



甘油三酯葡萄糖-体重指数与夜间高血压患者夜间血压水平的相关性

杜雨星, 付家瑞, 邹家亮, 俞宏达, 魏茂提, 高宏伟, 杨宁, 李玉明

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16439/j.issn.1673-7245.2025-0167>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

甘油三酯葡萄糖指数、甘油三酯葡萄糖体重指数、甘油三酯/高密度脂蛋白胆固醇比值与高血压患者动态血压指标的相关性

中华高血压杂志. 2025, 33(2): 171-179 <https://doi.org/10.16439/j.issn.1673-7245.2025.02.011>

新疆维吾尔族人群甘油三酯-葡萄糖指数纵向轨迹与新发高血压的关系

中华高血压杂志. 2023, 31(10): 945-952 <https://doi.org/10.16439/j.issn.1673-7245.2023.10.010>

老年血脂异常患者体重指数与高血压患病风险的关系

中华高血压杂志. 2025, 33(4): 370-377 <https://doi.org/10.16439/j.issn.1673-7245.2025.04.011>

自动诊室血压测量与高血压诊断截点

中华高血压杂志. 2024, 32(5): 447-452 <https://doi.org/10.16439/j.issn.1673-7245.2024.05.008>

夜间血压的季节性及其与靶器官损害的关联性

中华高血压杂志. 2023, 31(9): 882-882 <https://doi.org/10.16439/j.issn.1673-7245.2023.09.015>

三酰甘油-葡萄糖乘积指数与肥胖对蒙古族高血压患病的交互作用

中华高血压杂志. 2023, 31(1): 78-84 <https://doi.org/10.16439/j.issn.1673-7245.2023.01.015>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

甘油三酯葡萄糖-体重指数与夜间高血压患者夜间血压水平的相关性

杜雨星¹, 付家瑞², 邹家亮¹, 俞宏达³, 魏茂提⁴, 高宏伟⁵, 杨宁⁶, 李玉明⁶

1. 天津医科大学心血管病临床学院, 天津 300070; 2. 天津医科大学公共卫生学院; 3. 天津市胸科医院心内科; 4. 天津市泰达国际心血管病医院临床流行病学中心; 5. 天津康汇医院慢病管理部; 6. 天津康汇医院高血压科

摘要: **目的** 探讨甘油三酯葡萄糖-体重指数(TyG-BMI)与夜间高血压(NH)人群夜间动态血压参数的相关性。**方法** 采用横断面研究设计。纳入2020年1月—2023年3月期间就诊于泰达国际心血管病医院高血压科及2023年9月—2025年4月天津康汇医院高血压科门诊的NH患者共1301例作为研究对象,收集患者资料并计算其TyG-BMI,将患者按TyG-BMI四分位数分组,应用广义线性模型分析不同TyG-BMI分组与夜间动态血压参数的关联,按照年龄、性别、吸烟情况、饮酒情况以及入组时间划分亚组进行分层分析。绘制限制性立方样条图(RCS曲线)分析TyG-BMI与NH患者发生靶器官损害的关系。**结果** 总人群平均年龄为(47.75±13.55)岁, TyG-BMI均值为243.17±42.31。TyG-BMI四分位组间夜间平均收缩压、夜间平均舒张压、夜间平均心率差异有统计学意义(均 $P<0.05$)。广义线性模型结果显示,在校正混杂因素后,与第1四分位组比较, TyG-BMI最高四分位组的夜间平均收缩压、夜间平均舒张压、夜间平均心率分别高5.14 mmHg(95%CI: 2.65~7.62, $P<0.001$)、3.99 mmHg(95%CI: 2.18~5.80, $P<0.001$)、2.46次/min(95%CI: 1.06~3.85, $P<0.001$)。排除年龄 ≥ 60 岁人群($n=1014$)以及糖尿病人群($n=109$)后分别进行敏感性分析,结果与主要分析结果相似。亚组分析结果表明, TyG-BMI不同分组与年龄、性别、吸烟及饮酒之间存在交互作用(均 $P<0.05$)。在年龄 <45 岁及女性人群中, TyG-BMI较高分位组的夜间平均收缩压升高更为显著,分别为7.11(95%CI: 3.78~10.43)mmHg、8.93(95%CI: 4.29~13.56)mmHg。限制性立方样条图显示, TyG-BMI($P_{\text{总体}}=0.017$, $P_{\text{非线性}}=0.011$)与NH人群靶器官损害风险之间存在非线性相关。**结论** 在NH患者中, TyG-BMI与夜间动态血压水平呈正相关。与TyG-BMI第1四分位组相比,年龄 <45 岁人群TyG-BMI最高四分位组的夜间平均收缩压增幅高于年龄 ≥ 45 岁人群,女性人群TyG-BMI最高四分位组夜间平均收缩压增幅高于男性人群。

关键词: 夜间高血压; 甘油三酯葡萄糖-体重指数; 动态血压; 靶器官损害

The correlation between triglyceride glucose-body mass index and nocturnal blood pressure levels in patients with nocturnal hypertension

DU Yuxing¹, FU Jiarui², ZOU Jialiang¹, CHOU Hongda³, WEI Maoti⁴, GAO Hongwei⁵, YANG Ning⁶, LI Yuming⁶

1. Clinical School of Cardiovascular Diseases, Tianjin Medical University, Tianjin 300070, China; 2. School of Public Health, Tianjin Medical University; 3. Department of Cardiology, Tianjin Chest Hospital; 4. Center for Clinical Epidemiology, TEDA International Cardiovascular Hospital; 5. Department of Chronic Disease Management, Tianjin Kanghui Hospital; 6. Department of Hypertension, Tianjin Kanghui Hospital

Abstract: **Objective** To explore the correlation between triglyceride glucose-body mass index (TyG-BMI) and nocturnal ambulatory blood pressure parameters in nocturnal hypertension (NH) population. **Methods** A cross-sectional study design was adopted. A total of 1301 patients with NH attending the Hypertension Department of TEDA International Cardiovascular Disease Hospital between January 2020 and March 2023 and the Hypertension Department of Tianjin Kanghui Hospital between September 2023 and April 2025 were selected as the study subjects, and the patients' data were collected and the TyG-BMI was calculated, and patients were grouped into quartiles according to TyG-BMI. A generalised linear model was applied to analyse the association between TyG-BMI groups and nocturnal ambulatory blood pressure parameters. Stratified analyses were conducted according to age, gender, smoking status, alcohol consumption and

enrollment period. A restricted cubic curve (RCS curve) was drawn to analyse the correlation between TyG-BMI and the occurrence of target organ damage in patients with NH. **Results** The mean age of the total population was (47.75 ± 13.55) years old, and the mean TyG-BMI was 243.17 ± 42.31 . The differences of the mean nocturnal systolic blood pressure, mean nocturnal diastolic blood pressure, and mean nocturnal heart rate among the 4 groups were statistically significant ($P < 0.05$). The results of the generalised linear model showed that, after correcting for confounders, compared with the first quartile group, the nocturnal systolic blood pressure, nocturnal diastolic blood pressure, and nocturnal heart rate were higher in the highest quartile group of the TyG-BMI by 5.14 mmHg (95%CI: 2.65 to 7.62, $P < 0.001$), 3.99 mmHg (95%CI: 2.18 to 5.80, $P < 0.001$), and 2.46 beats/min (95%CI: 1.06 to 3.85, $P < 0.001$). Sensitivity analyses were conducted after excluding individuals aged ≥ 60 years ($n=1\ 014$) and those with diabetes ($n=1\ 109$), yielding results consistent with the primary analysis. The results of subgroup analyses showed that there was an interaction between different subgroups of TyG-BMI and age, gender, smoking and alcohol consumption (all $P < 0.05$). In the <45 -year-old and female populations, the nocturnal systolic blood pressure was more significantly elevated in the higher tertile groups of TyG-BMI, which were 7.11 mmHg (95%CI: 3.78 to 10.43) and 8.93 mmHg (95%CI: 4.29 to 13.56), respectively. Restricted cubic plots showed a nonlinear correlation between TyG-BMI ($P_{\text{overall}}=0.017$, $P_{\text{nonlinear}}=0.011$) and risk of target organ injury in the NH population. **Conclusion** In NH patients, TyG-BMI showed a positive correlation with nocturnal ambulatory blood pressure levels. Compared with the first quartile, the increase in mean nocturnal systolic blood pressure was greater in the highest TyG-BMI quartile among those aged <45 years than in those aged ≥ 45 years. Furthermore, the increase in nocturnal systolic blood pressure was higher in the highest TyG-BMI quartile groups among female patients than in male patients.

Keywords: nocturnal hypertension; triglyceride glucose-body mass index; ambulatory blood pressure; target organ damage

夜间高血压(nocturnal hypertension, NH)作为隐性高血压的一种重要表型,与心血管事件、靶器官损害及全因死亡率显著相关^[1-3],其病理机制复杂且临床识别难度较高。近年来,胰岛素抵抗(insulin resistance, IR)作为代谢性疾病的主要指标,被认为是与糖尿病相关的心血管并发症的预测指标,不仅导致代谢紊乱还加剧了心血管风险^[4]。最近的数据表明,IR与高血压前期及高血压风险之间存在关联^[5-8],且有研究发现,多种IR标志物与NH发生风险呈正相关^[9]。而甘油三酯葡萄糖-体重指数(triglyceride glucose-body mass index, TyG-BMI)作为整合空腹甘油三酯、空腹血糖和体重指数的复合指标,已被证实在预测心血管疾病风险方面具有重要作用^[10-11]。但既往关于TyG-BMI和NH的关系研究较少,本研究旨在探讨TyG-BMI与NH患者夜间血压的相关性,为该人群的早期控制和预防提供新的思路。

1 对象与方法

1.1 对象 本研究收集2020年1月—2023年3月期间就诊于泰达国际心血管病医院高血压科的患者(1 049例)及2023年9月—2025年4月天津康汇医院高血压科门诊(804例)行24 h动态血压监测(ambulatory blood pressure monitoring, ABPM)的患者资料,根据纳排标准排除552例,最终纳入NH患者1 301例。

纳入标准:①年龄 ≥ 18 周岁;②符合《中国高血压

防治指南(2024年修订版)》^[12]中NH的定义,即24 h ABPM中发现夜间平均收缩压 ≥ 120 mmHg (1 mmHg=0.133 kPa)和/或夜间平均舒张压 ≥ 70 mmHg。排除标准:①急性心脑血管并发症(心力衰竭、心肌梗死、脑梗死、脑出血等)患者;②急性肾功能不全或慢性肾脏病终末期,定义为估算的肾小球滤过率(estimated glomerular filtration rate, eGFR) < 30 mL/(min $\cdot 1.73$ m²);③病例资料严重缺失者;④ABPM记录时间不足或无效记录占总血压记录的20%以上者;⑤干扰血压或代谢的因素,如继发性高血压(肾动脉狭窄、原发性醛固酮增多症)、妊娠或哺乳期女性等。

本研究已获得泰达国际心血管病医院伦理委员会批准(临床伦理批号:临研审[2022]-1115-1号)和天津康汇医院伦理委员会批准(临床伦理批号:KHYY012)。所有研究对象均同意参加本研究并签署知情同意书。

1.2 资料收集

1.2.1 临床资料收集 收集研究对象的基本人口学特征(姓名、性别、年龄等)、既往病史(高血压、冠心病、糖尿病、脑血管疾病等)、用药史、吸烟及饮酒等信息。

1.2.2 实验室资料 收集受试者空腹8 h以上的肘静脉血5 mL,使用经过校正的全自动生化分析仪检测空腹血糖、总胆固醇、甘油三酯、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)、尿酸、肌酐等生化指标以及收集患者尿液用于检测尿微量白蛋白/肌酐比(urinary albumin/creatinine ratio, UACR)

和白蛋白排泄率。

1.2.3 影像学资料 收集患者就诊当日或次日的心电图、颈动脉超声、心脏超声,心电图指标包括 Sokolow-Lyons 指数($R_{vs} + S_{vl}$)。颈动脉超声指标包括内膜中层厚度(intima-media thickness, IMT)和粥样斑块。心脏超声指标包括左心室舒张末期内径(left ventricular end-diastolic diameter, LVDD)、舒张末期室间隔厚度(interventricular septum thickness at end-diastole, IVSTd)、舒张末期左心室后壁厚度(left ventricular posterior wall thickness at end-diastole, LVPWTd)。

1.2.4 24 h ABPM 采用德国 MOBIL GRAPH24HABP-CONTROL 系列动态血压仪 Mobil-O-Graph®NG 进行 24 h ABPM。根据患者臂围选择大小合适的袖带,测量患者双侧上臂血压,选择血压较高一侧上臂进行监测,同时告知患者测量时测量侧手臂需保持静止不动。自动测量时间间隔设定为:日间(08:00—22:00)每 30 min 测量一次,夜间(22:00—08:00)每 60 min 测量一次,根据《2020 中国动态血压检测指南》^[13] 要求收集夜间血压相关参数,保证夜间至少有 7 个有效读数,整个 24 h 期间有效血压占总监测次数的 70% 及以上。

1.2.5 四肢血压测量 使用全自动动脉硬化检测仪 BP-203RPEIII(日本 OMRON)测量,检测时受试者仰卧静息 5 min,将尺寸合适的袖带分别固定于患者双上臂及踝部进行两次同步测量,取双侧臂-踝动脉脉搏波传导速度(brachial-ankle pulse wave velocity, baPWV)较高一侧的数值、踝肱指数较低一侧的数值进行记录。

1.3 相关定义及诊断标准

1.3.1 高血压 根据《中国高血压防治指南(2024 年修订版)》^[12],高血压定义为收缩压 ≥ 140 mmHg 和/或舒张压 ≥ 90 mmHg 或正在服用降压药者。1 级高血压定义为收缩压 140~159 mmHg 和/或舒张压 90~99 mmHg,2 级高血压定义为收缩压 160~179 mmHg 和/或舒张压 100~109 mmHg,3 级高血压定义为收缩压 ≥ 180 mmHg 和/或舒张压 ≥ 110 mmHg。

1.3.2 冠心病 根据《稳定性冠心病诊断与治疗指南》^[14],冠状动脉造影发现心外膜下冠状动脉直径狭窄 $> 50\%$,且患者有典型心绞痛症状或无创性检查显示患者有心肌缺血证据,可诊断为冠心病。

1.3.3 糖尿病 根据《中国 2 型糖尿病防治指南(2020 年版)》^[15],空腹血糖 ≥ 7.0 mmol/L 或正在口服降糖药为糖尿病。

1.3.4 脑血管疾病 根据《脑血管病防治指南(2024 年版)》^[16],定义为患者既往有二级及以上医院的诊断史,包括脑梗死、脑出血、蛛网膜下腔出血和颅内静脉血栓形成。

1.3.5 吸烟 定义为每天至少吸 1 支烟,且持续 1 年

以上^[17]。

1.3.6 饮酒 定义为近 1 年平均每日饮白酒(酒精含量 50% 以上)100 mL,持续 1 年以上^[17]。

1.3.7 靶器官损害 根据《中国高血压防治指南(2024 年修订版)》^[12],符合 $R_{vs} + S_{vl} > 3.8$ mV、LVMI ≥ 109 (男)或 105 g/m²(女)、IMT ≥ 0.9 mm 或动脉粥样斑块、颈-股动脉脉搏波传导速度 ≥ 10 m/s、baPWV ≥ 18 m/s、踝肱指数 < 0.9 、eGFR 30~59 mL/(min·1.73 m²)、肌酐轻度升高(男性 115~133 μ mol/L,女性 107~124 μ mol/L)、UACR 30~300 mg/g 或白蛋白排泄率 30~300 mg/24 h 之一。

1.3.8 指标计算及分组情况 TyG-BMI= $\ln[\text{甘油三酯(mg/dL)} \times \text{空腹血糖(mg/dL)} / 2] \times \text{BMI}$ ^[18]。将 TyG-BMI 按四分位数分组分为第 1 四分位组(< 214.44 , $n=325$)、第 2 四分位组($214.44 \sim < 240.67$, $n=325$)、第 3 四分位组($240.67 \sim < 267.60$, $n=326$)、第 4 四分位组(≥ 267.60 , $n=325$)。

应用改良的简化 CKD-KPI 方程计算 eGFR^[19]: $\text{eGFR} = a \times (\text{肌酐}/b)^c \times (0.993)^{\text{年龄}}$; a 值:女性=144,男性=141; b 值:女性=0.7,男性=0.9; c 值:女性,肌酐 ≤ 0.7 mg/dL 时, $c = -0.329$,肌酐 > 0.7 mg/dL 时, $c = -1.209$; 男性,肌酐 ≤ 0.9 mg/dL 时, $c = -0.411$,肌酐 > 0.9 mg/dL 时, $c = -1.209$ 。肌酐, 1 mg/dL=88.4 μ mol/L。

应用 Deiereux 公式,计算左心室质量指数(left ventricular mass index, LVMI)^[20]。左心室质量= $0.8 \times 1.04 \times [(IVSTd + LVPWTd + LVDD)^3 - LVDD^3] + 0.6$; 体表面积= $0.0061 \times \text{身高(cm)} + 0.0128 \times \text{体重(kg)} - 0.1529$; LVMI=左心室质量/体表面积。

1.4 统计学方法 本研究采用 SPSS 27.0、R 4.3.0 统计分析软件。正态分布的计量资料以均值 $\pm$ 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,多组间比较采用方差分析,若方差齐则进一步以最小显著差异法进行两两比较,否则采用 Tamhane's T_2 检验;偏态分布的计量资料以中位数(P_{25} , P_{75})表示,组间比较采用 Kruskal-Wallis H 检验,组间两两比较采用 Bonferroni 法。分类变量用例(%)表示,组间比较采用 χ^2 检验或 Fisher 精确检验。将患者按 TyG-BMI 四分位数分组,应用广义线性模型分析 TyG-BMI 分组与夜间血压参数的关联,并根据年龄、性别、吸烟情况、饮酒情况以及入组时间划分亚组进行分层分析。采用限制性立方样条图评估 TyG-BMI 与发生靶器官损伤风险的潜在非线性关系。采用双侧检验,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 基线资料 本次研究最终纳入统计分析 1 301 人,

结果显示总人群平均年龄为(47.75±13.55)岁,TyG-BMI 指数均值为 243.17±42.31,发生靶器官损害共 708 例(54.42%)。其中不同 TyG-BMI 组人群的年龄、性别、BMI、吸烟、饮酒、糖尿病、高血压等级、用降糖药、空腹血糖、甘油三酯、总胆固醇、HDL-C、LDL-C、尿酸差异有统计学意义(均 $P<0.05$),而高血压持续时间、用降压药、用降脂药、冠心病、脑血管疾病差异无统计学意义($P>0.05$),见表 1。

表 1 TyG-BMI 四分位组研究对象基线资料
Table 1 Baseline characteristics of participants in the TyG-BMI quartile study

组别 Group	例数 <i>n</i>	年龄(岁) Age (years)	男性[<i>n</i> (%)] Male	BMI (kg/m ²)	吸烟[<i>n</i> (%)] Smoking	饮酒[<i>n</i> (%)] Drinking	冠心病[<i>n</i> (%)] CHD	糖尿病[<i>n</i> (%)] Diabetes
第1四分位 Q1	325	48.64±14.98	158 (48.62)	22.87±1.86	54 (16.62)	41 (12.62)	20 (6.15)	29 (8.92)
第2四分位 Q2	325	49.66±13.43	220 (67.69)	25.68±1.43 ^a	82 (25.23)	59 (18.15)	19 (5.85)	38 (11.69)
第3四分位 Q3	326	48.48±13.21	256 (78.53)	28.09±1.49 ^{ab}	119 (36.50)	96 (29.45)	21 (6.44)	50 (15.34)
第4四分位 Q4	325	44.23±11.80 ^{abc}	254 (78.15)	31.79±3.23 ^{abc}	141 (43.39)	95 (29.23)	10 (3.08)	75 (23.08)
总人群 Total	1 301	47.75±13.55	888 (68.26)	27.11±3.91	396 (30.44)	291 (22.37)	70 (5.38)	192 (14.76)
$\chi^2/H/F$ 值		10.489	88.477	1 025.413	64.881	39.351	4.629	29.190
<i>P</i> 值		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.201	<0.001

组别 Group	脑血管疾病[<i>n</i> (%)] Cerebrovascular diseases	血压正常 Controlled	高血压分级[<i>n</i> (%)] Grade of hypertension			高血压持续时间[<i>n</i> (%)] Course of hypertension			
			1级	2级	3级	<1年	1~<5年	5~<10年	≥10年
			Grade 1	Grade 2	Grade 3	< 1 year	1 to < 5 years	5 to < 10 years	≥ 10 years
第1四分位 Q1	12 (3.69)	110 (33.85)	131 (40.31)	63 (19.39)	21 (6.46)	83 (25.54)	103 (31.69)	85 (26.15)	54 (16.62)
第2四分位 Q2	19 (5.85)	112 (34.46)	121 (37.23)	63 (19.39)	29 (8.92)	80 (24.62)	108 (33.23)	75 (23.08)	62 (19.08)
第3四分位 Q3	15 (4.60)	92 (28.22)	140 (42.95)	70 (21.47)	24 (7.36)	74 (22.70)	108 (33.13)	71 (21.78)	73 (22.39)
第4四分位 Q4	20 (6.15)	90 (27.69)	116 (35.69)	67 (20.62)	52 (16.00)	73 (22.46)	103 (31.69)	71 (21.85)	78 (24.00)
总人群 Total	66 (5.07)	404 (31.05)	508 (39.05)	263 (20.22)	126 (9.69)	310 (23.83)	422 (32.44)	302 (23.21)	267 (20.52)
$\chi^2/H/F$ 值	0.452		26.052					8.118	
<i>P</i> 值	2.629		0.002					0.522	

组别 Group	降压药[<i>n</i> (%)] Antihypertensive drugs use				用降糖药[<i>n</i> (%)] Hypoglycemic drugs use	用他汀类药物 [<i>n</i> (%)] Statins use	TyG-BMI	靶器官损害 [<i>n</i> (%)] Target organ damage
	未用药	1种	2种	≥3种				
	Not used	1	2	≥3				
第1四分位 Q1	65 (20.00)	161 (49.54)	82 (25.23)	17 (5.23)	25 (7.69)	45 (13.85)	193.15±16.54	170 (52.31)
第2四分位 Q2	65 (20.00)	162 (49.85)	67 (20.62)	31 (9.54)	27 (8.31)	45 (13.85)	227.23±7.60 ^a	178 (54.77)
第3四分位 Q3	71 (21.78)	159 (48.77)	65 (19.94)	31 (9.51)	29 (8.90)	55 (16.87)	253.94±7.95 ^{ab}	173 (53.07)
第4四分位 Q4	56 (17.23)	147 (45.23)	82 (25.23)	40 (12.31)	51 (15.69)	52 (16.00)	298.32±29.27 ^{abc}	187 (57.54)
总人群 Total	257 (19.75)	629 (48.35)	296 (22.75)	119 (9.15)	132 (10.15)	197 (15.14)	243.17±42.31	708 (54.42)
$\chi^2/H/F$ 值		15.298			14.876	1.794	2 049.581	2.115
<i>P</i> 值		0.083			0.002	0.616	<0.001	0.549

组别 Group	空腹血糖(mmol/L) Fasting blood glucose	甘油三酯(mmol/L) Triglyceride	总胆固醇(mmol/L) Total cholesterol	HDL-C (mmol/L)	LDL-C (mmol/L)	尿酸(μmol/L) Uric acid
第1四分位 Q1	5.19 (4.70, 5.58)	1.20 (0.84, 1.48)	4.60±0.85	1.29±0.29	2.89±0.74	315.64±78.82
第2四分位 Q2	5.39 (4.87, 5.88) ^a	1.62 (1.25, 2.07) ^a	4.77±0.96	1.15±0.26 ^a	3.07±0.75 ^a	362.71±81.28 ^a
第3四分位 Q3	5.56 (5.00, 6.17) ^a	1.87 (1.51, 2.35) ^{ab}	4.74±0.91	1.06±0.21 ^{ab}	3.03±0.81	396.59±86.40 ^{ab}
第4四分位 Q4	5.70 (5.00, 6.41) ^{ab}	2.30 (1.74, 3.68) ^{abc}	5.02±1.01 ^{abc}	1.01±0.20 ^{abc}	3.08±0.86 ^a	414.52±97.01 ^{ab}
总人群 Total	5.43 (4.90, 6.00)	1.68 (1.25, 2.28)	4.78±0.94	1.17±0.27	3.02±0.80	372.38±93.97
$\chi^2/H/F$ 值	66.119	390.265	11.607	88.129	3.924	82.796
<i>P</i> 值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.008	<0.001

注:正态分布的定量数据以($\bar{x}\pm s$)表示,偏态分布的定量数据以中位数(P_{25}, P_{75})表示。TyG-BMI为甘油三酯葡萄糖-体重指数;BMI为体重指数;HDL-C为高密度脂蛋白胆固醇;LDL-C为低密度脂蛋白胆固醇。与第1四分位组相比,^a $P<0.05$;与第2四分位组相比,^b $P<0.05$;与第3四分位组相比,^c $P<0.05$ 。

Quantitative data with normal distribution were expressed as ($\bar{x}\pm s$), while with non-normal distribution were expressed as median (P_{25}, P_{75}). Abbreviations: Q1, Q2, Q3, Q4: the 1st, 2nd, 3rd and 4th quartiles of TyG-BMI; TyG-BMI, triglyceride glucose-body mass index; BMI, body mass index; CHD, coronary heart disease; HDL-C, high-density lipoprotein cholesterol; LDL-C, low-density lipoprotein cholesterol. ^a $P<0.05$ vs Q1; ^b $P<0.05$ vs Q2; ^c $P<0.05$ vs Q3.

2.2 夜间血压参数 不同 TyG-BMI 组人群的夜间平均收缩压、夜间平均舒张压、夜间收缩压标准差、夜间舒张压标准差、夜间脉压、夜间平均心率差异有统计学意义(均 $P<0.05$), 而夜间收缩压下降率、夜间舒张压下降率差异无统计学意义($P>0.05$), 见表 2。

表 2 不同 TyG-BMI 分组夜间血压参数基本特征

Table 2 Basic characteristics of nocturnal blood pressure parameters in different TyG-BMI groups					
组别 Group	例数 <i>n</i>	夜间平均收缩压(mmHg) nSBP	夜间平均舒张压(mmHg) nDBP	夜间收缩压标准差(mmHg) nSBP-SD	夜间舒张压标准差(mmHg) nDBP-SD
第1四分位 Q1	325	131.46±15.31	81.81±10.64	10.60 (7.90, 13.14)	8.30 (6.40, 10.64)
第2四分位 Q2	325	131.71±15.46	83.70±12.42 ^a	10.30 (7.74, 13.16)	8.50 (6.50, 11.30)
第3四分位 Q3	326	132.61±15.47	84.49±11.40 ^a	10.65 (8.16, 13.40)	9.03 (6.99, 11.40) ^a
第4四分位 Q4	325	137.28±17.46 ^{abc}	86.99±12.38 ^{abc}	11.30 (8.69, 14.96) ^{ab}	9.80 (7.63, 12.50) ^{abc}
总人群 Total	1 301	133.27±16.10	84.25±11.87	10.70 (8.10, 13.60)	8.90 (6.90, 11.40)
H/F值		9.446	10.855	14.271	39.546
P值		<0.001	<0.001	0.003	<0.001

组别 Group	夜间脉压(mmHg) nPP	夜间平均心率(次/min) nHR	夜间收缩压下降率(%) nSBP-DR	夜间舒张压下降率(%) nDBP-DR
第1四分位 Q1	49.68±12.34	64.46±9.05	4.18±7.58	6.46±8.48
第2四分位 Q2	48.01±11.16	64.72±8.84	4.84±7.72	6.41±8.17
第3四分位 Q3	47.81±10.96 ^a	64.97±8.20	4.92±7.62	6.46±8.13
第4四分位 Q4	50.48±11.93 ^{bc}	67.95±9.08 ^{abc}	4.10±8.32	5.78±9.18
总人群 Total	48.99±11.65	65.53±8.90	4.51±7.82	6.28±8.50
H/F值	4.070	11.192	0.978	0.497
P值	0.007	<0.001	0.402	0.684

注: 正态分布的定量数据以($\bar{x}\pm s$)表示, 偏态分布的定量数据以中位数(P_{25} , P_{75})表示。与第1四分位组相比, ^a $P<0.05$; 与第2四分位组相比, ^b $P<0.05$; 与第3四分位组相比, ^c $P<0.05$ 。TyG-BMI为甘油三酯葡萄糖-体重指数。

Quantitative data with normal distribution were expressed as ($\bar{x}\pm s$), while with non-normal distribution were expressed as median (P_{25} , P_{75}). Abbreviations: TyG-BMI, triglyceride-glucose-body mass index; nSBP, nighttime systolic blood pressure; nDBP, nighttime diastolic blood pressure; SD, standard deviation; nPP, nighttime pulse pressure; nHR, nighttime heart rate; DR, decline rate. Q1, Q2, Q3, Q4: the 1st, 2nd, 3rd and 4th quartiles of TyG-BMI.

2.3 不同 TyG-BMI 分组对夜间血压参数影响的广义线性模型分析 以夜间动态血压参数为因变量, 不同 TyG-BMI 四分位组为自变量, 研究结果显示, 无论采用哪种模型, TyG-BMI 第 4 四分位组与夜间血压参数均存在关联($P<0.001$)。模型 3 结果显示, 在校正相关混杂因素后, TyG-BMI 第 4 四分位组的夜间平均收缩压、夜间平均舒张压、夜间平均心率分别较第 1 四分位组高 5.14 mmHg(95%CI: 2.65~7.62, $P<0.001$)、3.99 mmHg(95%CI: 2.18~5.80, $P<0.001$)、2.46 次/min(95%CI: 1.06~3.85, $P<0.001$), 见表 3。

2.4 敏感性分析 为进一步验证研究结果的稳健性, 本研究排除年龄 ≥ 60 岁人群($n=1\,014$)以及糖尿病人群($n=1\,109$)后分别进行敏感性分析。在同样校正上述混杂因素后结果显示: 在 <60 岁人群中 TyG-BMI 第 4 四分位组的夜间平均收缩压、夜间平均舒张压、夜间平均心率分别较第 1 四分位组高 6.02 mmHg(95%CI: 3.22~8.83, $P<0.001$)、4.06 mmHg(95%CI: 2.05~6.08, $P<0.001$)、3.67 次/min(95%CI: 2.12~5.23, $P<0.001$), 且 TyG-BMI 各分位组与夜间平均舒张压呈剂量-反应关系($P<0.05$)。在排除糖尿病人群后, TyG-BMI 第 4 四分位组的夜间平均收缩压、夜间平均舒张压、夜

间平均心率分别较第 1 四分位组高 5.16 mmHg(95%CI: 2.50~7.82, $P<0.001$)、3.39 mmHg(95%CI: 1.50~5.28, $P<0.001$)、2.70 次/min(95%CI: 1.26~4.13, $P<0.001$), 见表 4。

2.5 亚组分析 根据年龄、性别、吸烟、饮酒状态及入组时间进行分层交互作用检验后, 结果显示: 在校正混杂因素后, 不同亚组之间均存在显著差异(均 $P<0.05$)。

相比于年龄 ≥ 45 岁人群、男性、吸烟者、饮酒者, 在 <45 岁人群、女性、无吸烟者、无饮酒者中, 与第 1 四分位组相比, TyG-BMI 最高分位组的夜间平均收缩压增幅更高, 同样, 在夜间平均舒张压方面, <45 岁人群和男性亚组中各分位组间呈现剂量-反应关系(均 $P<0.05$), 在无吸烟者($\beta=2.53$, 95%CI 0.86~4.21)及无饮酒者($\beta=2.49$, 95%CI 0.93~4.05)亚组中最高分位组较第 1 四分位组夜间平均心率增幅更大。入组时间分层分析显示, 2022—2023 年与 2024—2025 年入组患者中, TyG-BMI 第 4 四分位组较第 1 四分位组夜间平均收缩压分别升高 5.81 mmHg(95%CI 0.26~11.36)、5.62 mmHg(95%CI 1.68~9.56), 而 2020—2021 年入组患者仅在夜间平均心率上有统计学意义, 见表 5。

表 3 TyG-BMI 分组对夜间血压参数影响的广义线性模型分析(*n*=1 301)

Table 3 Generalised linear model analysis of the effect of TyG-BMI stratification on nocturnal blood pressure parameters

因变量 Dependent variable	TyG-BMI 分组 Group	模型1 Model 1		模型2 Model 2		模型3 Model 3	
		β (95%CI)	<i>P</i> 值	β (95%CI)	<i>P</i> 值	β (95%CI)	<i>P</i> 值
夜间平均收缩压 nSBP	第1四分位 Q1	参考 Reference		参考 Reference		参考 Reference	
	第2四分位 Q2	0.25 (−2.12~2.70)	0.840	0.20 (−2.27~2.67)	0.873	−0.06 (−2.43~2.30)	0.959
	第3四分位 Q3	1.15 (−1.30~3.60)	0.358	1.30 (−1.21~3.80)	0.311	0.93 (−1.48~3.35)	0.449
	第4四分位 Q4	5.81 (3.36~8.27)	<0.001	6.50 (3.99~9.01)	<0.001	5.14 (2.65~7.62)	<0.001
夜间平均舒张压 nDBP	第1四分位 Q1	参考 Reference		参考 Reference		参考 Reference	
	第2四分位 Q2	1.89 (0.09~3.69)	0.040	1.47 (−0.35~3.29)	0.114	1.52 (−0.20~3.24)	0.084
	第3四分位 Q3	2.68 (0.88~4.48)	0.004	1.96 (0.11~3.80)	0.038	2.08 (0.31~3.84)	0.021
	第4四分位 Q4	5.18 (3.37~6.98)	<0.001	4.30 (2.46~6.15)	<0.001	3.99 (2.18~5.80)	<0.001
夜间平均心率 nHR	第1四分位 Q1	参考 Reference		参考 Reference		参考 Reference	
	第2四分位 Q2	0.27 (−1.09~1.62)	0.702	0.56 (−0.79~1.90)	0.417	0.39 (−0.93~1.72)	0.561
	第3四分位 Q3	0.52 (−0.84~1.87)	0.455	0.74 (−0.63~2.10)	0.291	0.46 (−0.90~1.81)	0.511
	第4四分位 Q4	3.50 (2.15~4.85)	<0.001	3.14 (1.78~4.50)	<0.001	2.46 (1.06~3.85)	<0.001

注:模型1未进行校正;模型2校正了年龄、性别;模型3在模型2的基础上校正了吸烟、饮酒、高血压级别、高血压持续时间、使用降压药、使用降糖药、使用他汀降脂、冠心病、糖尿病、脑血管疾病。TyG-BMI为甘油三酯葡萄糖-体重指数。

Model 1 was unadjusted; Model 2 adjusted for age and gender; Model 3 further adjusted for smoking, drinking, grade of hypertension, course of hypertension, antihypertensive drugs use, hypoglycemic drugs use, statin use, coronary heart disease, diabetes, and cerebrovascular disease. Q1, Q2, Q3, Q4: the 1st, 2nd, 3rd and 4th quartiles of TyG-BMI. Abbreviations: TyG-BMI, triglyceride glucose-body mass index; nSBP, nighttime systolic blood pressure; nDBP, nighttime diastolic blood pressure; nHR, nighttime heart rate.

表 4 不同 TyG-BMI 分组对夜间血压参数影响的敏感性分析

Table 4 Sensitivity analysis of the impact of different TyG-BMI groups on nocturnal blood pressure parameters

敏感性分析 Sensitivity analysis	因变量 Dependent variable	TyG-BMI 分组 Group	模型1 Model 1		模型2 Model 2		模型3 Model 3	
			β (95%CI)	<i>P</i> 值	β (95%CI)	<i>P</i> 值	β (95%CI)	<i>P</i> 值
1 (<i>n</i> =1 014)	夜间平均收缩压 nSBP	第1四分位 Q1	参考 Reference		参考 Reference		参考 Reference	
		第2四分位 Q2	1.73 (−1.11~4.56)	0.233	2.08 (−0.84~5.00)	0.164	1.08 (−1.71~3.87)	0.447
		第3四分位 Q3	1.90 (−0.91~4.71)	0.186	2.42 (−0.53~5.37)	0.108	2.08 (−0.76~4.91)	0.151
		第4四分位 Q4	6.99 (4.24~9.74)	<0.001	7.57 (4.71~10.42)	<0.001	6.02 (3.22~8.83)	<0.001
	夜间平均舒张压 nDBP	第1四分位 Q1	参考 Reference		参考 Reference		参考 Reference	
		第2四分位 Q2	3.36 (1.28~5.43)	0.002	2.54 (0.42~4.66)	0.019	2.03 (0.02~4.03)	0.048
		第3四分位 Q3	3.56 (1.51~5.62)	<0.001	2.68 (0.54~4.82)	0.015	2.62 (0.58~4.66)	0.012
		第4四分位 Q4	5.52 (3.51~7.53)	<0.001	5.06 (2.99~7.14)	<0.001	4.06 (2.05~6.08)	<0.001
	夜间平均心率 nHR	第1四分位 Q1	参考 Reference		参考 Reference		参考 Reference	
		第2四分位 Q2	0.74 (−0.79~2.27)	0.345	1.42 (−0.14~2.98)	0.075	1.30 (−0.25~2.85)	0.101
		第3四分位 Q3	1.05 (−0.47~2.56)	0.178	1.79 (0.21~3.37)	0.026	1.68 (0.11~3.26)	0.036
		第4四分位 Q4	3.79 (2.31~5.28)	<0.001	4.21 (2.68~5.74)	<0.001	3.67 (2.12~5.23)	<0.001
2 (<i>n</i> =1 109)	夜间平均收缩压 nSBP	第1四分位 Q1	参考 Reference		参考 Reference		参考 Reference	
		第2四分位 Q2	0.49 (−2.06~3.03)	0.709	0.56 (−2.01~3.14)	0.668	0.16 (−2.32~2.64)	0.899
		第3四分位 Q3	0.97 (−1.60~3.54)	0.460	1.38 (−1.27~4.03)	0.307	1.12 (−1.44~3.67)	0.391
		第4四分位 Q4	5.50 (2.85~8.14)	<0.001	6.33 (3.61~9.05)	<0.001	5.16 (2.50~7.82)	<0.001
	夜间平均舒张压 nDBP	第1四分位 Q1	参考 Reference		参考 Reference		参考 Reference	
		第2四分位 Q2	1.67 (−0.18~3.51)	0.077	1.26 (−0.61~3.13)	0.186	1.10 (−0.66~2.85)	0.222
		第3四分位 Q3	2.59 (0.72~4.45)	0.007	1.97 (0.06~3.89)	0.044	1.88 (0.06~3.69)	0.043
		第4四分位 Q4	4.75 (2.84~6.67)	<0.001	4.23 (2.26~6.20)	<0.001	3.39 (1.50~5.28)	<0.001
	夜间平均心率 nHR	第1四分位 Q1	参考 Reference		参考 Reference		参考 Reference	
		第2四分位 Q2	−0.37 (−1.72~0.98)	0.594	−0.04 (−1.37~1.29)	0.951	−0.03 (−1.36~1.31)	0.968
		第3四分位 Q3	0.28 (−1.08~1.65)	0.178	0.40 (−0.97~1.77)	0.564	0.50 (−0.88~1.88)	0.476
		第4四分位 Q4	3.01 (1.61~4.40)	<0.001	2.49 (1.09~3.90)	<0.001	2.70 (1.26~4.13)	<0.001

注:敏感性分析1为排除年龄 ≥ 60岁患者;敏感性分析2为排除糖尿病患者。模型1未进行校正;模型2校正了年龄、性别;模型3在模型2的基础上校正了吸烟、饮酒、高血压级别、高血压持续时间、使用降压药、使用降糖药、使用他汀降脂、冠心病、糖尿病、脑血管疾病。TyG-BMI为甘油三酯葡萄糖-体重指数。

Sensitivity analysis 1 excluded patients aged ≥ 60 years; Sensitivity Analysis 2 excluded patients with diabetes. Model 1 was unadjusted; Model 2 adjusted for age and gender; Model 3 further adjusted for smoking, drinking, grade of hypertension, course of hypertension, antihypertensive drugs use, hypoglycemic drugs use, statin use, coronary heart disease, diabetes, and cerebrovascular disease. Abbreviations: TyG-BMI, triglyceride glucose-body mass index; nSBP, nighttime systolic blood pressure; nDBP, nighttime diastolic blood pressure; nHR, nighttime heart rate. Q1, Q2, Q3, Q4: the 1st, 2nd, 3rd and 4th quartiles of TyG-BMI.

表5 不同 TyG-BMI 分组对夜间血压参数影响的亚组分析

Table 5 Subgroup analysis of the impact of different TyG-BMI groups on nocturnal blood pressure parameters

因变量	分组变量	亚组	例数	β (95%CI)				交互P值
Dependen variable	Grouping variable	Subgroup	n	第1四分位组 Q1	第2四分位组 Q2	第3四分位组 Q3	第4四分位组 Q4	P for interaction
夜间平均收缩压 (mmHg) nSBP	年龄(岁) Age (years)	<45	611	参考 Reference	0.97 (-2.52~4.47)	3.59 (0.15~7.03) ^a	7.11 (3.78~10.43) ^a	<0.001
		45~<60	403	参考 Reference	1.44 (-3.28~6.16)	0.10 (-4.75~4.95)	4.86 (-0.28~10.00)	
		≥ 60	287	参考 Reference	-1.24 (-6.01~3.53)	0.53 (-4.45~5.52)	4.57 (-1.43~10.58)	
	性别 Gender	男 Male	888	参考 Reference	-0.44 (-3.46~2.58)	1.04 (-1.92~3.99)	3.72 (0.67~6.77) ^a	<0.001
		女 Female	413	参考 Reference	1.09 (-2.90~5.08)	-0.49 (-5.06~4.08)	8.93 (4.29~13.56) ^a	
	吸烟 Smoking	是 Yes	396	参考 Reference	0.30 (-4.74~5.34)	1.83 (-2.95~6.61)	4.30 (-0.46~9.07)	<0.001
		否 No	905	参考 Reference	-0.26 (-2.98~2.46)	0.10 (-2.81~3.01)	5.80 (2.75~8.84) ^a	
	饮酒 Drinking	是 Yes	291	参考 Reference	0.64 (-4.98~6.26)	-0.51 (-5.74~4.71)	4.07 (-1.24~9.37)	<0.001
		否 No	1 010	参考 Reference	-0.01 (-2.64~2.62)	1.26 (-1.52~4.04)	5.70 (2.83~8.57) ^a	
	入组年份 Enrollment year	2020—2021	452	参考 Reference	-0.57 (-4.52~3.39)	1.24 (-2.83~5.32)	3.63 (-0.40~7.66)	<0.001
		2022—2023	298	参考 Reference	2.81 (-2.38~8.00)	1.35 (-4.19~6.90)	5.81 (0.26~11.36) ^a	
		2024—2025	551	参考 Reference	-1.18 (-4.81~2.44)	0.95 (-2.72~4.62)	5.62 (1.68~9.56) ^a	
夜间平均舒张压 (mmHg) nDBP	年龄(岁) Age (years)	<45	611	参考 Reference	2.96 (0.39~5.53) ^a	4.47 (1.94~7.01) ^a	5.04 (2.59~7.49) ^a	<0.001
		45~<60	403	参考 Reference	0.89 (-2.33~4.11)	-0.07 (-3.37~3.24)	2.28 (-1.22~5.79)	
		≥ 60	287	参考 Reference	-0.54 (-3.85~2.76)	0.45 (-3.00~3.91)	3.95 (-0.21~8.11)	
	性别 Gender	男 Male	888	参考 Reference	3.20 (0.93~5.47) ^a	3.50 (1.27~5.72) ^a	4.73 (2.43~7.02) ^a	<0.001
		女 Female	413	参考 Reference	0.09 (-2.58~2.76)	0.36 (-2.69~3.41)	4.95 (1.86~8.05) ^a	
	吸烟 Smoking	是 Yes	396	参考 Reference	2.97 (-0.74~6.68)	3.32 (-0.20~6.83)	4.17 (0.66~7.68) ^a	<0.001
		否 No	905	参考 Reference	1.12 (-0.85~3.10)	1.66 (-0.45~3.77)	4.38 (2.17~6.59) ^a	
	饮酒 Drinking	是 Yes	291	参考 Reference	2.34 (-1.98~6.65)	2.19 (-1.82~6.20)	4.62 (0.25~8.70) ^a	<0.001
		否 No	1 010	参考 Reference	1.61 (-0.28~3.51)	2.39 (0.39~4.39) ^a	4.19 (2.13~6.26) ^a	
	入组年份 Enrollment year	2020—2021	452	参考 Reference	0.71 (-1.98~3.40)	1.67 (-1.11~4.45)	2.52 (-0.23~5.26)	<0.001
		2022—2023	298	参考 Reference	3.76 (-0.00~7.52)	3.74 (-0.29~7.76)	3.91 (-0.12~7.93)	
		2024—2025	551	参考 Reference	0.36 (-2.11~2.84)	0.68 (-1.83~3.18)	3.12 (0.44~5.81) ^a	
夜间平均心率 (次/min) nHR	年龄(岁) Age (years)	<45	611	参考 Reference	0.36 (-1.73~2.46)	0.98 (-1.09~3.04)	3.04 (1.05~5.04) ^a	<0.001
		45~<60	403	参考 Reference	2.38 (-0.02~4.78)	2.62 (0.15~5.09) ^a	4.19 (1.58~6.80) ^a	
		≥ 60	287	参考 Reference	-1.96 (-4.74~0.82)	-2.52 (-5.42~0.39)	-2.07 (-5.57~1.44)	
	性别 Gender	男 Male	888	参考 Reference	-0.06 (-1.84~1.73)	0.56 (-1.19~2.31)	2.39 (0.59~4.20) ^a	<0.001
		女 Female	413	参考 Reference	1.27 (-0.78~3.32)	0.31 (-2.04~2.65)	2.55 (0.17~4.92) ^a	
	吸烟 Smoking	是 Yes	396	参考 Reference	0.05 (-2.95~3.04)	-0.14 (-2.98~2.69)	2.31 (-0.52~5.14)	<0.001
		否 No	905	参考 Reference	0.45 (-1.05~1.95)	0.80 (-0.80~2.40)	2.53 (0.86~4.21) ^a	
	饮酒 Drinking	是 Yes	291	参考 Reference	0.98 (-2.55~4.50)	-0.03 (-3.31~3.24)	2.60 (-0.73~5.93)	<0.001
		否 No	1 010	参考 Reference	0.13 (-1.30~1.56)	0.70 (-0.82~2.21)	2.49 (0.93~4.05) ^a	
	入组年份 Enrollment year	2020—2021	452	参考 Reference	0.85 (-1.39~3.08)	1.33 (-0.98~3.64)	2.41 (0.13~4.69) ^a	<0.001
		2022—2023	298	参考 Reference	-0.48 (-3.41~2.44)	2.65 (-0.48~5.78)	5.36 (2.23~8.49) ^a	
		2024—2025	551	参考 Reference	0.43 (-1.56~2.43)	-0.96 (-2.98~1.06)	0.64 (-1.52~2.81)	

注:模型校正年龄、性别、吸烟、饮酒、高血压等级、高血压持续时间、使用降压药、使用降糖药、使用他汀降脂、冠心病、糖尿病、脑血管疾病。^a $P<0.05$ 。TyG-BMI为甘油三酯葡萄糖-体重指数。

Model adjusted for age, gender, smoking, drinking, grade of hypertension, course of hypertension, antihypertensive drugs use, hypoglycemic drugs use, statin use, coronary heart disease, diabetes, and cerebrovascular disease. Abbreviations: TyG-BMI, triglyceride glucose-body mass index; nSBP, nighttime systolic blood pressure; nDBP, nighttime diastolic blood pressure; nHR, nighttime heart rate. ^a $P<0.05$.

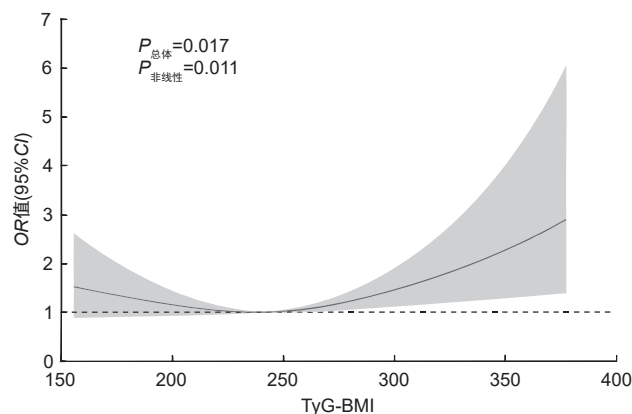
2.6 TyG-BMI 与 NH 人群靶器官损害的关联性 以 TyG-BMI 作为自变量,是否靶器官损害作为因变量,进行限制性立方样条图(RCS 曲线)分析,结果显示,在控制与主成分分析相同的混杂变量后, TyG-BMI 与 NH 人群发生靶器官损害风险之间存在非线性相关 ($P_{\text{总体}}=0.017, P_{\text{非线性}}=0.011$),见图 1。

3 讨论

IR 与高血压相关且在高血压的发展中起着重要

作用^[21-22]。目前,高胰岛素正常血糖钳和多次抽血的静脉葡萄糖耐量试验技术是诊断 IR 的标准^[23],然而考虑到其昂贵、耗时、侵入性的检查方法,并不适合于广泛临床应用。近年来,有研究发现, TyG-BMI 在 IR 预测方面优于其他参数^[24],且大量研究表明, TyG-BMI 与高血压显著相关^[25-26]。其中可能的机制包括胰岛素水平升高导致交感神经系统和肾素-血管紧张素-醛固酮系统的激活,高胰岛素血症导致肾小管对钠的重吸收增加,以及由于高血糖导致的细胞外渗透压高于细胞内渗透压,使得血管中的循环血容量增加,从而升高

血压^[27],此外,高胰岛素血症通常伴有高脂血症、细胞内钙浓度升高、胶原蛋白增加,导致细胞纤维化和细胞肥大,随后动脉弹性降低^[28]和baPWV增加^[29],导致动脉硬化和高血压。上述机制同时也可能导致NH的发生^[30]。



注:校正了年龄、性别、吸烟、饮酒、高血压等级、高血压持续时间、用降压药、用降糖药、用他汀降脂、冠心病、糖尿病、脑血管疾病。TyG-BMI为甘油三酯葡萄糖-体重指数;NH为夜间高血压。

Model adjusted for age, gender, smoking, drinking, grade of hypertension, course of hypertension, antihypertensive drugs use, hypoglycemic drugs use, statin use, coronary heart disease, diabetes, and cerebrovascular disease. Abbreviation: TyG-BMI, triglyceride glucose-body mass index.

图1 TyG-BMI与NH人群靶器官损害风险的限制性立方样条图($n=1\,301$)

Figure 1 Restricted cubic spline plot of the association between TyG-BMI and risk of target organ damage in the nocturnal hypertensive

本研究讨论了TyG-BMI与NH人群夜间动态血压参数的相关性,结果表明,在调整混杂因素后,随着TyG-BMI水平增加,夜间血压水平也随之增加,表明TyG-BMI可能是夜间血压升高的危险因素。这一发现,在之前的研究中有类似的结论。王志军等^[31]发现,在原发性高血压患者中,TyG-BMI与夜间平均舒张压水平呈正相关,且对NH具有较高的预测价值。一项针对新诊断高血压患者的研究结果显示,非勺型血压组甘油三酯葡萄糖(triglyceride glucose, TyG)和IR水平较高,是夜间血压下降的独立预测因子,并且TyG在预测非勺型血压方面显示出优于IR的诊断性能^[32]。Deng等^[33]纳入广东省心血管疾病高危人群早期筛查和综合干预计划参与者92545例进行研究,发现TyG-BMI在高血压判别能力方面优于BMI、甘油三酯、空腹血糖等单项指标。Doğanay等^[34]同样发现,TyG升高与夜间血压水平下降呈负相关,然而Güven等^[35]纳入93例行24hABPM的高血压患者数据进行

研究,在校正混杂因素后未发现TyG等代谢指标与夜间血压下降率之间存在相关性,上述结果的不一致可能与样本量、人群特征差异有关,且有研究表明,血压昼夜节律的破坏会损害胰岛素分泌,可导致糖耐量降低、IR加剧^[36-37],从而可能引起TyG-BMI等指数的升高。大多数研究目前均基于横断面设计进行分析,故二者之间的因果关联仍需大样本进一步研究证实。

由于考虑到在老年人群中,与年龄相关的血管硬化、交感神经兴奋性下降或降压药使用率更高等常规危险因素的累积效应可能会降低TyG-BMI与夜间血压之间的相关性,故本研究通过进一步敏感性分析验证结果的稳健性。在年龄 <60 岁人群中,TyG-BMI最高分位组的夜间血压参数较第1四分位组显著增加,且各分位组与夜间平均舒张压水平呈现出剂量-反应关系。这提示IR和肥胖相关代谢紊乱可能在中青年人群中更早且更显著地对血压水平产生影响,这一发现与美国健康和营养检查调查的研究结果相吻合,该研究纳入2009—2018年共5193名40岁以下成年人进行分析,结果显示,早发性高血压患者TyG-BMI更高($P<0.001$),进一步多因素logistic回归分析发现,与最低四分位数相比,TyG-BMI最高四分位数的个体发生早发性高血压的风险增加至6.47倍($OR=6.47$, $95\%CI\,4.35\sim9.61$, $P<0.001$)且独立相关^[38]。另一项对中国东部60283名成年人进行的横断面研究同样表明,在中青年群体中TyG-BMI与高血压之间的相关性更强(交互 $P_{\text{交互}}<0.05$),受试者操作特征曲线进一步分析得出TyG-BMI在中青年高血压患者中表现出更高的曲线下面积值(0.724)^[26]。

本研究在此基础上进一步亚组分析发现,年龄 <45 岁人群随着TyG-BMI水平升高更早表现出夜间血压升高趋势,男性和女性在TyG-BMI最高分位组与夜间血压升高表现出一致的关联,且在女性中观察到的趋势略强。目前,TyG-BMI与高血压之间的关联存在性别差异的原因尚未完全阐明。有研究显示,女性肝细胞脂质水平高于男性,内脏脂肪组织(visceral adipose tissue, VAT)和甘油三酯的相关性在女性中表现更为显著。Bullón-Vela等^[39]在326名代谢综合征患者的横断面研究中发现,VAT沉积量较大与IR等代谢指标密切相关,且TyG对高VAT的判别能力在女性中表现更好。也有研究提示,VAT对女性心血管疾病风险的影响更大^[40-41]。Masaki等^[42]纳入255名受试者进行24hABPM后发现,VAT与夜间平均收缩压、夜间心率等参数相关,这些因素或许可能解释其中的性别差异。同时Lee等^[43]对5414名韩国基因组和流行病学研究参与者随访9.5年结果同样显示,

TyG-BMI与女性新发高血压显著相关。本研究结果还表明,无吸烟者和无饮酒者在较高的TyG-BMI水平下与夜间动态血压参数表现出更强的关系,这可能是因为吸烟和饮酒独立增加了血压水平升高风险,可能会稀释IR的相对贡献^[44]。

此外,有研究指出血糖升高可通过晚期糖基化终产物及其受体与二肽基肽酶-4-胰胰岛素系统相互作用导致心脏重塑、视网膜病变、肾病和动脉粥样硬化等并发症^[45],其中TyG-BMI可能作为发生不良心血管事件的新型生物标志物^[46],其升高与靶器官损害风险密切相关。Fan等^[47]对3495名健康参与者随访3年发现,TyG-BMI是慢性肾脏病发病的独立危险因素,且在女性、60岁以下和BMI ≥ 24 kg/m²患者中显著相关。Rao等^[48]纳入10项队列研究近90万人的荟萃分析结果表明,较高的TyG-BMI与心血管疾病的风险增加呈线性相关。此外,Zhang等^[49]对英国40多万参与者的数据进行分析同样得出类似结论,同时发现TyG-BMI一旦超过一定阈值,死亡风险就会增加。这些研究均说明TyG-BMI升高可能增加不良心血管事件发生风险,应积极控制相关危险因素,早期发现识别高危个体,以便早期控制NH发生发展,改善预后。

本研究具有一定的局限性:首先,本研究采用横断面调查,难以明确TyG-BMI与血压间的因果关系,需要纳入长期随访数据通过队列研究进一步验证;其次,纳入分析的协变量有限,尽管已进行校正,但仍可能存在如腰围等未被识别的混杂因素;第三,本研究将TyG-BMI按四分位分组分析易导致部分信息损失、分界值选择敏感等缺陷,在后续研究中可将其作为连续变量进一步开展分析,能够更精确地揭示其与NH之间的剂量-反应关系,以深化补充现有结论。

综上所述,在NH患者人群中,TyG-BMI与夜间血压水平密切相关,尤其在女性和中青年人群中存在显著差异,提示需加强高危人群的早期血压监测。同时,提示我们TyG-BMI可能作为一种简便易行的检测指标,为NH人群的风险管理提供依据并及时采取相关干预措施,在一定程度上尽早降低靶器官损害的发生风险,进而减少心血管事件。

利益冲突声明 作者声明无利益冲突

作者贡献声明 杜雨星:研究设计、采集数据、数据分析、文章撰写;付家瑞、魏茂提、高宏伟:统计分析数据、分析解释数据、论文修改;邹家亮、俞宏达:采集数据、分析解释数据;杨宁、李玉明:研究指导、论文修改、行政支持

本主题国内外已有的结论

- TyG-BMI与成年人高血压患病风险密切相关。
- TyG-BMI可能作为发生不良心血管事件的新型生物标志物。

本文特色与见解

- TyG-BMI与夜间动态血压水平密切相关,且在女性和中青年人群中,TyG-BMI对夜间血压水平影响更为显著。

参考文献

- [1] Fujiwara T, Hoshida S, Sheppard J, et al. Cardiovascular events risk in office-masked nocturnal hypertension defined by home blood pressure monitoring[J]. JACC Adv, 2024, 3(11):101352.
- [2] Li X, Ke J, Chen X, et al. Different effects of morning and nocturnal hypertension on target organ damage in chronic kidney disease[J]. J Clin Hypertens (Greenwich), 2021, 23(5): 1051-1059.
- [3] Cardoso C, Salles GF. Associations of the nocturnal blood pressure fall and morning surge with cardiovascular events and mortality in individuals with resistant hypertension[J]. J Hypertens, 2021, 39(6): 1177-1187.
- [4] Guo Z, Guo X, Xu H, et al. Association between metabolic score for insulin resistance (METS-IR) and hypertension: a cross-sectional study based on NHANES 2007-2018[J]. Lipids Health Dis, 2025, 24(1): 64.
- [5] Kawamoto R, Kohara K, Tabara Y, et al. Insulin resistance and prevalence of prehypertension and hypertension among community-dwelling persons[J]. J Atheroscler Thromb, 2010, 17(2): 148-155.
- [6] Player MS, Mainous AG 3rd, Diaz VA, et al. Prehypertension and insulin resistance in a nationally representative adult population[J]. J Clin Hypertens (Greenwich), 2007, 9(6): 424-429.
- [7] Zhao H, Wang G, Zhang M, et al. Prehypertension and insulin resistance among Mongolian people, Inner Mongolia, China[J]. Blood Press, 2011, 20(2): 98-103.
- [8] Xun P, Liu K, Cao W, et al. Fasting insulin level is positively associated with incidence of hypertension among American young adults: a 20-year follow-up study[J]. Diabetes Care, 2012, 35(7): 1532-1537.
- [9] Salazar MR, Espeche WG, Stavile RN, et al. Nocturnal but not diurnal hypertension is associated to insulin resistance markers in subjects with normal or mildly elevated office blood pressure[J]. Am J Hypertens, 2017, 30(10): 1032-1038.
- [10] 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.
- [11] Wang Y, Yang W, Jiang X. Association between triglyceride-glucose index and hypertension: a meta-analysis[J]. Front Cardiovasc Med, 2021, 8: 644035.
- [12] 中国高血压防治指南修订委员会,高血压联盟(中国),中国医疗保健国际交流促进会高血压病学分会,等.中国高血压防治指南(2024年修订版)[J].中华高血压杂志(中英文),2024,32(7): 603-700.
- [13] 中国高血压联盟《动态血压监测指南》委员会.2020中国动态血压监测指南[J].中国循环杂志,2021,36(4): 313-328.
- [14] 中华医学会心血管病学分会介入心脏病学组,中华医学会心血管病学分会动脉粥样硬化与冠心病学组,中国医师协会心血管内科

- 医师分会血栓防治专业委员会,等.稳定性冠心病诊断与治疗指南[J].中华心血管病杂志,2018,46(9):680-694.
- [15] 中华医学会糖尿病学分会.中国2型糖尿病防治指南(2020年版)(上)[J].中国实用内科杂志,2021,41(8):668-695.
- [16] 中华人民共和国国家卫生健康委员会.脑血管病防治指南(2024年版)[J].磁共振成像,2025,16(1):1-8.
- [17] 李昕源,李鹏,高宏伟,等.青年人群维持正常血尿酸的相关因素[J].中华高血压杂志(中英文),2024,32(4):371-381.
- [18] Alizargar J, Bai CH, Hsieh NC, et al. Use of the triglyceride-glucose index (TyG) in cardiovascular disease patients[J]. Cardiovasc Diabetol, 2020, 19(1): 8.
- [19] Levey AS, Stevens LA, Schmid CH, et al. A new equation to estimate glomerular filtration rate[J]. Ann Intern Med, 2009, 150(9): 604-612.
- [20] Jafary FH. Devereux formula for left ventricular mass—be careful to use the right units of measurement[J]. J Am Soc Echocardiogr, 2007, 20(6): 783.
- [21] Wang F, Han L, Hu D. Fasting insulin, insulin resistance and risk of hypertension in the general population: a meta-analysis[J]. Clin Chim Acta, 2017, 464: 57-63.
- [22] Liu XZ, Fan J, Pan SJ. METS-IR, a novel simple insulin resistance indexes, is associated with hypertension in normal-weight Chinese adults[J]. J Clin Hypertens (Greenwich), 2019, 21(8): 1075-1081.
- [23] Borai A, Livingstone C, Kaddam I, et al. Selection of the appropriate method for the assessment of insulin resistance[J]. BMC Med Res Methodol, 2011, 11: 158.
- [24] 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.
- [25] Li Y, You A, Tomlinson B, et al. Insulin resistance surrogates predict hypertension plus hyperuricemia[J]. J Diabetes Investig, 2021, 12(11): 2046-2053.
- [26] Chen Y, Du J, Zhou N, et al. Correlation between triglyceride glucose-body mass index and hypertension risk: evidence from a cross-sectional study with 60, 283 adults in eastern China[J]. BMC Cardiovasc Disord, 2024, 24(1): 270.
- [27] Zhang F, Zhang Y, Guo Z, et al. The association of triglyceride and glucose index, and triglyceride to high-density lipoprotein cholesterol ratio with prehypertension and hypertension in normoglycemic subjects: a large cross-sectional population study[J]. J Clin Hypertens (Greenwich), 2021, 23(7): 1405-1412.
- [28] Prentner SB, Chirinos JA. Arterial stiffness in diabetes mellitus[J]. Atherosclerosis, 2015, 238(2): 370-379.
- [29] Weng C, Yuan H, Yang K, et al. Gender-specific association between the metabolic syndrome and arterial stiffness in 8, 300 subjects[J]. Am J Med Sci, 2013, 346(4): 289-294.
- [30] Ntavi S, Katsanou P, Marakomichelakis G, et al. Association of non-dipping blood pressure patterns with diabetic peripheral neuropathy: a cross-sectional study among a population with diabetes in Greece[J]. Nutrients, 2022, 15(1): 72.
- [31] 王志军,张士博,刘杰,等.高血压患者三酰甘油葡萄糖体质量指数与夜间高血压的相关性分析[J].中国全科医学,2025,28(18): 2212-2221.
- [32] Şaylık F, Çınar T, Selçuk M, et al. Triglyceride-to-glucose index to detect a non-dipping circadian pattern in newly diagnosed hypertensive patients[J]. J Cardiovasc Thorac Res, 2022, 14(3): 147-152.
- [33] Deng D, Chen C, Wang J, et al. Association between triglyceride glucose-body mass index and hypertension in Chinese adults: a cross-sectional study[J]. J Clin Hypertens (Greenwich), 2023, 25(4): 370-379.
- [34] Doğanay B, Başar V. Association between triglyceride-glucose index and heart rate recovery affecting circadian rhythm of blood pressure in patients with normoglycemic primary hypertension[J]. J Updates Cardiovasc Med, 2023, 11(1): 39-48.
- [35] Güven AT. Evaluation of the relationship between inflammatory, metabolic, and liver-related indexes and blood pressure dipping ratios: a retrospective study[J]. Niger J Clin Pract, 2023, 26(12): 1886-1894.
- [36] Leproult R, Holmbäck U, Van Cauter E. Circadian misalignment augments markers of insulin resistance and inflammation, independently of sleep loss[J]. Diabetes, 2014, 63(6): 1860-1869.
- [37] 沈琦,谭兴,王伟忠.昼夜节律紊乱导致自主神经功能失衡的研究进展[J].海军军医大学学报,2024,45(3): 328-332.
- [38] Li W, Ge C, Zhou J. Association between TyG-BMI and early-onset hypertension: evidence from NHANES[J]. Sci Rep, 2025, 15(1): 8595.
- [39] Bullón-Vela V, Abete I, Tur JA, et al. Relationship of visceral adipose tissue with surrogate insulin resistance and liver markers in individuals with metabolic syndrome chronic complications[J]. Ther Adv Endocrinol Metab, 2020, 11: 2042018820958298.
- [40] Machann J, Thamer C, Schnoedt B, et al. Age and gender related effects on adipose tissue compartments of subjects with increased risk for type 2 diabetes: a whole body MRI/MRS study[J]. MAGMA, 2005, 18(3): 128-137.
- [41] Smith SR, Lovejoy JC, Greenway F, et al. Contributions of total body fat, abdominal subcutaneous adipose tissue compartments, and visceral adipose tissue to the metabolic complications of obesity[J]. Metabolism, 2001, 50(4): 425-435.
- [42] Masaki T, Anan F, Yoshimatsu H. Visceral fat accumulation is associated with circadian blood pressure in Japanese patients with impaired glucose tolerance[J]. Diabetes Care, 2011, 34(3): e32.
- [43] Lee JH, Heo SJ, Kwon YJ. Sex-specific comparison between triglyceride glucose index and modified triglyceride glucose indices to predict new-onset hypertension in middle-aged and older adults[J]. J Am Heart Assoc, 2023, 12(18): e030022.
- [44] Kwak J, Han KD, Lee EY, et al. Association between the triglyceride-glucose index and cardiovascular risk and mortality across different diabetes durations: a nationwide cohort study[J]. Endocrinol Metab (Seoul), 2025, 40(4): 548-560.
- [45] Han X, Liu Y, Li G, et al. A narrative review on prediabetes or diabetes and atrial fibrillation: from molecular mechanisms to clinical practice[J]. Heart and Mind, 2023, 7(4): 207-216.
- [46] Zhang X, Yang Y, Jiang YS. Triglyceride-glucose index as a novel biomarker for major adverse cardiovascular events[J]. Angiology, 2025, 76(6): 602-603.
- [47] Fan C, Guo M, Chang S, et al. Elevated TyG-BMI index predicts incidence of chronic kidney disease[J]. Clin Exp Med, 2024, 24(1): 203.
- [48] Rao X, Xin Z, Yu Q, et al. Triglyceride-glucose-body mass index and the incidence of cardiovascular diseases: a meta-analysis of cohort studies[J]. Cardiovasc Diabetol, 2025, 24(1): 34.
- [49] Zhang Z, Guo H, Sun Z, et al. Associations of modified triglyceride-glucose indices and the triglyceride/high-density lipoprotein ratio with all-cause and cause-specific mortality in the general population: an analysis of the UK biobank database[J]. Lipids Health Dis, 2025, 24(1): 126.