

脂肪肌肉比与代谢综合征及心脏代谢风险的研究进展



钟伟豪, 杨 伟

首都医科大学宣武医院老年医学科 (北京 100053)

【摘要】代谢综合征 (MetS) 与心血管疾病已成为全球重大公共卫生问题, 传统人体测量指标在代谢健康评估中存在显著局限性。身体脂肪肌肉比 (FMR) 作为客观反映机体脂肪负荷与肌肉储备相对状态的新型身体成分指标, 凭借无创、易测的优势成为代谢风险评估的研究热点。本文系统综述 FMR 与糖代谢异常、胰岛素抵抗及 MetS 的关联证据, 阐释其影响心脏代谢风险的生物学机制, 分析现有研究局限性并提出未来研究方向, 为 FMR 从基础研究向临床应用转化、推动心脏代谢疾病精准防控提供参考。

【关键词】脂肪肌肉比; 代谢综合征; 心脏代谢风险; 胰岛素抵抗; 身体成分

【中图分类号】 R589 **【文献标识码】** A

Research progress on fat-to-muscle mass ratio in relation to metabolic syndrome and cardiometabolic risk

ZHONG Weihao, YANG Wei

Department of Geriatrics, Xuanwu Hospital, Capital Medical University, Beijing 100053, China

Corresponding author: YANG Wei, Email: yangw_79@163.com

【Abstract】 Metabolic syndrome (MetS) and cardiovascular disease have become major global public health issues, with traditional anthropometric indices exhibiting significant limitations in assessing metabolic health. The fat-to-muscle mass ratio (FMR), as a novel body composition index that obviously reflects the relative status of fat load and muscle reserve in the body, has emerged as a research focus in metabolic risk assessment due to its non-invasive and easily measurable advantages. This review systematically summarizes the evidence on the association of FMR with abnormal glucose metabolism, insulin resistance and MetS, explains the biological mechanism of FMR affecting cardiometabolic risk, analyzes the limitations of existing studies and puts forward the future research direction. It aims to provide a reference for translating FMR from basic research to clinical application and promoting precision prevention and control of cardiometabolic diseases.

【Keywords】 Fat-to-muscle mass ratio; Metabolic syndrome; Cardiometabolic risk; Insulin resistance; Body composition

代谢综合征 (metabolic syndrome, MetS) 是以高血糖、高血压、内脏肥胖、动脉粥样硬化性血脂异常为核心表现的一组代谢紊乱症候群, 其发生与城市化、热量

过剩、久坐生活方式及肥胖率上升密切相关, 全球成年人 MetS 患病率达 20%~25%, 中国人群患病率因诊断标准不同波动于 21.57%~38.63%^[1-2]。心血管疾病

DOI: 10.12173/j.issn.1004-5511.202603078

基金项目: 首都卫生发展科研专项自主创新项目 (2024-2-1033); 北京市属医院科研培育计划项目 (PX2022032)

通信作者: 杨伟, 博士, 教授, 主任医师, 博士研究生导师, Email: yangw_79@163.com

(cardiovascular disease, CVD) 居全球疾病发病率与死亡率首位, 预计 2030 年全球年死亡人数将达 2 360 万^[3], 甘油三酯升高、高密度脂蛋白胆固醇降低、血压及血糖异常等心脏代谢危险因素与心血管死亡及全因死亡风险显著相关, 对上述危险因素开展早期监测与干预, 是疾病防控的关键^[4]。临床亟需简单可靠的人体测量指标用于风险评估, 随着生物电阻抗分析 (bioelectrical impedance analysis, BIA)、双能 X 射线吸收法 (dual-energy X-ray absorptiometry, DXA) 等无创测量技术的普及, 脂肪肌肉比 (fat-to-muscle mass ratio, FMR) 逐渐成为代谢风险评估的新型潜在生物标志物^[5]。FMR 与传统人体测量指标在代谢风险评估中的相关性及其评估效能仍存在争议, 基于此, 本文系统综述 FMR 作为 MetS 与心脏代谢风险指标的评估价值, 深入剖析其潜在作用机制, 并展望未来研究方向, 旨在为临床心脏代谢疾病的早期防控提供参考依据。

1 代谢健康评估指标

体重指数 (body mass index, BMI) 是临床应用最广的肥胖评估指标, 但其核心缺陷为无法区分脂肪与骨骼肌组织, 易将肌肉量较高个体误判为肥胖, 也难以识别正常体重肥胖、肌少症性肥胖人群^[6-7]。腰围 (waist circumference, WC)、腰臀比 (waist-to-hip ratio, WHR) 与 MetS 及 CVD 的关联更为显著, 但该两项指标未进行身高校正, 测量结果易受测量者差异、受试者体位及解剖定位不明确等因素影响, 可重复性与临床应用价值受限^[8-9]。WHR 不能区分内脏脂肪与皮下脂肪, WC 的评估效能易受年龄、性别、种族因素干扰^[8, 10-11]。去脂体重指数虽已得到较多应用, 但该指标将骨骼肌与脏器、结缔组织等非肌肉组分合并计算, 难以精准表征骨骼肌真实含量^[12]。与之相比, FMR 可同时量化脂肪与肌肉组织, 理论上可弥补 BMI、WHR、去脂体重指数无法区分组织类型以及 WC 不能反映肌肉储备的缺陷, 为代谢健康评估与心脏代谢风险分层提供了更具生理学基础的视角, 被认为是更能反映人体代谢状态的新型指标^[13-14]。身体成分综合指标存在多种形式, FMR 是基于身体成分的综合评估指标, 定义为脂肪量与骨骼肌量的比值, 可客观反映个体脂肪负荷与肌肉储备的相对状态。相较于单一

脂或肌肉指标, FMR 与机体代谢紊乱特征高度契合, 在心脏代谢风险评估中的综合评估价值更优。

2 FMR 与 MetS 和心脏代谢风险

2.1 FMR 与糖代谢异常及胰岛素抵抗的关联

流行病学研究证实, FMR 与糖代谢异常、胰岛素抵抗密切相关。英国生物银行前瞻性研究显示, FMR 与 2 型糖尿病 (type 2 diabetes mellitus, T2DM) 发病风险呈显著正相关^[14]; 一项纳入 66 829 名成年人的横断面研究发现, 高 FMR 与 MetS、糖尿病前期、T2DM 及高血压患病风险显著相关, 该关联经多因素校正后仍稳定存在^[15]; 韩国全国代表性调查数据表明, FMR 与胰岛素抵抗稳态模型评估指数呈显著正相关, 在校正年龄、生活方式等混杂因素后, 该关联依然成立^[13]。

高胰岛素-正葡萄糖钳夹技术是胰岛素敏感性评估的金标准, 基于该技术的临床研究显示, 在初治 T2DM 患者中, FMR 与胰岛素敏感指数呈显著负相关, 且 FMR 在解释胰岛素敏感性差异方面的预测价值优于体重、BMI、WC 等传统指标^[5, 16]。性别分层分析显示, FMR 与胰岛素敏感指数的相关性在男性与女性群体中均独立存在, 且存在性别特异性 FMR 诊断界值, 判别效能良好。该性别差异与女性体脂水平更高、骨骼肌储备相对偏低的生理体成分特点有关^[17]。

2.2 FMR 与心脏代谢风险因素的关联

FMR 与血压、血脂、血糖等多项心脏代谢危险因素显著相关, 该关联在超重/肥胖人群中更为突出, 并呈现明确的剂量-反应关系^[15, 18-20]。作为综合反映体成分的指标, FMR 在识别高风险人群方面的效能优于传统 BMI, 已成为识别心脏代谢风险的有效生物标志物^[21]。

FMR 及其相关衍生指标的研究进一步验证了其预测价值。全身 FMR 在预测老年人心脏代谢不良结局方面的效能优于四肢 FMR^[22]; 瘦体重与脂肪质量比与心脏代谢异常呈负相关, 且关联存在性别和年龄差异^[23]。联合指标策略可进一步提升预测准确度, FMR 联合丙氨酸氨基转移酶/天冬氨酸氨基转移酶比值 (ALT/AST) 的模型效能优于单项指标; 高 FMR 合并高 ALT/AST 人群的心脏代谢风险最高, 该效应在女性群体中尤为明显^[24]。基线 FMR 升高者动脉粥样硬化指数显著

增高,提示高FMR与心脏代谢风险上升密切相关,可能参与亚临床动脉粥样硬化的发生与进展,在校正BMI、WC等传统指标后,FMR异常仍与全因死亡及CVD死亡风险升高独立相关^[25-26]。上述研究证实,FMR在长期心脏代谢风险评估中具有一定应用潜力。

2.3 FMR在MetS识别与风险评估中的价值

FMR与MetS及其核心指标(血压、血脂、血糖、低密度脂蛋白胆固醇、尿酸等)均显著相关,该关联在超重/肥胖人群及女性群体中更为突出^[21]。作为MetS的预测指标,FMR的评估效能独立于且优于BMI、WC、体脂率等传统指标,在校正年龄、糖尿病病程、生活方式等多种混杂因素后,FMR与MetS患病风险仍呈独立正相关^[27-28]。研究表明,高FMR女性的MetS患病风险为低FMR女性的9.5倍,而男性仅为2.9倍;在预测效能方面,男性人群中WC的诊断价值最高(AUC=0.837),FMR次之(AUC=0.800);女性人群中FMR的预测效能最佳(AUC=0.843),优于脂肪量、肌肉量、BMI、WC等传统指标,是女性MetS的最优预测因子^[18]。上述研究为FMR与MetS的因果关联提供了关键证据,将FMR应用于大规模人群筛查,可有效识别MetS高危个体,为高危人群的早期生活方式干预与临床精准化管理提供循证支撑^[29]。

3 特定人群FMR与代谢风险关联的研究证据与争议

3.1 一致性研究证据

FMR与心脏代谢风险的关联在各类特定人群中表现出良好的稳定性与一致性。在老年群体中,高FMR不仅提示躯体功能衰退,还与认知功能下降及心脏代谢风险升高密切相关^[22]。在T2DM患者中,FMR可有效反映胰岛素抵抗、血脂紊乱、高血压等多重代谢异常,其对心脏代谢风险的预测效能优于BMI、WC等指标^[18]。此外,儿童、青少年及特殊疾病人群相关研究虽样本量有限,但均证实FMR与致动脉粥样硬化脂质谱、早期代谢异常存在稳定关联^[30-33],进一步佐证脂肪与骨骼肌失衡所致的高FMR是心脏代谢病变发生的重要危险因素。Yerushalmy-Feler等^[34]针对111名乳糜泻患儿的观察性研究发现,在校正性别、年龄混杂因素后,FMR升高仍与心脏代谢风

险增高显著相关。该结果表明,在慢性炎症的疾病背景下,脂肪-骨骼肌失衡仍可独立加剧心脏代谢损伤,是代谢风险升高的独立危险因素

3.2 研究异质性与潜在局限性

现有研究多认为FMR与MetS及心脏代谢风险密切相关,但部分研究存在阴性结果,提示FMR的预测价值存在人群特异性,在单一代谢危险因素评估中存在一定应用局限。一项纳入656名约旦女性的横断面研究显示,MetS人群的体脂率、肌肉量百分比、BMI、脂肪质量指数及WHR均显著高于非MetS人群,但FMR水平无统计学差异(1.76 ± 0.33 vs. 1.72 ± 0.40 , $P=0.188$),同时FMR对MetS无显著预测效能[AUC=0.525, 95%CI (0.485, 0.564), $P=0.283$]^[35]。结合现有研究证据分析,该阴性结果可由多种混杂因素共同解释:①种族差异,研究对象为中东约旦女性,其脂肪分布特征、基线肌肉量水平与既往研究的东亚、高加索人群存在显著种族异质性,可能导致FMR的风险预测效能出现人群分化;②诊断标准偏倚,该研究采用美国国家胆固醇教育计划发布的《成人高胆固醇血症检测评估与治疗第三次报告》(ATP III)标准诊断MetS,若研究人群以WC等与FMR关联较弱的指标异常为主,会导致整体预测效能降低;③非线性阈值效应,FMR与心脏代谢风险并非简单线性相关,当体脂率突破临界阈值后,FMR小幅波动对代谢风险的增量预测价值会进入平台期;该研究人群整体体脂水平偏高,非MetS组体脂率为(39.91 ± 4.83)%,MetS组达(44.23 ± 6.35)%,弱化了FMR的组间差异;④测量方法学差异,该研究采用BIA检测体成分,不同研究使用的BIA设备、内置算法不统一,会降低研究结果的跨人群可比性。

综上,FMR的代谢风险预测效能受种族、人群成分特征及检测方法影响显著。未来需开展多中心、标准化的方法学研究,在不同人群中验证FMR的诊断临界值与预测效能,为其临床规范化应用提供统一依据。

4 FMR调控MetS与心脏代谢风险的生物学机制

4.1 骨骼肌对糖脂代谢的保护性调控作用

骨骼肌是人体最大的葡萄糖代谢器官,也是

机体基础代谢率的核心贡献组织。骨骼肌量衰减可直接降低胰岛素介导的骨骼肌葡萄糖摄取与清除能力，削弱餐后血糖代谢效率，使糖代谢负荷代偿性堆积于脂肪等非靶组织；同时，骨骼肌流失会降低整体基础代谢水平、减少能量消耗，共同诱导内脏脂肪、肌间脂肪等异常蓄积^[36]。脂肪堆积可通过脂质代谢紊乱与慢性炎症激活，持续抑制胰岛素信号传导，最终诱发并加重全身性胰岛素抵抗^[13, 37]。

4.2 脂肪组织过量与慢性低度炎症：内脏脂肪与肌间脂肪的特殊致病性

内脏脂肪与肌间脂肪异常增殖是介导代谢损伤、加剧心脏代谢风险的关键病理环节。脂肪组织过度扩增，可大量释放游离脂肪酸与多种促炎介质，诱发系统性慢性低度炎症、胰岛素抵抗及血管内皮功能损伤^[38-40]。同时，内脏脂肪分解产生的游离脂肪酸可向骨骼肌异位沉积，造成肌间及肌细胞内脂质蓄积。肌内脂质异常可通过神经酰胺、二酰甘油等脂质毒性中间产物阻滞胰岛素信号传导，诱发骨骼肌特异性胰岛素抵抗、线粒体功能障碍与氧化应激损伤，加速肌纤维降解流失^[41-42]。上述病理改变可形成脂肪蓄积—肌肉损伤的恶性循环，内脏脂肪紊乱驱动脂质异位沉积与全身炎症状态，骨骼肌损伤进一步降低能量代

谢效率、加剧脂肪堆积，共同构成 MetS 及心脏代谢疾病发生发展的重要病理生理基础^[43]。

4.3 脂肪-骨骼肌器官交互失衡介导的代谢紊乱

脂肪组织与骨骼肌存在精密的双向器官交互网络，是维持机体能量稳态的核心调控体系^[44]。生理状态下，脂肪组织分泌的脂联素可通过 AMPK 信号通路改善骨骼肌葡萄糖摄取能力与线粒体功能^[45]；骨骼肌分泌的鸢尾素可促进脂肪组织棕色化、增强脂质代谢分解^[46-47]。此外，瘦素可协同鸢尾素调控肌细胞生成，肌生成抑制素与脂联素通路亦存在精准的交互调控关系^[48]。上述因子的协同作用，共同维持全身能量代谢平衡（图1）。

当 FMR 失衡（脂肪增加或肌肉减少）时，脂肪-骨骼肌的稳态调控网络被打破。过量脂肪组织通过慢性炎症与脂质溢出损害骨骼肌代谢功能与收缩能力^[45, 47]；而骨骼肌量下降进一步降低基础代谢、减少葡萄糖利用，反向促进脂肪异常蓄积^[48]。同时，骨骼肌内异位脂质沉积通过二酰甘油、神经酰胺等毒性脂质干扰 IRS-1/Akt 等关键胰岛素信号通路，既降低骨骼肌胰岛素敏感性，又持续损伤肌肉结构与功能^[47]。上述交互失衡最终诱发持续性胰岛素抵抗与多器官代谢紊乱，显著升高个体心脏代谢疾病发生风险（图2）。

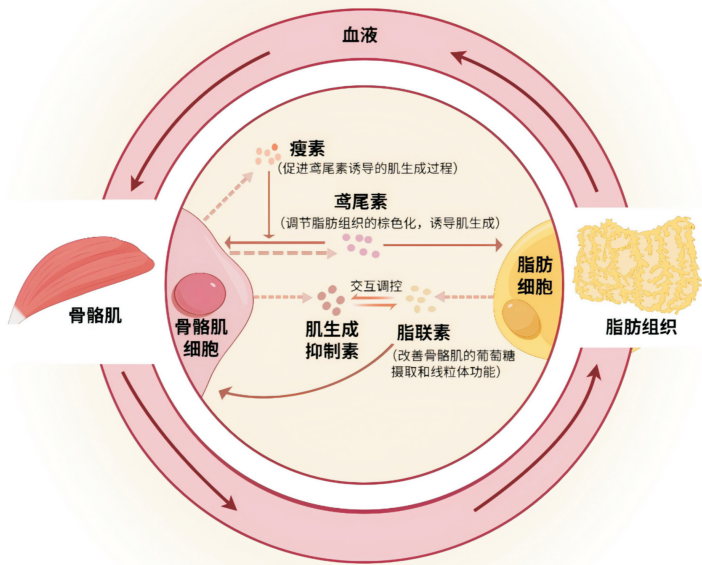


图1 脂肪组织与骨骼肌双向器官对话调控网络示意图

Figure 1. Schematic diagram of the bidirectional organ crosstalk regulatory network between adipose tissue and skeletal muscle

注：由 Figdraw 在线绘图平台绘制；图中虚线箭头表示分泌，实线箭头表示促进/调节/改善，双向箭头表示交互调控。

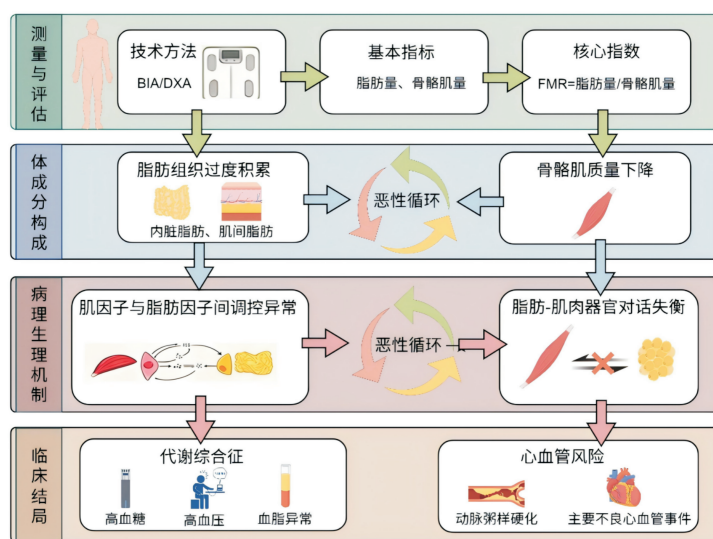


图2 FMR从测量到临床结局的核心路线图

Figure 2. Roadmap of core links from FMR measurement to clinical outcomes

注：由Figdraw在线绘图平台绘制。

5 FMR相关研究的局限性与未来展望

5.1 研究局限性

现有研究已证实FMR与MetS及心脏代谢风险存在显著关联，但解读研究结论与临床推广应用时，仍需关注以下局限^[35]。首先，研究设计方面，虽已有部分前瞻性研究报道FMR与代谢风险的关联，但FMR动态变化与MetS新发风险的直接因果证据尚不充分，相关干预试验仍较匮乏。其次，临床干预证据不足，尚无干预研究证实调控FMR可降低MetS发病风险或改善心脏代谢相关终点事件。最后，测量与标准化难题，不同研究中FMR预测效能存在异质性，主要归因于缺少适用于不同人群的FMR参考区间与代谢风险界值。现有研究多采用BIA检测人体成分，不同设备、内置算法及人群特征差异会降低结果的可重复性与跨研究可比性，制约FMR向临床转化。

5.2 未来研究方向

针对上述局限，未来研究应从以下5个维度协同推进，以夯实FMR在MetS与心脏代谢风险管理中的循证基础：①开展大规模前瞻性队列研究，确立FMR与MetS、主要不良心血管事件、死亡率等硬终点事件的独立预测价值，明确二者的因果关系，为临床应用提供高级别证据^[16]；②推进干预性研究验证临床意义，系统评估运动、饮食等生活方式干预及药物治疗对FMR的影响，并探究临床常用的钠-葡萄糖协同转运蛋白2抑制剂

(SGLT2i)、胰高血糖素样肽-1受体激动剂(GLP-1RA)等降糖减重药物对FMR的改善作用，验证FMR作为药物疗效评估动态标志物的潜力，探讨将FMR纳入降糖/减重治疗的疗效评估体系；③建立标准化的参考体系，在不同种族、年龄、性别的健康人群及老年人、肌少症性肥胖者、T2DM患者等特殊人群中，建立不同方法学(DXA/BIA)对应的FMR参考值范围，并明确MetS及心脏代谢风险的临界值^[35]；④推动技术创新与整合应用，借助BIA在智能设备中的普及，将FMR整合至远程健康监测平台，实现心脏代谢风险的动态预警，结合人工智能技术，构建以FMR为核心的多指标联合预测模型，提升风险分层的精准度^[5]；⑤深化机制研究，从分子水平探究脂肪-肌肉器官间的调控通路，明确肌因子、脂肪因子在高FMR介导的脂肪-骨骼肌失衡诱导心脏代谢风险中的关键作用，为开发靶向干预药物提供靶点。

6 结语

FMR是反映代谢活跃组织与能量储存组织动态平衡的新型身体成分指标，突破了传统人体测量指标无法区分脂肪与肌肉的缺陷，在代谢健康评估中具备独特优势。FMR与胰岛素抵抗、糖脂代谢紊乱及MetS等心脏代谢危险因素显著相关，为阐释个体代谢风险异质性提供了新思路。现有研究仍存在测量标准化欠缺、因果证据尚不充

分、临床干预证据不足等局限,且该指标在部分人群中的预测效能仍存在争议。但FMR作为连接人体成分与代谢健康的关键标志物,临床转化潜力值得关注。FMR相关研究正由关联性观察逐步迈向临床转化阶段。后续通过大样本前瞻性与干预研究验证其临床价值,建立标准化参考体系,并依托智能检测技术开展动态监测,FMR有望从科研指标转化为代谢疾病风险分层、疗效评价的临床工具,助力心脏代谢疾病的精准预防与个体化管理,为全球人群心脏代谢疾病防控提供新策略。

伦理声明:不适用

作者贡献:文献查阅、论文撰写:钟伟豪;论文修改与审阅:杨伟

数据获取:不适用

利益冲突声明:无

致谢:不适用

参考文献

- Jamali Z, Ayoobi F, Jalali Z, et al. Metabolic syndrome: a population-based study of prevalence and risk factors[J]. *Sci Rep*, 2024, 14(1): 3987.
- Ma K, Liu H, Guo L, et al. Comparison of metabolic syndrome prevalence and characteristics using five different definitions in China: a population-based retrospective study[J]. *Front Public Health*, 2024, 12: 1333910.
- Francula-Zaninovic S, Nola IA. Management of measurable variable cardiovascular disease' risk factors[J]. *Curr Cardiol Rev*, 2018, 14(3): 153-163.
- Guembe MJ, Fernandez-Lazaro CI, Sayon-Orea C, et al. Risk for cardiovascular disease associated with metabolic syndrome and its components: a 13-year prospective study in the RIVANA cohort[J]. *Cardiovasc Diabetol*, 2020, 19(1): 195.
- Kurinami N, Sugiyama S, Yoshida A, et al. Correlation of body muscle/fat ratio with insulin sensitivity using hyperinsulinemic-euglycemic clamp in treatment-naïve type 2 diabetes mellitus[J]. *Diabetes Res Clin Pract*, 2016, 120: 65-72.
- Jhee JH, Joo YS, Han SH, et al. High muscle-to-fat ratio is associated with lower risk of chronic kidney disease development[J]. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*, 2020, 11(3): 726-734.
- De Lorenzo A, Soldati L, Sarlo F, et al. New obesity classification criteria as a tool for bariatric surgery indication[J]. *World J Gastroenterol*, 2016, 22(2): 681-703.
- Ross R, Neeland IJ, Yamashita S, et al. Waist circumference as a vital sign in clinical practice: a Consensus Statement from the IAS and ICCR Working Group on Visceral Obesity[J]. *Nat Rev Endocrinol*, 2020, 16(3): 177-189.
- Seyedhoseinpour A, Barzin M, Mahdavi M, et al. BMI category-specific waist circumference thresholds based on cardiovascular disease outcomes and all-cause mortality: Tehran lipid and glucose study (TLGS)[J]. *BMC Public Health*, 2023, 23(1): 1297.
- Dalton M, Cameron A, Zimmet P, et al. Waist circumference, waist-hip ratio and body mass index and their correlation with cardiovascular disease risk factors in Australian adults[J]. *J Intern Med*, 2003, 254(6): 555-563.
- Oliver C, Climstein M, Rosic N, et al. Fat-free mass: friend or foe to metabolic health?[J]. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*, 2025, 16(1): e13714.
- Elagizi A, Kachur S, Lavie C, et al. An overview and update on obesity and the obesity paradox in cardiovascular diseases[J]. *Prog Cardiovasc Dis*, 2018, 61(2): 142-150.
- Seo Y, Song HJ, Song YR. Fat-to-muscle ratio as a predictor of insulin resistance and metabolic syndrome in Korean adults[J]. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*, 2020, 11(3): 710-725.
- Wang N, Sun Y, Zhang H, et al. Total and regional fat-to-muscle mass ratio measured by bioelectrical impedance and risk of incident type 2 diabetes[J]. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*, 2021, 12(6): 2154-2162.
- Chen YY, Fang WH, Wang CC, et al. Fat-to-muscle ratio is a useful index for cardiometabolic risks: a population-based observational study[J]. *PLoS One*, 2019, 14(4): e0214994.
- Kurinami N, Sugiyama S, Yoshida A, et al. Body muscle-to-fat ratio gender-specific cut-off values for impaired insulin sensitivity in patients with treatment-naïve type 2 diabetes mellitus[J]. *Endocrine*, 2019, 66(3): 503-508.
- Kurinami N, Sugiyama S, Yoshida A, et al. Body muscle-to-fat ratio (BMFR) as a promising anthropometric index for use in the evaluation of insulin resistance and metabolic disease risk: a narrative review[J]. *Curr Obes Rep*, 2025, 14(1): 76.
- Liu D, Zhong J, Ruan Y, et al. The association between fat-to-muscle ratio and metabolic disorders in type 2 diabetes[J]. *Diabetol Metab Syndr*, 2021, 13(1): 129.
- Lu Z, Hu Y, Chen X, et al. Sex-specific associations between total and regional fat-to-muscle mass ratio and cardiometabolic risk: findings from the China national health survey[J]. *Nutr J*, 2024, 23(1): 104.
- Leite N, Tadiotto MC, De Moraes Junior FB, et al. Examining the mediating role of muscle quantity in adolescents: associations with adiposity, cardiorespiratory fitness, muscular fitness, and cardiometabolic risk factors[J]. *Sci Rep*, 2024, 14(1): 12030.
- He H, Pan L, Wang D, et al. The association between muscle-to-fat ratio and cardiometabolic risks: the China national health survey[J]. *Exp Gerontol*, 2023, 175: 112155.
- Yu P, Hsu C, Lee W, et al. Muscle-to-fat ratio identifies functional impairments and cardiometabolic risk and predicts outcomes: biomarkers of sarcopenic obesity[J]. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*, 2022, 13(1): 368-376.
- Guerra Valencia J, Castillo-Paredes A, Gibaja-Arce C, et al. The association between lean-to-fat mass ratio and cardiometabolic abnormalities: an analytical cross-sectional study[J]. *J Clin Med Res*, 2024, 16(2-3): 81-93.
- Yan F, Nie G, Zhou N, et al. Combining fat-to-muscle ratio and alanine aminotransferase/aspartate aminotransferase ratio in the prediction of cardiometabolic risk: a cross-sectional study[J]. *Diabetes Metab Syndr Obes*, 2023, 16: 795-806.
- Kwon Y, Chung JA, Choi YJ, et al. Relationship of the degree of sarcopenia with the severity of nonalcoholic fatty liver disease and cardiometabolic risk in adolescents[J]. *Life (Basel)*, 2024, 14(11): 1457.
- Xu M, Gong Y, Yin X. Total and regional fat-to-muscle mass ratio in relation to all-cause and cause-specific mortality in men and women[J]. *J Clin Endocrinol Metab*, 2025, 110(6): e2054-e2063.
- Zhou R, Chen H, Lin Y, et al. Total and regional fat/muscle mass ratio and risks of incident cardiovascular disease and mortality[J]. *J Am Heart Assoc*, 2023, 12(17): e030101.

- 28 Xu K, Zhu H, Chen S, et al. Fat-to-muscle ratio: a new anthropometric indicator for predicting metabolic syndrome in the Han and Bouyei populations from Guizhou province, China[J]. *Biomed Environ Sci*, 2018, 31(4): 261–271.
- 29 Park J, Kim S. Validity of muscle-to-fat ratio as a predictor of adult metabolic syndrome[J]. *J Phys Ther Sci*, 2016, 28(3): 1036–1045.
- 30 Huang F, Ji X, Wang Z, et al. Fat-to-muscle ratio is associated with insulin resistance and cardiometabolic disorders in adults with type 1 diabetes mellitus[J]. *Diabetes Obes Metab*, 2023, 25(11): 3181–3191.
- 31 Ben Simon A, Brenner A, Segev-Becker A, et al. Body composition in children and adolescents with non-classic congenital adrenal hyperplasia and the risk for components of metabolic syndrome: an observational study[J]. *Front Endocrinol (Lausanne)*, 2022, 13: 1022752.
- 32 Song F, Xie L, Niu Y, et al. The association between skeletal muscle-to-fat mass ratio and insulin resistance in obese children with low skeletal muscle mass[J]. *BMC Endocr Disord*, 2026, 26(1): 136–144.
- 33 Hamou G, Ben Simon A, Yackobovitch-Gavan M, et al. Body composition shapes cardiometabolic risk in children with multifactorial dyslipidemia[J]. *Front Nutr*, 2026, 12: 1717055.
- 34 Yerushalmy-Feler A, Kassner O, Frank Y, et al. Body composition in pediatric celiac disease and metabolic syndrome component risk—an observational study[J]. *Pediatr Res*, 2023, 94(2): 618–625.
- 35 Alkhatib B, Orabi A, Agraib LM, et al. Metabolic syndrome prediction based on body composition indices[J]. *J Egypt Public Health Assoc*, 2024, 99(1): 34.
- 36 Sakuma K, Aoi W, Yamaguchi A. Current understanding of sarcopenia: possible candidates modulating muscle mass[J]. *Pflugers Arch*, 2015, 467(2): 213–229.
- 37 Papadopoli D, Pollak M, Topisirovic I. The role of GSK3 in metabolic pathway perturbations in cancer[J]. *Biochim Biophys Acta Mol Cell Res*, 2021, 1868(8): 119059.
- 38 Garmes HM. Special features on insulin resistance, metabolic syndrome and vascular complications in hypopituitary patients[J]. *Rev Endocr Metab Disord*, 2024, 25(3): 489–504.
- 39 Sinha S, Haque M. Insulin resistance is cheerfully hitched with hypertension[J]. *Life (Basel)*, 2022, 12(4): 564.
- 40 Gastaldelli A. Measuring and estimating insulin resistance in clinical and research settings[J]. *Obesity (Silver Spring)*, 2022, 30(8): 1549–1563.
- 41 Szukiewicz D. Molecular mechanisms for the vicious cycle between insulin resistance and the inflammatory response in obesity[J]. *Int J Mol Sci*, 2023, 24(12): 9818.
- 42 Orioli L, Thissen JP, Loumaye A. Changes in body composition, muscle function, and muscle insulin sensitivity induced by obesity and bariatric surgery: implications for sarcopenic obesity[J]. *Clin Nutr*, 2026, 56: 106547.
- 43 Li C, 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.
- 44 Yang W, Si SC, Wang WH, et al. Gut dysbiosis in primary sarcopenia: potential mechanisms and implications for novel microbiome-based therapeutic strategies[J]. *Front Microbiol*, 2025, 16: 1526764.
- 45 Guo L, Quan M, Pang W, et al. Cytokines and exosomal miRNAs in skeletal muscle-adipose crosstalk[J]. *Trends Endocrinol Metab*, 2023, 34(10): 666–681.
- 46 Kim Y, Song HJ, Kim D, et al. Cross-sectional and longitudinal associations of irisin and adiponectin with obesity, sarcopenia and sarcopenic obesity[J]. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*, 2026, 17(1): e70172.
- 47 Jang SY, Choi KM. Impact of adipose tissue and lipids on skeletal muscle in sarcopenia[J]. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*, 2025, 16(4): e70000.
- 48 Park MJ, Choi KM. Interplay of skeletal muscle and adipose tissue: sarcopenic obesity[J]. *Metabolism*, 2023, 144: 155577.

收稿日期: 2026 年 03 月 11 日 修回日期: 2026 年 08 月 04 日
本文编辑: 杨室淞 曹 越

引用本文: 钟伟豪, 杨伟. 脂肪肌肉比与代谢综合征及心脏代谢风险的研究进展[J]. 医学新知, 2026, 36(9): 1046–1052. DOI: 10.12173/j.issn.1004-5511.202603078.
Zhong WH, Yang W. Research progress on fat-to-muscle mass ratio in relation to metabolic syndrome and cardiometabolic risk[J]. *Yixue Xinzhi Zazhi*, 2026, 36(9): 1046–1052. DOI: 10.12173/j.issn.1004-5511.202603078.