

中国内脏脂肪指数对中老年人群肌少症发病的相关性：一项基于 CHARLS 的前瞻性队列研究

柴金莲¹, 杨曦², 赵月^{1,3}, 李广政⁴, 周岩清¹, 梁学振⁴, 于华芸^{1*}

¹山东中医药大学中医学院, 山东济南 250355; ²新疆军区总医院中心实验科, 新疆乌鲁木齐 830092; ³山东中医药大学实验中心, 山东济南 250355; ⁴山东中医药大学第一临床医学院, 山东济南 250014

[中图分类号] R685; R589.2 [文献标志码] A [DOI] 10.11855/j.issn.0577-7402.0189.2026.0630

[声明] 本文所有作者声明无利益冲突

[引用本文] 柴金莲, 杨曦, 赵月等. 中国内脏脂肪指数对中老年人群肌少症发病的相关性: 一项基于 CHARLS 的前瞻性队列研究[J]. 解放军医学杂志, DOI:10.11855/j.issn.0577-7402.0189.2026.0630.

[收稿日期] 2026-01-25 [录用日期] 2026-06-03 [上线日期] 2026-06-30

[摘要] **目的** 探讨中国内脏脂肪指数(CVAI)与老年人群新发肌少症风险之间的前瞻性关联。**方法** 基于中国健康与养老追踪调查(CHARLS), 纳入2011年基线时无肌少症的4570名研究对象, 平均年龄为57.3岁, 其中女性占46.9%。采用亚洲肌少症工作组(AWGS)2019年诊断标准, 于第4年随访(2015年)时判定肌少症新发。肌少症新发定义为: 骨骼肌量减少(通过生物电阻抗分析法测定)且合并肌力下降或身体功能受损。采用多因素logistic回归模型, 评估基线CVAI每增加1个四分位距(IQR)与肌少症新发风险的关系, 调整年龄、性别、受教育程度、居住地区、婚姻状况、吸烟状况、饮酒情况、夜间睡眠时间、收缩压和舒张压等混杂因素。采用限制性立方样条(RCS)探索剂量-反应关系; 通过计算Nagelkerke R^2 比较评估CVAI的增量预测价值。此外, 通过敏感性分析(排除CVAI<50者)及亚组分析检验结果的稳健性, 并采用1000次Bootstrap重抽样进行内部验证。**结果** 在4年随访期间, 共287例发生肌少症(发生率6.3%)。在完全调整模型中, 与CVAI较低者相比, CVAI较高者肌少症新发风险降低($OR=0.23$, 95%CI 0.18~0.30, $P<0.001$)。RCS分析提示两者呈近似线性负相关关系($P_{非线性}=0.173$)。在传统协变量模型中加入CVAI后, 模型预测能力提高, Nagelkerke R^2 由0.173提升至0.255(增量为0.081, 似然比检验 $P<0.001$)。敏感性分析在排除CVAI<50人群后结果依然稳健($OR=0.21$, 95%CI 0.15~0.28)。Bootstrap内部验证结果与主分析高度一致(Bootstrap $OR=0.232$, 95%BCa CI 0.181~0.304), 进一步证实了结果的可靠性。亚组分析及交互作用检验显示, 性别($P_{交互}=0.104$)和年龄($P_{交互}=0.532$)均未对该关联产生修饰作用。**结论** 在中国中老年人群中, 较高的CVAI与肌少症新发风险呈独立的负相关关系。CVAI可作为一种简便、易获得的早期风险识别工具, 为通过维持代谢健康以预防肌少症提供参考。

[关键词] 肌少症; 中国内脏脂肪指数; 内脏脂肪; 代谢储备; 前瞻性队列研究

Association between the Chinese visceral adiposity index for incident sarcopenia in middle-aged and older adults: a prospective cohort study based on the China Health and Retirement Longitudinal Study (CHARLS)

Chai Jin-Lian¹, Yang Xi², Zhao Yue^{1,3}, Li Guang-Zheng⁴, Zhou Yan-Qing¹, Liang Xue-Zhen⁴, Yu Hua-Yun^{1*}

¹College of Traditional Chinese Medicine, ²Experimental Center, Shandong University of Traditional Chinese Medicine, Jinan, Shandong 250355, China,

³Central Laboratory Department, General Hospital of Xinjiang Military Region, Urumqi, Xinjiang 830092, China

⁴First College of Clinical Medicine, Shandong University of Traditional Chinese Medicine, Jinan, Shandong 250014, China

*Corresponding author, E-mail: yuhuayunfish@163.com

[基金项目] 山东省自然科学基金面上项目(ZR2025MS1452); 济南市市校融合发展战略工程项目(JNSX2024019); 山东中医药大学2025年度临床科研专项(XK2025SLK19)

[作者简介] 柴金莲, 博士研究生, 主要从事方剂药效物质的基础及作用机制研究

[通信作者] 于华芸, E-mail: yuhuayunfish@163.com

This work was supported by the Shandong Provincial Natural Science Foundation (ZR2025MS1452), the Jinan Municipal University-City Integration Development Strategy Project (JNSX2024019), and the Shandong University of Traditional Chinese Medicine 2025 Clinical Research Special Project (XK2025LK19)

[Abstract] Objective To investigate the prospective association between the Chinese visceral adiposity index (CVAI) and the risk of incident sarcopenia in older adults. **Methods** We conducted an analysis of 4,570 participants from the China Health and Retirement Longitudinal Study (CHARLS) who were free from sarcopenia at baseline (2011), with a mean age of 57.3 years and 46.9% being female. Employing the 2019 Asian Working Group for Sarcopenia (AWGS) criteria, incident sarcopenia was diagnosed at the 4-year follow-up (2015), defined as the concurrent presence of reduced appendicular skeletal muscle mass (assessed by bioelectrical impedance analysis) along with either decreased handgrip strength or impaired physical performance. Multivariable logistic regression was applied to estimate the odds ratio (OR) of incident sarcopenia per interquartile range (IQR) increase in the baseline CVAI, with adjustments for age, sex, education level, residential area, marital status, smoking habits, alcohol consumption, sleep duration, and systolic/diastolic blood pressure. Restricted cubic spline (RCS) analysis was used to explore the dose-response relationship, and the incremental predictive value of CVAI was assessed by calculating Nagelkerke R^2 . Furthermore, the robustness of the results was examined through sensitivity analysis (excluding participants with CVAI<50) and subgroup analysis, while internal validation was performed using 1,000 bootstrap resamples. **Result** During the 4-year follow-up period, 287 individuals developed sarcopenia (incidence rate: 6.3%). In the fully adjusted model, a higher CVAI was associated with a significantly lower risk of incident sarcopenia compared to a lower CVAI (OR=0.23; 95%CI 0.18-0.30; $P<0.001$). RCS analysis indicated an approximately linear inverse association between CVAI and incident sarcopenia (P for non-linearity=0.173). Incorporating CVAI into the traditional covariate model improved predictive performance, with the Nagelkerke R^2 increasing from 0.173 to 0.255 ($\Delta R^2=0.081$, likelihood ratio test $P<0.001$). The results remained robust in the sensitivity analysis after excluding participants with CVAI<50 (OR=0.21, 95%CI 0.15-0.28). Bootstrap internal validation yielded results highly consistent with the primary analysis (Bootstrap OR=0.232, 95% BCa CI 0.181-0.304), further confirming the reliability of the findings. Subgroup and interaction analyses revealed that neither sex (P for interaction=0.104) nor age (P for interaction=0.532) significantly modified this association. **Conclusion** Among the middle-aged and elderly Chinese population, a higher CVAI, a surrogate indicator of metabolically functional visceral adipose tissue, is independently and negatively correlated with the new-onset risk of sarcopenia. The findings suggest that metabolic reserve, rather than simply being "emaciated", may be associated with organismal resilience during muscle aging. CVAI may serve as a simple and readily accessible tool for early risk identification, providing a reference for sarcopenia prevention through maintaining metabolic health. The results also indicate that evaluating health solely based on body weight or body shape may have limitations, and maintaining sufficient metabolic reserve may be of great significance for preserving muscle function.

[Key words] Sarcopenia; Chinese visceral adiposity index; visceral adiposity; metabolic reserve; prospective cohort study

肌少症是一种以骨骼肌量进行性减少、肌力下降及身体功能受损为特征的老年综合征，其显著增加跌倒、骨折、功能依赖、住院甚至死亡的风险^[1-5]。流行病学调查显示，社区老年人中肌少症的患病率为5%~15%，且随年龄增长而显著升高^[6]。随着我国人口老龄化进程不断加快，60岁以上人群已占总人口的18%，预计到2050年将上升至39%^[7-9]。肌少症已成为严重威胁老年人健康及社会可持续发展的重要公共卫生问题^[10-11]。传统观点认为，低体重或低脂肪量是肌少症发生的重要危险因素，因此体重指数 (body mass index, BMI) 或腰围 (waist circumference, WC) 常被用于肌少症的筛查。然而，这类指标难以区分肌肉组织与脂肪组织在“质量”层面的差异，也无法反映脂肪组织的代谢功能状态^[12-13]。近年来，多项研究在老年人中观察到所谓的“肥胖悖论”现象，即较高的BMI或体脂水平反而与较低的功能衰退风险和死亡风险相关^[14-16]。该现象提示，脂肪组织并非单纯的“代谢负担”，而

可能作为一种关键的代谢储备，在机体应激及衰老过程中发挥重要的保护作用^[17-19]。脂肪组织是一种高度活跃的内分泌器官，可通过分泌脂肪因子、脂质介质及外泌体miRNA，与骨骼肌之间形成复杂的双向调控网络，从而调节肌肉蛋白合成、分解及能量代谢过程^[20-24]。然而，现有研究多依赖单一的人体测量指标 (如BMI或WC)，难以全面反映内脏脂肪组织的代谢异质性；同时，绝大多数证据来源于横断面研究，缺乏对肌少症新发风险的前瞻性评估^[25]。

近年来提出的中国内脏脂肪指数 (Chinese visceral adiposity index, CVAI) 是一种整合WC、BMI、甘油三酯 (triglycerides, TG) 及高密度脂蛋白胆固醇 (high-density lipoprotein cholesterol, HDL-C) 等参数的复合指标，研究证实其能够较传统指标更准确地反映内脏脂肪的代谢活性，并在预测糖尿病、心血管疾病及全因死亡风险方面具有更优的预测效能^[26-29]。然而，CVAI与肌少症之间的前瞻性关联尚未在任何人群中得到验证。对于正经历“营养转型”的中国

中老年人群而言,这一问题尤为重要,该人群常具有早期营养不足史,而在中老年阶段又面临较高的代谢性疾病负担。基于此,本研究利用具有全国代表性的中国健康与养老追踪调查(China Health and Retirement Longitudinal Study, CHARLS)前瞻性队列数据,探讨 ≥ 45 岁中国成年人基线CVAI与4年随访期间肌少症新发风险之间的独立关联,并进一步分析其剂量-反应关系及是否存在阈值效应,同时评估CVAI在传统危险因素基础上的增量预测价值,以期为肌少症的临床诊治提供参考。

1 资料与方法

1.1 研究对象与研究设计 本研究采用前瞻性队列研究设计,数据来源于CHARLS数据库。CHARLS是一项面向中国 ≥ 45 岁非机构化人群的全国性纵向调查项目^[30-31],由北京大学国家发展研究院组织实施。基线调查于2011年开展,后续分别于2013、2015、2018和2020年进行随访。该调查采用多阶段、分层、概率抽样方法,在全国28个省(自治区、直辖市)的150个县(区)进行抽样,样本在城乡分布、地理区域及人口学结构方面具有良好的全国代表性。有关CHARLS的抽样方法、问卷设计及质量控制流程已在既往文献^[32-34]中详细描述。本研究使用CHARLS公开的匿名化数据。CHARLS研究方案已通过北京大学生物医学伦理委员会审批(IRB00001052-11015)。由于本研究为二次数据分析,且不涉及任何可识别个人身份的信息,故未进行额外伦理审查。

本研究以2011年调查数据作为基线,随访至2015年,用于观察肌少症的新发情况。纳入标准:(1)参与CHARLS 2011年基线调查,且年龄 ≥ 45 岁的非机构化居住人群;(2)参与了2015年随访调查。排除标准:(1)基线时已诊断为肌少症;(2)基线时正在使用降脂药物;(3)缺失BMI数据或BMI值不在合理生理范围内(< 12 或 > 60 kg/m²);(4)缺失关键研究变量。最终,共纳入基线无肌少症且资料完整的研究对象4570名,进入为期4年的前瞻性分析。

1.2 肌少症的定义与判定 本研究采用亚洲肌少症工作组(Asian Working Group for Sarcopenia, AWGS)2019年共识中提出的肌少症诊断标准^[35]。该标准从骨骼肌量、肌力及身体功能3个维度对肌少症进行综合评估。低骨骼肌量定义为:通过生物电阻抗分析法(bioelectrical impedance analysis, BIA)测定的附肢骨骼肌量指数(appendicular skeletal muscle mass index, ASMI),男性 < 6.88 kg/m²,女性 < 5.69 kg/m²。低肌力定义为:双手各测定2次握力,取双手最大值的平均数,男性 < 28 kg,女性 < 18 kg。身体功能受损定义为符合以下任一条件:(1)完成5次起坐测试所需时

间 > 12 s;(2)4 m步行速度 < 1.0 m/s^[36]。

根据上述标准,将研究对象分为以下4类。(1)无肌少症:无低骨骼肌量;(2)可能肌少症:存在低骨骼肌量,但肌力及身体功能正常;(3)肌少症:低骨骼肌量合并低肌力或身体功能受损;(4)重度肌少症:低骨骼肌量同时合并低肌力及身体功能受损。

肌少症新发定义为:研究对象在2011年基线时为“无肌少症”或“可能肌少症”,而在2015年随访时进展为“肌少症”或“重度肌少症”。根据是否新发肌少症将研究对象分为未发组与新发组。肌少症新发定义诊断流程见图1。

1.3 暴露因素:CVAI的测定 本研究的主要暴露因素为基线(2011年)CVAI。CVAI为一项经验证的综合指标,由WC、BMI、TG及HDL-C等变量计算得出。为便于结果解释及比较,CVAI按研究样本的四分位距(interquartile range, IQR)进行标准化,构建“CVAI每增加1个IQR”变量,用于表示CVAI每增加1个IQR时肌少症发生风险的变化。

CVAI的计算公式:男性 $CVAI = -267.93 + 0.68 \times \text{年龄} + 0.03 \times \text{BMI} + 4.00 \times \text{WC} + 22.00 \times \log_{10}(\text{TG}) - 16.32 \times \text{HDL-C}$;女性 $CVAI = -187.32 + 1.71 \times \text{年龄} + 4.23 \times \text{BMI} + 1.12 \times \text{WC} + 39.76 \times \log_{10}(\text{TG}) - 11.66 \times \text{HDL-C}$ 。其中,WC单位为cm,BMI单位为kg/m²,TG及HDL-C单位均为mg/dl。

1.4 协变量的选取 协变量的选取基于生物学合理性及既往相关研究结果。人口学变量包括年龄(岁)、性别、受教育程度(小学及以下、初中/高中、大专及以上)、居住地区(城镇/农村)及婚姻状况(已婚、未婚/分居/丧偶)。生活方式因素包括吸烟状况(从不吸烟、既往吸烟、当前吸烟)、饮酒情况(从不饮酒、 < 1 次/月、 ≥ 1 次/月)及夜间睡眠时间。临床指标包括收缩压和舒张压(mmHg,取2次测量的平均值)。其中,WC、BMI、TG及HDL-C为CVAI的组成成分,故在多因素回归模型中不再作为独立协变量纳入,以避免过度调整。

1.5 CVAI与肌少症新发风险的关联分析 采用多因素logistic回归模型分析CVAI与肌少症新发风险之间的关联,计算比值比(odds ratio, OR)及其95%置信区间(confidence interval, CI)。依次构建以下3个模型:模型1(未调整模型)、模型2(调整人口学因素)、模型3(在模型2基础上进一步调整生活方式因素及血压指标)。为评估剂量-反应关系,将CVAI按四分位数分为 $Q_1 \sim Q_4$ 组(以 Q_1 为参照),并将四分位数字号作为连续变量进行趋势检验。

1.6 CVAI与肌少症新发风险的非线性关系及阈值效应分析 采用限制性立方样条(restricted cubic spline, RCS)模型探讨CVAI与肌少症新发风险之间的非线

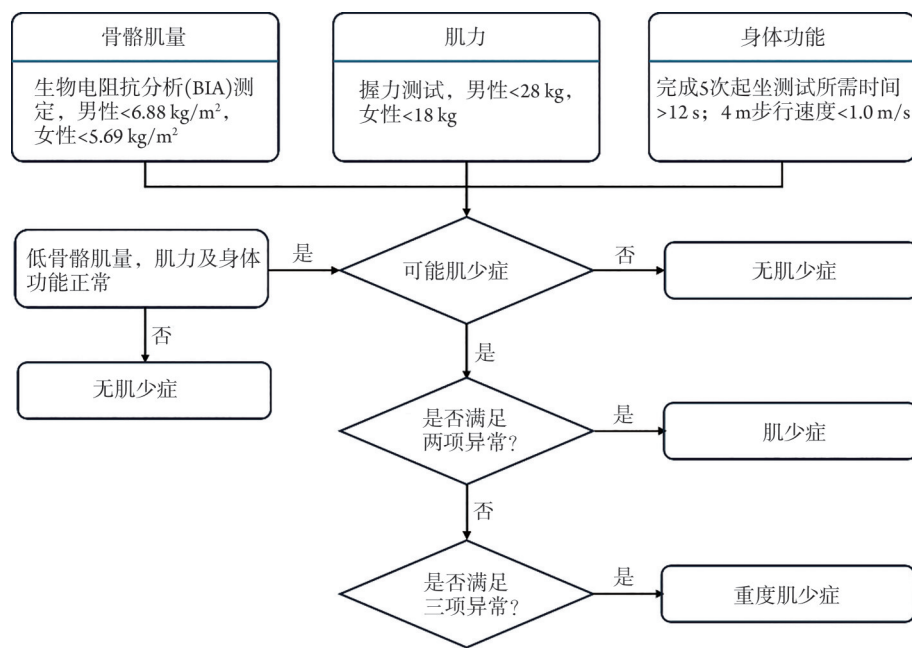


图1 肌少症新发定义亚洲肌少症工作组(AWGS)2019诊断流程

Fig.1 Sarcopenia new definition Asian Working Group for Sarcopenia (AWGS) 2019 diagnostic flowchart

性关系, 设置4个节点, 并通过似然比检验比较线性模型与非线性模型。为降低潜在反向因果及极端值的影响, 进一步排除 CVAI<50 的研究对象进行敏感性分析, 该阈值通常代表极低内脏脂肪及异常血脂谱, 提示严重营养不良或虚弱状态。采用似然比检验及 Nagelkerke R^2 变化评估 CVAI 在传统危险因素基础上的增量预测价值。通过边际效应分析展示不同年龄层中 CVAI 与肌少症新发概率的关系。在完全调整模型中分别加入 “CVAI×性别” 和 “CVAI×年龄 (连续变量)” 交互项, 以检验性别和年龄对 CVAI 与肌少症关联的修饰作用。

1.7 CVAI、BMI 与 WC 预测效能的比较 采用受试者操作特征(ROC)曲线比较 CVAI、BMI 及 WC 对肌少症新发风险的预测效能, 使用 DeLong 检验比较 AUC 的差异, 并通过 Hosmer-Lemeshow 检验评估模型拟合优度。

1.8 Bootstrap 内部验证 为评估模型的稳健性, 本研究采用 Bootstrap 重抽样法进行内部验证。设置随机种子(Seed=123)以保证结果可重复性, 基于原始数据集进行 1000 次有放回抽样。在每次抽样生成的 “伪数据集” 上, 重新拟合完全调整逻辑回归模型 (调整人口学因素、生活方式因素及血压指标)。提取每次拟合中 CVAI_per_IQR 的回归系数, 并利用 BCa(Bias-Corrected and Accelerated)法计算 95%CI。

1.10 统计学处理 采用 R 软件(版本 4.4.1)进行统计分析。计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 组间比较采用独立样本 t 检验; 计数资料以例(%)表示, 组间比较采用 χ^2 检验。所有检验均为双侧检验, $P < 0.05$ 为差异有统计

学意义。

2 结果

2.1 研究对象及基线特征 本研究基于 2011 年 CHARLS 数据, 在 16 931 名年龄 ≥ 45 岁的调查对象中, 依次排除以下人群: (1)基线时已诊断为肌少症者 ($n=3377$); (2)正在使用降脂药物者 ($n=726$); (3)BMI 缺失或数值不在合理生理范围内者 ($n=3848$); (4)缺失关键研究变量者 ($n=4410$)。最终纳入 4570 名基线无肌少症且资料完整的研究对象, 进入为期 4 年的前瞻性分析, 基线特征详见表 1。

在 2015 年随访时, 共新发肌少症 287 例(发生率 6.3%), 未发生 4283 例。与未发组相比, 新发组年龄较大、女性比例较高、受教育程度较低, 且未婚/分居/丧偶比例较高 ($P < 0.001$)。生活方式方面, 两组吸烟状况差异无统计学意义 ($P=0.144$), 但新发组从不饮酒者比例较高、夜间睡眠时间较短 ($P < 0.001$)。代谢指标方面, 新发组 CVAI 及其组分 BMI、WC 均明显较低, HDL-C 水平明显较高 ($P < 0.001$), TG 水平差异无统计学意义 ($P=0.154$)。此外, 新发组 CVAI 分布明显偏低, 仅 16.7% 位于 Q_4 组(未发病组为 25.5%), 超 60% 集中于 Q_1 和 Q_2 组; 两组城乡分布及收缩压差异无统计学意义 ($P > 0.05$), 但新发组舒张压较低 ($P < 0.001$) (表 1)。

2.2 CVAI 与肌少症新发风险的关联分析 多因素 logistic 回归分析结果显示, CVAI 与肌少症新发风险呈负相关 ($OR=0.23$, 95%CI 0.18~0.30, $P < 0.001$)。在未调整模型中, CVAI 每增加 1 个 IQR, 肌少症发生

表 1 按肌少症新发状态分层的研究对象基线特征
Tab.1 Baseline characteristics of the analytic cohort by incident sarcopenia status

项目	总体(n=4570)	未发组(n=4283)	新发组(n=287)	P
年龄(岁, $\bar{x}\pm s$)	57.3 $\pm$ 8.2	56.8 $\pm$ 8.0	64.4 $\pm$ 7.7	<0.001
性别[例(%)]				<0.001
女	2142(46.9)	1974(46.1)	168(58.5)	
男	2428(53.1)	2309(53.9)	119(41.5)	
受教育程度[例(%)]				<0.001
大专及以上	133(2.9)	125(2.9)	8(2.8)	
初中/高中	1375(30.1)	1339(31.3)	36(12.5)	
小学及以下	3062(67.0)	2819(65.8)	243(84.7)	
居住地区[例(%)]				0.395
城镇	776(17.0)	733(17.1)	43(15.0)	
农村	3794(83.0)	3550(82.9)	244(85.0)	
婚姻状况[例(%)]				<0.001
已婚	4176(91.4)	3941(92.0)	235(81.9)	
未婚/分居/丧偶	394(8.6)	342(8.0)	52(18.1)	
吸烟状况[例(%)]				0.144
当前吸烟	1506(33.0)	1421(33.2)	85(29.6)	
既往吸烟	426(9.3)	405(9.5)	21(7.3)	
从不吸烟	2638(57.7)	2457(57.4)	181(63.1)	
饮酒状况[例(%)]				<0.001
<1次/月	418(9.1)	405(9.5)	13(4.5)	
$\geq$ 1次/月	1103(24.1)	1052(24.6)	51(17.8)	
从不饮酒	3049(66.7)	2826(66.0)	223(77.7)	
夜间睡眠时间(h, $\bar{x}\pm s$)	6.5 $\pm$ 1.8	6.5 $\pm$ 1.8	6.1 $\pm$ 2.0	<0.001
收缩压(mmHg, $\bar{x}\pm s$)	129.2 $\pm$ 20.6	129.1 $\pm$ 20.5	130.9 $\pm$ 22.0	0.148
舒张压(mmHg, $\bar{x}\pm s$)	76.0 $\pm$ 12.1	76.2 $\pm$ 12.1	72.8 $\pm$ 11.3	<0.001
BMI(kg/m ² , $\bar{x}\pm s$)	24.7 $\pm$ 3.4	24.8 $\pm$ 3.4	22.9 $\pm$ 3.6	<0.001
WC(cm, $\bar{x}\pm s$)	87.2 $\pm$ 11.2	87.5 $\pm$ 11.3	82.7 $\pm$ 9.0	<0.001
TG(mg/dl, $\bar{x}\pm s$)	138.6 $\pm$ 115.0	139.3 $\pm$ 116.2	129.3 $\pm$ 93.9	0.154
HDL-C(mg/dl, $\bar{x}\pm s$)	49.4 $\pm$ 14.2	49.1 $\pm$ 14.1	52.8 $\pm$ 15.5	<0.001
CVAI($\bar{x}\pm s$)	103.7 $\pm$ 39.1	104.4 $\pm$ 39.0	94.4 $\pm$ 38.9	<0.001
CVAI四分位数[例(%)]				
Q ₁	1143(25.0)	1057(24.7)	86(30.0)	0.001
Q ₂	1143(25.0)	1055(24.6)	88(30.7)	
Q ₃	1142(25.0)	1077(25.1)	65(22.6)	
Q ₄	1142(25.0)	1094(25.5)	48(16.7)	

BMI. 体重指数; WC. 腰围; TG. 甘油三酯; HDL-C. 高密度脂蛋白胆固醇; CVAI. 中国内脏脂肪指数; Q₁~Q₄. CVAI四分位数(由低到高)

风险降低 30%(OR=0.70, 95%CI 0.59~0.83)。在调整人口学因素后, 该关联进一步增强(OR=0.22, 95%CI 0.17~0.29)。在进一步调整生活方式因素及血压指标后的完全调整模型中, CVAI每增加1个IQR, 肌少症新发风险降低 77%(OR=0.23, 95%CI 0.18~0.30, P<0.001)。

将CVAI按四分位数分组后(以Q₁为参照), 可观察到明确的剂量-反应关系。在完全调整模型中,

Q₂、Q₃及Q₄组肌少症新发风险均低于Q₁组, 其中Q₄组风险最低(OR=0.07, 95%CI 0.04~0.12, P<0.001)。随着CVAI四分位数升高, 肌少症新发风险呈逐级下降趋势, 趋势检验结果有统计学意义(P_{趋势}<0.001)(表2)。上述结果提示, CVAI越高, 肌少症新发风险越低, 且呈稳定的线性递减关系。

2.3 非线性关系及阈值效应分析 为探讨CVAI与肌少症新发风险之间是否存在非线性关系, 采用

表2 CVAI与4年随访期间肌少症新发风险的多因素调整关联分析(n=4570)

Tab.2 Multivariable-adjusted associations of CVAI with incident sarcopenia over 4-year follow-up (n=4570)

暴露因素	病例数/总人数	OR(95%CI)	P
CVAI(连续变量,每增加1个四分位距)	287/4570	0.23(0.18~0.30)	<0.001
CVAI四分位数(Q _i 为参照)			
Q ₁	86/1143	1.00(参照)	—
Q ₂	88/1143	0.55(0.39~0.79)	0.001
Q ₃	65/1142	0.23(0.15~0.35)	<0.001
Q ₄	48/1142	0.07(0.04~0.12)	<0.001
P趋势	—	—	<0.001

“—”表示不适用；多因素模型调整年龄、性别、受教育程度、居住地区、婚姻状况、吸烟状况、饮酒状况、夜间睡眠时间、血压指标。CVAI 中国内脏脂肪指数；OR. 比值比；CI. 置信区间

RCS模型进行分析，并以CVAI中位数作为参考值。结果显示，CVAI与肌少症新发风险之间的总体关联具有统计学意义(Wald $\chi^2=125.75$, $df=3$, $P<0.001$)。非线性检验结果无统计学意义($P_{\text{非线性}}=0.173$)，提示该关联整体呈近似线性负相关。

然而，如图2所示，观察RCS曲线形态可见，在CVAI较低(<50)时，肌少症新发风险急剧上升，相对于中位数CVAI的OR值可超过8.0；随着CVAI升高，风险迅速下降，并在CVAI>100后趋于平缓，OR值维持在较低水平(<0.1)，且95%CI始终低于1。这一曲线形态提示，尽管整体关联呈线性趋势，但在极低CVAI区间可能存在“代谢储备不足”的风险临界区，而在较高CVAI范围内风险下降趋于饱和。整体曲线平滑连续，未见明显突变拐点。

2.4 敏感性分析 为评估极低CVAI对研究结果的潜在影响，进一步排除基线CVAI<50的347名研究对象，最终纳入4223名进行敏感性分析。结果显示，在该限制样本中，CVAI每增加1个IQR，肌少症新发风险降低79%(OR=0.21, 95%CI 0.15~0.28, $P<0.001$)，与主分析结果高度一致，提示CVAI与肌少症之间的负相关关系并非由极端低值驱动，具有良好的稳健性。

2.5 CVAI的增量预测价值分析 为评估CVAI在传统危险因素基础上的预测增益，将CVAI(按IQR标准化)纳入包含人口学及生活方式因素的基础模型中。似然比检验结果显示，加入CVAI后模型拟合改善($\chi^2=151.44$, $df=1$, $P<0.001$)。Nagelkerke R^2 由0.173提高至0.255，增量为0.081，提示CVAI可独立解释肌少症新发风险中约8.1%的变异性，表明CVAI能提高对肌少症新发风险的判别与预测能力。

2.6 CVAI、BMI与WC预测效能的比较 为进一步明确CVAI在肌少症预测中的相对价值，本研究在调整相同协变量(包括人口学特征、生活方式及血压指标)的基础上，分别构建纳入CVAI、BMI及WC的预

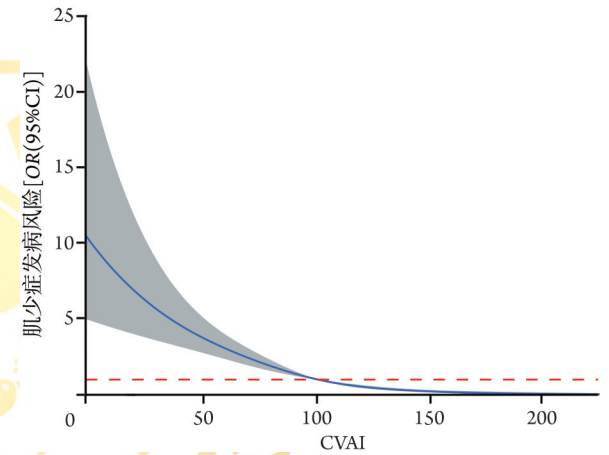


图2 CVAI与肌少症新发风险的非线性关联：限制性立方样条分析(以CVAI中位数为参照)

Fig.2 Non-linear association between CVAI and risk of incident sarcopenia: restricted cubic spline analysis (reference: median CVAI)

蓝色实线表示不同CVAI下肌少症新发风险的预测比值比(OR)，灰色阴影表示95%CI；红色水平虚线表示OR=1(无效线)。模型已调整年龄(≤7岁)、性别(男)、受教育程度(小学及以下)、居住地区(农村)、婚姻状况(已婚)、吸烟状况(不吸烟)、饮酒状况(从不饮酒)、夜间睡眠时间(7h)、收缩压(126 mmHg)和舒张压(75 mmHg)。CVAI的四分位间距(IQR)为53.70。CVAI 中国内脏脂肪指数，OR. 比值比，CI. 置信区间

测模型，并比较三者的区分度与拟合优度。ROC曲线分析显示，三个模型均表现出良好的预测效能(AUC均>0.80)。其中，纳入BMI的模型区分度最高(AUC=0.880, 95%CI 0.860~0.900)，其次为CVAI(AUC=0.854, 95%CI 0.836~0.873)和WC(AUC=0.833, 95%CI 0.813~0.853)。DeLong检验结果显示，BMI模型的AUC明显高于CVAI及WC模型($P<0.05$)。在模型解释度方面，BMI模型的Nagelkerke R^2 最高(0.297)，CVAI次之(0.255)，WC最低(0.212)。Hosmer-Lemeshow拟合优度检验提示各模型预测值与实际值之间吻合度良好(Hosmer-Lemeshow $P<$

0.05，表3)。

表3 CVAI、BMI与WC模型对肌少症新发风险的预测效能比较

Tab. 3 Comparison of predictive performance for incident sarcopenia among CVAI, BMI, and WC

模型	AUC(95%CI)	Nagelkerke R ²	Hosmer-Lemeshow P
CVAI 模型	0.854(0.836~0.873)	0.255	0.024
BMI 模型	0.880(0.860~0.900)	0.297	<0.001
WC 模型	0.833(0.813~0.853)	0.212	0.001

所有模型均调整了年龄、性别、受教育程度、居住地区、婚姻状况、吸烟状况、饮酒状况、夜间睡眠时间、收缩压和舒张压。AUC. 曲线下面积, CI. 置信区间; Nagelkerke R². 纳格尔科克决定系数; Hosmer-Lemeshow P. Hosmer-Lemeshow 拟合优度检验 P 值; BMI. 体重指数; WC. 腰围; CVAI. 中国内脏脂肪指数

2.7 Bootstrap 内部验证结果 本研究通过 1000 次 Bootstrap 重抽样验证 CVAI 与肌少症关联的稳定性, 结果显示, CVAI_per_IQR 的 Bootstrap 估计 OR 为 0.232(95%BCa CI 0.181~0.304)。由于该置信区间与主分析结果(OR=0.23)高度一致且不包含 1.0, 表明本研究观察到的保护效应具有良好的内部信度, 并非由偶然因素或样本特异性偏差所致(附图 1)。

2.8 亚组分析及交互作用检验 在完全调整模型中分别引入“CVAI×性别”和“CVAI×年龄(连续变量)”交互项, 以检验性别和年龄对 CVAI 与肌少症关联的修饰作用。结果显示, CVAI 与性别之间的交互作用无统计学意义($P_{交互}=0.104$), CVAI 与年龄之间的交互作用亦无统计学意义($P_{交互}=0.532$)。

按性别分析结果显示, CVAI 每增加 1 个 IQR, 女性肌少症新发风险降低 77%(OR=0.23, 95%CI 0.18~0.29), 男性降低 71%(OR=0.29, 95%CI 0.22~0.37), 两性之间差异无统计学意义。

进一步按年龄进行边际效应分析发现, 尽管随年龄增长肌少症的绝对发生风险升高, 但在各年龄层中, 较高 CVAI 均持续与较低的肌少症发生概率相关。当 CVAI 达到约 3 个 IQR 以上时, 肌少症发生风险趋于平台期。相关预测结果见图 3。

3 讨论

本研究基于 CHARLS 前瞻性队列, 对 4570 名基线无肌少症的中国中老年人进行了为期 4 年的随访分析。结果显示, 基线 CVAI 与肌少症新发风险呈负相关, 在充分调整人口学特征、生活方式及血压指标等潜在混杂因素后, CVAI 每增加 1 个 IQR, 肌少症新发风险降低 77%(OR=0.23)。该关联在多项敏感性分析及不同性别、年龄亚组中均保持稳定。

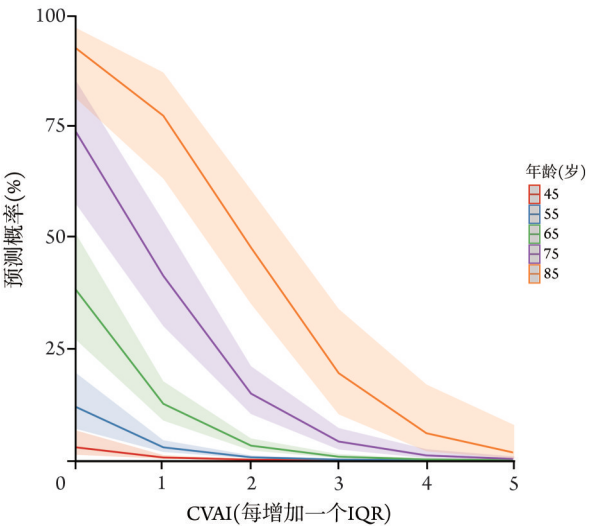


图3 不同年龄层中 CVAI 与肌少症新发概率的预测关系
Fig.3 Predicted probability of incident sarcopenia by CVAI and age

实线表示在不同年龄水平(45、55、65、75、85 岁)下, CVAI 对应的肌少症新发预测概率。X 轴单位为四分位间距(IQR), 本研究中 CVAI 的 IQR 为 53.70。阴影区域表示 95% 置信区间。模型已调整性别、受教育程度、居住地区、婚姻状况、吸烟状况、饮酒状况、夜间睡眠时间、收缩压和舒张压。CVAI. 中国内脏脂肪指数

上述结果在一定程度上挑战了传统“体重偏低或体脂减少即代表健康”的认知。既往研究多将 BMI 或 WC 作为评价营养状态及肌少症风险的主要指标, 但在老年人群中, 单纯的体型消瘦可能反映的是能量储备不足、合成代谢能力下降及应激耐受性减弱, 而非真正的健康状态^[18,37-38]。CVAI 的独特优势在于其不仅反映脂肪分布特征(WC、BMI), 还综合考虑了脂质代谢状态(TG 及 HDL-C), 从而更全面地表征内脏脂肪的代谢功能。与单纯依赖 BMI 或 WC 相比, CVAI 更有助于识别表面体型正常但代谢储备不足的老年人群, 即所谓“表型消瘦但代谢脆弱”的个体^[27,39]。

需要指出的是, CVAI 的计算公式中包含 BMI, 因此二者并非完全独立的指标。然而, CVAI 在体型信息的基础上进一步整合了血脂代谢参数, 提供了超越单纯人体测量学的代谢功能信息^[40]。本研究模型比较结果显示, 虽然 BMI 在预测肌少症方面表现出卓越的效能, 这印证了“低体重是肌少症核心危险因素”的传统观点^[41]; 但 CVAI 依然保持了极高的预测精度(AUC>0.85), 其表现优于单纯的 WC。对于 BMI 处于临界值的人群, CVAI 提供了比单纯人体测量学更丰富的病理生理学视角, 能帮助临床医师更早地识别出“代谢储备不足”的高危个体。

结合 RCS 分析结果, CVAI<50 区间肌少症风险急剧上升, 提示该阈值可能代表“代谢储备耗竭警

戒线”，低于此阈值的个体面临显著升高的肌少症风险。在敏感性分析中，本研究排除了CVAI<50的研究对象，该阈值的设定基于本队列的分布特征，CVAI<50通常代表极低的内脏脂肪含量及异常的血脂谱(如极低TG)，在临床上往往对应严重的营养不良、慢性消耗性疾病或极度虚弱状态。排除该亚组后结果依然稳健(OR=0.21)，进一步支持了主要结论。

从潜在生物学机制角度分析，CVAI与肌少症之间的负相关关系并非偶然，可能通过多条途径实现，反映了机体“能量底物储备”与“抗炎微环境”的双重保护机制^[42-43]。首先，CVAI中的TG直接反映了机体的能量缓冲能力。在老年人群中，适度的TG储备并非单纯的代谢负担，而是骨骼肌重要的能量缓冲库。当机体面临营养摄入波动或急慢性应激时，储存的TG可被动员水解，为骨骼肌的蛋白质合成及线粒体氧化磷酸化提供必需的ATP和乙酰辅酶A，从而避免机体因能量亏空而过度分解肌肉蛋白供能^[44-45]。其次，HDL-C在维持肌肉微环境稳态中扮演关键角色。除了经典的胆固醇逆转转运功能外，HDL-C具有显著的抗炎和抗氧化特性。衰老骨骼肌常伴随线粒体功能障碍和活性氧堆积，而HDL-C可通过抑制脂质过氧化、减少促炎细胞因子的释放，减轻氧化应激对肌纤维的损伤^[46-48]。此外，HDL-C还可改善骨骼肌的胰岛素敏感性，促进葡萄糖摄取，进一步支持肌肉合成代谢^[49]。因此，较高的CVAI实质上整合了“充足的能量底物(高TG)”或“良好的抗炎/抗氧化能力(高HDL-C)”优势。相反，低CVAI往往提示机体处于“代谢储备耗竭”或“慢性炎症易感”的劣势状态，这种脆弱的代谢表型极易加速肌肉质量与功能的流失。

本研究发现的“高CVAI与低肌少症风险相关”，并不等同于支持“肌少性肥胖”或鼓励内脏脂肪的过度堆积。肌少性肥胖通常指肌肉量减少伴随脂肪组织的代谢功能紊乱，如慢性炎症状态和胰岛素抵抗^[50-53]。而本研究中较高的CVAI，在排除了严重代谢异常的人群后，可能更多地代表了机体拥有充足的能量底物和良好的代谢功能储备，是一种“代谢灵活”的状态。因此，该发现并非鼓励保留过多的内脏脂肪，而是强调在老年人群中避免“代谢储备耗竭”(即过度消瘦)的重要性。这一观点与既往关于“肥胖悖论”的研究结果在方向上具有一定一致性，但进一步强调了脂肪“代谢功能状态”而非单纯脂肪“数量”的重要性^[54]。

从临床实践角度看，CVAI仅基于常规体检指标(WC、BMI、TG及HDL-C)即可计算，操作简便，具有良好的可及性，适合在基层医疗及老年健康管

理中推广应用。对于CVAI处于较低水平的老年人群，即使其BMI处于正常范围，也应提高对肌少症的警惕，建议进一步进行握力测定、起立行走功能评估或体成分分析，以实现肌少症的早期识别和风险分层。在干预策略方面，研究结果提示老年肌少症防控不应仅局限于体重或体脂的简单增加，而应更加注重代谢储备与合成代谢能力的恢复，可通过保障充足且优质的蛋白质摄入、合理补充必需脂肪酸、开展抗阻训练，从而综合改善肌肉健康状况^[55]。

本研究存在一定局限性。(1)本研究仅基于CHARLS这一单一队列进行分析，受限于其他公开数据库缺乏完全一致的肌少症定义及CVAI组分变量，目前尚难以开展严格的外部验证。为弥补这一不足，本研究进行了1000次Bootstrap重抽样内部验证。结果显示，CVAI与肌少症风险降低的关联在重抽样中保持高度稳定(Bootstrap OR=0.232, 95%BCa CI 0.181~0.304)，提示结论具有良好的内部稳健性，但未来仍需多中心队列进一步验证其普适性。(2)CHARLS数据库未收集详细的体力活动水平及膳食摄入数据。笔者推测，这种未测量的混杂可能导致观察的关联强度被一定程度高估，例如，较高的CVAI可能部分反映了更高的能量及蛋白质摄入。然而，即便存在潜在混杂，CVAI与肌少症风险降低的强关联依然存在，提示内脏脂肪相关的代谢储备本身可能是比单纯行为因素更基础的生理决定因素。(3)附肢骨骼肌量采用BIA测定，其精确性低于双能X线吸收法(DXA)，可能存在一定测量误差，但在大样本人群流行病学调查中具有良好的可行性与效度。(4)尽管已调整多项混杂因素，仍无法完全排除虚弱状态及潜在亚临床疾病等未测量因素的影响。随访过程中存在一定比例的失访，且失访者基线CVAI略低，可能引入选择偏倚，但敏感性分析结果显示主要结论仍具有良好的稳健性。(5)作为一项观察性前瞻性队列研究，尽管采用了多因素调整和多种敏感性分析，仍无法完全排除残余混杂及反向因果的可能。因此，本研究结果应被解读为CVAI与肌少症风险之间的独立预测关联，而非直接的因果关系。

综上所述，在中国中老年人群中，CVAI与肌少症新发风险呈负相关。较高的CVAI提示机体具备较充足的代谢储备能力，与较低的肌少症发生风险相关，该关联独立于年龄、性别及多种生活方式因素。CVAI作为一种基于常规体检指标计算的综合代谢指数，具有良好的可操作性和预测价值，有望用于中国中老年人群肌少症的早期风险识别与分层管理。本研究结果提示，老年健康管理可从单纯关注体型指标转向更加重视代谢功能状态与机体功能储备，以促进健康老龄化。需要强调的是，尽管本研究采

用前瞻性队列设计,在一定程度上保证了CVAI测量与肌少症发生之间的时间顺序,但其本质是观察性设计,由于基线时可能存在协变量差异,且仍可能存在未测量或测量不充分的混杂因素,尽管已进行多因素调整,仍无法完全排除残余混杂与反向因果,因此所观察到的关联不应被解读为因果关系。

【附加材料】

附图1见 <https://dx.doi.org/10.11855/j.issn.0577-7402.0189.2026.0630FJ>。
请扫描右方二维码获取。



【参考文献】

- [1] 马巧峰,宋佳,陈丽.肌少症的机制与干预措施研究进展[J].中华老年医学杂志,2025,44(8):1156-1161.
- [2] Mao X, Lv K, Qi W, *et al.* Research progress on sarcopenia in the musculoskeletal system[J]. Bone Res, 2025, 13(1): 78.
- [3] Westbury LD, Beaudart C, Bruyere O, *et al.* Recent sarcopenia definitions-prevalence, agreement and mortality associations among men: Findings from population-based cohorts[J]. J Cachexia Sarcopenia Muscle, 2023, 14(1): 565-575.
- [4] 葛佳莹,盛辉,曲伸.老年人肌少症及肌少性肥胖的临床特征及治疗对策[J].国际内分泌代谢杂志,2025,45(3):147-151.
- [5] Troutman AD, Arroyo E, Sheridan EM, *et al.* Skeletal muscle atrophy in clinical and preclinical models of chronic kidney disease: a systematic review and meta-analysis[J]. J Cachexia Sarcopenia Muscle, 2024, 15(1): 21-35.
- [6] Boccardi V. Sarcopenia: a dive into metabolism to promote a multimodal, preventive, and regenerative approach[J]. Mech Ageing Dev, 2024, 219: 111941.
- [7] Bao J, Zhou L, Liu G, *et al.* Current state of care for the elderly in China in the context of an aging population[J]. Biosci Trends, 2022, 16(2): 107-118.
- [8] Fang EF, Fang Y, Chen G, *et al.* Adapting health, economic and social policies to address population aging in China[J]. Nat Aging, 2025, 5(11): 2176-2187.
- [9] Wang H, Qin D, Fang L, *et al.* Addressing healthy aging in China: practices and prospects[J]. Biosci Trends, 2024, 18(3): 212-218.
- [10] Chen Y, Wu J. Aging-related sarcopenia: metabolic characteristics and therapeutic strategies[J]. Aging Dis, 2024, 16(2): 1003-1022.
- [11] 蒋安琪,魏玥,梁博,等.中国中老年人可能肌少症与衰弱发生风险关联的队列研究[J].中华流行病学杂志,2025,46(1): 81-86.
- [12] Reiter R, Wernly B, Oswald J, *et al.* How to define low muscle mass: A critical exploration of current definitions supports a reference equation-based approach[J]. Clin Nutr, 2025, 55: 104-112.
- [13] Lin Y, Zhang Y, Shen X, *et al.* Body composition changes impact islet β -cell function in patients with type 2 diabetes mellitus[J]. J Lipids, 2024, 2024: 4986998.
- [14] Jayanama K, Theou O, Godin J, *et al.* Relationship of body mass index with frailty and all-cause mortality among middle-aged and older adults[J]. BMC Med, 2022, 20(1): 404.
- [15] Alcazar J, Navarrete-Villanueva D, Manas A, *et al.* "Fat but powerful" paradox: association of muscle power and adiposity markers with all-cause mortality in older adults from the EXERNET multicentre study[J]. Br J Sports Med, 2021, 55(21): 1204-1211.
- [16] Yuan L, Chang M, Wang J. Abdominal obesity, body mass index and the risk of frailty in community-dwelling older adults: a systematic review and meta-analysis[J]. Age Ageing, 2021, 50(4): 1118-1128.
- [17] Pan J, Yin J, Gan L, *et al.* Two-sided roles of adipose tissue: rethinking the obesity paradox in various human diseases from a new perspective[J]. Obes Rev, 2023, 24(1): e13521.
- [18] Li CW, Yu K, Shyh-Chang N, *et al.* Pathogenesis of sarcopenia and the relationship with fat mass: descriptive review[J]. J Cachexia Sarcopenia Muscle, 2022, 13(2): 781-794.
- [19] Zhang X, Ha S, Lau HC, *et al.* Excess body weight: Novel insights into its roles in obesity comorbidities[J]. Semin Cancer Biol, 2023, 92: 16-27.
- [20] 汪青,林华.肌骨调节的相互影响和作用机制研究进展[J].中华内分泌代谢杂志,2025,41(7):592-595.
- [21] 崔永志,傅德皓.骨骼肌来源外泌体在骨骼肌和骨代谢调节中的作用[J].中华实验外科杂志,2025,42(7):1183-1185.
- [22] Gu X, Wang L, Liu S, *et al.* Adipose tissue adipokines and lipokines: functions and regulatory mechanism in skeletal muscle development and homeostasis[J]. Metabolism, 2023, 139: 155379.
- [23] Su CM, Tsai CH, Chen HT, *et al.* Melatonin improves muscle injury and differentiation by increasing Pax7 expression[J]. Int J Biol Sci, 2023, 19(4): 1049-1062.
- [24] Jang SY, Choi KM. Impact of adipose tissue and lipids on skeletal muscle in sarcopenia[J]. J Cachexia Sarcopenia Muscle, 2025, 16(4): e70000.
- [25] de Luis Roman D, Gomez JC, *et al.* Diabetic sarcopenia. A proposed muscle screening protocol in people with diabetes: expert document[J]. Rev Endocr Metab Disord, 2024, 25(4): 651-661.
- [26] 刘倩,思飞,吴云涛,等.中国内脏脂肪指数对动脉僵硬度进展的影响[J].中华心血管病杂志,2025,53(9):1047-1054.
- [27] 王静,吴璞,王华斌,等.中国内脏脂肪指数与中老年糖代谢异常人群心血管事件风险的相关性[J].中华内分泌代谢杂志,2025,41(5):378-386.
- [28] 张美霞,王亮,张旭,等.中国内脏脂肪指数对代谢相关脂肪性肝病的预测价值[J].中华肝脏病杂志,2025,33(8):781-789.
- [29] Jin J, Woo H, Jang Y, *et al.* Novel Asian-specific visceral adiposity indices are associated with chronic kidney disease in Korean adults[J]. Diabetes Metab J, 2023, 47(3): 426-436.
- [30] Chen X, Wang Y, Strauss J, *et al.* China Health and Retirement Longitudinal Study (CHARLS). In: GuD, DupreME, editors. Encyclopedia of Gerontology and Population Aging[M]. Cham: Springer International Publishing, 2019: 1-9.
- [31] Zhao YSJ, Chen X, Wang Y, *et al.* China Health and Retirement Longitudinal Study wave 4 user's guide[M]. Beijing, 2020. <https://charls.pku.edu.cn/sj/yonghushou2018.pdf>.
- [32] 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.
- [33] Chen X, Crimmins E, Hu PP, *et al.* Venous blood-based biomarkers in the China Health and Retirement Longitudinal Study: rationale, design, and results from the 2015 wave[J]. Am J Epidemiol, 2019, 188(11): 1871-1877.
- [34] Zhao Y, Strauss J, Yang G, *et al.* China Health and Retirement Longitudinal Study: 2011-2012 National Baseline User's Guide[J]. Beijing, 2013. <https://doi.org/10.18170/DVN/IZU8OF>.
- [35] Chen LK, Woo J, Assantachai P, *et al.* Asian working group for

- sarcopenia: 2019 consensus update on sarcopenia diagnosis and treatment[J]. *J Am Med Dir Assoc*, 2020, 21(3): 300-307.e2.
- [36] Zhu Y, Yin H, Zhong X, *et al.* Exploring the mediating roles of depression and cognitive function in the association between sarcopenia and frailty: a Cox survival analysis approach[J]. *J Adv Res*, 2025, 76: 605-613.
- [37] Lu W, Feng W, Lai J, *et al.* Role of adipokines in sarcopenia[J]. *Chin Med J (Engl)*, 2023, 136(15): 1794-1804.
- [38] Wang T, Zhou D, Hong Z. Adipose tissue in older individuals: a contributing factor to sarcopenia[J]. *Metabolism*, 2024, 160: 155998.
- [39] Qiao T, Luo T, Pei H, *et al.* Association between abdominal obesity indices and risk of cardiovascular events in Chinese populations with type 2 diabetes: a prospective cohort study[J]. *Cardiovasc Diabetol*, 2022, 21(1): 225.
- [40] Li X, Maimaiti A, Ling Y, *et al.* Chinese visceral adiposity index outperforms traditional anthropometric indices in predicting cardiovascular disease risk: a prospective cohort study[J]. *Diabetes Metab Res Rev*, 2025, 41(8): e70109.
- [41] Tuo S, Yeo YH, Chang R, *et al.* Prevalence of and associated factors for sarcopenia in patients with liver cirrhosis: a systematic review and meta-analysis[J]. *Clin Nutr*, 2024, 43(1): 84-94.
- [42] Wang M, Gao B, Huang F. Association between the triglyceride glucose-Chinese visceral adiposity index and new-onset stroke risk: a national cohort study[J]. *Cardiovasc Diabetol*, 2025, 24(1): 119.
- [43] Zheng W, Man Z, Ren Y, *et al.* Association of the triglyceride glucose-Chinese visceral adiposity index with incident cardiometabolic multimorbidity in middle-aged and older adults: a nationwide prospective cohort study[J]. *Cardiovasc Diabetol*, 2026, 25(1): 76.
- [44] Nishida R, Nukaga S, Kawahara I, *et al.* Differential effects of three medium-chain fatty acids on mitochondrial quality control and skeletal muscle maturation[J]. *Antioxidants (Basel)*, 2024, 13(7): 821.
- [45] Goulding RP, Charlton BT, Breedveld EA, *et al.* Skeletal muscle mitochondrial fragmentation predicts age-associated decline in physical capacity[J]. *Aging Cell*, 2025, 24(2): e14386.
- [46] Hua N, Qin C, Wu F, *et al.* High-density lipoprotein cholesterol level and risk of muscle strength decline and sarcopenia in older adults[J]. *Clin Nutr*, 2024, 43(10): 2289-2295.
- [47] Guo XY, Li LW. Hs-CRP/HDL-C ratio as a predictive inflammatory-lipid marker for sarcopenia: evidence from NHANES 2015-2018[J]. *Front Immunol*, 2025, 16: 1600421.
- [48] Lian D, Chen MM, Wu H, *et al.* The role of oxidative stress in skeletal muscle myogenesis and muscle disease[J]. *Antioxidants (Basel)*, 2022, 11(4): 755.
- [49] Cochran BJ, King TW, Chemello K, *et al.* HDL metabolism and function in diabetes mellitus[J]. *Nat Rev Endocrinol*, 2026, 22(1): 36-49.
- [50] Prado CM, Batsis JA, Donini LM, *et al.* Sarcopenic obesity in older adults: a clinical overview[J]. *Nat Rev Endocrinol*, 2024, 20(5): 261-277.
- [51] Macleod M, Price J, Tsonou E, *et al.* Adipose-derived extracellular vesicles and intercellular crosstalk with skeletal muscle: implications for sarcopenic obesity and metabolic dysregulation[J]. *Obes Rev*, 2026, 27(1): 1-22.
- [52] Barazzoni R, Ballesteros MD, Bischoff SC, *et al.* Sarcopenic obesity: Call to action and nutritional agenda from the international clinical nutrition community[J]. *Clin Nutr*, 2026, 61: 106645.
- [53] Jung UJ. Sarcopenic obesity: involvement of oxidative stress and beneficial role of antioxidant flavonoids[J]. *Antioxidants (Basel)*, 2023, 12(5): 1063.
- [54] Simati S, Kokkinos A, Dalamaga M, *et al.* Obesity paradox: fact or fiction?[J]. *Curr Obes Rep*, 2023, 12(2): 75-85.
- [55] Liu X, Chen X, Cui J. Therapeutic advances in sarcopenia management: From traditional interventions to personalized medicine[J]. *Clin Nutr*, 2025, 51: 187-197.

(责任编辑: 纪方方)