·论著·

基于线粒体能量代谢探讨益气活血法治疗心肌缺血损伤的科学内涵*

李默涵[1,2,3]，葛昭[1,2,3]，刘桐作[1,2,3]，周梦雪[1,2,3]，任思霖[1,2,3]，王贤良[1,2]

1. 天津中医药大学第一附属医院，天津 300381；2. 国家中医针灸临床医学研究中心，天津 300381；
3. 天津中医药大学，天津 301617

摘要：线粒体是心肌能量代谢的主要场所，对氧气需求量较大，多种因素共同作用将破坏线粒体结构，出现线粒体外膜破裂、基质水肿、数量变少或数量增多而体积变小等情况，在缺氧条件下，进一步致线粒体功能低下。功能受限和结构损伤二者恶性循环，最终心肌能量衰竭。阳气与线粒体在生长衰老、免疫等多方面具有相似之处，线粒体是阳气的一种微观存在，阳气亏虚即线粒体功能障碍，气虚日久，则有形之邪丛生，与能量代谢紊乱的产物堆积有异曲同工之意，认为补足阳气是改善心肌缺血的基础。中医益气活血法可从能量底物利用、线粒体结构功能、能量代谢酶及蛋白质活性等多方面干预心肌线粒体能量代谢过程，发挥改善心血管疾病患者运动耐量、提高生活质量的作用。

关键词：心肌缺血损伤；益气活血法；线粒体；能量代谢
DOI：10.16368/j.issn.1674－8999.2025.06.188
中图分类号：R259.416.2　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1674－8999(2025)06－1171－06

Scientific Connotation of Yiqi Huoxue Method in Treatment of Myocardial Ischemic Injury Based on Mitochondrial Energy Metabolism

LI Mohan[1,2,3], GE Zhao[1,2,3], LIU Tongzuo[1,2,3], ZHOU Mengxue[1,2,3], REN Silin[1,2,3], WANG Xianliang[1,2]

1. The First Affiliated Hospital to Tianjin University of Traditional Chinese Medicine, Tianjin China 300381; 2. National Clinical Research Center for Chinese Medicine Acupuncture and Moxibustion, Tianjin China 300381; 3. Tianjin University of Traditional Chinese Medicine, Tianjin China 301617

Abstract: Mitochondria is the main site of myocardial energy metabolism, and the demand for oxygen is large, and a variety of factors will destroy the mitochondrial structure, resulting in rupture of the outer mitochondrial membrane, edema of the matrix, and the decrease in number or increase in number and volume decrease, which will further lead to mitochondrial dysfunction under hypoxic conditions. A vicious cycle of functional limitation and structural impairment leads to myocardial energy failure. Yang Qi and mitochondria have similarities in many aspects such as growth and aging, immunity, mitochondria is a microscopic existence of Yang Qi, Yang Qi deficiency is the dysfunction of mitochondria, Qi deficiency for a long time, there are tangible evils, and the accumulation of products of energy metabolism disorders has the same meaning, it is believed that replenishing Yang Qi is the basis for improving myocardial ischemia. Yiqi Huoxue method in TCM can intervene in the mitochondrial energy metabolism process of myocardium from many aspects, such as energy substrate utilization, mitochondrial structure and function, energy metabolism enzyme and protein activity, and play a role in improving exercise tolerance and quality of life of patients with cardiovascular diseases.

Key words: myocardial ischemic injury; Yiqi Huoxue method; mitochondria; energy metabolism

* **基金项目：**国家中医药传承创新团队项目－中医药防治心血管疾病传承创新团队(ZYYCXTD－C－202203)

心血管疾病(cardiocascular disease,CVD)患病人数在我国逐年上升,并成为我国城乡居民死亡的最主要因素,其中缺血性心脏病是 CVD 的主要类型[1],心肌缺血使得心肌细胞线粒体能量底物利用及线粒体结构、功能等方面均受到严重影响,进而导致心肌功能受损,最终进展为心力衰竭。现代医学聚焦线粒体能量代谢方向,改善丙酮酸代谢等优化能量代谢方式药物的使用取得了部分疗效[2],但仍有一定的条件需求及局限性[3]。

心肌缺血最常见的表现为心前区或胸骨后区不适,发病时患者多有压迫感、紧缩感、压榨样疼痛等症状,可归纳为中医“胸痹心痛”的范围,相关调查提出缺血性心脏病气虚、血瘀是最常见的证候要素[4]。心主血脉是心的生理功能,心气可以推动血行于脉道濡养脏腑及四周,故心气的充沛是决定心血运行与否的基础,心血的顺利运行是人体生命功能正常的重要因素[5],临床应用益气活血类中药改善心肌缺血症状,取得了良好的疗效[6-7]。刘艳丽等[8]整理了现代医家对于气的理解,部分医家提出气的实质是“能量”,虽无法完全阐释气的本质,但也证实中医学之气与现代医学的“能量”概念有一定的联系。线粒体作为心肌能量获取的主要来源,供给人体生长发育需求,这与气血理论有一定的相似性,现代医家认为线粒体能量代谢障碍与气虚血瘀之病机存在密切联系[9]。故本文对益气活血法改善心肌缺血过程中线粒体能量代谢障碍的相关研究进行归纳,旨在探讨益气活血法改善线粒体能量代谢的可能作用机制,为中医药治疗心肌缺血提供思路与经验。

1　心肌细胞的能量代谢

心脏为维持收缩功能及基础代谢过程,有非常高的能量需求[10],心肌的能量代谢需要通过 3 个主要环节实现,首先为能量底物利用,健康的心肌细胞具有良好的代谢灵活性,可以依据底物可用性、激素水平等不同情况灵活利用各种底物产生能量,其中脂肪酸氧化提供绝大部分能量(40% ~60%),其余则来自碳水化合物的氧化反应(20% ~40%)[11]。脂肪酸转运至心肌细胞被酯化后,在肉碱棕榈酰基转移酶(carnitine palmityl transferase 1、carnitine palmityl transferase 2,CPT1、CPT2)的催化下进入线粒体基质,实现脂肪酸 β 氧化形成乙酰辅酶 A(acetoacetyl coenzyme A,Acetyl - CoA)[12],葡萄糖被心肌细胞摄取后磷酸化为葡萄糖 - 6 - 磷酸(glucose - 6 - phosphate,G - 6 - P),进而通过糖酵解过程产生丙酮酸,丙酮酸于线粒体基质中被转化为 Acetyl - CoA,上述过程产生的 Acetyl - CoA 进入三羧酸循环产生黄素腺嘌呤二核苷酸(flavin adenine dinucleotide,FAD)和烟酰胺腺嘌呤二核苷酸(nicotinamide adenine dinucleotide,NADH)参与第二个环节,即氧化磷酸化,这一过程可供应 95% 的心肌能量[13],线粒体通过电子传递链将电子从 NADH 等传递到氧生成水,产生能量推动电化学质子梯度的形成,随后质子通过 F1/F0 ATP 酶(F1/F0 ATP Synthase)顺化学梯度进入线粒体基质,这一过程为三磷酸腺苷(adenosine triphosphate,ATP)的合成提供相应的化学能[14]。最后一个环节即能量的利用和转移,线粒体中的 ATP 由于肌酸激酶(creatine kinase,CK)的催化作用,和肌酸反应生成磷酸肌酸(phosphocreatine,PCr),PCr 可迅速扩散至肌原纤维,在心肌肌酸激酶作用下重新生成 ATP,为正常的心肌活动提供能量[15]。

2　心肌缺血过程中线粒体能量代谢特点

线粒体是心肌能量代谢的主要场所,对氧气需求量较大,因此在心肌缺血缺氧过程中也最易受损,现代研究普遍认为线粒体代谢功能障碍在受损心肌功能调节方面发挥重要作用[16],主要体现在底物利用程度的改变及线粒体稳态损伤两方面。

2.1　线粒体底物利用变化　心肌缺血早期,血浆中儿茶酚胺、氢化可的松等物质浓度增加,会促进脂肪组织脂解并导致循环血浆游离脂肪酸水平急速升高。在较高的循环脂肪酸水平下,部分心肌对于脂肪的摄取及脂肪酸氧化水平均会增加,但线粒体中丙二酰辅酶 A(malonyl coenzyme A,Malonyl - CoA)会因缺血缺氧条件减少,使得心肌细胞脂肪酸氧化进程难以控制[17],丙酮酸脱氢酶活性迅速降低造成葡萄糖代谢和糖酵解脱耦联,即葡萄糖氧化水平受限,糖酵解过程不断增加[18-20]。随着缺血缺氧程度的加重,氧化磷酸化进程受限,脂肪酸和葡萄糖的氧化过程受到不同程度的抑制,可产生的 ATP 大量减少,糖酵解最终成为供能的唯一方式,并且心肌代谢产物清除率也会随之降低,脂肪酸氧化水平的降低使得脂肪酸中间体累积,糖酵解产生的丙酮酸在乳酸脱氢酶的作用下产生乳酸等物质的堆积,加重细胞酸中毒[10,21],进而损伤线粒体功能。

2.2　线粒体稳态失衡　线粒体稳态失衡主要表现为线粒体结构和功能的受损。密闭缺氧环境下，线粒体的有氧代谢会明显受阻[22]，线粒体中 ATP 合成酶活性下降、电子传递链重塑，线粒体基本功能受损[23]，因此无法提供足量的 ATP 并产生大量活性氧（reactive oxygen species，ROS），造成氧化损伤，引起线粒体 DNA 受损，进一步出现线粒体膜电位变化及钙离子等物质的蓄积[24]，糖酵解过程是此时产能的主要供应途径，大量乳酸的聚积致使细胞酸中毒[25]，多种因素共同作用将破坏线粒体结构，出现线粒体外膜破裂、基质水肿、数量变少或数量增多而体积变小等情况，在缺氧条件下，进一步致线粒体功能低下[26-27]。功能受限和结构损伤二者恶性循环，最终心肌能量衰竭。

3　气血理论与线粒体能量代谢障碍关系

3.1　气虚是线粒体能量代谢障碍的核心病因　气是万物运动、变化和发展的共同物质基础和客观存在，具有温煦、推动、固摄等生理功能，气通过升、降、聚、散的运动形式可产生各种变化，称为气化，是一切现象的根本特征。《灵素节注类编》言："阳升则阴降，阳降则阴升，阳生阴，阴生阳，皆气化自然之性能。"《类经》提出："盖以天地万物皆由气化，气存数亦存，气尽数亦尽，所以生者由乎此，所以死者亦由乎此，此气之不可不宝，能宝其气，则延年之道也。"自然界的万物更替、人体的新陈代谢皆属气化之表现。这与线粒体通过利用能量底物氧化反应为生命正常活动提供 ATP 的过程有一定的相似性[28]。刘秀灵等[29]认为 ATP 和气有共同的物质基础，并在功能上有诸多相通之特点。龙专等[30]认为现代医学的能量与中医的气在生成、代谢、功能等方面有许多的相似性，通过糖类、脂质等能量底物氧化生成 ATP 的过程和气化相似，用以维持人类的生命活动。张茂林等[31]认为线粒体与元气的形成和功能十分相近，可能是元气的重要组成部分。郭闫闫等[32]提出阳气与线粒体在生长、衰老、免疫等多方面具有相似之处，线粒体是阳气的一种微观存在，阳气亏虚即线粒体功能障碍，气虚日久，则有形之邪丛生，与能量代谢紊乱的产物堆积有异曲同工之意，认为补足阳气是改善心肌缺血的基础。李国栋等[33]指出心气亏虚与能量代谢紊乱存在密切联系，且其他脏腑气虚也会伴见不同程度的线粒体功能或结构损伤。故线粒体能量代谢障碍归其根本在于气虚日久、气化功能失司。研究表明，益气类药物在改善心肌线粒体超微结构及动力学紊乱，增加线粒体能量生成方面具有一定的优势[34]。如补气药物人参，其活性成分可抑制 Ras 同源基因家族成员 A（Ras homologous gene family member A，RhoA）信号通路，改善线粒体功能障碍，减少线粒体结构损害[35]，黄芪甲苷可以维持线粒体膜电位稳定增加线粒体能量产出[36]。

3.2　血瘀是线粒体能量代谢障碍的关键病机　水谷精微在脾胃运化下化生为血，在气的推动下流布人体全身，对人体经络脏腑起濡养、滋润的作用，《素问·五脏生成》指出："肝受血而能视，足受血而能步，掌受血而能握，指受血而能摄。"气虚无力运行血液，则血滞化瘀，成有形之邪痹阻气机，影响人体正常生命活动。《灵素节注类编》注明："盖凡色泽荣华，由气行血而发现，气伤，则血涩不行而皆变也。"国医大师陈可冀院士提出"瘀毒致变"学说，心气亏虚或被大量消耗致心无力推动血液运行，血有余而气不足则生瘀血，机体代谢障碍日久化为内毒，进一步耗伤心气心阳[37]。这一理论可以在线粒体能量代谢障碍过程中得到有效验证，线粒体在处于心肌缺血缺氧环境时，细胞膜电位下降，细胞色素 - C（cytochrome C，cyt - C）等凋亡机制相关产物大量堆积，损伤心肌细胞[38]。氧化磷酸化水平下调，也使得脂肪酸、葡萄糖等代谢产物大量堆积，造成对线粒体结构的损伤及心肌细胞毒性。活血类药物三七可以加速对活性氧等物质的清除速度，减少相关产物的堆积，减轻线粒体应激状态下的损伤[39]。丹参中的活性成分可以减少 cyt - C 的释放及活性氧的生成，从而保护线粒体功能[40]。

4　益气活血法对线粒体能量代谢障碍的调节作用

4.1　调节能量底物的利用　江佳林等[41]发现益气活血代表方——暖心康可以抑制心肌缺血小鼠心肌脂肪酸氧化酶表达水平，优化能量底物应用，抑制脂肪酸氧化，增加心肌对葡萄糖的摄取并提升葡萄糖氧化水平。陈隽等[42]提出由黄芪、丹参、红参、白术等组方而成的健心颗粒能减少大鼠心肌组织脂肪酸和糖酵解过程产物的堆积，提高糖原和 ATP 的含量，证明大鼠心肌能量底物的利用发生了一定的改变。胡鸣旭等[43]发现参芪苈心方促进葡萄糖氧化的效率优于常规西药曲美他嗪，并可提升缺氧状态

下高能磷酸键的产出，提高能量代谢效率。

4.2　保护线粒体结构及功能　刘惠等[44]实验结果表明由人参、黄芪、麦冬、葶苈子等为主要成分的心阴片，对于心力衰竭小鼠线粒体结构和功能损伤具有一定的改善作用，相较于模型组，用药组小鼠的线粒体数量更多，膜结构更完整，内部形态较清晰。张秋梅等[45]研究证实益气活血复方可以修复受损线粒体 DNA 并增加线粒体的复制和表达，从而使得正常线粒体数量增多，减少代偿性的能量重构，加强 ATP 的产出。王臻等[46]发现补阳还五汤可显著降低心肌组织线粒体动力相关蛋白 1（dynamin - related protein 1，Drp1）mRNA 的表达水平，减少线粒体的分离，保护线粒体结构和功能。

4.3　调节能量代谢相关酶及蛋白的表达　黄小楼等[47]发现由黄芪、人参、当归等组成的益气活血药方可以提高心肌缺血大鼠 $Na^+ - K^+ -$ ATP 酶、$Ca^{2+} -$ ATP 酶活性，促进 Ca^{2+} 转运，减少钙超载，从而保护线粒体膜电位，增加能量产出，改善心肌缺血情况以恢复心功能。翟雪芹等[48]研究指出芪红胶囊（黄芪、桂枝、红景天、丹参等组成）具有益气通络之功，可调控蛋白激酶 B/腺苷酸活化蛋白激酶/哺乳动物雷帕霉素靶蛋白（protein kinase B/adenosine monophosphate/mammalian target of rapamycin，AKT/AMPK/mTOR）信号通路蛋白的表达，减少能量不足情况下的应激损伤，从而改善线粒体功能并促进能量产出。刘景峰等[49]实验表明由黄芪、太子参、红花等组成的益气活血中药可调节心力衰竭大鼠过氧化物酶体增殖物激活受体 γ 辅激活因子 1α（peroxisome proliferator - activated receptor gamma coactivator 1α，PGC - 1α）的蛋白表达，促进线粒体的产生，增加能量供应。廖佳丹等[50]研究显示由黄芪、人参、丹参、三七粉等组成的益气活血复方可以调节肌酸激酶活性，加强心肌对于能量的利用，提高能量代谢速率，改善心功能。

5　中医药调控线粒体能量代谢治疗心肌缺血损伤的临床研究

聚焦线粒体能量代谢方向以缓解心肌缺血患者临床症状、改善预后的潜在药物研究日益开展，目前部分合成药物通过优化能量代谢底物利用及保护、增强线粒体功能，发挥改善心肌缺血患者临床症状、生活质量，延缓心血管疾病进展的作用，但相关疗效和使用规范仍缺乏一定的数据支持[51]。气虚血瘀作为线粒体能量代谢障碍的核心病机，益气活血类中药的应用也随心肌缺血的治疗研究开展而得以重视。孙恒等[52]研究提示应用益气活血类中药芪参益气滴丸及补阳还五汤颗粒可改善冠心病心力衰竭气虚血瘀证患者的心功能，缓解临床症状，且患者血清能量代谢指标均得到改善。李津阳等[53]研究证实具有益气活血之功的养心氏片可有效减少运动过程中心绞痛心肌缺血的发作次数，提高患者运动耐量且有良好的安全性，后续研究证实养心氏片可以调节脂肪酸、葡萄糖代谢等多条代谢通路，发挥心脏保护作用[54]。谷彩霞[55]研究表明，芪苈强心胶囊联合达比加群酯可改善房颤合并心力衰竭患者能量代谢水平，进而抑制心力衰竭发展进程，缓解房颤症状，且效果优于西药单药应用。

6　结语

综上所述，随着现代医学的发展，线粒体能量代谢障碍病机与病理过程得到了更完善的剖析，中医的气血理论与线粒体之间也有了更紧密的联系。益气活血法改善线粒体能量代谢障碍疗效明确，并且相关机制探索取得了一定的进展，主要集中在改善线粒体对于能量底物的利用、维持线粒体结构及功能、调节能量代谢相关酶及蛋白的表达等方面。但相关研究大多为基础研究，部分临床研究虽运用组学联合应用技术探索相关机制，但仍不能详尽阐述作用靶点，且缺乏高质量的临床研究证据，因此有待开展进一步的探索，以期为后续疾病的治疗提供更好的思路与方法。

参考文献：

[1]刘明波，何新叶，杨晓红，等.《中国心血管健康与疾病报告 2023》要点解读[J]. 中国心血管杂志，2024(4)：305 - 324.

[2]VISKER J R，CLUNTUN A A，VELASCO - SILVA J N，et al. Enhancing mitochondrial pyruvate metabolism ameliorates ischemic reperfusion injury in the heart[J]. JCI Insight，2024，9(21)：e187849.

[3]宋涛，李臣文，赵文秀，等. 心肌缺血的能量代谢及代谢药物治疗[J]. 实用心脑肺血管病杂志，2006，14(10)：766 - 768.

[4]毕颖斐. 冠心病现代中医证候特征的临床流行病学调查[C]. 上海：2017 年第五次世界中西医结合大会论文摘要集，2017.

[5]毕颖斐，王贤良，王帅，等. 胸痹“阳微阴弦”病机内涵的

时代演变及现代认识[J]. 中华中医药杂志,2023,38(11):5266 - 5270.
[6]何晓华. 益气活血中药联合常规方案治疗冠心病心肌缺血(气虚血瘀证)的临床效果分析[J]. 中国实用医药,2019,14(10):114 - 116.
[7]王世娟,卜芸芸,李凡,等. 益气复脉注射液治疗老年冠心病慢性心力衰竭的疗效[J/OL]. 辽宁中医杂志,2024:1 - 11[2024 - 08 - 15]. https://kns. cnki. net/kcms/detail/21. 1128. R. 20240815. 1043. 054. html.
[8]刘艳丽,王秀秀,韩金祥. 中医"气"学说研究 60 年[J]. 辽宁中医杂志,2014,41(11):2299 - 2303.
[9]王新陆,李彬,王永霞,等. 从"仲景方"解读心肌能量代谢的现代研究[J]. 世界中西医结合杂志,2018,13(6):760 - 762,769.
[10]LOPASCHUK G D,USSHER J R,FOLMES C D L,et al. Myocardial fatty acid metabolism in health and disease[J]. Physiol Rev,2010,90(1):207 - 258.
[11]KARWI Q G,UDDIN G M,HO K L,et al. Loss of metabolic flexibility in the failing heart[J]. Front Cardiovasc Med,2018,5:68.
[12]JASWAL J S,KEUNG W,WANG W,et al. Targeting fatty acid and carbohydrate oxidation:a novel therapeutic intervention in the ischemic and failing heart[J]. Biochim Biophys Acta,2011,1813(7):1333 - 1350.
[13]HERZIG S,RAEMY E,MONTESSUIT S,et al. Identification and functional expression of the mitochondrial pyruvate carrier[J]. Science,2012,337(6090):93 - 96.
[14]LOPASCHUK G D,KARWI Q G,TIAN R,et al. Cardiac energy metabolism in heart failure[J]. Circ Res,2021,128(10):1487 - 1513.
[15]任臻,钟栩. 心肌细胞能量代谢障碍及药物治疗研究进展[J]. 中医临床研究,2016,8(35):51 - 54.
[16]PENNA C,PERRELLI M G,PAGLIARO P. Mitochondrial pathways,permeability transition pore,and redox signaling in cardioprotection:therapeutic implications[J]. Antioxid Redox Signal,2013,18(5):556 - 599.
[17]FILLMORE N,MORI J,LOPASCHUK G D. Mitochondrial fatty acid oxidation alterations in heart failure,ischaemic heart disease and diabetic cardiomyopathy[J]. Br J Pharmacol,2014,171(8):2080 - 2090.
[18]KURIEN V A,OLIVER M F. Free fatty acids during acute myocardial infarction[J]. Prog Cardiovasc Dis,1971,13(4):361 - 373.
[19]PARANG P,SINGH B,ARORA R. Metabolic modulators for chronic cardiac ischemia[J]. J Cardiovasc Pharmacol Ther,2005,10(4):217 - 223.
[20]RIZZA R A,MANDARINO L J,GERICH J E. Cortisol - induced insulin resistance in man:impaired suppression of glucose production and stimulation of glucose utilization due to a postreceptor detect of insulin action[J]. J Clin Endocrinol Metab,1982,54(1):131 - 138.
[21]张佩,王承龙,刘剑刚,等. 缺血性心脏病心肌能量代谢障碍的研究进展[J]. 心脏杂志,2018,30(2):207 - 211,217.
[22]邓炳楠,沈成凤,刘景君,等. 黄芪茯苓对小鼠急性缺氧心肌能量代谢相关基因的调控作用[J]. 营养学报,2020,42(4):394 - 397.
[23]王菲,钟森杰,李欣春,等. 基于线粒体能量代谢探讨"阴中求阳"法治疗慢性心力衰竭科学内涵[J]. 中国中医药信息杂志,2024,31(1):6 - 10.
[24]谭精培,苏畅,张秋雁,等. 中医药干预心肌缺血线粒体能量代谢研究进展[J]. 辽宁中医药大学学报,2022,24(1):49 - 53.
[25]苏小明,郑炎,田美媛,等. 缺氧对不同组织线粒体功能影响的研究进展[J]. 安徽医药,2022,26(7):1273 - 1276.
[26]向阳,杨海燕,赵春生,等. 基于线粒体心肌能量代谢探讨从"气"治疗慢性心力衰竭[J]. 中国民族民间医药,2021,30(2):5 - 8.
[27]张晶晶,李彬,朱明军,等. 中药改善心肌能量代谢的现代研究[J]. 中医药临床杂志,2018,30(5):787 - 790.
[28]林飞,郭丽丽,王阶. 基于线粒体的功能阐释中医"气"的作用[J]. 中国中西医结合杂志,2014,34(8):903 - 906.
[29]刘秀灵,赵凰宏,秦中朋,等. 中医"气"的概念和现代研究刍议[J]. 中医临床研究,2020,12(14):23 - 25.
[30]龙专,欧阳过,王敏,等. 基于"气虚 - 能量代谢重塑"探讨马王堆导引术在慢性心力衰竭中的作用机制[J]. 湖南中医药大学学报,2020,40(11):1350 - 1354.
[31]张茂林,张六通,邱幸凡,等. 论线粒体与中医"气"的关系[J]. 中国中医基础医学杂志,2001,7(4):60 - 61.
[32]郭闫闫,袁茜茜,赵明芬. 基于"阳化气,阴成形"理论探讨线粒体能量代谢障碍对心肌缺血损伤的影响[J]. 湖南中医药大学学报,2024,44(8):1500 - 1504.
[33]李国栋,李改杰,李丽,等. 基于线粒体功能障碍探讨气虚的生物学基础[J]. 环球中医药,2023,16(9):1844 - 1847.
[34]杨冬梨,李玉红,张文将,等. 中药对心肌细胞线粒体功能障碍的调节作用[J]. 中医学报,2022,37(3):529 - 534.
[35]郭啸,谭绍坤,宋红莉. 人参活性成分治疗冠状动脉粥样硬化性心脏病药理作用的研究进展[J]. 环球中医药,2025,18(2):372 - 380.
[36]张晶,王洪新,宋莹,等. 黄芪甲苷抑制大鼠心肌肥厚及

改善心肌能量代谢的作用观察[J]. 中成药,2012,34(5):924 - 928.
[37]王洁,龙霖梓,曲华,等. 基于"瘀毒"理论与线粒体自噬探讨心肌缺血再灌注损伤病因病机[J]. 中医学报,2023,38(11):2261 - 2267.
[38]薛大忠,赵自刚,牛春雨. 线粒体损伤及其在心肌细胞损伤中的作用[J]. 中国老年学杂志,2016,36(1):223 - 227.
[39]杨子平,包怡敏. 三七总皂苷对线粒体调控作用的研究进展[J]. 中国中药杂志,2017,42(5):870 - 874.
[40]马春香,孙媛,陈晓斌,等. 丹参酮ⅡA 预处理对心肌缺血再灌注损伤保护作用的研究[J]. 陕西医学杂志,2017,46(10):1358 - 1359.
[41]江佳林,董鑫,林祉均,等. 暖心康抑制线粒体分裂对心肌缺血再灌注小鼠的保护作用[J]. 中药新药与临床药理,2023,34(8):1069 - 1074.
[42]陈隽,黄飞翔,王永,等. 健心颗粒对慢性心力衰竭气虚血瘀证模型大鼠心肌能量代谢及 PPARα/PGC - 1α 通路的影响[J]. 中医杂志,2023,64(4):393 - 400.
[43]胡鸣旭,刘莉. 参芪苈心方对 H9C2 心肌细胞能量代谢的影响[J]. 中国中医药科技,2013,20(6):590 - 591.
[44]刘惠,王陵军,王俊岩,等. 心阴片对慢性心力衰竭模型小鼠线粒体能量代谢的影响[J]. 中医杂志,2021,62(12):1073 - 1079.
[45]张秋梅,张艳,王懿. 益气活血复方对 mtTFA 在慢性心衰大鼠血清中表达上调的实验研究[J]. 中华中医药学刊,2015,33(6):1452 - 1454.
[46]王臻,李洁白,董昕,等. 补阳还五汤对舒张性心衰大鼠心肌 α - MHC、β - MHC、Drp1 mRNA 及线粒体超微结构的影响[J]. 北京中医药大学学报,2018,41(12):1002 - 1006.
[47]黄小楼,平兰芝,谭晓波,等. 益气活血药方对心肌缺血再灌注损伤模型大鼠氧化应激及线粒体能量代谢的影响[J]. 河北中医,2023,45(4):597 - 602.
[48]翟雪芹,朱鹏程,王晓峰,等. 芪红胶囊对缺血性心力衰竭大鼠心肌线粒体能量代谢及 AKT/AMPK - mTOR 信号通路的影响[J]. 中西医结合心脑血管病杂志,2024,22(12):2150 - 2158.
[49]刘景峰,张艳,王懿,等. 益气活血中药对心衰大鼠心肌 PGC - 1α 能量代谢影响的实验研究[J]. 中华中医药学刊,2020,38(7):30 - 33.
[50]廖佳丹,王鹏程,张艳,等. 益气活血复方对慢性心衰大鼠心肌能量代谢 mi - CK mRNA 及蛋白的影响[J]. 中华中医药学刊,2016,34(8):1968 - 1971.
[51]史小飞,陈弋,陈枫,等. 改善心力衰竭能量代谢的潜在药物研究进展[J]. 药学实践与服务,2023,41(5):284 - 290.
[52]孙恒,邢作英,徐晓燕,等. 基于 NT - proBNP 探究益气活血法治疗冠心病心力衰竭(气虚血瘀证)临床疗效的相关影响因素[J]. 时珍国医国药,2023,34(9):2160 - 2164.
[53]李津阳,齐国先,王永权,等. 养心氏片治疗稳定型心绞痛的临床研究[J]. 中西医结合心脑血管病杂志,2018,16(15):2119 - 2123.
[54]ZHANG H,ZHAO Y H,XIA Z X,et al. Metabolic profiles revealed anti - ischemia - reperfusion injury of Yangxinshi tablet in Rats[J]. J Ethnopharmacol,2018,214:124 - 133.
[55]谷彩霞. 芪苈强心胶囊联合达比加群对心房颤动合并心力衰竭的疗效及心肌能量代谢的影响[J]. 心血管病防治知识,2023,13(3):3 - 5.

收稿日期:2024 - 12 - 24

作者简介:李默涵(1999 -),男,河北沧州人,硕士研究生,研究方向:中医药防治心血管疾病。
通信作者:王贤良(1981 -),男,安徽安庆人,医学博士,主任医师,博士研究生导师,研究方向:中西医结合防治心血管疾病。E - mail:xlwang1981@126.com

编辑:纪彬