

doi:10.3969/j.issn.1005-3697.2026.01.021

✦ 临床医学研究 ✦

TyG-BMI 指数与慢性肾脏病合并代谢相关脂肪性肝病的相关性研究

阿罗伍沙¹, 夏成云²

(川北医学院, 1. 临床医学系; 2. 附属医院肾内科, 四川 南充 637000)

【摘要】目的: 探讨三酰甘油葡萄糖-体质量指数(TyG-BMI)与慢性肾脏病(CKD)合并代谢相关脂肪性肝病(MAFLD)的相关性。**方法:** 250例住院CKD患者根据是否合并MAFLD,将患者分为单纯CKD组($n=125$)和CKD合并MAFLD组($n=125$)。比较两组患者一般资料、TyG-BMI的差异。然后将TyG-BMI按四分位间距分为4组,比较各四分位数分组间MAFLD的发生率。通过Pearson相关性分析探讨TyG-BMI与各临床指标的相关性。随后通过Logistic回归分析TyG-BMI在CKD患者中与MAFLD发病风险的关系。最后绘制受试者工作特征(ROC)曲线分析TyG-BMI对CKD患者发生MAFLD的预测价值。**结果:** 与单纯CKD组相比,CKD合并MAFLD组的糖尿病患病例数、BMI、LYM、MONO、HB、Hs-CRP、TBil、DBil、Cr、TG、GGT/HDL、LDL-C/HDL-C、MHR、AIP、TyG、TyG-BMI、TyG-ALT水平较高,而ALB、eGFR、HDL-C水平较低,差异有统计学意义($P<0.05$);随着CKD分期的进展,MAFLD的患病率呈现出逐渐升高的趋势($P<0.05$);将TyG-BMI按四分位间距进行分组,在TyG-BMI四分位数分组中Q1组、Q2组、Q3组、Q4组的MAFLD发生率分别为3.2%、25.6%、30.40%、40.80%,表现出MAFLD的发生率随TyG-BMI水平的升高而上升的趋势,差异有统计学意义($P<0.001$);Pearson相关性分析显示,TyG-BMI水平与BMI、HB、TG、Cr、LDL-C/HDL-C、AIP、TyG、TyG-ALT正相关($P<0.05$),与DBil、ALB、HDL-C、eGFR负相关($P<0.05$);在控制年龄、性别、高血压、糖尿病、HB、GGT/HDL-C、MHR、LDL-C/HDL-C、TyG-ALT等混杂因素后,Logistic回归分析提示TyG-BMI为CKD合并MAFLD的独立危险因素($OR=1.12, 95\%CI=1.07\sim 1.16, P<0.001$);受试者工作特征(ROC)曲线分析显示TyG-BMI预测CKD发生MAFLD的曲线下面积(AUC)为0.720($95\%CI: 0.656\sim 0.784$),最佳截断值为215.25,敏感度为63.0%,特异度为90.0%。**结论:** 在CKD患者中MAFLD的患病风险可能随TyG-BMI水平的上升而升高;TyG-BMI可能是CKD合并MAFLD的独立危险因素和有效预测指标。

【关键词】 三酰甘油葡萄糖-体质量指数;慢性肾脏病;代谢相关脂肪性肝病

【中图分类号】 R692 **【文献标志码】** A

Correlation between TyG-BMI index and metabolic-associated fatty liver disease in patients with chronic kidney disease

ALUO Wu-sha¹, XIA Cheng-yun²

(1. Department of Clinical Medicine, North Sichuan Medical College; 2. Department of Nephrology, Affiliated Hospital of North Sichuan Medical College, Nanchong 637000, Sichuan, China)

【Abstract】 Objective: To investigate the correlation between triglyceride glucose-body mass index (TyG-BMI) and the comorbidity of metabolic-associated fatty liver disease (MAFLD) in patients with chronic kidney disease (CKD). **Methods:** A total of 250 hospitalized CKD patients were enrolled. Patients were divided into two groups based on the presence or absence of MAFLD: CKD alone group ($n=125$) and CKD with MAFLD group ($n=125$). Differences in baseline characteristics and TyG-BMI levels between groups were compared. TyG-BMI was stratified into four quartiles, and the incidence of MAFLD across these quartiles was analyzed. Pearson correlation analysis was used to assess the relationship between TyG-BMI and various clinical parameters. Logistic regression was performed to evaluate the independent association between TyG-BMI and MAFLD risk in CKD patients. Receiver operating characteristic (ROC) curve analysis was conducted to determine the predictive value of TyG-BMI for MAFLD occurrence. **Results:** Compared to the CKD alone group, the CKD with MAFLD group exhibited higher levels of diabetes prevalence, BMI, lymphocytes (LYM), monocytes (MONO), hemoglobin (HB), high-sensitivity C-reactive protein (Hs-CRP), total bilirubin (TBil), direct bilirubin (DBil), serum creatinine (Cr), triglycerides (TG), GGT/HDL, LDL-C/HDL-C, monocyte-to-HDL ratio (MHR), atherogenic index of plasma (AIP), TyG, TyG-BMI, and TyG-ALT, while

作者简介: 阿罗伍沙(1997-),女,硕士研究生,住院医师。E-mail:aluowusha@nsmc.edu.cn

通讯作者: 夏成云。E-mail:dream870709@163.com

albumin (ALB), estimated glomerular filtration rate (eGFR), and HDL levels were lower, with statistically significant differences ($P < 0.05$). As the staging of CKD progresses, the prevalence of MAFLD showed an increasing trend ($P < 0.05$). Stratification of TyG-BMI into quartiles showed MAFLD incidence rates of 3.2%, 25.6%, 30.4%, and 40.8% in Q1 to Q4 groups, respectively, indicating an increasing trend with higher TyG-BMI levels, intergroup differences were statistically significant ($P < 0.001$). Pearson correlation analysis revealed positive correlations between TyG-BMI and BMI, HB, TG, Cr, LDL-C/HDL-C, AIP, TyG, and TyG-ALT ($P < 0.05$), and negative correlations with DBil, ALB, HDL-C, and eGFR ($P < 0.05$). After adjusting for confounders such as age, sex, hypertension, diabetes, HB, GGT/HDL-C, MHR, LDL-C/HDL-C, and TyG-ALT, Logistic regression indicated that TyG-BMI was an independent risk factor for MAFLD in CKD patients (OR = 1.12, 95% CI = 1.07~1.16, $P < 0.001$). ROC analysis showed an area under the curve (AUC) of 0.720 (95% CI: 0.656~0.784) for TyG-BMI in predicting MAFLD, with an optimal cutoff value of 215.25, sensitivity of 63.0%, and specificity of 90.0%. **Conclusion:** In CKD patients, the risk of MAFLD may increase with rising TyG-BMI levels; TyG-BMI could serve as an independent risk factor and a valuable predictive biomarker for MAFLD in this population.

【Key words】 Triglyceride glucose-body mass index; Chronic kidney disease; Metabolic-associated fatty liver disease

慢性肾脏病 (chronic kidney disease, CKD) 定义为超过 3 个月以上的肾脏结构或功能异常^[1], 包括肾小球滤过率 (eGFR) 降低和 (或) 尿蛋白排泄率增加。据估计, 全球慢性肾病的患病率约为 10%, 每年导致 120 万人死亡和 2800 万年寿命损失^[2], 到 2040 年, CKD 可能成为全球第五大死亡原因^[2]。CKD 患者常面临并发心血管疾病和进展为终末期肾脏病 (end stage renal disease, ESRD) 的风险^[3], 给家庭和社会带来巨大的经济负担。非酒精性脂肪性肝病 (nonalcoholic fatty liver disease, NAFLD) 是全球临床实践中最常见的慢性肝病^[4]。作为一种“多系统疾病”, NAFLD 不仅可导致肝功能障碍、肝细胞癌 (HCC)^[4] 等肝脏不良结局的发生, 同时也显著增加罹患心血管疾病^[5]、2 型糖尿病^[6] 和慢性肾脏病 (CKD)^[7] 等肝外并发症的风险。鉴于 NAFLD 与胰岛素抵抗、肥胖和 2 型糖尿病存在密切关联, 一个国际专家小组倡议将其更名为代谢相关脂肪性肝病 (metabolic associated fatty liver disease, MAFLD)^[8]。MAFLD 的定义已在第三次国家健康与营养调查 (NHANES-III 1988-1994) 数据库中进行了测试和验证, 并证实与 NAFLD 相比, MAFLD 是识别肝病进展高风险脂肪肝患者的更实用和准确的定义^[9]。有研究^[10] 表明, MAFLD 比 NAFLD 更能识别 CKD 患者, MAFLD 和肝纤维化评分升高的 MAFLD 与 CKD 和异常尿白蛋白密切相关且独立。许多人同时患有 CKD 和 MAFLD, 流行病学数据显示两者共存率远高于一般人群^[11]。CKD 可促进肝脂质积累与炎症, 而 MAFLD 相关的胰岛素抵抗 (IR)、炎症因子、脂毒性等加速肾脏损伤^[12]。由此可知, 在 CKD 患者中早期识别是否合并 MAFLD 是至关重要的。

当前诊断 MAFLD 的“金标准”是肝穿刺活检^[13], 但由于有创性、风险性和高成本, 使其难以在 CKD 患者中大规模应用。在临床实践中, 无创性的

影像学技术 (如腹部超声、CT) 被广泛用于 MAFLD 的诊断, 但其诊断效能存在一定局限; 对轻度肝脏脂肪变性的敏感性相对较低, 结果判读可能受操作者经验影响, 且在资源受限地区存在设备可及性问题。故需一种简便、经济、易获取的生物标志物或指标, 用于早期筛查和识别 CKD 患者中合并 MAFLD 的高风险个体。胰岛素抵抗 (IR) 是 CKD 患者的早期代谢变化, 与肾脏特异性机制协同作用导致 CKD。IR 也被认为是 MAFLD 发病的主要机制之一^[14]。近年来, 三酰甘油-葡萄糖 (TyG) 指数及其衍生指标已成为评估胰岛素抵抗 (IR) 的有效无创性替代指标^[15]。相较于胰岛素抵抗指数 (HOMA-IR), TyG 能够以操作更简便、成本更低廉的方式评估 IR。TyG-BMI 结合了血清甘油三酯 (TG)、空腹血糖 (FBG) 和体质量 BMI, 可反映机体的代谢状态, 与胰岛素抵抗密切相关^[16], 比单独 TyG 能更准确地反映胰岛素抵抗程度。然而, 在 CKD 这一特殊且高风险人群中系统验证 TyG-BMI 预测 MAFLD 效能的研究相对较少。本研究旨在探讨 TyG-BMI 与 CKD 合并 MAFLD 的相关性, 评估其对 CKD 合并 MAFLD 患病风险的预测效能, 以为该人群的早期筛查提供便捷指标。

1 资料与方法

1.1 一般资料

回顾性选取 2023 年 1 月至 2024 年 12 月川北医学院附属医院收治的 250 例 CKD 住院患者为研究对象。纳入标准: (1) 年龄 ≥ 18 岁; (2) 符合 KIDGO CKD 诊断标准 (eGFR $< 60 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1} \cdot 1.73 \text{ m}^{-2}$ 或肾损伤标志物持续 > 3 个月); (3) 完整的临床资料 (TG、Glu、BMI、腹部超声报告等)。排除标准: (1) 其他明确慢性肝病病因 (病毒性肝炎、酒精性肝病、自身免疫性肝病、药物性肝损伤、Wilson 病等); (2) 活动性恶性肿瘤; (3) 急性肾损伤为主; (4)

妊娠或哺乳期妇女;(5)资料严重缺失者。本研究已通过川北医学院附属医院伦理委员会批准(2025ER391-1)。

1.1.1 CKD 诊断标准 CKD 诊断按照国际肾病学学会标准进行定义^[1]: eGFR < 60 [mL·min⁻¹·1.73m⁻²]和(或)蛋白尿(尿白蛋白肌酐比值≥30 mg/g)。使用慢性肾脏病流行病学协作组(CKD-EPI)公式计算 eGFR^[17]。

1.1.2 MAFLD 诊断标准 本研究使用腹部超声进行脂肪肝诊断。MAFLD 在脂肪肝和以下情况的患者中得到证实:合并超重/肥胖、2 型糖尿病或两种及两种以上代谢功能障碍。肝脏脂肪变性的诊断依据 NAFLD 防治指南(2018 年更新版)^[18]:(1)肝脏近场回声弥漫性增强并强于肾脏;(2)肝内管道结构显示不清;(3)肝脏远场回声逐渐衰减,具备其中 2 项即可诊断为弥漫性脂肪肝。见图 1。代谢功能障碍为至少存在以下两项代谢风险异常:(1)腰围:男性≥90 cm,女性≥80 cm;(2)血压≥130/85 mmHg(1 mmHg=0.133 kPa)或正在使用降压药物治疗;(3)TG≥1.70 mmol/L 或正在使用降脂药物治疗;(4)高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C):男性<1.0 mmol/L,女性<1.3 mmol/L 或正在使用降脂药物治疗;(5)空腹血糖 5.6~6.9 mmol/L 或餐后 2 h 血糖 7.8~11.0 mmol/L 或糖化血红蛋白(HbA1c) 5.7%~6.4%;(6)HOMA-IR≥2.5;(7)超敏 C 反应蛋白>2 mg/L。

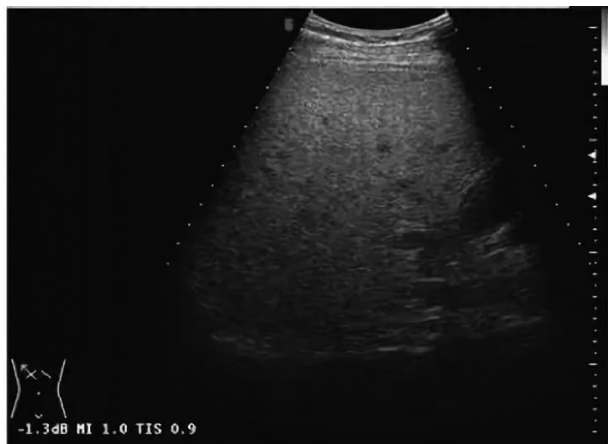


图1 代谢相关脂肪性肝病(MAFLD)的典型腹部超声图像

1. 肝脏回声弥漫性增强(“明亮肝”),高于右侧肾脏皮质和脾脏的回声强度;2.肝内管道结构显示模糊,特别是门静脉分支的管壁回声不清;3.肝脏远场回声衰减,导致深部肝脏组织显示不清。

1.2 资料收集

通过川北医学院附属医院电子病历系统收集 CKD 患者及 MAFLD 患者的一般资料、合并症及辅助检查结果。一般资料包括年龄、性别、体质量、血压;合并症包括高血压、糖尿病;辅助检查包括血常

规:中性粒细胞计数(NEU),淋巴细胞计数(LYM),单核细胞计数(MONO),血红蛋白(HB);肝功能:白蛋白(ALB)、丙氨酸氨基转移酶(ALT)、天冬氨酸氨基转移酶(AST)、γ-谷氨酰转移酶(GGT)、总胆红素(TBil)、直接胆红素(DBil);肾功能:血清肌酐(Cr)、尿素氮(BUN)、尿酸(UA)、估算肾小球滤过率(eGFR);血脂:TC、TG、HDL-C、LDL-C;Hs-CRP,FBG,并计算出 BMI、GGT/HDL-C、LDL-C/HDL-C、MHR、AIP、TyG、TyG-BMI、TyG-ALT。BMI=体质量(kg)/身高(m)²;GGT/HDL-C=γ-谷氨酰转移酶/高密度脂蛋白胆固醇;LDL-C/HDL-C=低密度脂蛋白胆固醇/高密度脂蛋白胆固醇;MHR=单核细胞/高密度脂蛋白胆固醇;AIP=血浆致动脉粥样硬化指数[log(TG/HDL-C×100)];TyG=三酰甘油-葡萄糖指数[ln(TG×FBG/2)];TyG-BMI=三酰甘油-葡萄糖体质量指数(TyG×BMI);TyG-ALT=TyG×ALT;采用腹部超声检查诊断脂肪肝。

1.3 分组

基于腹部超声结果,依据国际 MAFLD 专家共识诊断标准,将患者分为:单纯 CKD 组(符合 CKD 诊断,但不符合 MAFLD 诊断标准),CKD 合并 MAFLD 组(同时符合 CKD 和 MAFLD 诊断标准);依据改善全球肾脏病预后组织(KDIGO)指南,利用基于血清肌酐的 CKD-EPI 公式计算 eGFR,将所有 CKD 患者划分为 1-2 期(eGFR ≥ 60 mL·min⁻¹·1.73m⁻²),3 期(eGFR 30~59 mL·min⁻¹·1.73m⁻²),4 期(eGFR 15~29 mL·min⁻¹·1.73m⁻²)及 5 期(eGFR < 15 mL·min⁻¹·1.73m⁻²)。

1.4 统计学分析

使用 SPSS 27.0 和 R 4.3.3 软件进行数据分析。符合正态分布的计量资料以($\bar{x} \pm s$)表示,两组间比较采用独立样本 *t* 检验;非正态分布的计量资料以[M(*P*₂₅, *P*₇₅)]表示,两组间比较采用 Mann-Whitney *U* 秩和检验;计数资料以[n(%)]表示,组间比较采用 χ^2 检验。采用 Pearson 相关性分析 TyG-BMI 与临床指标的相关性;通过二元 Logistic 回归分析探讨 TyG-BMI 在 CKD 人群中与 MAFLD 发病风险的关系;绘制 ROC 曲线分析探讨 TyG-BMI 对 CKD 发生 MAFLD 的风险预测价值。*P*<0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 单纯 CKD 组与 CKD 合并 MAFLD 组基线资料比较

经过纳入标准和排除标准筛选后,本研究最终

纳入单纯 CKD 组 125 例,CKD 合并 MAFLD 组 125 例。其中男性 156 人,女性 97 人。与单纯 CKD 组相比,CKD 合并 MAFLD 组的糖尿病患病人数、BMI、LYM、MONO、HB、Hs-CRP、TBil、DBil、Cr、TG、GGT/HDL、LDL/HDL、MHR、AIP、TyG、TyG-BMI、TyG-ALT 水平增高,而 ALB、eGFR、HDL 较单纯 CKD 组患者水平降低,差异有统计学意义($P < 0.05$),见表 1。

表 1 单纯 CKD 组与 CKD 合并 MAFLD 组一般资料比较 $[\bar{x} \pm s, M(P_{25}, P_{75}), n(\%)]$

资料	单纯 CKD 组 (n=125)	CKD 合并 MAFLD 组(n=125)	t/Z/ χ^2 值	P 值
年龄(岁)	57.52 ± 15.53	59.29 ± 14.06	-0.94	0.346
男性	83 (66.40)	73 (58.40)	1.70	0.192
收缩压(mmHg)	142.95 ± 26.34	139.70 ± 24.23	1.02	0.310
舒张压(mmHg)	84.00 (77.00,96.00)	84.00 (76.00,97.00)	-0.17	0.865
高血压	77 (61.60)	84 (67.20)	0.85	0.355
糖尿病	46 (36.80)	62 (49.60)	4.17	0.041
BMI(kg/m ²)	23.72 ± 3.13	27.58 ± 3.37	-9.39	<0.001
NEU($\times 10^9$ /L)	4.51 (3.38,6.14)	4.61 (3.49,5.75)	-0.21	0.830
LYM($\times 10^9$ /L)	1.21 (0.97,1.71)	1.65 (1.20,2.11)	-4.09	<0.001
MONO($\times 10^9$ /L)	0.39 (0.30,0.55)	0.47 (0.38,0.55)	-3.29	0.001
HB(g/L)	103.00 (81.00,120.00)	124.00 (104.00,143.00)	-5.47	<0.001
Hs-CRP(mg/L)	1.80 (0.56,4.59)	2.91 (2.13,4.32)	-4.27	<0.001
ALB(g/L)	37.82 ± 5.61	34.18 ± 3.99	5.90	<0.001
ALT(U/L)	16.00 (10.40,27.00)	18.80 (13.18,28.40)	-1.68	0.092
AST(U/L)	22.00 (17.40,28.60)	23.20 (19.04,27.30)	-1.10	0.270
GGT(U/L)	19.00 (13.50,32.00)	24.30 (16.00,34.80)	-1.69	0.091
TBil(μ mol/L)	8.00 (6.10,11.30)	10.00 (7.21,13.20)	-3.05	0.002
DBil(μ mol/L)	2.41 (1.80,3.70)	2.90 (2.10,4.00)	-2.12	0.034
Cr(μ mol/L)	278.50 (163.10,364.20)	325.00 (263.30,411.10)	-3.93	<0.001
BUN(mmol/L)	12.87 (8.70,19.42)	15.37 (11.88,17.70)	-1.29	0.198
UA(μ mol/L)	435.40 (357.60,533.70)	455.20 (377.40,581.30)	-1.36	0.173
eGFR(mL·min ⁻¹ ·1.73m ⁻²)	28.33 (19.29,38.25)	20.20 (14.53,29.98)	-3.63	<0.001
TC(mmol/L)	4.51 (3.63,5.49)	4.61 (3.87,5.47)	-1.29	0.196
TG(mmol/L)	1.33 (0.94,2.04)	2.06 (1.57,2.82)	-6.25	<0.001
HDL-C(mmol/L)	1.18 (0.98,1.57)	0.98 (0.79,1.18)	-4.81	<0.001
LDL-C(mmol/L)	2.27 (1.71,3.21)	2.53 (2.00,3.06)	-1.41	0.159
FBG(mmol/L)	5.46 (4.71,6.46)	5.80 (5.11,7.34)	-1.96	0.050
GGT/HDL-C(U/mmol)	16.99 (10.06,28.45)	25.75 (15.47,39.66)	-3.75	<0.001
LDL-C/HDL-C	2.01 (1.37,2.48)	2.65 (2.01,3.29)	-5.14	<0.001
MHR($\times 10^9$ /mmol)	0.33 (0.21,0.56)	0.46 (0.36,0.65)	-4.60	<0.001
AIP	2.01 ± 0.30	2.30 ± 0.27	-7.91	<0.001
TyG	8.69 (8.21,9.22)	9.18 (8.85,9.65)	-6.00	<0.001
TyG-BMI	204.07 (181.36,235.41)	249.57 (226.79,280.77)	-8.80	<0.001
TyG-ALT	137.55 (91.33,247.70)	177.67 (122.02,276.92)	-2.38	0.017

CKD:慢性肾脏病;MAFLD:代谢相关脂肪性肝病;BMI:体质指数;NEU:中性粒细胞计数;LYM:淋巴细胞计数;MONO:单核细胞计数;HB:血红蛋白;Hs-CRP:超敏 C 反应蛋白;ALB:白蛋白;ALT:丙氨酸氨基转移酶;AST:天冬氨酸氨基转移酶;GGT: γ -谷氨酰转氨酶;TBil:总胆红素;DBil:直接胆红素;Cr:血肌酐;BUN:尿素氮;UA:尿酸;eGFR:估算肾小球滤过率;TC:总胆固醇;TG:三酰甘

油;HDL-C:高密度脂蛋白胆固醇;LDL-C:低密度脂蛋白胆固醇;FBG:空腹血糖;GGT/HDL: γ -谷氨酰转氨酶/高密度脂蛋白胆固醇;LDL-C/HDL-C:低密度脂蛋白胆固醇/高密度脂蛋白胆固醇;MHR:单核细胞/高密度脂蛋白胆固醇;AIP:血浆致动脉硬化指数;TyG:三酰甘油-葡萄糖指数;TyG-BMI:三酰甘油-葡萄糖体质量指数。

2.2 CKD 各期患者 MAFLD 发生率比较

随着 CKD 分期的进展,MAFLD 的患病率呈现出逐渐升高的趋势(CKD1-2 期 MAFLD 患病率为 25.00%,3 期患病率为 38.55%,4 期患病率为 52.25%,5 期患病率为 68.75%),差异有统计学意义($P < 0.05$)。见表 2。

表 2 CKD1-5 期患者 MAFLD 发生率比较 $[n(\%)]$

CKD 分期	CKD1-2 期 (n=8)	CKD3 期 (n=83)	CKD4 期 (n=111)	CKD5 期 (n=48)	χ^2 值	P 值
MAFLD	2 (25.00)	32 (38.55)	58 (52.25)	33 (68.75)	13.32	0.003

2.3 各 TyG-BMI 四分位水平下 MAFLD 发生率

将 TyG-BMI 按四分位间距分组,将人群分为 Q1 组:TyG-BMI < 200.75、Q2 组:200.75 ≤ TyG-BMI < 228.98、Q3 组:228.98 ≤ TyG-BMI < 258.70、Q4 组:TyG-BMI ≥ 258.70;在 TyG-BMI 四分位数分组中 Q1 组、Q2 组、Q3 组、Q4 组的 MAFLD 发生率分别为 3.2%、25.6%、30.40%、40.80%,表明随着 TyG-BMI 的升高 MAFLD 的患病率升高。TyG-BMI 的 Q4 亚组 MAFLD 的患病率高于 Q1、Q2 及 Q3 亚组,差异均有统计学意义($P < 0.05$)。见表 3。

表 3 不同 TyG-BMI 亚组的 MAFLD 患病率比较 $[n(\%)]$

亚组	区间	单纯 CKD 组	CKD 合并 MAFLD 组	χ^2 值	P 值
TyG-BMI				75.38	<0.001
Q1	<200.75	59 (47.20)	4 (3.20)		
Q2	≥200.75~228.98	30 (24.00)	32 (25.60) ^①		
Q3	≥228.98~258.70	24 (19.20)	38 (30.40) ^①		
Q4	≥258.70	12 (9.60)	51 (40.80) ^{①②③}		

① $P < 0.05$,与 Q1 组比较;② $P < 0.05$,与 Q2 组比较;③ $P < 0.05$,与 Q3 组比较。CKD:慢性肾脏病;MAFLD:代谢相关脂肪性肝病;TyG-BMI:三酰甘油-葡萄糖体质量指数。

2.4 TyG-BMI 与一般资料的相关性分析

Pearson 相关性分析显示,TyG-BMI 水平与 BMI、HB、TG、Cr、LDL-C/HDL-C、AIP、TyG、TyG-ALT 正相关($R_s = 0.928, 0.236, 0.586, 0.175, 0.350, 0.635, 0.650, 0.139, P < 0.05$),与 DBil、ALB、HDL-C、eGFR 负相关($R_s = -0.128, -0.225, -0.287, -0.174, P < 0.05$)。见表 4。

表 4 TyG-BMI 与 MAFLD 指标的相关性分析

指标	R_s 值	P 值
BMI	0.928	<0.001
HB	0.236	<0.001
DBil	-0.128	0.043
ALB	-0.225	<0.001
TG	0.586	<0.001
HDL-C	-0.287	<0.001
Cr	0.175	0.006
eGFR	-0.174	0.006
LDL-C/HDL-C	0.350	<0.001
AIP	0.635	<0.001
TyG	0.650	<0.001
TyG-ALT	0.139	0.029

BMI: 体质指数; HB: 血红蛋白; DBil: 直接胆红素; BUN: 尿素氮; TC: 总胆固醇; HDL-C: 高密度脂蛋白胆固醇; LDL-C: 低密度脂蛋白胆固醇; AIP: 血浆致动脉粥样硬化指数; TyG: 三酰甘油-葡萄糖指数; ALT: 丙氨酸氨基转移酶。

2.5 CKD 发生 MAFLD 的多因素 Logistic 回归分析

为进一步分析 TyG-BMI 与 MAFLD 的患病风险的关系,通过三个模型进行 Logistic 回归分析,模型包括:模型 1:未控制任何混杂因素。模型 2:控制年龄、性别、高血压、糖尿病。模型 3:在模型二的基础上控制 HB、GGT/HDL-C、MHR、LDL-C/HDL-C、TyG-ALT 等混杂因素。多因素 Logistic 回归分析结果显示, TyG-BMI 为 CKD 合并 MAFLD 的独立危险因素 ($OR = 1.12, 95\%CI: 1.07 \sim 1.16, P < 0.001$)。见表 5。为进一步探讨 TyG-BMI 与 MAFLD 的关系是否受肾功能影响,按 CKD 分期进行了分层 Logistic 回归分析。然而,在调整了年龄、性别、高血压、糖尿病、HB、GGT/HDL-C、MHR、LDL-C/HDL-C、TyG-ALT 等混杂因素后,结果显示,在 CKD 1-2 期、3 期、4 期及 5 期患者中, TyG-BMI 与 MAFLD 的关联均未达到统计学意义 ($P > 0.05$)。

表 5 TyG-BMI 与 CKD 发生 MAFLD 的 Logistic 回归分析

因素	模型一		模型二		模型三	
	$OR(95\%CI)$	P 值	$OR(95\%CI)$	P 值	$OR(95\%CI)$	P 值
TyG-BMI	1.04 (1.03~1.05)	<0.001	1.04 (1.03~1.05)	<0.001	1.12 (1.07~1.16)	<0.001

TyG-BMI: 三酰甘油-葡萄糖体质量指数。模型一未控制任何混杂因素;模型二控制年龄、性别、高血压、糖尿病;模型三在模型二的基础上控制 HB(血红蛋白)、GGT/HDL-C、MHR、LDL-C/HDL-C、TyG-ALT 等混杂因素。

2.6 TyG-BMI 对 CKD 中 MAFLD 发病风险的 ROC 曲线分析

TyG-BMI 诊断 CKD 发生 MAFLD 的最佳截断值为 215.25,对应的敏感度和特异性分别为 63.0% 和 90.0%,曲线下面积 (AUC) 为 0.720

(95%CI: 0.656~0.784)。见图 2。

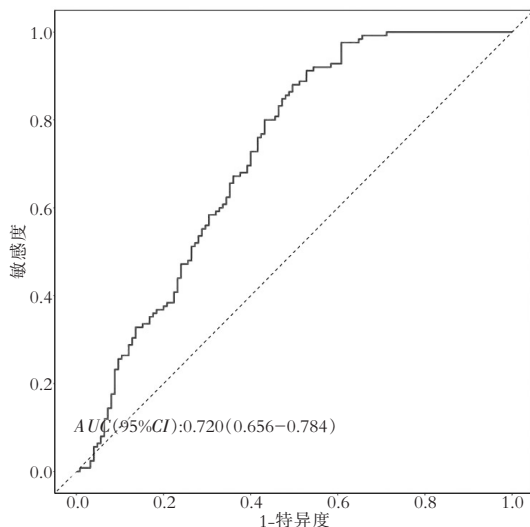


图 2 TyG-BMI 对 CKD 发生 MAFLD 的预测价值

3 讨论

本研究在 CKD 人群中探讨了 TyG-BMI 与 MAFLD 的相关性。发现与单纯 CKD 组相比, CKD 合并 MAFLD 组具有显著升高的 TyG-BMI (249.57 vs. 204.07, $P < 0.001$);随着 CKD 分期的进展, MAFLD 的患病率呈现出逐渐升高的趋势 ($P < 0.05$);将 TyG-BMI 按四分位间距进行分组,表现出 MAFLD 的患病率随 TyG-BMI 水平的升高而上升的趋势; TyG-BMI 与 BMI、HB、TG、Cr、LDL-C/HDL-C、AIP、TyG、TyG-ALT 正相关,与 DBil、ALB、HDL-C、eGFR 负相关 ($P < 0.05$);在控制年龄、性别、高血压、糖尿病、HB、GGT/HDL-C、MHR、LDL-C/HDL-C、TyG-ALT 等混杂因素后, Logistic 回归分析提示 TyG-BMI 为 CKD 合并 MAFLD 的独立危险因素 ($OR = 1.12, 95\%CI: 1.07 \sim 1.16, P < 0.001$);ROC 曲线分析显示 TyG-BMI 预测 CKD 发生 MAFLD 的 AUC 为 0.720 (95%CI: 0.656~0.784),最佳截断值为 215.25,敏感度为 63.0%,特异性为 90.0%。因此, TyG-BMI 有助于早期诊断 CKD 合并 MAFLD 患者。

本研究中,虽然在整体 CKD 患者中, TyG-BMI 是 MAFLD 的独立危险因素,但在按 CKD 分期进行的分层分析中, TyG-BMI 与 MAFLD 的关联均未达到统计学意义 ($P > 0.05$)。这一结果可能揭示了 CKD 不同阶段 MAFLD 致病机制的异质性,其背后原因值得深入探讨:第一,统计效能的限制是不可忽视的因素。将总体样本划分为四个 CKD 分期亚组后,各亚组样本量(尤其是 CKD 1-2 期)的减少,降低了模型探测到显著关联的统计能力,存在 II 类错误的可能性;第二,更可能的原因是晚期 CKD

患者独特的病理生理环境主导了 MAFLD 的进程。在 CKD 早期(1-3 期),经典的代谢异常如胰岛素抵抗和肥胖,可能是肝脂肪变性的主要驱动因素,此时 TyG-BMI 具有良好的代表性。但随着肾功能衰竭进入晚期(4-5 期),一系列非传统危险因素的作用日益凸显,包括但不限于蛋白质-能量消耗、持续的微炎症状态、氧化应激加剧及肠道菌群失调等^[19]。这些因素本身可直接促进肝脏脂肪沉积和代谢紊乱,可能部分“稀释”或掩盖了由胰岛素抵抗和肥胖所贡献的风险。因此,主要反映后两者的 TyG-BMI 指数,在晚期 CKD 这一复杂背景下,其预测效力自然可能减弱;第三,晚期 CKD 患者常伴随的血清生化指标复杂改变(如肝酶水平受肾功能影响)以及腹水等情况,也可能对超声诊断 MAFLD 的准确性构成挑战,从而引入一定的测量偏倚。故分层分析提示, TyG-BMI 对 MAFLD 的预测价值可能因肾功能状态而异。对于 CKD 早中期患者,其仍是一个简便、有效的风险评估工具;但对于晚期 CKD 患者,评估 MAFLD 风险可能需要整合更多反映尿毒症代谢特征的指标。这一发现为未来针对不同阶段 CKD 患者 MAFLD 的个体化防治策略提供了新的理论视角。CKD 的病因复杂多样,是一项重大的全球公共卫生挑战。而 MAFLD 已成为慢性肝病的主要原因^[20]。越来越多的证据表明, MAFLD 与 CKD 的发生风险增加独立相关。在韩国的一项研究^[21]中,268 946 名参与者在 2009 年至 2015 年被前瞻性地随访了近 5 年,结果显示 MAFLD 患者的 CKD 发生风险更高($HR = 1.18$)。另一项研究^[10]显示,在调整了多个 CKD 危险因素(如年龄、性别、种族、饮酒量和 2 型糖尿病)后, MAFLD 与 CKD 之间的关系仍然显著(校正后的 $OR = 1.12, 95\%CI: 1.01 \sim 1.24$)。CKD 和 MAFLD 的发生发展都与胰岛素抵抗密切相关:胰岛素抵抗作为 CKD 发展的重要危险因素^[22],会导致肾小球高滤过、钠潴留增加和肾小管功能障碍,包括肾组织的炎症和纤维化;而 MAFLD 的本质是脂肪在肝脏异位沉积,其发生发展依赖于胰岛素抵抗的严重程度和脂肪组织的总体/内脏分布^[23]。TyG-BMI 作为评估胰岛素抵抗(IR)水平的新兴指标,其在评估胰岛素抵抗方面较稳态模型更好,并与金标准高胰岛素血糖钳夹试验的结果高度一致^[24]。其巧妙地结合了 TG、FBG 和 BMI^[25],可作为早期识别 CKD 合并 MAFLD 的重要复合指标。大量临床研究数据显示, TyG-BMI 在普通人群、非糖尿患者群乃至非肥胖人群中均表现出卓越的预测价值^[26-28]。江等人已确定 TyG-BMI 是新诊断的 2 型糖尿病患者糖尿病肾病(DKD)的

重要危险因素^[29]。

本研究同样存在一些不足。首先,本研究未能评估 TyG-BMI 对肝纤维化进展的预测价值,而后者是 MAFLD 患者预后的决定性因素;其次,超声对肝脏脂肪含量 $< 20\%$ 的轻度脂肪变性敏感性不足,可能导致 MAFLD 被低估;第三, TyG-BMI 的截断值尚未在其他独立队列中得到验证,可能影响其普适性;第四,本研究计算的是单个时间点的 TyG-BMI 值,因此不能排除后期时间点的临床意义,且 TyG-BMI 的变化是否会影响 CKD 合并 MAFLD 的预后还需要进一步的研究。因此,未来研究应在不同 CKD 分期亚组中验证截断值;同时探索 TyG-BMI 的动态预测价值,通过前瞻性队列分析 TyG-BMI 年增长率与肝纤维化标志的关联;并设计多中心 RCT 试验,评估基于 TyG-BMI 的风险管理能否改善 CKD 合并 MAFLD 的复合终点($eGFR$ 下降 $\geq 40\%$ + 肝纤维化进展)。

综上,本研究发现 TyG-BMI 是 CKD 合并 MAFLD 的独立危险因素,并证实其在预测 CKD 合并 MAFLD 方面的有效性。其整合了胰岛素抵抗与脂肪分布异常的双重信号,可以很容易地从常规外周全血检测结果中获得。其成本效益和便利性使其广泛适用于 CKD 合并 MAFLD 患者的早期筛查、自我监测和预防。建议将 TyG-BMI 纳入 CKD 常规管理路径,作为影像学检查前的筛选指标,从而实现 CKD 合并 MAFLD 的早期识别与干预。课题组希望未来的研究将包括更多前瞻性、大规模、多中心研究,以评估 TyG-BMI 对 CKD 的预测价值和内在机制。

参考文献

- [1] Inker LA, Astor BC, Fox CH, *et al.* KDOQI US commentary on the 2012 KDIGO clinical practice guideline for the evaluation and management of CKD[J]. *American Journal of Kidney Diseases*, 2014, 63(5): 713-735.
- [2] Kalantar-Zadeh K, Jafar TH, Nitsch D, *et al.* Chronic kidney disease[J]. *The Lancet*, 2021, 398(10302): 786-802.
- [3] Wang L, Xu X, Zhang M, *et al.* Prevalence of chronic kidney disease in China: results from the sixth China chronic disease and risk factor surveillance[J]. *JAMA Internal Medicine*, 2023, 183(4): 298-310.
- [4] Mantovani A, Scorletti E, Mosca A, *et al.* Complications, morbidity and mortality of nonalcoholic fatty liver disease[J]. *Metabolism*, 2020, 111S: 154170.
- [5] Mantovani A, Csermely A, Petracca G, *et al.* Non-alcoholic fatty liver disease and risk of fatal and non-fatal cardiovascular events: an updated systematic review and meta-analysis[J]. *The Lancet Gastroenterology & Hepatology*, 2021, 6(11): 903-913.

- [6] Mantovani A, Petracca G, Beatrice G, *et al.* Non-alcoholic fatty liver disease and risk of incident diabetes mellitus; an updated meta-analysis of 501 022 adult individuals[J]. *Gut*, 2021, 70(5):962-969.
- [7] Mantovani A, Petracca G, Beatrice G, *et al.* Non-alcoholic fatty liver disease and risk of incident chronic kidney disease; an updated meta-analysis[J]. *Gut*, 2022, 71(1):156-162.
- [8] Eslam M, Newsome PN, Sarin SK, *et al.* A new definition for metabolic dysfunction-associated fatty liver disease; an international expert consensus statement[J]. *Journal of Hepatology*, 2020, 73(1):202-209.
- [9] Lin S, Huang J, Wang M, *et al.* Comparison of MAFLD and NAFLD diagnostic criteria in real world[J]. *Liver International*, 2020, 40(9):2082-2089.
- [10] Sun DQ, Jin Y, Wang TY, *et al.* MAFLD and risk of CKD[J]. *Metabolism*, 2021, 115:154433.
- [11] Agustanti N, Soetedjo NNM, Damara FA, *et al.* The association between metabolic dysfunction-associated fatty liver disease and chronic kidney disease; a systematic review and meta-analysis[J]. *Diabetes & Metabolic Syndrome*, 2023, 17(5):102780.
- [12] Kimura M, Mikami K, Endo T, *et al.* Association between serum β -carotene-to-retinol ratio and severity of hepatic steatosis in non-alcoholic fatty liver disease in Japan; a cross-sectional study[J]. *Nutrition*, 2020, 79-80:110984.
- [13] Eslam M, Sanyal AJ, George J. MAFLD; a consensus-driven proposed nomenclature for metabolic associated fatty liver disease[J]. *Gastroenterology*, 2020, 158(7):1999-2014.
- [14] Sakurai Y, Kubota N, Yamauchi T, *et al.* Role of insulin resistance in MAFLD[J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2021, 22(8):4156.
- [15] Ramdas NVK, Sathesh P, Shenoy MT, *et al.* Triglyceride Glucose (TyG) Index; a surrogate biomarker of insulin resistance [J]. *JPMA the Journal of the Pakistan Medical Association*, 2022, 72(5):986-988.
- [16] Beran A, Ayes H, Mhanna M, *et al.* Triglyceride-glucose index for early prediction of nonalcoholic fatty liver disease: a meta-analysis of 121, 975 individuals[J]. *Journal of Clinical Medicine*, 2022, 11(9):2666.
- [17] Levey AS, Stevens LA, Schmid CH, *et al.* A new equation to estimate glomerular filtration rate [J]. *Annals of Internal Medicine*, 2009, 150(9):604-612.
- [18] 中华医学会肝病学会脂肪肝和酒精性肝病学组, 中国医师协会脂肪性肝病专家委员会. 非酒精性脂肪性肝病防治指南 (2018 更新版)[J]. *现代医药卫生*, 2018, 34(5):641-649.
- [19] Wang C, Guo X, Xu X, *et al.* Association between sarcopenia and frailty in elderly patients with chronic kidney disease[J]. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, 2023, 14(4):1855-1864.
- [20] Sarin SK, Eslam M, Fan JG, *et al.* MAFLD, patient-centred care, and APASL[J]. *Hepatology International*, 2022, 16(5):1032-1034.
- [21] Jung CY, Koh HB, Park KH, *et al.* Metabolic dysfunction-associated fatty liver disease and risk of incident chronic kidney disease; a nationwide cohort study[J]. *Diabetes & Metabolism*, 2022, 48(4):101344.
- [22] Yang S, Kwak S, Song YH, *et al.* Association of longitudinal trajectories of insulin resistance with adverse renal outcomes [J]. *Diabetes Care*, 2022, 45(5):1268-1275.
- [23] Zhao J, Liu L, Cao YY, *et al.* MAFLD as part of systemic metabolic dysregulation [J]. *Hepatology International*, 2024, 18(2):834-847.
- [24] Mykkänen L, Zaccaro DJ, Wagenknecht LE, *et al.* Microalbuminuria is associated with insulin resistance in nondiabetic subjects; the insulin resistance atherosclerosis study[J]. *Diabetes*, 1998, 47(5):793-800.
- [25] Huang X, He J, Wu G, *et al.* TyG-BMI and hypertension in Normoglycemia subjects in Japan: a cross-sectional study[J]. *Diabetes & Vascular Disease Research*, 2023, 20(3):14791641231173617.
- [26] Zhang S, Liu W, Xu B, *et al.* Association of triglyceride glucose index and triglyceride glucose-body mass index with sudden cardiac arrest in the general population[J]. *Cardiovascular Diabetology*, 2024, 23(1):173.
- [27] Zeng P, Cai X, Yu X, *et al.* Markers of insulin resistance associated with non-alcoholic fatty liver disease in non-diabetic population[J]. *Scientific Reports*, 2023, 13(1):20470.
- [28] Wang X, Liu J, Yu K, *et al.* Association between TyG-related parameters and NAFLD risk in Japanese non-obese population [J]. *Scientific Reports*, 2025, 15(1):7119.
- [29] Jiang Y, Lai X. Association between the triglyceride glucose index, triglyceride-glucose body mass index and diabetic kidney disease in adults with newly diagnosed type 2 diabetes [J]. *Frontiers in Medicine*, 2024, 11:1328601.

(收稿日期:2025-09-10

修回日期:2025-10-16)