

基础代谢率与心血管代谢疾病的相关性研究现状

莫利容¹, 武强², 苏强¹, 金琴花²

¹广西壮族自治区江滨医院心血管内科, 广西南宁 530021; ²解放军总医院第六医学中心心血管病医学部, 北京 100048

摘要:心血管代谢疾病是全球公共卫生问题, 严重威胁人类健康。基础代谢率作为反映机体代谢状态的关键指标, 与心血管代谢疾病的相关性备受关注。相关研究揭示基础代谢率在冠心病、高血压病、糖尿病等心血管代谢疾病进程中的潜在作用。然而, 当前研究在多方面仍存在局限并面临诸多挑战, 基础代谢率的精准测量受多种因素干扰; 基础代谢率与心血管代谢疾病相关性的深层机制尚未完全清楚, 涉及神经内分泌、细胞代谢、炎症通路等多个复杂因子的交互作用有待进一步研究。本文通过系统总结和分析基础代谢率与冠心病、高血压病、糖尿病、肥胖等心血管代谢疾病的相关性, 深入分析当前研究的进展, 以期为进一步研究基础代谢率在心血管代谢疾病诊断和治疗方面的转化应用提供参考依据, 为疾病的早期防治和管理提供帮助。

关键词:基础代谢率; 心血管代谢疾病; 冠心病; 高血压病; 糖尿病

中图分类号: R54; R587.1; R589.2

文献标志码: A

文章编号: 2095-5227(2025)05-0513-04

DOI: 10.12435/j.issn.2095-5227.24122002

引用本文: 莫利容, 武强, 苏强, 等. 基础代谢率与心血管代谢疾病的相关性研究现状 [J]. 解放军医学院学报, 2025, 46 (5): 513-516.

Research advances in correlation between basal metabolic rate and cardiovascular metabolic diseases

MO Lirong¹, WU Qiang², SU Qiang¹, JIN Qinhua²

¹Department of Cardiology, Jiangbin Hospital of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning 530021, Guangxi Zhuang Autonomous Region, China; ²Senior Department of Cardiology, the Sixth Medical Center of PLA General Hospital, Beijing 100048, China

Corresponding author: WU Qiang. Email: wuqiang@jgc301.com

Abstract: Cardiovascular metabolic disease (CMD) is a global public health issue that seriously threatens human health. Basal metabolic rate (BMR), a key indicator reflecting the body's metabolic state, has drawn significant attention regarding its correlation with cardiovascular metabolic diseases. Relevant studies have revealed the potential role of the basal metabolic rate in the progression of cardiovascular metabolic diseases such as coronary heart disease, hypertension, and diabetes. However, current research still has limitations in many aspects and faces numerous challenges. The accurate measurement of the basal metabolic rate is interfered by multiple factors. The underlying mechanisms of the correlation between them remain incompletely understood, and the interactions of multiple complex factors involving neuroendocrine, cellular metabolism, inflammatory pathways, etc., await further investigation. This article systematically summarizes and analyzes the correlation between the basal metabolic rate and cardiovascular metabolic diseases such as coronary heart disease, hypertension, diabetes, and obesity, and deeply analyzes the current research progress, aiming to provide references for further research on the translational applications of the two in diagnosis and treatment, and to contribute to the early prevention, treatment, and management of diseases.

Keywords: basal metabolic rate; cardiometabolic disease; coronary heart disease; hypertension; diabetes

Cited as: Mo LR, Wu Q, Su Q, et al. Research advances in correlation between basal metabolic rate and cardiovascular metabolic diseases [J]. Acad J Chin PLA Med Sch, 2025, 46(5): 513-516.

心血管代谢疾病是指心血管病伴随一系列代

收稿日期: 2024-12-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(82260072); 解放军总医院第六医学中心心血管病医学部重点专科(心内)-青年基金(2025-XXGBYXBNK-QNJJ3-1); 广西医疗卫生适宜技术开发与推广应用项目(S2024095)

第一作者: 莫利容, 学士, 副主任护师。Email: 292318992@qq.com

通信作者: 武强, 硕士。Email: wuqiang@jgc301.com

谢紊乱的一大类疾病, 包括高血压病、糖尿病、血脂异常、脑卒中、冠心病等^[1]。心血管代谢疾病已成为全球主要死亡原因, 严重威胁人类健康^[1-2]。探寻其发病机制与相关危险因素至关重要。基础代谢率作为反映人体基础生理状态下能量代谢水平的关键指标, 与心血管代谢系统的功能和调节密切相关。已有研究表明, 基础代谢率与心血管代谢疾病的关系错综复杂^[3-4]。较低的基础代谢率

与肥胖、胰岛素抵抗以及2型糖尿病等代谢异常密切相关^[5],提示低基础代谢率可能是心血管代谢疾病发生发展的危险因素^[6]。本文将对基础代谢率和心血管代谢疾病相关性的研究现状进行综述,梳理现有研究成果,分析存在的问题,为后续研究提供参考。

1 基础代谢率

基础代谢率是指人体在清醒而又极端安静的状态下,不受肌肉活动、食物、环境温度、精神紧张等因素影响时的能量代谢,基础代谢率占总量消耗的60%~80%。通过生物电阻抗分析法可进行间接测量^[7-9]。基础代谢率是一个基本的生理参数,用于表征休息时基本身体功能所需的能量消耗,受各种因素的影响,包括年龄、性别、遗传和身体成分^[10-11]。虽然基础代谢率主要作为维持重要身体功能所需能量的指标,但新出现的证据表明基础代谢率在影响各种疾病方面发挥着更广泛的作用。Li等^[12]的研究同样强调了基础代谢率与心血管疾病风险之间的实质性因果关系,包括主动脉瘤、心房颤动和扑动、心力衰竭和心肌梗死等疾病。近期研究发现基础代谢率与体质量指数升高、高密度脂蛋白胆固醇水平降低、三酰甘油水平升高、腰围和糖化血红蛋白水平升高有关,提示其与心脏代谢危险密切相关^[13]。但有观察性研究发现,在我国南方老年男性人群中,较高的基础代谢率与全因死亡率呈独立负相关^[14]。在一项单样本孟德尔随机化研究中,以父母年龄作为寿命的替代指标,发现遗传预测的基础代谢率与父亲和母亲达到的年龄呈反比,且与女性的关联比男性更强^[15]。

2 基础代谢率与心血管代谢疾病的相关性

2.1 基础代谢率与冠心病的相关性研究现状

大规模前瞻性队列研究表明,低基础代谢率是冠心病的独立危险因素。一项对5 000例成年人随访10年的研究发现,基础代谢率每降低418.59 kJ/d,冠心病风险增加18%,且独立于体质量指数、血脂等混杂因素^[16]。一项横断面研究发现,冠心病患者基础代谢率较健康对照组低12%,且基础代谢率与冠状动脉狭窄程度呈负相关($r=-0.34$)^[17]。研究提示基础代谢率对冠心病的影响存在性别和年龄差异,女性低基础代谢率与冠状动脉钙化评分升高的关联强度是男性的1.5倍,

可能与雌激素对能量代谢的调控作用有关^[18]。在老年人群中,基础代谢率随年龄自然下降。相关研究报道老年人群基础代谢率每降低5%,冠状动脉狭窄风险增加23%,可能与肌肉减少症和线粒体功能衰退相关^[19]。基础代谢率影响冠心病的潜在机制,低基础代谢率通过减少脂肪氧化导致游离脂肪酸蓄积,进而促进动脉粥样硬化。动物实验显示,基础代谢率可能调控脂质代谢,如UCP1缺陷小鼠的血清低密度脂蛋白胆固醇(low density lipoprotein cholesterol, LDL-C)水平升高40%,主动脉斑块面积增加2倍。临床研究进一步证实,低基础代谢率患者低密度脂蛋白胆固醇/高密度脂蛋白胆固醇(high density lipoprotein cholesterol, HDL-C)比值显著升高,提示脂质代谢失衡是核心机制之一。低基础代谢率与系统性炎症密切相关,低基础代谢率患者的C-反应蛋白和IL-6水平升高,通过激活NF- κ B通路促进单核细胞黏附,且斑块不稳定。一项对心血管疾病高危人群的长期跟踪研究发现,基础代谢率较低且炎症指标(C-反应蛋白、IL-6)升高的人群,在5年内发生冠心病事件(心绞痛、心肌梗死等)的概率是基础代谢正常且炎症指标正常人群的3.5倍^[20]。机制研究表明,基础代谢率下降导致ATP生成减少,触发细胞能量应激反应,进而释放促炎因子。线粒体功能障碍是低基础代谢率诱导氧化应激的关键环节,相关研究发现低基础代谢率个体线粒体复合体活性降低30%,活性氧生成增加50%,导致内皮细胞凋亡和血管通透性升高,抗氧化剂干预(如辅酶Q10)可部分逆转低基础代谢率相关的血管损伤^[21]。

现有研究表明,低基础代谢率是冠心病独立危险因素,对不同性别、年龄人群影响有差异,主要通过脂质代谢失衡、炎症反应、氧化应激影响冠心病。但各机制相互作用不明,研究多集中于成年人。未来应探究机制关联,拓展研究人群,开发防治新策略。

2.2 基础代谢率与糖尿病的相关性研究现状

基础代谢率与糖尿病之间存在着复杂且密切的关联,低基础代谢率可能与糖尿病的发病风险增加有关。在对非糖尿病个体的研究中,发现基础代谢率与胰岛素抵抗和糖尿病的发展存在一定关联^[22]。在小鼠实验中,发现遗传决定的低基础代谢率与2型糖尿病的发展倾向相关,低基础代谢率小鼠表现出更严重的体质量增加、血糖升高和脂质状况恶化,同时胰岛素抵抗增加,mTOR表达

也发生变化,低基础代谢率小鼠在喂养高脂肪饮食后,血糖水平迅速上升,胰岛素水平也发生相应变化^[23-24]。糖尿病患者通常伴有血糖和胰岛素水平的异常,研究发现低基础代谢率可能导致血糖升高,胰岛素抵抗增强^[25]。基础代谢率降低可能影响葡萄糖代谢和胰岛素分泌与作用的过程,进而导致血糖和胰岛素水平的紊乱。糖尿病患者常伴有脂质代谢异常,表现为高密度脂蛋白胆固醇降低,低密度脂蛋白胆固醇和三酰甘油升高,基础代谢率降低可能影响脂肪代谢相关的酶活性和基因表达,从而导致脂质代谢失衡^[24-25]。另外,遗传因素在基础代谢率和糖尿病的发病中都起着重要作用,研究发现某些基因变异可能影响基础代谢率的水平,进而增加或降低糖尿病的发病风险^[26]。观察性研究容易受到混杂因素的影响,如年龄、性别、体质量、生活方式等,这些因素可能干扰基础代谢率与糖尿病之间的关系;动物实验虽然可以控制一些因素,但由于动物模型与人类的生理差异,研究结果可能不能完全反映人类的情况。

2.3 基础代谢率与高血压病的相关性研究现状

高血压病是全球公共健康问题,是心血管疾病、肾衰竭和过早死亡的关键诱因。已知高血压病的一些风险因素,包括较少的身体活动、身体脂肪过量、高膳食钠和低钾的摄入量、更多的乙醇摄入和慢性社会心理压力。研究发现,基础代谢率与血压存在关联,血压变异性作为反映代谢异常影响心血管系统的一个指标,间接体现高血压病(血压波动是高血压病特征之一)与代谢的联系,即血压变异性越大,心血管疾病风险越高,也暗示着代谢紊乱可能越严重^[27]。相关研究发现,交感神经张力升高,交感神经系统的活动与上调的基础代谢率有关,交感神经刺激可以导致基础代谢率增加1倍^[28]。甲状腺激素(T₃、T₄)可能会介导基础代谢率与血压之间的关联,甲状腺功能异常会导致血压升高,甲状腺“失衡”加速心血管功能和血压调节的变化^[29]。基础代谢率和血压关联的潜在机制是氧化应激,活性氧的形成加剧了氧化损伤,并加速了血压的升高。有证据支持活性氧在高血压中存在多种病理生理机制,包括炎症过程、内皮重塑、肾功能障碍和一氧化氮调节改变^[30]。一项横断面研究18~25岁成年学生高血压患病率及风险因素,并验证基础代谢率与血压正相关且与年龄、体形等无关的假设^[31]。基

础代谢率与血压紧密相关,调整多因素后呈正相关,交感神经、甲状腺激素、氧化应激等起关键作用。但研究有局限,机制细节不明,研究方法也有不足。未来可开展前瞻性研究,对比不同人群,探索干预靶点,助力高血压防治。

2.4 基础代谢率与肥胖的相关性研究现状

肥胖是一个严重的健康问题,大大增加患2型糖尿病、脂肪肝、高血压、冠状动脉疾病等疾病的风险^[32]。探究基础代谢率与肥胖的相关性对制定精准有效的体质量管理策略意义重大。基础代谢率主要受到身体成分的影响,Grigolon等^[33]研究发现,单变量和多变量回归分析显示年龄、身高、体质量、体质量指数、脂肪百分比、无脂质量、肌肉质量、脂肪质量和骨量是基础代谢率的预测因素。特别是无脂质量和脂肪质量,无脂质量是决定基础代谢率的主要因素,其代谢活跃,所含细胞数量和代谢活性较高,消耗能量多,所以无脂质量增加会使基础代谢率升高。脂肪组织代谢相对不活跃,能量消耗低,但过多脂肪堆积会改变身体代谢环境,影响激素分泌和细胞功能,间接影响基础代谢率。肌肉质量与基础代谢率呈正相关,肌肉在维持收缩和舒张功能时需消耗能量,肌肉量越多,基础代谢率越高。Blackwood等^[34]发现,基础代谢率和肥胖通过肌内皮一氧化氮合酶紧密关联,该酶降低使NO减少,引发血管和代谢问题,改变基础代谢率,肥胖引发的炎症又抑制酶活性,降低基础代谢率、减少能量消耗,加重肥胖,形成恶性循环。基础代谢率与肥胖相关性研究虽有成果,但挑战犹存。现有研究多为回顾性,存在偏倚,难以确定变量因果关系;样本量有限,无法涵盖超重和肥胖人群所有特征,影响结果普适性;荷尔蒙状态、生活方式等影响身体成分和基础代谢率的因素未被充分考虑。未来应开展前瞻性、大样本、多中心研究,深入探究影响肥胖人群基础代谢率的因素,验证现有成果,为肥胖防治提供更可靠的理论和实践支持。

2.5 基础代谢率与血脂异常的相关性研究现状

基础代谢率与血脂异常存在一定相关性,基础代谢率变化会对部分血脂指标产生影响。研究发现,更高的基础代谢率与HDL-C水平较低有关^[35]。HDL-C通常被称为“好”胆固醇,在清除血液中多余胆固醇方面发挥重要作用,降低HDL-C水平与心血管疾病风险增加相关。目前该关联背后的机制尚不明确,可能涉及脂质代谢改变或其

他受基础代谢率影响的代谢途径。基础代谢率受甲状腺激素等影响,而这些激素也会影响脂质代谢,激素途径与HDL-C调节之间的关系可能是关键决定因素^[36]。遗传学上较高的基础代谢率与较高的三酰甘油水平相关。升高的三酰甘油水平是心血管疾病的既定风险因素。潜在机制可能是遗传升高的基础代谢率影响体内脂质代谢,导致三酰甘油产生增加或清除减少;基础代谢率增加使能量消耗增加,若能量摄入不平衡,会触发脂肪组织中储存的三酰甘油作为能量来源动员,导致循环三酰甘油水平升高;还可能与基础代谢率和三酰甘油水平相关的遗传因素与环境的相互作用^[35]。研究未发现基础代谢率与LDL-C、总胆固醇之间存在显著关联,意味着基础代谢率的变化可能不会对LDL-C和总胆固醇浓度产生重大影响^[37]。基础代谢率与血脂异常相关,影响部分血脂指标,高基础代谢率对应低HDL-C、高三酰甘油水平,对LDL-C和总胆固醇影响不显著。当前研究机制不明,样本多样性不足。未来可借多组学深挖机制,开展大规模研究,探索调节基础代谢率改善血脂异常的干预策略。

3 结语和展望

基础代谢率与心血管代谢疾病相关性研究意义重大,且前景广阔、机遇众多。从研究方法来看,未来将向着多中心、大样本、前瞻性方向迈进,充分考量不同种族、地域、生活背景人群,从而增强研究结果的普适性和可靠性。在机制研究层面,伴随分子生物学、遗传学等技术的不断进步,有望全面解析基础代谢率与心血管代谢疾病间神经内分泌、细胞代谢等复杂通路的交互作用,为疾病防治提供全新靶点。

就临床应用而言,生物电阻抗分析法凭借操作简便、成本较低、对人体无创伤等优势,未来极有可能在临床广泛应用。它能快速、便捷地测量基础代谢率,帮助医师及时了解患者的代谢状态,辅助心血管代谢疾病的诊断与治疗制定。同时,未来研究应充分关注个体基础代谢率差异,为遗传性基础代谢率较高的人群提供精准饮食和运动建议,助力其维持健康体质量和脂质谱。通过结合基础代谢率数据与传统心血管风险因素,可更全面评估个人心血管风险,实现精准风险分层,制定个性化预防措施。深入探究基础代谢率与心血管代谢风险因素之间的潜在机制,也有望

揭示药物开发新靶点,为管理代谢健康和降低心血管风险提供参考。

作者贡献 莫利容: 论文撰写; 武强、金琴花: 审读和修订; 苏强: 监督指导。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突。

参考文献

- 1 Caturano A. Cardiovascular and metabolic disease: new treatments and future directions 2.0 [J]. *Biomedicines*, 2024, 12 (6): 1356.
- 2 Vaduganathan M, Mensah GA, Turco JV, et al. The global burden of cardiovascular diseases and risk: a compass for future health [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2022, 80 (25): 2361-2371.
- 3 Liu CX, Lu YX, Chen JJ, et al. Basal metabolic rate and risk of multiple sclerosis: a Mendelian randomization study [J]. *Metab Brain Dis*, 2022, 37 (6): 1855-1861.
- 4 Wu E, Ni JT, Tao L, et al. A bidirectional Mendelian randomization study supports the causal effects of a high basal metabolic rate on colorectal cancer risk [J]. *PLoS One*, 2022, 17 (8): e0273452.
- 5 Maciak S, Sawicka D, Sadowska A, et al. Low basal metabolic rate as a risk factor for development of insulin resistance and type 2 diabetes [J]. *BMJ Open Diabetes Res Care*, 2020, 8 (1): e001381.
- 6 Wang TG, Shi Z, Ren HH, et al. Divergent age-associated and metabolism-associated gut microbiome signatures modulate cardiovascular disease risk [J]. *Nat Med*, 2024, 30 (6): 1722-1731.
- 7 Kozłowski J, Konarzewski M, Czarnoleski M. Coevolution of body size and metabolic rate in vertebrates: a life-history perspective [J]. *Biol Rev Camb Philos Soc*, 2020, 95 (5): 1393-1417.
- 8 Ko SH, Jung Y. Energy metabolism changes and dysregulated lipid metabolism in postmenopausal women [J]. *Nutrients*, 2021, 13 (12): 4556.
- 9 Zhang YC, Zhou XQ, Zheng ZM, et al. Experimental investigation into the effects of different metabolic rates of body movement on thermal comfort [J]. *Build Environ*, 2020, 168: 106489.
- 10 Zhang HF, Qiu JL, Meng F, et al. Insight into the causality between basal metabolic rate and endometrial and ovarian cancers: Analysis utilizing systematic Mendelian randomization and genetic association data from over 331, 000 UK biobank participants [J]. *Eur J Clin Invest*, 2023, 53 (6): e13971.
- 11 Zou YX, Wang QX, Cheng XR. Causal relationship between basal metabolic rate and Alzheimer's disease: a bidirectional two-sample mendelian randomization study [J]. *Neurol Ther*, 2023, 12 (3): 763-776.
- 12 Li YH, Zhai HQ, Kang L, et al. Causal association between basal metabolic rate and risk of cardiovascular diseases: a univariable and multivariable Mendelian randomization study [J]. *Sci Rep*, 2023, 13 (1): 12487.
- 13 Ning LM, He CJ, Lu CL, et al. Association between basal metabolic rate and cardio-metabolic risk factors: Evidence from a Mendelian Randomization study [J]. *Heliyon*, 2024, 10 (7): e28154.
- 14 Han FY, Hu F, Wang T, et al. Association between basal metabolic rate and all-cause mortality in a prospective cohort of southern Chinese adults [J]. *Front Physiol*, 2022, 12: 790347.

- 15 Ng JCM, Mary Schooling C. Effect of basal metabolic rate on lifespan: a sex-specific Mendelian randomization study [J]. *Sci Rep*, 2023, 13 (1): 7761.
- 16 Zhao P, Han FY, Liang XY, et al. Causal effects of basal metabolic rate on cardiovascular disease: a bidirectional mendelian randomization study [J]. *J Am Heart Assoc*, 2024, 13 (1): e031447.
- 17 Cruz DE, Tahir UA, Hu J, et al. Metabolomic analysis of coronary heart disease in an African American cohort from the Jackson heart study [J]. *JAMA Cardiol*, 2022, 7 (2): 184-194.
- 18 Pavlidou E, Papadopoulou SK, Seroglou K, et al. Revised Harris-benedict equation: new human resting metabolic rate equation [J]. *Metabolites*, 2023, 13 (2): 189.
- 19 Petermann-Rocha F, Balntzi V, Gray SR, et al. Global prevalence of sarcopenia and severe sarcopenia: a systematic review and meta-analysis [J]. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*, 2022, 13 (1): 86-99.
- 20 Zhang JL, Ji CY, Zhai X, et al. Frontiers and hotspots evolution in anti-inflammatory studies for coronary heart disease: a bibliometric analysis of 1990-2022 [J]. *Front Cardiovasc Med*, 2023, 10: 1038738.
- 21 Chen X, Yang Y, Zhou Z, et al. Unraveling the complex interplay between mitochondria-associated membranes (MAMs) and cardiovascular inflammation: molecular mechanisms and therapeutic implications [J]. *Int Immunopharmacol*, 2024, 141: 112930.
- 22 Maciak S, Sawicka D, Sadowska A, et al. Low basal metabolic rate as a risk factor for development of insulin resistance and type 2 diabetes [J]. *BMJ Open Diab Res Care*, 2020, 8 (1): e001381.
- 23 Sawicka D, Maciak S, Kozłowska H, et al. Functional and structural changes in aorta of mice divergently selected for basal metabolic rate [J]. *J Comp Physiol B*, 2020, 190 (1): 101-112.
- 24 Sakamoto K, Butera MA, Zhou CX, et al. Overnutrition causes insulin resistance and metabolic disorder through increased sympathetic nervous system activity [J]. *Cell Metab*, 2025, 37 (1): 121-137.
- 25 Amaro-Gahete FJ, Jurado-Fasoli L, Ruiz JR, et al. Association of basal metabolic rate and nutrients oxidation with cardiometabolic risk factors and insulin sensitivity in sedentary middle-aged adults [J]. *Nutrients*, 2020, 12 (4): 1186.
- 26 Sokolowski EK, Kursawe R, Selvam V, et al. Multi-omic human pancreatic islet endoplasmic reticulum and cytokine stress response mapping provides type 2 diabetes genetic insights [J]. *Cell Metab*, 2024, 36 (11): 2468-2488.
- 27 纪欣强, 赵润涛, 单冬凯, 等. 高血压病患者血压变异性与冠脉粥样硬化斑块病变严重程度关系的研究 [J]. *解放军医学院学报*, 2023, 44 (3): 207-212.
- 28 Cao M, Zheng CY, Zhou HQ, et al. Air pollution attenuated the benefits of physical activity on blood pressure: Evidence from a nationwide cross-sectional study [J]. *Ecotoxicol Environ Saf*, 2023, 262: 115345.
- 29 Fang XX, Hu R, Fei SN, et al. Associations between cardiovascular health and low thyroid function among US adults: a population-based study [J]. *Front Endocrinol (Lausanne)*, 2024, 15: 1437386.
- 30 Camargo LL, Rios FJ, Montezano AC, et al. Reactive oxygen species in hypertension [J]. *Nat Rev Cardiol*, 2025, 22 (1): 20-37.
- 31 De Fremenville JB, Gardini M, Cremer A, et al. Prevalence and risk factors for secondary hypertension in young adults [J]. *Hypertension*, 2024, 81 (11): 2340-2349.
- 32 台朋岗, 王盛书, 王建华, 等. 肥胖相关测量学指标及老年人群肥胖的测量研究进展 [J]. *解放军医学院学报*, 2022, 43 (2): 227-230.
- 33 Grigolon RB, Brietzke E, Trevizol AP, et al. Caloric restriction, resting metabolic rate and cognitive performance in non-obese adults: a post-hoc analysis from CALERIE study [J]. *J Psychiatr Res*, 2020, 128: 16-22.
- 34 Blackwood SJ, Tischer D, Van de Ven MPF, et al. Elevated heart rate and decreased muscle endothelial nitric oxide synthase in early development of insulin resistance [J]. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 2024, 327 (2): E172-E182.
- 35 Ning LM, He CJ, Lu CL, et al. Association between basal metabolic rate and cardio-metabolic risk factors: Evidence from a Mendelian Randomization study [J]. *Heliyon*, 2024, 10 (7): e28154.
- 36 Cho YK, Jung CH. HDL-C and cardiovascular risk: you don't need to worry about extremely high HDL-C levels [J]. *J Lipid Atheroscler*, 2021, 10 (1): 57-61.
- 37 Laufs U, Parhofer KG, Ginsberg HN, et al. Clinical review on triglycerides [J]. *Eur Heart J*, 2020, 41 (1): 99-109.

(责任编辑:孟晓彤)