

• 论 著 •

糖尿病前期患者肥胖相关指标特征及与 T2DM 发生的相关性分析*

罗超¹, 陈杰², 毛磊¹, 席峰¹, 申珂¹, 郭艳英^{3△}

新疆维吾尔自治区人民医院:1. 医务部;2. 放射影像中心;3. 内分泌科, 新疆乌鲁木齐 830000

摘要:目的 探究糖尿病前期患者内脏脂肪指数(VAI)、脂质蓄积指数(LAP)、甘油三酯-葡萄糖指数(TyG)等肥胖相关指标的特征及其与 2 型糖尿病(T2DM)发生的相关性。方法 选取 2020 年 1 月至 2022 年 12 月于该院收治的 64 例 T2DM 患者作为观察组, 同期 64 例糖尿病前期患者作为对照组。对比两组患者一般临床资料、糖脂代谢相关指标[总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)、血糖(FPG)及糖化血红蛋白(HbA1c)]、肥胖及胰岛功能相关指标[体重指数(BMI)、身体圆度指数(BRI)、VAI、LAP、TyG]。通过相关性分析及 Logistic 回归分析筛选 T2DM 发生的危险因素, 通过受试者工作特征(ROC)曲线及曲线下面积(AUC)评价各危险因素对 T2DM 发生的预测价值。结果 观察组患者腰围、TG、FPG、HbA1c、BMI、VAI、LAP、BRI 及 TyG 均明显高于对照组($P < 0.05$)。相关性分析表明, 患者 BRI 与 FPG 呈正相关($P < 0.05$), BMI 与 HbA1c 呈正相关($P < 0.05$)。二元 Logistic 回归分析显示, 患者 BMI、VAI、LAP、TyG 升高均是 T2DM 发生的独立危险因素($P < 0.05$), 其中 LAP 水平对 T2DM 发生的预测价值最高, AUC 为 0.854。结论 糖尿病前期患者 BMI、VAI、LAP、TyG 升高可能与 T2DM 的发生呈正相关, 早期监测上述指标对预测糖尿病前期患者预后及疾病转归具有一定临床意义。

关键词:糖尿病前期; 2 型糖尿病; 内脏脂肪指数; 脂质蓄积指数

DOI:10.3969/j.issn.1673-4130.2024.07.011

中图法分类号:R587.1

文章编号:1673-4130(2024)07-0813-05

文献标志码:A

Analysis of the characteristics of obesity-related indexes and the correlation with T2DM in patients with prediabetes*

LUO Chao¹, CHEN Jie², MAO Lei¹, XI Feng¹, SHEN Ke¹, GUO Yanying^{3△}

1. Department of Medicine; 2. Radiological Imaging Center; 3. Department of Endocrinology, People's Hospital of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi, Xinjiang 830000, China

Abstract: **Objective** To explore the characteristics of visceral fat index (VAI), lipid accumulation product (LAP) and triglyceride-glucose index (TyG) in patients with prediabetes and their correlation with type 2 diabetes mellitus (T2DM). **Methods** Sixty-four patients with T2DM treated in the hospital from January 2020 to December 2022 were selected as the observation group, and 64 patients with pre-diabetes during the same period were selected as the control group. The general clinical data, related indexes of glucose and lipid metabolism [total cholesterol (TC), triglyceride (TG), low density lipoprotein cholesterol (LDL-C), high density lipoprotein cholesterol (HDL-C), fasting plasma glucose (FPG) and glycosylated hemoglobin (HbA1c)], obesity and islet function related indexes [body mass index (BMI), body roundness index (BRI), VAI, LAP, TyG] of the two groups were compared between the two groups. The risk factors of T2DM were screened by correlation analysis and Logistic regression analysis. The predictive value of risk factors for T2DM was evaluated by receiver operating characteristic (ROC) curve and area under curve (AUC). **Results** The waist circumference, TG, FPG, HbA1c, BMI, VAI, LAP, BRI and TyG in the observation group were significantly higher than those in the control group ($P < 0.05$). Correlation analysis showed that there was a positive correlation between BRI and FPG ($P < 0.05$), and a positive correlation between BMI and HbA1c ($P < 0.05$). Binary Logistic

* 基金项目:新疆维吾尔自治区自然科学基金项目(2022D01C137)。

作者简介:罗超,女,主治医师,主要从事卫生事业管理方向研究。△ 通信作者, E-mail: guozeyan@126.com。

tic regression analysis showed that the increase of BMI, VAI, LAP and TyG were all independent risk factors for the occurrence of T2DM ($P<0.05$). LAP level had the highest predictive value for T2DM development, with an AUC of 0.854. **Conclusion** The increase of BMI, VAI, LAP and TyG in patients with prediabetes may be positively correlated with the occurrence of T2DM. Early monitoring of these indexes has a certain clinical significance in predicting the prognosis and disease outcome of patients with prediabetes.

Key words: prediabetes; type 2 diabetes mellitus; visceral fat index; lipid accumulation product

2 型糖尿病(T2DM)的发病率近年来一直呈上升趋势,对人们的健康和生命安全构成了严重的威胁。T2DM 患者在确诊前大多会经历糖尿病前期,包括空腹血糖受损、糖耐量异常及空腹血糖受损合并糖耐量异常,是一种介于正常糖耐量和糖尿病之间的糖代谢异常状态^[1]。糖尿病前期人群发展为 T2DM 的概率远高于糖代谢正常人群,在糖尿病前期对患者糖代谢异常进行干预是唯一可能帮助患者获得良好临床转归的方法,但如何准确评估糖尿病前期患者状态、实施精确干预仍有赖于通过客观指标进行预测^[2]。除了常规糖、脂代谢指标外,肥胖相关指标在 T2DM 的发生、发展及预后评估中的作用也逐渐突显^[3]。传统肥胖相关指标包括体重指数(BMI)及腰围,均已被证实与 T2DM 的发生存在显著正相关性,但仅靠 BMI 及腰围无法反映糖尿病前期患者内脏肥胖程度,且可能受到短暂性运动、生活方式、饮食结构改变的影响^[4-5]。基于此,本研究旨在探索糖尿病前期患者内脏脂肪指数(VAI)、脂质蓄积指数(LAP)、甘油三酯-葡萄糖指数(TyG)等胰岛素抵抗指标特征及与 T2DM 发生的相关性。

1 资料与方法

1.1 一般资料 回顾性分析 2020 年 1 月至 2022 年 12 月本院收治的 64 例 T2DM 患者(观察组),以及同期来本院门诊检查的 64 例糖尿病前期患者(对照组)的临床资料。所有患者临床资料完整,且签署知情同意书。本研究已通过本院伦理委员会批准。纳入标准:(1)入组患者符合《中国成人糖尿病前期干预的专家共识》中糖尿病前期的诊断标准或《中国 2 型糖尿病防治指南(2020 年版)》中 T2DM 的诊断标准^[6-7];(2)首次诊断为糖尿病前期或 T2DM;(3)入组前未接受过糖尿病相关药物治疗。排除标准:(1)合并严重代谢性疾病、心血管疾病、神经精神类疾病等基础疾病;(2)合并良、恶性肿瘤;(3)合并局部或全身急、慢性感染。

1.2 方法

1.2.1 资料收集 于患者入组时收集年龄、性别、高

血压史、吸烟史、饮酒史等一般临床资料。应用临床多功能体检仪进行体格检查,包括患者身高、体重、收缩压、舒张压、心率及腰围。

1.2.2 糖脂代谢指标 于患者入组时抽取空腹外周静脉血 5 mL,采用全自动生化分析仪测定血清总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)及高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)的表达水平。嘱患者禁食 8~12 h 后于次日清晨测定空腹血糖(FPG)及糖化血红蛋白(HbA1c)表达水平。

1.2.3 肥胖及胰岛功能相关指标 根据患者体格检查结果及糖脂代谢指标计算 BMI、VAI、LAP、身体圆度指数(BRI)及 TyG。(1)BMI=体重(kg)/身高(cm)²;(2)男(女)性 VAI=[腰围(cm)/[39.68(女性 36.58)+1.88(女性 1.89)×BMI(kg/m²)]×[TG(mmol/L)/1.03(女性 0.81)]×[1.31(女性 1.52)/HDL-C(mmol/L)];(3)男(女)性 LAP=[腰围(cm)-65(女性 58)]×TG(mmol/L);(4)BRI=364.2-365.5×{1-[腰围(cm)/2π]²/[身高(cm)/2]²}^{1/2};(5)TyG=ln[TG(mmol/L)×FPG(mmol/L)/2]。

1.3 统计学处理 采用 SPSS23.0 软件及 GraphPad Prism 8.0 进行数据分析及绘图,具有正态性的计量资料采用 $\bar{x}\pm s$ 表示,组间比较采用 Student-*t* 检验;计数资料采用例数或百分率表示,组间比较采用 χ^2 检验。通过 Pearson 相关性检验分析肥胖及胰岛功能相关指标与糖代谢指标的相关性。通过二元 Logistic 回归分析确认存在差异的指标是否为 T2DM 发生的危险因素。通过受试者工作特征(ROC)曲线分析各独立危险因素单独预测 T2DM 发生的价值,以曲线下面积(AUC)大小评价指标的预测价值。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组患者一般临床资料比较 两组患者平均年龄、性别构成、高血压史、吸烟史、饮酒史、平均收缩压、舒张压及心率比较,差异均无统计学意义($P>0.05$),观察组患者平均腰围显著高于对照组,差异有统计学意义($P<0.05$)。见表 1。

表 1 两组患者一般临床资料比较[$\bar{x}\pm s$ 或 $n(\%)$]				
临床资料	观察组($n=64$)	对照组($n=64$)	t/χ^2	P
年龄(岁)	54.08±10.10	53.11±10.57	0.530	0.597
性别			0.567	0.451
男	45(70.31)	41(64.06)		
女	19(29.69)	23(35.94)		
高血压			0.556	0.456
无	56(87.50)	53(82.81)		
有	8(12.50)	11(17.19)		
吸烟史			0.567	0.451
无	23(35.94)	19(29.69)		
有	41(64.06)	45(70.31)		
饮酒史			0.554	0.457
无	24(37.50)	20(31.25)		
有	40(62.50)	44(68.75)		
收缩压(mmHg)	128.53±12.07	127.38±14.22	0.496	0.621
舒张压(mmHg)	78.31±10.64	76.09±11.66	1.124	0.263
心率(次/分)	76.86±11.42	77.63±9.76	0.408	0.684
腰围(cm)	4.81±1.39	4.51±1.10	2.290	0.024

2.2 两组患者糖脂代谢指标比较 两组患者 TC、LDL-C、HDL-C 水平比较,差异均无统计学意义($P>$

0.05);观察组患者 TG、FPG、HbA1c 均显著高于对照组,差异有统计学意义($P<0.05$)。见表 2。

2.3 两组患者肥胖及胰岛功能相关指标比较 观察组患者 BMI、VAI、LAP、BRI、TyG 均显著高于对照组($P<0.05$)。见表 3。

2.4 肥胖及胰岛功能相关指标与糖代谢指标的相关性 相关性分析表明,患者 BRI 与 FPG 呈正相关, BMI 与 HbA1c 呈正相关($P<0.05$),其他肥胖及胰岛功能相关指标与糖代谢指标无显著相关性($P>0.05$)。见表 4。

2.5 T2DM 发生的危险因素分析 二元 Logistic 回归分析结果表明,患者 BMI、VAI、LAP、TyG 升高均是 T2DM 发生的独立危险因素($P<0.05$)。见表 5。

2.6 各危险因素独立预测 T2DM 发生的 ROC 曲线分析 BMI、VAI、LAP、TyG 水平对 T2DM 的发生均具有良好的预测效能($P<0.05$),其中 LAP 水平对 T2DM 的发生预测价值最高,AUC=0.854。见表 6 及图 1。

表 2 两组患者糖脂代谢指标比较($\bar{x}\pm s$)							
组别	n	TC(mmol/L)	TG(mmol/L)	LDL-C(mmol/L)	HDL-C(mmol/L)	FPG(mmol/L)	HbA1c(%)
观察组	64	4.81±1.39	1.63±0.60	2.75±0.79	1.24±0.47	6.67±1.82	6.60±1.87
对照组	64	4.51±1.10	1.34±0.49	2.53±0.70	1.31±0.57	5.84±1.91	5.92±1.51
t		1.339	2.948	1.698	0.764	2.530	2.269
P		0.183	0.004	0.092	0.446	0.013	0.025

表 3 两组患者肥胖及胰岛功能相关指标比较($\bar{x}\pm s$)						
组别	n	BMI(kg/m ²)	VAI	LAP(cm·mmol/L)	BRI	TyG
观察组	64	25.96±5.18	2.79±0.72	50.29±8.05	4.82±1.77	9.45±2.74
对照组	64	23.61±5.61	2.39±0.87	42.75±7.80	4.16±1.25	8.28±2.30
t		2.458	2.815	5.379	2.451	2.608
P		0.015	0.006	<0.001	0.016	0.010

表 4 肥胖及胰岛功能相关指标与糖代谢相关指标与 T2DM 发生的相关性分析				
指标	FPG		HbA1c	
	r	P	r	P
BMI	0.115	0.194	0.199	0.021
VAI	0.154	0.084	0.015	0.870
LAP	-0.025	0.778	0.052	0.560
BRI	0.195	0.027	0.110	0.215
TyG	-0.001	0.994	0.083	0.354

表 5 T2DM 发生的危险因素分析							
指标	β	SE	$Wald\ \chi^2$	P	OR	95%CI	
						下限	上限
BMI	0.094	0.042	5.150	0.023	1.099	1.013	1.192
VAI	0.622	0.285	4.771	0.029	1.862	1.066	3.254
LAP	0.118	0.031	14.252	<0.001	1.125	1.058	1.196
BRI	0.251	0.141	3.191	0.074	1.286	0.976	1.694
TyG	0.201	0.088	5.212	0.022	1.223	1.029	1.453

表 6 各危险因素对 T2DM 发生的预测价值

变量	AUC	P	95 %CI	cut-off 值	灵敏度 (%)	特异度 (%)	Youden 指数
BMI	0. 633	0. 010	0. 546~0. 729	25. 03 kg/m ²	64. 06	65. 63	0. 297
VAI	0. 629	0. 012	0. 533~0. 726	2. 26	51. 56	75. 00	0. 266
LAP	0. 854	<0. 001	0. 670~0. 837	46. 78 cm · nmol/L	71. 88	70. 31	0. 422
TyG	0. 630	0. 011	0. 534~0. 727	10. 04	79. 69	45. 31	0. 250

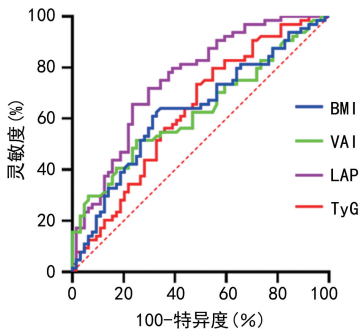


图 1 各危险因素独立预测 T2DM 发生的 ROC 曲线

3 讨 论

糖尿病前期是几乎所有 T2DM 患者在确诊前均会经历的糖代谢异常阶段。在此阶段的患者可能出现糖耐量受损或空腹血糖受损,但尚未形成明显的胰岛素抵抗或胰岛功能严重受损,因此仍有可能通过干预恢复正常的糖代谢功能^[8]。肥胖被认为是导致葡萄糖耐受不良、胰岛素抵抗及代谢紊乱的重要原因,与 T2DM 的发生具有显著相关性^[9]。在多种肥胖类型的患者中,内脏型肥胖被认为是发生 T2DM 的重要危险因素,通过肥胖相关指标实现糖尿病前期患者的早期临床转归判断对于降低 T2DM 发病率,提高患者预后均具有重要临床价值^[10]。

BMI 是目前最常用、计算最简便的肥胖相关指标,有研究发现 T2DM 的患病风险随着成年群体 BMI 增加而增加,其中 BMI 超过 30.0 kg/m² 的群体发生风险较 BMI 正常人群高数倍^[11]。但 BMI 主要反映患者整体肥胖程度,难以反映中心性肥胖与 T2DM 的相关性^[12]。对于中心性肥胖的患者,以往研究发现,腰围的增加与 T2DM 的发生具有更显著的相关性,虽然腰围是 T2DM 的重要预测因子,但其存在无法区分腹部皮下脂肪与内脏脂肪的局限性^[13]。因此,寻找新的肥胖相关指标以评估糖尿病前期患者发生 T2DM 的风险是该领域的研究热点之一。

VAI、LAP、BRI、TyG 等新型肥胖评价指标是在 BMI、腰围等传统肥胖指标基础上,综合了患者脂代谢特征,能够更全面地描述脂质蓄积及分布。VAI 综合了 BMI、腰围、TG 及 HDL-C,更能反映脂肪细胞因子、血浆脂肪酸浓度等非典型因素变化^[14]。LAP 则综合了腰围、TG,主要反映患者腹部脂肪、内脏脂肪

的蓄积程度^[15]。BRI 与 LAP 类似,能够反映患者内脏脂肪蓄积状态,更偏向于将身体形态纳入到肥胖程度的评估因素中^[16]。与上述肥胖指标不同的是,TyG 指数由 TG 和 FPG 组合而成,直接反映了糖、脂代谢水平,因此除了作为肥胖程度评估指标,也常被用作评估胰岛素抵抗程度的替代指标^[17]。

本研究结果发现,T2DM 与糖尿病前期患者的腰围、BMI、VAI、LAP、TyG 均存在明显差异,且 VAI、LAP、TyG 对于糖尿病前期患者发生 T2DM 同样具有显著预测效能,其中 LAP 的预测效能甚至优于 BMI。分析原因,VAI 是内脏型肥胖人群心脏疾病、代谢性疾病发生风险的潜在指标,其与胰岛素敏感性具有显著负相关性,因此 VAI 也被用于 T2DM 风险的大规模流行病学研究。糖尿病前期患者 VAI 升高反映了内脏脂肪的增加,这可能导致患者 β 细胞功能障碍及胰岛素抵抗的发生风险增加。此外,VAI 较高的糖尿病前期患者可能通过刺激脂肪、细胞因子及激素升高引起胰岛素抵抗,加重机体糖脂代谢的紊乱及 T2DM 的进展。

LAP 与内脏脂肪密度及丰度具有正相关性,以往研究发现相较于 BMI 和腰围,LAP 对稳态胰岛素的评价效能更高,且 T2DM 的发生率会随着 LAP 的增加逐渐升高^[18]。LAP 还可用于评估个体腰围、TG 的增加程度,在一定程度上也可以体现个体内脏脂肪蓄积程度。本研究中,LAP 对糖尿病前期发生 T2DM 的预测效能最高可能是由于 TG 在脂代谢-糖代谢平衡中发挥的作用较 HDL-C 更明显,因此与 TG 相关的 LAP 更能反映糖尿病前期患者的糖、脂代谢紊乱程度。与以上肥胖相关指标相比,TyG 指数能够更直观地反映糖尿病前期患者的糖代谢与脂代谢水平,但其对于内脏脂肪蓄积的描述作用较小,因此常与其他肥胖指标联合应用以提高对 T2DM 的诊断、预测效能。

本研究的不足之处在于缺少对 Logistic 回归分析构建的模型进行内部验证或外部验证。后期本课题组会将选择与本研究入组患者基本信息匹配的糖尿病前期/T2DM 患者作为验证集,评价预测模型的效能。

综上所述,本研究认为糖尿病前期患者 BMI、

VAI、LAP、TyG 升高可能与 T2DM 的发生具有正相关性,提示患者肥胖程度增加会促进糖尿病前期向 T2DM 进展,早期监测此类指标对于预测糖尿病前期患者预后及疾病转归具有一定临床意义。

参考文献

[1] 谢思思,吴清锋. 糖尿病前期流行现状及影响因素研究进展[J]. 赣南医学院学报,2023,43(3):274-279.

[2] 李茜茜,边森森,郭清. 糖尿病前期人群管理模式研究进展[J]. 中国全科医学,2021,24(25):3258-3262.

[3] 田影菊,许倩,魏鸣. 2 型糖尿病合并肥胖患者发病因素及管理措施[J]. 辽宁医学杂志,2023,37(3):7-10.

[4] 程俊铭,鲜印,何明,等. 代谢手术治疗低体质指数的 2 型糖尿病研究进展[J]. 医学综述,2022,28(1):123-127.

[5] 林锦俊,沈扬,潘英,等. 低碳生酮饮食对 T2DM 患者糖脂代谢、血尿酸代谢、BMI 及腰围的影响研究[J]. 糖尿病新世界,2022,25(16):13-16.

[6] 中华医学会内分泌学分会,中华医学会糖尿病学分会,中国医师协会内分泌代谢科医师分会,等. 中国成人糖尿病前期干预的专家共识[J]. 中华内分泌代谢杂志,2020,36(5):371-380.

[7] 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.

[8] 张曦元. 运动改善糖尿病前期人群糖调节的机制探讨[J]. 中外医学研究,2019,17(9):182-184.

[9] 赵学芬. 肥胖型 2 型糖尿病治疗研究进展[J]. 中国城乡企业卫生,2023,38(5):58-60.

[10] NANO J,DHANA K,ASLLANAJ E,et al. Trajectories of BMI before diagnosis of type 2 diabetes:the rotterdam study[J]. Obesity (Silver Spring),2020,28(6):1149-1156.

[11] American Diabetes Association. 2. Classification and diagnosis of diabetes: standards of medical care in diabetes-

2021[J]. Diabetes Care,2021,44(Suppl 1):S15-S33.

[12] DALE C E,FATEMIFAR G,PALMER T M,et al. Causal associations of adiposity and body fat distribution with coronary heart disease,stroke subtypes,and type 2 diabetes mellitus:a mendelian randomization analysis[J]. Circulation,2017,135(24):2373-2388.

[13] LEE J,CHO Y K,KANG Y M,et al. The impact of NAFLD and waist circumference changes on diabetes development in prediabetes subjects[J]. Sci Rep,2019,9(1):17258.

[14] BLUS E,WOJCIECHOWSKA-KULIK A,MAJEWSKA E,et al. Usefulness of new indicators of obesity (BAI and VAI) in estimation of weight reduction[J]. J Am Coll Nutr,2020,39(2):171-177.

[15] AHN N,BAUMEISTER S E,AMANN U,et al. Visceral adiposity index (VAI), lipid accumulation product (LAP),and product of triglycerides and glucose (TyG) to discriminate prediabetes and diabetes[J]. Sci Rep,2019,9(1):9693.

[16] ZHANG Y,WANG M,ZUO Y,et al. Comparison of the predictive power of adiposity indices and blood lipid indices for diagnosis of prediabetes[J]. Hormones (Athens),2022,21(4):683-690.

[17] MIRR M,SKRYPNIK D,BOGDAN̂SKI P,et al. Newly proposed insulin resistance indexes called TyG-NC and TyG-NHtR show efficacy in diagnosing the metabolic syndrome[J]. J Endocrinol Invest,2021,44(12):2831-2843.

[18] SUN K,LIN D,FENG Q,et al. Assessment of adiposity distribution and its association with diabetes and insulin resistance:a population-based study[J]. Diabetol Metab Syndr,2019,11:51.

(收稿日期:2023-09-12 修回日期:2023-12-29)

(上接第 812 页)

[14] LIU A,WANG X,HU X,et al. Core fucosylation involvement in the paracrine regulation of proteinuria-induced renal interstitial fibrosis evaluated with the use of a microfluidic chip[J]. Acta Biomater,2022,142:99-112.

[15] COLOMBO M,ASADI SHEHNI A,THOMA I,et al. Quantitative levels of serum N-glycans in type 1 diabetes and their association with kidney disease[J]. Glycobiology,2021,31(5):613-623.

[16] DING Y,LI H,XU L,et al. Identification and validation of prognostic biomarkers specifically expressed in macrophage in IgA nephropathy patients based on integrated bioinformatics analyses [J]. Front Mol Biosci,2022,9:884588.

[17] NAKAYAMA K,WAKAMATSU K,FUJII H,et al. Core

fucose is essential glycosylation for CD14-dependent Toll-like receptor 4 and Toll-like receptor 2 signalling in macrophages [J]. J Biochem,2019,165(3):227-237.

[18] LIANG W,MAO S,SUN S,et al. Core fucosylation of the T cell receptor is required for T cell activation[J]. Front Immunol,2018,9:78.

[19] WANG N,DENG Y,LIU A,et al. Novel mechanism of the pericyte-myofibroblast transition in renal interstitial fibrosis:core fucosylation regulation[J]. Sci Rep,2017,7(1):16914.

[20] LI L,SHEN N,WANG N,et al. Inhibiting core fucosylation attenuates glucose-induced peritoneal fibrosis in rats [J]. Kidney Int,2018,93(6):1384-1396.

(收稿日期:2023-09-24 修回日期:2023-12-29)