人 (详见流程图 1)。所有调查对象均签署知情同意书。该研究已获复旦大学公共卫生学院医学研究伦理委员会批准 (IRB#2016-04-0586)。

1.2 研究方法 研究对象在进入队列时,分别对其进行问卷调查、体格检查和生化检测。

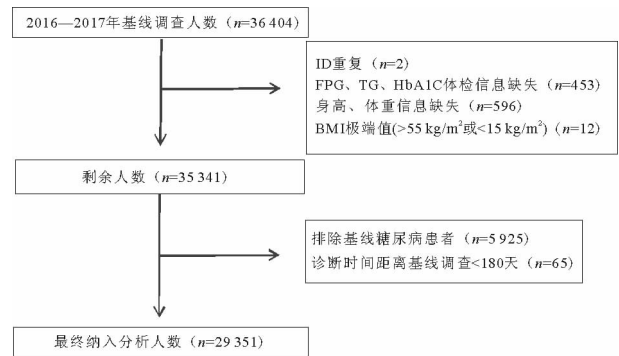


图 1 研究对象筛选流程图

Fig. 1 Flowchart for screening research subjects

问卷调查:采用标准化问卷,由经过专业统一培训且考核合格的调查人员,在研究对象所属的社区卫生服务中心内,进行一对一调查。问卷内容包括人口学信息、生活方式、疾病史、家族史等。

体格检查:由社区医务人员依据标准方法测量研究对象的身高、体重、静息血压 (包括收缩压 (SBP) 和舒张压 (DBP)) 等,其中每名研究对象的身高和体重测量两次取平均值记录,血压测量三次取平均值记录。

生化检测:采集研究对象空腹静脉血 2 ml,送至迪安医学检验中心,由专业人员检测 FPG、HbA1c、TG、总胆固醇 (TC)、高密度脂蛋白胆固醇 (HDL-C)、低密度脂蛋白胆固醇 (LDL-C) 等生化指标。

1.3 相关定义及计算公式 吸烟:每天至少一支烟、连续吸烟 6 个月以上,根据吸烟状态分为现在吸烟、过去吸烟和从不吸烟;饮酒:每周至少 3 次、连续喝酒 6 个月以上,根据饮酒状态分为现在饮酒、过去饮酒和从不饮酒。

$BMI = \text{身高}(\text{kg}) / \text{体重}(\text{m})^2$; $TyG = \text{Ln} [\text{FPG}(\text{mg}/\text{dl}) \times \text{TG}(\text{mg}/\text{dl}) / 2]^{[6]}$; $TyG - BMI = TyG \times BMI^{[7]}$ 。
FPG, 1 mg/dl = 0.055 5 mmol/l; TG, 1 mg/dl = 0.011 29 mmol/l。

1.4 T2DM 评估及随访 利用上海市健康管理平台的医疗信息系统和松江区疾病预防控制中心糖尿病登记报告系统收集随访数据。基于第十版国际疾病分类 (ICD-10), 编码 E11 定义为 T2DM。在基线时自我报告糖尿病史、或依据 $FPG \geq 7.0 \text{ mmol/L}$ 或 $HbA1c \geq 6.5\%$ ^[12] 被诊断为糖尿病、糖尿病确诊时间距离基线调查 < 180 天的参与者被排除。在后续

的随访中,首次诊断 T2DM 记录为新发。随访截止时间为 2023 年 12 月 31 日。

1.5 统计学分析 使用 SPSS 19.0 软件和 R 4.2.1 软件进行数据处理和统计分析。采用 χ^2 检验比较分类变量组间差异,方差分析和 Kruskal - Wallis H 检验比较连续变量组间差异。采用多因素 Cox 比例风险回归模型评估 TyG - BMI 水平与 T2DM 发病风险之间的关联;限制性立方样条 (RCS) 模型评估 TyG - BMI 水平与 T2DM 发病风险之间的剂量 - 反应关系。检验水准 $\alpha = 0.05$ 。

2 结果

2.1 基于 TyG - BMI 四分位数的观察对象的基线资

表 1 不同 TyG - BMI 水平分组一般基线资料比较

Table 1 Comparison of general baseline information for subgroups with different TyG - BMI levels

变量	TyG - BMI 水平				检验统计值	P 值
	Q1 (n = 7 338)	Q2 (n = 7 337)	Q3 (n = 7 338)	Q4 (n = 7 338)		
年龄 (岁)	53.00 (42.00, 62.00)	57.00 (50.00, 64.00)	59.00 (51.00, 65.00)	58.00 (51.00, 65.00)	691.993 ^a	<0.001
性别 (%)					327.831 ^b	<0.001
男	2 424 (33.03)	2 776 (37.84)	3 193 (43.51)	3 411 (46.48)		
女	4 914 (66.97)	4 561 (62.16)	4 145 (56.49)	3 927 (53.52)		
文化程度 (%)					706.359 ^b	<0.001
小学及以下	2 642 (36.00)	3 341 (45.54)	3 451 (47.03)	3 545 (48.31)		
初中	2 668 (36.36)	2 720 (37.07)	2 727 (37.16)	2 592 (35.32)		
高中及中专	1 020 (13.90)	842 (11.48)	785 (10.70)	812 (11.07)		
高职大专及以上	1 008 (13.74)	434 (5.92)	375 (5.11)	389 (5.30)		
吸烟 (%)					110.245 ^b	<0.001
现在吸烟	1 312 (17.88)	1 344 (18.32)	1 481 (20.18)	1 660 (22.62)		
过去吸烟	185 (2.52)	246 (3.35)	300 (4.09)	302 (4.12)		
从不吸烟	5 841 (79.60)	5 747 (78.33)	5 557 (75.73)	5 376 (73.26)		
饮酒 (%)					153.169 ^b	<0.001
现在饮酒	702 (9.57)	811 (11.05)	971 (13.23)	1 114 (15.18)		
过去饮酒	47 (0.64)	60 (0.82)	101 (1.38)	88 (1.20)		
从不饮酒	6 589 (89.79)	6 466 (88.13)	6 266 (85.39)	6 136 (83.62)		
糖尿病家族史 (%)					20.532 ^b	<0.001
是	607 (8.27)	719 (9.80)	712 (9.70)	762 (10.38)		
否	6 731 (91.73)	6 618 (90.20)	6 626 (90.30)	6 576 (89.62)		
FPG (mmol/L)	4.49 (4.16, 4.86)	4.58 (4.20, 5.02)	4.65 (4.24, 5.18)	4.81 (4.32, 5.41)	892.302 ^a	<0.001
H ^b A1c (mmol/L)	5.40 (5.20, 5.70)	5.50 (5.30, 5.80)	5.60 (5.30, 5.90)	5.70 (5.40, 6.00)	1 492.853 ^a	<0.001
TG (mmol/L)	0.91 (0.73, 1.16)	1.18 (0.93, 1.51)	1.48 (1.14, 1.93)	1.98 (1.47, 2.75)	10 455.240 ^a	<0.001
BMI (kg/m ²)	20.39 ± 1.52	23.08 ± 1.19	25.03 ± 1.33	28.05 ± 2.40	27 148.636 ^c	<0.001
SBP (mm Hg)	123.71 ± 17.60	130.85 ± 18.27	135.04 ± 18.19	138.85 ± 18.44	937.430 ^c	<0.001
DBP (mm Hg)	75.25 ± 9.93	78.75 ± 9.93	81.10 ± 10.05	83.62 ± 10.32	918.307 ^c	<0.001
TC (mmol/L)	4.67 ± 0.85	4.90 ± 0.88	4.97 ± 0.90	5.11 ± 1.00	302.948 ^c	<0.001
LDL - C (mmol/L)	2.60 ± 0.76	2.83 ± 0.79	2.86 ± 0.82	2.80 ± 0.91	155.474 ^c	<0.001
HDL - C (mmol/L)	1.62 ± 0.35	1.48 ± 0.31	1.36 ± 0.30	1.23 ± 0.34	1 916.213 ^c	<0.001

注: a 表示 H 检验值, b 表示 χ^2 检验值, c 表示 F 检验值。分类变量用 $n(\%)$ 表示, 连续变量用 $\bar{x} \pm s$ 或 $M(P_{25}, P_{75})$ 表示。

2.2 TyG - BMI 与 T2DM 发病风险的关联 随访至 2023 年末, 共随访 195 481.90 人年, 新发 T2DM 病例共 1 361 例 (男性 584 例, 女性 777 例), 总发病密度为 6.96 例每千人年。将 TyG - BMI 以连续变量为自变量, 是否新发 T2DM 为因变量, 建立 Cox 回归模型。

料比较 最终纳入 29 351 名符合条件的观察者。其中男性 11 804 名和女性 17 547 名, 中位年龄为 57.00 (49.00, 64.00) 岁, 平均 TyG - BMI 为 206.64 ± 34.17。根据观察对象的 TyG - BMI 四分位数进行分组 (Q1: TyG - BMI ≤ 182.19; Q2: 182.19 < TyG - BMI ≤ 204.43; Q3: 204.43 < TyG - BMI ≤ 228.46; Q4: 228.46 < TyG - BMI)。结果显示, 相比于 Q1 组, Q4 组男性、文化程度小学及以下、吸烟、饮酒及有糖尿病家族史的人数占比更高, 年龄、BMI、SBP、DBP、FPG、HbA1c、TG、TC 和 LDL - C 数值更高, HDL - C 数值更低 (P 值均 < 0.05)。见表 1。

在校正性别、年龄、文化程度、吸烟、饮酒、SBP、DBP、TC、LDL - C 和糖尿病家族史后, 结果显示, TyG - BMI 每升高 1 个 SD, T2DM 发病风险增加 58% ($HR = 1.58, 95\% CI: 1.50 \sim 1.66$)。

将 TyG - BMI 以分类变量为自变量, 是否新发

T2DM 为因变量,建立 Cox 回归模型。校正了上述相关因素后,与 Q1 组相比,Q2、Q3 和 Q4 组 T2DM 发病风险逐渐增加,HR 分别为 1.42 (95% CI: 1.15 ~

1.75)、2.02 (95% CI: 1.66 ~ 2.46) 和 3.47 (95% CI: 2.88 ~ 4.19) ($P_{趋势} < 0.001$)。见表 2。

表 2 TyG - BMI 与 T2DM 发病的 COX 回归分析

Table 2 Cox regression analysis of TyG - BMI and T2DM incidence

变量	发病例数	发病密度 (千人年)	HR(95% CI)		
			未调整模型	模型 I	模型 II
Per SD	1 361	6.96	1.65 (1.58 ~ 1.73)	1.63 (1.55 ~ 1.71)	1.58 (1.50 ~ 1.66)
Q1	143	2.81	1.00	1.00	1.00
Q2	240	4.79	1.69 (1.38 ~ 2.08)	1.49 (1.21 ~ 1.83)	1.42 (1.15 ~ 1.75)
Q3	358	7.24	2.56 (2.11 ~ 3.10)	2.17 (1.78 ~ 2.63)	2.02 (1.66 ~ 2.46)
Q4	620	12.82	4.51 (3.76 ~ 5.41)	3.90 (3.25 ~ 4.67)	3.47 (2.88 ~ 4.19)
$P_{趋势}$			<0.001	<0.001	<0.001

模型 I:调整性别、年龄;模型 II:在模型 I 的基础上进一步调整 SBP、DBP、TC、LDL - C、文化程度、吸烟、饮酒、糖尿病家族史。

2.3 TyG - BMI 与 T2DM 发病风险的剂量反应关系

以 TyG - BMI 连续变量的 P_5 、 P_{25} 、 P_{75} 和 P_{95} 四个百分位数为节点绘制限制性立方样条曲线,在校正性别、年龄、文化程度、吸烟、饮酒、SBP、DBP、TC、LDL - C 和糖尿病家族史后,结果显示,TyG - BMI 与 T2DM 发病风险之间存在非线性关系 ($\chi^2 = 287.583$, $P_{整体} < 0.001$; $\chi^2 = 6.081$, $P_{非线性} = 0.048$),T2DM 发病风险随着 TyG - BMI 水平的增加而增加。见图 2。

2.4 TyG - BMI 与 T2DM 发病风险的关联的亚组分析

结果显示,青年和中年人群 Q4 组 TyG - BMI 与 T2DM 发病风险的关联显著高于老年人群 (20 ~ 39 岁: $HR_{Q4 vs. Q1} = 6.61$; 40 ~ 59 岁: $HR_{Q4 vs. Q1} = 4.86$; 60 ~ 74 岁: $HR_{Q4 vs. Q1} = 2.74$),年龄与 TyG - BMI 对 T2DM 发病风险存在交互作用 ($P_{交互} < 0.05$)。性别、吸烟、饮酒和有无糖尿病家族史的亚组分析中未见显著交互作用 ($P_{交互} > 0.05$)。见表 3。

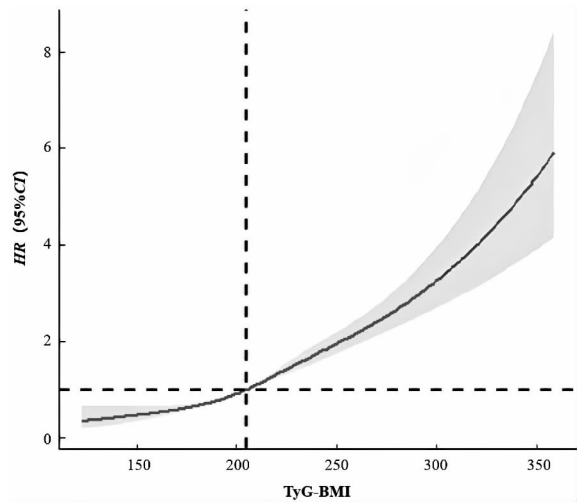


图 2 TyG - BMI 与 T2DM 发病风险之间的剂量反应关系
Fig. 2 Dose - response relationship between TyG - BMI and risk of developing T2DM

表 3 不同表型人群中 TyG - BMI 与 T2DM 之间的关联

Table 3 Association between TyG - BMI and T2DM in different phenotypic populations

分组	人数	HR(95% CI)				$P_{交互}$
		Q1	Q2	Q3	Q4	
性别						0.943
男	11 804	1.00	1.51 (1.08 ~ 2.11)	2.18 (1.60 ~ 2.98)	3.69 (2.73 ~ 4.99)	
女	17 547	1.00	1.37 (1.05 ~ 1.79)	1.92 (1.49 ~ 2.48)	3.37 (2.64 ~ 4.30)	
年龄(岁)						0.031
20 ~ 39	3 403	1.00	1.83 (0.49 ~ 6.91)	1.24 (0.23 ~ 6.68)	6.61 (2.02 ~ 21.64)	
40 ~ 59	13 759	1.00	2.02 (1.42 ~ 2.88)	2.65 (1.88 ~ 3.75)	4.86 (3.47 ~ 6.79)	
60 ~ 74	12 189	1.00	1.11 (0.85 ~ 1.45)	1.70 (1.33 ~ 2.17)	2.74 (2.17 ~ 3.46)	
吸烟						0.546
现在吸烟	5 797	1.00	1.70 (1.08 ~ 2.66)	2.31 (1.50 ~ 3.55)	3.69 (2.44 ~ 5.60)	
过去吸烟	1 033	1.00	0.81 (0.29 ~ 2.24)	2.05 (0.87 ~ 4.79)	2.52 (1.07 ~ 5.91)	
从不吸烟	22 521	1.00	1.39 (1.09 ~ 1.77)	1.94 (1.54 ~ 2.44)	3.51 (2.82 ~ 4.37)	
饮酒						0.172
现在饮酒	3 598	1.00	2.75 (1.44 ~ 5.28)	3.09 (1.64 ~ 5.84)	4.75 (2.56 ~ 8.83)	
过去饮酒	296	1.00	3.97 (0.46 ~ 34.50)	2.09 (0.24 ~ 18.29)	4.01 (0.49 ~ 33.03)	
从不饮酒	25 457	1.00	1.27 (1.02 ~ 1.59)	1.92 (1.56 ~ 2.37)	3.36 (2.75 ~ 4.01)	

(续表)

分组	人数	HR(95% CI)				P _{交互}
		Q1	Q2	Q3	Q4	
糖尿病家族史						0.486
有	2 800	1.00	1.88(0.90 ~ 3.92)	3.06(1.52 ~ 6.15)	5.70(2.90 ~ 11.19)	
无	26 551	1.00	1.39(1.12 ~ 1.73)	1.94(1.58 ~ 2.39)	3.30(2.71 ~ 4.01)	

注:模型调整了性别、年龄、SBP、DBP、TC、LDL-C、文化程度、吸烟、饮酒、糖尿病家族史。

3 讨论

本研究基于上海郊区自然人群队列探索成人 TyG - BMI 与 T2DM 发病之间的关联,结果显示在血糖正常的健康成人中,较高的 TyG - BMI 水平与新发 T2DM 呈正相关。在校正混杂因素后, TyG - BMI 每增加 1 个 SD, T2DM 发病风险增加 58%。TyG - BMI 最高四分位组 T2DM 发病风险是最低四分位组的 3.47 倍。表明 TyG - BMI 对 T2DM 新发风险具有一定的提示作用。TyG - BMI 是一种涉及 FPG、TG 和 BMI 的新型指数,与 T2DM 发病关系的潜在机制目前尚不清楚,可能与 IR 有关。IR 和胰岛 β 细胞功能缺陷已被证实是 T2DM 的关键致病因素^[13]。研究显示在 FPG 水平正常的成人中,随着 FPG 升高,胰岛素敏感性下降^[14]。TG 水平与正常糖耐量患者的 IR 呈正相关,与血脂异常患者的 β 细胞功能呈负相关^[15]。既往研究表明 TG 累积可诱导细胞应激,从而导致脂毒性促进肝脏、肌肉及脂肪中 IR 的发生^[16]。高 BMI 是公认的糖尿病危险因素之一^[1,17]。肥胖引起的全身慢性炎症,可诱发 IR 最终导致 T2DM^[18]。

国内一随访 3 年的大型成人体检队列研究发现,在女性和 50 岁以下人群中 TyG - BMI 与糖尿病前期的发病风险关联更高^[19]。日本一项随访 13 年的成人队列研究结果显示,基线 TyG - BMI 与 T2DM 发病风险成正相关,且这种风险在女性和年轻人中相对更高^[9]。Jiang 等人通过横断面研究发现,早发性 T2DM 患者(18 ~ 39 岁)相比于晚发型 T2DM 患者(≥ 40 岁),TyG - BMI 水平更高^[20]。本次研究结果显示,青年人和中年人高水平 TyG - BMI 与 T2DM 发病风险的关联显著高于老年人,但未发现性别与 TyG - BMI 的交互作用。不同年龄层 TyG - BMI 与 T2DM 发病风险关联不同这一现象可能与随着社会快速发展,人口老龄化的加剧,青年人和中年人的社会压力日益增加,生活娱乐方式也发生转变,更易养成不健康的生活方式,进而影响机体代谢有关^[21-23]。

本研究数据来源于队列人群,具有较大的样本量及较长的随访时间,暴露与结局符合因果关系的时间逻辑顺序,研究结果较为可靠。同时,本研究也存在一定的局限性。研究中 T2DM 新发数据来源于医疗系统和糖尿病管理系统,可能会存在部分遗漏,导致

糖尿病发病率低于实际情况;研究所分析的队列人群均为上海市郊区常住居民,研究结果的外推可能具有一定局限性;本次研究只分析了基线数据,无法评估 TyG - BMI 水平动态变化对 T2DM 发病的影响。

综上所述, TyG - BMI 水平升高与 T2DM 发病风险的增加有关,在青、中年人群中这种关联更加明显。在后续研究中,将进一步探索 TyG - BMI 动态变化对 T2DM 发病风险的影响。

利益冲突声明 本研究不存在任何利益冲突

参考文献

- [1] GBD 2021 Diabetes Collaborators. 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 [J]. *Lancet*, 2023, 402(10397): 203 - 234.
- [2] International Diabetes Federation. IDF Diabetes Atlas 2021 [EB/OL]. [2024 - 10 - 29]. <https://diabetesatlas.org/atlas/tenth-edition/>.
- [3] Lee SH, Park SY, Choi CS. Insulin resistance: from mechanisms to therapeutic strategies [J]. *Diabetes & Metabolism Journal*, 2022, 46(1): 15 - 37.
- [4] Kim JK. Hyperinsulinemic - euglycemic clamp to assess insulin sensitivity in vivo [J]. *Methods in Molecular Biology*, 2009, 560: 221 - 238.
- [5] 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]. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 2010, 95(7): 3347 - 3351.
- [6] Unger G, Benozzi SF, Peruzzo F, et al. Triglycerides and glucose index: a useful indicator of insulin resistance [J]. *Endocrinologia y Nutricion: Organo de La Sociedad Espanola de Endocrinologia y Nutricion*, 2014, 61(10): 533 - 540.
- [7] 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.
- [8] Wang XY, Liu JD, Cheng ZY, et al. Triglyceride glucose - body mass index and the risk of diabetes: a general population - based cohort study [J]. *Lipids in Health and Disease*, 2021, 20(1): 99.
- [9] Song B, Zhao XF, Yao TC, 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]. *Frontiers in Endocrinology*, 2022, 13: 907973.
- [10] 葛旭红, 胡洁怡, 白云瑞, 等. 三酰甘油 - 葡萄糖指数及其衍生指数与 2 型糖尿病发病关系的巢式病例对照研究 [J]. *中国全科医学*, 2023, 26(12): 1456 - 1462.

- Ge XH, Hu JY, Bai YR, et al. Association between triglyceride – glucose index and its derivatives index and the development of type 2 diabetes; a nested case – control study [J]. Chinese General Practice, 2023, 26(12): 1456 – 1462. (In Chinese)
- [11] 赵琦, 刘星, 姜永根, 等. 上海郊区自然人群队列和生物样本库建设[J]. 中华流行病学杂志, 2023, 44(1): 28 – 33.
- Zhao Q, Liu X, Jiang YG, et al. Establishment of Shanghai suburban adult cohort and biobank [J]. Chinese Journal of Epidemiology, 2023, 44(1): 28 – 33. (In Chinese)
- [12] Harreiter J, Roden M. [Diabetes mellitus: definition, classification, diagnosis, screening and prevention (Update 2023)] [J]. Wiener Klinische Wochenschrift, 2023, 135(Suppl 1): 7 – 17.
- [13] Roden M, Shulman GI. The integrative biology of type 2 diabetes [J]. Nature, 2019, 576(7785): 51 – 60.
- [14] O'malley G, Santoro N, Northrup V, et al. High normal fasting glucose level in obese youth: a marker for insulin resistance and beta cell dysregulation [J]. Diabetologia, 2010, 53(6): 1199 – 1209.
- [15] Ma ML, Liu HB, Yu J, et al. Triglyceride is independently correlated with insulin resistance and islet beta cell function: a study in population with different glucose and lipid metabolism states [J]. Lipids in Health and Disease, 2020, 19(1): 121.
- [16] Da silva rosa SC, Nayak N, Caymo AM, et al. Mechanisms of muscle insulin resistance and the cross – talk with liver and adipose tissue [J]. Physiological Reports, 2020, 8(19): e14607.
- [17] Jayedi A, Soltani S, Motlagh SZT, et al. Anthropometric and adiposity indicators and risk of type 2 diabetes: systematic review and dose – response meta – analysis of cohort studies [J]. BMJ (Clinical Research ed.), 2022, 376: e067516.
- [18] Rohm TV, Meier DT, Olefsky JM, et al. Inflammation in obesity, diabetes, and related disorders [J]. Immunity, 2022, 55(1): 31 – 55.
- [19] Jiang CY, Yang RJ, Kuang MB, et al. Triglyceride glucose – body mass index in identifying high – risk groups of pre – diabetes [J]. Lipids in Health and Disease, 2021, 20(1): 161.
- [20] Jiang Y, Lai X. Clinical features of early – onset type 2 diabetes and its association with triglyceride glucose – body mass index: a cross – sectional study [J]. Frontiers in Endocrinology, 2024, 15: 1356942.
- [21] GBD 2021 Demographics Collaborators. Global age – sex – specific mortality, life expectancy, and population estimates in 204 countries and territories and 811 subnational locations, 1950 – 2021, and the impact of the COVID – 19 pandemic: a comprehensive demographic analysis for the Global Burden of Disease Study 2021 [J]. Lancet, 2024, 403(10440): 1989 – 2056.
- [22] Alonzo R, Hussain J, Stranges S, et al. Interplay between social media use, sleep quality, and mental health in youth: A systematic review [J]. Sleep Medicine Reviews, 2021, 56: 101414.
- [23] Niebuur J, Vonk JM, Du YH, et al. Lifestyle factors related to prevalent chronic disease multimorbidity: A population – based cross – sectional study [J]. PLOS One, 2023, 18(7): e0287263.

收稿日期: 2024-08-22

(上接第 4572 页)

- Zhou QH, He JC, Wang Y, et al. Molecular transmission network characteristics among 472 newly HIV – 1 infected individuals from the MSM in Chongqing, 2019 – 2021 [J]. Chinese Journal of AIDS & STD, 2022, 28(12): 1370 – 1374. (In Chinese)
- [12] Feng Y, Takebe Y, Wei HM, et al. Geographic origin and evolutionary history of China's two predominant HIV – 1 circulating recombinant forms, CRF07_BC and CRF08_BC [J]. Scientific Reports, 2016, 6: 19279.
- [13] Ma N, Chen XH, Zhao Y, et al. HIV – 1 molecular transmission network among sexually transmitted populations in Liaoning Province, China [J]. Medicine, 2021, 100(28): e26640.
- [14] 杨作凯, 卢巧玲, 单杏仁, 等. 浙江省绍兴市 50 岁及以上人群 HIV – 1 分子网络和传播簇特征分析 [J]. 疾病监测, 2022, 37(3): 367 – 372.
- Yang ZK, Lu QL, Shan XR, et al. Characteristics of HIV – 1 molecular transmission network and cluster in population aged 50 and above in Shaoxing, Zhejiang [J]. Disease Surveillance, 2022, 37(3): 367 – 372. (In Chinese)
- [15] 潘婷婷. 安徽阜阳 HIV – 1 感染人群分子传播网络及耐药毒株流行特征研究 [D]. 合肥: 安徽医科大学, 2023.
- Pan TT. Molecular transmission network and epidemic characteristics of drug – resistant strains in HIV – 1 infected population in Fuyang, Anhui [D]. Hefei: Anhui Medical University, 2023. (In Chinese)
- [16] 刘丹丹, 曹晓斌. 我国 ≥ 50 岁男性艾滋病感染危险因素研究进展 [J]. 中国艾滋病性病, 2020, 26(3): 325 – 326, 330.
- Liu DD, Cao XB. Research progress on risk factors of HIV/AIDS infection in men aged 50 years and over in China [J]. Chinese Journal of AIDS & STD, 2020, 26(3): 325 – 326, 330. (In Chinese)
- [17] 李宇, 李卉, 马彦民, 等. 河南省部分地区 60 岁及以上 HIV/AIDS 病例高危行为与相关因素的定性研究 [J]. 中华流行病学杂志, 2017, 38(9): 1161 – 1164.
- Li N, Li H, Ma YM, et al. A qualitative study on high risk behaviors and related factors of reported HIV/AIDS cases aged 60 years and above in some areas of Henan province [J]. Chinese Journal of Epidemiology, 2017, 38(9): 1161 – 1164. (In Chinese)
- [18] 苟钊, 艾雨, 许文平, 等. 泸州市新报告 HIV – 1 感染者基因亚型及分子传播特征研究 [J]. 现代预防医学, 2024, 51(7): 1302 – 1307, 1319.
- Gou Z, Ai Y, Xu WP, et al. Study on gene subtypes and molecular transmission characteristics of newly reported HIV – 1 infection in Luzhou city [J]. Modern Preventive Medicine, 2024, 51(7): 1302 – 1307, 1319. (In Chinese)
- [19] 陈方方, 马凯芳, 张晓婷, 等. 2015—2019 年我国新报告 50 岁及以上异性传播艾滋病感染者/患者性别比分析 [J]. 疾病监测, 2022, 37(5): 618 – 622.
- Chen FF, Ma KF, Zhang XT, et al. Analysis of sex ratio of newly reported people living with HIV/AIDS aged ≥ 50 years and infected through heterosexual contact in China, 2015 – 2019 [J]. Disease Surveillance, 2022, 37(5): 618 – 622. (In Chinese)
- [20] 林焕年. 我国西部地区中老年 HIV/AIDS 病例流行特点、危险因素与防控策略的研究进展 [J]. 预防医学论坛, 2023, 29(6): 477 – 480.
- Lin HN. Research progress on the epidemiological characteristics, risk factors and prevention and control strategies of middle – aged and elderly HIV/AIDS cases in the western region of China [J]. Preventive Medicine Tribune, 2023, 29(6): 477 – 480. (In Chinese)

收稿日期: 2024-05-28