

电针治疗肥胖的机制研究进展

宋卓颖¹, 邢程远¹, 丁维俊², 何燕¹

(¹成都体育学院运动医学与健康学院, 成都 641418; ²成都中医药大学基础医学院, 成都 610075)

【摘要】 肥胖是一种慢性代谢综合征, 不合理生活方式导致当今肥胖发病率持续上升。电针作为一种非药物、低不良反应的干预方式, 近年来在肥胖及其并发症的干预中展现出良好疗效。低频电针治疗肥胖的临床应用相对普遍, 高频(100 Hz)电针干预腹型肥胖与单纯性肥胖疗效更具优势; 波型以疏密波的使用最多, 连续波亦常见。本文综述了近10年来电针治疗肥胖的机制研究, 发现电针减重机制具有多靶点、多途径的特点, 涵盖调节下丘脑食欲相关神经元及神经肽表达、促进白色脂肪褐化与调节脂质代谢、调控肠道菌群稳态、缓解机体炎性反应及改善胰岛素抵抗等方面。本文通过总结电针治疗肥胖的相关机制研究进展, 以期电针治疗肥胖及相关疾病提供新的理论依据与治疗思路。

【关键词】 电针; 肥胖; 食欲; 脂质代谢; 炎性反应; 胰岛素抵抗; 肠道菌群

Research progress on the mechanisms of electroacupuncture in the treatment of obesity

SONG Zhuo-ying¹, XING Cheng-yuan¹, DING Wei-jun², HE Yan¹ (¹School of Sports Medicine and Health, Chengdu Sport University, Chengdu 641418, China; ²School of Basic Medical Sciences, Chengdu University of Traditional Chinese Medicine, Chengdu 610075)

【ABSTRACT】 Obesity is a chronic metabolic syndrome, and unhealthy lifestyles contribute to a continuous rise in its prevalence. As a non-pharmacological intervention with mild adverse reactions, electroacupuncture has achieved favorable therapeutic effects on obesity and its complications in recent years. Low-frequency electroacupuncture is widely applied clinically for obesity treatment, while high-frequency (100 Hz) electroacupuncture yields superior efficacy in abdominal obesity and simple obesity. Dense-sparse wave (100 Hz) is the most commonly used waveform, followed by continuous wave. This paper reviews studies on the mechanisms of electroacupuncture for obesity over the past decade. Electroacupuncture exerts weight-reducing effects via multiple targets and pathways, including regulating appetite-related neurons and neuropeptides in the hypothalamus, facilitating browning of white adipose tissue and lipid metabolism modulation, maintaining intestinal flora homeostasis, alleviating inflammatory responses and improving insulin resistance. By summarizing research advances in relevant mechanisms, this review aims to provide novel theoretical evidence and therapeutic strategies for electroacupuncture in the treatment of obesity and associated disorders.

【KEYWORDS】 Electroacupuncture; Obesity; Appetite; Lipid metabolism; Inflammation; Insulin resistance; Gut microbiota

根据最新流行病学数据, 全球超重或肥胖患者人数呈持续上升趋势, 预估2030年全球将有近30亿成人(约占成年人口50%)受超重或肥胖影响^[1], 肥胖目前已成为世界性公共卫生健康问题。肥胖的核心病理因素包括食欲旺盛、脂质代谢紊乱、免疫稳态失调、瘦素(LEP)抵抗和胰岛素抵抗(IR)等。肥胖不仅给工作和生活带来不便, 更是高

血压、糖尿病和心脑血管疾病的独立危险因素。目前, 肥胖的治疗方式包括药物、体育锻炼、饮食改变和减肥手术等^[2], 但长期的药物治疗存在心脏毒性、成瘾性、胃肠道不良反应及致癌等风险^[3-5]。电针作为非药物的中医干预手段, 因其疗效确切、经济方便和低不良反应等优势在减肥领域备受关注。本综述将在既往综述基础之上, 进一步从电针调节下

【DOI】10.13702/j.1000-0607.20251419

引用格式: 宋卓颖, 邢程远, 丁维俊, 等. 电针治疗肥胖的机制研究进展[J]. 针刺研究, 2026, 51(7): 942-951.

项目来源: 国家自然科学基金项目(No.82374176)

共同通信作者: 丁维俊, E-mail: Dingweijun@cdutcm.edu.cn

何燕, E-mail: heyanyan15735215773@163.com

丘脑食欲相关神经元及神经肽表达、促进白色脂肪(WAT)褐化与脂质代谢、调控肠道菌群稳态及缓解机体炎性反应与IR等方面来总结电针的减肥机制,以期为电针治疗肥胖提供新的生物学视角。

1 电针治疗肥胖的临床研究

电针作为肥胖干预的重要手段,现已在肥胖的临床干预中得到广泛应用。临床疗效对比研究显示,电针在改善肥胖相关指标方面优于单纯针刺,尤其在改善身体质量指数(BMI)、糖脂代谢水平和胰岛素敏感性方面优势更为突出^[6]。相关临床研究证实,电针具有良好的减重和降脂效果,可通过调节肥胖患者的血脂水平来改善脂质代谢紊乱状态,从而缓解肥胖^[7]。同时,电针可通过下调肥胖患者血清中肿瘤坏死因子 α (TNF- α)、白细胞介素(IL)-1 β 、IL-6等炎性因子水平来缓解慢性低度炎性状态^[8]。此外,电针还能降低肥胖患者的空腹血糖和胰岛素水平,从而改善IR^[9]。在肠道微生态方面,电针可调节肠道菌群结构,恢复肠道稳态,进而缓解患者肥胖状态^[10]。上述研究显示,电针可从多途径、多靶点来缓解肥胖。

2 电针治疗肥胖的动物实验研究

2.1 电针通过抑制食欲治疗肥胖

肥胖与食欲之间存在着复杂的生理学调节机制。肥胖通常被认为是能量摄入大于能量消耗的结果,这种状态并非仅仅由个人意志力决定,而是由体内的激素和神经信号共同调节。肥胖与食欲相互影响,食欲调节激素失衡会导致饱腹感迟钝,引发过度进食,从而导致肥胖;而肥胖又会加剧食欲调节激素抵抗,形成“越吃越胖、越胖越想吃”的恶性循环。

下丘脑被认为是调控食欲的关键脑区,包括弓状核(ARC)、腹内侧下丘脑核(VMH)、室旁核(PVN)、下丘脑背内侧核(DMH)和下丘脑外侧区(LHA)这几个核团。下丘脑核团与外周神经信号相互影响,共同调节机体的摄食行为。下丘脑核团中有两群功能相反的神经元,负责调控机体的进食行为,其中刺鼠相关肽(AgRP)和阿黑皮素原(POMC)神经元起主要调节作用。AgRP神经元被激活具有促进食欲的作用,POMC神经元被激活具有抑制食欲的作用。除了神经调节途径,下丘脑神经细胞分泌的POMC、AgRP神经肽,在摄食和能量调节中也发挥重要的内分泌调控作用。食欲亢进是肥胖发生发展的重要病理机制,因此,以食欲调

控为导向的干预手段,是实现有效减重的核心治疗策略。

研究显示,电针可以通过增加肥胖小鼠下丘脑中POMC神经元的数量来抑制食欲^[11];还可通过激活迷走神经传入纤维来上调孤束核(NTS)中胰高血糖素样肽-1(GLP-1)神经元的兴奋性,进而抑制肥胖大鼠食欲^[12]。

电针除了通过调控下丘脑中食欲神经元的数量和放电来调节食欲,还能通过调控食欲神经元分泌的神经肽来调节食欲。早期研究显示,采用2 Hz电针刺“足三里”“三阴交”,可通过增加肥胖大鼠ARC神经元中的 α -促黑素细胞刺激素(α -MSH)水平和其前体POMC的mRNA水平来抑制食欲^[13]。另有研究结果显示,电针抑制肥胖大鼠下丘脑中神经肽Y(NPY)、AgRP基因的表达,并通过调控下丘脑沉默信息调节因子1(SIRT1)和叉头状转录因子O1(FoxO1)去乙酰化水平来促进神经肽POMC基因的表达,从而对食欲起到抑制作用^[14-16]。目前,电针通过调控神经肽POMC的表达来抑制食欲的研究较多,但详细分子机制还有待进一步验证。

LEP和胆囊收缩素(CCK-8)在摄食和能量调节中发挥重要的内分泌调控作用。CCK-8是一种饱腹感激素,可以抑制机体对食物的摄入。肥胖状态下,机体对CCK-8的敏感性下降,从而导致食欲增加。LEP是脂肪组织分泌的外周饱腹感激素,可通过与下丘脑中LEP受体结合产生厌食效果^[17]。当LEP信号传导受阻时,机体对LEP的敏感性下降,这将会导致食欲亢进,进而引发肥胖。田小慧等^[18]研究显示,电针通过上调IR肥胖大鼠小肠和下丘脑中LEP受体蛋白OB-Rb表达和促进OB-Rb与LEP相结合来抑制食欲。此外,电针可激活肥胖大鼠NTS中的GLP-1神经元,抑制腹侧被盖区(VTA)中多巴胺(DA)的表达,从而降低食欲^[19]。最新研究显示,电针通过激活肥胖大鼠迷走神经传入纤维来上调结状神经节(NG)中GLP-1和CCK-8水平、下调胃饥饿素(GHRL)水平,进而发挥食欲抑制效应^[12]。

此外,一项小鼠全身性自噬关键基因Atg7敲除的研究显示,小鼠出现显著食欲抑制^[20],这一实验结果提示食欲调控机制可能与自噬生物学过程相关。电针通过调节自噬来抑制肥胖大鼠食欲的机制可能与结节性硬化症复合体1(TSC1)甲基化水平和哺乳动物雷帕霉素靶蛋白(mTOR)活性的降低有关^[15]。目前探讨电针通过调控自噬来影响食欲的

研究较少,未来可做进一步研究。电针抑制食欲的机制见图1。

2.2 电针促进脂质代谢治疗肥胖

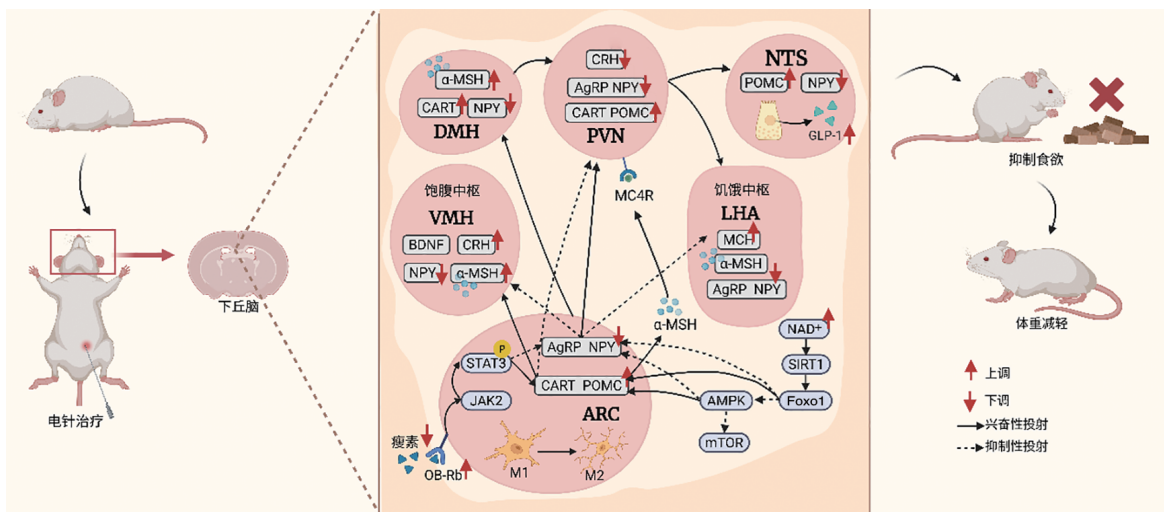
机体内有3种脂肪组织,分别为WAT、米色脂肪(Beige)和棕色脂肪(BAT),三者共同调控机体能量稳态。WAT主要储存过剩的甘油三酯;Beige在一定条件下可产热,具有“白转棕”的特征;BAT中的解偶联蛋白1(UCP1)可通过解除电子传递链与ATP合成的偶联关系,使得葡萄糖和脂肪酸的氧化过程转变为纯粹的“燃烧”过程,从而促进BAT产热^[21]。肥胖时,WAT褐化被抑制且过度增生,加剧炎症反应;同时BAT体积缩减、产热功能降低,导致机体能量消耗减少,形成“脂肪功能失调-能量失衡-肥胖”的恶性循环^[22]。

2.2.1 电针促进BAT产热和WAT褐化

过氧化物酶体增殖物激活受体 γ 共激活因子1 α (PGC-1 α)与UCP1是BAT产热功能的核心调控因子,PGC-1 α 通过直接调控UCP1的转录以促进线粒体合成,从而促进BAT产热。肥胖状态下,PGC-1 α 与UCP1表达均下降,线粒体受损,导致BAT产热能力下降。早期研究显示,采用8 Hz电针刺激“足三里”,可通过促进BAT中PGC-1 α 和UCP1的表达来增加产热,从而降低肥胖大鼠体质量^[23];后续研究进一步证实,电针调节BAT中PGC-1 α 和UCP1的

表达具有沉默信息调节因子3(SIRT3)依赖性^[24]。此外,采用2 Hz/15 Hz电针刺激肥胖大鼠的“天枢”,连续干预4周,可促进WAT中交感神经的激活和UCP1的表达,从而提高WAT的产热能力^[25]。长期高脂饮食会降低BAT中的交感神经活动,从而导致代谢紊乱并引发肥胖,研究显示,电针通过调节神经调节蛋白4(NRG4)/ErbB2受体酪氨酸激酶4(ErbB4)信号通路来重塑肥胖小鼠BAT中交感神经支配,从而促进BAT产热^[26],最终缓解肥胖。

研究显示,电针可通过诱导WAT中SIRT1依赖性过氧化物酶体增殖物激活受体 γ (PPAR γ)脱乙酰化,以及调控PGC-1 α /线粒体转录因子A(TFAM)/UCP1信号通路来诱导肥胖大鼠线粒体的生物合成^[27],从而促进WAT褐变。张艳倩等^[28]观察到,电针肥胖大鼠的“天枢”“足三里”能通过调控WAT中PGC-1 α /Irisin/UCP1信号通路来促进WAT褐化。此外,还有研究显示,电针可通过调控肥胖大鼠脂肪组织中腺苷酸活化蛋白激酶(AMPK)/SIRT1和蛋白激酶A(PKA)/环磷酸腺苷反应元件结合蛋白(CREB)信号通路及上调NRG4表达来提高脂肪组织中PGC-1 α 、PPAR γ 、PR结构域蛋白16(PRDM16)和UCP1的表达水平,进而促进WAT褐化^[29-31]。Hong等^[32]报道,电针通过调节miRNA27a表达,抑制自噬相关的关键蛋白表



注:VMH为腹内侧下丘脑核,DMH为下丘脑背内侧核,PVN为室旁核,NTS为孤束核,LHA为下丘脑外侧区,ARC为弓状核,CART为可卡因苯丙胺调节转录物,NPY为神经肽Y,CRH为促肾上腺皮质激素释放激素,AgRP为刺鼠相关肽,POMC为阿黑皮素原, α -MSH为 α -促黑素细胞刺激素,BDNF为脑源性神经营养因子,OB-Rb为瘦素受体b型,AMPK为腺苷酸活化蛋白激酶,SIRT1为沉默信息调节因子1,mTOR为哺乳动物雷帕霉素靶蛋白,M1为M1型巨噬细胞,M2为M2型巨噬细胞,MC4R为黑色素皮质素受体4,GLP-1为胰高血糖素样肽-1,MCH为促黑素聚集激素,NAD⁺为烟酰胺腺嘌呤二核苷酸,Foxo1为叉头状转录因子O1,STAT3为信号转导与转录激活因子3,JAK2为酪氨酸激酶2。

图1 电针抑制食欲改善肥胖的作用机制

Fig. 1 Mechanism of electroacupuncture in inhibiting appetite to improve obesity

达,从而促进WAT褐变。Gao等^[33]研究显示,电针通过调控肥胖小鼠WAT中的磷脂酰肌醇-3-激酶(PI3K)/磷酸酶与张力蛋白同源物(Pten)/血小板反应蛋白-1(Thbs1)信号通路,诱导血管生成,从而促进WAT褐变和产热。此外,电针一方面通过调控下丘脑肝激酶B1(LKB1)/AMPK信号通路增强交感神经信号输出,上调WAT中PGC-1 α 、UCP1、PPAR γ 及 β 3肾上腺素受体(β 3-AR)表达来促进WAT褐变^[34];另一方面可通过激活NTS中GLP-1神经元并促进VMH中AMPK磷酸化,上调UCP1表达来诱导WAT褐变^[35]。

2.2.2 电针促进脂肪分解和抑制脂肪合成

肥胖是脂质代谢紊乱的核心表现。当能量摄入超过消耗时,多余热量以甘油三酯形式储存在脂肪细胞中,导致脂肪组织体积增大。同时,肥胖常伴随血脂异常及肝脏脂肪沉积,形成代谢综合征,进一步加剧心血管疾病风险。电针可以通过多层次、跨组织调节脂质代谢来缓解机体肥胖状态。研究显示,电针通过抑制神经相关巨噬细胞(NAM)中的NOD样受体热蛋白结构域包含蛋白3炎性小体的激活来诱导脂肪分解,从而改善肥胖大鼠脂质代谢^[36]。同时,王雅媛等^[37]研究显示,电针上调肥胖大鼠WAT中SIRT1蛋白表达,激活Wnt/ β -catenin信号通路,抑制下游成脂基因PPAR γ 表达,从而降低血浆游离脂肪酸(FFA)、总胆固醇(TC)和甘油三酯(TG)水平。游翕等^[38]研究显示,电针通过上调肥胖大鼠下丘脑中miR-103表达水平来抑制下丘脑中mTOR/p70S6K信号通路活性,从而抑制脂肪的合成。此外,电针通过改善糖尿病肥胖小鼠的端细胞形态、上调端细胞间隙连接及增加端细胞周围外泌体来降低肾周WAT的质量、TC和低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)的水平^[39]。骨保护素(OPG)是肥胖发展过程中介导脂肪生成的关键调节因子,Lyu等^[40]研究显示电针可降低肥胖小鼠全身和局部OPG水平,从而减轻内脏脂肪组织的质量。王思宇等^[41]研究显示,电针还可以促进肥胖大鼠骨骼肌中SIRT1的表达,从而上调CREB和脑源性神经营养因子(BDNF)的表达,最终改善骨骼肌异位脂质沉积,缓解肥胖状态。最新研究显示,采用2 Hz电针连续14 d干预“关元”和双侧“天枢”,可通过调控肝脏中环磷酸腺苷(cAMP)/AMPK通路来调节围绝经期肥胖大鼠脂质代谢紊乱^[42]。以上研究结果显示,电针能够多层次、多途径调节肥胖状态下的脂质代谢。

2.3 电针通过缓解机体炎性反应治疗肥胖

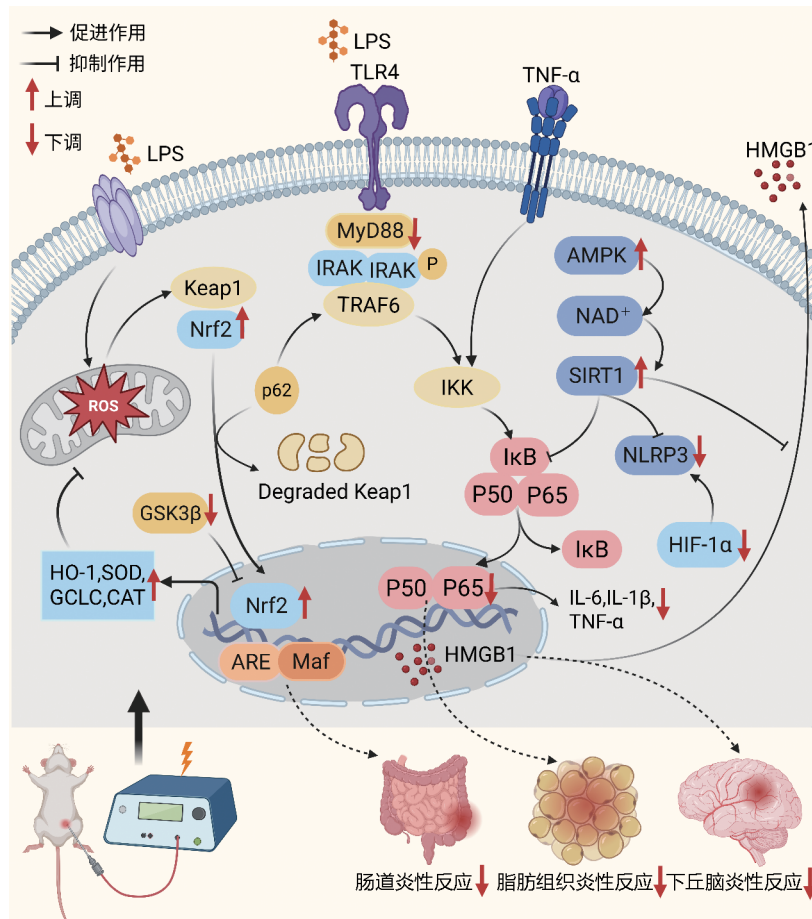
炎性反应与肥胖之间存在恶性循环关系,慢性低度炎性反应是肥胖的重要驱动因素。机体炎性因子水平升高会干扰胰岛素信号转导,引发IR,进而促进脂肪合成与堆积^[43]。同时,炎性反应还会激活下丘脑中的食欲调节中枢,增加饥饿感,减少能量消耗。此外,炎性环境也会改变肠道菌群结构,进一步影响代谢功能。炎性状态不仅会加剧现有肥胖表型,还会使减肥变得更加困难,形成恶性病理循环。

电针可从多途径缓解肥胖机体的炎性状态。Jie等^[44]研究显示,电针可增强肥胖大鼠迷走神经活动、促进血清中乙酰胆碱(ACh)释放和激活WAT中 α 7亚型烟碱乙酰胆碱受体(α 7nAChRs),从而抑制促炎细胞因子的产生。黄琪等^[45]报道,电针通过调控肥胖大鼠脂肪组织中SIRT1/核因子 κ B(NF- κ B)信号通路来缓解脂肪组织炎性反应状态。进一步研究显示,电针干预通过激活IR肥胖大鼠脂肪组织中的SIRT1,调节辅助性T细胞17/调节性T细胞平衡,从而抑制脂肪组织炎性反应^[46]。电针刺激“中脘”“关元”“足三里”“丰隆”,可通过抑制肥胖大鼠肝脏^[47]和肠道^[48]中Toll样受体4(TLR4)/NF- κ B信号通路激活来减轻炎性反应。同时,电针可调节缺氧诱导因子-1 α (HIF-1 α)及TLR4/NF- κ B的交互作用,从而抑制单纯性肥胖小鼠脂肪组织中的炎性反应^[49]。唐倩等^[50]研究显示,电针可通过调控SIRT1/高迁移率族蛋白B1(HMGB1)途径来抑制肥胖大鼠下丘脑的炎性反应。此外,电针激活核因子E2相关因子2(Nrf2)/血红素加氧酶-1(HO-1)信号通路,修复肠道屏障,从而对肥胖小鼠肠道中的炎性反应起到抑制作用^[51]。最新研究显示,15 Hz电针刺激双侧“三阴交”和“足三里”可降低血清中单核细胞趋化蛋白-1(MCP-1)和TNF- α 的表达,从而缓解IR大鼠炎性反应^[52]。电针抑制肥胖机体炎性反应的机制见图2。

2.4 电针通过改善IR治疗肥胖

当胰岛素受体对胰岛素的敏感性下降时就会出现IR。IR也是肥胖的原因之一,这两者之间也可以相互影响,当机体对葡萄糖的摄取和利用降低时,会导致葡萄糖在体内堆积,从而出现脂质代谢紊乱和体质量增加。肥胖状态下机体对胰岛素的敏感性会降低,这会进一步加重IR,形成恶性循环^[53]。

段浩茹等^[54]研究显示,电针可通过上调糖尿病肥胖大鼠骨骼肌中脂联素受体1(AdipoR1)/



注:LPS为脂多糖,TLR4为Toll样受体4,TNF- α 为肿瘤坏死因子- α ,HMGB1为高迁移率族蛋白B1,Keap1为Kelch样ECH相关蛋白1,Nrf2为核因子E2相关因子2,ROS为活性氧,GSK3 β 为糖原合酶激酶3 β ,HO-1为血红素加氧酶-1,SOD为超氧化物歧化酶,GCLC为谷氨酸-半胱氨酸连接酶催化亚基,CAT为过氧化氢酶,ARE为抗氧化反应元件,MyD88为髓样分子受体8,TRAF6为肿瘤坏死因子受体相关因子6,IKK为I κ B激酶,AMPK为腺苷酸活化蛋白激酶,NAD⁺为烟酰胺腺嘌呤二核苷酸,SIRT1为沉默信息调节因子1,NLRP3为NOD样受体家族热蛋白结构域包含蛋白3,HIF-1 α 为缺氧诱导因子1亚基 α ,IL-1 β 为白细胞介素-1 β ,IL-6为白细胞介素-6,I κ B为核因子 κ B抑制蛋白。

图2 电针抑制炎症反应改善肥胖的作用机制

Fig. 2 Mechanism of electroacupuncture in inhibiting inflammatory response and ameliorating obesity

AMPK/PPAR α 信号通路来缓解骨骼肌IR。同时,电针抑制糖尿病肥胖大鼠下丘脑中细胞因子信号抑制因子3(SOCS3)表达、促进胰岛素受体底物-1(IRS-1)表达,从而改善IR^[55]。低度炎症反应是IR的重要因素,阻断炎症反应可以提高胰岛素敏感性^[56]。宋燕娟等^[57]研究结果显示,电针可通过调控肥胖大鼠小肠组织中SIRT1/TLR4信号通路来减少血清中炎症因子的释放,提高胰岛素敏感性,从而改善IR。此外,电针通过调控GLP-1/腹侧被盖区多巴胺能神经元(VTADA)奖赏回路来提高肥胖大鼠的胰岛素敏感性^[19]。最新研究显示,电针激活胰腺周围脂肪组织中瞬时受体电位香草酸亚型1(TRPV1)/降钙素基因相关肽(CGRP)胰岛 β 细胞通路,从而改善肥胖大鼠IR^[58]。以上

结果显示,电针可通过多维度、多途径作用机制来有效缓解IR。

2.5 电针通过调节肠道菌群治疗肥胖

肠道菌群失调也与肥胖的发生发展密切相关。正常情况下,肠道内的各种菌群保持着平衡状态,一旦平衡被打破,肠道屏障及结构受损、失调,继而导致肥胖及相关代谢疾病的发生。研究显示,肥胖小鼠肠道菌群数量和多样性明显下降,同时,引起消化道及全身炎症反应的菌群占优势,进一步加剧肥胖^[59]。

电针可改善肥胖小鼠肠神经(ENS)功能和恢复肠道微生物群的多样性^[60]。研究显示,电针能提高糖尿病肥胖大鼠肠道中微生物的丰富度,上调维持肠道上皮稳态的有益菌群,减少影响宿主代谢的有害菌群,从而对肥胖起到干预作用^[61]。Xia等^[62]证

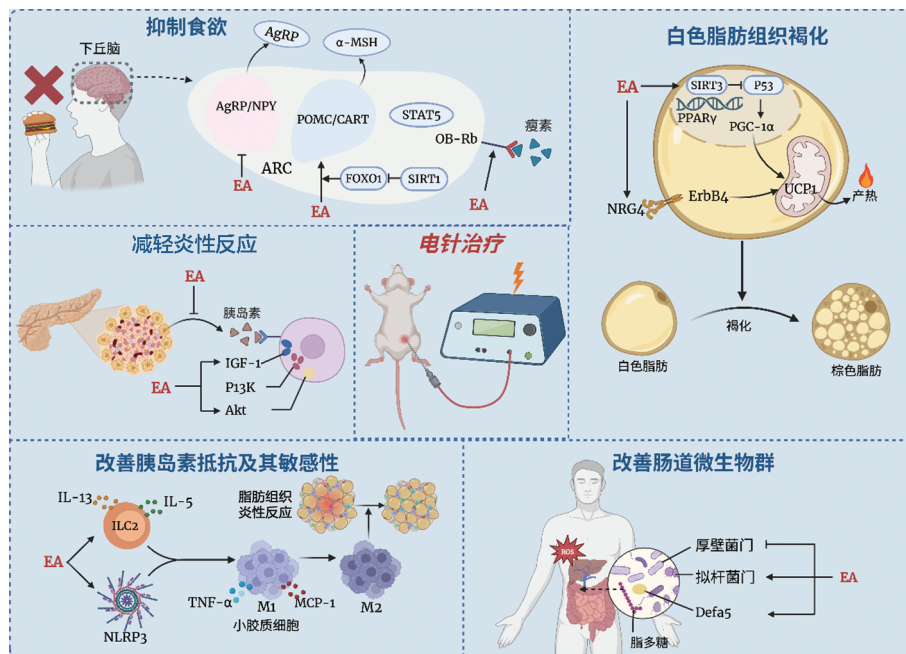
实,电针通过促进肠道防御素 Defa5 的表达来恢复肥胖小鼠的肠道菌群稳态。研究显示,在门水平上,电针可升高单纯性肥胖大鼠肠道菌群中的拟杆菌门丰度,降低厚壁菌门丰度^[51];在属水平上,电针可升高拟杆菌属、丁酸弧菌属和罗氏菌属相对丰度,最终对肥胖起到改善作用^[63]。高璐琪等^[64]研究显示,电针可显著降低营养型肥胖小鼠肠道内拟杆菌纲、变形菌、迟缓埃格特菌科和疣微菌科比例,同时提高芽孢杆菌纲、梭菌纲、梭菌科和放线菌纲比例,从而对肥胖起到改善作用。最近的研究显示,电针双侧“天枢”和“丰隆”可改善肥胖大鼠肠道微生物群的数量、丰度和结构,提高粪便中醋酸和血清中5-羟色胺(5-HT)含量,从而减轻肥胖^[65]。综上所述,电针可通过增加肠道菌群多样性,恢复肠道菌群平衡,从而缓解肥胖状态。

3 结语与展望

本综述系统整合近年来电针干预肥胖的机制研究,从多维度揭示其科学内涵,其核心机制包括:(1)在食欲调控维度,电针通过下丘脑核团协同调

控 POMC、GLP-1 神经元表达,激活 SIRT1/FoxO1/POMC 通路,并基于神经元电信号-神经肽释放-激素-自噬体代谢四维联动机制实现食欲抑制;(2)在脂肪组织代谢层面,通过调控 PGC-1 α /TFAM/UCP1,PGC-1 α /Irisin/UCP1及 NRG4/ErbB4 等信号通路来促进 WAT 褐化与 BAT 产热,介导 cAMP/AMPK、Wnt/ β -catenin 等通路调控脂质代谢;(3)在炎症反应调节方面,通过调控 SIRT1/NF- κ B、TLR4/NF- κ B 等炎症信号通路来改善肥胖相关慢性低度炎症状态;(4)在 IR 改善层面,通过调控 AdipoR1/AMPK/PPAR α 、TRPV1/CGRP/胰岛 β 细胞等信号通路及 GLP-1/VTADA 奖赏回路来增强胰岛素敏感性;(5)在肠道菌群调节维度,通过调节菌群结构及恢复肠道屏障功能重塑微生态平衡。电针治疗肥胖的机制总结见图 3。

电针作为一种非药物干预手段,凭借操作简便、安全性高、患者依从性良好等优势,已获得循证医学支持,在肥胖治疗中凸显重要价值。与传统针刺相比,电针通过特定频率的电流刺激,能够更均匀持久地激活皮下组织,从而实现代谢机制的



注:EA为电针,AgRP为刺鼠相关肽,POMC为阿黑皮素原,NPY为神经肽Y,CART为可卡因苯丙胺调节转录物,ARC为弓状核, α -MSH为 α -促黑素细胞刺激素,STAT5为信号转导和转录激活因子5,FoxO1为叉头状转录因子1,SIRT1为沉默信息调节因子1,OB-Rb为瘦素受体b型,IGF-1为胰岛素样生长因子-1,PI3K为磷脂酰肌醇3-激酶,Akt为蛋白激酶B,SIRT3为沉默信息调节因子3,PPAR γ 为过氧化物酶体增殖物激活受体 γ ,PGC-1 α 为过氧化物酶体增殖物激活受体 γ 共激活因子1 α ,UCP1为解偶联蛋白1,ErbB4为表皮生长因子受体4,NRG4为神经调节蛋白4,P53为肿瘤抑制基因p53,IL-13为白细胞介素-13,IL-5为白细胞介素-5,ILC2为II型固有淋巴细胞,NLRP3为NOD样受体家族热蛋白结构域包含蛋白3,TNF- α 为肿瘤坏死因子- α ,M1为M1型巨噬细胞,M2为M2型巨噬细胞,MCP-1为单核细胞趋化蛋白1,ROS为活性氧,Defa5为防御素5。

图3 电针治疗肥胖的核心机制总结

Fig. 3 Summary of core mechanisms of electroacupuncture in the treatment of obesity

精准调控。当前,在电针治疗肥胖的相关研究中,临床与基础层面均多采用腹部局部取穴联合下肢远端配穴的取穴模式,腹部常用的穴位为天枢、关元、中脘,下肢常用穴为足三里、丰隆、三阴交等。在临床研究中,电针治疗肥胖的频率多集中于1~100 Hz。部分研究显示,低频电针的临床应用相对普遍^[66],但在腹型肥胖与单纯性肥胖干预中,高频(100 Hz)电针疗效更具优势^[67-68]。此外,连续波和疏密波电针治疗单纯性肥胖的临床使用率和有效率都较高,但疏密波的使用最多^[69]。在基础研究中,现有系统评价与荟萃分析表明,电针干预肥胖动物模型多采用连续波,电针的刺激频率也多为1~100 Hz,其中10 Hz应用最为广泛^[70]。

然而,当前研究仍面临多个挑战:(1)在机制研究方面:食欲调控机制系统性解析不足,神经环路交互作用与电针长期干预效应未明;免疫炎症多通路协同机制及代谢改善与体质量降低的因果时序性亟待深入探究;肠道菌群-宿主交互作用机制尚未阐明;(2)在实验设计方面:脂肪组织区域异质性响应机制尚属空白,体内不同部位对电针的响应差异及功能关联未阐明,肥胖病理异质性下动物模型分层不足;(3)在参数规范方面:穴位配伍、刺激频率与电针波形仍缺乏规范标准,安全优化方案亟待明确。

针对上述挑战,未来研究应从以下方向突破:(1)在机制研究方面:结合神经影像学与基因编辑技术解析电针对食欲调控神经环路的长期效应;整合单细胞测序与蛋白质组学技术明确免疫炎症反应多通路协同靶点;(2)在参数规范方面:借助随机对照试验解析配穴量效关系与生物学效应、挖掘增效靶穴以推进配穴精准化研究,同时通过固定条件对比刺激参数差异优化治疗方案。

综上所述,电针治疗肥胖具有广阔的研究前景和巨大的临床应用潜力,未来需要加强多学科之间的交叉合作,整合中医理论和现代医学技术,深入开展电针治疗肥胖的机制研究,不断完善其理论体系和治疗方法,为肥胖患者带来更多的福音。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突。

参考文献

- [1] 中国营养学会肥胖防控分会,西安交通大学全球健康研究院,国际肥胖与代谢性疾病研究中心,等. 2025年世界肥胖报告[J]. 西安交通大学学报(医学版), 2025, 46(2): 363-379. Obesity Prevention and Control Society of Chinese Nutrition Society, Global Health Institute of Xi'an Jiaotong University, International Center for Obesity and Metabolic Diseases Research of Xi'an Jiaotong University, et al. World obesity atlas 2025 (in Chinese) [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University (Medical Sciences), 2025, 46(2): 363-379.
- [2] MÜLLER T D, BLÜHER M, TSCHÖP M H, et al. Anti-obesity drug discovery: advances and challenges [J]. Nat Rev Drug Discov, 2022, 21(3): 201-223.
- [3] YANG Z, LV Y H, YU M, et al. GLP-1 receptor agonist-associated tumor adverse events: a real-world study from 2004 to 2021 based on FAERS [J]. Front Pharmacol, 2022, 13: 925377.
- [4] 周围,马鹏,许天姝,等. 美国FDA上市减肥药不良反应研究进展与安全性思考[J]. 中国新药杂志, 2023, 32(20): 2113-2120. ZHOU W, MA P, XU T S, et al. Progress in research on side effects of FDA listed weight-loss drugs and considerations on their safety (in Chinese) [J]. Chinese Journal of New Drugs, 2023, 32(20): 2113-2120.
- [5] ZHU J F, HU M D, LIANG Y S, et al. Pharmacovigilance analysis of orlistat adverse events based on the FDA adverse event reporting system (FAERS) database [J]. Heliyon, 2024, 10(14): e34837.
- [6] 李湘琼,陈锐,陈闽湘,等. “标本配穴”电针对肥胖2型糖尿病患者糖脂代谢和胰岛素功能的改善作用[J]. 辽宁中医杂志, 2023, 50(2): 158-162. LI X Q, CHEN R, CHEN M X, et al. Effect of electroacupuncture on glucose and lipid metabolism and insulin function in obese patients with type 2 diabetes mellitus (in Chinese) [J]. Liaoning Journal of Traditional Chinese Medicine, 2023, 50(2): 158-162.
- [7] 赵舜滢. 电针强化干预治疗肥胖症并发血脂异常的临床研究[D]. 广州: 广州中医药大学, 2023. ZHAO S Y. The study of electroacupuncture intervention for obesity complicated with dyslipidemia (in Chinese) [D]. Guangzhou: Guangzhou University of Chinese Medicine, 2023.
- [8] 申芳芳,刘晓庆,董如雪,等. 皮内针联合常规电针治疗脾虚湿阻型单纯性肥胖患者的疗效及对糖脂代谢和炎症因子水平的影响[J]. 中华中医药杂志, 2025, 40(10): 5087-5090. SHEN F F, LIU X Q, DONG R X, et al. Effects of intradermal acupuncture combined with conventional electroacupuncture on glucose and lipid metabolism and inflammatory factor levels in simple obesity patients with spleen deficiency and dampness stagnation (in Chinese) [J]. China Journal of Traditional Chinese Medicine and Pharmacy, 2025, 40(10): 5087-5090.
- [9] NI W, WANG P, CHEN H J, et al. Obesity complicated with insulin resistance treated with the electroacupuncture at the combination of back-Shu and front-Mu points: a randomized clinical trial [J]. World J Acupunct Moxibust, 2022, 32(3): 213-217.
- [10] 陈璐璐. 不同频率电针对腹型肥胖患者肠道菌群的临床研究[D]. 北京: 北京中医药大学, 2019. CHEN L L. Clinical study on intestinal flora of abdominal obesity patients treated with electroacupuncture at different frequencies (in Chinese) [D]. Beijing: Beijing University of Chinese Medicine, 2019.

- [11] HE Y, YANG K, ZHANG L, et al. Electroacupuncture for weight loss by regulating microglial polarization in the arcuate nucleus of the hypothalamus[J]. *Life Sci*, 2023, 330: 121981.
- [12] 王玥竹. 电针激活迷走神经传入纤维上调孤束核GLP-1改善肥胖及脂质代谢的机制[D]. 武汉: 武汉体育学院, 2025.
WANG Y Z. Electroacupuncture activation of vagal afferents upregulates NTS GLP-1 to improve obesity and lipid metabolism: mechanism (in Chinese) [D]. Wuhan: Wuhan Sports University, 2025.
- [13] WANG F, TIAN D R, TSO P, et al. Arcuate nucleus of hypothalamus is involved in mediating the satiety effect of electroacupuncture in obese rats[J]. *Peptides*, 2011, 32(12): 2394-2399.
- [14] SHU Q, CHEN L, WU S, et al. Acupuncture targeting SIRT1 in the hypothalamic arcuate nucleus can improve obesity in high-fat-diet-induced rats with insulin resistance via an anorectic effect[J]. *Obes Facts*, 2020, 13(1): 40-57.
- [15] LENG J C, XIONG F, YAO J P, et al. Electroacupuncture reduces weight in diet-induced obese rats via hypothalamic Tsc1 promoter demethylation and inhibition of the activity of mTORC1 signaling pathway [J]. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2018, 2018(1): 3039783.
- [16] 宋燕娟, 陈瑞, 梁凤霞, 等. 电针对高脂饮食诱导的肥胖大鼠下丘脑沉默信息调节因子1、叉头状转录因子O1及阿黑皮素原的影响[J]. *针刺研究*, 2020, 45(1): 27-32, 45.
SONG Y J, CHEN R, LIANG F X, et al. Effect of electroacupuncture on silent information regulator 1, fork head transcription factor O1 and proopiomelanocortin in the hypothalamus of rats with obesity induced by high-fat diet (in Chinese) [J]. *Acupuncture Research*, 2020, 45(1): 27-32, 45.
- [17] WANG L, YU C C, LI J, et al. Mechanism of action of acupuncture in obesity: a perspective from the hypothalamus [J]. *Front Endocrinol*, 2021, 12: 632324.
- [18] 田小慧, 宋爱群, 梁凤霞, 等. 电针对胰岛素抵抗肥胖大鼠能量调控信号瘦素的影响[J]. *针刺研究*, 2021, 46(1): 39-44.
TIAN X H, SONG A Q, LIANG F X, et al. Effect of electroacupuncture on Leptin in energy-regulated signaling of obese rats with insulin resistance (in Chinese) [J]. *Acupuncture Research*, 2021, 46(1): 39-44.
- [19] ZHU Y, TIAN J, WEI X L, et al. Electroacupuncture alleviates obesity and insulin resistance via the GLP-1-VTADA reward circuit[J]. *Neuroendocrinology*, 2024, 114(3): 263-278.
- [20] IBRAHIM M, GOMEZ-JENKINS M, SCHEINFELD A, et al. Autophagy suppresses CCL2 to preserve appetite and prevent lethal cachexia [EB/OL]. *bioRxiv*, 2025. <https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2025.02.20.638910v1>.
- [21] AUGER C, KAJIMURA S. Adipose tissue remodeling in pathophysiology[J]. *Annu Rev Pathol*, 2023, 18: 71-93.
- [22] ZHANG P W, HE Y X, WU S, et al. Factors associated with white fat browning: new regulators of lipid metabolism [J]. *Int J Mol Sci*, 2022, 23(14): 7641.
- [23] DU H Y, ZHOU C S, WU H, et al. Effects of electroacupuncture on PGC-1 α expression in brown adipose tissue [J]. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2013, 2013: 625104.
- [24] WANG M, SUN Z C, OU Y G, et al. Electroacupuncture mediates fat metabolism and autophagy via a Sirt3-dependent mechanism in mice fed high-fat diet [J]. *Adv Biol*, 2024, 8(2): 2300370.
- [25] LU M J, HE Y, GONG M R, et al. Role of neuro-immune cross-talk in the anti-obesity effect of electro-acupuncture [J]. *Front Neurosci*, 2020, 14: 151.
- [26] YU Z W, ZHANG T, YANG X Y, et al. Neuregulin4-ErbB4 signalling pathway is driven by electroacupuncture stimulation to remodel brown adipose tissue innervation [J]. *Diabetes Obes Metab*, 2024, 26(9): 3880-3896.
- [27] TANG Q Q, LU M J, XU B, et al. Electroacupuncture regulates inguinal white adipose tissue browning by promoting sirtuin-1-dependent PPAR γ deacetylation and mitochondrial biogenesis [J]. *Front Endocrinol*, 2021, 11: 607113.
- [28] 张艳倩, 黄伟, 李佳, 等. 电针对肥胖大鼠白色脂肪组织PGC-1 α /Irisin/UCP1信号通路的影响[J]. *中华中医药杂志*, 2022, 37(6): 3471-3474.
ZHANG Y J, HUANG W, LI J, et al. Effects of electroacupuncture on PGC-1 α /Irisin/UCP1 signaling pathway in white adipose tissue of obese rats (in Chinese) [J]. *China Journal of Traditional Chinese Medicine and Pharmacy*, 2022, 37(6): 3471-3474.
- [29] 何昕璐, 李学智, 徐德伟, 等. 电针调控脂肪组织AMPK/Sirt1通路和Nrg4含量对中老年肥胖大鼠白色脂肪棕色化的影响[J]. *针刺研究*, 2023, 48(8): 764-772.
HE X L, LI X Z, XU D W, et al. Electroacupuncture intervention improves lipid metabolism and promotes browning of white adipose tissue by activating AMPK/Sirt1 pathway and up-regulating Nrg4 content in middle-aged and aged obese rats (in Chinese) [J]. *Acupuncture Research*, 2023, 48(8): 764-772.
- [30] CHEN J K, WU Y, LI W Z, et al. The regulatory effects of electroacupuncture on type 2 innate lymphoid cell (ILC2) function and browning of white adipose tissue in obese rats [J]. *World J Acupunct Moxibust*, 2024, 34(2): 138-146.
- [31] 廖德, 唐成林, 邱玮, 等. 电针激活PKA/CREB信号通路促进肥胖大鼠白色脂肪棕色化[J]. *针刺研究*, 2025, 50(5): 553-566.
LIAO C, TANG C L, QIU W, et al. Electroacupuncture activates PKA/CREB signaling pathway to promote browning of white fat in obese rats (in Chinese) [J]. *Acupuncture Research*, 2025, 50(5): 553-566.
- [32] HONG H, XU H X, MENG J Z, et al. Electroacupuncture altered expression of microRNAs in *Stat5* knockout obese mice [J]. *Acupunct Med*, 2022, 40(3): 249-257.
- [33] GAO H Y, LI Y H, JIN Y, et al. Electroacupuncture activates angiogenesis by regulating the PI3K/Pten/Thbs1 signaling pathway to promote the browning of adipose tissue in HFD-induced obese mice [J]. *Biomed Pharmacother*, 2023, 166: 115386.
- [34] 张英溶, 张艳倩, 黄伟, 等. 电针调控下丘脑LKB1/AMPK信号通路对肥胖小鼠白色脂肪棕色化的影响[J]. *针刺研究*,

- 2025, 50(4): 393-401.
- ZHANG Y R, ZHANG Y J, HUANG W, et al. Electroacupuncture intervention promotes browning of white adipose tissue by regulating LKB1/AMPK pathway in obese mice (in Chinese)[J]. *Acupuncture Research*, 2025, 50(4): 393-401.
- [35] 祝叶, 田峻, 邵雨薇, 等. 电针通过调控中枢GLP-1促进白色脂肪褐色化改善肥胖的机制研究[J]. *针刺研究*, 2023, 48(8): 727-735, 790.
- ZHU Y, TIAN J, SHAO Y W, et al. Electroacupuncture improves obesity and promotes white adipose tissue browning by regulating central glucagon-like peptide-1 (in Chinese)[J]. *Acupuncture Research*, 2023, 48(8): 727-735, 790.
- [36] LU M J, YU Z W, LI Q, et al. Electroacupuncture stimulation regulates adipose lipolysis via catecholamine signaling mediated by NLRP3 suppression in obese rats [J]. *Front Endocrinol*, 2022, 12: 773127.
- [37] 王雅媛, 梁凤霞, 卢威, 等. 电针激活SIRT1介导Wnt/ β -catenin通路调控脂质生成改善肥胖的机制研究[J]. *中国针灸*, 2021, 41(7): 774-780.
- WANG Y Y, LIANG F X, LU W, et al. Mechanism of electroacupuncture for regulation of lipid production and improvement in obesity by mediating Wnt/ β -catenin pathway through activating SIRT1 (in Chinese) [J]. *Chinese Acupuncture & Moxibustion*, 2021, 41(7): 774-780.
- [38] 游翕. 电针调节下丘脑mTOR/p70S6K信号通路的肥胖大鼠减重作用研究[D]. 成都: 成都中医药大学, 2022.
- YOU X. Effect of electroacupuncture on weight loss in obese rats by regulating mTOR/p70S6K signal pathway in hypothalamus (in Chinese) [D]. Chengdu: Chengdu University of TCM, 2022.
- [39] MEI L, ZHU Q M, BAI X B, et al. Cellular evidence for telocytes mediating electroacupuncture to ameliorate obesity in mice[J]. *Microsc Microanal*, 2023, 29(5): 1746-1754.
- [40] LYU Z P, CHAN Y T, LU Y J, et al. Osteoprotegerin mediates adipogenesis in obesity [J]. *J Adv Res*, 2024, 62: 245-255.
- [41] 王思宇. “标本配穴”电针对肥胖大鼠骨骼肌异位脂质沉积及SIRT1/CREB/BDNF表达的影响[D]. 武汉: 湖北中医药大学, 2024.
- WANG S Y. Effects of “Biao Ben Pei Xue” electroacupuncture on ectopic lipid deposition in skeletal muscle and expression of SIRT1/CREB/BDNF in obese rats (in Chinese) [D]. Wuhan: Hubei University of Chinese Medicine, 2024.
- [42] 张超月, 徐世芬, 杨维, 等. 电针调节cAMP/AMPK通路改善脂代谢治疗围绝经期肥胖的作用机制研究[J]. *中国中医药信息杂志*, 2026, 33(3): 75-81.
- ZHANG C Y, XU S F, YANG W, et al. Study on the mechanism of electroacupuncture regulating cAMP/AMPK pathway in improving lipid metabolism for the treatment of perimenopausal obesity (in Chinese) [J]. *Chinese Journal of Information on Traditional Chinese Medicine*, 2026, 33(3): 75-81.
- [43] KAWAI T, AUTIERI M V, SCALIA R. Adipose tissue inflammation and metabolic dysfunction in obesity [J]. *Am J Physiol Cell Physiol*, 2021, 320(3): C375-C391.
- [44] JIE X Y, LI X, SONG J Q, et al. Anti-inflammatory and autonomic effects of electroacupuncture in a rat model of diet-induced obesity[J]. *Acupunct Med*, 2018, 36(2): 103-109.
- [45] 黄琪, 陈瑞, 彭苗, 等. 电针对肥胖大鼠脂肪组织SIRT1/NF- κ B信号通路的影响[J]. *中国针灸*, 2020, 40(2): 185-191.
- HUANG Q, CHEN R, PENG M, et al. Effect of electroacupuncture on SIRT1/NF- κ B signaling pathway in adipose tissue of obese rats (in Chinese) [J]. *Chinese Acupuncture & Moxibustion*, 2020, 40(2): 185-191.
- [46] 王文炎, 刘静, 黄裳, 等. 电针通过脂肪组织SIRT1调节Th17/Treg细胞平衡改善胰岛素抵抗肥胖的机制研究[J]. *针刺研究*, 2025, 50(9): 1013-1020.
- WANG W Y, LIU J, HUANG S, et al. Mechanism of electroacupuncture in improving obesity with insulin resistance by regulating the balance of Th17 and Treg cells through SIRT1 (in Chinese) [J]. *Acupuncture Research*, 2025, 50(9): 1013-1020.
- [47] 卢威, 吴松, 李佳, 等. 电针通过调控肝脏Toll样受体4/核转录因子 κ B炎症反应通路改善胰岛素抵抗肥胖的机制研究[J]. *针刺研究*, 2022, 47(6): 504-509.
- LU W, WU S, LI J, et al. Mechanisms of electroacupuncture in improving obesity-induced insulin resistance via TLR4/NF- κ B inflammatory pathway in liver (in Chinese) [J]. *Acupuncture Research*, 2022, 47(6): 504-509.
- [48] 陈丽, 王静芝, 周广文, 等. 电针对肥胖大鼠肠道Toll样受体4和核转录因子 κ B的影响[J]. *针刺研究*, 2020, 45(7): 541-547.
- CHEN L, WANG J Z, ZHOU G W, et al. Effect of electroacupuncture on intestinal Toll-like receptor 4 and nuclear factor-kappa B in obese rats (in Chinese) [J]. *Acupuncture Research*, 2020, 45(7): 541-547.
- [49] 戴求福, 滕菲, 王雪飞, 等. HIF-1 α 及TLR4/NF- κ B互作介导电针对单纯性肥胖小鼠慢性炎症影响的研究[J]. *现代中西医结合杂志*, 2025, 34(15): 2045-2050, 2056.
- DAI Q F, TENG F, WANG X F, et al. Effect of electroacupuncture on chronic inflammation in mice with simple obesity via regulating the interaction of HIF-1 α and TLR4/NF- κ B (in Chinese) [J]. *Modern Journal of Integrated Traditional Chinese and Western Medicine*, 2025, 34(15): 2045-2050, 2056.
- [50] 唐倩. 电针通过调控SIRT1/HMGB1途径抑制下丘脑炎症改善肥胖大鼠胰岛素抵抗的机制研究[D]. 武汉: 湖北中医药大学, 2023.
- TANG Q. The mechanism of electroacupuncture to improve insulin resistance in obese rats by regulating SIRT1/HMGB1 pathway and inhibiting hypothalamic inflammation (in Chinese) [D]. Wuhan: Hubei University of Chinese Medicine, 2023.
- [51] 杨云昊. 电针激活Nrf2/HO-1信号通路修复肠道屏障治疗肥胖炎症性肠病小鼠的研究[D]. 重庆: 重庆医科大学, 2024.
- YANG Y H. Electroacupuncture for the treatment of obese inflammatory bowel disease in mice by activating Nrf2/HO-1 signaling pathway to repair intestinal barrier (in Chinese) [D]. Chongqing: Chongqing Medical University, 2024.

- [52] 刘霄潇, 孙健, 张海华, 等. 电针通过PI3K/Akt/GLUT4通路改善糖尿病肥胖大鼠糖脂代谢紊乱[J]. 针刺研究, 2025, 50(9): 1005-1012.
LIU X X, SUN J, ZHANG H H, et al. Electroacupuncture improves glucose and lipid metabolism disorders in diabetic obese rats via PI3K/Akt/GLUT4 pathway (in Chinese)[J]. *Acupuncture Research*, 2025, 50(9): 1005-1012.
- [53] ZHAO X F, AN X D, YANG C Q, et al. The crucial role and mechanism of insulin resistance in metabolic disease [J]. *Front Endocrinol*, 2023, 14: 1149239.
- [54] 段浩茹, 李瑞, 宋姗姗, 等. 电针调控骨骼肌AdipoR1/AMPK/PPAR α 通路改善糖尿病肥胖大鼠糖脂代谢紊乱的机制探讨[J]. 针刺研究, 2021, 46(11): 907-913.
DUAN H R, LI R, SONG S S, et al. Electroacupuncture improves glucose and lipid metabolism by regulating APN/AMPK/PPAR α signaling of skeletal muscle in Zucker diabetic obese rats (in Chinese)[J]. *Acupuncture Research*, 2021, 46(11): 907-913.
- [55] 庄舒婷, 李瑞, 宋姗姗, 等. 电针对糖尿病肥胖大鼠下丘脑SOCS3、IRS-1蛋白表达及胰岛形态的影响[J]. 中国针灸, 2022, 42(9): 1024-1028.
ZHUANG S T, LI R, SONG S S, et al. Effect of electroacupuncture on protein expressions of SOCS3 and IRS-1 in hypothalamus and pancreas islet morphology in diabetic fatty rats (in Chinese) [J]. *Chinese Acupuncture & Moxibustion*, 2022, 42(9): 1024-1028.
- [56] 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.
- [57] 宋燕娟, 黄琪, 陈丽, 等. 电针调控小肠沉默信息调节因子1/Toll样受体4炎性通路改善肥胖大鼠胰岛素抵抗的机制研究[J]. 针刺研究, 2023, 48(11): 1125-1133.
SONG Y J, HUANG Q, CHEN L, et al. Electroacupuncture improving obesity-induced insulin resistance via regulating intestinal SIRT1/TLR4 signaling pathway (in Chinese)[J]. *Acupuncture Research*, 2023, 48(11): 1125-1133.
- [58] LIU Y, YU Z, WANG X, et al. Neurophysiological mechanisms of electroacupuncture in regulating pancreatic function and adipose tissue expansion[J]. *World J Diabetes*, 2025, 16(5): 101354.
- [59] CAI H Y, ZHANG J H, LIU C, et al. High-fat diet-induced decreased circulating bile acids contribute to obesity associated with gut microbiota in mice[J]. *Foods*, 2024, 13(5): 699.
- [60] DOU D, CHEN Q Q, ZHONG Z Q, et al. Regulating the enteric nervous system against obesity in mice by electroacupuncture [J]. *Neuroimmunomodulation*, 2020, 27(1): 48-57.
- [61] DING L, TENG R F, ZHU Y F, et al. Electroacupuncture treatment ameliorates metabolic disorders in obese ZDF rats by regulating liver energy metabolism and gut microbiota[J]. *Front Endocrinol*, 2023, 14: 1207574.
- [62] XIA X W, XIE Y, GONG Y J, et al. Electroacupuncture promoted intestinal defensins and rescued the dysbiotic cecal microbiota of high-fat diet-induced obese mice[J]. *Life Sci*, 2022, 309: 120961.
- [63] 刘霞, 李祥, 郑近园, 等. 电针对单纯性肥胖症大鼠肠道菌群-短链脂肪酸代谢轴的影响[J]. 针刺研究, 2024, 49(8): 805-813.
LIU X, LI X, ZHENG J Y, et al. Effect of electroacupuncture on the intestinal flora-short chain fatty acid metabolism axis in simple obesity rats (in Chinese) [J]. *Acupuncture Research*, 2024, 49(8): 805-813.
- [64] 高璐琪, 司原成, 康朝霞, 等. 基于TLR5-肠道菌群途径探讨电针对营养型肥胖小鼠的作用机制[J]. 华中科技大学学报(医学版), 2024, 53(3): 321-327.
GAO L Q, SI Y C, KANG Z X, et al. Effect of electroacupuncture on nutritional obese mice based on TLR5-gut microbiota pathway (in Chinese) [J]. *Acta Medicinæ Universitatis Scientiæ et Technologiæ Huazhong*, 2024, 53(3): 321-327.
- [65] ZHANG J, YANG C, XIONG J, et al. Electroacupuncture exerts anti-obesity effects by affecting the gut microbiota and upregulating acetic acid and 5-HT levels in obese rats[J]. *Diabetes Metab Syndr Obes*, 2025, 18: 2995-3013.
- [66] 林菁菁, 殷莹, 胡晨芳, 等. 电针治疗胃热湿阻型腹型肥胖的临床研究[J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2024, 26(11): 2784-2790.
LIN J J, YIN X, HU C F, et al. Clinical study of electroacupuncture in treatment of abdominal obesity with stomach heat and dampness resistance (in Chinese)[J]. *World Science and Technology-Modernization of Traditional Chinese Medicine*, 2024, 26(11): 2784-2790.
- [67] 胡承红. 不同频率电针治疗腹型肥胖的临床观察[D]. 武汉: 湖北中医药大学, 2016.
HU C H. Clinical observations of electroacupuncture with different frequencies on the treatment of abdominal obesity (in Chinese) [D]. Wuhan: Hubei University of Chinese Medicine, 2016.
- [68] 胡冰林, 徐芬, 马朝阳. 不同电针刺激参数对单纯性肥胖疗效的相关思考与探讨[J]. 世界最新医学信息文摘(连续型电子期刊), 2019, 19(28): 171-172.
HU B L, XU F, MA C Y. Thinking about therapeutic effect of electroacupuncture on simple obesity with different stimulating parameters (in Chinese) [J]. *World Latest Medicine Information*, 2019, 19(28): 171-172.
- [69] 陈霞, 黄伟, 金熠婷, 等. 基于复杂网络技术对电针治疗单纯性肥胖处方分析[J]. 中国针灸, 2018, 38(3): 331-336.
CHEN X, HUANG W, JIN Y T, et al. Prescription analysis of electroacupuncture for simple obesity based on complex network technique (in Chinese)[J]. *Chinese Acupuncture & Moxibustion*, 2018, 38(3): 331-336.
- [70] FAN X L, YU M L, FU S P, et al. Effectiveness of acupuncture in treatment of simple obesity in animal models: a systematic review and meta-analysis [J]. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2019, 2019: 5459326.