

# 社区居民不同肥胖指标与死亡风险关联的队列研究

柯居中, 吴抗, 刘晓琳, 邱桦, 王小楠, 李智韬, 阮晓楠, 周弋

上海市浦东新区疾病预防控制中心(上海市浦东新区卫生健康监督所)慢性病防治科, 上海 200136

**摘要:目的** 在社区自然人群队列中探索体质指数(BMI)、体圆指数(BRI)、腰围(WC)和腰臀比(WHR)等肥胖指标与死亡风险的关联。**方法** 本研究基于浦东新区慢性病社区人群队列,基线调查获取研究对象肥胖相关指标,收集随访期间的死亡情况,采用cox回归、限制性立方样条(RCS)回归、ROC曲线等方法分析肥胖指标与死亡风险的关联。**结果** 纳入分析的人数为9 448人,随访观察中位时间10.77年,期间发生全因死亡987例,研究人群全因死亡密度10.08/1 000人年。经多因素校正后,BRI每增加1个标准差,死亡风险增加7%( $HR=1.07$ , 95%  $CI: 1.01 \sim 1.14$ );WC每增加1个标准差,死亡风险增加12%( $HR=1.12$ , 95%  $CI: 1.05 \sim 1.20$ );WHR每增加1个标准差,死亡风险增加14%( $HR=1.14$ ; 95%  $CI: 1.07 \sim 1.21$ )。BMI、BRI、WC与死亡风险呈U型的非线性剂量-反应关系,WHR与死亡风险呈线性的剂量-反应关系。BRI对死亡风险的预测能力优于其它肥胖指标,AUC为0.62(95%  $CI=0.60 \sim 0.64$ )。**结论** 肥胖是全因死亡的重要危险因素,合理控制体重和脂肪分布有助于提升人群的期望寿命。

**关键词:** 体质指数;体圆指数;腰围;腰臀比;死亡风险

中图分类号:R589.2 文献标志码:A 文章编号:1003-8507(2025)18-3346-07

DOI:10.20043/j.cnki.MPM.202501130

## Association of body mass index, body roundness index, waist circumference, and waist hip ratio with all-cause mortality: a prospective cohort study

KE Ju-zhong, WU Kang, LIU Xiao-lin, QIU Hua, WANG Xiao-nan, LI Zhi-tao, RUAN Xiao-nan, ZHOU Yi

Shanghai Pudong New Area Center for Disease Control and Prevention (Shanghai Pudong New Area

Health Supervision Institute), Shanghai 200136, China

**Abstract: Objective** To explore the association of body mass index (BMI), body roundness index (BRI), waist circumference (WC), and waist hip ratio (WHR) with the risk of all-cause mortality in a community-based cohort.

**Methods** This study was based on a prospective cohort study conducted in Pudong New Area. Obesity-related indicators were obtained at the baseline survey, mortality data was collected during the follow-up period. The associations between BMI, BRI, WC, WHR and the risk of all-cause mortality were assessed using cox proportional hazard model, restricted cubic spline (RCS) regression model, and receiver operator characteristic (ROC) curve. **Results** A total of 9 448 participants was included in the analysis. The median follow-up time was 10.77 years, during which 987 deaths occurred, the all-cause mortality was 10.08/1 000 person-years. After multi-variable adjustment, the  $HR(95\% CI)$  of elevated BRI, WC, and WHR were 1.07(1.01-1.14), 1.12(1.05-1.20), and 1.14(1.07-1.21), respectively. There were U-shaped dose-response relationship between BMI, BRI, WC and all-cause mortality; and a linear dose-response relationship between WHR and all-cause mortality. BRI had the highest accuracy in predicting all-cause mortality, with the AUC of 0.62(95%  $CI=0.60-0.64$ ). **Conclusion** Obesity is a significant risk factor for all-cause mortality, proper control of obesity and fat distribution can help reduce the risk of all-cause mortality.

**Keywords:** Body mass index; Body roundness index; Waist circumference; Waist hip ratio; All-cause mortality

**基金项目:**浦东新区卫生系统领先人才培养计划(PWR12024-10);浦东新区卫生健康委员会研究者发起的临床研究项目(2024-PWDL-03);浦东新区疾病预防控制中心业务研发平台慢性病流行病学(DXZB-2024-01)

**作者简介:**柯居中(1989—),女,博士,副主任医师,研究方向:慢性病流行病学

**通信作者:**周弋, E-mail: yzhou@pdcdc.sh.cn

肥胖是多种慢性病的重要危险因素,影响居民健康水平和期望寿命。近年来,心脑血管疾病等慢性病导致的期望寿命损失持续升高,探索与死亡风险相关性最好的肥胖指标有重要的公共卫生意义<sup>[1]</sup>。体质指数(BMI)是最为经典的检测肥胖的指标。但既往有研究发现BMI超重或肥胖的人群心脑血管疾病和

癌症的死亡风险低于 BMI 正常人群,称为“肥胖悖论”<sup>[2-3]</sup>。原因可能是 BMI 无法准确反映体内脂肪、肌肉和骨骼的比重以及分布情况。腰围(WC)、腰臀比(WHR)和腹部脂肪累积以及心脑血管疾病风险有很好的相关性,常被用来反映是否患有中心性肥胖,但容易受到身高差异的影响<sup>[4]</sup>。有学者提出体圆指数(BRI)能够更准确的评估体脂和内脏脂肪组织的比例,从而减少肥胖的错误分类<sup>[5]</sup>。已有不少研究认为 BRI 与冠心病、糖尿病等慢性病都有显著的关联<sup>[6-7]</sup>。然而,目前国内尚比较缺乏在社区自然人群中探索和比较不同肥胖指标与死亡风险之间关联的研究。

因此,本研究基于上海市浦东新区社区自然人群慢性病队列,探讨社区自然人群的 BMI、BRI、WC、WHR 等肥胖指标与死亡风险间的关联,以及它们对死亡风险的预测作用,为居民合理控制肥胖,从而改善期望寿命和生命质量提供科学依据。

## 1 材料与方法

**1.1 研究对象** 本研究基线调查开展时间为 2013 年 1—7 月,采用三阶段分层随机抽样在浦东新区的 36 个街镇选取研究对象<sup>[8]</sup>。第一阶段根据经济水平将各街道/镇分为好、中、差 3 层,每层随机抽取 4 个,共计 12 个街道/镇。第二阶段在抽取的街道/镇的 352 个居委/村委中随机抽取 34 个居委/村委。第三阶段在抽取的居委/村委中用随机数字表确定第一户调查家庭的门牌号,随后按门牌号从小到大依次以家庭为单位开展调查。纳入标准为年龄 15 岁及以上、愿意配合现场调查、一年内无迁出或长期外出计划的社区常住居民。本研究通过上海市浦东新区疾病预防控制中心(上海市浦东新区卫生健康监督所)伦理委员会的审核(批件号: PDCDCLL - 20250508 - 011),研究对象在基线调查时全部签署了知情同意书。参与研究的 10 657 人中,排除问卷相关信息存在缺失的 126 人,实验室检测信息存在缺失的 850 人,以及失访的 233 人,最终纳入分析数据集的人数为 9 448 人,见图 1。

**1.2 资料收集** 基线调查的资料收集方式包括面对面问卷调查、现场身体测量、生物样本采集和实验室检测。面对面问卷调查收集婚姻状况、受教育水平、吸烟、饮酒、体育活动、慢性病患病情况等信息。身体测量收集身高、体重、WC、臀围、血压等信息,对于基线调查血压异常升高者在一个月内完成两次血压高值跟踪测量。生物样本的实验室检测(仪器:日立 HITACHI 7170A)包括血糖相关指标:空腹血糖(FPG)、餐后 2 小时血糖(2hPG),血脂相关指标:空

腹总胆固醇(TC)、空腹甘油三酯(TG)、空腹高密度脂蛋白胆固醇(HDL)、空腹低密度脂蛋白胆固醇(LDL),以及 C-反应蛋白(CRP)等指标。

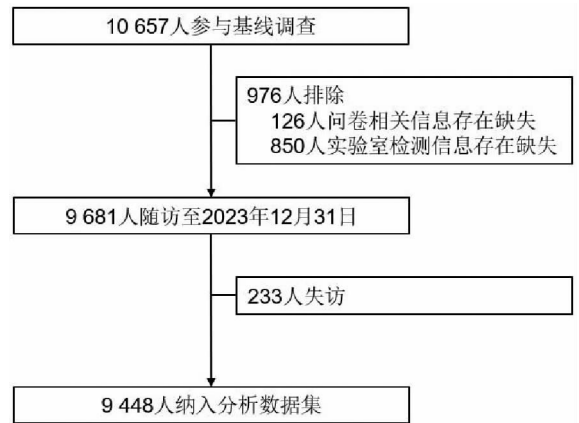


图 1 队列构建流程图

Fig. 1 Diagram of this study

**1.3 质量控制** 包括调查前准备阶段、现场调查阶段、资料整理阶段的质量控制。调查前准备阶段的质量控制:调查表统一印刷,调查物资统一采购,调查员统一培训考核。现场调查阶段的质量控制:每日身体测量前先进行仪器校正,生物样本现场收集后冷藏保存和冷链运输,由上海市临床检验鉴定合格的综合性医院实验室检测,每日检测前先进行化学质控品检测。资料整理阶段的质量控制:对所有的调查问卷进行填写质量核查、双轨录入和逻辑校验,数据清理时对缺失值、逻辑错误和异常值进行标记并返还修改,循环直至定稿最终数据库。

**1.4 指标定义** BRI 根据 TG 和 FPG 计算,  $BRI = 364.2 - 365.5 \times \{1 - [(WC/2p)/(0.5 \times 身高)]^2\}^{0.5[5]}$ 。高血压定义为自报高血压患者,或在未服用降压药的情况下,非同日 3 次测量,收缩压  $\geq 140$  mmHg,和(或)舒张压  $\geq 90$  mmHg。糖尿病定义为自报糖尿病患者,或 FPG  $\geq 7.0$  mmol/L,或 2hPG  $\geq 11.1$  mmol/L。血脂异常定义为自报血脂异常患者,或 TC  $\geq 6.22$  mmol/L,或 LDL  $\geq 4.14$  mmol/L,或 HDL  $< 1.04$  mmol/L,或 TG  $\geq 2.26$  mmol/L。吸烟定义为曾经每日至少吸 1 支烟,持续 6 个月以上。饮酒定义为曾经每周至少饮酒 3 次、持续 6 个月以上。体育活动定义为每周至少有 1 次中等强度(稍费力,心率稍加快,有一点出汗)或高强度(很费力,心率明显加快,有较多出汗)的体育活动。

**1.5 终点事件** 基线调查后,随访研究对象至 2023 年 12 月 31 日,终点事件为全因死亡,终点时间为随访的截止日期或研究对象的死亡日期。通过与浦东

新区死因登记数据库比对,来确定研究对象的结局信息。

**1.6 统计分析** 统计分析采用 SAS 9.4 和 SPSS 22.0 软件完成。采用  $\bar{x} \pm s$ 、 $M(P_{25}, P_{75})$  或  $n(\%)$  对满足正态分布的计量资料、不满足正态分布的计量资料和计数资料分别进行描述。采用  $t$  检验、秩和检验、 $\chi^2$  检验分别进行组间比较。用  $Z$  分对 BMI、BRI、WC、WHR 作正态性转换,代替原始变量纳入 cox 回归模型,分析肥胖与死亡风险的关联,并计算  $HR(95\% CI)$ ,  $Z$  分 = (变量测量值 - 均数) / 标准差。肥胖与死亡风险之间的剂量 - 反应关系分析采用限制性立方样条 (RCS) 回归,以连续变量形式将 BMI、BRI、WC、WHR 代入模型,并计算  $P_{总}$  和  $P_{非线性}$ 。BMI、BRI、WC、

WHR 对死亡风险的预测能力采用绘制 ROC 曲线及计算曲线下面积 (AUC) 进行比较。检验水准  $\alpha = 0.05$ 。

## 2 结果

**2.1 基线资料分析** 本研究共纳入 9 448 名社区居民,其中男性 3 575 人,女性 5 873 人。研究对象的基线资料见表 1。男性和女性的基线居住地区、吸烟、饮酒、体育活动情况、BMI、BRI、WC、WHR、CRP 水平存在差异 ( $P < 0.05$ ),男性吸烟率、饮酒率、BMI、BRI、WC、WHR、CRP 水平高于女性,城市人口比例、体育活动率低于女性。

表 1 研究对象的基线资料

Table 1 Comparison of baseline characteristics between male and female participants

特征	分类	男性 (n=3 575)	女性 (n=5 873)	合计 (n=9 448)	$t/Z/\chi^2$ 值	P
年龄 (岁)	-	57.82 ± 12.95	57.97 ± 12.92	57.91 ± 12.93	0.283	0.594
居住地区 (%)	农村	1 505 (42.10)	2 250 (38.31)	3 755 (39.74)	13.308	<0.001
	城市	2 070 (57.90)	3 623 (61.69)	5 693 (60.26)		
婚姻状况 (%)	在婚	3 134 (87.66)	5 131 (87.37)	8 265 (87.48)	0.181	0.671
	其它	441 (12.34)	742 (12.63)	1 183 (12.52)		
受教育年限 (%)	≥ 9 年	2 810 (78.60)	4 628 (78.80)	7 438 (78.73)	0.053	0.818
	< 9 年	765 (21.40)	1 245 (21.20)	2 010 (21.27)		
吸烟 (%)	否	2 947 (82.43)	4 938 (84.08)	7 885 (83.46)	4.362	0.037
	是	628 (17.57)	935 (15.92)	1 563 (16.54)		
饮酒 (%)	否	3 106 (86.88)	5 208 (88.68)	8 314 (88.00)	6.786	0.009
	是	469 (13.12)	665 (11.32)	1 134 (12.00)		
体育活动 (%)	否	2 769 (77.45)	4 359 (74.22)	7 128 (75.44)	12.542	<0.001
	是	806 (22.55)	1 514 (25.78)	2 320 (24.56)		
高血压 (%)	否	2 078 (58.13)	3 494 (59.49)	5 572 (58.98)	1.716	0.190
	是	1 497 (41.87)	2 379 (40.51)	3 876 (41.02)		
糖尿病 (%)	否	2 881 (80.59)	4 734 (80.61)	7 615 (80.60)	2.611	0.271
	是	384 (19.41)	674 (19.39)	1 058 (19.40)		
血脂异常 (%)	否	1 835 (51.33)	3 066 (52.21)	4 901 (51.87)	0.684	0.408
	是	1 740 (48.67)	2 807 (47.79)	4 547 (48.13)		
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	-	25.13 ± 3.52	24.95 ± 3.63	25.02 ± 3.59	5.559	0.018
BRI	-	3.74 ± 1.15	3.68 ± 1.16	3.70 ± 1.16	7.098	0.008
WC (cm)	-	83.10 ± 9.52	82.42 ± 9.50	82.68 ± 9.52	11.087	0.001
WHR	-	0.87 ± 0.06	0.86 ± 0.07	0.87 ± 0.07	5.425	0.020
FPG (mmol/L)	-	5.47 (5.10, 6.06)	5.48 (5.08, 6.11)	5.47 (5.09, 6.09)	0.044	0.965
2hPG (mmol/L)	-	6.07 (5.05, 7.51)	6.03 (5.06, 7.38)	6.05 (5.06, 7.44)	1.271	0.204
HbA1c (%)	-	5.40 (4.90, 6.00)	5.40 (4.90, 6.00)	5.40 (4.90, 6.00)	0.418	0.676
TG (mmol/L)	-	1.37 (0.95, 2.00)	1.35 (0.95, 1.98)	1.36 (0.95, 1.99)	1.080	0.280
TC (mmol/L)	-	5.49 (4.80, 6.24)	5.48 (4.73, 6.22)	5.48 (4.75, 6.23)	1.031	0.303
HDL (mmol/L)	-	1.33 (1.14, 1.56)	1.33 (1.13, 1.57)	1.33 (1.13, 1.57)	0.112	0.910
LDL (mmol/L)	-	3.08 (2.42, 3.75)	3.06 (2.42, 3.74)	3.07 (2.42, 3.75)	0.673	0.501
CRP (mg/L)	-	0.26 (0.08, 0.95)	0.24 (0.07, 0.91)	0.25 (0.07, 0.93)	1.977	0.048

注:年龄、BMI、BRI、WC、WHR 用  $(\bar{x} \pm s)$  表示, FPG、2hPG、HbA1c、TG、TC、HDL、LDL、CRP 用  $M(P_{25}, P_{75})$  表示, 居住地区、婚姻状况、受教育年限、吸烟、饮酒、体育活动、高血压、糖尿病、血脂异常用  $n(\%)$  表示。“-”表示连续变量不适用分类。

**2.2 随访期间死亡情况分析** 队列随访观察中位时间 10.77 年 ( $P_{25} \sim P_{75}$ : 10.69 ~ 10.81 年), 合计 97 890 人年。期间共记录到全因死亡 987 例, 研究人群全因累积死亡率 10.45%, 全因死亡密度 10.08/1 000 人

年, 性别间差异无统计学意义 ( $c^2 = 0.881, P > 0.05$ )。研究人群的根本死因顺位为心脑血管疾病 (413 例, 41.84%), 其次为癌症 (295 例, 29.89%) 和其它疾病 (279 例, 28.27%)。见表 2。

2.3 BMI、BRI、WC、WHR 与死亡风险的关联 BMI、BRI、WC、WHR 与死亡风险的关联分析结果见表 3。

表 2 研究对象随访期间的死亡情况

Table 2 Mortality of study participants during follow-up

性别	根本死因	人数	人年数	死亡人数	累积死亡率 (%)	死亡密度 (1/1 000 人年)
男性	心脑血管疾病	3 575	37 002	155	4.34	4.19
	癌症	3 575	37 002	127	3.55	3.43
	其它疾病	3 575	37 002	105	2.94	2.84
	男性合计	3 575	37 002	387	10.83	10.46
女性	心脑血管疾病	5 873	60 888	258	4.39	4.24
	癌症	5 873	60 888	168	2.86	2.76
	其它疾病	5 873	60 888	174	2.96	2.86
	女性合计	5 873	60 888	600	10.22	9.85
合计	心脑血管疾病	9 448	97 890	413	4.37	4.22
	癌症	9 448	97 890	295	3.12	3.01
	其它疾病	9 448	97 890	279	2.95	2.85
	合计	9 448	97 890	987	10.45	10.08

单因素分析结果说明, BMI、BRI、WC、WHR 与死亡风险有关, 校正多个可能的混杂因素后, BRI、WC、WHR 与死亡风险的关联仍然存在, BRI、WC、WHR 每增加 1 个标准差, 死亡风险增加的 HR (95% CI) 分别为 1.07(1.01 ~ 1.14)、1.12(1.05 ~ 1.20) 和 1.14(1.07 ~ 1.21), BMI 与死亡风险的关联无统计学意义。RCS 回归分析结果见图 2, 校正多个可能的混杂因素后, BMI、BRI、WC 与死亡风险呈 U 型的非线性剂量

- 反应关系, BMI 过低或过高者死亡风险都会增加 ( $P_{总} < 0.001$ ,  $P_{非线性} < 0.001$ ), BRI 过高者死亡风险增加 ( $P_{总} = 0.008$ ,  $P_{非线性} = 0.035$ ), WC 过高者死亡风险增加 ( $P_{总} < 0.001$ ,  $P_{非线性} = 0.037$ ); WHR 与死亡风险的关联总体呈现出线性的剂量 - 反应关系, WHR 过高者死亡风险增加 ( $P_{总} < 0.001$ ,  $P_{非线性} = 0.294$ )。

表 3 BMI、BRI、WC、WHR 与死亡风险之间的关联

Table 3 Association between BMI, BRI, WC, WHR and risk for all-cause mortality

特征	单因素分析			多因素分析		
	Wald $\chi^2$	HR(95% CI)	P	Wald $\chi^2$	HR(95% CI)	P
BMI	4.765	1.07(1.01 ~ 1.14)	0.029	0.241	1.02(0.95 ~ 1.09)	0.623
BRI	201.027	1.46(1.39 ~ 1.54)	<0.001	5.383	1.07(1.01 ~ 1.14)	0.020
WC	115.646	1.38(1.30 ~ 1.46)	<0.001	12.252	1.12(1.05 ~ 1.20)	<0.001
WHR	164.879	1.29(1.24 ~ 1.34)	<0.001	15.853	1.14(1.07 ~ 1.21)	<0.001

注: 多因素分析校正年龄、性别、婚姻状况、居住地区、是否受教育  $\geq 9$  年、是否有吸烟、饮酒、体育活动习惯、是否患高血压、糖尿病、血脂异常、CRP 水平。

2.4 BMI、BRI、WC、WHR 对死亡风险预测能力的 ROC 曲线分析 绘制 BMI、BRI、WC、WHR 对死亡风险预测能力的 ROC 曲线, 结果显示, 各肥胖指标中, BRI 对死亡风险预测能力最高, AUC 为 0.62(95% CI = 0.60 ~ 0.64), 识别死亡风险的约登指数为 0.187, 截断值为 3.76, WHR 对死亡风险预测能力的 AUC 为 0.60(95% CI = 0.58 ~ 0.62), WC、BMI 对死亡风险预测能力的 AUC 均 < 0.60, 见图 3。

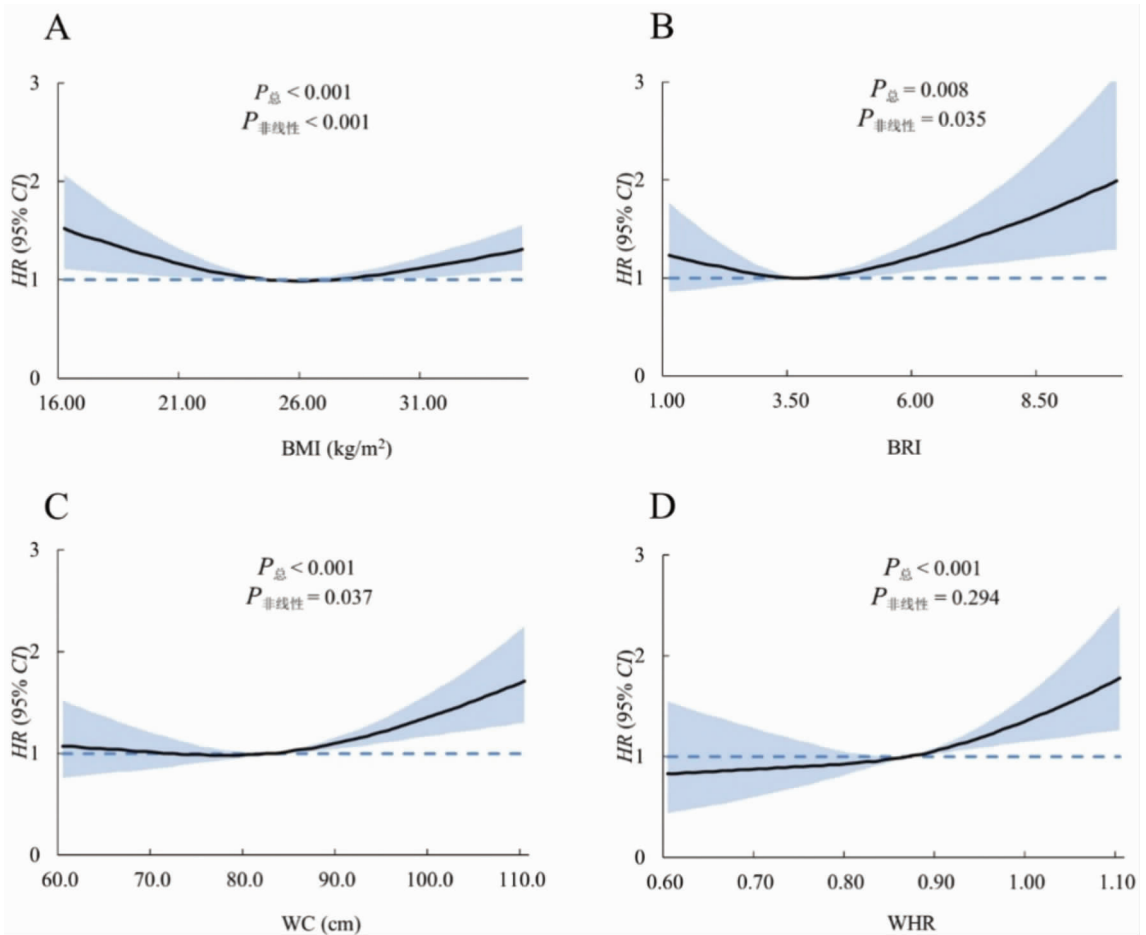
3 讨论

本研究显示, 社区人群的死亡风险随着 BRI、WC、WHR 的增加而增加。不同肥胖指标与死亡风险之间的剂量 - 反应关系不同, BMI、BRI、WC 与死亡风险呈非线性剂量 - 反应关系, WHR 与死亡风险呈线

性剂量 - 反应关系。BRI 对死亡风险预测能力最高, 优于其它几种肥胖指标。本研究的发现可为合理控制肥胖, 降低社区人群死亡风险提供依据。

本研究发现肥胖人群死亡风险升高, BMI、BRI、WC 与死亡风险呈现出 U 型的剂量 - 反应关系。既往多项报道过类似的非线性关联。一项对于 30 个队列研究的系统综述报道, BMI 与死亡风险之间呈现 U 型的剂量 - 反应关系, 且随访观察时间可能会影响剂量 - 反应关系曲线的最低点<sup>[9]</sup>。在中国人群中开展的动态队列研究显示 BRI 与全因死亡风险和心脑血管疾病死亡风险的关联呈 U 型的剂量 - 反应关系, BRI 在 3.60 处全因死亡风险最低<sup>[10]</sup>。基于美国健康与营养调查 20 年随访调查数据的研究显示, BRI 与死亡风险之间呈 U 型剂量 - 反应关系, BRI 可以作

为无创筛查工具预测成年人的死亡风险<sup>[11]</sup>。消瘦人 群死亡风险增加可能是由于疾病诊断延迟引起的残



注:校正年龄、性别、婚姻状况、居住地区、是否受教育≥9年、是否有吸烟、饮酒、体育活动习惯、是否患高血压、糖尿病、血脂异常、CRP水平。

图2 BMI、BRI、WC、WHR与死亡风险之间的剂量-反应关系 (A) BMI; (B) BRI; (C) WC; (D) WHR

Fig. 2 Multivariable adjusted spline curves for association between BMI, BRI, WC, WHR and all-cause mortality risk (A) BMI; (B) BRI; (C) WC; (D) WHR

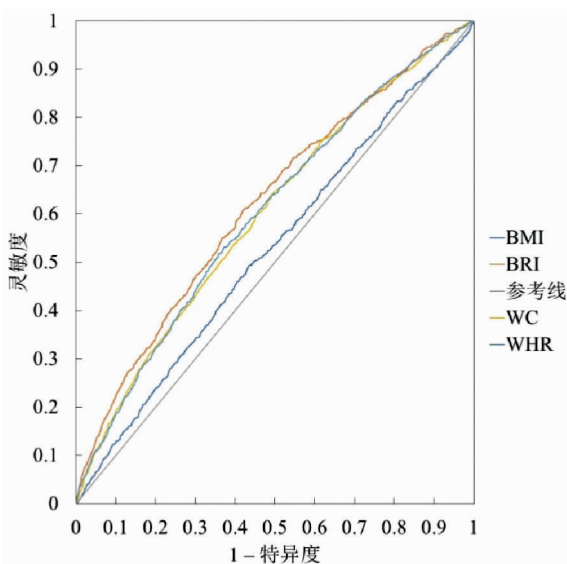


图3 BMI、BRI、WC、WHR对死亡风险预测能力的ROC曲线  
Fig. 3 ROC curve of BMI, BRI, WC, and WHR in predicting all-cause mortality risk

余误差<sup>[9]</sup>。肥胖人群死亡风险增加可能是由于脂肪细胞的增殖和肥大破坏了脂肪组织的完整性,影响代谢稳态,进而造成全身低水平炎症和胰岛素抵抗<sup>[12]</sup>。此外,脂肪积蓄可引起组织纤维化和细胞因子分泌失调等一系列反应,增加慢性病死亡风险<sup>[13]</sup>。

值得注意的是,本研究中BMI与死亡风险的关联也存在“肥胖悖论”现象,cox回归分析结果BMI升高与死亡风险的关联无统计学意义,RCS回归分析结果BMI与死亡风险之间呈现U型的剂量-反应关系,且BMI在超重范围内的人群死亡风险最低。多项随访研究报道了类似的结果,中老年女性高血压患者中,与BMI正常组对比,消瘦组全因死亡风险增加,而超重肥胖组全因死亡风险降低<sup>[14]</sup>。中老年人群BMI与癌症发病风险呈U型关联,BMI在26 kg/m<sup>2</sup>左右时癌症发病风险最低<sup>[15]</sup>。低BMI水平的慢性阻塞性肺病患者生存率低于超重人群<sup>[16]</sup>。“肥胖悖论”现象可能与BMI对健康影响的剂量-反应关系曲线特点有

关,极低或极高的 BMI 都会带来健康危害。此外, BMI 不能很好的体现体脂的含量和分布情况,可能也会影响相关的研究结果。

本研究结果显示,与 BMI、WC、WHR 相比,BRI 水平对于预测死亡风险的诊断准确性最高,与多项开展不同肥胖指标对于慢性疾病预测能力比较的研究结论一致。在美国人群中,BRI 作为独立的代谢综合征危险因素,对于代谢综合征发病风险的预测能力优于其它肥胖指标<sup>[17]</sup>。与 BMI 和 WC 相比,BRI 与心脏代谢危险因素累积显著相关,且有更好的预测能力<sup>[18]</sup>。BRI 在高血压人群中对于糖尿病风险的预测能力优于 BMI、WC、WHR 等指标<sup>[19]</sup>。原因可能是由于不同部位的脂肪积蓄造成的健康危害不同,与皮下脂肪和肝脏脂肪相比,腹部内脏脂肪组织与肥胖相关并发症的相关性更强<sup>[20]</sup>。内脏脂肪的积聚往往与胰岛素抵抗和心脏代谢疾病风险上升相关,即使在体重正常范围的人群中也是如此<sup>[21]</sup>。内脏脂肪的含量需要通过计算机断层扫描测定,在实际应用中,需要一个简单易测的反映内脏脂肪的替代指标。BRI 综合考虑了身高和 WC,对体内脂肪含量和分布,特别是腹部脂肪的描绘更为合理,与不良健康结局的关联更为紧密<sup>[22]</sup>。相比于 BMI 等传统指标,BRI 能更准确的反映内脏脂肪积蓄情况,评估 BRI 相关的死亡风险可能有助于精准的临床和公共卫生决策<sup>[11]</sup>。

本研究是在浦东新区社区自然人群中,通过多阶段分层抽样获得研究人群并开展的前瞻性队列研究。浦东新区人口数上海市之最,且地域广阔、人口老龄化明显,具有中国经济快速发展地区代表性,研究结果对于推广到上海市、乃至中国东部地区人群都有较强的公共卫生指导意义。本研究的不足之处包括:队列的中位随访观察时间 10.77 年,仍不足以充分观察肥胖对死亡风险的长期影响;基线调查时未进行去脂 BMI 指数、肌肉含量等身体成分测量,不能提供更多的体成分信息;未考虑饮食习惯、心理社会因素等混杂因素对死亡风险的影响;未考虑随访期间的体成分波动大小和变化趋势对死亡风险的影响。

综上所述,肥胖是全因死亡的重要危险因素, BMI、BRI、WC 与死亡风险呈非线性剂量-反应关系, WHR 与死亡风险呈线性剂量-反应关系。BRI 对死亡风险的预测能力优于 BMI 等传统肥胖指标。合理控制体重和脂肪分布有助于预防全因死亡,提升人群期望寿命。

**利益冲突声明** 本研究不存在任何利益冲突

## 参考文献

[1] 陶梦梦,田纬,李坤坤,等.中国分地区人口死因状况及去死因期望寿命分析[J].中华疾病控制杂志,2024,28(3):256-261,

268.

Tao MM, Tian W, Li KK, et al. Analysis of mortality status and cause-eliminated Life expectancy by region in China[J]. Chinese Journal of Disease Control & Prevention, 2024, 28(3): 256-261, 268. (In Chinese)

- [2] Tutor AW, Lavie CJ, Kachur S, et al. Updates on obesity and the obesity paradox in cardiovascular diseases [J]. Progress in Cardiovascular Diseases, 2023, 78: 2-10.
- [3] Dramé M, Godaert L. The obesity paradox and mortality in older adults: a systematic review[J]. Nutrients, 2023, 15(7): 1780.
- [4] Ke JF, Wang JW, Lu JX, et al. Waist-to-height ratio has a stronger association with cardiovascular risks than waist circumference, waist-hip ratio and body mass index in type 2 diabetes[J]. Diabetes Research and Clinical Practice, 2022, 183: 109151.
- [5] Thomas DM, Bredlau C, Bosity-Westphal A, et al. Relationships between body roundness with body fat and visceral adipose tissue emerging from a new geometrical model [J]. Obesity, 2013, 21(11): 2264-2271.
- [6] Qiu L, Xiao Z, Fan B, et al. Association of body roundness index with diabetes and prediabetes in US adults from NHANES 2007-2018: a cross-sectional study[J]. Lipids in Health and Disease, 2024, 23(1): 252.
- [7] Li Y, He YM, Yang L, et al. Body roundness index and Waist-Hip ratio result in better cardiovascular disease risk stratification: results from a large Chinese Cross-Sectional study[J]. Frontier in Nutrition, 2022, 9: 801582.
- [8] Ke JZ, Lin T, Liu XL, et al. Glucose intolerance and cancer risk: a Community-Based prospective cohort study in Shanghai, China [J]. Frontiers in Oncology, 2021, 11: 726672.
- [9] Aune D, Sen A, Prasad M, et al. BMI and all cause mortality: systematic review and non-linear dose-response meta-analysis of 230 cohort studies with 3.74 million deaths among 30.3 million participants[J]. BMJ, 2016, 353: i2156.
- [10] Ding JC, Chen XJ, Shi Z, et al. Association of body roundness index and its trajectories with all-cause and cardiovascular mortality among a Chinese middle-aged and older population: A retrospective cohort study [J]. Frontiers in Public Health, 2023, 11: 1107158.
- [11] Zhang XQ, Ma N, Lin QS, et al. Body roundness index and All-Cause mortality among US adults[J]. JAMA Network Open, 2024, 7(6): e2415051.
- [12] Wiebe N, Lloyd A, Crumley ET, et al. Associations between body mass index and all-cause mortality: A systematic review and meta-analysis[J]. Obesity Reviews, 2023, 24(10): e13588.
- [13] Gliniak CM, Pedersen L, Scherer PE. Adipose tissue fibrosis: the unwanted houseguest invited by obesity [J]. Journal of Endocrinology, 2023, 259(3): e230180.
- [14] 杨文艳,李靓,田晶,等.中老年女性高血压患者相对脂肪质量指数与全因死亡风险的因果关联研究[J].中华疾病控制杂志,2024,28(10):1149-1155.
- Yang WY, Li L, Tian J, et al. Causal association study of relative fat mass index and risk of all-cause death in middle-aged and elderly women with hypertension [J]. Chinese Journal of Disease Control & Prevention, 2024, 28(10): 1149-1155. (In Chinese)
- [15] 郭欣玥,彭佳欢,许慧琳,等.高血压人群年龄及体重指数对癌症发病共同作用的回顾性队列研究[J].复旦学报:医学版,2024,51(1):12-18.
- Guo XY, Peng JH, Xu HL, et al. The role of age and body mass

- index on cancer occurrence in a hypertensive population: a retrospective cohort study[J]. Fudan University Journal of Medical Sciences, 2024, 51(1): 12-18. (In Chinese)
- [16] Ji ZC, De miguel - Díez J, Castro - Riera CR, et al. Differences in the outcome of patients with COPD according to body mass index [J]. Journal of Clinical Medicine, 2020, 9(3): 710.
- [17] Li ZH, Fan CH, Huang J, et al. Non - linear relationship between the body roundness index and metabolic syndrome: data from National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES) 1999 - 2018 [J]. British Journal of Nutrition, 2024, 131(11): 1852 - 1859.
- [18] Xu JJ, Zhang LQ, Wu Q, et al. Body roundness index is a superior indicator to associate with the cardio - metabolic risk: evidence from a cross - sectional study with 17,000 Eastern - China adults[J]. BMC Cardiovascular Disorders, 2021, 21(1): 97.
- [19] Liu YS, Liu XC, Guan HX, et al. Body roundness index is a superior obesity index in predicting diabetes risk among hypertensive patients: a prospective cohort study in China [J]. Frontiers in Cardiovascular Medicine, 2021, 8: 736073.
- [20] Emamat H, Jamshidi A, Farhadi A, et al. The association between the visceral to subcutaneous abdominal fat ratio and the risk of cardiovascular diseases: a systematic review [J]. BMC Public Health, 2024, 24(1): 1827.
- [21] Sakers A, De siqueira MK, Seale P, et al. Adipose - tissue plasticity in health and disease [J]. Cell, 2022, 185(3): 419 - 446.
- [22] Schweitzer K. Could the body roundness index one day replace the BMI? [J]. JAMA, 2024, 332(16): 1317 - 1318.
- 收稿日期:2025-01-08
- 
- (上接第 3323 页)
- [10] 中华人民共和国卫生部,中国国家标准化管理委员会. GB 5749 - 2022 生活饮用水卫生标准[S]. 北京:中国标准出版社, 2022.  
Ministry of Health of the PR China. GB 5749 - 2022 Standards for drinking water quality [S]. Beijing: Standards Press of China, 2022. (In Chinese)
- [11] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. WS/T 777 - 2021 化学物质环境健康风险评估技术指南[S]. 北京:中国标准出版社, 2021.  
National Health Commission of the People's Republic of China. WS/T 777 - 2021 Technical guide for environmental health risk assessment of chemical exposure [S]. Beijing: Standards Press of China, 2021. (In Chinese)
- [12] IARC. Agents classified by the IARC Monographs, Volumes 1 - 133 [EB/OL]. [2025 - 07 - 03]. <http://monographs.iarc.fr/agents-classifiedby-the-iarc>.
- [13] USEPA. Integrated risk information system [EB/OL]. [2025 - 07 - 03]. <http://www.epa.gov/iris>.
- [14] 中国环境保护部. 中国人群暴露参数手册(成人卷)[M]. 北京:中国环境出版社,2013.  
Ministry of Environmental Protection. Exposure factors handbook of Chinese population - Adults [M]. Beijing: China Environmental Press, 2013. (In Chinese)
- [15] 温馨. 我国重点流域和重点地区饮用水中全氟化合物污染水平调查研究[D]. 北京:中国疾病预防控制中心,2020.  
Wen X. Investigation on the pollution level of perfluorinated compounds in drinking water in key river basins and regions in China [D]. Beijing: Chinese Center for Disease Control and Prevention, 2020. (In Chinese)
- [16] 施静,夏瑜,许红睿,等. 苏州市饮用水中全氟辛酸与全氟辛酸磺酸浓度分析及健康风险评估[J]. 食品安全导刊,2024(20): 39 - 43.  
Shi J, Xia Y, Xu HR, et al. Concentration analysis and health risk assessment of perfluorooctanoic acid and perfluorooctane sulfonate in drinking water in Suzhou [J]. China Food Safety Magazine, 2024(20): 39 - 43. (In Chinese)
- [17] 刘俊玲,肖永华,胡迅,等. 武汉市饮用水中全氟辛酸磺酸和全氟辛酸健康风险评估[J]. 卫生研究,2015,44(1):135 - 136.  
Liu JL, Xiao YH, Hu X, et al. Health risk assessment of perfluorooctane sulfonate and perfluorooctanoic acid in drinking water in Wuhan City [J]. Journal of Hygiene Research, 2015, 44(1): 135 - 136. (In Chinese)
- [18] 周秀娟,盛南,王建设,等. 全氟和多氟化合物替代品的研究进展[J]. 生态毒理学报,2017,12(3):3 - 12.  
Zhou XJ, Sheng N, Wang JS, et al. The current research status of several kinds of fluorinated alternatives [J]. Asian Journal of Ecotoxicology, 2017, 12(3): 3 - 12. (In Chinese)
- [19] 蔡宏铨,裴赛峰,张昀,等. 我国城市饮用水中 N - 亚硝基二甲胺分布水平与健康风险评估[J]. 环境与职业医学,2021,38(11):1231 - 1236.  
Cai HQ, Pei SF, Zhang Y, et al. Distribution and health risk assessment of N - nitrosodimethylamine in urban drinking water in China [J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2021, 38(11): 1231 - 1236. (In Chinese)
- [20] 罗曼. 长江流域部分地区饮用水中二甲基亚硝胺现状及其健康风险评估[D]. 北京:中国疾病预防控制中心,2020.  
Luo M. Occurrence and health risk assessment of dimethylnitrosamine in drinking water in parts of the Yangtze River Basin, China [D]. Beijing: Chinese center for disease control and prevention, 2020. (In Chinese)
- [21] World Health Organization. 2008. N - nitrosodimethylamine in drinking - water; background document for development of WHO Guidelines for Drinking - water Quality [R]. Geneva: WHO, 2008.
- [22] Wang L, Wang Z, Liu JN, et al. Deriving the freshwater quality criteria of BPA, BPF and BPAF for protecting aquatic Life [J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2018, 164: 713 - 721.
- [23] 杨文韬,匡武,郑西强. 邻苯二甲酸酯类化合物在环境中的污染现状及生态风险研究进展[J]. 环境保护与循环经济,2020,40(2):34 - 40, 60.  
Yang WT, Kuang W, Zheng XQ. Research progress on pollution status and ecological risks of phthalates in the environment [J]. Liaoning Urban and Rural Environmental Science & Technology, 2020, 40(2): 34 - 40, 60. (In Chinese)
- [24] Konno Y, Suzuki H, Kudo H, et al. Synthesis and properties of Fluorine containing poly(ether)s with pendant hydroxyl groups by the polyaddition of bis(oxetane)s and bisphenol AF [J]. Polymer Journal, 2004, 36(2): 114 - 122.
- [25] 王若男,史懿,胥倩,等. 四川省地市级饮用水源地全氟化合物污染状况调查研究[J]. 环境化学,2025,44(10):1 - 11.  
Wang RN, Shi Z, Xu Q, et al. Occurrence of perfluoroalkyl substances in drinking water sources at prefecture and municipal levels in Sichuan Province [J]. Environmental Chemistry, 2025, 44(10): 1 - 11. (In Chinese)
- 收稿日期:2025-04-14