泌尿系统其他相关疾病

DOI：10.13406/j.cnki.cyxb.003518

TG/HDL-C、TyG及其衍生指数与白蛋白尿异常的相关性研究

李　敏[1]，郑　黎[1]，胡　斌[1]，肖立顺[1]，沈桂芳[2]，沈培璞[2]，常明星[2]
（1.徐州医科大学公共卫生学院，徐州　221004；2.徐州医科大学附属医院健康管理中心，徐州　221004）

【摘　要】目的：探讨体检人群甘油三酯/高密度脂蛋白胆固醇（triglyceride/high density lipoprotein cholesterol ratio，TG/HDL-C）、甘油三酯-葡萄糖乘积（riglyceride-glucose index，TyG）指数及其衍生指数水平与白蛋白尿异常的相关性，同时分析TG/HDL-C、TyG以及TyG-BMI（riglyceride-glucose index-body mass index，TyG-BMI）预测白蛋白尿的能力。**方法：**获取2022年1月至12月体检中心年龄在18岁以上3 739例受检者进行回顾性分析，将研究对象分为白蛋白尿异常组（n=841）和对照人群（n=2 898），将TG/HDL-C、TyG以及TyG-BMI按四分位数进行分组，采用logistic回归模型分析与体检人群白蛋白尿异常风险之间的关系。采用限制性立方样条回归模型分析不同水平TG/HDL-C、BMI、TyG以及TyG-BMI与白蛋白尿的剂量反应关系。通过受试者工作特征曲线分析单一指标与联合指标对白蛋白尿的预测价值。**结果：**除平均血红蛋白浓度、高密度脂蛋白胆固醇外，异常组年龄、中性粒细胞、单核细胞、血小板、血白细胞计数、平均红细胞体积、红细胞分布宽度SD、红细胞分布宽度、血小板压积、总蛋白、白蛋白、谷氨酰转肽酶、空腹血糖、糖化血红蛋白、总胆固醇、低密度脂蛋白胆固醇、甘油三酯（triglyceride，TG）、体质指数（body mass index，BMI）、收缩压、舒张压、脉率、碱性磷酸酶、TyG指数、TyG-BMI、TG/HDL-C均高于对照组。调整混杂因素后，逻辑回归结果显示，与第2、第3分位数相比，TG/HDL-C、TyG、TyG-BMI指数第4四分位数组发生风险最高，其分别为1.895倍（95%CI=1.355～2.653）、2.377倍（95%CI=1.657～3.417）、2.319（95%CI=1.666～3.237）。BMI、TyG-BMI指数与白蛋白尿异常呈明显的非线性剂量反应关系，曲线呈近似“U”型，TyG、TG/HDL-C与白蛋白尿异常之间的剂量反应关系呈逐渐递增趋势，曲线呈近似“J”型。受试者工作特征（receiver operating characteristic，ROC）曲线结果显示，TyG-BMI预测能力优于其他3个指标，其AUC值为0.640。除TyG-BMI+TG/HDL-C之外，其余联合预测能力均优于单一预测指标，TyG-BMI+TG/HDL-C+ TyG指数预测白蛋白尿的能力最优，AUC为0.6504。**结论：**TyG指数、TG/HDL-C比值升高与白蛋白尿异常密切相关，均对白蛋白尿具有一定的预测价值。综合考虑，TyG-BMI+TG/HDL-C+TyG指数是较佳白蛋白尿预测联合指标。

【关键词】体检人群；白蛋白尿；甘油三酯/高密度脂蛋白胆固醇；甘油三酯-葡萄糖乘积及其衍生指数；限制性立方样条
【中图分类号】R696.2　　**【文献标志码】**A　　**【收稿日期】**2023-12-19

Association of triglyceride/high-density lipoprotein cholesterol ratio, triglyceride-glucose index, and triglyceride-glucose index-derived indices with abnormal albuminuria

Li Min[1], Zheng Li[1], Hu Bin[1], Xiao Lishun[1], Shen Guifang[2], Shen Peipu[2], Chang Mingxing[2]
（*1.School of Public Health, Xuzhou Medical University; 2. Health Management Center, The Affiliated Hospital of Xuzhou Medical University*）

【Abstract】*Objective*: To investigate the association of triglyceride/high-density lipoprotein cholesterol ratio (TG/HDL-C), triglyceride-glucose index (TyG), and TyG-derived indices with abnormal albuminuria in a population undergoing physical examination, as well as the ability of TG/HDL-C, TyG, and triglyceride-glucose index-body mass index ratio (TyG-BMI) in predicting albuminuria. ***Methods*:** A retrospective analysis was performed for 3 739 subjects, aged 18 years or older, who underwent physical examination in Physical Examination Center from January to December 2022, and the subjects were divided into abnormal albuminuria group with 841 subjects and control group with 2 898 subjects. The subjects were divided into groups based on the quantiles of TG/HDL-C, TyG, and TyG-BMI, and the logistic regression model was used to investigate their association with the risk of abnormal albuminuria in the physical ex-

作者介绍：李　敏，Email：302110120949@stu.xzhmu.edu.cn，研究方向：慢性病防治。
通信作者：胡　斌，Email：hubin@xzhmu.edu.cn。
基金项目：江苏省研究生科研与实践创新资助项目（编号：SJCX23_1407）。
优先出版：https://link.cnki.net/urlid/50.1046.R.20240627.1607.018（2024-06-30）

amination population. The restricted cubic spline regression model was used to analyze the dose-response relationship between different levels of TG/HDL-C, BMI, TyG, and TyG-BMI and albuminuria. The receiver operating characteristic (ROC) curve was used to investigate the value of the indices used alone or in combination in predicting albuminuria. ***Results***: Except for mean corpuscular hemoglobin concentration and HDL-C, compared with the control group, the abnormal albuminuria group had significantly higher age, neutrophil count, monocytes, platelet count, leukocyte count, mean corpuscular volume, red blood cell distribution width-standard deviation, red blood cell distribution width, plateletcrit, total protein, albumin, glutamyl transpeptidase, fasting blood glucose, glycosylated hemoglobin, total cholesterol, low-density lipoprotein cholesterol, triglyceride, BMI, systolic pressure, diastolic pressure, pulse rate, alkaline phosphatase, TyG, TyG-BMI, and TG/HDL-C. After adjustment for confounding factors, the logistic regression analysis showed that the groups with the 4th quartiles of TG/HDL-C, TyG, and TyG-BMI indices had the highest risk of albuminuria compared with the groups with the 2nd and 3rd quartiles of these indices, with a risk of 1.895 times (95%CI=1.355-2.653), 2.377 times (95%CI=1.657-3.417), and 2.319 times (95%CI=1.666-3.237), respectively. BMI and TyG-BMI index had a significant U-shaped non-linear dose-response relationship with albuminuria, while TyG and TG/HDL-C had a gradually increasing J-shaped dose-response relationship with albuminuria. The ROC curve analysis showed that TyG-BMI had a better predictive ability than the other three indices, with an area under the ROC curve (AUC) of 0.640. Except for the combination of TyG-BMI and TG/HDL-C, the other combinations of these indices had a better predictive ability than each index alone, among which the combination of TyG-BMI, TG/HDL-C, and TyG index had the best ability to predict albuminuria, with an AUC of 0.6504. ***Conclusion***: Increases in TyG index and TG/HDL-C ratio are closely associated with abnormal albuminuria, and both of them have a certain value in predicting albuminuria. The combination of TyG-BMI, TG/HDL-C, and TyG index is a relatively good indicator for predicting albuminuria.

【Key words】 physical examination population; albuminuria; triglyceride/high-density lipoprotein cholesterol ratio; triglyceride-glucose index and its derived indices; restricted cubic spline

尿微量白蛋白/肌酐比值（urinary microalbumin/creatinine ratio，UACR）是检测早期肾脏损伤、反映白蛋白尿排泄情况的重要指标[1]，对评估肾脏疾病严重程度及预后有重要的价值。尿微量白蛋白水平测定结果易受外界因素干扰，可通过与尿肌酐联用来对其进行校正，而尿UACR指标则相对稳定，可准确反映患者早期肾损伤。当前，该指标已被广泛应用于慢性肾病的筛查，患者前期表现为微量白蛋白尿，随着肾功能的不断下降，白蛋白尿的排泄情况逐渐严重，严重者将发展成肾衰竭[2]。有研究显示，白蛋白尿升高会使得普通人群心血管患病率以及死亡率升高，同时也是全因死亡率的危险因素[3-4]，因此通过检测白蛋白尿发现可能存在肾脏损伤以及心血管疾病的高危人群，进而采取有效的方式进行干预。

已有研究表明白蛋白尿与糖尿病、高TG血症、高BMI等有关。作为诊断胰岛素抵抗（insulin resistance，IR）的理想指标，甘油三酯/高密度脂蛋白胆固醇（triglyceride/high density lipoprotein cholesterol ratio，TG/HDL-C）、甘油三酯-葡萄糖乘积（riglyceride-glucose index，TyG）指数及其衍生指数比胰岛素抵抗指数（homeostatic model assessment of insulin resistance，HOMA-IR）更加简单有效[5]，TG/HDL-C、TyG及其衍生指数已被认为与高尿酸血症[6]、非酒精性脂肪肝[7]、冠状动脉疾病[8]以及糖尿病[9]发生密切相关。在普通体检人群中，TG/HDL-C、TyG及其衍生指数与白蛋白尿的关系如何，将作为本研究的重点，评估其之间的剂量反应关系，比较单一或联合指标之间的预测能力，识别最佳预测指标，为白蛋白尿的预防提供新思路。

1 资料与方法

1.1 研究对象

以2022年1月至12月徐州医科大学附属医院3 739例常规健康体检人群为研究对象，平均年龄（46.45±12.73）岁，男性2 308例，女性1 431例，其中白蛋白尿异常者841例为异常组（UCAR>30 mg/g），同期体检且白蛋白尿正常者2 898例为对照组（UCAR<30 mg/g）。纳入标准：①年龄>18岁，基线资料齐全；②体检数据中存在尿微量白蛋白、BMI、TG等数据。排除标准：①缺失重要体检数据以及数据记录异常者；②不配合研究；③经期、哺乳期、妊娠期女性以及严重感染性疾病和恶性肿瘤者。本研究已经过徐州医科大学伦理委员会批准（XZHMU-2023089），所有研究对象知情同意。

1.2 资料收集

本研究的体检人员均由专业医生进行体格检查和实验

室检查，身高和体质量的测量要求记录员使用电子身高测量仪按照标准测量方法进行记录，并确保所有研究对象使用相同型号的电子血压计，连续测量3次，计算平均值为最终的记录结果，并计算BMI=体质量/身高^2（kg/m^2）。收集体检者空腹8~10 h的外周空腹静脉血5 mL检测生化指标，留取体检者当日清晨7:00~9:00的中段清洁尿（月经期妇女除外）进行尿常规检查，除此之外增加尿微量白蛋白和尿肌酐的检测，用于计算UACR。

1.3 相关定义及诊断标准

正常白蛋白尿的范围为UACR小于30 mg/g，UACR大于30 mg/g称为异常白蛋白尿[10]，将BMI划分为4个组别：过瘦组：BMI<18.5 kg/m^2；正常组：18.5 kg/m^2≤BMI<24 kg/m^2；超重组：24 kg/m^2≤BMI<28 kg/m^2；肥胖组：BMI≥28 kg/m^2[11]。TyG指数=Ln[TG（mg/dL）×FBG（mg/dL）/2]；基线TyG指数四分位数Q_1组：TyG指数<8.188；Q_2组：8.188≤TyG指数<8.591；Q_3组：8.591≤TyG指数<9.046；Q_4组：TyG指数≥9.046。TyG-BMI=TyG×BMI；基线TyG-BMI四分位数Q_1组：TyG-BMI<185.020；Q_2组：185.020≤TyG-BMI<211.748；Q_3组：211.748≤TyG-BMI<237.871；Q_4组：TyG-BMI≥237.871。TG/HDL-C=TG（mmoL/L）/HDL-C（mmoL/L）；基线TG/HDL-C四分位数Q_1组：TG/HDL-C<0.66；Q_2组：0.66≤TG/HDL-C<1.02；Q_3组：1.02≤TG/HDL-C<1.57；Q_4组：TG/HDL-C≥1.57。BMI分组，第1组：正常组；第2组：过瘦组；第3组：超重组；第4组：肥胖组。

1.4 统计学方法

1.4.1 统计分析 采用Excel 2018进行数据整理，R4.1.0软件中“RCS”和“ggplot2”包绘制图形，采用SPSS27.0软件分析数据。

1.4.2 数据筛选及比较 首先对数据进行正态性检验，然后采用不同的检验方法对白蛋白尿异常组与对照组的一般情况进行比较，采用独立样本t检验进行比较符合正态性的资料，采用χ^2检验分析计数资料。

1.4.3 TG/HDL-C、TyG指数及其衍生指数与白蛋白尿关系 使用logistic回归模型将BMI、TG/HDL-C、TyG指数以及TyG-BMI以分组形式纳入模型分析与白蛋白尿之间的关系；采用限制性立方样条（restricted cubic spline，RCS）分析BMI、TG/HDL-C、TyG指数以及TyG指数-BMI连续变化与白蛋白尿异常间的剂量-反应关系，并使用R4.1.0软件中“ggplot2”包绘制研究指标的限制性立方样条图。采用受试者工作特征（receiver operating characteristic，ROC）曲线评估单个指标以及多个联合指标对体检对象白蛋白尿的预测价值。检验水准α=0.05。

2 结 果

2.1 白蛋白尿基线资料比较

本研究共纳入3 739例研究对象，其中男性2 308例（61.73%），女性1 431例（38.27%），根据UACR的结果，将研究对象分为白蛋白尿异常组与对照组，白蛋白尿异常组的平均年龄（48.58 ± 12.59）岁，其中男性544例（64.68%），对照组的平均年龄（45.83 ± 12.70）岁，男性1 764例（60.87%），基线BMI过瘦者101例；正常者1 530例；超重者1 531例；肥胖者577例。

白蛋白尿异常患者的年龄（Z=-5.349，P<0.001）、中性粒细胞（t=8.174，P<0.001）、单核细胞（t=6.288，P<0.001）、血小板（t=2.043，P=0.041）、血白细胞计数（t=7.424，P<0.001）、平均红细胞体积（t=2.926，P=0.003）、红细胞分布宽度SD（t=2.260，P=0.024）、红细胞分布宽度（t=2.431，P=0.015）、血小板压积（t=2.285，P=0.022）、总蛋白（t=6.583，P<0.001）、白蛋白（t=4.560，P<0.001）、谷氨酰转肽酶（z=8.989，P<0.001）、空腹血糖（z=13.503，P<0.001）、糖化血红蛋白（z=10.899，P<0.001）、总胆固醇（t=4.895，P<0.001）、低密度脂蛋白胆固醇（t=2.748，P=0.006）、甘油三酯（z=9.427，P<0.001）、BMI（t=9.252，P<0.001）、收缩压（t=13.773，P<0.001）、舒张压（t=14.687，P<0.001）、脉率（t=7.138，P<0.001）、碱性磷酸酶（t=5.066，P<0.001）、TyG指数（t=11.953，P<0.001）、TyG-BMI（t=11.946，P<0.001）、TG/HDL-C（t=6.889，P<0.001）均高于对照组，平均血红蛋白浓度（t=4.295，P<0.001）、高密度脂蛋白胆固醇（t=1.631，P=0.103）低于对照组，除高密度脂蛋白胆固醇（t=1.631，P=0.103）外，差异均有统计学意义，见表1。

2.2 不同指数与白蛋白尿的logistic回归分析

将白蛋白尿是否异常作为因变量（赋值：异常=1；正常=0），以不同指数为自变量，进行逻辑回归模型分析，赋值情况，BMI分类，正常=0，过瘦=1，超重=2，肥胖=3；TyG指数分类，Q_1组=1，Q_2组=2，Q_3组=3，Q_4组=4；TyG-BMI分类，Q_1组=1，Q_2组=2，Q_3组=3，Q_4组=4；TG/HDL-C分类，Q_1组=1，Q_2组=2，Q_3组=3，Q_4组=4。分别以TyG指数、TyG-BMI以及TG/HDL-C的第1个四分位组（Q_1）作为参照，BMI以正常组作为参照。模型一未调整混杂因素；模型二调整性别和年龄；模型三性别、年龄、中性粒细胞、单核细胞、血白细胞计数、平均红细胞体积、红细胞分布宽度SD、红细胞分布宽度、总蛋白、糖化血红蛋白、总胆固醇、低密度脂蛋白胆固醇、TG、收缩压、舒张压、脉率、尿比重。调整混杂因素后，模型三回归显示BMI第2组、第3组、第4组白蛋白尿异常的危险度分别为第1组的1.611倍、1.253倍、1.710倍；3个模型结果均显示，TG/HDL-C、TyG以及TyG-BMI指数四分位数Q_4组白蛋白尿异常的危险度高于Q_2组和Q_3组，其中TG/HDL-C与TyG四分位数Q_4组在模型一中白蛋白尿异常的危险度最高，分别为2.406倍（95%CI=1.929~3.012）和3.439倍（95%CI=2.750~4.321），TyG-BMI四分位数Q_4组在模型二中白蛋白尿异常的危险度最高，其危险度为3.770（95%CI=2.929~4.875），见表2。

表 1 白蛋白尿基线特征比较[n,%;$\bar{x}\pm s$;$M(P_{25},P_{75})$]

变量	异常组（n=841）	正常组（n=2 898）	$t/Z/\chi^2$值	P值
性别				
女	297	1134	4.016	0.045
男	544	1764		
年龄（岁）	50（38,56）	48（34,54）	−5.349	0.000
中性粒细胞（×10^9/L）	3.80 ± 1.30	3.40 ± 1.11	8.174	0.000
单核细胞（×10^9/L）	0.38 ± 0.13	0.35 ± 0.11	6.288	0.000
血小板（×10^9/L）	238.61 ± 61.40	233.97 ± 56.88	2.043	0.041
血白细胞计数（×10^9/L）	6.45 ± 1.71	5.97 ± 1.49	7.424	0.000
平均红细胞体积（fL）	92.04 ± 5.28	91.47 ± 4.87	2.926	0.003
平均血红蛋白浓度（g/L）	332.70 ± 11.32	334.56 ± 10.7	4.295	0.006
红细胞分布宽度SD（fL）	43.21 ± 2.63	42.99 ± 2.31	2.260	0.024
红细胞分布宽度（%）	12.93 ± 0.88	12.84 ± 0.86	2.431	0.015
血小板压积（/L）	0.24 ± 0.06	0.24 ± 0.05	2.285	0.022
总蛋白（g/L）	72.82 ± 4.31	71.73 ± 3.73	6.583	0.000
白蛋白（g/L）	45.13 ± 2.75	44.65 ± 2.69	4.560	0.000
总胆固醇（mmol/L）	4.87 ± 1.07	4.67 ± 0.94	4.895	0.000
低密度脂蛋白胆固醇（mmol/L）	3.01 ± 0.73	2.93 ± 0.66	2.748	0.006
BMI（kg/m^2）	25.58 ± 3.72	24.27 ± 3.32	9.252	0.000
收缩压（mmHg）	133.77 ± 18.62	124.03 ± 15.99	13.773	0.000
舒张压（mmHg）	82.45 ± 12.53	75.44 ± 10.92	14.687	0.000
脉率（次/min）	82.07 ± 12.08	78.92 ± 11.38	7.138	0.000
尿比重	1.02 ± 0.01	1.02 ± 0.01	8.183	0.000
碱性磷酸酶（IU/L）	77.93 ± 22.58	72.39 ± 29.29	5.066	0.000
谷氨酰转肽酶（U/L）	26（17,45）	21（15,33）	8.989	0.000
空腹血糖（mmol/L）	5.33（4.91,6.07）	5.00（4.70,5.37）	13.503	0.000
糖化血红蛋白（%）	5.60（5.30,6.00）	5.50（5.20,5.70）	10.899	0.000
甘油三酯（mmol/L）	1.57（1.05,2.43）	1.25（0.87,1.85）	9.427	0.000
酸碱度	5.50（5.50,6.00）	6.00（5.50,6.50）	5.080	0.000
高密度脂蛋白胆固醇（mmol/L）	1.32 ± 0.33	1.35 ± 0.31	1.631	0.103
TyG指数	8.91 ± 0.72	8.58 ± 0.62	11.953	0.000
TyG-BMI	228.95 ± 43.62	209.13 ± 37.71	11.946	0.000
TG/HDL-C	1.59 ± 1.37	1.23 ± 1.11	6.889	0.000

2.3 TG/HDL-C、TyG指数及其衍生指数与白蛋白尿异常风险的剂量反应关系

为了进一步了解BMI、TyG、TG/HDL-C以及TyG-BMI与脂肪肝的关系，利用限制性立方样条分析TG/HDL-C、TyG及其衍生指数与白蛋白尿之间的剂量反应关系，横坐标为不同指标的连续变化，纵坐标为相应的预测值（*OR*），虚线的范围代表*OR*值的95%CI，黑色虚线为*OR*值为1时的参照线。结果显示，调整性别、年龄、中性粒细胞、单核细胞、血白细胞计数、平均红细胞体积、红细胞分布宽度SD、红细胞分布宽度、总蛋白、糖化血红蛋白、总胆固醇、低密度脂蛋白胆固醇、TG、收缩压、舒张压、脉率、尿比重混杂因素后，BMI、TyG、TG/HDL-C、TyG-BMI与白蛋白尿异常关联轻度呈明显的非线性剂量-反应关系（P<0.05），随着BMI、TyG、TG/HDL-C、TyG-BMI水平的升高，白蛋白尿异常风险呈现明显的上升趋势。随着TyG-BMI、TG/HDL-C水平的升高，白蛋白尿异常风险呈现先上升后趋于稳定的趋势；白蛋白尿异常风险随着BMI水平的升高而增加，之后趋于稳定；同时发现随着TyG水平的上升白蛋白尿异常风险呈现出明显的增加趋势（图1~4）。其中图1与图2曲线呈近似“U”型，图3曲线呈近似“J”型。

2.4 单一指数及其联合指数对白蛋白尿的预测价值

通过绘制BMI、TG/HDL-C、TyG指数和TyG-BMI预测白蛋白尿的ROC曲线结果显示，BMI、TG/HDL-C、TyG和TyG-BMI预测白蛋白尿的AUC分别为0.601（95%CI=0.588~0.632）、0.606（95%CI=0.584~0.628）、0.637（95%CI=0.615~0.658）、0.640（95%CI=0.618~0.661）；最佳截断值分别为

表2　不同指数不同水平下白蛋白尿发病风险

指标	模型一		模型二		模型三	
	OR(95%CI)	*P*	*OR*(95%CI)	*P*	*OR*(95%CI)	*P*
BMI						
第1组	1.000		1.000		1.000	
第2组	1.181(0.685～1.938)	0.529	1.306(0.755～2.157)	0.316	1.611(0.906～2.745)	0.090
第3组	1.595(1.334～1.910)	0.000	1.569(1.300～1.896)	0.000	1.253(1.016～1.546)	0.035
第4组	2.829(2.276～3.517)	0.000	2.960(2.352～3.727)	0.000	1.710(1.304～2.243)	0.000
TyG						
Q_1组	1.000		1.000		1.000	
Q_2组	1.326(1.037～1.699)	0.025	1.280(0.996～1.649)	0.054	1.154(0.877～1.522)	0.307
Q_3组	1.531(1.204～1.953)	0.001	1.485(1.153～1.918)	0.002	1.289(0.957～1.741)	0.095
Q_4组	3.439(2.750～4.321)	0.000	3.358(2.633～4.304)	0.000	2.377(1.657～3.417)	0.000
TyG-BMI						
Q_1组	1.000		1.000		1.000	
Q_2组	1.134(0.880～1.463)	0.332	1.134(0.873～1.475)	0.347	1.002(0.755～1.331)	0.987
Q_3组	1.855(1.465～2.357)	0.000	1.916(1.482～2.486)	0.000	1.466(1.090～1.978)	0.012
Q_4组	3.452(2.757～4.341)	0.000	3.770(2.929～4.875)	0.000	2.319(1.666～3.237)	0.000
TG/HDL-C						
Q_1组	1.000		1.000		1.000	
Q_2组	1.113(0.873～1.420)	0.386	1.061(0.829～1.358)	0.638	0.996(0.760～1.307)	0.980
Q_3组	1.679(1.335～2.115)	0.000	1.587(1.253～2.014)	0.000	1.475(1.119～1.946)	0.005
Q_4组	2.406(1.929～3.012)	0.000	2.274(1.800～2.882)	0.000	1.895(1.355～2.653)	0.000

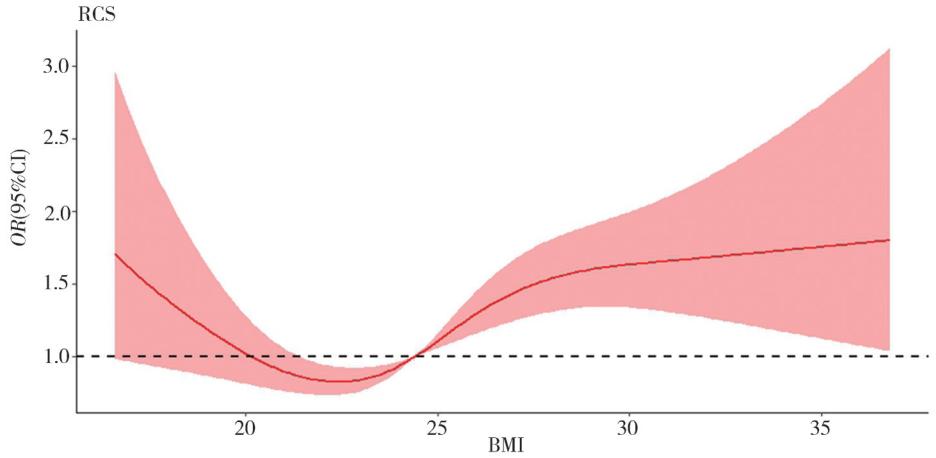


图 1　BMI与白蛋白尿的剂量反应关系曲线

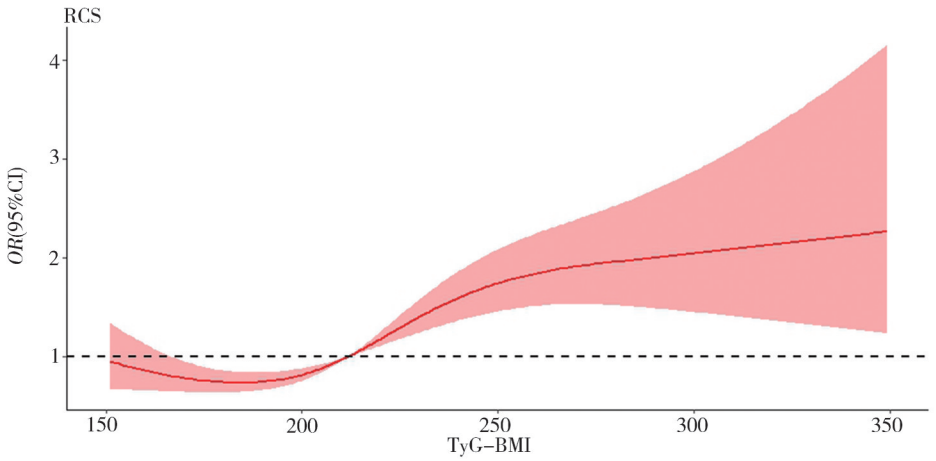


图 2　TyG-BMI与白蛋白尿的剂量反应关系曲线

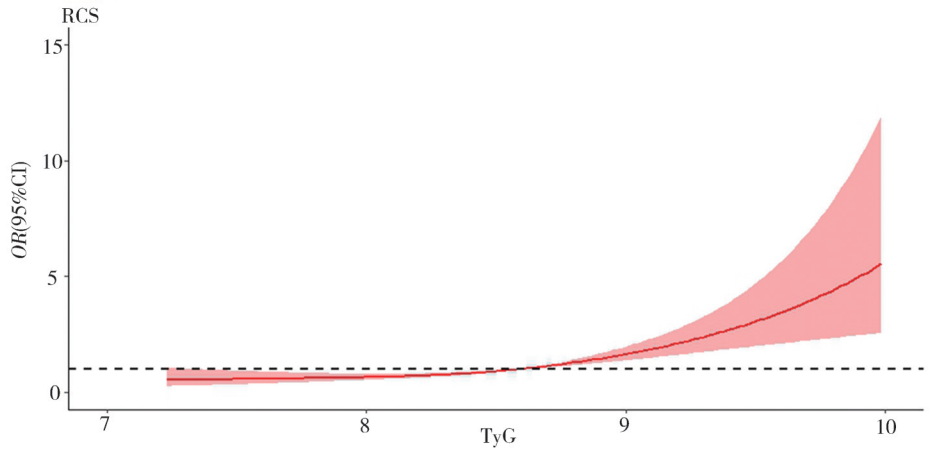


图 3　TyG 与白蛋白尿的剂量反应关系曲线

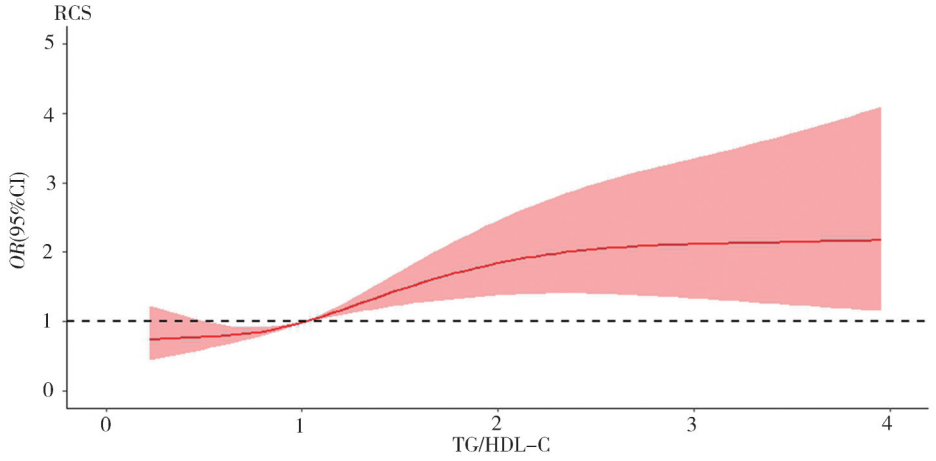
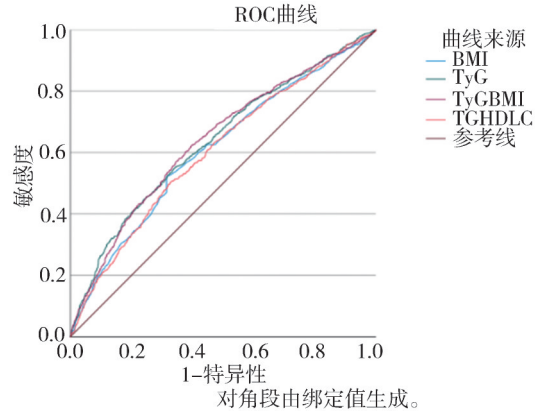


图 4　TG/HDL-C 与白蛋白尿的剂量反应关系曲线

25.540、1.250、8.785、216.671，见图 5、表 3。表 3 显示了单一指标中 TyG-BMI 的预测效果最优，其中截断值、灵敏度、特异度、约登指数、AUC、95%CI 分别为 216.671、0.623、0.604、0.227、0.640、0.618~0.661。表 4 显示了联合指标 TyG-BMI+BMI（AUC=0.640，95%CI=0.618~0.661）、TyG-BMI+TyG（AUC=0.648 1，95%CI=0.626~0.669）、TyG-BMI+TG/HDL-C+BMI（AUC=0.648 3，95%CI=0.626~0.670）、TyG-BMI+TG/HDL-C+TyG（AUC=0.650 4，95%CI=0.629~0.672）、TyG-BMI+BMI+TyG（AUC=0.647 4，95%CI=0.626~0.669）、TyG-BMI+TG/HDL-C+TyG+BMI（AUC=0.647 7，95%CI=0.626~0.669）的预测效果均优于 TyG-BMI（AUC=0.640 0，95%CI=0.618~0.661）单一指标，其中 TyG-BMI+TG/HDL-C+TyG 指数的预测效果最优，AUC 为 0.650 4，（95%CI=0.629~0.672），见表 4。



对角段由绑定值生成。

图 5　TG/HDL-C、TyG 及其衍生指数预测白蛋白尿的 ROC 曲线

表 3　TG/HDL-C、TyG 及其衍生指数预测白蛋白尿的相关指标

指标	AUC	95%CI	特异度	灵敏度	约登指数	最佳截断值	*P* 值
BMI	0.601	0.588 ~ 0.632	0.685	0.521	0.206	25.540	0.000
TyG	0.637	0.615 ~ 0.658	0.661	0.548	0.209	8.785	0.000
TyG-BMI	0.640	0.618 ~ 0.661	0.604	0.623	0.227	216.671	0.000
TG/HDL-C	0.606	0.584 ~ 0.628	0.672	0.504	0.176	1.250	0.000

表4 联合指标预测白蛋白尿

变量	*AUC*	95%CI	*P*	AUC变化率(%)
TyG-BMI	0.640 0	0.618～0.661	0.000	
TyG-BMI+BMI	0.647 4	0.626～0.669	0.000	1.15
TyG-BMI+ TyG	0.648 1	0.626～0.669	0.000	1.27
TyG-BMI+TG/HDL-C	0.639 8	0.618～0.662	0.000	-0.03
TyG-BMI+TG/HDL-C+BMI	0.648 3	0.626～0.670	0.000	1.30
TyG-BMI+TG/HDL-C+ TyG	0.650 4	0.629～0.672	0.000	1.63
TyG-BMI+BMI+ TyG	0.647 4	0.626～0.669	0.000	1.16
TyG-BMI+TG/HDL-C+ TyG+ BMI	0.647 7	0.626～0.669	0.000	1.20

3 讨 论

为响应“健康中国2030”号召，全国各省需要依据不同地区、不同人群流行病特征建立防控措施，加强慢性病的早期筛查，从而实现疾病治疗向健康管理的转变[12]。本研究将3 739名体检人群作为研究对象结果显示，白蛋白尿异常率为22.49%，高于2009年调查的中国成年人白蛋白尿异常率9.4%[13]，该地区人群白蛋白尿异常状况较为严峻，应引起一定的重视并采取措施进行预防。与全国其他地区相比较，该地区的白蛋白尿异常率低于天津市某社区60岁以上人群白蛋白尿患病率27.71%[14-15]，可能由于本研究人群年龄平均年龄低于60岁，造成结果存在差别。总之，该地区健康人群白蛋白尿情况值得更高的关注，确定体检人群是否处于高风险状态并为其制定个性化体检及治疗方案，预防慢性肾病发生。

众多研究已证实年龄、高血压、合并糖尿病以及代谢综合征等是白蛋白尿的独立影响因素，并且代谢综合征异常者白蛋白尿的检出率增加2.25倍[16-17]。代谢综合征是多种健康问题共存的状态，其基本特征是肥胖、高血压、血脂异常以及高血糖，临床多认为白蛋白尿由代谢紊乱和血流动力学共同影响，使得肾小球滤过率高，肾脏不堪重负，功能下降，产生微量白蛋白尿[18]。本研究通过RCS回归结果发现BMI在<28.0 kg/m^{2}时白蛋白尿异常风险随着BMI水平的升高而增加，BMI在大于24 kg/m^{2}小于28.0 kg/m^{2}是超重阶段对白蛋白尿异常影响较为严重，可以较好的证实白蛋白尿异常风险与BMI升高有着密切联系。国内外众多学者报道BMI与高血压以及糖尿病患者白蛋白尿异常的相关性，Liu等[19]对944例高血压患者研究发现肥胖组尿白蛋白与肌酐比值水平显著高于正常体重组和超重组，BMI与微量白蛋白尿独立相关。美国1项针对4 985例2型糖尿病患者开展的前瞻性研究发现，在超重和肥胖的2型糖尿病成年人中，BMI和腹部肥胖的增加与蛋白尿有关[20]。

本次调查对可能引起白蛋白尿的相关因素进行单因素分析，通过对白蛋白尿异常组和对照组比较发现，TyG、TyG-BMI以及TG/HDL-C均高于对照组，差异具有统计意义。TyG及其衍生指数可反映患者胰岛素抵抗的情况，其水平越高，白蛋白尿的患者对胰岛素的敏感性越低，从而使得机体处于高糖状态。高TyG状态激活细胞内蛋白酶C信号通路，刺激血管紧张素Ⅱ的释放，进而使肾小球浆膜细胞产生Ⅳ型胶原效应，形成致密的基底膜，层粘连蛋白持续沉积，导致肾小球基底膜增厚、变硬，使得肾损伤风险增加[21]。TG/HDL-C水平反映了患者体内血清中小而密低密度脂蛋白（sdLDL）水平，可促进动脉粥样硬化，肾小球和肾小球基底膜增厚，继而造成肾脏损伤。高TG/HDL-C会抑制胰岛素信号通路并诱发脂肪生成，激活并释放炎症因子，导致白蛋白尿的发生[22]。因此，普通体检人群检测TyG、TyG-BMI以及TG/HDL-C指标对预测白蛋白尿有重要意义。

作为FPG与TG的合成指数，TyG指数于2008年首次被认为可评估健康以及代谢紊乱人群IR的指标，也被公认是目前评价胰岛素抵抗最简单可行的替代指标[23-24]，TyG及其衍生指数主要通过胰岛素抵抗起作用。本研究通过逻辑回归结果发现随着TG/HDL-C、TyG以及TyG-BMI指数的升高，白蛋白尿异常的风险也随之升高，三者均是白蛋白尿异常的危险因素，同时RCS结果显示，BMI、TyG、TG/HDL-C、TyG -BMI与白蛋白尿异常风险呈非线性剂量-反应关系，并且均呈现正向非线性关系，因此

以上指标均对白蛋白尿异常有较好预测价值。朱转转等[25]研究发现随着TyG指数升高，患者发生白蛋白尿的危险也将随之升高，并且其ROC曲线较HOMA-IR、FPG以及TG更好，与本研究结果一致。同样一项临床研究也发现血糖异常明显使得肾脏功能损伤，不同血糖水平对患者影响水平是不同的，血糖异常组患者的微量白蛋白尿水平显著高于血糖正常组[26]，因此，通过本研究与前人研究结果，控制血糖水平可以对肾脏起到一定的保护作用，避免肾脏疾病的发生。高TG、高TG/HDL-C比值以及低HDL-C是多种疾病发生的危险因素，在临床中要关注血糖、血脂水平，及时通过药物及饮食进行干预，确保FPG、TG以及HDL-C处于正常值范围，预防疾病的发生[27]。

以上研究可知，TG/HDL-C、TyG以及TyG-BMI指数与白蛋白尿异常之间存在密切联系。通过绘制ROC曲线发现BMI、TG/HDL-C、TyG和TyG-BMI预测白蛋白尿的AUC值分别是0.601、0.606、0.637和0.640，其中TyG-BMI预测能力优于其他3个指标，具有较强预测能力。与Er LK等[28]研究结果一致，TyG指数与BMI相结合可以反映BMI、TG以及FPG等多种关键信息，更能代表胰岛素抵抗的程度。本研究进一步评估了TyG-BMI联合上述3个指标对白蛋白尿的影响，结果显示，TyG-BMI+TG/HDL-C+TyG指数预测白蛋白尿的能力最优，AUC为0.6504，TyG-BMI、TG/HDL-C以及TyG指数获取方式简单、经济便捷，可以为体检人群白蛋白尿异常情况提供一定的参考，从而对白蛋白尿异常进行早期筛查。但本研究也存在一定局限性，由于本研究仅仅对某一体检中心进行的横断面研究，还需要进行多中心、大规模的队列研究；其次收集到肥胖指标中的BMI，未收集到腰围、臀围等指标，无法探讨其他衍生指数对白蛋白尿的影响，最后，在分析过程中对混杂因素进行了调整，但可能混杂因素仍有保留。

综上所述，在体检人群中BMI与白蛋白尿异常之间存在的非线性剂量—反应关系，早期对体检肥胖人群采取干预措施，预防白蛋白尿水平升高，有助于减少高血压、糖尿病等疾病并发症以及肾脏疾病的产生。与单一指标相比，联合指标预测的效果明显优于TyG-BMI单独预测效果，有望成为预测白蛋白尿发生的简单有效生物学指标。

参 考 文 献

[1] 陆菊明.《中国2型糖尿病防治指南（2020年版）》读后感[J]. 中华糖尿病杂志，2021，13(4)：301-304.

Lu JM. Reaction to guideline for the prevention and treatment of type 2 diabetes mellitus in China (2020 edition) [J]. Chin J Diabetes Mellit, 2021, 13(4): 301-304.

[2] 李晨祥，胡闪闪，杨 焕. 血常规相关指标预测2型糖尿病患者白蛋白尿短期进展的研究[J]. 中国医刊，2022，57(4)：385-389.

Li CX, Hu SS, Yang H. Study on blood routine markers in predicting short-term progression of albuminuria in patients with type 2 diabetes [J]. Chin J Med, 2022, 57(4): 385-389.

[3] Chen YY, Li YY, Lu YH, et al. Albuminuria independently predicts cardiovascular and all-cause mortality in a middle-aged and elderly Chinese population[J]. Scand J Clin Lab Invest, 2012, 72(4): 281-286.

[4] 卢作维，曹宏伟，刘 涛，等.2型糖尿病患者微量白蛋白尿进展至大量白蛋白尿的风险预测模型研究[J]. 中国全科医学，2023，26(26)：3259-3268.

Lu ZW, Cao HW, Liu T, et al. Risk prediction modeling of progression from microalbuminuria to macroalbuminuria in patients with type 2 diabetes mellitus[J]. Chinese Family Medicine, 2023, 26(26): 3259-3268.

[5] Sánchez-García A, Rodríguez-Gutiérrez R, Mancillas-Adame L, et al. Diagnostic accuracy of the triglyceride and glucose index for insulin resistance: a systematic review[J]. Int J Endocrinol, 2020, 2020: 4678526.

[6] 杨 曦，柳怡莹，万 沁. TG/HDL-C、TyG指数对T2DM患者高尿酸血症的预测价值[J]. 天津医药，2021，49(6)：603-608.

Yang X, Liu YY, Wan Q. The predictive value of TG/HDL-C and TyG index for hyperuricemia in T2DM patients[J]. Tianjin Med J, 2021, 49(6): 603-608.

[7] 张 颖，蒯文涛，张勇湛，等. 利用人体成分分析构建脂肪肝诊断模型[J]. 中华肝脏病杂志，2023，31(12)：1277-1282.

Zhang Y, Kuai WT, Zhang YZ, et al. Construction of a diagnostic model for fatty liver using human body composition analysis[J]. Chin J Hepatol, 2023, 31(12): 1277-1282.

[8] Mao Q, Zhou DL, Li YM, et al. The triglyceride-glucose index predicts coronary artery disease severity and cardiovascular outcomes in patients with non-ST-segment elevation acute coronary syndrome[J]. Dis Markers, 2019, 2019: 6891537.

[9] 杨洪燕，夏 淼，张德生，等. 三酰甘油葡萄糖乘积指数与2型糖尿病发病风险的前瞻性队列研究[J]. 中国预防医学杂志，2022，23(12)：897-903.

Yang HY, Xia M, Zhang DS, et al. A prospective cohort study on the association between triglyceride-glucose index and type 2 diabetes[J]. Chin Prev Med, 2022, 23(12): 897-903.

[10] 丁 艺，王林仙，蒋 丹，等. 2型糖尿病患者糖化血红蛋白变异指数与白蛋白尿的相关性[J]. 慢性病学杂志，2023，24(3)：326-331.

Ding Yi, Wang LX, Jiang D, et al. Correlation between glycated hemo-

globin variability index and albuminuria in patients with type 2 diabetes mellitus[J]. Journal of Chronic Disease，2023，24(3)：326-331.

[11] Chen MY，Zhao CC，Li TT，et al. Serum uric acid levels are associated with obesity but not cardio-cerebrovascular events in Chinese inpatients with type 2 diabetes[J]. Sci Rep，2017，7：40009.

[12] 王一然，王奇金. 慢性病防治的重点和难点：《中国防治慢性病中长期规划（2017—2025年）》解读[J]. 第二军医大学学报，2017，38(7)：828-831.

Wang YR，Wang QJ. Key points and difficulties in prevention and treatment of chronic disease—interpretation of Guidelines for Prevention and Treatment of Chronic Diseases in China (2017-2025)[J]. Acad J Second Mil Med Univ，2017，38(7)：828-831.

[13] Zhang LX，Wang F，Wang L，et al. Prevalence of chronic kidney disease in China：a cross-sectional survey[J]. Lancet，2012，379(9818)：815-822.

[14] 郑晓莉，王华斌，刘 蕊，等. 天津市某社区老年人群白蛋白尿发生率分布状况调查[J]. 中华老年医学杂志，2016，35(12)：1334-1338.

Zheng XL，Wang HB，Liu R，et al. Investigation of the distribution of the prevalence of albuminuria in community elderly population in Tianjin[J]. Chin J Geriatr，2016，35(12)：1334-1338.

[15] Xiong LY，Liu J，Han SY，et al. Direct androgen receptor control of sexually dimorphic gene expression in the mammalian kidney[J]. Dev Cell，2023，58(21)：2338-2358.

[16] 秦京京，彭凯月，王 悦，等. 社区人群微量白蛋白尿相关因素的分析[J]. 中华全科医学，2023，21(10)：1710-1712，1735.

Qin JJ，Peng KY，Wang Y，et al. Analysis of factors related to microalbuminuria in community populations[J]. Chin J Gen Pract，2023，21(10)：1710-1712，1735.

[17] 范 晶，魏 珊，李丽秋，等. 社区老年人群蛋白尿及肾功能异常发生率及其影响因素研究[J]. 中国全科医学，2024，10(9)：1048-1053.

Fan J，Wei S，Li LQ，et al. Investigation on the incidence and influencing factors of proteinuria and renal dysfunction in community-dwelling elderly population[J]. Chin Gen Pract，2024，10(9)：1048-1053.

[18] 于天宇，姜世敏，杨 悦，等. 慢性肾脏病4期糖尿病肾病患者临床病理与预后分析[J]. 临床肾脏病杂志，2020，20(9)：717-721.

Yu TY，Jiang SM，Yang Y，et al. Clinical pathological features and prognosis of diabetic nephropathy patients with stage 4 chronic kidney disease[J]. J Clin Nephrol，2020，20(9)：717-721.

[19] Liu XY，Liu Y，Chen YM，et al. Body mass index (BMI) is associated with microalbuminuria in Chinese hypertensive patients[J]. Int J Environ Res Public Health，2015，12(2)：1998-2008.

[20] Kramer H，Reboussin D，Bertoni AG，et al. Obesity and albuminuria among adults with type 2 diabetes：the Look AHEAD (Action for Health in Diabetes) Study[J]. Diabetes Care，2009，32(5)：851-853.

[21] 邝邕军，柏立辉，宁观华. TyG指数TG/HDL-C比值与2型糖尿病患者肾损伤发生的关系[J]. 基层医学论坛，2022，26(13)：49-51.

Kuang YJ，Bai LH，Ning GH. Relationship between Ty G index TG/HDL-C ratio and renal injury in patients with type 2 diabetes mellitus[J]. Med Forum，2022，26(13)：49-51.

[22] Shimobayashi M，Albert V，Woelnerhanssen B，et al. Insulin resistance causes inflammation in adipose tissue[J]. J Clin Invest，2018，128(4)：1538-1550.

[23] 徐建伟，刘 敏，白雅敏，等. 18～69岁人群微量白蛋白尿与体重指数的相关性研究[J]. 现代预防医学，2019，46(14)：2538-2541.

Xu JW，Liu M，Bai YM，et al. Association between microalbuminuria and body mass index among Chinese people aged from 18 to 69 years old[J]. Mod Prev Med，2019，46(14)：2538-2541.

[24] 李晓辉，尹 洁，刘 冰，等. 三酰甘油-葡萄糖指数与脂肪组织胰岛素抵抗的关系分析[J]. 首都医科大学学报，2023，44(3)：393-399.

Li XH，Yin J，Liu B，et al. Effect of triglyceride-glucose index in evaluating adipose tissue insulin resistance[J]. J Cap Med Univ，2023，44(3)：393-399.

[25] 朱转转，赵 丽，李彦彦，等. 三酰甘油葡萄糖乘积指数与2型糖尿病患者白蛋白尿的相关性研究[J]. 中国全科医学，2021，24(3)：292-297，303.

Zhu ZZ，Zhao L，Li YY，et al. Relationship between triglyceride-glucose index and albuminuria in patients with type 2 diabetes mellitus[J]. Chin Gen Pract，2021，24(3)：292-297，303.

[26] 郑宇蓝，蓝红娟. 不同血糖水平对早期糖尿病肾病患者尿微量白蛋白的影响[J]. 中国医药科学，2019，9(7)：208-211.

Zheng YL，Lan HJ. The effect of different blood glucose levels on urinary albumin of patients with early diabetic nephropathy[J]. China Med Pharm，2019，9(7)：208-211.

[27] Wen J，Yuan H. Independent association between the visceral adiposity index and microalbuminuria in patients with newly diagnosed type 2 diabetes[J]. Diabetes Metab Res Rev，2020，36(1)：e3198.

[28] 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.

（责任编辑：李青颖）