

· 疾病控制 ·

中国内脏脂肪指数预测高血压风险研究

白开智, 章光明, 吴晓虹, 王小红, 徐则林, 庞志峰

金华市疾病预防控制中心, 浙江 金华 321002

摘要: 目的 探讨中国内脏脂肪指数 (CVAI) 预测高血压风险的价值, 为早期评估高血压风险提供工具。方法 以浙江省金华市 4 家医疗机构 2022 年 ≥ 18 岁健康体检人员为研究对象, 通过问卷调查和体格检查收集基本信息、生活方式、疾病史、体质指数、腰围、血压和血生化指标等资料, 计算 CVAI 评估内脏脂肪堆积水平, 按四分位数分为 Q1、Q2、Q3 和 Q4 组。采用多因素 logistic 回归模型分析 CVAI 与高血压的关系, 采用限制性立方样条模型分析两者的剂量-反应关系, 采用受试者操作特征 (ROC) 曲线评估 CVAI 预测高血压风险的价值。结果 纳入 23 791 人, 年龄 $M (Q_R)$ 为 68.00 (14.00) 岁。男性 10 178 人, 占 42.78%; 女性 13 613 人, 占 57.22%。CVAI $M (Q_R)$ 为 111.40 (48.23)。高血压 15 563 例, 患病率为 65.42%。多因素 logistic 回归分析结果显示, 调整生活方式、疾病史和血生化指标后, CVAI Q2、Q3 和 Q4 组的高血压风险分别是 Q1 组的 2.012 (95%CI: 1.865~2.170) 倍、3.059 (95%CI: 2.826~3.311) 倍和 5.099 (95%CI: 4.672~5.565) 倍。限制性立方样条模型结果显示, CVAI 与高血压风险呈非线性关系 ($P_{\text{非线性}} < 0.05$), CVAI ≥ 81.03 时, 高血压风险上升较快。CVAI 预测高血压风险的 ROC 曲线下面积为 0.691, 最佳截断值为 106.01, 位于 Q2 组。结论 CVAI 与高血压呈非线性剂量-反应关系, CVAI 可预测高血压风险, 106.01 可作为风险筛查预警值。

关键词: 中国内脏脂肪指数; 内脏脂肪; 高血压; 剂量-反应关系

中图分类号: R544.1 文献标识码: A 文章编号: 2096-5087 (2025) 11-1119-05

Prediction of hypertension risk by Chinese visceral adiposity index

BAI Kaizhi, ZHANG Guangming, WU Xiaohong, WANG Xiaohong, XU Zelin, PANG Zhifeng

Jinhua Center for Disease Control and Prevention, Jinhua, Zhejiang 321002, China

Abstract: Objective To investigate the value of the Chinese visceral adiposity index (CVAI) in predicting hypertension risk, so as to provide a tool for the early assessment of hypertension risk. **Methods** Health examination individuals aged ≥ 18 years were selected from four medical institutes in Jinhua City, Zhejiang Province in 2022. Data on basic information, lifestyle, disease history, body mass index, waist circumference, blood pressure, and blood biochemical indicators were collected through questionnaire surveys and physical examinations. CVAI was calculated to assess levels of visceral fat accumulation, divided by quartiles into Q1, Q2, Q3, and Q4 groups. The relationship between CVAI and hypertension was analyzed using a multivariable logistic regression model, and their dose-response relationship was examined using a restricted cubic spline model. The value of CVAI in predicting hypertension risk was evaluated using receiver operating characteristic (ROC) curve. **Results** A total of 23 791 individuals were enrolled, with a median age of 68.00 (interquartile range, 14.00) years. Among them, 10 178 (42.78%) were males and 13 613 (57.22%) were females. The median CVAI was 111.40 (interquartile range, 48.23). Hypertension was identified in 15 563 cases, with a prevalence of 65.42%. After adjusting for lifestyle, disease history, and blood biochemical indicators, the multivariable logistic regression analysis revealed that hypertension risk in the CVAI Q2, Q3, and Q4 groups were 2.012 (95%CI: 1.865~2.170), 3.059 (95%CI: 2.826~3.311), and 5.099 (95%CI: 4.672~5.565) times that of the Q1 group, respectively. The restricted cubic spline model revealed a non-linear relationship between CVAI and hypertension risk ($P_{\text{non linearity}} < 0.05$). Hypertension risk increased more rapidly when the CVAI was ≥ 81.03 . The area under the ROC curve for CVAI in pre-

DOI: 10.19485/j.cnki.issn2096-5087.2025.11.008

作者简介: 白开智, 硕士, 医师, 主要从事疾病预防控制工作

通信作者: 庞志峰, E-mail: 13735696037@163.com

dicting hypertension risk was 0.691, with an optimal cutoff value of 106.01, which falls within the Q2 group. **Conclusions** There was a nonlinear dose-response relationship between CVAI and hypertension. CVAI can predict the risk of hypertension, and 106.01 can serve as an early warning threshold for risk screening.

Keywords: Chinese visceral adiposity index; visceral fat; hypertension; dose-response relationship

高血压是多种疾病的重要危险因素^[1]，也是全球性的重大公共卫生挑战，我国成人高血压患病率达31.6%^[2]。超重肥胖问题日益突出，我国超过50%的成人存在超重肥胖^[3]。研究表明，超重肥胖是高血压发生的重要危险因素，目前常用评估指标如体质指数（BMI）和腰围（WC）难以有效区分脂肪类型与分布^[4]。有研究基于中国人群开发了中国内脏脂肪指数（Chinese visceral adiposity index, CVAI），该指标综合年龄、性别、WC、BMI、三酰甘油（TG）与高密度脂蛋白胆固醇（HDL-C），能更准确地反映我国成人的内脏脂肪堆积水平和相关代谢功能障碍^[5]。研究表明，CVAI与高血压风险相关，但两者之间是否存在稳定的非线性剂量-反应关系，目前结论尚不一致^[6-7]。本研究探讨CVAI预测高血压风险的价值，为早期评估高血压风险提供工具。

1 对象与方法

1.1 对象

以浙江省金华市4家医疗机构（金东区第二人民医院和城中街道、多湖街道、三江街道社区卫生服务中心）2022年健康体检人员为研究对象。纳入标准：（1）年龄≥18岁；（2）体检资料完整，包括计算CVAI的相关指标。本研究通过金华市疾病预防控制中心伦理委员会审查（2025-004）。

1.2 方法

1.2.1 资料收集

采用自行设计的调查问卷收集年龄、性别、体育锻炼频率、吸烟和饮酒等资料，由2名工作人员独立录入并交叉核对，异常值经复核后修正。通过浙江省慢性病监测信息管理系统收集心脑血管疾病史（冠心病、脑卒中等）和糖尿病史，该系统由各级医疗机构登记报告，省、市、县三级疾病预防控制中心进行质量控制，保证数据的准确性和完整性。

1.2.2 体格检查

由经过统一培训的医护人员使用校准仪器进行测量。脱鞋帽、穿轻薄衣物测量身高和体重，身高精确至0.1cm，体重精确至0.1kg，计算BMI。于腋中线肋弓下缘与髂嵴连线中点水平测量WC，精确至

0.1cm。静坐休息至少5min后使用校准电子血压计测量血压和静息心率，测量3次，分别记录并计算血压和心率的平均值。根据《中国高血压防治指南（2024年修订版）》^[8]，高血压指收缩压≥140mmHg和（或）舒张压≥90mmHg和（或）目前正在服用降压药物。

1.2.3 实验室检测

禁食8~12h后，于清晨采集肘静脉血。使用全自动生化分析仪检测总胆固醇（TC）、TG、低密度脂蛋白胆固醇（LDL-C）和HDL-C。所有检测项目均参加实验室质量控制评估，保证数据的准确性和可比性。

1.2.4 指标定义

参考文献[5]，采用年龄、BMI、WC、TG和HDL-C计算CVAI，由于不同性别人群脂肪分布差异，计算公式不同。CVAI按四分位数分为4组，分别为Q1（CVAI<86.49）、Q2（86.49≤CVAI<111.40）、Q3（111.40≤CVAI<134.72）和Q4（CVAI≥134.72）组。

1.3 统计分析

采用SPSS 25.0软件和R 4.3.2软件统计分析。定量资料不服从正态分布的采用中位数和四分位数间距[M (Q_R)]描述，组间比较采用Mann-Whitney U检验；定性资料采用相对数描述，组间比较采用 χ^2 检验。采用多因素logistic回归模型分析CVAI与高血压的关系，采用限制性立方样条模型分析CVAI与高血压的剂量-反应关系，绘制受试者操作特征（receiver operator characteristic curve, ROC）曲线评估CVAI预测高血压的价值。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 基本特征

纳入23 791人，年龄M (Q_R)为68.00 (14.00)岁。男性10 178人，占42.78%；女性13 613人，占57.22%。不体育锻炼14 173人，占59.57%。吸烟2 645人，占11.12%。饮酒6 243人，占26.24%。有心脑血管病史3 250例，占13.66%。有糖尿病史5 268例，占22.14%。BMI M (Q_R)为23.78 (4.22) kg / m²。WC M (Q_R)为84.00

(12.00) cm。收缩压 $M (Q_R)$ 为 136.00 (22.00) mmHg, 舒张压 $M (Q_R)$ 为 80.00 (14.00) mmHg。心率 $M (Q_R)$ 为 71.00 (15.00) 次/min。TC $M (Q_R)$ 为 4.92 (1.49) mmol/L。TG $M (Q_R)$ 为 1.47 (1.04) mmol/L。LDL-C $M (Q_R)$ 为 2.84 (1.24) mmol/L。HDL-C $M (Q_R)$ 为 1.31 (0.46) mmol/L。CVAI $M (Q_R)$ 为 111.40 (48.23)。

2.2 高血压组和非高血压组资料比较

高血压 15 563 例, 患病率为 65.42%。高血压组年龄、BMI、WC、心率和 TG 高于非高血压组, TC、LDL-C 和 HDL-C 低于非高血压组 (均 $P < 0.05$) ; 高血压组与非高血压组的性别、体育锻炼频率、饮酒、心脑血管病史、糖尿病史和 CVAI 比较, 差异有统计学意义 (均 $P < 0.05$)。见表 1。

表 1 高血压组和非高血压组基本资料比较

Table 1 Comparison of basic characteristics between hypertension group and non hypertension group

项目	非高血压组 (n=8 228)	高血压组 (n=15 563)	Z/χ ² 值	P 值	项目	非高血压组 (n=8 228)	高血压组 (n=15 563)	Z/χ ² 值	P 值
年龄/岁 ^①	65.00 (15.00)	69.00 (11.00)	-42.455	<0.001	有	413 (12.71)	2 837 (87.29)		
性别 ^②			84.169	<0.001	糖尿病史 ^②			601.218	<0.001
男	3 187 (31.31)	6 991 (68.69)			无	7 153 (38.62)	11 370 (61.38)		
女	5 041 (37.03)	8 572 (62.97)			有	1 075 (20.41)	4 193 (79.59)		
体育锻炼频率 ^②			193.699	<0.001	BMI/ (kg/m ²) ^①	22.93 (4.00)	24.23 (4.18)	-30.539	<0.001
否	5 359 (37.81)	8 814 (62.19)			WC/cm ^①	81.00 (12.00)	86.00 (12.00)	-36.235	<0.001
≤1次/周	490 (36.62)	848 (63.38)			心率/ (次/min) ^①	70.00 (14.00)	72.00 (15.00)	-10.230	<0.001
>1次/周	390 (29.70)	923 (70.30)			TC/ (mmol/L) ^①	4.98 (1.38)	4.89 (1.57)	-7.199	<0.001
每天	1 989 (28.55)	4 978 (71.45)			TG/ (mmol/L) ^①	1.36 (0.94)	1.53 (1.06)	-16.023	<0.001
吸烟 ^②			1.499	0.221	LDL-C/ (mmol/L) ^①	2.88 (1.16)	2.83 (1.28)	-5.511	<0.001
否	7 285 (34.45)	13 861 (65.55)			HDL-C/ (mmol/L) ^①	1.34 (0.46)	1.29 (0.44)	-10.389	<0.001
是	943 (35.65)	1 702 (64.35)			CVAI ^②			2 151.606	<0.001
饮酒 ^②			97.749	<0.001	Q1	3 336 (56.09)	2 612 (43.91)		
否	6 388 (36.40)	11 160 (63.60)			Q2	2 225 (37.41)	3 722 (62.59)		
是	1 840 (29.47)	4 403 (70.53)			Q3	1 637 (27.52)	4 311 (72.48)		
心脑血管病史 ^②			796.307	<0.001	Q4	1 030 (17.32)	4 918 (82.68)		
无	7 815 (38.05)	12 726 (61.95)							

注: ^①采用 $M (Q_R)$ 描述, 组间比较采用 Mann-Whitney U 检验; ^②采用 $n (%)$ 描述, 组间比较采用 χ^2 检验。

2.3 CVAI 与高血压关系的多因素 logistic 回归分析

以高血压为因变量 (0=无, 1=有), 以 CVAI 四分位数分组为自变量, 建立 3 个多因素 logistic 回归模型: 模型 1 未调整变量; 模型 2 调整年龄、性别、体育锻炼频率、吸烟、饮酒、心脑血管病史、糖尿病史、心率、TC、TG、LDL-C 和 HDL-C; 模型 3 调

整体育锻炼频率、吸烟、饮酒、心脑血管病史、糖尿病史、心率、TC 和 LDL-C。结果显示, CVAI Q2、Q3 和 Q4 组的高血压风险是 Q1 组的 2.012 倍、3.059 倍和 5.099 倍 (均 $P < 0.05$), 且趋势有统计学意义 ($P_{\text{趋势}} < 0.001$)。见表 2。

表 2 CVAI 与高血压关系的多因素 logistic 回归分析

Table 2 Multivariable logistic regression analysis of association between CVAI and hypertension

CVAI	模型 1		模型 2		模型 3	
	OR 值 (95%CI)	P 值	OR 值 (95%CI)	P 值	OR 值 (95%CI)	P 值
Q1	1.000		1.000		1.000	
Q2	2.136 (1.985~2.299)	<0.001	1.764 (1.626~1.913)	<0.001	2.012 (1.865~2.170)	<0.001
Q3	3.363 (3.116~3.631)	<0.001	2.449 (2.239~2.679)	<0.001	3.059 (2.826~3.311)	<0.001
Q4	6.098 (5.604~6.636)	<0.001	3.813 (3.439~4.228)	<0.001	5.099 (4.672~5.565)	<0.001

2.4 CVAI 与高血压的剂量-反应关系分析

限制性立方样条模型结果显示, 调整体育锻炼频率、吸烟、饮酒、心脑血管病史、糖尿病史、心率、TC 和 LDL-C 后, CVAI 与高血压风险存在剂量-反应关系 ($P<0.001$), 且为非线性关系 ($P_{\text{非线性}}=0.005$), 当 $\text{CVAI} \geq 81.03$ 时, 高血压风险上升较快。见图 1。

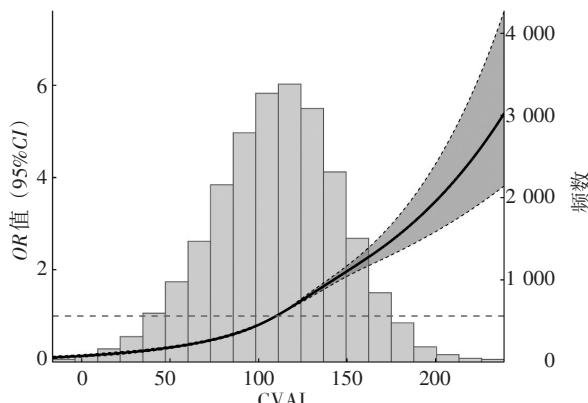


图 1 CVAI 与高血压风险的剂量-反应关系

Figure 1 Dose-response relationship between CVAI and the risk of hypertension

2.5 CVAI 预测高血压风险的价值

ROC 曲线分析结果显示, ROC 曲线下面积为 0.691 (95%CI: 0.683~0.698), 特异度为 0.623, 灵敏度为 0.653, CVAI 预测高血压风险的最佳截断值为 106.01, 位于 Q2 组。见图 2。

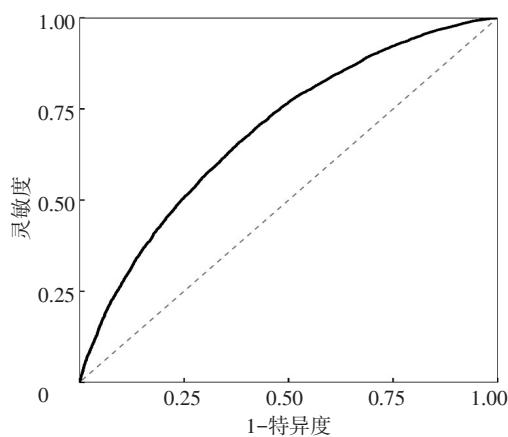


图 2 CVAI 与高血压风险的 ROC 曲线

Figure 2 ROC curve of CVAI and the risk of hypertension

3 讨 论

探究 CVAI 与高血压的关系, 可以为高血压的一

级预防提供高效、经济的筛查工具。CVAI 作为反映内脏脂肪堆积水平和相关代谢功能障碍的综合指标, 可用于识别血压尚在正常范围、但内在代谢紊乱已使其处于高风险状态的个体。本研究基于金华市 23 791 名成人体检资料, 分析了 CVAI 与高血压的关系和 CVAI 预测高血压的价值。结果显示, CVAI 是高血压的独立影响因素, 调整混杂因素后, CVAI Q4 组高血压风险是 Q1 组的 5.099 倍。限制性立方样条模型结果进一步提示两者间存在非线性的剂量-反应关系, 当 $\text{CVAI} \geq 81.03$ 时, 高血压风险随 CVAI 升高而加速上升。ROC 曲线下面积为 0.691, 表明 CVAI 对高血压有一定的预测能力, 可作为筛查高血压高风险人群的工具。

本研究结果与既往研究结果^[9-11]一致, 本研究通过更严谨、多维的分析策略, 对既有认知进行了深化与量化。LI 等^[9]和钱涛铭等^[10]均报告了 CVAI 与高血压间呈正相关, 但未评估其预测价值; 马秋阳等^[11]虽开展了 ROC 曲线分析, 但研究样本量有限且未探索剂量-反应关系。与上述研究相比, 本研究利用大样本优势验证了 CVAI 与高血压的非线性关系, 提示内脏脂肪的累积效应可能增加高血压风险, 为确定高风险人群阈值提供参考; 同时, ROC 曲线分析结果提示 CVAI 预测高血压风险有一定的价值。本研究通过整合关联强度、剂量-反应关系和预测价值的多维度分析策略, 构建了关于 CVAI 应用于筛查高血压风险价值更完整的证据链。

CVAI 与高血压的关系可能通过多种途径实现: 一方面, 内脏脂肪组织富含大脂肪细胞, 更易出现功能失调和胰岛素抵抗^[12], 进而通过钠潴留、交感神经激活和血管重构等机制导致血压升高^[13]; 另一方面, 内脏脂肪组织还可以通过调节细胞因子的分泌(如瘦素上升^[14]、脂联素下降^[15])和促进局部炎症反应(如巨噬细胞浸润^[16]、促炎因子释放^[17]), 从而在高血压发生中发挥关键作用。本研究观察到的非线性剂量-反应关系, 可能对应了内脏脂肪功能从代偿性失调到失代偿的动态病理过程。

在方法学上, 本研究的大样本量为分析提供了足够的统计检验效能, 确保模型拟合的稳定性; 在调整混杂因素时排除了计算 CVAI 的相关变量, 可以更准确地估计其独立效应。但仍存在横断面研究无法推断因果关系、未完全排除饮食和遗传等混杂因素影响、体检人群样本可能引入选择偏倚等局限性。未来研究应通过前瞻性队列研究设计进一步验证两者关联, 更全面地收集研究对象资料, 并比较

CVAI 与其他指标的预测价值, 明确 CVAI 在高血压风险分层与早期筛查的临床适用性和使用价值。

参考文献

- [1] 王盼, 张晓晗, 黄涛. 成年人收缩压与尿酸、血脂、血糖的关联研究 [J]. 预防医学, 2023, 35 (9): 746-751.
- WANG P, ZHANG X H, HUANG T. Correlations of systolic blood pressure with uric acid, blood lipid and blood glucose [J]. China Prev Med J, 2023, 35 (9): 746-751. (in Chinese)
- [2] 刘明波, 何新叶, 杨晓红, 等.《中国心血管健康与疾病报告2024》要点解读 [J]. 临床心血管病杂志, 2025, 41 (7): 492-511.
- LIU M B, HE X Y, YANG X H, et al. Interpretation of Annual Report on Cardiovascular Health and Diseases in China 2024 [J]. J Clin Cardiol, 2025, 41 (7): 492-511. (in Chinese)
- [3] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 中国居民营养与慢性病状况报告 (2020年) [J]. 营养学报, 2020, 42 (6): 521.
- National Health Commission of the People's Republic of China. Report on nutrition and chronic diseases status of Chinese residents (2020) [J]. Acta Nutr Sin, 2020, 42 (6): 521. (in Chinese)
- [4] 王亮亮, 黄瑜, 郭伟, 等. 肥胖和中心性肥胖对高血压的交互作用分析 [J]. 预防医学, 2022, 34 (2): 129-134.
- WANG L L, HUANG Y, GUO W, et al. Transactional analysis of obesity and central obesity on hypertension [J]. China Prev Med J, 2022, 34 (2): 129-134. (in Chinese)
- [5] XIA M F, CHEN Y, LIN H D, et al. A indicator of visceral adipose dysfunction to evaluate metabolic health in adult Chinese [J/OL]. Sci Rep, 2016, 6 [2025-10-24]. <https://doi.org/10.1038/srep38214>.
- [6] GAO D T, CHEN X J, LIU D C, et al. Association between Chinese visceral adiposity index and risk of incident hypertension among older adults: a prospective cohort study [J]. High Blood Press Cardiovasc Prev, 2025, 32 (5): 553-562.
- [7] LI L L, XI L Q, WANG Q H. Association between Chinese visceral adiposity index and risk of new-onset hypertension in middle-aged and older adults with prediabetes: evidence from a large national cohort study [J/OL]. Front Public Health, 2025, 13 [2025-10-24]. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2025.1509898>.
- [8] 中国高血压防治指南修订委员会, 高血压联盟 (中国), 中国医疗保健国际交流促进会高血压分会, 等. 中国高血压防治指南 (2024年修订版) [J]. 中华高血压杂志 (中英文), 2024, 32 (7): 603-700.
- Revision Committee of Chinese Guidelines for the Prevention and Treatment of Hypertension, Hypertension League of China, Hyper-
- tension Branch of China International Exchange and Promotion Association for Medical and Health Care, et al. Chinese guidelines for the prevention and treatment of hypertension (2024 revised edition) [J]. Chin J Hypertens, 2024, 32 (7): 603-700. (in Chinese)
- [9] LI B Q, WANG J, ZHOU X, et al. Chinese visceral adiposity index is more closely associated with hypertension and prehypertension than traditional adiposity indices in Chinese population: results from the REACTION study [J/OL]. Front Endocrinol, 2022, 13 [2025-10-24]. <https://doi.org/10.3389/fendo.2022.921997>.
- [10] 钱涛铭, 刘莉, 韩宇博, 等. 中老年人中国内脏肥胖指数与新发高血压剂量-反应关系 [J]. 现代预防医学, 2023, 50 (11): 1927-1931.
- QIAN T M, LIU L, HAN Y B, et al. Dose-response relationship between visceral obesity index and new hypertension in middle-aged and elderly people [J]. Mod Prev Med, 2023, 50 (11): 1927-1931. (in Chinese)
- [11] 马秋阳, 钱航, 付君, 等. 中国内脏脂肪指数对高血压发生风险的预测价值 [J]. 湖北医药学院学报, 2023, 42 (5): 515-520.
- MA Q Y, QIAN H, FU J, et al. Predictive value of visceral adiposity index for the risk of developing hypertension [J]. J Hubei Univ Med, 2023, 42 (5): 515-520. (in Chinese)
- [12] CAROBBIO S, PELLEGRINELLI V, VIDAL-PUIG A. Adipose tissue dysfunction determines lipotoxicity and triggers the metabolic syndrome: current challenges and clinical perspectives [J]. Adv Exp Med Biol, 2024, 1460: 231-272.
- [13] 何向阳, 刘峥, 徐英, 等. 肥胖与四种常见慢性病的相关性分析 [J]. 预防医学, 2020, 32 (7): 692-697.
- HE X Y, LIU Z, XU Y, et al. Correlation between obesity and four common chronic diseases [J]. China Prev Med J, 2020, 32 (7): 692-697. (in Chinese)
- [14] RANA M N, NEELAND I J. Adipose tissue inflammation and cardiovascular disease: an update [J]. Curr Diab Rep, 2022, 22 (1): 27-37.
- [15] LEI X T, QIU S, YANG G Y, et al. Adiponectin and metabolic cardiovascular diseases: therapeutic opportunities and challenges [J]. Genes Dis, 2023, 10 (4): 1525-1536.
- [16] LINDHORST A, RAULIEN N, WIEGHOFER P, et al. Adipocyte death triggers a pro-inflammatory response and induces metabolic activation of resident macrophages [J/OL]. Cell Death Dis, 2021, 12 [2025-10-24]. <https://doi.org/10.1038/s41419-021-03872-9>.
- [17] JAYEDI A, RAHIMI K, BAUTISTA L E, et al. Inflammation markers and risk of developing hypertension: a meta-analysis of cohort studies [J]. Heart, 2019, 105 (9): 686-692.

收稿日期: 2025-08-12 修回日期: 2025-10-24 本文编辑: 高碧玲