

【DOI】 10.3969/j.issn.1671-6450.2025.05.024

综 述

内脏脂肪代谢评分与代谢综合征及其相关并发症关系的研究进展

张爽综述 彭年春,胡颖审校

基金项目: 2022 年度贵州省卫生健康委科学技术基金项目(gzwbj-2022-001);2021 年贵州医科大学附属医院博士科研启动

基金项目(gyfybskt-2021-11)

作者单位: 550004 贵阳,贵州医科大学附属医院内分泌代谢病科

通信作者: 胡颖, E-mail: huying9453@aliyun.com



【摘要】 代谢综合征是一种以腹部肥胖、胰岛素抵抗、高血压及血脂异常为特征的临床综合征,它不仅增加了个体患心血管疾病的风险,而且还与多种慢性病的发生密切相关。内脏脂肪的异常蓄积及其代谢活性与代谢综合征及其相关并发症的发生密切相关。有效评估内脏脂肪是早期识别代谢综合征及其并发症发生风险的关键。内脏脂肪代谢评分作为一个新兴的评估内脏脂肪的指标,结合了胰岛素抵抗、人体测量和人口统计学因素,能有效地评估内脏脂肪含量,且对代谢综合征、糖尿病、高血压、心血管事件等的预测能力优于传统肥胖指标。文章就内脏脂肪代谢评分与代谢综合征及其相关并发症关系的研究进展作一综述。

【关键词】 代谢综合征;内脏脂肪代谢评分;内脏脂肪;并发症;胰岛素抵抗

【中图分类号】 R589 【文献标识码】 A

Research progress of metabolism Score for visceral fat and metabolic syndrome and related complication Zhang Shuang, Peng Nianchun, Hu Ying. Department of Endocrine and Metabolic Diseases, Affiliated Hospital of Guizhou Medical University, Guizhou, Guiyang 550004, China

Funding program: Science and Technology Fund Project of Guizhou Provincial Health Commission in 2022 (gzwbj-2022-001); Doctoral Research Startup Fund Project of Affiliated Hospital of Guizhou Medical University in 2021 (gyfybskt-2021-11)

Corresponding author: Hu Ying, E-mail: huying9453@aliyun.com

【Abstract】 Metabolic syndrome is a clinical syndrome characterized by abdominal obesity, insulin resistance, hypertension and dyslipidemia. It not only increases the risk of cardiovascular disease but is also closely associated with the development of various chronic diseases. The abnormal accumulation and metabolic activity of visceral fat are significantly linked to the onset of metabolic syndrome and its related complications. An effective assessment of visceral fat is essential for the early identification of metabolic syndrome and its risk of related complications. As a new indicator to evaluate visceral fat, the metabolic score for visceral fat combined with insulin resistance, anthropometric and demographic factors can effectively evaluate visceral fat content, and has better predictive ability than traditional obesity indicators for metabolic syndrome, diabetes, hypertension, cardiovascular events, etc. This article reviews the progress of metabolic score of visceral fat and metabolic syndrome and its related complications.

【Key words】 Metabolic syndrome; Metabolic score for visceral fat; Visceral adipose; Complication; Insulin resistance

代谢综合征(metabolic syndrome, MS)是一组以腹部肥胖、胰岛素抵抗、高血压和血脂异常为特征的临床综合征,随着经济发展和生活方式的改变,MS 的流行在世界范围内呈上升趋势,全球患病率约 25%^[1-2],已成为全球范围内危害人类健康的重要公共卫生问题。MS 具有胰岛素抵抗、慢性炎症反应和脂质失调的病理过程,这些病理过程不仅会导致肝脏脂肪变性、纤维化,还会导致心血管疾病(如动脉粥样硬化、冠状动脉疾病、心力衰竭和心律失常)、肺部疾病、慢性肾脏病、高尿酸血症、生殖性疾病(男性不育和女性多囊卵巢综合征)、皮肤病、肿

瘤等^[3]。因此,早期发现 MS 并对其相关危险因素进行干预,对预防 MS 及其相关并发症具有重要意义。脂肪过度蓄积所导致的脂质代谢紊乱、胰岛素抵抗(insulin resistance, IR)等与 MS 的发生发展密切相关。内脏脂肪代谢评分(metabolic score for visceral fat, METS-VF)作为一个新兴的评估内脏肥胖的指标,近年来在代谢疾病领域受到广泛关注。现对 METS-VF 与 MS 及其相关并发症的关系研究进展进行综述。

1 METS-VF 概述

脂肪组织按照分布的部位不同,可分为内脏脂肪组织(vis-

ceral adiposity tissue, VAT) 和皮下脂肪组织 (subcutaneous adipose tissue, SAT)。与 SAT 相比, VAT 表现出更强的代谢活性, 更容易产生瘦素和促炎细胞因子等有害的代谢物质^[4], 与心血管代谢危险因素有更强的相关性。而 SAT 对代谢综合征成分具有保护作用, 与血压、空腹血糖和三酰甘油呈负相关^[5-6]。因此, 寻找有效的方法评估内脏脂肪分布及代谢状况尤为重要。

目前, 评估内脏脂肪的金标准是磁共振 (magnetic resonance, MR)^[7], 但其技术复杂且成本较高, 其他相较简单、经济的评估内脏脂肪的成像技术包括计算机断层扫描 (computed tomography, CT)、双能 X 射线吸收仪 (dual energy X-ray absorptiometry, DXA) 和生物电阻抗分析 (bioelectrical impedance analysis, BIA) 等^[8], 由于设备和技术限制, 在日常应用中亦不易推广。因此, 有必要建立可靠且易于获得的指标来评估腹部肥胖。人体测量具备成本低廉、操作简便和安全性高的特点, 因此被广泛应用于流行病学研究及临床实践中。目前传统肥胖相关人体测量指标有体重质量指数 (body mass index, BMI)、腰围 (waist circumference, WC)、腰臀比 (waist-to-hip ratio, WHR)、腰高比 (waist-to-height ratio, WHtR) 等, 各指标与代谢性疾病的研究层出不穷, 但这些指标均无法良好地区分肌肉与脂肪质量, 其增加可能是由于肌肉的形成, 而非脂肪的过度积累, 常导致肌肉体型个体被误诊为超重或肥胖^[9]。基于此背景, Bello-Chavolla 等^[7]综合了胰岛素抵抗成分 (METS-IR)、人体测量成分 (WHtR) 和人口统计学成分 (性别、年龄), 于 2018 年开发了 METS-VF, 男性计算公式: $METS-VF = 4.466 + 0.011 \times [\ln(METS-IR)]^3 + 3.239 \times [\ln(WHtR)]^3 + 0.319 \times 1 + 0.594 \times [\ln(\text{年龄})]$; 女性计算公式: $METS-VF = 4.466 + 0.011 \times [\ln(METS-IR)]^3 + 3.239 \times [\ln(WHtR)]^3 + 0.319 \times 0 + 0.594 \times [\ln(\text{年龄})]$ 。其中, $WHtR = WC(\text{cm}) / \text{身高}(\text{cm})$; $METS-IR = [\ln(2 \times FPG + TG) \times BMI] / [\ln(HDL-C)]$ 。

为验证 METS-VF 与 VAT 的相关性, Kapoor 等^[10]从病态肥胖患者数据库中随机抽取 BMI $\geq 35 \text{ kg/m}^2$ 、年龄 30 ~ 60 岁的患者 350 例, 使用 METS-VF 估算 VAT, 并通过 DXA 扫描进行验证, 结果显示与其他肥胖指标相比 (WHR、BMI、WC、体质量), METS-VF 与 VAT 有更好的相关性, 曲线下面积 (area under the curve, AUC) 为 0.782。与传统指标相比, METS-VF 考虑了胰岛素抵抗部分, 能够相对准确地对内脏肥胖和胰岛素抵抗进行评估, 并已被证实是多种代谢性疾病发生的可靠预测因子。

2 METS-VF 与代谢综合征

METS-VF 公式所纳入的指标, 包括空腹血糖 (fasting plasma glucose, FPG)、三酰甘油 (triglyceride, TG)、高密度脂蛋白胆固醇 (high density lipoprotein, HDL-C)、胰岛素抵抗代谢指数 (metabolic score for insulin resistance, METS-IR) 等, 均为 MS 的重要诊断标准。López-González 等^[11]对西班牙 418 343 名工人进行了横断面研究, 研究中使用 3 种不同的标准诊断 MS: 包括国家胆固醇教育计划成人治疗组第三次报告 (the National Cholesterol Education Program Adult Treatment Panel III, NCEP ATP-III)、国际糖尿病联盟与美国心脏协会/美国国立卫生研究院/美国心肺血液研究所联合临时声明 (the Joint Interim Statement, JIS)

和国际糖尿病联盟 (the international diabetes federation, IDF) 标准, 并分别比较了在 3 种不同的诊断标准下 15 项人体测量指标对 MS 的预测能力。结果显示, 在女性中, 根据 IDF 的标准诊断 MS 时, METS-VF 的 AUC 最大, 为 0.952 (95% CI 0.951 ~ 0.953)。在男性中, METS-VF 对 IDF 标准诊断的 MS 也有较高的预测能力, AUC 为 0.950 (95% CI 0.949 ~ 0.951)。该研究样本量虽大, 但属于横断面研究, 无法确立人体测量值随时间变化的因果关系。且目前关于 MS 的诊断标准尚未完全统一, 在不同诊断标准下 MS 患病率不同, 各指标的诊断效能可能也会有所不同。METS-VF 作为 MS 的早期筛查指标是否优于其他人体测量指标, 仍需确定一个统一的 MS 标准, 并进行大量的随访研究进一步明确。

3 内脏脂肪代谢评分与代谢综合征并发症

3.1 内脏脂肪代谢评分与糖尿病

在 METS-VF 开发之初, Bello-Chavolla 等^[7]对 METS-VF 与糖尿病发生关系进行了研究, 通过对 6 144 例参与者进行随访后发现, 与未发生 2 型糖尿病 (type 2 diabetes mellitus, T2DM) 的参与者相比, 发生 T2DM 的参与者基线 METS-VF 评分更高 (6.76 ± 0.511 vs. 7.03 ± 0.44 , $P < 0.001$)。使用 Cox 比例风险回归分析发现, METS-VF 最高五分位数组 (METS-VF > 7.2) 的受试者发生 T2DM 的风险是最低五分位数组的 3.8 倍。以 7.18 为临界值时, METS-VF > 7.18 的受试者发生 T2DM 的风险是 METS-VF < 7.18 受试者的 2.4 倍。按 BMI 分层时, 与超重和肥胖受试者相比, METS-VF > 7.18 但体质量正常 (BMI 18.5 ~ 24.9) 的受试者发生 T2DM 风险更高 ($HR = 6.313$, 95% CI 1.408 ~ 28.310)。Feng 等^[12]对 12 237 例年龄 > 18 岁的非 T2DM 参与者进行了长达 6 年的随访研究, 发现 METS-VF 最高四分位组发生 T2DM 风险是最低四分位组的 5.97 倍。在该研究中, METS-VF 对 T2DM 的预测能力高于内脏脂肪指数 (visceral adiposity index, VAI)、身体形态指数 (a body shape index, ABSI)、WHtR、WC 和 BMI 等, AUC 为 0.690, 但与 WC 和 WHtR 比较差异无统计学意义 ($P = 0.058$), 这一结果可能与研究对象年龄较小及随访时间较短有关。此外, Yang 等^[13]对 15 464 例受试者进行的最长 13 年的随访研究中发现, 随着 METS-VF 分位数组的增加, T2DM 的患病风险逐渐增高, 且与其他几种内脏脂肪替代指标 (VAI、WC、WHtR 和 BMI) 相比, METS-VF 在预测未来 T2DM 风险方面表现出更好的效能 (AUC 为 0.773, $P < 0.05$)。Tripathi 等^[14]对 2011—2018 年国家健康和营养检查调查 (the National Health and Nutrition Examination Survey, NHANES) 数据集中 3 442 例 18 ~ 59 岁参与者进行分析, 结果与上述一致, 该研究的亚组分析还表明, 绝经前、BMI > 25 、METS-VF > 6.5 的女性患糖尿病风险更高。综上所述, METS-VF 可用于日常糖尿病临床筛查和大规模流行病学研究, 有助于临床医生和研究人员早期识别糖尿病高危人群, 从而采取针对性的预防和干预措施, 降低糖尿病的发病率, 但在应用时要注意性别、体质量等分层的影响。

3.2 METS-VF 与高血压

一项在中国农村进行的包含 10 297 例受试者的研究中, 共有 2 071 例发生高血压。ROC 分析结果显示, 在总人群、男性和女性中, METS-VF 预测高血压发病的

AUC 分别为 0.644、0.632 和 0.652, 高于 METS-IR、VAI、WHtR、WC 和 BMI ($P < 0.05$)。且随着 METS-VF 四分位数的增加, 高血压的发病风险逐渐升高。但该研究为一项横断面的研究, 未能探究 METS-VF 水平的动态变化与高血压发病风险的关联强度^[15]。Zhang 等^[16]对中国西南地区 5 127 例参与者进行了研究, 探索不同民族 METS-VF 与高血压的关系。发现高血压发病风险与 METS-VF 水平显著正相关。随着 METS-VF 的增加, 高血压的发病也会提前。然而, 在少数民族中并没有发现这种正相关关系, 结合肥胖导致高血压发生的机制, VAT 中代谢活跃的脂肪组织提高了交感神经活性、激活肾素—血管紧张素—醛固酮系统, 并增加炎症细胞因子的分泌^[17], 少数民族中未能观察到这种关系, 一方面可能因为不同民族内脏脂肪水平的差异, 导致肾素—血管紧张素—醛固酮系统对血压的控制发生变化; 另一方面, 不同民族对同一基因的遗传特征具有特异性, 而且社会环境和生活方式等因素的差异也可能导致不同民族之间高血压发生风险的不同^[16]。上述研究虽然表明了 METS-VF 在高血压预防和控制中的重要性, 但是对于不同种族/民族 METS-VF 与高血压发病风险之间的关系仍需进一步探讨。

3.3 METS-VF 与动脉硬化 动脉硬化是一种动脉管壁增厚、变硬、失去弹性或管腔狭窄等退行性和增生性病变的总称。一般包括细小动脉硬化、动脉中层钙化和动脉粥样硬化 (atherosclerosis, AS) 等 3 种类型。颈动脉粥样硬化 (carotid atherosclerosis, CAS) 是全身性动脉粥样硬化的一种表现, 易导致缺血性卒中。为探索 METS-VF 与 CAS 之间的关系, Qian 等^[18]招募了 7 089 例成年人, 对其进行了包含颈部超声在内的体检, 多因素 Logistic 回归分析显示, METS-VF 与 CAS 呈正相关 ($OR = 1.824$)。冠状动脉钙化 (coronary artery calcium, CAC) 是心血管疾病 (cardiovascular disease, CVD) 的一个重要预测指标之一, 早期发现冠状动脉钙化能够显著降低相关心血管事件的风险。Antonio-Villa 等^[19]为了研究 VAT 与 CAC 进展风险的关联, 对 862 例成年人 (平均年龄 53 岁, 53% 为女性) 展开了研究, 结果表明, METS-VF 可作为 CAC 进展的独立预测因子 ($HR = 1.001$, 95% CI 1.000 ~ 1.001, $P < 0.05$)。上述研究表明 METS-VF 是一个有效预测动脉硬化的指标, 可用于临床实践中识别有发生心血管事件风险的肥胖受试者。

3.4 METS-VF 与心血管疾病 CVD 主要包括冠状动脉疾病、脑血管疾病及外周动脉疾病, 是一种大血管并发症^[20]。关于 METS-VF 与新发脑卒中的相关性, 韩向东等^[21]利用 2011 年和 2018 年中国健康与养老追踪调查 (China Health and Retirement Longitudinal Study, CHARLS) 数据建立了 3 个 Logistic 回归模型, 纳入 7 007 例研究对象。多因素调整后发现, METS-VF 有较好的识别新发卒中的能力, METS-VF 最高分位数组 (Q4) 与 METS-VF 最低分位数组 (Q1) 相比, 新发生脑卒中的风险增加 153% ($OR = 2.53$, 95% CI 1.87 ~ 3.47)。Cao 等^[22]对 1999—2020 年 NHANES 的数据进行分析后发现, 经多因素调整后, 较高的 METS-VF 会增加卒中风险 ($OR = 2.78$, 95% CI 1.71 ~ 4.52)。研究还进一步分析了肾功能的潜在介导作用, 结果显示, 肾小球滤过率下降介导了 26.72% 的 METS-VF—卒中相关

性。苗琳琳^[23]则着重探索了 METS-VF 预测动脉粥样硬化性心血管疾病 (atherosclerotic cardiovascular disease, ASCVD) 发病的能力, 在对 8 190 例参与者进行的中位随访时间为 4.66 年的研究期间, 共 420 例发生 ASCVD 事件; 与 BMI ($AUC = 0.530$)、WHtR ($AUC = 0.576$)、TG ($AUC = 0.569$)、FPG ($AUC = 0.563$)、HDL-C ($AUC = 0.519$)、脂质蓄积指数 (lipid accumulation product, LAP) ($AUC = 0.572$) 和 VAI ($AUC = 0.555$) 相比, METS-VF ($AUC = 0.608$) 能更好预测 ASCVD 事件的发生。多因素 Cox 回归分析结果显示, 随着 METS-VF 分位数组的增加, 研究人群发生 ASCVD 事件风险逐渐增加 (Q2 ~ Q4 HR 分别为 1.41、1.46、1.825, $P < 0.01$)。Tan 等^[24]关于 METS-VF 与 CVD 关系的研究中, 也观察到类似结果。但上述研究均基于单一 METS-VF 测量来预测 CVD 风险, 结果难免会有局限性。因此, Liu 等^[25]研究了累积 METS-VF 与 CVD 风险的关系。研究纳入了 41 756 例参与者, 根据累积 METS-VF 的四分位数分为 4 组, 结果表明, 高累积 METS-VF 与 CVD 风险增加有关。此外, 心血管疾病的发生风险随着高 METS-VF 暴露时间的延长而显著增加。Zhu 等^[26]也在不同糖耐量状态人群中探究了 METS-VF 与 CVD 发生风险之间的关系, 研究纳入了 6 827 例年龄 ≥ 40 岁、具有不同葡萄糖耐量状态的参与者, 在 5 年随访期间, 有 338 例参与者发生了 CVD 事件。在不同糖耐量状态下, 随着 METS-VF 增加, CVD 事件风险逐渐增大; ROC 分析显示, METS-VF 曲线下面积均较其他指标大。故在不同糖耐量状态人群中, METS-VF 亦可作为预测 CVD 事件的可靠指标。

3.5 METS-VF 与高尿酸血症 在我国一项大规模回顾性队列研究中, Liu 等^[27]探讨了 METS-VF 与非肥胖成年人患高尿酸血症 (hyperuricemia, HUA) 风险的纵向关联, 研究共纳入 16 058 例无 HUA 的非肥胖成年人, 其中女性 8 051 例, 男性 8 007 例。结果表明, METS-VF 与非肥胖女性和男性 HUA 风险增加相关。该研究还比较了多种肥胖指标与 HUA 发病风险的关系, 在非肥胖女性中, BMI、TG、FPG 和 METS-VF 增大均增加 HUA 的发病风险, 且 METS-VF 的 HR 最高 (1.777); 但在非肥胖男性中, 仅 BMI、TG 和 METS-VF 与 HUA 的发病相关, METS-VF 的 HR 低于 BMI 和 TG。因此在非肥胖女性中, METS-VF 可作为分层预防和管理 HUA 的有效工具。不过, METS-VF 能否成为总人群预防 HUA 的经济有效工具, 还需进一步研究。故 Xie 等^[28]从 NHANES 数据中筛选了 1999—2018 年的参与者共 8 659 例进行研究, 多因素 Logistic 回归分析结果显示, METS-VF 每增加一个单位, 患 HUA 的风险增加 2.90 倍。以 METS-VF 第一分位数组 Q1 为参考, Q2、Q3 和 Q4 的 OR 分别为 1.72、3.28 和 4.53。进一步验证了 METS-VF 作为评估 HUA 发生和发展有效指标的普适性。Li 等^[29]探索了在高血压合并冠心病患者中 6 种不同肥胖代谢指数与高尿酸血症的关系, ROC 结果显示, METS-VF 的 AUC ($AUC = 0.780$) 在 6 个指标中最大, 表明其在复杂共病患者中亦具有较高的 HUA 早期识别能力。综上所述, METS-VF 是评估 HUA 风险的敏感指标, 尤其在非肥胖女性和特定疾病人群中表现突出。但其在男性中的相对效能及跨种族适用性仍需进一步验证。

3.6 METS-VF 与慢性肾脏病 由于慢性肾脏病(chronic kidney disease, CKD)早期症状隐匿不易识别,许多患者在诊断前已经经历了不可逆的肾损伤。因此,CKD 的早发现、早预防至关重要。肥胖(特别是内脏肥胖)不仅与代谢紊乱有关,还会增加肾脏疾病的发病风险,已成为 CKD 发病和进展的主要因素之一。为探索 METS-VF 能否作为 CKD 的预测指标,Feng 等^[30]基于 631 例非 CKD 成人开展的队列研究中及 Zhou 等^[31]基于 1999—2018 年 NHANES 数据库对 24 387 例成年参与者开展的横断面研究中,均使用多因素 Logistic 回归计算了 METS-VF 和 CKD 风险之间的 OR,并采用 ROC 分析评估各指标预测 CKD 风险的效能。结果均显示 METS-VF 与 CKD 风险呈正相关,且 METS-VF 的 AUC 值高于其他指标。这提示 METS-VF 与 CKD 的发病存在关联,为 CKD 的早期风险评估提供了新的预测工具。

3.7 METS-VF 与非酒精性脂肪肝 基于 NAGALA (NAFLD in the Gifu Area, Longitudinal Analysis)项目的 14 251 例体检者数据,Kuang 等^[32]探讨了 METS-VF 与非酒精性脂肪性肝病(non-alcoholic fatty liver disease, NAFLD)的关联及年龄影响。研究发现 METS-VF 与 NAFLD 患病呈正相关关系,并且这种相关性受到年龄的影响,且影响效应在男性和女性中存在差别。在男性中,NAFLD 的患病率从青年到中年逐渐增加,但在老年男性中下降,这一模式与 Eguchi 等^[33]提出的成年男性年龄特异性 NAFLD 患病率曲线高度一致。在女性中,18~40 岁 NAFLD 的发生率不随年龄增长而增加,甚至在 32 岁左右仍然是一个低风险阶段,这可能是育龄女性雌激素作用,使脂肪组织更多地沉积在女性的臀部和腿部,而不是内脏器官^[34-35]。而在 40~60 岁的女性受试者中,NAFLD 的年龄相关患病率迅速增加,特别是在 METS-VF 水平较高的个体中,这可能是绝经期间卵巢功能下降导致激素水平和内分泌功能变化的结果^[36]。ROC 结果显示,METS-VF 对年轻女性(<45 岁)诊断效能更高,AUC 为 0.925 6。该研究说明男性应保持较低水平的 METS-VF,以降低 NAFLD 发病风险;而对于女性来说,不仅要维持较低的水平,而且在 40~60 岁年龄段应采取特定的干预措施,以减轻衰老和激素变化导致的患 NAFLD 风险。Soltanieh 等^[37]通过对 200 例 T2DM 患者研究,探讨 T2DM 患者中 NAFLD 进展的饮食和人体测量风险因素,发现 METS-VF 与 NAFLD 风险呈正相关,这说明 METS-VF 升高可能增加糖尿病患者患 NAFLD 的概率。

4 小结与展望

MS 作为全球性健康挑战,其早期识别与干预对预防多种并发症至关重要。METS-VF 作为一项新兴的评估内脏肥胖指标,其克服了传统人体测量指标(如 BMI、WC 等)无法区分脂肪与肌肉质量的局限性,并展现出优于其他指标的预测性能。METS-VF 与 MS 及其并发症(如 2 型糖尿病、高血压、动脉硬化、心血管疾病、高尿酸血症、慢性肾脏病及非酒精性脂肪肝)显著相关,可作为临床早期筛查高危人群的重要工具。未来需更多长期随访研究验证其动态变化与疾病进展的关联,并探索基于 METS-VF 分层干预对改善代谢预后的实际效果,以

推动其在公共卫生和个体化医疗中的广泛应用。

参考文献

- [1] Neeland IJ, Lim S, Tchernof A, et al. Metabolic syndrome[J]. Nat Rev Dis Primers, 2024, 10 (1): 77. DOI: 10. 1038/s41572-024-00563-5.
- [2] Madan K, Paliwal S, Sharma S, et al. Metabolic syndrome: The constellation of co-morbidities, a global threat[J]. Endocr Metab Immune Disord Drug Targets, 2023, 23 (12): 1491-1504. DOI: 10. 2174/1871530323666230309144825.
- [3] Giangregorio F, Mosconi E, Debellis MG, et al. A systematic review of metabolic syndrome: Key correlated pathologies and non-invasive diagnostic approaches[J]. J Clin Med, 2024, 13 (19): 5880. DOI: 10. 3390/jcm13195880.
- [4] Ibrahim MM. Subcutaneous and visceral adipose tissue: structural and functional differences[J]. Obes Rev, 2010, 11 (1): 11-18. DOI: 10. 1111/j. 1467-789X. 2009. 00623. x.
- [5] Kwon H, Kim D, Kim JS. Body fat distribution and the risk of incident metabolic syndrome: A longitudinal cohort study[J]. Sci Rep, 2017, 7 (1): 10955. DOI: 10. 1038/s41598-017-09723-y.
- [6] Theodorou DJ, Theodorou SJ, Gelalis ID. Reassessing human adipose tissue[J]. N Engl J Med, 2022, 386 (22): e61. DOI: 10. 1056/NEJMc2204077.
- [7] Bello-Chavolla OY, Antonio-Villa NE, Vargas-Vázquez A, et al. Metabolic score for visceral fat (METS-VF), a novel estimator of intra-abdominal fat content and cardio-metabolic health[J]. Clin Nutr, 2020, 39 (5): 1613-1621. DOI: 10. 1016/j. clnu. 2019. 07. 012.
- [8] Shuster A, Patlas M, Pinthus JH, et al. The clinical importance of visceral adiposity: A critical review of methods for visceral adipose tissue analysis[J]. Br J Radiol, 2012, 85 (1009): 1-10. DOI: 10. 1259/bjr/38447238.
- [9] Nevill AM, Stewart AD, Olds T, et al. Relationship between adiposity and body size reveals limitations of BMI[J]. Am J Phys Anthropol, 2006, 129 (1): 151-156. DOI: 10. 1002/ajpa. 20262.
- [10] Kapoor N, Jiwanmall SA, Nandyal MB, et al. Metabolic score for visceral fat (METS-VF) estimation-A novel cost-effective obesity indicator for visceral adipose tissue estimation[J]. Diabetes Metab Syndr Obes, 2020, 13: 3261-3267. DOI: 10. 2147/DMSO. S266277.
- [11] López-González AA, Jover AM, Martínez CS, et al. The CUN-BAE, deurenberg fat mass, and visceral adiposity index as confident anthropometric indices for early detection of metabolic syndrome components in adults[J]. Sci Rep, 2022, 12 (1): 15486. DOI: 10. 1038/s41598-022-19343-w.
- [12] Feng Y, Yang X, Li Y, et al. Metabolic score for visceral fat: A novel predictor for the risk of type 2 diabetes mellitus[J]. Br J Nutr, 2022, 128 (6): 1029-1036. DOI: 10. 1017/S0007114521004116.
- [13] Yang R, Kuang M, Qiu J, et al. Assessing the usefulness of a newly proposed metabolic score for visceral fat in predicting future diabetes: Results from the NAGALA cohort study[J]. Front Endocrinol (Lausanne), 2023, 14: 1172323. DOI: 10. 3389/fendo. 2023. 1172323.
- [14] Tripathi H, Singh A, Farheen, et al. The metabolic score for visceral fat (METS-VF) as a predictor of diabetes mellitus: Evidence from the 2011-2018 NHANES study[J]. PLoS One, 2025, 20 (2):

- e0317913. DOI:10.1371/journal.pone.0317913.
- [15] 冯宜飞. 内脏脂肪代谢评分与高血压发病风险关联的前瞻性队列研究[D]. 郑州:郑州大学,2022.
- [16] Zhang F, Wang Y, Zhou J, et al. Association between metabolic score for visceral fat and the risk of hypertension in different ethnic groups: A prospective cohort study in Southwest China[J]. *Front Endocrinol (Lausanne)*, 2024, 15: 1302387. DOI: 10.3389/fendo.2024.1302387.
- [17] Koskinas KC, Van Craenenbroeck EM, Antoniadou C, et al. Obesity and cardiovascular disease: An ESC clinical consensus statement[J]. *Eur J Prev Cardiol*, 2025, 32(3): 184-220. DOI: 10.1093/eurjpc/zwac279.
- [18] Qian J, Huang G, Mao Y. Association between metabolic score of visceral fat and carotid atherosclerosis in Chinese health screening population: A cross-sectional study[J]. *BMC Public Health*, 2024, 24(1): 1723. DOI: 10.1186/s12889-024-19186-2.
- [19] Antonio-Villa NE, Juárez-Rojas JG, Posadas-Sánchez R, et al. Visceral adipose tissue is an independent predictor and mediator of the progression of coronary calcification: A prospective sub-analysis of the GEA study[J]. *Cardiovasc Diabetol*, 2023, 22(1): 81. DOI: 10.1186/s12933-023-01807-6.
- [20] Yusuf S, Joseph P, Rangarajan S, et al. Modifiable risk factors, cardiovascular disease, and mortality in 155722 individuals from 21 high-income, middle-income, and low-income countries (PURE): A prospective cohort study[J]. *Lancet*, 2020, 395(10226): 795-808. DOI: 10.1016/S0140-6736(19)32008-2.
- [21] 韩向东, 李国徽, 陈佳. 中老年人群中内脏脂肪代谢评分与新发脑卒中的相关性分析[J]. *现代预防医学*, 2024, 51(3): 417-421. DOI: 10.20043/j.cnki.
- [22] Cao Y, Wen W, Zhang H, et al. The association between visceral fat metabolic score and stroke: Mediation by declining kidney function[J]. *Diabetol Metab Syndr*, 2025, 17(1): 50. DOI: 10.1186/s13098-025-01608-9.
- [23] 苗琳琳. 内脏脂肪代谢评分作为动脉粥样硬化性心血管疾病预测因子的探索[D]. 沈阳: 中国医科大学, 2021.
- [24] Tan A, Yang S, Pan Y, et al. Metabolism score for visceral fat (METS-VF): An innovative and powerful predictor of stroke[J]. *Arch Med Sci*, 2024, 20(5): 1710-1714. DOI: 10.5114/aoms/193709.
- [25] Liu Q, Cui H, Si F, et al. Association of cumulative exposure to metabolic score for visceral fat with the risk of cardiovascular disease and all-cause mortality: A prospective cohort study[J]. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*, 2025, 16(1): e13702. DOI: 10.1002/jcsm.13702.
- [26] Zhu Y, Zou H, Guo Y, et al. Associations between metabolic score for visceral fat and the risk of cardiovascular disease and all-cause mortality among populations with different glucose tolerance statuses[J]. *Diabetes Res Clin Pract*, 2023, 203: 110842. DOI: 10.1016/j.diabres.2023.110842.
- [27] Liu XZ, Chen DS, Xu X, et al. Longitudinal associations between metabolic score for visceral fat and hyperuricemia in non-obese adults[J]. *Nutr Metab Cardiovasc Dis*, 2020, 30(10): 1751-1757. DOI: 10.1016/j.numecd.2020.06.001.
- [28] Xie L, Qu H, Lai D, et al. The association of visceral fat metabolism score with hyperuricemia-evidence from NHANES 1999-2018[J]. *Front Nutr*, 2025, 11: 1497529. DOI: 10.3389/fnut.2024.1497529.
- [29] Li Y, Yi S, Jiang W, et al. Exploring the relationship between different obesity metabolism indices and hyperuricemia in patients with hypertension and coronary heart disease[J]. *Diabetes Metab Syndr Obes*, 2024, 17: 3817-3832. DOI: 10.2147/DMSO.S491255.
- [30] Feng L, Chen T, Wang X, et al. Metabolism score for visceral fat (METS-VF): A new predictive surrogate for CKD risk[J]. *Diabetes Metab Syndr Obes*, 2022, 15: 2249-2258. DOI: 10.2147/DMSO.S370222.
- [31] Zhou X, Xiang J, Zhang S, et al. Investigating the role of the metabolic score for visceral fat in assessing the prevalence of chronic kidney disease from the NHANES 1999-2018[J]. *Sci Rep*, 2025, 15(1): 2397. DOI: 10.1038/s41598-025-86723-3.
- [32] Kuang M, Qiu J, Li D, et al. The newly proposed metabolic score for visceral fat is a reliable tool for identifying non-alcoholic fatty liver disease, requiring attention to age-specific effects in both sexes[J]. *Front Endocrinol (Lausanne)*, 2023, 14: 1281524. DOI: 10.3389/fendo.2023.1281524.
- [33] Eguchi Y, Hyogo H, Ono M, et al. Prevalence and associated metabolic factors of nonalcoholic fatty liver disease in the general population from 2009 to 2010 in Japan: A multicenter large retrospective study[J]. *J Gastroenterol*, 2012, 47(5): 586-595. DOI: 10.1007/s00535-012-0533-z.
- [34] Palmer BF, Clegg DJ. The sexual dimorphism of obesity[J]. *Mol Cell Endocrinol*, 2015, 402: 113-119. DOI: 10.1016/j.mce.2014.11.029.
- [35] Tao Z, Zheng LD, Smith C, et al. Estradiol signaling mediates gender difference in visceral adiposity via autophagy[J]. *Cell Death Dis*, 2018, 9(3): 309. DOI: 10.1038/s41419-018-0372-9.
- [36] DiStefano JK. NAFLD and NASH in postmenopausal women: Implications for diagnosis and treatment[J]. *Endocrinology*, 2020, 161(10): bqaa134. DOI: 10.1210/endo/bqaa134.
- [37] Soltanich S, Salavatizadeh M, Poustchi H, et al. The association of dietary inflammatory index (DII) and central obesity with non-alcoholic fatty liver disease (NAFLD) in people with diabetes (T2DM)[J]. *Heliyon*, 2023, 9(3): e13983. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e13983.

(收稿日期: 2024-11-20)