

doi:10.3969/j.issn.1005-3697.2026.05.014

✦ 临床医学研究 ✦

## 2 型糖尿病腹部脂肪、血清代谢指标与脑白质高信号严重程度相关性

龚文涛<sup>1</sup>, 张咪<sup>2</sup>, 朱占英<sup>1</sup>

(中国人民解放军联勤保障部队第九〇三医院, 1. 放射诊断科; 2. 检验科, 浙江 杭州 310012)

**【摘要】目的:** 探讨 2 型糖尿病(T2DM)患者腹部脂肪及血清代谢指标与脑白质高信号(WMH)严重程度的相关性。**方法:** 选取 79 例完成了腹部计算机断层扫描(CT)及头颅核磁共振成像(MRI)检查的 T2DM 患者为研究对象, 根据 Fazekas 评分分为无/轻度 WMH 组( $n=48$ )与中重度 WMH 组( $n=31$ )。在 CT 图像上测量内脏脂肪面积等指标, 并收集临床资料及同型半胱氨酸、尿酸等血清学指标, 采用单因素及多因素 Logistic 回归分析影响 WMH 严重程度的因素。**结果:** 单因素分析结果显示, 年龄、内脏脂肪面积、同型半胱氨酸及尿酸均与 WMH 严重程度相关( $P<0.05$ )。多因素分析(模型纳入上述 4 个变量, 方差膨胀因子均 $<5$ )结果显示, 内脏脂肪面积、年龄及同型半胱氨酸均是中重度 WMH 的独立危险因素( $P<0.05$ )。**结论:** 在 T2DM 患者中, 更大的内脏脂肪面积、更高的年龄及同型半胱氨酸水平是 WMH 严重程度的独立危险因素, 监测内脏脂肪及同型半胱氨酸有助于识别脑小血管病高危人群。

**【关键词】** 2 型糖尿病; 内脏脂肪; 同型半胱氨酸; 脑白质高信号; 危险因素

**【中图分类号】** R749.1

**【文献标志码】** A

## Correlation study of abdominal fat and serum metabolic indicators with white matter hyperintensities in patients with type 2 diabetes mellitus

GONG Wen-tao<sup>1</sup>, ZHANG Mi<sup>2</sup>, ZHU Zhan-ying<sup>1</sup>

(1. Department of Radiological Diagnosis; 2. Department of Laboratory Medicine, the 903rd Hospital of the Joint Logistics Support Force, Chinese People's Liberation Army, Hangzhou 310012, Zhejiang, China)

**【Abstract】Objective:** To investigate the correlation between visceral fat area, serum metabolic markers, and the severity of white matter hyperintensities (WMH) in patients with type 2 diabetes mellitus (T2DM). **Methods:** 79 patients with type 2 diabetes mellitus (T2DM) who underwent abdominal computed tomography (CT) and brain magnetic resonance imaging (MRI) scans were selected as the research subjects. They were divided into two groups: a no/mild WMH group ( $n=48$ ) and a moderate/severe WMH group ( $n=31$ ), based on Fazekas scores. The visceral fat area was measured on CT images. Clinical data and serological markers, including homocysteine and uric acid, were collected. Univariate and multivariate Logistic regression analyses were performed to identify independent factors associated with WMH severity. **Results:** Univariate analysis revealed that age, visceral fat area, homocysteine, and uric acid were associated with WMH severity ( $P<0.05$ ). Multivariate analysis (model incorporating these four variables, all variance inflation factors  $<5$ ) identified visceral fat area, age, and homocysteine as independent risk factors for moderate/severe WMH ( $P<0.05$ ). **Conclusion:** In T2DM patients, greater visceral fat area, older age, and higher homocysteine levels are independent risk factors for increased WMH severity. Monitoring visceral fat and homocysteine may help identify high-risk populations for cerebral small vessel disease.

**【Key words】** Type 2 diabetes mellitus; Visceral fat; Homocysteine; White matter hyperintensities; Risk factors

脑小血管病是诱发卒中、认知功能障碍及痴呆的核心因素, 早期影像学特征为脑白质高信号(WMH)。在 2 型糖尿病(T2DM)患者群体中 WMH 不仅患病率偏高, 且进展速度较快, 加剧了疾病负担<sup>[1]</sup>。传统研究中, 对 WMH 的风险评估多以

年龄、高血压等常规临床指标为主要依据<sup>[2]</sup>。即便处于相同糖尿病患病状态的个体, WMH 病变严重程度仍存在差异, 提示当前仍存在尚未被充分阐明的代谢相关致病机制<sup>[3]</sup>。近年来相关研究<sup>[4-5]</sup>证实, 内脏脂肪堆积引发的慢性炎症反应、氧化应激反

基金项目: 浙江省医药卫生科技计划项目(2024KY1425)

作者简介: 龚文涛(1994-), 男, 住院医师。E-mail: 13071870770@163.com

通讯作者: 朱占英。E-mail: zhuzymy@163.com

应及胰岛素抵抗状态,加之同型半胱氨酸、尿酸水平异常等特异性代谢紊乱,可能是诱发血管内皮损伤的关键途径。因此,深入探究糖尿病患者内脏脂肪分布、血清代谢谱与 WMH 严重程度的相关性,对识别高危个体、阐明病理机制及开发干预新靶点具有重要意义。但目前多数研究或聚焦于其他特殊部位脂肪<sup>[6-7]</sup>,或仅止于探讨血清标志物<sup>[8-9]</sup>。在 T2DM 人群中,能够同时利用 CT 精准量化腹部内脏脂肪、系统评估多项血清代谢指标,并综合分析其与 WMH 严重程度关联的研究,在国内外仍较为缺乏。本研究旨在探讨 T2DM 患者腹部脂肪及血清代谢指标与 WMH 严重程度的相关性。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

选取 2024 年 9 月至 2025 年 9 月于中国人民解放军联勤保障部队第九〇三医院完成腹部 CT 及头颅核磁共振成像(MRI)检查的 T2DM 患者为研究对象,根据 Fazekas 评分分为无/轻度 WMH 组( $n=48$ )与中重度 WMH 组( $n=31$ )。本研究经医院医学伦理委员会审批,患者知情同意。纳入标准:(1)年龄 $\geq 18$ 岁;(2)完成的腹部 CT 平扫和头颅 MRI 检查间隔时间 $\leq 3$ 个月;(3)符合世界卫生组织(WHO)于 1999 年制定的 2 型糖尿病的诊断标准<sup>[10]</sup>;(4)拥有完整的临床记录。排除标准:(1)存在明确神经系统疾病病史,包括脑卒中(含脑梗死、脑出血)、脑肿瘤、多发性硬化、脑炎、正常颅压脑积水等,或 MRI 检查提示存在直径超过 3 mm 的陈旧性脑梗死病灶;(2)确诊 1 型糖尿病,或合并未有效控制的甲状腺功能亢进/减退、库欣综合征等可对代谢功能产生显著影响的内分泌系统疾病;(3)罹患活动性恶性肿瘤、严重肝肾功能不全(具体判定标准:谷丙转氨酶或谷草转氨酶水平超出正常参考值上限 2 倍,或估算肾小球滤过率 $< 45 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}\cdot 1.73\text{m}^{-2}$ ,或有长期糖皮质激素使用史);(4)明确诊断为阻塞性睡眠呼吸暂停综合征,且尚未接受规范化治疗。

### 1.2 方法

1.2.1 腹部 CT 图像采集与脂肪定量 所有患者均采用 GE Discovery CT750 HD CT 设备进行腹部平扫。扫描后,利用设备配套的 GE AW 工作站(软件版本 AW 4.6)进行图像后重建,生成用于分析的腹部标准薄层横断面图像。由两名对临床及其他影像资料设盲的放射科医师,在脐水平层面,使用工作站内置的脂肪定量专用软件,分别测量内脏脂肪面积、皮下脂肪面积及腹腔总面积,并计算内脏脂肪面积百分比(计算公式为内脏脂肪面积/腹腔总面积 $\times$

100%)。最终分析采用两名测量者结果的平均值。

1.2.2 WMH 评估 采用联影 1.5T MRI 扫描仪行头颅 MRI 检查,获取 T2-FLAIR 序列。由两名不知晓临床资料的神经影像医师,采用 Fazekas 视觉评分量表分别对脑室旁白质高信号和深部白质高信号进行独立评分(0~3 分)。取两者中的较高分者作为该患者最终评分。Fazekas 评分 0~1 分为无/轻度 WMH,2~3 分为中重度 WMH<sup>[11]</sup>。

### 1.3 观察指标

(1)临床资料收集:包括患者性别、年龄、高血压及高脂血症史、吸烟史、糖尿病病程、实糖化血红蛋白水平、空腹血清学指标(同型半胱氨酸、尿酸、总胆固醇、甘油三酯及总胆红素水平);(2)影响 WMH 严重程度的单因素;(3)影响 WMH 严重程度的多因素。

### 1.4 统计学分析

采用 SPSS 26.0 软件对数据进行处理与分析。计量资料符合正态分布且方差齐性,以 $(\bar{x} \pm s)$ 表示,组间比较行独立样本  $t$  检验,不符合正态分布以 $[M(Q_1, Q_2)]$ 表示,组间比较行 Mann-Whitney  $U$  检验比较;计数资料以 $[n(\%)]$ 表示,组间比较行独立样本  $\chi^2$  检验;影响因素采用单因素及多因素 Logistic 回归分析。 $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 两组患者临床资料比较

中重度 WMH 组患者脂肪面积、同型半胱氨酸和尿酸水平高于无或轻度 WMH 组( $P < 0.05$ );其他临床资料比较,差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。见表 1。

表 1 两组患者一般资料比较 $[\bar{x} \pm s, M(Q_1, Q_3), n(\%)]$

资料	中重度 WMH 组 ( $n=31$ )	无或轻度 WMH 组 ( $n=48$ )	$\chi^2/t/Z$ 值	$P$ 值
性别			2.610	0.106
男	23 (74.19)	27 (56.25)		
女	8 (25.81)	21 (43.75)		
年龄(岁)	60.06 $\pm$ 12.71	55.31 $\pm$ 7.43	1.884	0.066
糖尿病病程	4.00 (2.00,12.00)	10.00 (2.50,16.50)	1.488	0.137
高血压	22 (70.97)	29 (60.42)	0.916	0.338
高血脂	22 (70.97)	34 (70.83)	$< 0.001$	0.990
吸烟	16 (51.61)	21 (43.75)	0.468	0.494
糖化血红蛋白	7.10 (6.60,8.10)	7.25 (6.23,8.58)	0.201	0.841
内脂肪面积( $\text{cm}^2$ )	194.17 $\pm$ 63.41	142.48 $\pm$ 54.79	3.848	$< 0.001$
内脂肪面积占同层面腹腔内面积百分比(%)	71.10 (62.20,75.10)	68.20 (60.48,76.13)	0.618	0.537
皮下脂肪面积( $\text{cm}^2$ )	161.14 (132.46,201.30)	141.33 (107.42,180.72)	1.476	0.140
同型半胱氨酸( $\mu\text{mol/L}$ )	12.10 (10.30,15.00)	9.30 (8.20,11.30)	3.710	$< 0.001$
总胆固醇( $\text{mmol/L}$ )	4.13 $\pm$ 0.98	4.19 $\pm$ 1.06	0.249	0.804
总胆红素( $\mu\text{mol/L}$ )	13.82 (10.73,17.00)	14.67 (12.20,17.33)	0.196	0.845
甘油三酯( $\text{mmol/L}$ )	1.91 (1.20,2.44)	1.62 (1.16,2.35)	1.079	0.280
尿酸( $\mu\text{mol/L}$ )	374.00 (301.00,457.00)	320.00 (275.25,408.75)	2.114	0.035

## 2.2 影响 WMH 严重程度的单因素分析

单因素分析显示,年龄、内脏脂肪面积、同型半胱氨酸和尿酸与 WMH 严重程度有关( $P < 0.05$ );其他变量与 WMH 严重程度均无明显关联( $P > 0.05$ )。见表 2。

表 2 影响 WMH 严重程度的单因素分析

因素	$\beta$ 值	SE 值	Wald 值	OR 值	95%CI	P 值
性别						
女				1.000	Reference	
男	0.805	0.503	2.558	2.236	0.834~5.995	0.110
年龄	0.050	0.025	3.986	1.051	1.001~1.104	0.046
吸烟						
否				1.000	Reference	
是	0.316	0.462	0.467	1.371	0.554~3.395	0.495
糖尿病病史	-0.037	0.028	1.719	0.963	0.911~1.019	0.190
糖化血红蛋白	0.007	0.123	0.003	1.007	0.791~1.282	0.955
内脏脂肪面积	0.015	0.005	10.823	1.105	1.006~1.024	0.001
内脏脂肪面积占同层面腹腔内面积的百分比	-0.002	0.002	1.504	0.998	0.995~1.001	0.220
皮下脂肪面积	0.001	0.003	1.142	1.001	0.995~1.007	0.706
高血压						
否				1.000	Reference	
是	0.471	0.494	0.910	1.602	0.609~4.214	0.340
高血脂						
否				1.000	Reference	
是	0.007	0.507	<0.001	1.007	0.372~2.721	0.990
同型半胱氨酸	0.200	0.077	6.760	1.222	1.051~1.421	0.009
总胆固醇	-0.057	0.228	0.063	0.944	0.604~1.476	0.801
总胆红素	-0.002	0.036	0.003	0.998	0.930~1.071	0.953
甘油三酯	0.241	0.177	1.841	1.272	0.899~1.801	0.175
尿酸	0.005	0.003	4.371	1.005	1.000~1.010	0.037

## 2.3 影响 WMH 严重程度的多因素分析

以是否存在“中重度 WMH”(是=1,否=0)为因变量,单因素分析中有统计学意义的指标为自变量,多因素 Logistic 回归分析结果显示,内脏脂肪面积、年龄及同型半胱氨酸是影响 WMH 严重程度的独立危险因素( $P < 0.05$ )。见表 3。

表 3 影响 WMH 严重程度的多因素分析

因素	$\beta$ 值	SE 值	Wald 值	OR 值	95%CI	P 值
内脏脂肪面积	0.025	0.007	14.018	1.026	1.012~1.039	<0.001
年龄	0.131	0.041	10.285	1.140	1.052~1.235	0.001
同型半胱氨酸	0.171	0.082	4.374	1.187	1.011~1.394	0.036
尿酸	0.003	0.003	0.971	1.003	0.997~1.010	0.324

## 3 讨论

结合腹部 CT 与头颅 MRI 检查结果,本研究探

讨了 T2DM 患者内脏脂肪及血清代谢指标与 WMH 严重程度的关系。多因素分析表明,内脏脂肪面积、年龄及同型半胱氨酸水平是 WMH 严重程度的独立危险因素( $P < 0.05$ ),这一结果为理解糖尿病相关脑小血管病的机制提供了基于代谢异常的新视角。

本研究结果显示,即使在调整年龄、同型半胱氨酸及尿酸水平后,内脏脂肪面积仍与 T2DM 患者 WMH 严重程度独立相关( $P < 0.05$ )。传统观点认为,内脏脂肪主要通过诱发高血压、胰岛素抵抗等间接损伤血管<sup>[12-13]</sup>。本研究结果进一步提示,除上述间接通路外,内脏脂肪或存在不依赖于传统危险因素的直接致病途径。从机制层面而言,内脏脂肪作为具有活跃内分泌功能的组织,可释放促炎细胞因子(如 TNF- $\alpha$ 、IL-6)及异常脂肪因子,这些物质能直接诱发慢性轻度炎症与内皮功能紊乱,进而破坏血脑屏障完整性并影响脑白质灌注<sup>[14-15]</sup>。这一研究结论与沈慧玲等<sup>[16]</sup>的研究结论相符,即男性 T2DM 患者内脏/皮下脂肪面积比越大,脑白质病变风险越高,其潜在机制可能与加剧胰岛素抵抗有关。本研究通过 CT 技术实现内脏脂肪精准量化,进一步明确并强调了内脏型肥胖本身在促进 WMH 进展中的独立作用地位。

年龄是 WMH 严重程度公认的危险因素,本研究再次证实该结论,其病理机制与增龄相关的脑小动脉硬化、血脑屏障功能衰退及脑血流调控能力下降有关<sup>[17]</sup>。在糖尿病背景下,长期高血糖等代谢异常可能加速这一衰老相关的血管损伤过程<sup>[18]</sup>。本研究核心价值在于,校正年龄这一强大背景风险后,内脏脂肪、同型半胱氨酸仍与 WMH 严重程度关联,提示老年 T2DM 患者在关注年龄这一不可逆因素的同时,积极管理内脏肥胖与高同型半胱氨酸血症等可干预的代谢异常,对延缓脑小血管病进展意义重大。

本研究结果显示,同型半胱氨酸是 T2DM 患者 WMH 严重程度的独立危险因素( $P < 0.05$ )。高同型半胱氨酸血症可通过诱导氧化应激、促进内皮细胞凋亡和加剧动脉粥样硬化损伤血管<sup>[19-20]</sup>。在 T2DM 患者中,常伴有的营养状况或肾功能改变更易导致同型半胱氨酸代谢紊乱<sup>[21]</sup>。冯雅晴等<sup>[22]</sup>的研究也显示,血清同型半胱氨酸水平与老年脑小血管病患者的脑白质病变严重程度相关。本研究结果与之相同,强调糖尿病常规管理外,监测干预同型半胱氨酸可能为预防脑小血管并发症提供新靶点。本研究单因素分析中有统计学意义的尿酸,在多因素模型中失去了独立关联( $P > 0.05$ ),提示尿酸与

WMH的相关性主要是通过其与内脏脂肪堆积、胰岛素抵抗等核心代谢异常共存,其本身或许并非直接的致病因素<sup>[23]</sup>。这一发现有助于分析代谢综合征各组分在脑血管损伤中的复杂关系。

综上,在T2DM患者中,内脏脂肪面积增大、年龄增长及同型半胱氨酸水平升高是WMH严重程度的独立危险因素,提示在临床管理中,应重视对内脏型肥胖和同型半胱氨酸代谢的评估与干预。

## 参考文献

- [1] Wang DQ, Wang L, Wei MM, *et al.* Relationship between type 2 diabetes and white matter hyperintensity: a systematic review [J]. *Frontiers in Endocrinology*, 2020, 11: 595962.
- [2] 梁春华, 颜学勤, 肖小华, 等. 脑白质高信号危险因素分析及其与认知功能相关性研究[J]. *阿尔茨海默病及相关病*, 2025, 8(1): 22-28.
- [3] Pan J, Zheng J, Dong H, *et al.* Exploring the relationship of triglyceride to high-density lipoprotein cholesterol and the triglyceride-glucose index with white matter hyperintensities in individuals with type 2 diabetes: a cross-sectional analysis[J]. *Frontiers in Endocrinology*, 2025, 16: 1639083.
- [4] Tseng CN, Chu Y. Probiotics and phytoantioxidants target coronary endothelial dysfunction in irregular sleep- and obesity-associated cardiometabolic syndrome[J]. *Life*, 2025, 15(11): 1740.
- [5] Nowroozpoor A, Gutterman D, Safdar B. Is microvascular dysfunction a systemic disorder with common biomarkers found in the heart, brain, and kidneys? - a scoping review[J]. *Microvascular Research*, 2021, 134: 104123.
- [6] 秦婕, 陈瑞, 王云飞, 等. 冠周脂肪衰减指数及斑块定量特征与脑白质高信号的相关性分析[J]. *南京医科大学学报(自然科学版)*, 2024, 44(9): 1262-1267.
- [7] Edsen F, Habib P, Matz O, *et al.* Epicardial adipose tissue thickness assessed by CT is a marker of atrial fibrillation in stroke patients[J]. *Annals of Clinical and Translational Neurology*, 2022, 9(10): 1668-1672.
- [8] 张帆, 何慧君, 胡春雨, 等. 老年脑白质疏松患者血清脂蛋白相关磷脂酶 A2 水平与认知功能的相关性[J]. *中国老年学杂志*, 2022, 42(17): 4207-4209.
- [9] 纳文丽, 白向东, 保砚. 两种血清标志物与老年急性脑梗死患者脑白质病变的相关性研究[J]. *中华老年心脑血管病杂志*, 2024, 26(11): 1325-1328.
- [10] The Expert Committee on Diagnosis and Classification of Diabetes Mellitus. Report of the expert committee on the diagnosis and classification of diabetes mellitus [J]. *Diabetes Care*, 2000, 23 (Suppl1): S4-19.
- [11] Fazekas F, Chawluk JB, Alavi A, *et al.* MR signal abnormalities at 1.5 T in Alzheimer's dementia and normal aging[J]. *American Journal of Roentgenology*, 1987, 149(2): 351-356.
- [12] Cai S, Dong J, Cheng B, *et al.* Relationship of a new anthropometric index with left ventricular hypertrophy in hypertensive patients among the Han Chinese[J]. *BMC Cardiovascular Disorders*, 2022, 22(1): 16.
- [13] 吴欧, 非肖肖, 张虎, 等. TLR5 在肥胖相关高血压发病机制中的作用: 现有证据和未来挑战[J]. *中国免疫学杂志*, 2025, 41(2): 484-489.
- [14] Deng M, Tang F, Zhu Z. Altered cognitive function in obese patients: relationship to gut flora[J]. *Molecular and Cellular Biochemistry*, 2025, 480(6): 3553-3567.
- [15] Duan W, Ma J, Qu S, *et al.* The mediating role of body roundness index in the association between dietary inflammatory index and depression: evidence from the US National Health and Nutrition Examination Survey 2007-2023 [J]. *Frontiers in Psychiatry*, 2025, 16: 1605449.
- [16] 沈慧玲, 王静, 阮芸, 等. 男性糖尿病患者腹部脂肪与脑白质病变的相关性[J]. *浙江临床医学*, 2020, 22(1): 20-22.
- [17] 张羽楠, 张成十, 王晓宇, 等. 血清 Hcy 及颈动脉斑块易损性评分与老年脑小血管病患者脑白质病变和认知功能障碍的关系[J]. *中国老年学杂志*, 2024, 44(13): 3154-3158.
- [18] Wei J, Tian J, Tang C, *et al.* The influence of different types of diabetes on vascular complications [J]. *Journal of Diabetes Research*, 2022, 2022(1): 3448618.
- [19] Luo Z, Tang K, Huang G, *et al.* Homocysteine concentration in coronary artery disease and severity of coronary lesions [J]. *Journal of Cellular and Molecular Medicine*, 2024, 28(12): e18474.
- [20] 蒋欣语, 李笑雨, 郭锡汉, 等. 同型半胱氨酸通过影响 Ang-1 和 Survivin 表达改变血管内皮通透性[J]. *中国老年学杂志*, 2023, 43(2): 442-444.
- [21] 宋全全, 冯珊珊, 张英辉, 等. 血同型半胱氨酸与老年 2 型糖尿病肾病的相关性[J]. *科学技术与工程*, 2022, 22(16): 6442-6447.
- [22] 冯雅晴, 任伯, 马原源, 等. 血清同型半胱氨酸及颈动脉斑块 Crouse 积分与老年脑小血管病患者脑白质病变的相关性[J]. *中华老年心脑血管病杂志*, 2023, 25(6): 580-583.
- [23] Fernández-Chirino L, Antonio-Villa NE, Fermin-Martínez CA, *et al.* Elevated serum uric acid is a facilitating mechanism for insulin resistance mediated accumulation of visceral adipose tissue[J]. *Clinical Endocrinology*, 2022, 96(5): 707-718.

(收稿日期: 2025-12-21

修回日期: 2026-02-01)