·专题报道——健康老龄化与积极老龄化·

中国≥80 岁高龄老人胰岛素抵抗替代指数与高尿酸血症患病关系及其预测效能：基于 2015—2017 年中国居民营养与健康状况监测

杨宇祥[1,2]，蔡姝雅[1,3]，郝佳锶[2]，汪艳梅[2]，南晶[1]，王瑞莲[1]，赵丽云[1]，于冬梅[1,3]

1. 中国疾病预防控制中心营养与健康所，北京 100050；
2. 格罗宁根大学医学中心，荷兰 格罗宁根 9713GZ；
3. 国家卫生健康委公共营养与健康重点实验室，北京 100050
通信作者：于冬梅，E-mail：yudm@ninh.chinacdc.cn

【摘　要】目的　探索中国≥80 岁高龄老人胰岛素抵抗替代指数与高尿酸血症的关系，并评价不同指标对高尿酸血症的预测效能，为该人群高尿酸血症防治提供科学依据。**方法**　基于中国居民营养与健康状况监测（2015—2017 年）数据，采用多阶段分层整群随机抽样，对我国 31 个省（自治区、直辖市）抽取的 2 667 名 80 岁以上高龄老人进行问卷调查、体格测量和实验室检测。使用甘油三酯葡萄糖（TyG）指数并结合体质指数（BMI）、腰围（WC）、腰高比（WHtR）衍生的 TyG-BMI、TyG-WC、TyG-WHtR 指数、甘油三酯/高密度脂蛋白胆固醇比值（TG/HDL-C）以及胰岛素抵抗代谢评分（MET-IR）作为胰岛素抵抗的评估指标，并分别按升序将人群按四分位法分组，将男性血尿酸浓度≥420 μmol/L 及女性血尿酸浓度≥360 μmol/L 者定义为患有高尿酸血症，使用多因素非条件 logistic 回归分析二者关系，并结合受试者工作特征曲线比较不同指标对高尿酸血症患病的预测效能。**结果**　中国 2 667 名高龄老人中，患高尿酸血症者占 23.24%，且高尿酸血症患病率与体质指数（χ^2=38.167）、婚姻状况（χ^2=4.012）、睡眠时间分组（χ^2=6.452）及高血压（χ^2=12.320）、糖尿病（χ^2=4.922）、血脂异常患病情况（χ^2=38.541）组间差异均有统计学意义（均 P<0.05）。多因素非条件 logistic 回归结果显示，在调整年龄、性别、BMI、居住地、文化程度、婚姻状况、家庭人均年收入、目前吸烟、目前饮酒、身体活动水平、睡眠时间以及高血压、糖尿病和血脂异常的患病情况后，各胰岛素抵抗指数最高组与最低组相比，TyG（*OR*=1.79，95%*CI*=1.30～2.45）、TyG-BMI（*OR*=2.41，95%*CI*=1.41～4.13）、TyG-WC（*OR*=1.84，95%*CI*=1.27～2.67）、TyG-WHtR（*OR*=1.99，95%*CI*=1.39～2.86）、TG/HDL-C（*OR*=1.81，95%*CI*=1.31～2.50）、MET-IR（*OR*=2.20，95%*CI*=1.32～3.69），更高的胰岛素抵抗指数均与高尿酸血症的患病风险存在正向关联。ROC 分析提示，TyG-WC 指数对高龄老人高尿酸血症患病情况的预测效能最优。**结论**　TyG、TyG-BMI、TyG-WC、TyG-WHtR、TG/HDL-C 以及 METS-IR 为中国 80 岁以上高龄老人患有高尿酸血症的独立风险因素，且 TyG-WC 指数可作为中国高龄老人高尿酸血症患病风险的较优预测因子，为该人群高尿酸血症的防治工作提供新靶点。

【关键词】 高龄老人；高尿酸血症；胰岛素抵抗；TyG 指数；预测效能

Predictive performance of insulin resistance surrogate indices for hyperuricemia among Chinese older adults aged over 80 years: based on the China nutrition and health surveillance, 2015–2017

YANG Yuxiang[1,2], CAI Shuya[1,3], HAO Jiasi[2], WANG Yanmei[2], NAN Jing[1], WANG Ruilian[1], ZHAO Liyun[1], YU Dongmei[1,3] (*1. National Institute for Nutrition and Health*, *Chinese Center for Disease Control and Prevention*, *Beijing* 100050, *China*; *2. University Medical Center Groningen*, *University of Groningen*, *Groningen* 9713*GZ*, *the Netherlands*; *3. NHC Key Laboratory of Public Nutrition and Health*, *Beijing* 100050, *China*)
Corresponding author: YU Dongmei, E-mail: yudm@ninh.chinacdc.cn

【Abstract】 Objective To explore the associations between insulin resistance surrogate indices and hyperuricemia among Chinese older adults aged over 80 years and evaluate the predictive performance of different indices for hyperuricemia, thus providing a scientific basis for the prevention and control of hyperuricemia in this population. **Methods** On the basis of the data from the China Nutrition and Health Surveillance (2015–2017), multistage stratified cluster random sampling was employed to select 2 667 participants aged over 80 years from 31 provinces (autonomous regions, municipalities) in China. A questionnaire survey, physical measurements, and laboratory tests were conducted. The triglyceride-glucose (TyG) index was combined with body mass index (BMI), waist circumference (WC), and waist-

开放获取：CC BY-NC-ND 4.0 DOI：10.11847/zgggws1148944
基金项目：国家财政项目“公共卫生应急—营养健康与合理膳食行动”（102393220020070000012）；国家建设高水平大学公派研究生项目（202408110159）
第一作者：杨宇祥（1996—），博士，研究方向：营养与健康流行病学。
收稿日期：2025-09-19　修回日期：2025-10-17　录用日期：2026-03-07
利益冲突：不存在　伦理审查：已获取　出版授权：全体作者已与编辑部签署作者贡献声明及版权转让协议

to-height ratio (WHtR) to derive the TyG-BMI, TyG-WC, and TyG-WHtR indices, which, together with the triglyceride/high-density lipoprotein cholesterol (TG/HDL-C) ratio, metabolic score for insulin resistance (METS-IR), were used as insulin resistance surrogate indices. The participants were categorized by ascending quartiles. Hyperuricemia was defined as a serum uric acid concentration ⩾ 420 μmol/L in men and ⩾ 360 μmol/L in women. Multivariable unconditional logistic regression was adopted to explore the associations between insulin resistance surrogate indices and hyperuricemia. Receiver operating characteristic (ROC) curves were established to compare the predictive performance of different indices for hyperuricemia. **Results** Among the 2 667 Chinese older adults, 23.24% had hyperuricemia, and the prevalence of hyperuricemia was statistically different among different groups of body mass index (BMI) (χ^2 = 38.167), marital status (χ^2 = 4.012), sleep duration (χ^2 = 6.452), hypertension (χ^2 = 12.320), diabetes (χ^2 = 4.922), and dyslipidemia (χ^2 = 38.541) (all P < 0.05). The results of multivariable unconditional logistic regression showed that after adjusting for age, sex, BMI, place of residence, educational background, marital status, annual household income per capita, current smoking, current drinking, physical activity level, sleep duration, and the prevalence of hypertension, diabetes, and dyslipidemia, each insulin resistance surrogate index was positively associated with the risk of hyperuricemia. Compared with the lowest group, the highest group of TyG (*OR* = 1.79, 95%*CI*: 1.30–2.45), TyG-BMI (*OR* = 2.41, 95%*CI*: 1.41–4.13), TyG-WC (*OR* = 1.84, 95%*CI*: 1.27–2.67), TyG-WHtR (*OR* = 1.99, 95%*CI*: 1.39–2.86), TG/HDL-C (*OR* = 1.81, 95%*CI*: 1.31–2.50), and MET-IR (*OR* = 2.20, 95%*CI*: 1.32–3.69) had a significantly higher risk of hyperuricemia. ROC analysis suggested that the TyG-WC index had the best predictive performance for the prevalence of hyperuricemia in this population. **Conclusions** TyG, TyG-BMI, TyG-WC, TyG-WHtR, TG/HDL-C, and METS-IR are independent risk factors for hyperuricemia in the Chinese older adults aged over 80 years. The TyG-WC index could be used as an elite predictor of hyperuricemia risk, providing a new target for the prevention and treatment of hyperuricemia in this population.

【**Keywords**】 older adults; hyperuricemia; insulin resistance; TyG index; predictive performance

高尿酸血症是一种以血清尿酸浓度升高为特征的代谢性疾病，主要由体内尿酸的合成增加和(或)排泄减少导致，并可能进一步引发机体多个器官的损伤和系统性代谢异常[1]。据报道，高尿酸血症已成为全球流行的第二大代谢性疾病，近 20 年来，我国成人高尿酸血症的患病率持续快速上升，据 Zhang M 等[2–4]学者研究，截至 2019 年已达到 14%。因高尿酸血症与痛风、慢性肾病、心血管疾病以及糖尿病等多种疾病的发生风险密切相关，其所带来巨大的经济和医疗卫生负担不容忽视，亟需探索针对有效的早期防治靶点和措施[5]。一项基于孟德尔随机化分析的研究显示，胰岛素抵抗可导致高尿酸血症，而降低胰岛素抵抗水平可以降低血清尿酸浓度，进而降低高尿酸血症和痛风的发病风险，提示胰岛素抵抗水平是高尿酸血症发生发展的重要影响因素[6]。葡萄糖钳夹技术是评估机体胰岛素抵抗水平的金标准，但由于其有创伤、检测成本高且操作复杂，导致其在常规临床和健康监测中难以广泛使用[7]。近年来，一些基于常规血生化检测的替代性指标被广泛用于评估胰岛素抵抗水平，包括甘油三酯/高密度脂蛋白胆固醇比值(triglyceride/high-density lipoprotein cholesterol, TG/HDL-C)、胰岛素抵抗代谢评分(metabolic score for insulin resistance, MET-IR)、甘油三酯葡萄糖(triglyceride-glucose, TyG)指数及其结合体质指数(body mass index, BMI)、腰围(waist circumference, WC)以及腰高比(waist to height ratio, WHtR)衍生的 TyG-BMI、TyG-WC 以及 TyG-WHtR，在评估胰岛素抵抗水平方面表现出较高的灵敏度和特异度，显示出在人群研究中良好的应用潜力[8]。伴随着我国老龄化进程不断加速，我国 80 岁以上高龄老人数量持续上升，高尿酸血症带来的潜在健康危害和疾病负担将更加突出，但尚缺少针对该人群胰岛素抵抗与高尿酸血症的关系研究[9–10]。综上，本研究基于中国居民营养与健康状况监测(2015—2017 年)数据，探索高龄老人胰岛素抵抗与高尿酸血症患病风险的关联，并比较多种胰岛素抵抗替代指标对高尿酸血症患病的预测效能。

1 对象与方法

1.1 对象　基于中国居民营养与健康状况监测(2015—2017 年)数据，采用多阶段分层整群随机抽样，结合区域和城乡因素的分布均衡性和现有工作条件后，在 31 个省(自治区、直辖市)的 298 个监测点随机抽取 189 605 名 18 岁及以上常住居民，并提取 80 岁及以上者为调查对象。后续的排除标准包括：(1)存在人口学信息缺失者；(2)未完成生活行为方式及膳食信息调查者；(3)未参加或未完成体格测量和实验室检测者；(4)既往被诊断为慢性泌尿系统疾病者[11]。本研究最终纳入 2 667 名研究对象进入后续分析。本项目经中国疾病预防控制中心伦理委员会审查并批准(项目号：201519–B)，研究对象均在调查前签署知情同意书；其他信息已在既往发表文献中说明[12]。

1.2 方法

1.2.1 问卷调查　全部调查由经过统一培训和考核的调查员以面对面访谈的形式完成，采用统一的标准化调查问卷，调查包括人口学信息(性别、年龄、居住地、文化程度、家庭收入、婚姻状况)、

生活行为方式(吸烟、饮酒、身体活动、睡眠时间及膳食摄入)以及慢性病史(基于社区卫生服务中心或乡镇卫生院及以上级别的医疗卫生机构的诊断)。其中,膳食调查通过询问研究对象过去一年的膳食消费习惯,记录其蔬菜类、水果类、畜肉类的膳食消费频率(次/天、周、月、年)以及单次平均摄入量(克/次),估计调查对象平均每日摄入量。

1.2.2 体格测量 由调查员使用统一的检测工具并在严格的质量控制下进行。使用 TZG 型身高坐高计(cm,精确度 0.1 cm)测量身高,百利达 HD–390 型电子体重秤(kg,精确度 0.1 kg)测量体重,以国家工作组统一发放的腰围尺(cm,精确度 0.1 cm)测量腰围,采用欧姆龙 HBP1300 型电子血压计(mmHg,精确度 1 mmHg)测量血压。全部测量均在清晨空腹状态下进行。此外,根据研究对象的身高和体重计算体质指数(body mass index, BMI),并将人群分为消瘦(BMI<18.5 kg/m^2)、正常(18.5 kg/m^2≤BMI<24 kg/m^2)、超重(24 kg/m^2≤BMI<28 kg/m^2)和肥胖(BMI≥28 kg/m^2)4 组[12]。

1.2.3 实验室检测 采集调查对象的空腹静脉血 8 mL,测量空腹血糖(fasting plasma glucose, FPG,己糖激酶法)、总胆固醇(胆固醇氧化酶法)、甘油三酯(去游离甘油法)、高密度脂蛋白胆固醇(直接测定法—抗体阻碍法)及低密度脂蛋白胆固醇(直接测定法—选择保护法)和血尿酸(尿酸酶法)。

1.2.4 指标和结局定义 共纳入 6 种替代性胰岛素抵抗评价指标,具体计算公式如下[11–13]:

$$\mathrm{TyG}=\ln[(\mathrm{TG(mg/dL)}\times\mathrm{FPG(mg/dL)}/2)] \quad (1)$$

$$\mathrm{TyG-BMI}=\ln[(\mathrm{TG(mg/dL)}\times\mathrm{FPG(mg/dL)}/2]\times\mathrm{BMI} \quad (2)$$

$$\mathrm{TyG-WC}=\ln[(\mathrm{TG(mg/dL)}\times\mathrm{FPG(mg/dL)}/2]\times\mathrm{WC} \quad (3)$$

$$\mathrm{TyG-WHtR}=\ln[(\mathrm{TG(mg/dL)}\times\mathrm{FPG(mg/dL)}/2]\times(\mathrm{WC}/\text{身高}) \quad (4)$$

$$\mathrm{TG/HDL-C}=\mathrm{TG(mg/dL)}/\mathrm{HDL-C(mg/dL)} \quad (5)$$

$$\mathrm{METS-IR}=\ln[2\times\mathrm{FPG(mg/dL)}+\mathrm{TG(mg/dL)}]\times\mathrm{BMI(kg/m^2)}/\ln[\mathrm{HDL-C(mg/dL)}] \quad (6)$$

对于结局,除基于研究对象自我报告的既往诊断外,将两周内服用降压药物和(或)3 次平均收缩压≥140 mmHg 和(或)3 次平均舒张压≥90 mmHg 者定义为高血压[14],接受降糖治疗和(或)空腹血糖≥7.0 mmol/L 者定义为糖尿病[15],接受降脂治疗和(或)血清总胆固醇≥6.2 mmol/L 和(或)甘油三酯≥2.26 mmol/L 和(或)低密度脂蛋白胆固醇≥4.14 mmol/L 和(或)高密度脂蛋白胆固醇<1.04 mmol/L 者定义为血脂异常[16],男性血尿酸浓度≥420 μmol/L 及女性血尿酸浓度≥360 μmol/L 者定义为高尿酸血症[17]。

1.2.5 协变量 基于既往文献报道[11],本研究将胰岛素抵抗、高尿酸血症及二者之间关联性的潜在混杂因素作为协变量纳入统计模型控制。包括:性别(男性/女性)、年龄(连续性变量)、BMI(连续性变量)、居住地(城市/农村)、文化程度(接受/未接受过正规学校教育)、家庭人均年收入(<10 000、10 000～24 999、≥25 000 元/年或未报告)、婚姻状况(已婚/离异及其他)、目前吸烟(是/否)、目前饮酒(是/否)、身体活动水平(低/中/高)[18]、每日睡眠时长(<7、7～9、>9 h/d)以及高血压、糖尿病和血脂异常的患病情况(是/否)。

1.3 统计分析 描述性分析中,使用均数(标准差)$\bar{x}(s)$描述连续性变量,使用例数和百分比(n, %)描述分类变量,分别使用 t 检验和 χ^2 检验比较组间差异。使用多因素非条件 logistic 回归分析胰岛素抵抗相关指数与高尿酸血症的关联性,分别使用 6 种指数按升序将研究对象进行四分位法分组(Quartile 1～4,Q1～Q4),以 Q1 组为参照,计算其余各组的比值比及 95% 置信区间[OR(95%CI)]。逐步纳入协变量建立 3 个模型:模型 1 为未调整的粗模型,模型 2 调整年龄、性别和 BMI,模型 3 进一步调整其余潜在的混杂因素。同时,以各指数的 z 标准化值作为连续变量,评估各指数每增加 1 个标准差与高尿酸血症患病风险的线性关联($P_{趋势}$)。此外,在模型 3 的基础上,将研究对象按性别、居住地、目前吸烟和饮酒情况分组,评估不同亚组中胰岛素抵抗相关指数与高尿酸血症之间的关联,并通过在模型中分别纳入胰岛素抵抗指标与各亚组因素的乘法交互项,采用似然比检验评估交互作用的统计学意义。采用受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线分析计算胰岛素抵抗指标与高尿酸血症患病风险的曲线下面积(area under curve, AUC),比较不同指标在高龄老人中对高尿酸血症的预测能力。TyG 指数与其他指标的 AUC 之间的统计学差异则依据 DeLong 非参数检验进行比较[19]。本研究使用 SAS 9.4 以及 R 4.4.2 完成分析,以双侧 P<0.05 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 基本特征 纳入的 2 667 名 80 岁以上高龄老人中,男性 1 267 人(47.51%),女性 1 400 人(52.49%);按体质指数划分,消瘦 254 人(9.52%),正常

1 514 人(56.77%)，超重 695 人(26.06%)，肥胖 204 人(7.65%)；居住地为城市 1 072 人(40.19%)，农村 1 595 人(59.81%)。研究对象平均年龄为 83.44 岁，TyG 指数为 8.55，TyG-BMI 为 195.52，TyG-WC 为 698.36，TyG-WHtR 为 4.54，TG/HDL-C 为 2.74，METS-IR 为 33.94；蔬菜摄入量为 278.63 g/d，水果摄入量为 58.95 g/d，畜肉类摄入量为 44.73 g/d；血清尿酸浓度为 332.39 μmol/L。

2.2　高尿酸血症患病情况(表 1)　在最终纳入分析的 2 667 名中国 80 岁以上高龄老人中，高尿酸血症患者 620 例(23.34%)，其中男性 284 例、女性 336 例，平均年龄为 83.44 岁。高尿酸血症患者与非患者的不同体质指数(χ^2=38.167)、婚姻状况(χ^2=4.012)、睡眠时间分组(χ^2=6.452)及高血压(χ^2=12.320)、糖尿病(χ^2=4.922)、血脂异常患病情况(χ^2=38.541)的构成比差异均有统计学意义(均 P<0.05)，且在TyG(t=7.450)、TyG-BMI(t=8.480)、TyG-WC(t=8.740)、TyG-WHtR(t=8.380)、TG/HDL-C(t=7.680)、METS-IR(t=8.880)、水果摄入量(t=2.100)、畜肉类摄入量(t=2.010)以及血清尿酸浓度(t=56.220)差异也均有统计学意义(均 P<0.001)。

表 1　中国 80 岁及以上高龄老人不同特征分组的基本情况及高尿酸血症患病率

Table 1　Basic information and prevalence of hyperuricemia in different characteristic groups of Chinese older adults aged over 80 years

基本特征	总体		高尿酸血症				χ^2值/t值	P值
	人数/均数[a]	(构成比/%)/标准差[b]	未患高尿酸血症		患高尿酸血症			
			例数/均数	(构成比/%)/标准差	人数/均数	(构成比/%)/标准差		
总体	2 667	100.00	2 074	76.76	620	23.24		
性别							0.936	0.333
男	1 267	47.51	983	77.58	284	22.42		
女	1 400	52.49	1 064	76.00	336	24.00		
BMI							38.167	<0.001
消瘦	254	9.52	213	83.86	41	16.14		
正常	1 514	56.77	1 199	79.19	315	20.81		
超重	695	26.06	505	72.66	190	27.34		
肥胖	204	7.65	130	63.73	74	36.27		
居住地							0.838	0.360
城市	1 072	40.19	813	75.84	259	24.16		
农村	1 595	59.81	1 234	77.37	361	22.63		
正规教育							0.591	0.442
未接受	1 434	53.77	1 109	77.34	325	22.66		
接受	1 233	46.23	938	76.07	295	23.93		
家庭人均年收入/元							0.302	0.960
<10 000	926	34.72	710	76.67	216	23.33		
10 000～<25 000	679	25.46	526	77.47	153	22.53		
≥25 000	524	19.65	401	76.53	123	23.47		
未报告	538	20.17	410	76.21	128	23.79		
婚姻状况							4.012	0.045
已婚	1 629	61.08	1 229	75.45	400	24.55		
离异及其他	1 038	38.92	818	78.81	220	21.19		
吸烟							0.089	0.765
是	510	19.12	394	77.25	116	22.75		
否	2 157	80.88	1 653	76.63	504	23.37		
饮酒							1.711	0.191
是	540	20.25	403	74.63	137	25.37		
否	2 127	79.75	1 644	77.29	483	22.71		
身体活动水平							1.883	0.390
低	1 259	47.21	965	76.65	294	23.35		

续表 1
Table 1 Continued

基本特征	总体		高尿酸血症				χ^2值/t值	P值
	人数/均数[a]	（构成比/%）/标准差[b]	未患高尿酸血症		患高尿酸血症			
			例数/均数	（构成比/%）/标准差	人数/均数	（构成比/%）/标准差		
中	748	28.05	564	75.40	184	24.60		
高	660	24.75	518	78.48	142	21.52		
睡眠时间/（h/d）							6.452	0.040
<7	1 239	46.46	947	76.43	292	23.57		
7～<9	749	28.08	597	79.71	152	20.29		
≥9	679	25.46	503	74.08	176	25.92		
高血压							12.320	<0.001
是	1 935	72.55	1 451	74.99	484	25.01		
否	732	27.45	596	81.42	136	18.58		
糖尿病							4.922	0.027
是	375	14.06	271	72.27	104	27.73		
否	2 292	85.94	1 776	77.49	516	22.51		
血脂异常							38.541	<0.001
是	919	34.46	641	69.75	278	30.25		
否	1 748	65.54	1 406	80.43	342	19.57		
年龄/岁	83.44	3.02	83.43	3.01	83.47	3.08	0.260	0.796
TyG	8.55	0.60	8.51	0.58	8.71	0.64	7.450	<0.001
TyG-BMI	195.52	37.18	192.21	36.03	206.46	38.81	8.480	<0.001
TyG-WC	698.36	117.83	687.54	114.34	734.08	122.14	8.740	<0.001
TyG-WHtR	4.54	0.75	4.47	0.73	4.76	0.79	8.380	<0.001
TG/HDL-C	2.74	2.81	2.52	2.29	3.50	4.00	7.680	<0.001
METS-IR	33.94	7.17	33.20	6.85	36.15	7.74	8.880	<0.001
蔬菜摄入量/（g/d）	278.63	261.77	273.76	247.58	294.72	303.63	1.750	0.081
水果摄入量/（g/d）	58.95	108.26	56.53	98.06	66.93	136.41	2.100	0.036
畜肉类摄入量/（g/d）	44.73	68.30	43.20	65.87	49.57	75.61	2.010	0.044
血清尿酸/（μmol/L）	332.39	92.47	294.91	59.49	456.13	71.77	56.220	<0.001

注：a 表中分类变量对应的数值为人数，连续型变量对应的数值为均数；b 表中分类变量对应的数值为构成比，连续型变量对应的数值为标准差。

2.3 胰岛素抵抗指标与高尿酸血症

2.3.1 两者的关系分析（表 2） logistic 回归分析结果显示，在模型 3 中，各胰岛素抵抗指数均与高尿酸血症的患病风险存在正向关联。以不同指数的最低组（Q1）作为参照组，相应最高组（Q4）个体患高尿酸血症的风险均显著升高，Q4 与 Q1 相比，高尿酸血症的患病风险为 Q1 的 1.79～2.41 倍，校正后 *OR* 值（95%*CI*）分别为：TyG（*OR*=1.79，95%*CI*=1.30～2.45，$P_{趋势}$ < 0.001），TyG-BMI（*OR*=2.41，95%*CI*=1.41～4.13，$P_{趋势}$<0.001），TyG-WC（*OR*=1.84，95%*CI*=1.27～2.67，$P_{趋势}$<0.01），TyG-WHtR（*OR*=1.99，95%*CI*=1.39～2.86，$P_{趋势}$<0.01），TG/HDL-C（*OR*=1.81，95%*CI*=1.31～2.50，$P_{趋势}$<0.001），MET-IR（*OR*=2.20，95%*CI*=1.32～3.69，$P_{趋势}$<0.001）。

表 2 中国 80 岁以上高龄老人不同胰岛素抵抗指标与高尿酸血症的关系
Table 2 Associations between different insulin resistance surrogate indices and the risk of hyperuricemia among Chinese older adults aged over 80 years

胰岛素抵抗指标	样本量		模型1[a]		模型2[b]		模型3[c]	
	人数	患病率/%	*OR*（95%*CI*）	$P_{趋势}$[d]	*OR*（95%*CI*）	$P_{趋势}$	*OR*（95%*CI*）	$P_{趋势}$
TyG								
Q1	666	16.82	参照组	<0.001	参照组	<0.001	参照组	<0.001
Q2	667	18.59	1.13（0.85～1.50）		1.08（0.81～1.44）		1.08（0.81～1.44）	
Q3	667	25.04	1.65（1.26～2.16）		1.51（1.15～1.99）		1.46（1.10～1.94）	
Q4	667	35.00	2.39（1.84～3.09）		2.00（1.52～2.64）		1.79（1.30～2.45）	

续表 2
Table 2 Continued

胰岛素抵抗指标	样本量		模型1[a]		模型2[b]		模型3[c]	
	人数	患病率/%	*OR*(95%*CI*)	$P_{趋势}$[d]	*OR*(95%*CI*)	$P_{趋势}$	*OR*(95%*CI*)	$P_{趋势}$
TyG-BMI								
Q1	666	14.86	参照组	<0.001	参照组	<0.001	参照组	<0.001
Q2	667	19.94	1.43(1.07～1.90)		1.49(1.08～2.04)		1.40(1.01～1.93)	
Q3	667	25.04	1.91(1.45～2.52)		2.05(1.42～2.97)		1.74(1.18～2.56)	
Q4	667	33.13	2.84(2.17～3.71)		3.21(1.96～5.27)		2.41(1.41～4.13)	
TyG-WC								
Q1	666	15.62	参照组	<0.001	参照组	<0.001	参照组	<0.001
Q2	667	18.29	1.21(0.91～1.61)		1.15(0.85～1.54)		1.09(0.81～1.47)	
Q3	667	26.09	1.91(1.45～2.50)		1.71(1.26～2.32)		1.52(1.11～2.08)	
Q4	667	32.98	2.66(2.04～3.46)		2.24(1.58～3.16)		1.84(1.27～2.67)	
TyG-WHtR								
Q1	666	16.22	参照组	<0.001	参照组	<0.001	参照组	<0.001
Q2	667	18.59	1.18(0.89～1.57)		1.12(0.83～1.50)		1.06(0.79～1.42)	
Q3	667	23.09	1.55(1.18～2.04)		1.41(1.03～1.91)		1.28(0.93～1.76)	
Q4	667	35.08	2.79(2.15～3.62)		2.40(1.70～3.37)		1.99(1.39～2.86)	
TG/HDL-C								
Q1	666	16.37	参照组	<0.001	参照组	<0.001	参照组	<0.001
Q2	667	18.59	1.17(0.88～1.55)		1.11(0.83～1.47)		1.10(0.82～1.46)	
Q3	667	25.49	1.75(1.34～2.29)		1.56(1.19～2.06)		1.50(1.13～1.99)	
Q4	667	32.53	2.46(1.90～3.20)		2.04(1.55～2.69)		1.81(1.31～2.50)	
METS-IR								
Q1	666	14.71	参照组	<0.001	参照组	<0.001	参照组	<0.001
Q2	667	20.39	1.48(1.12～1.97)		1.49(1.09～2.03)		1.42(1.03～1.94)	
Q3	667	24.74	1.91(1.44～2.51)		1.92(1.35～2.72)		1.65(1.13～2.41)	
Q4	667	33.13	2.87(2.20～3.76)		2.90(1.85～4.54)		2.20(1.32～3.69)	

注：a 模型1为粗模型，未调整任何协变量；b 模型2调整了年龄、性别以及BMI；c 模型3在模型2的基础上进一步调整了居住地、文化程度、家庭人均年收入、婚姻状况、目前吸烟、目前饮酒、身体活动水平、睡眠时间以及高血压、糖尿病和血脂异常的患病情况；d $P_{趋势}$基于对应胰岛素抵抗指标每增加一个标准差计算。

2.3.2 两者关系的亚组分析(表 3) 将研究对象进一步按性别、居住地、目前吸烟和目前饮酒分组，在各亚组内分析胰岛素抵抗指标与高尿酸血症患病风险的关联。结果显示，与 Q1 组相比，Q4 组在多数亚组中各指数与高尿酸血症的正向关联仍具有统计学意义。此外，结果提示 TyG 指数与居住地(城市：*OR*=1.13，95%*CI*=0.67～1.90；农村：*OR*=2.69，95%*CI*=1.79～4.06，$P_{交互}$=0.023)、TyG-BMI 指数与目前吸烟(否：*OR*=2.45，95%*CI*=1.35～4.44；是：*OR*=4.94，95%*CI*=1.18～20.70，$P_{交互}$<0.001)之间存在交互作用。

表 3 中国 80 岁以上高龄老人不同胰岛素抵抗指标与高尿酸血症关系的亚组分析
Table 3 Subgroup analysis of the associations between different insulin resistance surrogate indices and the risk of hyperuricemia among Chinese older adults aged over 80 years

亚组	TyG		TyG-BMI		TyG-WC		TyG-WHtR		TG/HDL-C		METS-IR	
	OR(95%*CI*)[a]	$P_{交互}$	*OR*(95%*CI*)	$P_{交互}$	*OR*(95%*CI*)	$P_{交互}$	*OR*(95%*CI*)	$P_{交互}$	*OR*(95%*CI*)	$P_{交互}$	*OR*(95%*CI*)	$P_{交互}$
性别		0.097		0.608		0.512		0.381		0.642		0.498
男性	1.69(1.06～2.69)		4.10(1.78～9.44)		2.00(1.16～3.46)		3.01(1.73～5.23)		2.09(1.28～3.41)		2.86(1.25～6.51)	
女性	1.90(1.21～2.98)		2.01(0.97～4.20)		1.90(1.13～3.17)		1.47(0.89～2.41)		1.70(1.09～2.65)		2.24(1.13～4.44)	
居住地		0.023		0.107		0.154		0.013		0.757		0.951
城市	1.13(0.67～1.90)		1.18(0.51～2.74)		1.77(0.92～3.40)		1.87(0.97～3.58)		1.39(0.83～2.33)		1.63(0.73～3.65)	
农村	2.69(1.79～4.06)		4.72(2.24～9.93)		2.23(1.39～3.57)		2.46(1.56～3.90)		2.30(1.50～3.52)		3.34(1.64～6.80)	
目前吸烟		0.928		0.008		0.520		0.418		0.968		0.216

续表 3
Table 3 Continued

亚组	TyG		TyG-BMI		TyG-WC		TyG-WHtR		TG/HDL-C		METS-IR	
	OR(95%*CI*)[a]	$P_{交互}$	*OR*(95%*CI*)	$P_{交互}$	*OR*(95%*CI*)	$P_{交互}$	*OR*(95%*CI*)	$P_{交互}$	*OR*(95%*CI*)	$P_{交互}$	*OR*(95%*CI*)	$P_{交互}$
否	1.64(1.15～2.34)		2.45(1.35～4.44)		1.71(1.13～2.58)		1.66(1.11～2.48)		1.76(1.23～2.53)		2.53(1.44～4.46)	
是	2.66(1.31～5.42)		4.94(1.18～20.70)		2.93(1.21～7.13)		6.19(2.46～15.59)		2.10(0.97～4.53)		1.17(0.28～4.80)	
目前饮酒		0.217		0.094		0.281		0.256		0.101		0.126
否	1.70(1.19～2.43)		2.86(1.56～5.25)		1.96(1.28～2.99)		1.80(1.20～2.71)		1.58(1.10～2.26)		2.89(1.61～5.19)	
是	2.07(1.03～4.16)		1.67(0.48～5.83)		1.97(0.86～4.54)		3.47(1.49～8.06)		3.00(1.39～6.50)		0.92(0.28～3.01)	

注：a 亚组分析基于模型3的多因素非条件logistic回归进行分析，调整了除亚组因素外的年龄、性别、BMI、居住地、文化程度、家庭人均年收入、婚姻状况、目前吸烟、目前饮酒、身体活动水平、睡眠时间以及高血压、糖尿病和血脂异常的患病情况，结果为Q4组与Q1组之间进行比较的*OR*值。

2.3.3 不同胰岛素抵抗指标对高尿酸血症患病风险的预测效能比较（表 4 和图 1） 比较研究对象的不同胰岛素抵抗指数对高尿酸血症患病的预测能力，各指标预测高尿酸血症患病的 AUC 均高于 0.5，其中 TyG-WC 的 AUC 值最高（AUC=0.62，95%*CI*=0.59～0.64），且与 TyG 指数相比差异具有统计学意义（P_{AUC}=0.049），其余指标则未观察到与 TyG 指数 AUC 的显著差异（均 P_{AUC}≥0.05）。TyG-WC 指数在预测高尿酸血症患病情况的灵敏度为 0.57，特异度为 0.62，约登指数为 1.19。其余各指标的灵敏度和特异度分别在 0.51～0.60 和 0.57～0.66 之间波动，约登指数均为 1.17。

表 4 中国 80 岁以上高龄老人不同胰岛素抵抗指标预测高尿酸血症的 ROC 曲线比较
Table 4 Comparison of ROC curves of different insulin resistance surrogate indices for predicting hyperuricemia among Chinese older adults aged over 80 years

胰岛素抵抗指标	AUC(95%*CI*)	P_{AUC}	截断值	灵敏度	特异度	约登指数
TyG	0.60(0.57～0.62)	参照	8.53	0.60	0.57	1.17
TyG-BMI	0.61(0.59～0.64)	0.144	202.98	0.52	0.66	1.17
TyG-WC	0.62(0.59～0.64)	0.049	712.77	0.57	0.62	1.19
TyG-WHtR	0.61(0.59～0.64)	0.130	4.60	0.58	0.59	1.17
TG/HDL-C	0.61(0.58～0.63)	0.105	2.21	0.57	0.60	1.17
METS-IR	0.61(0.59～0.64)	0.187	35.20	0.51	0.66	1.17

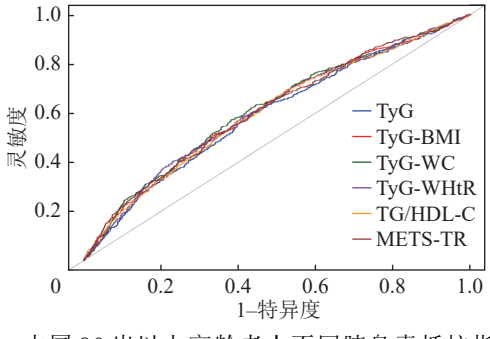


图 1 中国 80 岁以上高龄老人不同胰岛素抵抗指标预测高尿酸血症的 ROC 曲线
Fig. 1 ROC curves of different insulin resistance surrogate indices for predicting hyperuricemia among Chinese older adults aged over 80 years

3 讨 论

由于高龄老人中患心血管疾病以及接受慢性病药物治疗的比例较高，导致该人群更容易患有高尿酸血症[20]。而又由于高尿酸血症与痛风、肾脏疾病、骨质疏松等严重影响高龄老人健康及生命质量的疾病密切相关，因此，亟需探究高龄老人高尿酸血症的防治靶点[21]。本研究针对中国 80 岁以上高龄老人胰岛素抵抗水平与高尿酸血症的关联性进行分析，结果显示，该人群的高尿酸血症患病率为 23.24%，高于中国 18 岁以上成人的患病率[2]。作为评估胰岛素抵抗水平的重要替代工具，包括 TyG、TyG-BMI、TyG-WC、TyG-WHtR、TG/HDL-C 以及 METS-IR 在内的 6 种评估指标均与高尿酸血症的患病风险存在正向关联，且在多数亚组中，结果保持稳定。ROC 分析结果提示，6 种指标在预测该人群高尿酸血症患病风险的效能较为接近，且 TyG-WC 指数的预测能力相对最优。以上结果提示，胰岛素抵抗指标或可作为中国高龄老人高尿酸血症患病风险的重要预测因素。

本研究结果与既往研究一致。一项荟萃分析显示，在成人中，TyG 指数与高尿酸血症的风险呈正向关联，且 TyG 指数每增加 1 个单位，患高尿酸血症的风险就会增加 2.07 倍[22]。Han Y 等[11]学者基于中国中老年人群的研究显示，TyG、TG/HDL、METS-IR 和 TyG-BMI 指数升高与该人群高尿酸血症患病风险增加有关。另一项基于中美两国成年人群的研究显示，TyG、TyG-BMI、TyG-WHtR、TyG-WC 指数的升高均与高尿酸血症的患病风险增加有关，提示这些指标可作为人群中筛查高尿

酸血症患病状况的潜在指标[23]。一些机制可能解释胰岛素抵抗与高尿酸血症的关系，胰岛素抵抗会引发炎症级联反应，影响肝脏对嘌呤的代谢，并增强参与尿酸合成的黄嘌呤氧化还原酶的活性，导致血尿酸浓度升高[24]。高胰岛素血症是胰岛素抵抗之后出现的代偿机制，而血中胰岛素浓度升高可通过影响肾小管对钠的重吸收功能进而降低肾脏对尿酸的排泄，导致血尿酸水平升高和高尿酸血症的发生[24]。动物和细胞学试验结果也证明了胰岛素对肾脏尿酸转运的直接影响，胰岛素水平升高可刺激葡萄糖转运蛋白–9（glucose transporter-9, GLUT9）的表达及 GLUT9 对尿酸盐的转运活性，进而导致近端小管对尿酸的重吸收功能增强及后续的血尿酸水平升高[25]；且胰岛素可提高肾小管上皮细胞尿酸转运蛋白–1（urate transporter 1, URAT1）的表达水平，也可导致肾小管对尿酸的重吸收增加从而升高血尿酸水平[26]。

在本研究的亚组分析中，还观察到居住地和目前吸烟状况对胰岛素抵抗指标与高尿酸血症患病关联性的修饰作用，其中，在农村居民与目前吸烟人群中，二者的关联性更强。而比较不同特征高龄老人的高尿酸血症患病情况时，并未观察到高尿酸血症患病率在居住地和目前吸烟状况分布的差异有统计学意义。原因可能为，与城市地区相比，农村地区由于生活中（如烹饪、取暖等）固态燃料（如煤炭、木材等）使用率更高，其燃烧产生的可吸入颗粒物及其有害组分会诱发机体的炎症反应和氧化应激，进而影响肾功能并导致血尿酸浓度升高，从而增加高尿酸血症的发病风险[27–28]。此外，农村地区医疗水平较低、医疗卫生资源可及性相对较差，可能影响农村地区高龄老人的整体健康水平和慢性病管理效果，从而增强胰岛素抵抗与高尿酸血症患病的关系[29]。既往研究显示，吸烟可作为高尿酸血症的独立危险因素，且可通过影响血流动力学和（或）造成肾脏内皮细胞慢性损伤，从而影响肾脏的结构和功能，降低机体对尿酸的排泄能力[30–31]。

既往研究结果显示，与其他代谢性指标相比，TyG 指数在高尿酸血症的识别方面效果更优[32]。因此，本研究进一步比较了 6 种胰岛素抵抗指标在预测中国高龄老人高尿酸血症患病方面的效能。与既往结果近似，Han Y 等[11] 学者比较了 TyG、TG/HDL、METS-IR 和 TyG-BMI 指标对中国中老年人群高尿酸血症发病风险的预测能力，提示上述 4 种指标表现出相似的预测性能。而一项美国的人群研究同样比较了上述 4 种指标对该人群高尿酸血症的识别能力，但结果提示，TyG-BMI 和 METS-IR 对高尿酸血症的识别能力更优[33]，不同研究结果的差异可能与研究设计和人种差异有关[11]。本研究还发现，与 TyG 指数相比，TyG-WC 指数的预测性能更优，该结果与一项基于中国高血压患者的研究结果一致，其比较了 TyG、TyG-BMI、TyG-WHtR 和 TyG-WC 对 5 年内高尿酸血症发病风险的预测能力，同样发现 TyG-WC 指数具有最优的预测性能[34]。例如，BMI 和 WC 等肥胖评价指标可介导 TyG 指数与高尿酸血症的关联[35]，也提示将 TyG 指数与肥胖指标相结合可能提高对高尿酸血症的预测效能。结合本研究结果，并考虑到我国高龄老人的 BMI 总体水平较低，且存在随年龄增加而下降的趋势，因此，将 TyG 与以腰围为代表的中心型肥胖指标相结合可能更有助于识别该人群高尿酸血症的风险[10]。

本研究尚具有一定的局限性，首先，由于此研究基于横断面设计，因此难以对胰岛素抵抗与高尿酸血症的关系作出因果推断；第二，本研究未能排除既往有痛风病史的研究对象，可能对关联性分析的结果造成一定的偏倚；第三，由于人力及物力的限制，本研究未测量与肾功能有关的指标（如肾小球滤过率等）[36]。因此，无法在关联性分析中进一步校正肾功能。

综上，本研究基于中国居民营养与健康状况监测（2015—2017 年）数据，发现 TyG、TyG-BMI、TyG-WC、TyG-WHtR、TG/HDL-C 以及 METS-IR 与中国高龄老人高尿酸血症患病风险存在正向关联。且 TyG-WC 指数可作为该人群高尿酸血症患病风险的较优预测因子。结果提示，胰岛素抵抗替代性指标可作为一种实用、可靠且具有成本效益的工具，为防治高龄人群高尿酸血症提供识别和干预靶点。通过评估胰岛素抵抗水平识别重点关注人群，有望为进一步提升高龄老人的健康水平和生活质量提供新的思路与依据。

数据可用性声明　基于中国疾病预防控制中心营养与健康所数据相关保密规定和政策，本研究所使用的中国居民营养与健康状况监测（2015—2017 年）数据不予公开，但可联系本文通信作者咨询数据使用相关问题。

参考文献

[1] Du L, Zong Y, Li H R, et al. Hyperuricemia and its related diseases: mechanisms and advances in therapy[J]. Signal Transduction and Targeted Therapy, 2024, 9(1): 212.

[2] Zhang M, Zhu X X, Wu J, et al. Prevalence of hyperuricemia among Chinese adults: findings from two nationally representative cross-sectional surveys in 2015–16 and 2018–19[J]. Frontiers in Immunology, 2022, 12: 791983.

[3] Li Y, Shen Z Y, Zhu B W, et al. Demographic, regional and temporal trends of hyperuricemia epidemics in mainland China from 2000 to 2019: a systematic review and meta-analysis[J]. Global Health Action, 2021, 14(1): 1874652.

[4] Hou W X, Xia X M, Li Y, et al. Recent progress and perspectives on the relationship between hyperuricemia and periodontitis[J]. Frontiers in Immunology, 2022, 13: 995582.
[5] Li X, Meng X R, Timofeeva M, et al. Serum uric acid levels and multiple health outcomes: umbrella review of evidence from observational studies, randomised controlled trials, and mendelian randomisation studies[J]. BMJ, 2017, 357: j2376.
[6] McCormick N, O'Connor M J, Yokose C, et al. Assessing the causal relationships between insulin resistance and hyperuricemia and gout using bidirectional mendelian randomization[J]. Arthritis and Rheumatology, 2021, 73(11): 2096-2104.
[7] Khamseh M E, 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.
[8] Zhou S Z, Yu Y J, Zhang Z X, et al. Association of obesity, triglyceride-glucose and its derivatives index with risk of hyperuricemia among college students in Qingdao, China[J]. Frontiers in Endocrinology, 2022, 13: 1001844.
[9] Mazza A, Lenti S, Schiavon L, et al. Asymptomatic hyperuricemia is a strong risk factor for resistant hypertension in elderly subjects from general population[J]. Biomedicine and Pharmacotherapy, 2017, 86: 590-594.
[10] 周锦辉, 刘思馨, 章正, 等. 中国 80 岁及以上高龄老年人体质指数分布特征 [J]. 中华流行病学杂志, 2023, 44(6): 855-861.
[11] Han Y T, Zhou Z L, Zhang Y G, et al. The association of surrogates of insulin resistance with hyperuricemia among middle-aged and older individuals: a population-based nationwide cohort study[J]. Nutrients, 2023, 15(14): 3139.
[12] Yu D M, Zhao L Y, Zhang J, et al. China nutrition and health surveys (1982–2017)[J]. China CDC Weekly, 2021, 3(9): 193-195.
[13] Wei X Y, Min Y, Song G, et al. Association between triglyceride-glucose related indices with the all-cause and cause-specific mortality among the population with metabolic syndrome[J]. Cardiovascular Diabetology, 2024, 23(1): 134.
[14] 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.
[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)[J]. 中华糖尿病杂志, 2021, 13(4): 315-409.
[16] 中国成人血脂异常防治指南修订联合委员会. 中国成人血脂异常防治指南 (2016 年修订版)[J]. 中国循环杂志, 2016, 31(10): 937-953.
[17] 杨宇祥, 蔡姝雅, Szili-Torok T, 等. 终止高血压膳食依从性与成人血尿酸水平和高尿酸血症的关系——系统性炎症的中介作用 [J]. 卫生研究, 2025, 54(4): 540-548.
[18] 樊萌语, 吕筠, 何平平. 国际体力活动问卷中体力活动水平的计算方法 [J]. 中华流行病学杂志, 2014, 35(8): 961-964.
[19] DeLong E R, DeLong D M, Clarke-Pearson D L. Comparing the areas under two or more correlated receiver operating characteristic curves: a nonparametric approach[J]. Biometrics, 1988, 44(3): 837-845.
[20] Winder M, Owczarek A J, Mossakowska M, et al. Prevalence of hyperuricemia and the use of allopurinol in older poles-results from a population-based polSenior study[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2021, 18(2): 387.
[21] Wen S J, Arakawa H, Tamai I. Uric acid in health and disease: from physiological functions to pathogenic mechanisms[J]. Pharmacology and Therapeutics, 2024, 256: 108615.
[22] Wang J, He Q, Sun W H, et al. The association between the triglyceride glucose index and hyperuricemia: a dose-response meta-analysis[J]. Nutrients, 2025, 17(9): 1462.
[23] Gou R Y, Dou D N, Tian M, et al. Association between triglyceride glucose index and hyperuricemia: a new evidence from China and the United States[J]. Frontiers in Endocrinology, 2024, 15: 1403858.
[24] Facchini F, Chen Y D I, Hollenbeck C B, et al. Relationship between resistance to insulin-mediated glucose uptake, urinary uric acid clearance, and plasma uric acid concentration[J]. JAMA, 1991, 266(21): 3008-3011.
[25] Mandal A K, Leask M P, Estiverne C, et al. Genetic and physiological effects of insulin on human urate homeostasis[J]. Frontiers in Physiology, 2021, 12: 713710.
[26] Toyoki D, Shibata S, Kuribayashi-Okuma E, et al. Insulin stimulates uric acid reabsorption via regulating urate transporter 1 and ATP-binding cassette subfamily G member 2[J]. American Journal of Physiology-Renal Physiology, 2017, 313(3): F826-F834.
[27] Zhang J, Zhang H X, Qiu J, et al. Long-term exposure to ambient $PM_{2.5}$ and its components associated with hyperuricemia: evidence from a rural cohort study[J]. Journal of Hazardous Materials, 2025, 492: 138197.
[28] 杨宇祥, 于冬梅, 朴玮, 等. 2015—2017 年中国家庭主妇慢性病与烹饪燃料的关系 [J]. 卫生研究, 2023, 52(3): 375-381.
[29] Ying M L, Wang S J, Bai C, et al. Rural-urban differences in health outcomes, healthcare use, and expenditures among older adults under universal health insurance in China[J]. PLoS One, 2020, 15(10): e0240194.
[30] Zhang T J, Gu Y Q, Meng G, et al. Genetic risk, adherence to a healthy lifestyle, and hyperuricemia: the TCLSIH cohort study[J]. The American Journal of Medicine, 2023, 136(5): 476-483. e5.
[31] Fu Y C, Xu Z L, Zhao M Y, et al. The association between smoking and renal function in people over 20 years old[J]. Frontiers in Medicine, 2022, 9: 870278.
[32] Kahaer M, Zhang B, Chen W J, et al. Triglyceride glucose index is more closely related to hyperuricemia than obesity indices in the medical checkup population in Xinjiang, China[J]. Frontiers in Endocrinology, 2022, 13: 861760.
[33] Wang H, Zhang J, Pu Y Z, et al. Comparison of different insulin resistance surrogates to predict hyperuricemia among U. S. non-diabetic adults[J]. Frontiers in Endocrinology, 2022, 13: 1028167.
[34] Zhang Q, Liu J, Zhang R Z, et al. TyG-WC index as a superior predictor of hyperuricemia risk in the hypertensive population: a prospective cohort study[J]. Diabetes, Metabolic Syndrome and Obesity, 2025, 18: 679-689.
[35] Sun J, Sun M Y, Su Y K, et al. Mediation effect of obesity on the association between triglyceride-glucose index and hyperuricemia in Chinese hypertension adults[J]. The Journal of Clinical Hypertension, 2022, 24(1): 47-57.
[36] Bai Z Y, Dai Y Q, Duan S Y, et al. Association between urinary metal concentrations and hyperuricemia in Chinese community-dwelling elderly: exploring the mediating role of estimating glomerular filtration rate[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2025, 292: 117943.