· 儿少卫生与妇幼保健 ·

青少年中体重状态及相关 TyG 指标与血压偏高关系的队列研究

胡凌壮[1],关陶[2],陈保锋[3],范晖[4]

1. 川北医学院公共卫生学院,四川 南充 637000;2. 凉山彝族自治州疾病预防控制中心公共卫生检测所;
3. 川北医学院基础医学与法医学院;4. 川北医学院公共卫生学院流行病与卫生统计学教研室

摘要:目的 基于本次队列研究探讨青少年人群中体重指标和 TyG 指数(三酰甘油 - 葡萄糖指数),以及二者的混合指标,三酰甘油 - 葡萄糖 - 体重指数(TyG - BMI)和三酰甘油 - 葡萄糖 - 腰围指数(TyG - WC)对随访血压偏高发病风险的关系。**方法** 采用方便抽样法选取四川省 3 所学校初一、初二及高一年级的学生,于 2023 年 3 月开展随访,其平均随访时间为 1.25 年,失访率为 6.75%。采用多因素修正泊松回归模型分析体重指标和 TyG 指数,以及二者的混合指标(TyG - BMI 和 TyG - WC)与随访血压偏高的关系,使用 logistic 回归模型探讨基线 TyG 和随访 TyG 在不同体重状态与随访血压水平关系中的中介效应。**结果** 基线时未出现血压偏高的 812 名青少年,其平均年龄 14 岁,男性占 40.30%,随访期间共有 156 名青少年出现血压偏高,血压偏高的发生率为 19.21%。在多因素修正泊松回归分析中,TyG - BMI、TyG - WC 与随访时血压偏高之间均显示呈正相关(TyG - BMI: $RR = 1.009$, $P < 0.05$;TyG - WC: $RR = 1.004$, $P < 0.05$)。在中介效应模型中,未发现基线和随访 TyG 在不同体重状态与随访血压偏高关系中的中介效应。**结论** 我们发现 TyG - BMI 和 TyG - WC 与血压偏高存在关联,但在其中体重状态起到了关键作用。

关键词:青少年;血压偏高;三酰甘油 - 葡萄糖指数;三酰甘油 - 葡萄糖 - 体重指数;三酰甘油 - 葡萄糖 - 腰围指数;体重状态

中图分类号:R725 **文献标志码:**A **文章编号:**1003 - 8507(2026)06 - 1042 - 07

DOI:10.20043/j.cnki.MPM.202509218

A cohort study on the relationship between weight status and related TyG indicators and elevated blood pressure in adolescents

HU Ling - zhuang*, GUAN Tao, CHEN Bao - feng, FAN Hui

** School of Public Health, North Sichuan Medical College, Nanchong, Sichuan* 637000, *China*

Abstract: Objective To explore the relationship between body weight indicators and the TyG index (triglyceride - glucose index), as well as the combined indicators of these two factors, the triglyceride - glucose - weight index (TyG - BMI) and the triglyceride - glucose - waist circumference index (TyG - WC), and the risk of elevated blood pressure during follow - up among the adolescent population. **Methods** Using the convenient sampling method, students from the first, second and first - year senior grades of three schools in Sichuan Province were selected. A follow - up survey was conducted in March 2023, with an average follow - up period of 1.25 years and a dropout rate of 6.75%. The multivariate modified Poisson regression model was used to analyze the relationship between body mass index and TyG index, as well as the mixed indicators of the two (TyG - BMI and TyG - WC) and follow - up high blood pressure. The logistic regression model was used to explore the mediating effect of baseline TyG and follow - up TyG in the relationship between different body weight states and follow - up blood pressure levels. **Results** Among the 812 teenagers who did not have high blood pressure at the baseline, the average age was 14 years old, and 40.30% were male. During the follow - up period, a total of 156 teenagers developed high blood pressure, with an incidence rate of 19.21%. In the multivariate adjusted Poisson regression analysis, both TyG - BMI and TyG - WC showed a positive correlation with elevated blood pressure at the follow - up (TyG - BMI: $RR = 1.009$, $P < 0.05$; TyG - WC: $RR = 1.004$, $P < 0.05$). In the mediating effect model, no mediating effect of baseline and follow - up TyG in the relationship between different weight statuses and follow - up high blood pressure was found. **Conclusion** We found that TyG - BMI and TyG - WC were associated with high blood pressure, but weight status played a key role in it.

基金项目:川北医学院博士科研启动基金项目和重点培育项目(CBY18 - QD02,CBY22 - ZDB02);凉山州科技计划重点研发项目,21ZDYF0123)

作者简介:胡凌壮(2000—),男,硕士在读,研究方向:生命全程心血管流行病学

通信作者:陈保锋与范晖为共同通讯作者。陈保锋,E - mail: 78812955@qq.com;范晖,E - mail: 1577371399@qq.com

Keywords: Adolescents; Elevated blood pressure; Triglyceride – glucose index; Triglyceride – glucose – body mass index; Triglyceride – glucose – waist circumference index; Weight status

在 1990 年至 2019 年期间全球心血管病患病人数从 2.7 亿人增加至 5.23 亿人[1]。高血压疾病是导致人类心血管疾病的主要原因之一。近年来随着经济快速地发展和生活方式的改变,高血压的发病逐渐年轻化[2],在年轻人中由高血压导致的心血管疾病负担也越来越沉重[3]。2020 年,我国儿童高血压总患病率为 3.11%,影响约 680 万 6 – 18 岁儿童[4]。因此,预防儿童青少年高血压具有重要意义。

先前研究发现胰岛素抵抗(IR)是高血压的危险因素之一[5-6]。评估 IR 水平传统的方式是用稳态模型胰岛素抵抗指数(HOMA – IR),但 HOMA – IR 存在测量复杂,重复性差,不易获得等问题[7]。TyG 及其衍生指数(TyG – BMI 和 TyG – WC)是近几年提出的相关指标,这些指数具有简便、快捷的优点,并且研究发现 TyG – BMI、TyG – WC 与单独的 TyG 指数相比可以更好地反映胰岛素抵抗[8-9],从而代替传统检测方法。有相关的研究证明 TyG 及其衍生指数(TyG – BMI 和 TyG – WC)与血压存在关联[9]。但是,现有的大多是横断面研究并且主要关注中老年人群,在青少年人群中是否存在关联尚不清楚。因此,基于四川省青少年人群,我们设计了本次队列研究,以探讨四川省青少年人群中体重指标和 TyG 指数,以及二者的混合指标(TyG – BMI 和 TyG – WC)与随访血压偏高的关系,为防控青少年血压偏高提供科学依据。

1　方　法

1.1　*数据来源和人群*　本项队列研究于 2021 年 10 月在四川省开展。研究首先通过方便抽样选取了 3 所学校(分别标记为 A、B、C),这 3 所学校均涵盖初中和高中阶段。随后,在每所学校中针对初一、初二及高一年级,随机抽取 3 个班级,每所学校共计抽取 9 个班级,且将所选班级的全体青少年纳入研究范围,共 1 097 人。2023 年 3 月开展随访,我们去除因转学等原因失访人群后纳入了 1 023 名青少年的信息,将基线时已出现血压偏高,共 211 名青少年排除,剩余 812 名青少年纳入本次研究,此研究的随访平均时间为 1.25 年,失访率为 6.75%。

本研究获得了川北医学院伦理审查委员会的批准(批准号:202150),所有参与者以及其监护人均签署知情同意书。

1.2　*数据收集*　我们通过调查问卷收集了研究对象的一般人口学信息。具体来说,收集了社会经济特征,包括性别、年龄、民族(汉族、彝族、其他民族)、学校(A、B、C)。进一步收集生活习惯,包括饮酒(近一个月是否饮酒)、吸烟(近一个月是否吸烟)、睡眠时间(最近一个月睡眠时间,小时/天)、视屏时间(最近一个月观看电视和使用电脑/笔记本/手机时间,小时/天)。

由受过培训的专业人员使用经过校准的仪器测量儿童的身高、体重和血压。在对研究对象进行身高和体重测量时,研究对象需要脱去鞋子和身着轻便的衣物,垂直站立,以获取精确的结果。并计算体重指数(body mass index, BMI) = 体重(kg)/[身高(m)]^2。腰围(WC)的测量则借助尼龙带尺完成。被测者需保持站立姿势,双脚间距大约 1 cm,利用软尺沿着肚脐水平环绕腹部一周来确定腰围尺寸,结果以 cm 表示。在安静环境中,研究对象休息 10 分钟后,使用校正过的欧姆龙 HBP – 1320 电子血压计测量右臂血压 mmHg,共测三次,取平均值用于分析。

收集研究对象的生化指标时要求研究对象空腹 12 h。收集的生化指标包括空腹血糖(FPG)、甘油三酯(TG),并使用全自动生化分析仪对其进行检测。

1.3　*相关指数的计算*　$TyG = Ln[TG(mg/dL) \times FPG(mg/dL)/2]$[10];$TyG – BMI = TyG \times BMI(kg/m^2)$[11];$TyG – WC = TyG \times WC(cm)$[11]。

1.4　*定义和分组*

1.4.1　*定义*　血压标准:采用中国儿童青少年血压参照标准,即收缩压(SBP)或舒张压(DBP)≥同年龄、同性别、同身高的第 90 百分位值即为血压偏高[12]。腰围标准:根据中国儿童和青少年腰围参考标准,腰围增加指腰围≥年龄别和性别的第 75 百分位值[13]。超重肥胖标准:BMI≥中国儿童超重肥胖行业标准中性别、年龄别的相应超重切点,则儿童属于超重肥胖儿童[14]。

1.4.2　*TyG、TyG – BMI、TyG – WC 分组标准定义*　目前 TyG、TyG – BMI、TyG – WC 指数的正常值暂无国际统一标准[15],按照以往的参考文献[16],使用四分位数法来评估青少年 TyG、TyG – BMI、TyG – WC 状态,分别将青少年基线时的 TyG、TyG – BMI、TyG – WC 指数≥相应第 75 百分位值(P_{75})定义为高值组,< P_{75} 定义为正常(低值)组。类似的,我们将随访时的 TyG、TyG – BMI、TyG – WC 指数按照上述方法进行分组。

1.4.3　*分组*　根据基线时的 TyG 分组标准和超重肥胖(腰围)标准分别组合为四组:低/高 TyG × 正常体重/超重肥胖,以及低/高 TyG × 正常腰围/腹型肥胖。

根据研究对象在基线和随访时的 TyG、TyG –

BMI 及 TyG – WC 分组标准,分别将其分为四组:持续正常组:基线与随访时指标均正常组;由高转正常组:基线时指标升高,随访时恢复正常;由正常转高组:基线时指标正常,随访时升高;持续升高组:基线与随访时指标均高。该分组方式分别应用于 TyG – BMI、TyG 和 TyG – WC 三项指标。

1.5 *统计学分析* 采用 R 4.5.2 软件进行数据分析。采用 Kolmogorov – Smirnov 检验数据的正态分布。符合正态分布的计量资料采用均数 ± 标准差表示,非正态分布的计量资料用中位数(四分位数间距)[$M(P_{25},P_{75})$]表示。两组间的差异性比较采用成组 t 检验或 Wilcoxon 秩和检验。计数资料用人数和百分比(%)表示,采用 χ^2 检验进行组间比较。

调整协变量(年龄、性别、民族、饮酒情况、吸烟情况、高血压家族史、“屏幕时间”活动、睡眠时间以及随访时间因素)后,分别使用 12 个独立的多重线性回归模型分析三种暴露(基线 TyG、TyG – BMI、TyG – WC)与四种结局(随访时 SBP、DBP、DBP 变化值、SBP 变化值)的关系。调整了上述协变量后使用修正泊松回归模型[17],分别分析基线体重状态和 TyG 指标的联合效应、交互效应、混合指标效应与随访时血压偏高的关系。通过构建暴露类别的哑变量(以基线低 TyG 和正常体重状态为参照)计算相对超额风险比(RERI)、归因比例(AP)、协同指数(SI)来评估相加交互作用,若存在相加交互作用 RERI、AP 的 95% *CI* 不包括 0,SI95% *CI* 不包括 1[18],其 95% *CI* 通过 Delta 方法获得[19]。

进一步采用修正泊松回归模型分析基线和随访 TyG 变化、基线和随访 TyG – BMI 变化、基线和随访 TyG – WC 变化与随访时血压偏高的关系。

基于四个 logistic 回归模型,分别以基线和随访高 TyG(二分类)为中介变量,探讨其在不同体重状态(二分类)与随访血压偏高(二分类)关系中的中介效应。

所有模型中的自变量(年龄、性别、民族、饮酒情况、吸烟情况、高血压家族史、“屏幕时间”活动、睡眠时间和随访时间)膨胀因子(*VIF*)均 <5,不存在共线性问题。检验水准 $\alpha=0.05$。

2 结 果

2.1 *受试者的基线特征* 本研究共纳入 812 例研究对象,其中男性 327 例,女性 485 例,年龄 14(13 ~ 16)岁。血压偏高组与血压正常组在年龄、民族、学校、视屏时间、腰围、BMI、SBP、DBP、FPG、TyG – BMI 及 TyG – WC 比较的差异均有统计学意义($P<0.01$)。见表 1。

表 1 受试者的基线特征

Table 1 The baseline characteristics of the subjects

变量	全人群	随访时的血压状态			
		血压偏高组	血压正常组	$Z/\iota/\chi^2$ 值	P 值
年龄/岁[a]	14(13 ~ 16)	14(13 ~ 16)	14(13 ~ 15)	−2.776	0.006
男性[b]	327(40.3)	76(48.7)	251(38.3)	5.728	0.017
民族[b]					
汉族	280(34.5)	28(17.9)	252(38.4)	25.691	<0.001
彝族	513(63.2)	126(80.8)	387(58.9)		
其他民族	19(2.3)	2(1.3)	17(2.7)		
学校[b]					
学校 A	254(31.3)	17(10.9)	237(36.0)	69.519	<0.001
学校 B	233(28.7)	32(20.5)	201(31.0)		
学校 C	325(40.0)	107(68.6)	218(33.0)		
饮酒[b]	139(17.1)	20(12.8)	119(18.1)	2.514	0.113
吸烟[b]	43(5.3)	10(6.4)	33(5.0)	0.478	0.489
高血压家族史[b]	59(7.3)	13(8.3)	46(7.0)	0.326	0.568
视屏时间(小时/天)[a]	0.86(0.45 ~ 1.85)	1.13(0.51 ~ 3.59)	0.79(0.42 ~ 1.64)	−3.110	0.002
睡眠时间(小时/天)[a]	8.37(7.86 ~ 8.85)	8.33(7.93 ~ 8.85)	8.38(7.86 ~ 8.85)	−0.208	0.835
WC(cm)[a]	65.20(61.80 ~ 69.50)	66.00(62.50 ~ 71.20)	65.00(61.40 ~ 69.10)	−3.222	0.001
BMI(Kg/m^2)[a]	19.90(18.22 ~ 21.70)	20.78(19.14 ~ 22.52)	19.79(18.07 ~ 21.49)	−4.657	<0.001
SBP(mmHg)[a]	105.00(98.42 ~ 111.33)	111.00(104.00 ~ 114.67)	104.00(97.67 ~ 110.00)	−7.852	<0.001
DBP(mmHg)[a]	61.67(55.67 ~ 66.33)	63.00(58.33 ~ 67.33)	61.00(55.00 ~ 66.00)	−3.468	<0.001
FPG(mmol/L)	4.69 ± 0.43	4.83 ± 0.41	4.65 ± 0.42	−4.804	<0.001
TG(mmol/L)[a]	0.86(0.67 ~ 1.12)	0.83(0.65 ~ 1.12)	0.86(0.67 ~ 1.11)	−0.216	0.829
TyG[a]	8.09(7.82 ~ 8.34)	8.08(7.87 ~ 8.36)	8.08(7.80 ~ 8.33)	−0.821	0.412
TyG – BMI[a]	160.07(145.65 ~ 177.24)	169.42(153.17 ~ 182.57)	158.45(144.74 ~ 175.92)	−4.411	<0.001
TyG – WC[a]	525.81(492.45 ~ 564.76)	534.73(502.27 ~ 582.47)	523.82(488.77 ~ 560.17)	−3.132	0.002

注:TyG:三酰甘油 – 葡萄糖指数;TyG – BMI:三酰甘油 – 葡萄糖 – 体重指数;TyG – WC:三酰甘油 – 葡萄糖 – 腰围指数;BMI:体质指数;SBP:收缩压;DBP:舒张压;FPG:空腹血糖;TG:甘油三酯;非正态分布变量表示为中位数(四分位间距);正态分布数据用均数 ± 标准差表示;[a]数据用中位数[$M(P_{25},P_{75})$]表示;[b]数据括号外数据为例数,括号内数据为构成比(%)。

2.2　基线的 TyG 及其衍生指数(TyG－BMI、TyG－WC)与随访时血压水平及血压变化的关联　调整混杂因素后,多重线性回归结果显示:TyG－BMI(β=0.072,95% *CI*:0.048～0.096,P<0.001)、TyG－WC(β=0.032,95% *CI*:0.023～0.042;P<0.001)分别与随访时 SBP 存在正相关关系;TyG－BMI 与随访 SBP 与基线 SBP 差值也呈现正相关关系(β=0.027,95% *CI*:0.002～0.053,P=0.035)。见表 2。

表 2　基线的 TyG 及其衍生指数(TyG－BMI、TyG－WC)与随访时血压水平及血压变化的多重线性分析

Table 2　Multiple linear analysis of baseline TyG and its derived indices (TyG－BMI, TyG－WC) with blood pressure levels and blood pressure changes at follow－up

结局	暴露	模型 1		模型 2	
		β(95% *CI*)	P	β(95% *CI*)	P
随访 SBP	TyG	－0.210(－2.070～1.650)	0.825	0.182(－1.564～1.927)	0.838
	TyG－BMI	0.068(0.042～0.094)	<0.001	0.072(0.048～0.096)	<0.001
	TyG－WC	0.034(0.023～0.045)	<0.001	0.032(0.023～0.042)	<0.001
随访 DBP	TyG	1.646(－0.334～3.626)	0.103	0.577(－1.341～2.495)	0.555
	TyG－BMI	0.045(0.017～0.073)	0.002	0.024(－0.003～0.050)	0.085
	TyG－WC	0.010(－0.001～0.022)	0.085	0.012(0.001～0.023)	0.033
随访 SBP 与基线 SBP 差值	TyG	0.562(－1.349～2.472)	0.564	－0.605(－2.414～1.204)	0.511
	TyG－BMI	0.025(－0.002～0.053)	0.067	0.027(0.002～0.053)	0.035
	TyG－WC	0.007(－0.004～0.018)	0.220	0.009(－0.001～0.019)	0.093
随访 DBP 与基线 DBP 差值	TyG	2.104(－0.047～4.255)	0.055	0.600(－1.492～2.693)	0.573
	TyG－BMI	0.034(0.003～0.064)	0.033	0.013(－0.016～0.043)	0.374
	TyG－WC	0.001(－0.012～0.013)	0.926	0.002(－0.010～0.014)	0.729

注:模型 1 不校正任何因素;模型 2 校正了基线变量(年龄、性别、民族、饮酒情况、吸烟情况、高血压家族史、“屏幕时间”活动和睡眠时间),随访时间。

2.3　基线体重状态和 TyG 指标的联合效应、交互效应、混合指标效应与随访血压偏高的关系　多因素修正泊松回归分析发现,在联合效应中将基线 TyG 与 BMI 定义体重状态分组后,结果显示高 TyG 和超重肥胖组发生血压偏高风险是低 TyG 和正常体重组的 2.004 倍(95% *CI*:1.227～3.272);将基线 TyG 与 WC 定义体重状态联合分组后,我们观察到类似的结局。交互作用分析发现:在相乘交互尺度、相加交互尺度上均未发现基线 TyG 指数与 BMI 或腰围在随访血压偏高中存在显著的交互作用。混合指标效应分析发现:基线 TyG－WC 和 TyG－BMI 均与随访血压偏高呈现正相关(P<0.001)。见表 3。

表 3　基线体重状态和 TyG 指标与随访血压偏高的关系

Table 3　The relationship between baseline weight status and TyG indicators and follow－up elevated blood pressure

基线变量	血压偏高发病率(%)	模型 1		模型 2	
		RR(95% *CI*)	P	*RR*(95% *CI*)	P
联合效应					
TyG 和 BMI 定义体重状态					
低 TyG 和正常体重组(n=523)	16.6	1.000		1.000	
高 TyG 和正常体重组(n=152)	19.7	1.186(0.816～1.724)	0.369	1.194(0.851～1.676)	0.306
低 TyG 和超重肥胖组(n=86)	27.9	1.678(1.136～2.478)	0.009	1.889(1.313～2.718)	<0.001
高 TyG 和超重肥胖组(n=51)	29.4	1.768(1.108～2.819)	0.017	2.004(1.227～3.272)	0.005
TyG 和 WC 定义体重状态					
低 TyG 和正常腰围组(n=505)	17.8	1.000		1.000	
高 TyG 和正常腰围组(n=144)	20.8	1.169(0.807～1.691)	0.407	1.148(0.821～1.605)	0.421
低 TyG 和腹型肥胖组(n=104)	20.2	1.133(0.740～1.733)	0.565	1.427(0.958～2.125)	0.081
高 TyG 和腹型肥胖组(n=59)	25.4	1.427(0.886～2.295)	0.143	1.832(1.127～2.978)	0.015
交互效应					
基线 TyG 和基线 BMI 交互作用					
相乘交互					
TyG		1.186(0.816～1.724)	0.369	1.194(0.851～1.676)	0.306
BMI		1.678(1.136～2.478)	0.009	1.889(1.313～2.718)	<0.001
基线 TyG×基线 BMI		0.888(0.459～1.719)	0.725	0.889(0.465～1.699)	0.721
相加交互指标					
RERI		－0.096(－1.202～1.009)		－0.079(－1.237～1.079)	

（续表）

基线变量	血压偏高发病率(%)	模型 1		模型 2	
		RR(95% *CI*)	*P*	*RR*(95% *CI*)	*P*
AP		−0.054(−1.101 ~ 0.992)		−0.039(−0.630 ~ 0.552)	
SI		0.888(0.249 ~ 3.179)		0.927(0.125 ~ 3.683)	
基线 TyG 和基线 WC 交互作用					
相乘交互					
TyG		1.169(0.808 ~ 1.691)	0.407	1.148(0.821 ~ 1.605)	0.421
WC		1.133(0.740 ~ 1.733)	0.565	1.427(0.958 ~ 2.125)	0.081
基线 TyG × 基线 WC		1.077(0.541 ~ 2.143)	0.833	1.119(0.578 ~ 2.166)	0.738
相加交互指标					
RERI		0.125(−0.760 ~ 1.009)		0.258(−0.766 ~ 1.283)	
AP		0.087(−0.705 ~ 0.879)		0.141(−0.373 ~ 0.655)	
SI		1.412(0.114 ~ 17.561)		1.449(0.326 ~ 6.443)	
混合指标效应					
TyG − BMI		1.008(1.005 ~ 1.011)	<0.001	1.009(1.005 ~ 1.013)	<0.001
TyG − WC		1.004(1.002 ~ 1.005)	<0.001	1.004(1.003 ~ 1.006)	<0.001

注：模型 1 不校正任何因素；模型 2 校正了基线变量（年龄、性别、民族、饮酒情况、吸烟情况、高血压家族史、“屏幕时间”活动和睡眠时间），随访时间。

2.4 基线和随访 TyG 及其衍生指数（TyG − BMI、TyG − WC）与随访血压偏高的关联 调整了年龄、性别、民族、饮酒情况、吸烟情况、高血压家族史、“屏幕时间”活动、睡眠时间和随访时间后，结果显示：基线和随访 TyG − BMI 均高组发生血压偏高风险是基线和随访 TyG − BMI 均正常组的 1.846 倍（95% *CI*：1.289 ~ 2.645）；基线和随访 TyG − WC 均高组发生血压偏高风险是基线和随访 TyG − WC 均正常组的 1.939 倍（95% *CI*：1.415 ~ 2.659）。见表 4。

表 4 基线和随访时 TyG、TyG − BMI、TyG − WC 的变化情况与随访时血压偏高的关系

Table 4 The relationship between the changes of TyG, TyG − BMI and TyG − WC at baseline and follow − up and the high blood pressure at follow − up

基线变量	血压偏高发病率(%)	模型 1		模型 2	
		RR(95% *CI*)	*P*	*RR*(95% *CI*)	*P*
TyG 分组					
TyG 持续正常组（*n* = 469）	16.2	1.000		1.000	
TyG 由高转正常组（*n* = 140）	24.3	1.496(1.045 ~ 2.140)	0.028	1.414(1.005 ~ 1.991)	0.047
TyG 由正常转高组（*n* = 141）	24.8	1.529(1.073 ~ 2.178)	0.018	1.427(0.999 ~ 2.039)	0.051
TyG 持续升高组（*n* = 62）	17.7	1.093(0.614 ~ 1.943)	0.763	1.316(0.752 ~ 2.304)	0.336
TyG − BMI 分组					
TyG − BMI 持续正常组（*n* = 541）	15.9	1.000		1.000	
TyG − BMI 由高转正常组（*n* = 69）	28.9	1.823 (1.200 ~ 2.770)	0.005	1.624 (1.069 ~ 2.467)	0.023
TyG − BMI 由正常转高组（*n* = 68）	25	1.573 (0.997 ~ 2.482)	0.052	1.556 (1.017 ~ 2.381)	0.042
TyG − BMI 持续升高组（*n* = 134）	24.6	1.549 (1.086 ~ 2.209)	0.016	1.846 (1.289 ~ 2.645)	<0.001
TyG − WC 分组					
TyG − WC 持续正常组（*n* = 532）	15.9	1.000		1.000	
TyG − WC 由高转正常组（*n* = 77）	14.3	0.894 (0.499 ~ 1.601)	0.706	0.880 (0.501 ~ 1.546)	0.658
TyG − WC 由正常转高组（*n* = 77）	28.6	1.788 (1.194 ~ 2.679)	0.005	1.544 (1.034 ~ 2.306)	0.033
TyG − WC 持续升高组（*n* = 126）	30.2	1.888 (1.357 ~ 2.626)	<0.001	1.939 (1.415 ~ 2.659)	<0.001

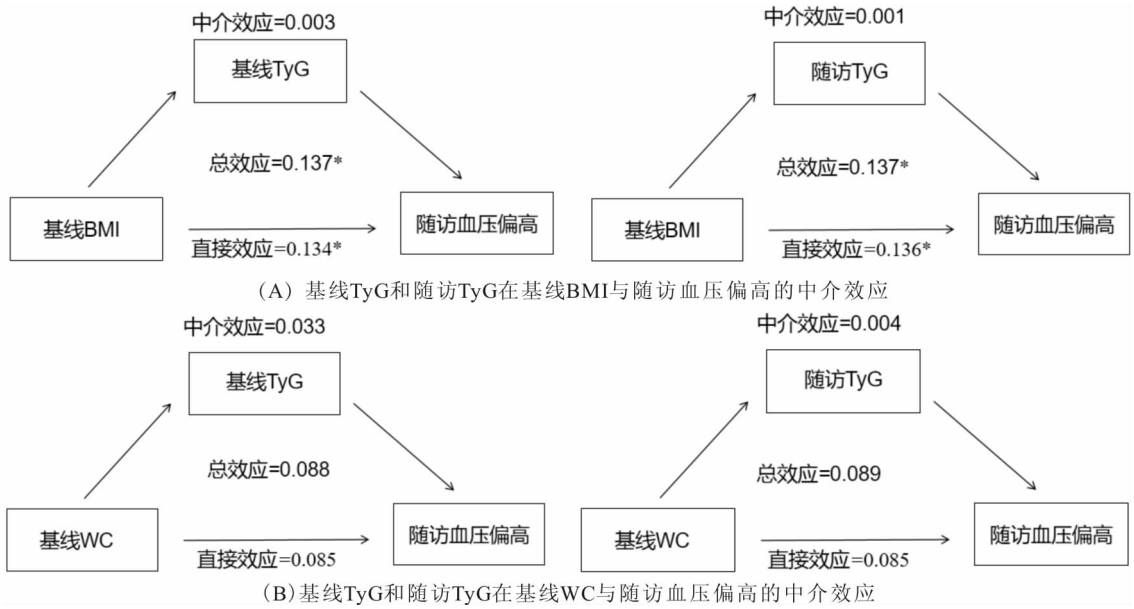
注：模型 1 不校正任何因素；模型 2 校正了基线变量（年龄、性别、民族、饮酒情况、吸烟情况、高血压家族史、“屏幕时间”活动和睡眠时间），随访时间。

2.5 基线 TyG 和随访 TyG 在不同体重状态与随访血压偏高关系中的中介效应 研究显示：无论基线 BMI 定义的体重状态还是基线 WC 定义的体重状态对随访时血压偏高均具有显著的直接效应，但基线 TyG 和随访 TyG 在这一因果路径中均未发现中介作用。

3 讨 论

通过这项基于青少年人群的队列研究，我们发现：基线 TyG − BMI、基线 TyG − WC 与随访期血压偏高有关；基线和随访持续性的高 TyG − BMI、高 TyG − WC 增加血压偏高的风险；无论是基线 TyG 还是随访

TyG，我们未发现其在不同体重状态与随访血压偏高关系中的中介效应。



注：* $P<0.01$。BMI：体质量指数；WC：腰围；中介效应分析中调整了基线变量（年龄、性别、民族、饮酒情况、吸烟情况、高血压家族史、“屏幕时间”活动和睡眠时间），随访时间。

图 1　在不同体重状态与随访血压水平关系中基线 TyG 或随访 TyG 的中介效应

Fig. 1　Mediating effects of TyG at baseline or follow – up in the relationship between different weight statuses and follow – up blood pressure levels

既往有大量成年人群横断面研究和队列研究发现 TyG – BMI 和 TyG – WC 与高血压密切相关[20-21]。例如：在我国开展的一项横断面研究显示 TyG – BMI 与血压之间存在相关性，并且这种相关性在年轻和中年人群中更为明显[22]。此外，纵向研究表明 TyG – BMI 和 TyG – WC 的升高增加高血压的风险[23]。但相关研究在青少年中较少。以往横断面研究发现：在青少年中，当 TyG – BMI 和 TyG – WC 处于高值时，血压异常的风险会升高[24]。本队列研究进一步证实：青少年中，基线 TyG – BMI、基线 TyG – WC 与随访时的 SBP、随访时血压偏高有关。我们的研究还发现基线到随访持续的高 TyG – BMI、TyG – WC 均会增加血压偏高的风险。

此外，我们的研究提供了新的信息：无论基线 TyG 处于何种水平，基线高 BMI 均会增加随访时血压偏高的风险（见表 3）；无论是基线 TyG 还是随访 TyG，我们未发现其在基线超重肥胖与随访血压偏高关系中的中介效应。以上结果说明在短期随访过程中 BMI 可能还没有通过胰岛素抵抗来导致血压偏高。虽然有相关的研究显示超重肥胖可以通过引起胰岛素抵抗的发生从而导致血压偏高[25-26]，但这一变化过程可能需要一定的时间，而本次队列研究随访时间较短并未发现 TyG 直接导致血压偏高，在短期的随访中较高水平的 TyG – BMI、TyG – WC 可能主要还是由高 BMI 或高 WC 来引起的血压偏高。在短期的随访时间高 BMI、高 WC 导致的血压偏高的机制可能如下：（1）肥胖与交感神经活动增加和副交感神经活动减少有关，在这些因素的作用下导致外周血管收缩、外周血管阻力增加，进而导致血压上升。（2）当脂肪增多时，脂肪细胞可通过局部产生血管紧张素 II 和醛固酮，以旁分泌方式作用于周围血管、神经和脂肪组织本身，协同促进血管收缩、钠潴留和炎症，最终导致血压升高[27]。

本研究的优势在于此次开展的是一项队列研究，因果论证强度高。本研究还存在一定的局限性：首先，此次研究的样本量较少，并且本研究是基于四川省青少年人群开展的，所得结论外推受限，以及研究随访时间较短，可能影响研究结果；其次，我们的随访 TyG 与血压升高是同时随访测量的，在进行肥胖测量 – TyG 随访水平 – 血压升高这组的中介分析时时间前后顺序的设计上并不太理想；最后，在设计和实施的过程中还可能有混杂因素并未识别，从而影响到结果。

综上所述，基于青少年人群的短期队列研究，我们发现 TyG – BMI 和 TyG – WC 与血压偏高存在关联，但在其中体重状态起到了关键作用。未来还需要

在大样本、长时间随访基础上进一步分析 TyG - BMI 和 TyG - WC 与血压偏高的关系。

利益冲突声明 本研究不存在任何利益冲突

参考文献

[1] Roth GA, Mensah GA, Johnson CO, et al. Global burden of cardiovascular diseases and risk factors, 1990 - 2019: update from the GBD 2019 study[J]. Journal of the American College of Cardiology, 2020, 76(25): 2982 - 3021.

[2] Wang LL, Song LL, Liu BQ, et al. Trends and status of the prevalence of elevated blood pressure in children and adolescents in China: a systematic review and meta - analysis[J]. Current Hypertension Reports, 2019, 21(11): 88.

[3] Jing L, Xiang B, Linyan W, et al. Global burden of cardiovascular diseases attributable to hypertension in young adults from 1990 to 2019[J]. Journal of Hypertension, 2021, 39(12): 2488 - 2496.

[4] Zhou JL, Wu J, Jiang DN, et al. National, regional and provincial prevalence of childhood hypertension in China in 2020: a systematic review and modelling study[J]. Lancet Child Adolesc Health, 2024, 8(12): 872 - 881.

[5] Tagi VM, Mainieri F, Chiarelli F. Hypertension in patients with insulin resistance: etiopathogenesis and management in children[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2022, 23(10): 5814.

[6] Wang F, Han L, Hu D. Fasting insulin, insulin resistance and risk of hypertension in the general population: A meta - analysis[J]. Clinica Chimica Acta, 2017, 464: 57 - 63.

[7] Bala C, Gheorghe - Fronea O, Pop D, et al. The association between six surrogate insulin resistance indexes and hypertension: a Population - Based study[J]. Metabolic Syndrome and Related Disorders, 2019, 17(6): 328 - 333.

[8] Er L, Wu S, Chou H, et al. Triglyceride Glucose - Body mass index is a simple and clinically useful surrogate marker for insulin resistance in nondiabetic individuals[J]. PLOS One, 2017, 11(3): e0149731.

[9] Liu H, Meng C, Wang Z, et al. Association of novel insulin resistance indices with blood pressure in New - Onset hypertension and elevated blood pressure individuals: a Cross - Sectional study[J]. Diabetes, Metabolic Syndrome and Obesity : Targets and Therapy, 2023, 11: 3953 - 3965.

[10] Simental - Mendía LE, Rodríguez - Morán M, Guerrero - Romero F. The product of fasting glucose and triglycerides as surrogate for identifying insulin resistance in apparently healthy subjects[J]. Metabolic Syndrome and Related Disorders, 2008, 6(4): 299 - 304.

[11] Khamseh ME, Malek M, Abbasi R, et al. Triglyceride glucose index and related parameters (triglyceride Glucose - Body mass index and triglyceride Glucose - Waist circumference) identify nonalcoholic fatty liver and liver fibrosis in individuals with overweight/obesity[J]. Metabolic Syndrome and Related Disorders, 2021, 19(3): 167 - 173.

[12] 范晖,闫银坤,米杰. 中国 3 ~ 17 岁儿童性别,年龄别和身高别血压参照标准[J]. 中华高血压杂志,2017,25(5):428 - 435.
Fan H, Yan YK, Mi J. Updating blood pressure references for Chinese children aged 3 - 17 years[J]. Chinese Journal of Hypertension, 2017, 25(5): 428 - 435. (In Chinese)

[13] Ma GS, Ji CY, Ma J, et al. Waist circumference reference values for screening cardiovascular risk factors in Chinese children and adolescents[J]. Biomedical and Environmental Sciences, 2010, 23(1): 21 - 31.

[14] 中华人民共和国卫生和计划生育委员会. WS/T 586 - 2018 学龄儿童青少年超重与肥胖筛查[S]. 北京:中国标准出版社, 2018.
Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. WS/T 586 - 2018 Screening for overweight and obesity among school - aged children and adolescents[S]. Beijing: Standards Press of China, 2018. (In Chinese)

[15] 王芳. ZJU 指数,甘油三酯 - 葡萄糖乘积指数在代谢综合征患者中识别 OSAHS 的效能分析[D]. 兰州:兰州大学,2025.
Wang F. Analysis of the efficacy of ZJU index and triglyceride - glucose product index in identifying OSAHS in patients with metabolic syndrome[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2025. (In Chinese)

[16] 邵敏,王馨,胡真,等. TyG 指数,TyG - WC 指数和 TyG - BMI 指数与职业人群高血压前期发生风险的关联性研究[J]. 中国心血管杂志,2020,30(2):192 - 198.
Shao M, Wang X, Hu Z, et al. Correlation Study of TyG Index, TyG - WC Index and TyG - BMI Index with the Risk of Prehypertension in the Occupational Population[J]. Chinese Journal of Cardiovascular Diseases, 2020, 30(2): 192 - 198. (In Chinese)

[17] Zou GY. A modified poisson regression approach to prospective studies with binary data[J]. American Journal of Epidemiology, 2004, 159(7): 702 - 706.

[18] Andersson T, Alfredsson L, Källberg H, et al. Calculating measures of biological interaction[J]. European Journal of Epidemiology, 2005, 20(7): 575 - 579.

[19] Hosmer DW, Lemeshow S. Confidence interval estimation of interaction[J]. Epidemiology, 1992, 3(5): 452 - 456.

[20] Huang XM, He JC, Wu GX, et al. TyG - BMI and hypertension in Normoglycemia subjects in Japan: A cross - sectional study[J]. Diabetes & Vascular Disease Research: Official Journal of the International Society of Diabetes and Vascular Disease, 2023, 20(3): 14791641231173617.

[21] Wang M, Teng T, Zhang N, et al. Derivatives of the triglyceride - glucose index and their association with incident hypertension in prehypertensive individuals: a 4 - year cohort study augmented by mendelian randomization[J]. Cardiovascular Diabetology, 2025, 24(1): 284.

[22] Yijia C, Jinling D, Nan Z, 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 Cardiovascular Disorders, 2024, 24(1): 270 - 270.

[23] Yuan Y, Sun W, Kong XQ. Comparison between distinct insulin resistance indices in measuring the development of hypertension: The China Health and Nutrition Survey[J]. Front Cardiovasc Med, 2022, 9: 912197.

[24] Tian M, Ma YX, Tong LL, et al. Relationship of triglyceride - glucose index and its derivatives with blood pressure abnormalities in adolescents: an analysis based on a restricted cubic spline model[J]. Chinese Journal of Contemporary Pediatrics, 2024, 26(1): 54 - 61.

[25] Wagenknecht LE, Langefeld CD, Scherzinger AL, et al. Insulin sensitivity, insulin secretion, and abdominal fat: the Insulin Resistance Atherosclerosis Study (IRAS) Family Study[J]. Diabetes, 2003, 52(10): 2490 - 2496.

[26] Jia GH, Sowers JR. Hypertension in diabetes: an update of basic mechanisms and clinical disease[J]. Hypertension, 2021, 78(5): 1197 - 1205.

[27] Chrysant SG. Pathophysiology and treatment of obesity - related hypertension[J]. Journal of Clinical Hypertension (Greenwich, Conn.), 2019, 21(5): 555 - 559.

收稿日期:2025-09-12