

·健康中国2030:重大慢病全周期防治专题·

## 基于CHARLS的体质量调整腰围指数与中老年人群 心血管疾病发生风险的纵向关联

刘翔, 杨淑筠, 周熙瑞, 袁乐乐, 孔美僊, 柳雁, 夏敏  
(中山大学公共卫生学院, 广东广州510080)

**摘要:**【目的】探讨中国中老年人群体质量调整腰围指数(WWI)的时间变化趋势及其与心血管疾病(CVD)发病风险的关联。【方法】本研究基于中国健康与养老追踪调查(CHARLS),纳入2011、2013、2015年≥45岁、体测数据完整者,使用复杂抽样加权计算WWI均值,采用Mann-Kendall检验分析趋势。在2011年基线中进一步排除曾经或现在罹患心血管疾病和重要协变量缺失研究对象,收集随访至2020年的新发心血管结局事件,根据基线WWI四分位数将研究对象分为Q1~Q4组。建立多变量log-binomial回归模型评估WWI与CVD的关联,限制性立方样条评估非线性,采用敏感性分析验证结果的稳健性。【结果】在2011至2015年期间,加权WWI均值总体稳定(2011:11.17±1.68;2013:11.28±1.35;2015:11.24±1.59; $P<0.05$ )。在纵向随访研究期间,共1784例新发CVD。多变量调整后,WWI每增加1单位,CVD风险增加17%(RR:1.17,95%CI:1.10~1.24)。与Q1组相比,Q2,Q3,Q4组CVD风险分别升高23%(RR:1.23,95%CI:1.07~1.40),27%(RR:1.27,95%CI:1.11~1.44),40%(RR:1.40,95%CI:1.22~1.60),风险随WWI升高呈线性递增趋势( $P<0.001$ )。亚组分析显示WWI与年龄因素存在交互作用( $P<0.05$ )。敏感性分析结果与主要研究结果趋势一致。【结论】中国中老年人群WWI水平在2011至2015年间总体趋势稳定,较高水平的WWI与CVD发病风险增加有关,提示WWI或可作为评估中老年人心血管代谢风险的简易有效指标。

**关键词:**体质量调整腰围指数;心血管疾病;肥胖;中国健康与养老追踪调查;纵向研究

中图分类号:R181.3 文献标志码:A 文章编号:1672-3554(2026)01-0064-13

DOI:10.11714/jysu.med.YX20250131

### Longitudinal Association Between Weight Adjusted Waist Index and Cardiovascular Disease Risk in Middle Aged and Elderly Adults Based on the CHARLS

LIU Xiang, YANG Shujun, ZHOU Xirui, YUAN Lele, KONG Meisi, LIU Yan, XIA Min  
(School of Public Health, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510080, China)

Correspondence to: XIA Min; E-mail: xiamin@mail.sysu.edu.cn

**Abstract:**【Objective】To investigate the temporal trend of weight-adjusted-waist index (WWI) and its association with the risk of incident cardiovascular diseases (CVD) among middle-aged and older Chinese adults.【Methods】Based on the China Health and Retirement Longitudinal Study (CHARLS), this research enrolled participants aged 45 and above with complete physical measurement data from the 2011, 2013, and 2015 waves. Complex sampling weights were applied to calculate the mean WWI, and the Mann-Kendall test was used to analyze its trend. From the 2011 baseline survey, individuals with a history of cardiovascular disease or missing key covariates were further excluded. New-onset cardiovascular outcome events were collected during follow-up until 2020. Participants were categorized into Q1 - Q4 groups based on baseline WWI quartiles. Multivariable log-binomial regression models were constructed to assess the

收稿日期:2025-09-19

录用日期:2025-12-30

基金项目:国家重点研发计划项目(2022YFC3600600)

作者简介:刘翔,第一作者,研究方向:营养与慢性病防治,E-mail:liux686@mail2.sysu.edu.cn;夏敏,通信作者,教授,博士生导师,  
E-mail:xiamin@mail.sysu.edu.cn

association between WWI and CVD, while restricted cubic splines were employed to evaluate potential nonlinear relationships. Sensitivity analyses were conducted to verify the robustness of the findings.【Results】From 2011 to 2015, the weighted mean WWI among Chinese middle-aged and older adults remained generally stable (2011: 11.17±1.68; 2013: 11.28±1.35; 2015: 11.24±1.59; *P* for trend <0.05). During the longitudinal follow-up, 1 784 incident CVD cases were documented. After multivariable adjustment, each unit increase in WWI was associated with a 17% increased risk of CVD (RR: 1.17, 95%CI: 1.10–1.24). Compared with the Q1 group, the risk of CVD in the Q2, Q3, and Q4 groups increased by 23% (RR: 1.23, 95% CI: 1.07–1.40), 27% (RR: 1.27, 95% CI: 1.11–1.44), and 40% (RR: 1.40, 95% CI: 1.22–1.60), respectively. A significant linear trend was observed between the increasing WWI and elevated CVD risk (*P* for trend <0.001). Subgroup analysis revealed a stronger association in participants aged 45–60 years (*P* for interaction <0.05). The results of sensitivity analysis were consistent with the main research results.【Conclusions】The overall trend of WWI level in the middle-aged and elderly population in China is stable from 2011 to 2015. The higher level of WWI is associated with an increased risk of CVD, suggesting that WWI may be used as a simple and effective indicator to evaluate the risk of cardiovascular metabolism in middle-aged and elderly people.

**Key words:** weight-adjusted-waist index; cardiovascular diseases; obesity; China Health and Retirement Longitudinal Study; Longitudinal Study

[J SUN Yat-sen Univ (Med Sci), 2026, 47(1): 64–76]

随着全球人口老龄化加剧,中老年人群的健康问题已成为公共卫生领域的核心挑战之一<sup>[1]</sup>。心血管疾病(cardiovascular disease, CVD)作为全球首要死因,在我国中老年人群中呈现高发态势,其疾病负担与社会经济成本持续攀升<sup>[2]</sup>。肥胖作为一种全球流行病,与心血管疾病的发生发展密切相关<sup>[3]</sup>。因此,早期识别肥胖高危个体对预防心血管疾病具有重要意义。传统上常使用体质量指数(body mass index, BMI)和腰围(waist circumference, WC)评估个体的肥胖状况。然而,BMI在区分脂肪含量与分布方面存在局限,可能高估或低估肥胖程度,无法提供准确的个体健康信息<sup>[4]</sup>。既往研究表明,与体质量指数反映的全身性肥胖相比,腹型肥胖被认为是CVD更强的危险因素<sup>[5-7]</sup>。WC作为衡量腹型肥胖的指标,与内脏脂肪积累密切相关,后者被认为是心血管风险的重要驱动因素<sup>[8-9]</sup>。然而,WC无法区分皮下脂肪和内脏脂肪<sup>[10]</sup>,这一局限性促使研究者寻求更精准的体脂评估指标。体质量调整腰围指数(weight-adjusted waist index, WWI)是Park等<sup>[11]</sup>提出的一种新型肥胖评估指标,它通过将腰围除以体质量的平方根,在保留腰围对腹部脂肪敏感性的同时,有效减弱了整体体质量大小的影响,从而更精准地评估脂肪与肌肉的组成比例<sup>[12]</sup>。在大规模人群研究中,多项基于美国国家健康与营养调查(NHANES)的研究证明,WWI与外周动脉疾病、心肌梗死和中风等心

管结局呈显著正向关联<sup>[13-16]</sup>。此外,WWI对全因死亡率和心血管死亡率的预测能力高于BMI、WC和腰高比(WHtR)<sup>[17]</sup>。此外,多项基于中国人群的研究为WWI的临床应用提供了本土化证据。一项利用中国健康与养老追踪调查(China Health and Retirement Longitudinal Study, CHARLS)数据的研究,明确了中老年人群WWI的参考范围(10.264~12.144)<sup>[18]</sup>。另一项中国农村队列研究则发现,较高的WWI与高血压的新发风险显著相关<sup>[19]</sup>。针对老年人群的研究进一步支持了WWI的临床价值:中国新疆地区的研究显示,在老年高血压患者中,WWI升高与新发中风风险较高显著相关<sup>[20]</sup>;同时,英国的衰老纵向研究也发现,较高的WWI水平与老年人心脏代谢多病风险的增加独立且呈线性相关<sup>[21]</sup>。目前关于WWI与CVD关联的全国性研究较为有限,且现有证据多基于西方人群,限制了现有结论的外推性。因此,本研究基于CHARLS这一具有全国代表性的数据库,评估2011年至2015年中国中老年人群的WWI变化趋势,并且探讨中老年人群WWI与CVD风险之间的关联,为制定精准疾病防控策略提供新的依据。

## 1 材料与方法

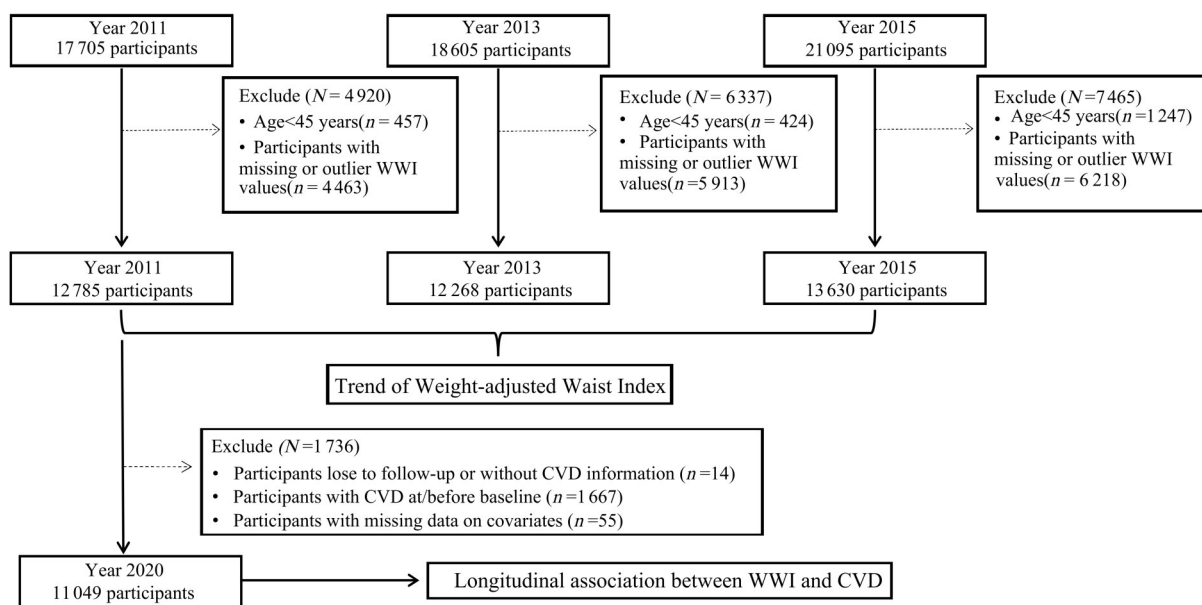
### 1.1 研究对象

本研究数据来源于中国健康与养老追踪调查。

该调查是一项始于2011年的具有全国代表性的纵向队列研究。CHARLS采用多阶段分层抽样策略,从中国28个省份的150个区县、450个城乡社区中招募年龄 $\geq 45$ 周岁的居民及其配偶。2011年基线调查共纳入来自约1万户家庭的17 000余名参与者,并每两年或三年开展随访追踪<sup>[22]</sup>。CHARLS研究经北京大学伦理审查委员会批准(IRB00001052-11015),所有参与者均签署知情同意书。

本研究首先使用基线调查(2011年)、第一次随访(2013年)和第二次随访(2015年)数据评估加

权WWI变化趋势。纳入标准为:①年龄 $\geq 45$ 岁;②参与体格检查,用于计算WWI的指标完整且无异常值。WWI异常值定义为:( $WWI < P_{25} - 1.5 \times IQR$ 或 $WWI > P_{75} + 1.5 \times IQR$ )。其次,纳入基线调查(2011年)的研究对象并使用2013—2020年随访数据,以评估WWI与心血管疾病风险的关联。纳入标准为:①年龄 $\geq 45$ 岁;②参与体格检查,用于计算WWI的指标完整且无异常值;③基线时未患心血管疾病且心血管疾病随访信息完整;④重要协变量数据完整。研究对象筛选流程详见图1。



CI: WWI: weight-adjusted-waist index; CVD: cardiovascular disease.

图1 研究对象筛选流程图

Fig. 1 Flow diagram of participants in the study

## 1.2 观察指标

1.2.1 心血管疾病结局 通过自我报告的问卷调查确定CVD结局。如果参与者符合以下标准被定义为罹患心血管疾病:自我报告的医生诊断的中风或心脏病(包括心肌梗死、冠心病、心绞痛、充血性心力衰竭和其他心脏疾病)或正在接受中风/心脏病及其并发症的治疗。

1.2.2 体质量调整腰围指数 根据Park等<sup>[10]</sup>WWI的计算公式为:腰围(cm) /  $\sqrt{\text{体质量(kg)}}$ 。体质量和腰围测量采用CHARLS项目制定的标准化程序进行。腰围测量使用标准非弹性卷尺,在研究对象自然呼气末,水平放置于脐中位置进行测量。使用

校准的数字体质量秤对体质量进行量化,要求参与者脱去鞋袜、厚重外套,并清空口袋。

1.2.3 协变量 使用方差膨胀因子评估变量间的共线性,将方差膨胀因子 $< 5$ 的社会人口学特征变量纳入为本研究的协变量,包括年龄、性别、受教育程度、居住地、婚姻状况、BMI、吸烟和饮酒状况。吸烟定义为当前吸烟或其他,饮酒定义为当前饮酒或其他。婚姻状况分为“已婚”和“其他”,已婚且同居的研究对象定义为“已婚”,不符合此定义的被试定义为“其他”。教育程度分为“未接受正式教育”、“小学或初中”和“高中及以上”。

### 1.3 统计学方法

采用 R4.3.1 软件进行数据处理与统计分析。基于 CHARLS 研究的复杂抽样设计,对结果进行了加权,以提供具有全国代表性的估计。为评估我国中老年人群 WWI 的变化趋势,通过计算并比较了 2011 至 2015 年的加权平均 WWI 和标准差,并使用 Mann-Kendall 趋势检验评估了 WWI 的变化趋势。在纵向关联研究中,根据基线 WWI 的四分位数将研究对象分为 Q1~Q4 组,对于符合正态分布的计量资料用均数 $\pm$ 标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示,非正态分布的计量资料用中位数(四分位数间距) $M(P_{25} \sim P_{75})$ 表示。计数资料以频数(%)描述。为检验研究对象的基线特征是否随 WWI 水平的升高而呈现线性变化趋势,我们采用 Cochran-Armitage 趋势检验进行分析。WWI 的相关因素使用广义线性回归模型进行估计。采用 Log-binomial 回归模型评估 WWI 与 CVD 的关联,以 Q1 组为参考,建立 3 种模型。模型 1:未调整混杂因素;模型 2:调整性别、年龄;模型 3:在模型 2 的基础上进一步调整吸烟、饮酒、BMI、婚姻、居住地和受教育情况。此外,使用 3 节点限制性立方样条评估 WWI 与 CVD 风险之间非线性关联。并采用亚组分析探讨社会人口学特征在 WWI 与新发 CVD 风险中的调节作用,并使用交互作用

项和似然比检验来评估交互作用效应。

为保证结果的稳健性,采取了一系列敏感性分析。首先,为了避免潜在的反向因果关系,我们排除了在最初两年随访中发生 CVD 的参与者,并基于剩余样本重新评估了 WWI 与 CVD 的关联。其次,使用 logistics 回归模型评估 WWI 与 CVD 的关联,检验模型依赖对结果的影响。最后,通过计算 E 值评估未考虑的混杂因素带来的影响。双侧检验,检验水准为  $\alpha=0.05$ 。

## 2 结果

### 2.1 研究对象基本特征

纵向研究共纳入 11 049 名研究对象,年龄中位数为 58(51~64)岁,其中男性 5 450 名(49.3%)。根据基线 WWI 的四分位数将研究对象分为 4 组(Q1: 8.87~10.56; Q2: 10.57~11.09; Q3: 11.10~11.66; Q4: 11.67~13.44)。随着 WWI 四分位数的升高,研究对象年龄逐渐增加,男性、城镇居民、未接受正式教育者和有高血压、糖尿病、血脂异常用药史的人群所占比例上升,而小学或初中、高中及以上教育水平、已婚、当前吸烟和饮酒者比例下降( $P<0.05$ ;表 1)。

表 1 2011 年研究对象的基线特征

Table 1 Baseline Characteristics of Study Participants in 2011

[ $M(P_{25}-P_{75})$ ,  $n(\%)$ ]

Variables	Overall	Q1 (8.87-10.56)	Q2 (10.57-11.09)	Q3 (11.10-11.66)	Q4 (11.67-13.44)	$P_{\text{trend}}$
<i>N</i>	11 049	2 763	2 762	2 762	2 762	
Age/years	58 (51-64)	55 (49-61)	56 (49-62)	58 (51-64)	62 (56-69)	<0.001
Gender						<0.001
Male	5 450 (49.3)	1942 (70.3)	1 674 (60.6)	1 224 (44.3)	610 (22.1)	
Female	5 299 (50.7)	821 (29.7)	1 088 (39.4)	1 538 (55.7)	2 152 (77.9)	
Residence						<0.001
Rural	7 146 (64.7)	1906 (69.0)	1 752 (63.4)	1 727 (62.5)	1 761 (63.8)	
Urban	3 903 (35.3)	857 (31.0)	1 010 (36.6)	1 035 (37.5)	1 001 (36.2)	
Education						<0.001
Less than primary	3 101 (28.0)	509 (18.4)	578 (20.9)	822 (29.8)	1 192 (43.2)	
Compulsory education	6 779 (61.4)	1 835 (66.4)	1 828 (66.2)	1 675 (60.6)	1 441 (52.2)	

续表

Variables	Overall	Q1 (8.87–10.56)	Q2 (10.57–11.09)	Q3 (11.10–11.66)	Q4 (11.67–13.44)	<i>P</i> <sub>trend</sub>
High school and above	1 169 (10.6)	419 (15.2)	356 (12.9)	265 (9.6)	129 (4.6)	
Married						<0.001
Yes	9 689 (87.7)	2 495 (90.3)	2 500 (90.5)	2 434 (88.1)	2 260 (81.8)	
Other	1 360 (12.3)	268 (9.7)	262 (9.5)	328 (11.9)	502 (18.2)	
Smoking						<0.001
Yes	3 559 (32.2)	1 304 (47.2)	1 043 (37.8)	762 (27.6)	450 (16.3)	
Other	7 490 (67.8)	1 459 (52.8)	1 719 (62.2)	2 000 (72.4)	2 312 (83.7)	
Drinking						<0.001
Yes	3 780 (34.2)	1 244 (45.0)	1 105 (40.0)	869 (31.5)	562 (20.3)	
Other	7 269 (65.8)	1 519 (55.0)	1 657 (60.0)	1 893 (68.5)	2 200 (79.7)	
Dyslipidemia therapy	412 (3.7)	58 (2.1)	86 (3.1)	130 (4.7)	138 (5.0)	<0.001
Hypertension therapy	1 707 (15.4)	247 (8.9)	375 (13.6)	476 (17.2)	609 (22.0)	<0.001
Diabetes therapy	352 (3.2)	36 (1.3)	75 (2.7)	105 (3.8)	136 (4.9)	<0.001

Participants were stratified into Q1–Q4 groups according to baseline weight-adjusted-waist index quartiles; Cochran–Armitage test was used for trend test; *N* refers to the total number of each group.

## 2.2 体质量调整腰围指数的变化趋势

趋势性研究中,2011年、2013年和2015年分别纳入12 785、12 268和13 630名研究对象。加权WWI均值分别为 $11.17\pm 1.68$ 、 $11.28\pm 1.35$ 和 $11.24\pm 1.59$ ,表明WWI随时间变化趋势总体稳定( $P$  for trend < 0.05;图2A)。按社会人口学特征分层后,WWI随时间的变化趋势基本一致。年龄分层分析显示(图2B),WWI随年龄增长而上升,中年(45~59岁)人群的WWI呈增长趋势。女性WWI高于男性(图2C)。农村地区WWI随时间推移而增加,且农村与城镇间的WWI差异随时间逐渐缩小(图2D)。

## 2.3 体质量调整指数相关的社会人口学因素

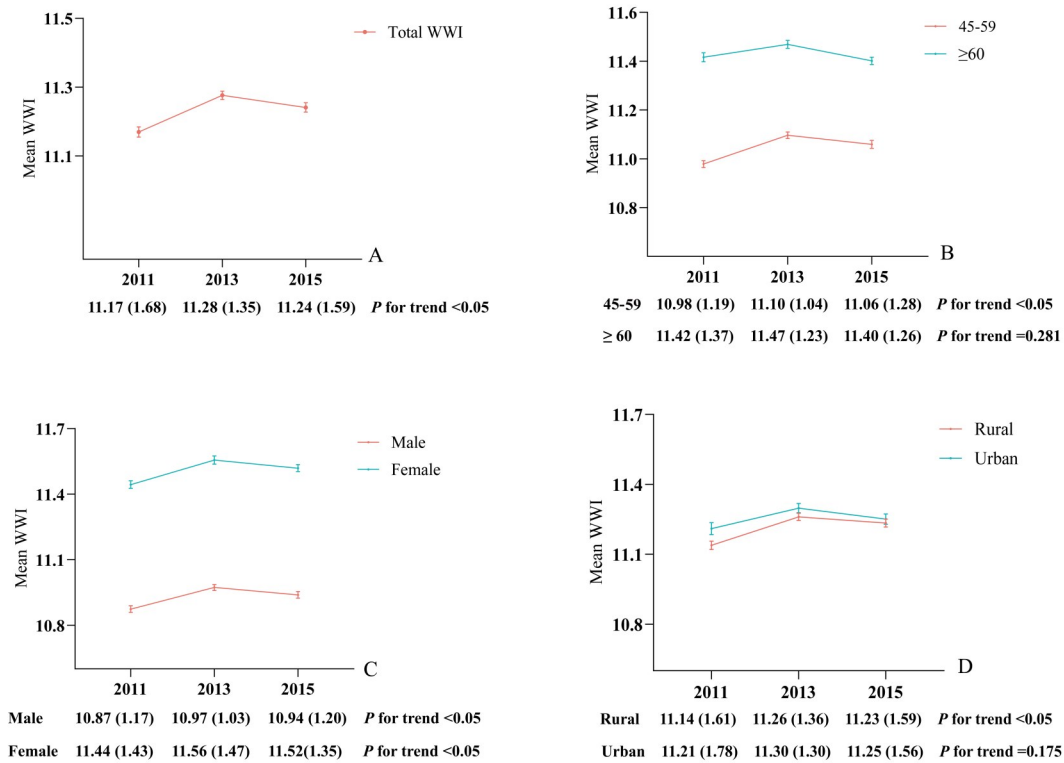
单因素分析(表2)显示,年龄、性别、受教育程度、居住地、婚姻状况、吸烟、饮酒和高血压、糖尿病、血脂异常用药史均与WWI相关( $P < 0.001$ )。多因素分析(表2)表明,较高年龄( $\geq 60$ 岁)、城镇居住和高血压、糖尿病、血脂异常用药史与WWI呈正相关;而男性、较高教育水平、已婚、吸烟和饮酒

与WWI呈负相关。

## 2.4 基线体质量调整腰围指数与心血管疾病的纵向关联

2.4.1 体质量调整腰围指数与心血管疾病的多因素回归分析 2011至2020年随访期间,共1 784名研究对象首次被诊断为CVD,发病率为16.1%。多因素log-binomial回归分析显示,将WWI作为连续变量时,WWI每增加一个单位,CVD发病风险增加17% (RR: 1.17; 95%CI: 1.10~1.24;  $P < 0.001$ ; 模型3)。将WWI按四分位分组后,以Q1为参考,Q4组发生CVD的风险为Q1组的1.40倍 (RR: 1.40; 95%CI: 1.22~1.60;  $P < 0.001$ ; 模型3),且CVD风险随WWI水平升高而增加( $P$  for trend < 0.05),见表3。

2.4.2 体质量调整腰围指数与心血管疾病风险的非线性分析 采用三节点RCS分析WWI与CVD风险之间的剂量-反应关系,结果显示二者之间存在正向线性关联( $P$  for overall < 0.001,  $P$  for nonlinear = 0.285;图3)。



The distribution of WWI was described using the weighted mean and standard deviation. The trend in weighted WWI from 2011 to 2015 was assessed using the Mann-Kendall test.

图2 中国中老年人平均WWI值(A)以及按年龄(B)、性别(C)和居住地(D)分层的变化趋势

Fig. 2 Trends of mean WWI values in all participants (A) and stratified by age (B), sex (C) and residence (D) in Chinese adults

## 2.5 基线体质量调整腰围指数与卒中和心脏病的纵向关联

2011至2020年随访期间,分别有630名(5.7%)和1302名(11.8%)研究对象首次被诊断为卒中或心脏病。多因素调整后,以Q1为参考,Q4组发生卒中的风险为Q1组的1.65倍(RR: 1.65, 95% CI: 1.29~2.10,  $P < 0.001$ ),心脏病的风险为Q1组的1.35倍(RR: 1.35, 95% CI: 1.14~1.59,  $P < 0.001$ )。随着WWI水平升高,卒中和心脏病的发生风险均呈上升趋势( $P$  for trend  $< 0.05$ ),见表4。多变量调整的RCS分析表明,WWI与心脏病( $P$  for nonlinear = 0.107)和卒中( $P$  for nonlinear = 0.404)均存在线性正向关联(图4)。

## 2.6 亚组分析和敏感性分析

亚组分析显示(图5),在大多数预设亚组中,较高的WWI均与心血管疾病风险增加显著相关。WWI与性别、吸烟、饮酒、BMI、婚姻状况、教育程度和居住地之间无显著交互作用( $P > 0.05$ ),但与年龄存在交互作用( $P < 0.05$ )。

敏感性分析结果(表5)与主要结论一致。首先,在排除随访前两年发生CVD的参与者后,WWI与CVD的关联依然显著。其次,采用Logistic回归模型进行分析,所得结果与主分析保持一致。此外,我们注意到吸烟、饮酒等传统危险因素与WWI呈负相关,为深入评估潜在混杂因素的影响,我们进一步排除了具有高血压、糖尿病及血脂异常用药史的研究对象。结果显示,WWI与CVD关联的风险比有所衰减,但其关联仍然具有统计学意义。最后,E值分析表明,未测量的混杂因素不太可能完全推翻本研究观察到的主要关联。

## 3 讨论

本研究调查了2011年至2015年中国45岁及以上成年人WWI的时间变化趋势。在研究期间,WWI总体呈上升态势,其中女性、中年人群及农村居民的上幅度尤为明显。多变量分析显示,年龄较大、城镇居民和高血压、糖尿病、血脂异常用药史

表2 2011年体质量调整腰围指数的相关因素  
Table 2 Factors associated with weight-adjusted-waist index in 2011

Factors	Univariable model		Multivariable model	
	<i>b</i> (95%CI)	<i>P</i> value	<i>b</i> (95%CI)	<i>P</i> value
Age				
45-59	0 (Reference)		0 (Reference)	
≥60	0.401 (0.372, 0.431)	<0.001	0.394 (0.365, 0.422)	<0.001
Gender				
Female	0 (Reference)		0 (Reference)	
Male	-0.595 (-0.623, -0.567)	<0.001	-0.528 (-0.564, -0.492)	<0.001
Residence				
Rural	0 (Reference)		0 (Reference)	
Urban	0.058 (0.026, 0.089)	<0.001	0.088 (0.060, 0.117)	<0.001
Education				
Less than primary	0 (Reference)		0 (Reference)	
Compulsory education	-0.378 (-0.411, -0.345)	<0.001	-0.116 (-0.149, -0.083)	<0.001
High school and above	-0.593 (-0.645, -0.540)	<0.001	-0.242 (-0.294, -0.189)	<0.001
Married				
Other	0 (Reference)		0 (Reference)	
Yes	-0.291 (-0.336, -0.245)	<0.001	-0.058 (-0.100, -0.016)	0.007
Smoking				
Other	0 (Reference)		0 (Reference)	
Yes	-0.423 (-0.454, -0.392)	<0.001	-0.067 (-0.103, -0.032)	<0.001
Drinking				
Other	0 (Reference)		0 (Reference)	
Yes	-0.337 (-0.368, -0.306)	<0.001	-0.040 (-0.069, -0.011)	0.013
Dyslipidemia therapy				
No	0 (Reference)		0 (Reference)	
Yes	0.277 (0.198, 0.356)	<0.001	0.140 (0.068, 0.212)	<0.001
Hypertension therapy				
No	0 (Reference)		0 (Reference)	
Yes	0.313 (0.272, 0.354)	<0.001	0.176 (0.138, 0.214)	<0.001
Diabetes therapy				
No	0 (Reference)		0 (Reference)	
Yes	0.341 (0.256, 0.426)	<0.001	0.190 (0.113, 0.267)	<0.001

The factors associated with WWI were assessed using generalized linear models. CI: Confidence interval.

与较高的WWI呈正相关,而男性、较高教育水平、已婚状态、吸烟和饮酒则与WWI呈负相关。基线WWI升高与CVD、卒中和心脏病的发生风险增加相关。具体而言,与WWI处于Q1组的个体相比,Q2、Q3和Q4组发生CVD的风险比分别为1.23、

1.27和1.40。

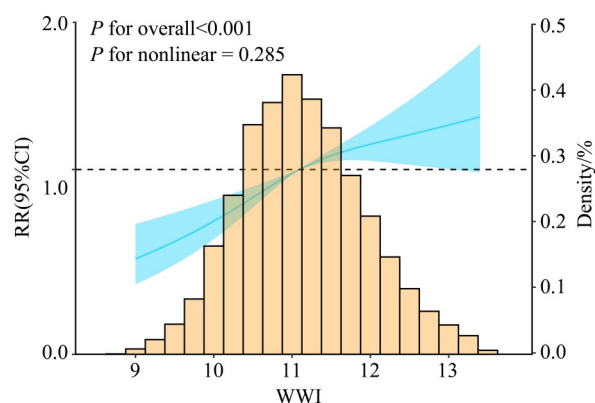
本研究基于CHARLS数据,评估了2011-2015年中国中老年人群WWI的时间变化趋势。结果显示,在此期间WWI总体保持稳定,但在2011至2013年间呈现显著上升趋势。这一波动趋势与全

表3 体质量校正腰围指数与心血管疾病的关联

Table 3 Association of weight-adjusted-waist index with cardiovascular disease

Group	RR (95%CI)		
	Model 1	Model 2	Model 3
Continuous WWI	1.24 (1.18, 1.31)***	1.16 (1.09, 1.22)***	1.17 (1.10, 1.24)***
Quartered WWI			
Q1 (8.87–10.56)	1 [Ref]	1 [Ref]	1 [Ref]
Q2 (10.57–11.09)	1.28 (1.12, 1.46)***	1.24 (1.09, 1.42)**	1.23 (1.07, 1.40)**
Q3 (11.10–11.66)	1.37 (1.21, 1.56)***	1.27 (1.11, 1.45)***	1.27 (1.11, 1.44)***
Q4 (11.67–13.44)	1.63 (1.44, 1.84)***	1.38 (1.21, 1.59)***	1.40 (1.22, 1.60)***
P for trend	< 0.001	< 0.001	< 0.01

Multivariate Log-binomial regression model was used to evaluate the association between WWI and CVD. Model 1 adjusted for none; Model 2 adjusted for age and gender; Model 3 adjusted for age, gender, education, BMI, marital status, residence, smoking and drinking status. CI: Confidence interval; WWI: weight-adjusted-waist index. \*\* $P < 0.01$ , \*\*\* $P < 0.0001$ .



The solid curved line represents the estimates for the association of WWI with Cardiovascular disease, and shading, the 95% CI. The frequency histogram illustrates the distribution of baseline WWI. Models were adjusted for age, gender, education, BMI, marital status, residence, smoking and drinking status.

图3 WWI与心血管疾病的剂量-反应关系

Fig. 3 The dose-response relationship between WWI and cardiovascular disease

国肥胖流行的某些阶段性特征存在相似之处。根据2004—2018年连续6次全国代表性调查数据,我国成人肥胖率在调查期间总体呈上升态势,而在2010年后肥胖患病率增速逐年放缓,2002至2012年间,我国成人肥胖年均增长率达5.3%<sup>[23]</sup>,2013至2018年间成人肥胖年均增长率为3.2%<sup>[24]</sup>。在中国经济快速发展与城市化推进的背景下<sup>[25]</sup>,居民饮食结构与生活方式发生显著变化,2011至2013年WWI的上升可能部分归因于饮食模式变迁及身体

活动水平下降等潜在影响因素。2013年至2015年期间WWI增速的趋缓,其同期社会背景包括公众健康意识的提升以及全球与国家层面肥胖防控政策的加强<sup>[26-27]</sup>。需要注意的是,对于变化趋势的解释主要基于宏观层面文献的推测,本研究设计并非用于评估政策效果,WWI波动与特定因素之间的因果关联需要未来研究予以证实。

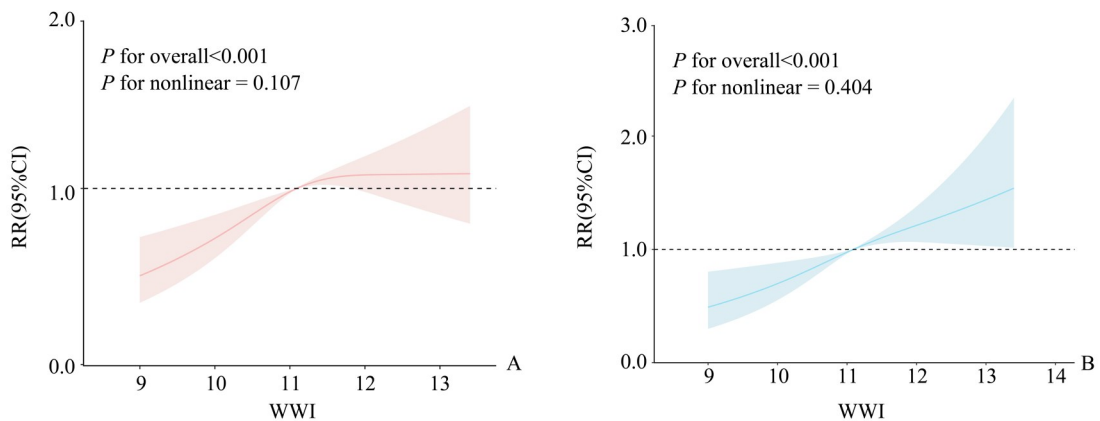
本研究进一步揭示了WWI变化趋势的人口学特征差异。女性的WWI值始终高于男性,可能与体脂分布差异及激素对脂肪积累的调控作用有关<sup>[28]</sup>。同时,WWI随年龄增长呈上升趋势,60岁以上人群的WWI较高,提示该群体中存在与年龄相关的脂肪组织功能退化与体成分改变<sup>[29]</sup>。此外,城市地区的WWI普遍高于农村,这可能与城市人口饮食结构中高热量食物占比较高、体力活动水平较低以及久坐生活方式更为普遍等因素密切相关。

WWI与CVD间的关系日益受到关注,但相关研究仍相对有限。一项美国成年人的横断面研究发现,WWI水平升高与心血管疾病风险增加显著相关<sup>[30]</sup>。另一项针对伊朗成年人的横断面研究也报告WWI与CVD患病率之间存在显著关联<sup>[31]</sup>。本研究在中国具有全国代表性的中老年人群中验证并扩展了这些发现。我们的结果表明,WWI与中国中老年人发生CVD、中风和心脏病的风险呈独立且线性的正相关。此外,一项同样基于CHARLS数据的前瞻性队列研究报告,高WWI与卒中风险增加52%相关<sup>[32]</sup>。该发现与我们观察到的关联强度

表4 体质量校正腰围指数与卒中和心脏病的关联  
Table 4 Association of WWI with Stroke and Heart disease

Outcome	RR (95%CI)				$P_{\text{trend}}$
	Q1	Q2	Q3	Q4	
Stroke					
Model 1	1 [Ref]	1.31 (1.04, 1.66)*	1.31 (1.04, 1.65)*	1.59(1.27, 1.98)***	< 0.001
Model 2	1 [Ref]	1.33 (1.05, 1.67)*	1.34 (1.06, 1.70)*	1.64(1.29, 2.09)***	< 0.001
Model 3	1 [Ref]	1.32 (1.04, 1.66)*	1.34 (1.05, 1.70)*	1.65(1.29, 2.10)***	< 0.001
Heart diseases					
Model 1	1 [Ref]	1.34 (1.14, 1.58)***	1.47 (1.25, 1.72)***	1.71(1.47, 1.99)***	< 0.001
Model 2	1 [Ref]	1.28 (1.09, 1.50)**	1.29 (1.10, 1.51)**	1.39(1.13, 1.57)***	< 0.001
Model 3	1 [Ref]	1.27 (1.08, 1.49)**	1.29 (1.10, 1.52)**	1.35(1.14, 1.59)***	< 0.001

Model 1 adjusted for none; Model 2 adjusted for age and gender; Model 3 adjusted for age, gender, education, BMI, marital status, residence, smoking and drinking status. CI: Confidence interval; WWI: weight-adjusted-waist index. \* $P<0.05$ , \*\* $P<0.01$ , \*\*\* $P<0.0001$ .



The solid curved line represents the estimates for the association of WWI with Cardiovascular disease, and shading, the 95% CI. Models were adjusted for age, gender, education, BMI, marital status, residence, smoking and drinking status.

图4 WWI与心脏病(A)和卒中(B)的剂量-反应关系

Fig. 4 Dose-response relationships of WWI with heart disease (A) and stroke (B)

(RR=1.65)相近,共同强化了WWI对中国人群脑血管健康的预测价值。以上发现提示,WWI可能作为评估中老年人心血管风险的简易指标。此外,多项研究表明,WWI与肌少型肥胖密切相关,后者被定义为存在高脂肪量、低肌肉量以及低身体机能<sup>[33-34]</sup>。这意味着WWI可能更侧重于评估脂肪与肌肉的比率,而非绝对脂肪量。WWI反映了一种脂肪堆积加剧伴随肌肉流失增加的生理状态。肌肉-脂肪失衡引发脂肪细胞因子分泌失调、炎症反应、内皮功能障碍和身体机能下降,最终导致CVD的发生<sup>[35-36]</sup>。

此外,在研究中可以观察到随着WWI的升高,

吸烟和饮酒者的比例在下降,心血管疾病风险在增加。这一反常现象在既往研究中同样可以观察到<sup>[31-32]</sup>。进一步分析发现,在我的研究中人群基线特征中,这些WWI较低的人群,其高血压、糖尿病和血脂异常用药史占比反而更高。这提示,该人群可能因已被诊断出高血压、高血糖等健康问题,从而更早地接受了临床干预,部分人的健康相关行为可能已发生改变,导致其WWI测量值相对较低。这一推测与Wu等<sup>[37]</sup>的研究结论相吻合,该研究指出,有慢性病史的患者其就医行为更可能发生改变,并更倾向于寻求规律的医疗服务。在剔除有高血压、糖尿病及血脂异常用药史的研究对象后,

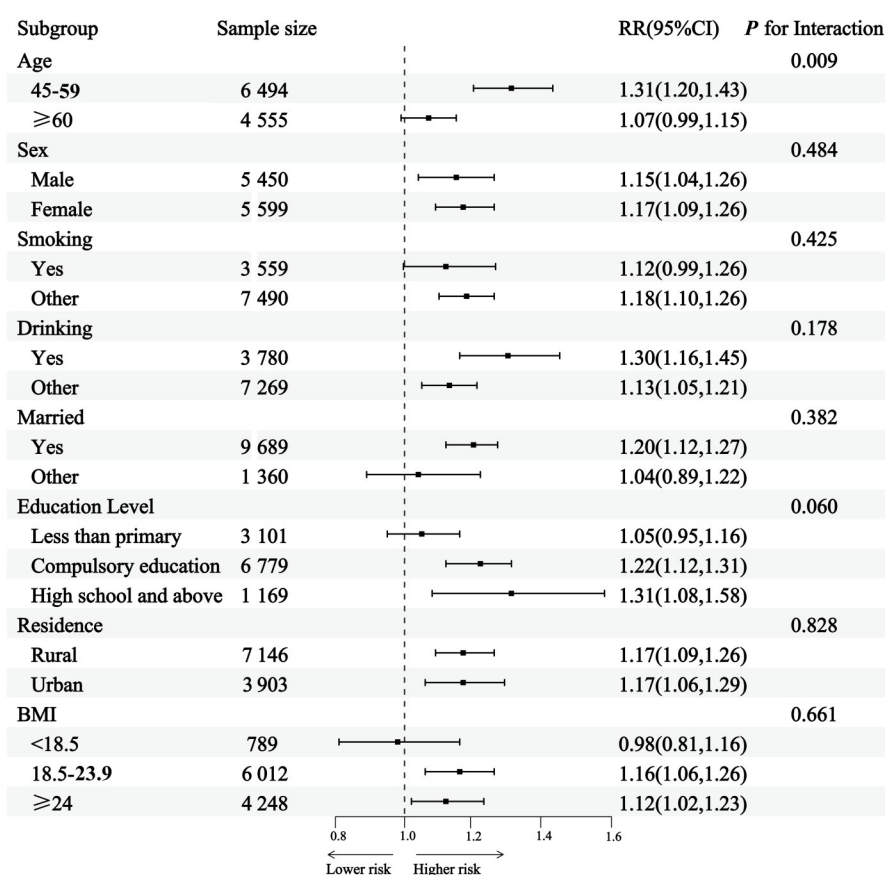


图5 WWI与CVD风险的亚组分析

Fig. 5 Subgroups and interaction analyses of WWI and the risk of CVD across subgroups

表5 体质量校正腰围指数与心血管疾病关联的敏感性分析

Table 5 Sensitivity analysis of the association between WWI and CVD

Outcome	RR (95%CI)				P <sub>trend</sub>
	Q1	Q2	Q3	Q4	
<b>Excluding participants who developed CVD within the first two years of follow-up</b>					
Model 1	1 [Ref]	1.30 (1.13, 1.50)***	1.45 (1.26, 1.66)***	1.70 (1.49, 1.94)***	< 0.001
Model 2	1 [Ref]	1.26 (1.10, 1.46)**	1.33 (1.16, 1.54)***	1.44 (1.24, 1.66)***	< 0.001
Model 3	1 [Ref]	1.26 (1.09, 1.45)**	1.34 (1.16, 1.54)***	1.45 (1.25, 1.68)***	< 0.001
<b>Logistic model</b>					
Model 1	1 [Ref]	1.33 (1.14, 1.55)***	1.45 (1.25, 1.69)***	1.78 (1.54, 2.07)***	< 0.001
Model 2	1 [Ref]	1.29 (1.10, 1.50)**	1.32 (1.13, 1.55)***	1.47 (1.26, 1.73)***	< 0.001
Model 3	1 [Ref]	1.28 (1.10, 1.49)**	1.33 (1.13, 1.55)***	1.50 (1.27, 1.76)***	< 0.001
<b>Excluding participants with a baseline history of therapy for Dyslipidemia, Hypertension, and Diabetes.</b>					
Model 3	1 [Ref]	1.18 (1.00, 1.38)*	1.19 (1.01, 1.39)*	1.31 (1.11, 1.55)**	< 0.01
E value	-	1.76	1.85	2.15	

Model 1 adjusted for none; Model 2 adjusted for age and gender; Model 3 adjusted for age, gender, education, BMI, marital status, residence, smoking and drinking status.\* $P < 0.05$ , \*\* $P < 0.01$ , \*\*\* $P < 0.0001$ .

WWI与CVD的关联有所减弱,进一步支持了人群药物治疗行为在此关联中的作用。

亚组分析显示,WWI与CVD的关联在45~60岁人群中更为显著,且与年龄存在交互作用( $P$  for interaction $<0.05$ )。类似的,基于美国成年人的研究发现WWI与CVD的关联在50岁以下人群中更强<sup>[30]</sup>。中国农村队列研究也报道WWI与高血压的相关性在60岁以下人群中存在,而在 $\geq 60$ 岁人群中消失<sup>[19]</sup>。这些结果可能源于老年人与年轻人在体脂分布和身体组成方面的差异。年龄相关的身体成分变化可能使WWI在老年人中的解释更为复杂,因其同时反映肥胖与肌肉流失的双重风险<sup>[33]</sup>。WWI作为一项基于腰围和体质量的简易指标,在不同年龄阶段的解读需谨慎,其在中年人群中的风险评估效能似乎更佳。由于本研究分层后样本量减少,可能引入一定偏倚,因此未来需在更大规模、更具针对性的人群中进一步验证。

本研究结果对临床实践具有一定意义。首先,在中老年人群中确立WWI与CVD的正相关关系,表明WWI或可作为跨人群适用的肥胖评估工具。对WWI水平较高的个体,早期评估靶器官损害并及时干预,有助于降低CVD风险、改善预后。此外,由于WWI计算简便、成本低廉,适用于各级医疗卫生机构,特别是在资源有限的地区。因此,WWI有望成为一个普适性更强的肥胖评估工具,尤其是在面临人口老龄化的社会中识别具有高心

血管代谢风险的个体。

本研究具有若干优势。首先,我们使用了来自CHARLS的全国代表性样本,该样本应用了严格的研究方案和质量控制。其次,研究调整了大多数已知混杂因素,并通过计算E值评估未测量混杂因素的影响,增强了结果的可靠性。同时,本研究仍存在一些局限性。首先,作为一项观察性研究,它不能在WWI与心血管疾病风险之间建立可靠的因果关系,残留的混杂因素仍然可能存在。其次,本研究仅使用了基线的WWI测量值,而未能分析WWI的变化轨迹与CVD风险的关系。这主要是受限于纵向数据库中后续随访周期体格检查数据的可用性。此外,自我报告的CVD结局易受各种影响因素的影响,可能无法准确地反映人群中实际的CVD患病情况。最后,与所有大规模前瞻性研究类似,数据缺失不可避免,可能引入选择偏倚,影响所观察到的关联。

综上所述,本研究基于具有全国代表性的CHARLS数据,描述了中国中老年人群WWI的时间趋势和人群特征,并在全国层面纵向验证了WWI与心血管疾病、中风及心脏病发病风险的独立正相关关系。结果表明WWI作为一种有效、简便的肥胖评估工具具有应用潜力,为在资源有限地区开展肥胖相关心血管风险筛查提供了实证依据。未来需进一步开展机制性研究和干预试验,以明确WWI在心血管疾病一级预防中的临床价值。

#### 参考文献

- [1] Beard RJ, Officer A, Carvalho DAI, et al. The World report on ageing and health: a policy framework for healthy ageing [J]. *The Lancet*, 2016, 387(10033): 2145–2154.
- [2] 中国心血管健康与疾病报告2024概要[J]. *中国循环杂志*, 2025, 40(6):521–559.  
Summary of China cardiovascular health and disease report 2024[J]. *Chin Circ J*, 2025, 40(6):521–559.
- [3] Lopez-Jimenez F, Almahmeed W, Bays H, et al. Obesity and cardiovascular disease: mechanistic insights and management strategies. A joint position paper by the World Heart Federation and World Obesity Federation [J]. *Eur J Prev Cardiol*, 2022, 29(17):2218–2237.
- [4] Rubino F, Cummings ED, Eckel RH, et al. Definition and diagnostic criteria of clinical obesity [J]. *Lancet Diabetes Endocrinol*, 2025, 13(3):221–262.
- [5] Balkau B, Deanfield JE, Jean-Pierre D, et al. International Day for the Evaluation of Abdominal Obesity (IDEA): a study of waist circumference, cardiovascular disease, and diabetes mellitus in 168,000 primary care patients in 63 countries [J]. *Circulation*, 2007, 116(17):1942–1951.
- [6] Zhang C, Rexrode KM, van Dam RM, et al. Abdominal obesity and the risk of all-cause, cardiovascular, and cancer mortality: sixteen years of follow-up in US women. [J]. *Circulation*, 2008, 117(13):1658–1667.
- [7] 王凯阳,陶静,吴婷婷,等. 新型人体测量学指标与急性心肌梗死患者长期预后的相关性[J]. *实用医学杂志*, 2024, 40(21): 3040–3046.  
Wang KY, Tao J, Wu TT, et al. Correlation of novel

- anthropometric indicators with long-term prognosis in patients with acute myocardial infarction [J]. *J Pract Med J Pract Med*, 2024, 40(21): 3040–3046.
- [8] Powell-Wiley TM, Poirier P, Burke LE, et al. Obesity and cardiovascular disease: a scientific statement from the American Heart Association [J]. *Circulation*, 2021, 143(21): 984–1010.
- [9] Nomura SO, Karger AB, Weir NL, et al. Free fatty acids, cardiovascular disease, and mortality in the Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis [J]. *J Clin Lipidol*, 2020, 14(4): 531–541.
- [10] Liu BY, Du Y, Wu YX, et al. Trends in obesity and adiposity measures by race or ethnicity among adults in the United States 2011–18: population-based study [J]. *BMJ*, 2021, 372(8284):365–372.
- [11] Park Y, Kim NH, Kwon TY, et al. A novel adiposity index as an integrated predictor of cardiometabolic disease morbidity and mortality [J]. *Sci Rep*, 2018, 8(1):16753.
- [12] Kim NH, Park Y, Kim NH, et al. Weight-adjusted waist index reflects fat and muscle mass in the opposite direction in older adults [J]. *Age Ageing*, 2020, 50(3):780–786.
- [13] Wu Z, Liu Y, Wang B. The relationship between weight-adjusted waist index and peripheral artery disease [J]. *Front Nutr*, 2025, 121504896–1504896. doi: 10.3389/fnut.2025.1504896.
- [14] Yu JH, Yin GM. Association between weight-adjusted waist circumference index and myocardial infarction: results from the national health and nutrition examination survey, 1999 – 2014 [J]. *Front Cardiovasc Med*, 2024, 111451987–1451987. doi:10.3389/fcvm.2024.1451987.
- [15] Qin Z, Du DR, Li YP, et al. The association between weight-adjusted-waist index and abdominal aortic calcification in adults aged  $\geq 40$  years: results from NHANES 2013 – 2014 [J]. *Sci Rep*, 2022, 12(1):20354.
- [16] Ye JY, Hu YJ, Chen XR, et al. Association between the weight-adjusted waist index and stroke: a cross-sectional study [J]. *BMC Public Health*, 2023, 23(1):1689.
- [17] Lan Y, Zheng Q, Lin C, et al. Association of weight-adjusted-waist index with all-cause and cardiovascular mortality in hypertension: a prospective cohort study [J]. *BMC Public Health*, 2025, 25(1):2628.
- [18] Huang L, Zhou Y, Abuduxukuer K, et al. Ranges, temporal trend, and determinants of novel obesity indices in middle-aged and older Chinese population: insights from a nationally representative and longitudinal study [J]. *Front Public Health*, 2025, 131571254–1571254. doi: 10.3389/fpubh.2025.1571254.
- [19] Li Q, Qie R, Qin P, et al. Association of weight-adjusted-waist index with incident hypertension: the rural Chinese cohort study [J]. *Nutr Metab Cardiovasc Dis*, 2020, 30(10): 1732–1741.
- [20] Hu J, Cai X, Song S, et al. Association between weight-adjusted waist index with incident stroke in the elderly with hypertension: a cohort study [J]. *Sci Rep*, 2024, 14(1): 25614.
- [21] Kunutsor SK, Jae SY, Laukkanen JA. Association between weight-adjusted waist index and cardiometabolic multimorbidity in older adults: findings from the English Longitudinal Study of Ageing [J]. *Geroscience*, 2025, 47(5): 6429–6438.
- [22] Zhao Y, Hu Y, Smith JP, et al. Cohort profile: the China Health and Retirement Longitudinal Study (CHARLS) [J]. *Int J Epidemiol*, 2014, 43(1):61–68.
- [23] Wang LM, Zhou B, Zhao ZP, et al. Body-mass index and obesity in urban and rural China: findings from consecutive nationally representative surveys during 2004 – 18 [J]. *Lancet*, 2021, 398(10294):53–63.
- [24] 赵振平, 张梅, 李纯, 等. 2013至2018年中国成人肥胖年均增长率及防控重点人群研究 [J]. *中华心血管病杂志*, 2024, 52(1):34–41.
- Zhao ZP, Zhang M, Li C, et al. Growth rate of adult obesity prevalence in China and target population for prevention and control from 2013 to 2018 [J]. *Chin J Cardiol (Beijing, China)*, 2024, 52(1): 34–41.
- [25] Du WW, Wang HJ, Su C, et al. Thirty-year urbanization trajectories and obesity in modernizing China [J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2022, 19(4):1943.
- [26] World Health Organization. Global action plan for the prevention and control of noncommunicable diseases. 2013–2020 [R]. Geneva: World Health Organization, 2013.
- [27] Wang YF, Zhao L, Gao LW, et al. Health policy and public health implications of obesity in China [J]. *Lancet Diabetes Endocrinol*, 2021, 9(7):446–461.
- [28] Lovejoy JC, Sainsbury A. Sex differences in obesity and the regulation of energy homeostasis [J]. *Obes Rev*, 2009, 10(2):154–167.
- [29] Liu ZH, Wu KKL, Jiang X, et al. The role of adipose tissue senescence in obesity- and ageing-related metabolic disorders [J]. *Clin Sci (London)*, 2020, 134(2):315–330.
- [30] Fang HY, Xie F, Li K, et al. Association between weight-adjusted-waist index and risk of cardiovascular diseases in United States adults: a cross-sectional study [J]. *BMC*

- Cardiovasc Disord, 2023, 23(1):435-435.
- [31] Sadafi S, Azizi A, Shakiba E, et al. Weight-adjusted waist index and cardiovascular disease: a population-based study in Ravansar, Iran [J]. Arch Public Health, 2024, 82(1):219.
- [32] Li XQ, Zhou XM, Du H, et al. Longitudinal relationship between baseline weight-adjusted waist index and stroke risk over 8 years in Chinese adults aged 45 and older: a prospective cohort study [J]. Front Public Health, 2025, 131505364-1505364. doi: 10.3389/fpubh.2025.1505364.
- [33] Zamboni M, Mazzali G, Fantin F, et al. Sarcopenic obesity: A new category of obesity in the elderly [J]. Nutr Metab Cardiovasc Dis, 2007, 18(5):388-395.
- [34] Kim JE, Choi J, Kim M, et al. Assessment of existing anthropometric indices for screening sarcopenic obesity in older adults[J]. Br J Nutr, 2023, 129(5):875-887.
- [35] Hamjane N, Benyahya F, Nourouti G N, et al. Cardiovascular diseases and metabolic abnormalities associated with obesity: What is the role of inflammatory responses? A systematic review [J]. Microvasc Res, 2020, 131104023. doi: 10.1016/j.mvr.2020.104023.
- [36] Singhal A. Endothelial dysfunction: role in obesity-related disorders and the early origins of CVD [J]. Proc Nutr Soc, 2005, 64(1):15-22.
- [37] Wu CX, Tian J, Guo Y, et al. Trajectories and influencing factors of medical-help-seeking behaviour of elderly hypertensive patients - Analysis of 8 year clinical follow up data[J]. Chin Gen Pract J, 2025, 2(1):100052.

(编辑 孙慧兰)