

• 论 著 •

2 型糖尿病患者体脂分布情况及其与胰岛素抵抗的相关性研究*

邓 波, 胡 艺, 万思聪[△]

(南昌市第一医院内分泌科, 江西 南昌 330008)

[摘要] **目的** 探讨 2 型糖尿病(T2DM)患者体脂分布情况及其与胰岛素抵抗(IR)的相关性。**方法** 选取 2019 年 1 月至 2020 年 12 月该院内分泌科住院治疗的 T2DM 患者 2 790 例,根据是否存在 IR 将其分为 IR 组(1 915 例)和非 IR 组(875 例)。以甘油三酯葡萄糖(TyG)指数评估 IR 情况,分析内脏脂肪组织(VAT)、皮下脂肪组织(SAT)面积与其他临床指标[体重指数(BMI)、糖化血红蛋白(HbA1c)、甘油三酯(TG)、低密度脂蛋白(LDL)和高密度脂蛋白(HDL)等]的相关性,以及体脂分布面积对 IR 的影响。**结果** 男性患者 BMI、腰围、臀围、腰臀比、舒张压、TG、TyG 指数、尿酸、肌酐水平及 VAT 面积高于女性患者,而年龄、腰高比、收缩压、胆固醇、HDL、LDL 水平及 SAT 面积低于女性患者,差异有统计学意义($P < 0.05$)。VAT 面积与 BMI、收缩压、舒张压、腰围、腰臀比、TG、TyG 指数、尿酸水平呈正相关($r > 0, P < 0.05$),与 HbA1c、HDL 水平呈负相关($r < 0, P < 0.05$)。SAT 面积与 BMI、腰围、腰臀比、胆固醇、LDL、TyG 指数、尿酸水平呈正相关($r > 0, P < 0.05$),与 HDL 水平呈负相关($r < 0, P < 0.05$)。IR 组舒张压、腰臀比、HbA1c、尿酸水平及 VAT、SAT 面积高于非 IR 组,而年龄、收缩压、HDL 水平低于非 IR 组,差异有统计学意义($P < 0.05$)。VAT 面积、舒张压、HbA1c 是 IR 发生的独立危险因素($OR > 1, P < 0.05$),而 HDL 是其保护因素($OR < 1, P < 0.05$)。**结论** T2DM 患者体脂分布存在性别差异,其中 VAT 是导致 IR 的危险因素。

[关键词] 2 型糖尿病; 体脂分布; 胰岛素抵抗; 甘油三酯葡萄糖指数

DOI:10.3969/j.issn.1009-5519.2024.08.002

中图法分类号:R587.1

文章编号:1009-5519(2024)08-1267-05

文献标识码:A

Body fat distribution and its correlation with insulin resistance
in patients with type 2 diabetes*

DENG Bo, HU Yi, WAN Sicong[△]

(Department of Endocrinology, Nanchang First Hospital, Nanchang, Jiangxi 330008, China)

[Abstract] **Objective** To investigate the relationship between body fat distribution and insulin resistance(IR) in patients with type 2 diabetes mellitus(T2DM). **Methods** A total of 2 790 T2DM patients hospitalized in the department of endocrinology of the hospital from January 2019 to December 2020 were selected and divided into the IR group(1 915 cases) and the non-IR group(875 cases) according to the presence or absence of IR. IR status was assessed by TyG index, and the correlation between visceral adipose tissue(VAT), subcutaneous adipose tissue(SAT) area and other clinical indicators(body mass index(BMI), glycosylated hemoglobin(HbA1c), triglyceride(TG), low density lipoprotein(LDL) and high density lipoprotein(HDL), etc.), and the influence of body fat distribution area on IR were analyzed. **Results** BMI, waist circumference, hip circumference, waist-to-hip ratio, diastolic blood pressure, TG, TyG index, uric acid, creatinine level and VAT area in male patients were higher than those in female patients, while age, waist-to-height ratio, systolic blood pressure, cholesterol, HDL, LDL level and SAT area were lower than those in female patients, with statistical significance($P < 0.05$). VAT area were positively correlated with BMI, systolic blood pressure, diastolic blood pressure, waist circumference, waist-to-hip ratio, TG, TyG index, and uric acid level($r > 0, P < 0.05$), and negatively correlated with HbA1c and HDL level($r < 0, P < 0.05$). SAT area was positively correlated with BMI, waist circumference, waist-to-hip ratio, cholesterol, LDL, TyG index, and uric acid level($r > 0, P < 0.05$), and negatively correlated with HDL level($r < 0, P < 0.05$). Diastolic blood pressure, waist-to-hip ratio, HbA1c, uric acid level, VAT and SAT area in the IR group were higher than those in the non-IR group, while age, systolic blood pressure and HDL level were lower than those in the non-IR group, with statistical sig-

* 基金项目:江西省卫生健康委员会科技计划项目(202311215);江西省中医药管理局科技计划项目(2021A372);江西省重点研发计划项目(20203BBG73053)。

作者简介:邓波(1983—),博士研究生,副主任医师,主要从事胰岛素抵抗研究。△ 通信作者, E-mail: wansicong@qq.com。

nificance($P<0.05$). VAT area, diastolic blood pressure and HbA1c were independent risk factors for IR($OR>1, P<0.05$), while HDL was protective factor($OR<1, P<0.05$). **Conclusion** There is gender difference in body fat distribution in T2DM patients, and VAT is a risk factor for IR.

[**Key words**] Type 2 diabetes; Body fat distribution; Insulin resistance; Triglyceride glucose index

人体脂肪(简称体脂)根据分布位置不同可分为内脏脂肪和皮下脂肪^[1]。有研究证实,脂肪分布模式异常即内脏脂肪增多成为代谢性疾病和心血管事件发生的独立危险因素^[2-3]。虽然腰围是身体中心脂肪的标志,但不能区分内脏脂肪组织(VAT)和腹部皮下脂肪组织(SAT)^[4-5]。2 型糖尿病(T2DM)患者多伴有体脂分布异常,表现为 VAT 增多、SAT 减少^[1]。体脂堆积导致胰岛素抵抗(IR)是 T2DM 发病率增加的因素之一。因此,方便、快捷检测并定期监测体脂成分的变化,从而及早通过生活方式干预,提前预防糖尿病及其相关并发症的发生具有重大意义。

国内外研究常采用双能 X 线吸收法测量体脂成分,但费用较高且具有一定的放射性,不利于推广。具有与双能 X 线吸收法准确性高度一致的生物电阻抗法(BIA)是一种快速、无创评估体脂成分的便捷方法^[6]。本研究采用 BIA 测量 VAT、SAT 面积,并探讨了 T2DM 人群体脂分布情况及与甘油三酯葡萄糖(TyG)指数^[7]的关系。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取 2019 年 1 月至 2020 年 12 月在南昌市第一医院内分泌科住院治疗的 T2DM 患者 2 790 例,其中男 1 611 例,女 1 179 例;年龄中位数为 59.00(52.00,66.00)岁;病程中位数为 99.00(44.00,131.00)个月;TyG 指数中位数为 8.80(8.50,9.40);VAT 面积中位数为 85.40(62.00,112.00)cm²,SAT 面积中位数为 164.80(128.50,206.30)cm²。根据是否存在 IR 将其分为 IR 组(1 915 例)和非 IR 组(875 例)。纳入标准:T2DM 诊断及分型依据符合《中国 2 型糖尿病防治指南》^[8]。排除标准:(1)1 型糖尿病、妊

娠糖尿病及特殊类型糖尿病;(2)糖尿病急性并发症;(3)感染、应激;(4)严重肝肾功能不全;(5)其他内分泌疾病;(6)恶性肿瘤。本研究获医院医学伦理委员会审批(批号:KY2023047),所有研究对象对本研究需要收集的临床数据均知情并签署知情同意书。

1.2 方法 收集年龄、性别、病程、体重指数(BMI)、腰围、臀围、腰臀比、腰高比、收缩压、舒张压等一般资料,以及实验室检查指标,包括空腹 C 肽(F-CP)、糖化血红蛋白(HbA1c)、空腹血糖(FPG)、尿素氮、肌酐、尿酸、胆固醇、甘油三酯(TG)、低密度脂蛋白(LDL)和高密度脂蛋白(HDL)。采用 TyG 指数评估 IR 情况,以 TyG >4.8 为 IR 判断标准^[5],其中 TyG=ln [TG(mg/dL)×FPG(mg/dL)/2]。患者空腹仰卧固定检查床上,测量前排解大、小便,由经培训后的专业人员使用欧姆龙 DUALSCAN HDS-2000 仪器测定 VAT、SAT 面积。

1.3 统计学处理 采用 SPSS26.0 软件进行统计学分析。计量资料进行正态性检验,非正态分布数据以中位数(上下四分位数)[$M(Q_L, Q_U)$]表示,组间比较采用 Mann-Whitney U 检验;计数资料以率或百分比表示,组间比较采用 χ^2 检验;相关分析采用 Spearman 秩相关分析;多因素分析采用 logistic 二元回归分析。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 不同性别患者临床特征比较 男性患者 BMI、腰围、臀围、腰臀比、舒张压、TG、TyG 指数、尿酸、肌酐水平及 VAT 面积高于女性患者,而年龄、腰高比、收缩压、胆固醇、HDL、LDL 水平及 SAT 面积低于女性患者,差异有统计学意义($P<0.05$)。见表 1。

表 1 不同性别患者临床特征比较[$M(Q_L, Q_U), n=2\ 790$]

项目	男性(1 611)	女性(1 179)	Z	P
年龄(岁)	57.00(49.00,64.00)	62.00(55.00,67.00)	3.824	<0.001
病程(月)	99.00(40.00,126.00)	99.00(49.00,141.00)	2.122	>0.050
BMI(kg/m ²)	25.10(23.20,27.30)	24.90(22.50,27.20)	2.005	0.021
腰围(cm)	89.00(84.00,95.00)	86.00(80.00,92.00)	4.122	<0.001
臀围(cm)	94.00(90.00,99.00)	92.00(88.00,98.00)	3.966	<0.001
腰臀比	0.94(0.91,0.98)	0.92(0.88,0.97)	4.016	<0.001
腰高比	0.54(0.50,0.57)	0.55(0.52,0.60)	3.674	<0.001
收缩压(mm Hg)	130.00(117.00,143.00)	133.00(119.00,147.00)	4.057	<0.001
舒张压(mm Hg)	77.00(70.00,84.00)	74.00(67.00,81.00)	4.233	<0.001
HbA1c(%)	8.70(7.10,10.60)	8.60(7.00,10.40)	1.202	0.309
FPG(mmol/L)	8.36(6.64,11.02)	8.36(6.64,11.02)	0.263	0.900
尿酸(μ mol/L)	326.00(281.00,387.00)	286.00(234.00,328.00)	4.342	<0.001
TG(mmol/L)	1.50(1.05,2.32)	1.43(1.04,2.06)	2.338	0.038

续表 1 不同性别患者临床特征比较[$M(Q_L, Q_U), n = 2\ 790$]

项目	男性(1 611)	女性(1 179)	Z	P
胆固醇(mmol/L)	4.54(3.89, 5.31)	4.83(4.08, 5.60)	4.226	<0.001
HDL(mmol/L)	1.05(0.90, 1.22)	1.18(1.01, 1.40)	3.902	<0.001
LDL(mmol/L)	2.96(2.39, 3.61)	3.09(2.46, 3.80)	3.658	0.001
TyG 指数	8.92(8.48, 9.45)	8.71(8.40, 9.32)	5.031	<0.001
尿素氮(mmol/L)	5.40(4.47, 6.56)	4.93(4.08, 6.12)	4.986	<0.001
肌酐(μ mol/L)	69.60(60.60, 80.90)	51.80(44.60, 60.90)	3.824	<0.001
F-CP(ng/ml)	1.90(1.17, 2.30)	1.85(1.13, 2.27)	1.178	0.274
VAT 面积(cm ²)	88.90(64, 116.60)	80.60(60.20, 104.40)	3.968	<0.001
SAT 面积(cm ²)	160.50(125.40, 197.50)	172.00(135.10, 219.30)	4.243	<0.001

2.2 VAT、SAT 面积与临床特征相关性分析 VAT 面积与 BMI、收缩压、舒张压、腰围、腰臀比、TG、TyG 指数、尿酸水平呈正相关($r > 0, P < 0.05$), 与 HbA1c、HDL 水平呈负相关($r < 0, P < 0.05$)。SAT 面积与 BMI、腰围、腰臀比、胆固醇、LDL、TyG 指数、尿酸水平呈正相关($r > 0, P < 0.05$), 与 HDL 水平呈负相关($r < 0, P < 0.05$)。见表 2。

2.3 IR 影响因素分析 IR 组舒张压、腰臀比、HbA1c、尿酸水平及 VAT、SAT 面积高于非 IR 组, 而年龄、收缩压、HDL 水平低于非 IR 组, 差异有统计学意义($P < 0.05$)。见表 3。以是否发生 IR 为因变量(发生 = 1, 未发生 = 0), 以表 3 中差异有统计学意义的因素作为自变量, 进行多因素分析, 结果显示, VAT 面积、舒张压、HbA1c 是 IR 发生的独立危险因素($OR > 1, P < 0.05$), 而 HDL 是其保护因素($OR < 1, P < 0.05$)。见表 4。

表 2 VAT、SAT 面积与临床特征相关性分析

项目	VAT 面积		SAT 面积	
	r	P	r	P
年龄	0.16	>0.050	0.25	0.065
BMI	0.87	<0.001	0.84	<0.001
收缩压	0.16	0.040	0.29	>0.050
舒张压	0.24	0.014	0.27	>0.050
腰围	0.94	<0.050	0.78	<0.050
腰臀比	0.85	<0.050	0.62	<0.050
HbA1c	-0.19	0.003	-0.16	0.378
TG	0.23	<0.050	0.21	0.522
胆固醇	0.65	>0.050	0.13	<0.050
HDL	-0.47	<0.001	-0.29	0.015
LDL	-0.05	0.603	0.05	<0.050
TyG 指数	0.25	0.002	0.14	<0.050
尿酸	0.38	0.001	0.29	0.006

表 3 IR 与非 IR 组临床资料比较

项目	IR($n = 1\ 915$ 例)	非 IR($n = 875$ 例)	χ^2/Z	P
性别[n(%)]			1.507	0.219
男	1 024(53.47)	446(50.97)		
女	891(46.53)	429(49.03)		
年龄[$M(Q_L, Q_U)$, 岁]	55.00(47.00, 63.00)	61.00(53.00, 66.00)	3.015	0.001
病程[$M(Q_L, Q_U)$, 月]	98.00(38.00, 125.00)	99.00(52.00, 130.00)	1.890	0.051
BMI[$M(Q_L, Q_U)$, kg/m ²]	26.00(24.30, 28.50)	25.20(22.90, 27.80)	1.724	0.062
腰臀比[$M(Q_L, Q_U)$]	0.96(0.93, 0.99)	0.93(0.90, 0.94)	2.736	<0.050
收缩压[$M(Q_L, Q_U)$, mm Hg]	135.00(120.00, 145.00)	138.00(124.00, 150.00)	2.698	<0.050
舒张压[$M(Q_L, Q_U)$, mm Hg]	80.00(74, 89)	75.00(68.00, 85.00)	3.091	0.001
HbA1c[$M(Q_L, Q_U)$, %]	8.90(7.30, 10.80)	8.75(7.20, 10.10)	2.440	0.012
FPG[$M(Q_L, Q_U)$, mmol/L]	8.40(6.70, 11.40)	8.33(6.50, 11.00)	0.011	>0.050
尿酸[$M(Q_L, Q_U)$, μ mol/L]	350.00(302.00, 399.00)	301.00(250.00, 343.00)	2.635	0.020
TG[$M(Q_L, Q_U)$, mmol/L]	1.56(1.10, 2.38)	1.52(1.08, 2.10)	1.715	0.068
胆固醇[$M(Q_L, Q_U)$, mmol/L]	4.78(4.01, 5.52)	4.75(3.92, 5.40)	0.230	>0.050
HDL[$M(Q_L, Q_U)$, mmol/L]	1.04(0.90, 1.25)	1.20(1.10, 1.45)	1.987	0.044
LDL[$M(Q_L, Q_U)$, mmol/L]	3.14(2.55, 3.86)	2.90(2.34, 3.55)	1.102	0.072
尿素氮[$M(Q_L, Q_U)$, mmol/L]	5.21(4.50, 6.59)	4.98(4.10, 6.15)	0.622	>0.050
肌酐[$M(Q_L, Q_U)$, μ mol/L]	60.20(55.60, 74.80)	58.90(46.50, 69.70)	0.011	>0.050
F-CP[$M(Q_L, Q_U)$, ng/mL]	1.92(1.20, 2.35)	1.89(1.17, 2.30)	1.037	0.078
VAT 面积[$M(Q_L, Q_U)$, cm ²]	90.80(65.20, 118.00)	85.40(63.70, 106.90)	2.507	0.032
SAT 面积[$M(Q_L, Q_U)$, cm ²]	170.30(131.70, 210.90)	165.70(131.20, 199.80)	2.443	<0.050

表 4 logistic 回归分析

项目	β	SE	Wald	P	OR	95%CI
年龄	0.02	0.017	1.384	0.239	1.020	0.987~1.055
收缩压	0.154	0.095	2.628	0.105	1.166	0.968~1.405
舒张压	1.081	0.279	15.012	<0.001	2.948	1.706~5.093
腰臀比	2.153	2.173	0.982	0.322	8.611	0.122~609.159
HbA1c	0.198	0.095	4.344	0.037	1.219	1.012~1.468
尿酸	0.004	0.029	0.019	0.890	1.004	0.949~1.063
HDL	-0.340	0.156	4.750	0.029	0.712	0.524~0.966
VAT 面积	0.026	0.012	4.694	0.030	1.026	1.002~1.051
SAT 面积	1.024	1.941	0.278	0.598	2.784	0.062~125.006

3 讨 论

BIA 是近年来发展的一项人体成分测量技术,其利用人体脂肪组织、去脂组织、体内水分等不同成分的导电性差异测定各成分含量^[9]。本研究通过 BIA 测量时发现,不同性别患者体脂分布情况存在显著差异,与 DE MUTSERT 等^[4]的研究结果一致。有研究表明,性激素在调节体脂分布、功能和储存方面起着重要作用^[10]。特别是雌激素,被认为是导致臀-股脂肪分布的主要因素,绝经后脂肪分布向 android 方向转变,其与雌激素水平下降有关^[10],而这似乎可保护女性免受 T2DM 侵害^[11]。

本研究结果显示,VAT、SAT 面积与 BMI、腰围、腰臀比、尿酸水平呈正相关。VAT 面积是反映内脏脂肪堆积程度和分布的重要指标,与 BMI 和腰围相比,VAT 更适合评估亚洲人群机体代谢受损可能性^[12]。DEL CHICCA 等^[13]研究表明,VAT 与代谢综合征(MS)高度相关,因此测量 VAT 面积有助于诊断和评估机体罹患 MS 的危险性,是内脏型肥胖的优秀评价指标。本研究结果显示,VAT 面积与收缩压、舒张压、TG 水平呈正相关,且 SAT 面积与胆固醇、LDL 水平呈正相关,与熊慧勤等^[14]报道一致。脂肪细胞含有脂肪,当脂肪在细胞内逐渐堆积且超过最大存储限度时,部分脂类从细胞中溢出,使游离脂肪酸(FFA)在组织细胞中广泛分布,继而向心肌、肾脏、肝脏、肌肉、血管内皮等组织异位堆积,即脂毒性^[15]。脂肪在肝脏堆积后产生大量 TG、LDL,并引起 FFA 水平升高,HDL 水平降低,且脂代谢紊乱可导致动脉粥样硬化。有研究表明,局部脂肪堆积比单纯高 BMI 的肥胖更具危险性^[16]。本研究结果显示,VAT 与 HbA1c 呈负相关,与熊慧勤等^[14]研究结果不同,不排除降糖药物的使用对 HbA1c 结果的干扰。

2008 年,SIMENTAL-MENDÍA 等^[17]首次提出采用 TyG 指数评估 IR 情况,其与高胰岛素-正葡萄糖钳夹试验相比,具有较高的灵敏度和特异度^[18-20]。TyG 指数使用简便、廉价,只需 TG、FPG 值计算即可。本研究结果显示,VAT、SAT 面积均与 TyG 指数呈正相关,且 VAT 面积是 IR 的独立危险因素。

VAT 对 IR 的潜在影响机制是亚临床慢性炎症^[4]。脂肪组织分泌或诱导的部分促炎细胞因子,如白细胞介素-6、白细胞介素-8、单核细胞趋化蛋白-1、肿瘤坏死因子 α 等,可导致低级别炎症和氧化应激,进而引起 IR,降低胰岛素敏感性。此外,脂肪组织分泌的非酯化脂肪酸和抵抗素与 IR 直接相关^[21]。骨骼肌作为胰岛素的主要靶点,对维持体内葡萄糖和脂肪酸代谢稳态极其重要。骨骼肌(特别是腿肌)的减少会显著影响血浆脂肪酸和葡萄糖的代谢,其与 IR 相关^[22]。脂肪堆积会产生过量的 FFA,其可抑制骨骼肌葡萄糖摄取,导致外周 IR^[23]。SAT 面积与 IR 的相关性弱于 VAT 面积,熊慧勤等^[14]的研究同样证实了这点。多数研究表明,VAT 面积是 IR 的主要影响因素^[24]。有学者认为,SAT 可储存多余脂肪,减少脂肪在外周组织沉积,从而延缓外周 IR 的发生,起到一定的代谢缓冲作用,从而保护其他组织免受脂质溢出和异位脂肪引起的脂毒性^[25]。

综上所述,T2DM 患者体脂分布存在性别差异,其中 VAT 是导致 IR 的危险因素。

参考文献

[1] 修双玲,付俊玲,穆志静,等.老年 2 型糖尿病患者体脂率对肌力和躯体功能的影响[J].首都医科大学学报,2022,43(4):641-646.

[2] PERDOMO C M,AVILÉS-OLMOS I,DICKER D,et al. Towards an adiposity-related disease framework for the diagnosis and management of obesities [J]. Rev Endocr Metab Disord, 2023,24(5):795-807.

[3] LEMOS G O,TORRINHAS R S,WAITZBERG D L. Nutrients,physical activity, and mitochondrial dysfunction in the setting of metabolic syndrome [J]. Nutrients, 2023, 15 (5): 1217-1235.

[4] DE MUTSERT R,GAST K,WIDYA R,et al. Associations of abdominal subcutaneous and visceral fat with insulin resistance and secretion differ between men and women: The netherlands epidemiology of obesity study[J]. Metab Syndr Relat Disord,2018,16(1):54-63.

[5] HINOJOSA-MOSCOSO A,MOTGER-ALBERTÍ A,DE LA CALLE-VARGAS E,et al. The longitudinal changes in subcutaneous abdominal tissue and visceral adipose tissue volumes are associated with iron status[J]. Int J Mol Sci,2023,24(5):4750-4766.

[6] 欧阳一非,李青霞,宋晓昀,等.生物电阻抗法与双能 X 线吸收法测量成人体成分指标的比较研究[J].营养学报,2022,44(4):395-398.

[7] SÁNCHEZ-GARCÍA A,RODRÍGUEZ-GUTI-

- ÉRREZ 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: 4678526-4678532.
- [8] 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.
- [9] ZIMMERMANN J, VAN RIENEN U. Ambiguity in the interpretation of the low-frequency dielectric properties of biological tissues[J]. *Bioelectrochemistry*, 2021, 140: 107773-107781.
- [10] MARLATT K L, REDMAN L M, BEYL R A, et al. Racial differences in body composition and cardiometabolic risk during the menopause transition: A prospective, observational cohort study[J]. *Am J Obstet Gynecol*, 2020, 222(4): 365. e1-365. e18.
- [11] GRADIDGE P J, JAFF N G, NORRIS S A, et al. The negative association of lower body fat mass with cardiometabolic disease risk factors is partially mediated by adiponectin[J]. *Endocr Connect*, 2022, 11(12): e220156.
- [12] LAGACÉ J C, BROCHU M, DIONNE I J. A counterintuitive perspective for the role of fat-free mass in metabolic health[J]. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*, 2020, 11(2): 343-347.
- [13] DEL CHICCA F, RICHTER H, MÜLLER H P, et al. MRI-based quantification of adipose tissue distribution in healthy adult cats during body weight gain[J]. *Front Vet Sci*, 2023, 10: 1150085-1150093.
- [14] 熊慧勤, 张鹏宇, 栗夏莲, 等. 2 型糖尿病患者腹部脂肪分布与糖尿病并发症的相关性研究[J]. *中华内分泌代谢杂志*, 2020, 36(4): 299-303.
- [15] EYME K M, SAMMARCO A, JHA R, et al. Targeting de novo lipid synthesis induces lipotoxicity and impairs DNA damage repair in glioblastoma mouse models [J]. *Sci Transl Med*, 2023, 15(679): eabq6288.
- [16] PREDA A, CARBONE F, TIRANDI A, et al. Obesity phenotypes and cardiovascular risk: From pathophysiology to clinical management [J]. *Rev Endocr Metab Disord*, 2023, 24(5): 901-919.
- [17] SIMENTAL-MENDÍA L E, RODRÍGUEZ-MORÁN M, GUERRERO-ROMERO F. The product of fasting glucose and triglycerides as surrogate for identifying insulin resistance in apparently healthy subjects [J]. *Metab Syndr Relat Disord*, 2008, 6(4): 299-304.
- [18] HONG S, HAN K, PARK C Y. The triglyceride glucose index is a simple and low-cost marker associated with atherosclerotic cardiovascular disease: A population-based study[J]. *BMC Med*, 2020, 18(1): 361-368.
- [19] CAI X L, XIANG Y F, CHEN X F, et al. Prognostic value of triglyceride glucose index in population at high cardiovascular disease risk [J]. *Cardiovasc Diabetol*, 2023, 22(1): 198-206.
- [20] CHE B, ZHONG C, ZHANG R, et al. Triglyceride-glucose index and triglyceride to high-density lipoprotein cholesterol ratio as potential cardiovascular disease risk factors: an analysis of UK biobank data [J]. *Cardiovasc Diabetol*, 2023, 22(1): 34-44.
- [21] KATSIKI N, MIKHAILIDIS D P. Perivascular adipose tissue: Pathophysiological links with inflammation, atherosclerosis, and thrombosis [J]. *Angiology*, 2022, 73(3): 195-196.
- [22] ZHANG L, HAMES K C, JENSEN M D. Regulation of direct adipose tissue free fatty acid storage during mixed meal ingestion and high free fatty acid concentration conditions [J]. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 2021, 320(2): E208-E218.
- [23] NAVARRO-RUIZ M D C, LÓPEZ-ALCALÁ J, DÍAZ-RUIZ A, et al. Understanding the adipose tissue acetylome in obesity and insulin resistance [J]. *Transl Res*, 2022, 246: 15-32.
- [24] PAFILI K, KAHL S, MASTROTOTARO L, et al. Mitochondrial respiration is decreased in visceral but not subcutaneous adipose tissue in obese individuals with fatty liver disease [J]. *J Hepatol*, 2022, 77(6): 1504-1514.
- [25] 扈艳雯, 王志媛, 郁万江, 等. 52 例肥胖患者脂肪分布与代谢综合征及糖代谢指标的相关性 [J]. *山东大学学报(医学版)*, 2020, 58(8): 101-106.

(收稿日期: 2023-10-09 修回日期: 2024-01-07)