

针灸治疗高血压的中枢调控机制研究进展

侯全亮^{1*}, 李 杨^{2#}, 胡 航¹, 樊纪春¹, 宋峻岩¹

¹黑龙江中医药大学研究生院, 黑龙江 哈尔滨

²黑龙江中医药大学附属第一医院, 黑龙江 哈尔滨

收稿日期: 2025年9月23日; 录用日期: 2025年10月24日; 发布日期: 2025年11月6日

摘 要

高血压是一种常见的心血管疾病, 其发病机制复杂, 中枢调控系统的功能紊乱是重要因素之一。近年来, 针灸作为一种非药物疗法, 在高血压治疗中显示出独特的优势。本文综述了针灸治疗高血压的中枢调控机制研究进展, 重点探讨了关键脑区(如延髓头端腹外侧区、孤束核、下丘脑室旁核)在血压调节中的作用, 以及针灸通过调节神经递质(如GABA、谷氨酸、5-HT、去甲肾上腺素)平衡、抑制NF- κ B炎症通路、激活NO-cGMP信号通路和改善氧化应激等分子机制实现降压的效应。此外, 本文还总结了常用穴位组合(如太冲-曲池、百会-风池)的中枢协同作用及耳穴调节特性。研究表明, 针灸通过多靶点、多通路整合调控自主神经功能, 恢复交感-迷走神经平衡, 为高血压的治疗提供了新的理论依据和临床实践方向。

关键词

针灸, 高血压, 中枢调控机制, 氧化应激, 自主神经

Research Progress on Central Regulatory Mechanisms of Acupuncture in Hypertension Treatment

Quanliang Hou^{1*}, Yang Li^{2#}, Hang Hu¹, Jichun Fan¹, Junyan Song¹

¹Graduate School, Heilongjiang University of Chinese Medicine, Harbin Heilongjiang

²The First Affiliated Hospital, Heilongjiang University of Chinese Medicine, Harbin Heilongjiang

Received: September 23, 2025; accepted: October 24, 2025; published: November 6, 2025

Abstract

Hypertension is a prevalent cardiovascular disorder with a complex pathogenesis, among which

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 侯全亮, 李杨, 胡航, 樊纪春, 宋峻岩. 针灸治疗高血压的中枢调控机制研究进展[J]. 中医学, 2025, 14(11): 4722-4731. DOI: 10.12677/tcm.2025.1411681

dysfunction of the central regulatory system serves as a critical contributing factor. In recent years, acupuncture, as a non-pharmacological therapeutic approach, has demonstrated unique advantages in the management of hypertension. This article reviews recent advances in understanding the central regulatory mechanisms underlying acupuncture's antihypertensive effects, with particular emphasis on the roles of key brain regions (including the rostral ventrolateral medulla, nucleus tractus solitarius, and hypothalamic paraventricular nucleus) in blood pressure regulation. Furthermore, it elaborates on the molecular mechanisms through which acupuncture achieves blood pressure reduction, including modulation of neurotransmitter balance (e.g., GABA, glutamate, 5-HT, and norepinephrine), suppression of the NF- κ B inflammatory pathway, activation of the NO-cGMP signaling cascade, and amelioration of oxidative stress. Additionally, this review synthesizes evidence regarding the central synergistic effects of commonly employed acupoint combinations (such as Taichong (LR3)-Quchi (LI11) and Baihui (GV20)-Fengchi (GB20)) and the regulatory properties of auricular acupuncture. Current research indicates that acupuncture exerts its therapeutic effects through multi-target and multi-pathway integrated modulation of autonomic nervous function, effectively restoring the sympathetic-vagal balance. These findings provide novel theoretical foundations and clinical perspectives for hypertension treatment.

Keywords

Acupuncture, Hypertension, Central Regulatory Mechanism, Oxidative Stress, Autonomic Nervous System

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

高血压是全球范围内威胁人类健康的主要慢性疾病之一，其发病与中枢神经系统的调控功能紊乱密切相关。传统药物治疗虽能有效控制血压，但长期使用可能伴随副作用，因此探索安全、有效的非药物治疗法具有重要意义。针灸作为中医的重要组成部分，通过刺激特定穴位调节机体气血阴阳平衡，在高血压治疗中展现出显著疗效。大量临床研究已证实[1][2]，针刺疗法能够有效调控血压水平，且与西药联合应用时可显著减少药物相关不良反应。动物实验研究进一步表明，针刺治疗可额外降低收缩压 10~20 mmHg、舒张压 6~10 mmHg，且几乎未观察到明显副作用[3]。

近年来，随着神经影像学(如 fMRI、PET-CT)和分子生物学技术的发展，针灸调节高血压的中枢机制逐渐被揭示。研究表明，针灸可通过调控延髓头端腹外侧区(RVLM)、孤束核(NTS)和下丘脑室旁核(PVN)等关键脑区的活性，纠正神经递质失衡，抑制炎症反应和氧化应激，从而降低交感神经兴奋性，实现血压的长期稳定。此外，穴位配伍(如太冲配曲池、百会配风池)和耳穴疗法通过协同作用进一步增强了针灸的降压效果。

本文系统梳理了针灸治疗高血压的中枢调控机制研究进展，旨在为针灸的临床应用提供科学依据，并为未来研究指明方向。通过深入理解针灸的多层次调控网络，有望为高血压的个体化治疗开辟新途径。

2. 高血压的中枢调控病理基础

2.1. 关键调控脑区

2.1.1. 延髓头端腹外侧区

延髓头端腹外侧区(Rostral Ventrolateral Medulla, RVLM)作为心血管调控的核心中枢区域，在维持静

息血压水平和调控交感神经输出活动中发挥决定性作用[4]-[6]。该区域神经元具有自发性电活动特征,其轴突通过脊髓中间外侧柱(Intermediolateral Column, IML)的交感节前神经元,直接调控外周心血管系统的功能活动。值得注意的是, RVLM 被视为各级心血管中枢调控交感神经传出活动的最终整合部位,是中枢神经系统调节心血管功能的关键“最后通路”[7]。现有研究揭示了 RVLM 参与血压调控的两条重要神经通路[8]:其一为情绪应激调控通路,涉及杏仁核中央区-下丘脑外侧区-穹窿周区-下丘脑背内侧核/腹内侧核-RVLM 的神经传导链,该通路主要依赖促肾上腺皮质激素释放激素(CRH)及 P 物质等神经肽类递质实现其升压效应;其二为应激反应通路,由膈区外侧部经缰核、蓝斑核最终投射至 RVLM,该通路以乙酰胆碱为主要神经递质,其功能特征与中医“肝阳上亢”的病机理论具有显著的相关性。在生理性血压调节过程中,当动脉血压升高时,外周压力感受器产生的神经冲动通过主动脉神经和颈动脉窦神经传入孤束核(Nucleus Tractus Solitarius, NTS),经 NTS 整合后,其兴奋性纤维投射至延髓尾端腹外侧区(Caudal Ventrolateral Medulla, CVLM),进而通过释放抑制性递质(如 GABA)作用于 RVLM 的压力敏感性神经元,最终抑制交感神经活性,实现血压的负反馈调节[9]。这一精细的神经调节机制为理解针灸干预高血压的中枢调控途径提供了重要的理论基础。

2.1.2. 孤束核

孤束核(Nucleus Tractus Solitarius, NTS)作为心血管自主神经调节的高级整合中枢,在维持平均动脉压(Mean Arterial Pressure, MAP)稳态中发挥着不可替代的调控作用。该核团不仅负责接收和整合来自外周压力感受器、化学感受器以及心肺受体的传入信号,更重要的是通过复杂的神经网络实现对交感神经活动的精确调控[10]。从神经解剖学角度来看,NTS 是延髓内唯一能够同时处理多种心血管相关参数(包括心率、血压及血容量等)信息的中枢结构。经过初步整合后,这些信息被传递至延髓腹侧核、丘脑以及其他心血管反射通路,形成一个完整的调控网络。值得注意的是,NTS 腹侧区作为血压调控的关键部位,其功能特征主要表现为:1) 通过抑制交感神经活性实现负反馈降压;2) 在神经冲动紊乱时维持血压稳态;3) 通过改变神经元结构特性调节血压调定点;4) 其负反馈机制对血压稳定的贡献显著优于结构改变的影响[11]。生理学研究显示,NTS 通过整合来自主动脉压力感受器、颈动脉体化学感受器以及心肺感受器的传入信号,将血压波动精确控制在狭窄的生理范围内[12]。特别值得关注的是,NTS 的活性变化与血压的昼夜节律高度相关:日间活动时伴随血压升高而活性降低,夜间休息时则随着血压下降而活性增强。这一生理特征与中医“天人相应”理论中“阴阳消长”的基本规律高度吻合,为从传统医学角度理解血压调控机制提供了现代科学依据。长期异常的力学或化学刺激可导致 NTS 的血压调定点发生病理性改变,进而影响其稳态调节能力。这一发现不仅深化了我们对高血压发病机制的认识,也为针灸等传统疗法干预血压调控的中枢机制研究提供了重要的理论切入点。

2.1.3. 下丘脑室旁核

下丘脑室旁核(Paraventricular Nucleus, PVN)已被公认为调控心血管稳态、神经内分泌活动和交感神经放电的关键中枢结构[13]。现代神经生物学研究表明,PVN 主要由表达 N-甲基-D-天冬氨酸(NMDA)受体亚基的神经元群体构成[14][15]。值得注意的是,通过分子生物学和免疫细胞化学技术证实,NMDA 受体亚基的表达水平可随全身动脉血压的变化而动态调节,这一发现揭示了 PVN 参与血压调控的分子基础[16]-[18]。在高血压发病机制方面,PVN 内促炎细胞因子(Pro-Inflammatory Cytokines, PICs)水平升高已被确认为重要病理因素[19]。实验证据显示,PICs 可通过特异性激活 PVN 神经元,增强肾交感神经输出,从而导致平均动脉压显著升高[20]。深入研究发现,PICs 的过度表达可诱发活性氧(Reactive Oxygen Species, ROS)生成增加,进而激活核因子- κ B (Nuclear Factor-kappa B, NF- κ B)信号通路,形成“促炎因子-ROS-NF- κ B”正反馈循环,这一恶性循环可能是导致血压持续升高的重要机制[21]。李霞团队[22]的最新研究

进一步揭示,在应激性高血压发生过程中,PVN合成的肾上腺髓质素可能通过调节血压平衡和内环境稳态参与疾病进程。这些发现不仅深化了我们对高血压中枢机制的认识,也为针灸等疗法干预PVN功能提供了理论依据。

2.2. 神经递质系统在高血压中枢调控中的作用机制

高血压的中枢调控与多种神经递质系统的功能紊乱密切相关,主要包括抑制性递质(GABA、5-HT)减少和兴奋性递质(谷氨酸、去甲肾上腺素)过度释放,导致交感神经活动亢进,从而引起血压升高。

2.2.1. GABA能系统的调节作用

γ -氨基丁酸(γ -Aminobutyric Acid, GABA)作为中枢神经系统主要的抑制性神经递质,在血压调控中发挥重要作用。研究表明[22],GABA通过以下机制实现降压效应:(1)抑制血管紧张素转化酶(Angiotensin-Converting Enzyme, ACE)活性;(2)激活GABAA和GABAB受体介导的血管舒张作用。值得注意的是,孤束核内GABA能神经传递增强可抑制压力感受器反射敏感性,导致中枢血压调定点上调和交感神经持续兴奋,这一机制可能是高血压进展的重要因素[23]-[29]。动物实验证实,自发性高血压大鼠(spontaneously hypertensive rats, SHR)小脑GABA含量显著降低,提示GABA能系统功能障碍与高血压发病密切相关[30]。

2.2.2. 谷氨酸能系统的双向调节

谷氨酸(Glutamate, Glu)不仅是GABA的生物合成前体和三羧酸循环中间产物,更是中枢最重要的兴奋性神经递质。研究发现[31],Glu通过孤束核压力感受器反射参与血压调节,其释放紊乱可导致血压调控失衡。郭等[32]的研究进一步揭示,下丘脑后部Glu释放水平随外周血管阻力和血容量的变化而动态调整,表明该脑区Glu能神经元在血压调控中具有重要作用。这种兴奋-抑制的平衡特性与中医“阴阳互根”理论高度吻合。

2.2.3. 5-羟色胺系统的多重效应

5-羟色胺(5-Hydroxytryptamine, 5-HT)系统异常可通过多重途径促进高血压发展:(1)增强交感神经活性;(2)改变血管内皮离子通道功能;(3)诱导血管平滑肌增殖和代谢紊乱。这些病理改变最终导致血管重构,表现为血管壁增厚、弹性降低和收缩反应增强[33]。从中医病机角度分析,这一过程与“肝郁化火、气血逆乱”的病理特点具有显著相关性。

2.2.4. 去甲肾上腺素系统的调控机制

去甲肾上腺素(Norepinephrine, NE)通过激活血管 α_1 受体引起血管平滑肌收缩,显著增加外周血管阻力和收缩压[34][35]。同时,NE通过 β_2 受体介导的血管舒张作用对舒张压产生调节效应[36]。这种双向调节特性体现了NE系统在血压精细调控中的复杂作用。

3. 针灸调节中枢的具体机制

3.1 神经影像学证据

3.1.1 功能磁共振成像(fMRI)技术的应用

功能磁共振成像(functional Magnetic Resonance Imaging, fMRI)凭借其高时空分辨率、无创性和动态可视化等优势,已成为研究针灸中枢机制的重要技术手段[37]。该技术能够精确定位脑功能活动区域,为阐释经穴特异性提供客观影像学证据。研究表明,在心血管调控中发挥关键作用的脑区包括:(1)前扣带皮层:作为内脏运动区参与压力相关的血压调节[37]。(2)岛叶皮层和内侧前额叶皮层:构成稳定的心血管

控制网络[38]。(3) 脑岛和前扣带皮层：在冥想相关心血管活动中显著激活[39]。王艳杰等[40]采用 fMRI 技术发现，针刺太冲配太溪穴可通过激活岛叶、扣带回等脑区，经丘脑背内侧核等结构中转，实现对血压的多层次调控。这一发现为理解针灸降压的中枢机制提供了重要依据。

3.1.2. PET-CT 技术的应用价值

正电子发射断层扫描 - 计算机断层扫描(Positron Emission Tomography-Computed Tomography, PET-CT)技术将功能代谢显像与解剖结构显像完美结合，其整体性、动态性特点与针灸治疗的整体调节理念高度契合[41] [42]。重要研究发现：(1) 针刺太溪穴可调节下丘脑室旁核(PVH)葡萄糖代谢，改变相关基因表达[43]。(2) 针刺太冲穴能增加下丘脑葡萄糖代谢，下调 GLUT1 表达[44]。(3) 不同穴位刺激可诱发特征性脑区激活模式，证实“穴位 - 脑相关”理论。

3.1.3. 技术应用的展望

当前神经影像学研究证实：(1) 针灸可特异性激活与血压调控相关的脑功能网络。(2) 不同穴位组合具有独特的中枢响应特征。(3) 针刺效应涉及多脑区协同整合。这些发现不仅为针灸降压机制研究开辟了新途径，更为传统针灸理论的现代科学阐释提供了有力证据。未来研究可结合多模态影像技术，进一步揭示针灸调控心血管功能的中枢网络机制。

3.2. 针灸降压的分子机制研究

3.2.1. NF- κ B 炎症通路的调控作用

核因子 κ B (Nuclear Factor-kappa B, NF- κ B)是调控炎症反应的关键转录因子，其异常激活与高血压的发生发展密切相关。研究表明[45] [46]，NF- κ B 信号通路激活后可显著增加 TNF- α 、IL-6 等促炎因子的表达，并通过以下机制促进高血压进展：(1) 小胶质细胞活化导致下丘脑室旁核神经炎症。(2) 增强交感神经活性。(3) 诱发进行性神经元损伤。针灸干预研究显示：(1) 电针风池、曲池穴可显著降低 NF- κ B p65 mRNA 和蛋白表达水平[47]。(2) 温针灸足三里能调控 TLR4/MyD88/NF- κ B 信号通路，改善血管功能[48]。

这些发现为理解针灸抗炎降压机制提供了分子层面的证据。

3.2.2. NO-cGMP 信号通路的调节

一氧化氮 - 环磷酸鸟苷(NO-cGMP)信号系统是心血管调控的重要途径。NO 通过以下机制发挥降压作用[49] [50]：(1) 激活平滑肌细胞鸟苷酸环化酶；(2) 提高细胞内 cGMP 水平；(3) 降低钙离子浓度；(4) 诱导血管平滑肌舒张。刘炜等[51]的研究证实，针灸可通过调节 NO-cGMP 信号通路，有效抑制交感神经过度兴奋，实现降压效应。

3.2.3. 氧化应激的改善作用

氧化应激是指一种体内氧化与抗氧化机制失衡的病理状态，促使 ROS 等有害氧化产物积聚，损伤机体正常生理功能。研究表明针刺治疗可以增加机体抗氧化酶活性、减少 ROS 的产生，还能修复被 ROS 损伤的脂质、蛋白质、DNA，从而有效抑制氧化应激反应[52]。一项基因本体和通路分析研究发现，通过针刺 SHR 太冲穴后，有 279 个基因和 20 条差异显著的通路与氧化应激、炎症和血管内皮功能相关，其中 CD4 和白细胞介素-33 可能参与炎症和氧化应激反应，并可能成为针灸治疗的潜在靶点[53]。

3.3. 自主神经再平衡

心率变异性(HRV)是无创、稳定、简易快捷的监测指标，反映自主神经系统活性，可以作为定量评估交感神经和迷走神经活动紧张性及平衡性的指标[54]。于丽通过分析 96 例原发性高血压患者的心率变异

性,显示原发性高血压者存在自主神经功能损害,其损害程度与心功能损害程度相关[55]。在杨贵的试验研究中推测到,针刺神门穴后,针刺冲动经尺神经沿臂上行经臂丛神经影响交感神经;其次,冲动经脊神经节传至脊髓,由脊髓上升至丘脑,经内囊至中央感觉中枢加以整合,经下行传导通路,作用于交感、副交感神经调节心血管活动,从而调节血压[56]。

心率变异性(Heart Rate Variability, HRV)作为评估自主神经功能的重要指标,能够客观反映交感-迷走神经的平衡状态[54]。临床研究显示,原发性高血压患者普遍存在 HRV 降低的特征性改变,提示其自主神经调节功能受损,且这种损害程度与心功能损伤呈显著正相关[55]。针刺调节自主神经的中枢机制可能涉及以下通路:(1) 外周传入通路:针刺刺激通过尺神经→臂丛神经上传。(2) 中枢整合通路:① 脊神经节→脊髓→丘脑;② 中央感觉中枢整合。(3) 下行调节通路:通过交感/副交感神经调控心血管活动。杨贵等[56]的研究表明,针刺神门穴可通过上述神经通路网络,实现对自主神经功能的双向调节,从而恢复交感-迷走神经平衡,达到稳定血压的治疗效果。这一发现为理解针灸调节自主神经功能的中枢机制提供了重要实验依据。

4. 穴位组合的中枢协同作用

4.1. 体穴配伍机制

4.1.1. 太冲、曲池

太冲穴作为肝经原穴,是肝之原气汇聚输注的重要部位。根据《黄帝内经》“诸风掉眩,皆属于肝”的理论,肝阳上亢是高血压发病的关键病机。《灵枢·经脉》指出肝经“上出额,与督脉会于巅”的循行特点,揭示了肝-脑相关的解剖基础。历代医家对肝的生理功能有深刻认识:张锡纯强调肝主一身气化之始,周雪海则提出肝主气机升降之枢。这些理论为太冲穴具有平肝潜阳、疏肝解郁的功效提供了依据,使其成为治疗高血压的核心穴位。曲池穴作为手阳明大肠经的合穴,其治疗高血压的机制主要体现在三个方面:① 经络特性:阳明经多气多血,大肠属金主降,合穴主治气逆诸证;② 治疗作用:能摄纳气血、清泄湿热、平肝降火;③ 功效特点:兼具理血通络之效。太冲与曲池配伍具有协同增效作用:① 脏腑配合:肝(脏)与大肠(腑)相配;② 阴阳协调:太冲属阴,曲池属阳;③ 功能互补:疏肝理气与健脾降逆并举;④ 综合功效:共奏调气降逆、平肝潜阳、柔肝熄风、通经活络之效。现代研究证实:① 临床研究显示[57],太冲和曲池是针刺治疗高血压使用频率最高的两个穴位;② 实验研究表明[58][59],电针太冲可通过调节肾素-血管紧张素-醛固酮(RAAS)系统、改善胰岛素抵抗、抑制氧化应激和调节交感神经活性等多途径实现降压;③ 曲池穴的降压作用涉及多种信号通路的调控[60][61];④ 两穴配伍治疗原发性高血压具有更持久稳定的降压效果[62]。

4.1.2. 百会、风池

百会穴位于头顶正中,与“髓海”相通,在中医理论中,高血压多归属于“眩晕”、“头风”等范畴,其病变部位主要在头部。根据穴位近治原则,刺激百会穴可发挥治疗作用。作为督脉与足厥阴肝经的交会穴,百会穴具有调节肝经阴阳平衡的功效,进而实现对血压的调控。风池穴为足少阳胆经要穴,与肝经互为表里,针刺该穴可疏通肝胆经气,平抑肝阳,调和气血,达到阴阳平衡。现代研究表明[63],风池穴的针刺刺激能影响交感神经功能,抑制其过度兴奋,通过神经-体液调节机制促使血管舒张,实现降压效果。另有研究发现,该穴还能调节动脉系统的肾上腺素能和胆碱能神经,改变椎-基底动脉血流动力学[64]。百会穴具有升清降浊之效,风池穴则擅长疏风通络、引血下行,两穴配伍使用可形成上下协调的调节系统,恢复气血平衡。临床实践证实,电针刺激这两个穴位能够降低交感神经兴奋度,改善血管张力,最终达到降压目的。

4.2. 耳穴调节特性

耳穴贴压疗法通过刺激耳廓特定反射区,能够调节自主神经功能,抑制交感神经过度活跃,从而帮助稳定血压水平。其中,耳穴“心”区对应人体心脏功能,具有宁心安神、通脉活血、调和气血等作用。刺激该穴位可改善心脏功能状态,促进心血管系统平衡,进而对血压产生良性调节效应。这种外治疗法通过神经反射机制,实现对内脏功能的远距离调控,体现了中医“内病外治”的理论特点。按压穴位心,有宁心安神、调和营卫、清泻心火、强心、调节血压等功效。按压穴位肝,可通过疏肝理气、清泻肝火达到降压目的。按压穴位肾,具有通利水道、滋阴补肾、调节自主神经功能等作用。按压穴位神门,具有平肝熄风、镇静安神、降压等作用。按压穴位交感,具有调节自主神经功能的作用。按压降压沟,具有平肝熄风、凉血祛风及降压的作用。心与肾经穴相配,发挥水火相济、阴阳相调的功效。以上六穴合用,共奏调理气血、平衡阴阳之功效[65]。耳穴按压通过抑制交感神经系统的过度激活、增强迷走神经的兴奋性,从而起到调节血压的作用[66]。

5. 讨论与展望

近年来,针灸作为非药物治疗法在高血压治疗中展现出独特的优势,其通过多靶点、多通路的中枢调控机制实现降压效应,为高血压的个体化治疗提供了新的思路。本文综述的研究表明,针灸通过调节延髓头端腹外侧区(RVLM)、孤束核(NTS)和下丘脑室旁核(PVN)等关键脑区的活性,纠正神经递质失衡(如GABA、谷氨酸、5-HT等),抑制NF- κ B炎症通路,激活NO-cGMP信号通路,并改善氧化应激状态,从而恢复交感-迷走神经平衡,实现血压的长期稳定。此外,穴位配伍(如太冲-曲池、百会-风池)和耳穴疗法的协同作用进一步增强了针灸的临床疗效。这些发现不仅为针灸治疗高血压提供了科学依据,也为中西医结合治疗策略的优化奠定了基础。

然而,当前研究仍存在一些局限性。首先,多数机制研究基于动物模型,临床转化研究相对不足,未来需进一步开展高质量的人体临床试验,验证针灸的中枢调控机制及其长期疗效。其次,针灸的穴位选择、刺激参数(如频率、强度、时间)尚未形成统一标准,个体化治疗方案仍需探索。此外,神经影像学技术(如fMRI、PET-CT)的应用虽揭示了针灸的脑区激活模式,但对其动态调控网络的解析仍需深入。

总之,针灸治疗高血压的中枢调控机制研究具有广阔的临床应用前景。通过多学科交叉合作,深入揭示其科学内涵,有望为高血压的防治开辟更安全、有效的路径。

参考文献

- [1] World Health Organization (2023) Global Report on Hypertension: The Race against a Silent Killer. World Health Organization, 1-276.
- [2] Li, D.Z., Zhou, Y., Yang, Y.N., Ma, Y., Li, X., Yu, J., *et al.* (2014) Acupuncture for Essential Hypertension: A Meta-analysis of Randomized Sham-Controlled Clinical Trials. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2014, Article ID: 279478. <https://doi.org/10.1155/2014/279478>
- [3] Liu, F.S., Guo, C.-Q. and Jin, X.-F. (2012) Acupuncture for Mild-to-Moderate Essential Hypertension: A Meta-Analysis of Randomized Clinical Trials. *Chinese Journal of Basic Medicine in Traditional Chinese Medicine*, 18, 421-423.
- [4] Kumagai, H., Oshima, N., Matsuura, T., Iigaya, K., Imai, M., Onimaru, H., *et al.* (2011) Importance of Rostral Ventrolateral Medulla Neurons in Determining Efferent Sympathetic Nerve Activity and Blood Pressure. *Hypertension Research*, 35, 132-141. <https://doi.org/10.1038/hr.2011.208>
- [5] Brooks, V.L., Haywood, J.R. and Johnson, A.K. (2005) Translation of Salt Retention to Central Activation of the Sympathetic Nervous System in Hypertension. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, 32, 426-432. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1681.2005.04206.x>
- [6] Carlson, S.H., Roysomutti, S., Peng, N. and Wyss, J.M. (2001) The Role of the Central Nervous System in NaCl-Sensitive Hypertension in Spontaneously Hypertensive Rats. *American Journal of Hypertension*, 14, S155-S162. [https://doi.org/10.1016/s0895-7061\(01\)02083-0](https://doi.org/10.1016/s0895-7061(01)02083-0)

- [7] 季淑梅, 孙心平, 张卫, 等. 心血管各级中枢的血压调节作用[J]. 生物医学工程学杂志, 2009, 26(1): 216-220.
- [8] 罗晓舟, 金小千, 温小鹏, 等. 针刺太冲、太溪对自发性高血压大鼠下丘脑病理形态的影响[J]. 中华中医药学刊, 2019, 37(4): 781-787+1025.
- [9] Oshima, N., Kumagai, H., Onimaru, H., Kawai, A., Pilowsky, P.M., Iigaya, K., *et al.* (2008) Monosynaptic Excitatory Connection from the Rostral Ventrolateral Medulla to Sympathetic Preganglionic Neurons Revealed by Simultaneous Recordings. *Hypertension Research*, **31**, 1445-1454. <https://doi.org/10.1291/hypres.31.1445>
- [10] Zanutto, B.S., Valentinuzzi, M.E. and Segura, E.T. (2010) Neural Set Point for the Control of Arterial Pressure: Role of the Nucleus Tractus Solitarius. *BioMedical Engineering OnLine*, **9**, Article No. 4. <https://doi.org/10.1186/1475-925x-9-4>
- [11] Palkovits, M. and Záborszky, L. (1977) Neuroanatomy of Central Cardiovascular Control. Nucleus Tractus Solitarii: Afferent and Efferent Neuronal Connections in Relation to the Baroreceptor Reflex Arc. In: *Progress in Brain Research*, Elsevier, 9-34. [https://doi.org/10.1016/s0079-6123\(08\)62709-0](https://doi.org/10.1016/s0079-6123(08)62709-0)
- [12] Lecarpentier, Y., Schussler, O., Hébert, J. and Vallée, A. (2020) Molecular Mechanisms Underlying the Circadian Rhythm of Blood Pressure in Normotensive Subjects. *Current Hypertension Reports*, **22**, Article No. 50. <https://doi.org/10.1007/s11906-020-01063-z>
- [13] Ferguson, A.V., Latchford, K.J. and Samson, W.K. (2008) The Paraventricular Nucleus of the Hypothalamus—A Potential Target for Integrative Treatment of Autonomic Dysfunction. *Expert Opinion on Therapeutic Targets*, **12**, 717-727. <https://doi.org/10.1517/14728222.12.6.717>
- [14] Eyigor, O., Centers, A. and Jennes, L. (2001) Distribution of Ionotropic Glutamate Receptor Subunit mRNAs in the Rat Hypothalamus. *Journal of Comparative Neurology*, **434**, 101-124. <https://doi.org/10.1002/cne.1167>
- [15] Petralia, R., Yokotani, N. and Wenthold, R. (1994) Light and Electron Microscope Distribution of the NMDA Receptor Subunit NMDAR1 in the Rat Nervous System Using a Selective Anti-Peptide Antibody. *The Journal of Neuroscience*, **14**, 667-696. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.14-02-00667.1994>
- [16] Li, D., Byan, H.S. and Pan, H. (2012) Switch to Glutamate Receptor 2-Lacking AMPA Receptors Increases Neuronal Excitability in Hypothalamus and Sympathetic Drive in Hypertension. *The Journal of Neuroscience*, **32**, 372-380. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.3222-11.2012>
- [17] Marques-Lopes, J., Van Kempen, T., Waters, E.M., Pickel, V.M., Iadecola, C. and Milner, T.A. (2014) Slow-Pressor Angiotensin II Hypertension and Concomitant Dendritic NMDA Receptor Trafficking in Estrogen Receptor β -Containing Neurons of the Mouse Hypothalamic Paraventricular Nucleus Are Sex and Age Dependent. *Journal of Comparative Neurology*, **522**, 3075-3090. <https://doi.org/10.1002/cne.23569>
- [18] Coleman, C.G., Wang, G., Faraco, G., Marques Lopes, J., Waters, E.M., Milner, T.A., *et al.* (2013) Membrane Trafficking of NADPH Oxidase P47^{phox} in Paraventricular Hypothalamic Neurons Parallels Local Free Radical Production in Angiotensin II Slow-Pressor Hypertension. *The Journal of Neuroscience*, **33**, 4308-4316. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.3061-12.2013>
- [19] Cardinale, J.P., Sriramula, S., Mariappan, N., Agarwal, D. and Francis, J. (2012) Angiotensin II-Induced Hypertension Is Modulated by Nuclear Factor- κ B in the Paraventricular Nucleus. *Hypertension*, **59**, 113-121. <https://doi.org/10.1161/hypertensionaha.111.182154>
- [20] Shi, Z., Gan, X.B., Fan, Z.D., *et al.* (2011) Inflammatory Cytokines in Paraventricular Nucleus Modulate Sympathetic Activity and Cardiac Sympathetic Afferent Reflex in Rats. *Acta Physiologica*, **203**, 289-297. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.2011.02313.x>
- [21] Agarwal, D., Elks, C.M., Reed, S.D., Mariappan, N., Majid, D.S.A. and Francis, J. (2012) Chronic Exercise Preserves Renal Structure and Hemodynamics in Spontaneously Hypertensive Rats. *Antioxidants & Redox Signaling*, **16**, 139-152. <https://doi.org/10.1089/ars.2011.3967>
- [22] 李霞, 李良, 樊明欣, 等. 应激性血压升高对大鼠下丘脑肾上腺髓质素水平的影响[J]. 中国动脉硬化杂志, 2009, 17(5): 354-358.
- [23] 张良晨, 李东红, 于淼, 等. 发芽糙米 γ -氨基丁酸富集工艺的研究进展[J]. 农业科技与装备, 2019(4): 51-53.
- [24] 林智, 大森正司. γ -氨基丁酸茶成分对大鼠血管紧张素 I 转换酶(ACE)活性的影响[J]. 茶叶科学, 2002, 22(1): 43-46.
- [25] 胡晴晴. 富 γ -氨基丁酸白茶对自发性高血压大鼠血压和动脉压力反射功能的影响[D]: [硕士学位论文]. 上海: 第二军医大学, 2012.
- [26] Lima-Silveira, L., Hasser, E.M. and Kline, D.D. (2022) Cardiovascular Deconditioning Increases GABA Signaling in the Nucleus Tractus Solitarii. *Journal of Neurophysiology*, **128**, 28-39. <https://doi.org/10.1152/jn.00102.2022>
- [27] Zhang, Q., Yao, F., O'Rourke, S.T., Qian, S.Y. and Sun, C. (2009) Angiotensin II Enhances GABA(B) Receptor-

- Mediated Responses and Expression in Nucleus Tractus Solitarii of Rats. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, **297**, H1837-H1844. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00354.2009>
- [28] Zhang, W. and Mifflin, S. (2010) Plasticity of GABAergic Mechanisms within the Nucleus of the Solitary Tract in Hypertension. *Hypertension*, **55**, 201-206. <https://doi.org/10.1161/hypertensionaha.109.146407>
- [29] Li, B., Liu, Q., Xuan, C., Guo, L., Shi, R., Zhang, Q., *et al.* (2013) Gabab₂ Receptor Gene Transfer into the Nucleus Tractus Solitarii Induces Chronic Blood Pressure Elevation in Normotensive Rats. *Circulation Journal*, **77**, 2558-2566. <https://doi.org/10.1253/circj.cj-13-0305>
- [30] 郝晓敏, 梁靖蓉, 曾天笑, 等. 针刺捻转补泻手法对自发性高血压大鼠小脑 GABA、Glu 表达的影响[J]. 中国中医急症, 2020, 29(4): 584-588.
- [31] Mogger, H.L. (1978) *Molecular Neurobiology of the Mammalian Brain*. Plenum Press, 183-198.
- [32] 郭连军, 向继洲, A. Philippu. 大鼠下丘脑后部谷氨酸的释放及动脉血压改变时对其释放的影响[J]. 同济医科大学学报, 1994(S2): 111-114.
- [33] 李思嘉. 中枢 5-羟色胺与心血管活动调节[J]. 生理科学进展, 1984(4): 341-343.
- [34] Tian, C., Gao, L., Rudebush, T.L., Yu, L. and Zucker, I.H. (2022) Extracellular Vesicles Regulate Sympatho-Excitation by Nrf2 in Heart Failure. *Circulation Research*, **131**, 687-700. <https://doi.org/10.1161/circresaha.122.320916>
- [35] Myhre, P.L., Vaduganathan, M., Claggett, B.L., Miao, Z.M., Jhund, P.S., de Boer, R.A., *et al.* (2022) Influence of Nt-ProBNP on Efficacy of Dapagliflozin in Heart Failure with Mildly Reduced or Preserved Ejection Fraction. *JACC: Heart Failure*, **10**, 902-913. <https://doi.org/10.1016/j.jchf.2022.08.007>
- [36] Cannarozzo, C.J., Araos, J. and Martin-Flores, M. (2023) Phenylephrine and Norepinephrine Increase Blood Pressure through Opposing Physiologic Mechanisms in Isoflurane-Anesthetized Dogs Receiving Acepromazine. *American Journal of Veterinary Research*, **84**, ajvr.23.06.0147.
- [37] Alosco, M.L., Gunstad, J., Xu, X., Clark, U.S., Labbe, D.R., Riskin-Jones, H.H., *et al.* (2014) The Impact of Hypertension on Cerebral Perfusion and Cortical Thickness in Older Adults. *Journal of the American Society of Hypertension*, **8**, 561-570. <https://doi.org/10.1016/j.jash.2014.04.002>
- [38] Shoemaker, J.K. and Goswami, R. (2015) Forebrain Neurocircuitry Associated with Human Reflex Cardiovascular Control. *Frontiers in Physiology*, **6**, Article No. 240 <https://doi.org/10.3389/fphys.2015.00240>
- [39] Williamson, J.W., McColl, R., Mathews, D., Mitchell, J.H., Raven, P.B. and Morgan, W.P. (2002) Brain Activation by Central Command during Actual and Imagined Handgrip under Hypnosis. *Journal of Applied Physiology*, **92**, 1317-1324. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00939.2001>
- [40] 王艳杰. 针刺高血压患者太冲配伍太溪穴的 fMRI 脑功能成像研究[D]: [博士学位论文]. 广州: 南方医科大学, 2016.
- [41] 朱广浪, 张磊, 孙慧莹, 等. 不同分子影像学技术在预测腹主动脉瘤进展中的应用价值[J]. 中国胸心血管外科临床杂志, 2018, 25(6): 522-525.
- [42] 曾芳, 刘旭光, 唐勇, 等. PET-CT 技术在针刺作用中枢机制研究中的运用前景[J]. 针刺研究, 2008(4): 284-286.
- [43] Li, J., Peng, C., Lai, D., Fang, Y., Luo, D., Zhou, Z., *et al.* (2021) PET-CT and RNA Sequencing Reveal Novel Targets for Acupuncture-Induced Lowering of Blood Pressure in Spontaneously Hypertensive Rats. *Scientific Reports*, **11**, Article No. 10973. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-90467-1>
- [44] Luo, X., Huang, J., Yu, J. and Tang, C. (2019) Effect of Taichong (LR 3) Acupuncture in Spontaneously Hypertensive Rats. *Journal of Traditional Chinese Medicine*, **39**, 74-80.
- [45] Wu, X., Shen, A., Bao, L., Wu, M., Lin, X., Wang, H., *et al.* (2020) Qingda Granules Attenuate Hypertensive Cardiac Remodeling and Inflammation in Spontaneously Hypertensive Rats. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, **129**, Article ID: 110367. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2020.110367>
- [46] Liu, G., Cheng, J., Zhang, T., Shao, Y., Chen, X., Han, L., *et al.* (2022) Inhibition of Microbiota-Dependent Trimethylamine N-Oxide Production Ameliorates High Salt Diet-Induced Sympathetic Excitation and Hypertension in Rats by Attenuating Central Neuroinflammation and Oxidative Stress. *Frontiers in Pharmacology*, **13**, Article ID: 856914. <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.856914>
- [47] 丁丽. 不同强度电针风池、曲池穴对原发性高血压大鼠 NF- κ B P65 蛋白及其基因表达的影响[J]. 山西中医学院学报, 2018, 19(3): 20-23+39.
- [48] 金圣博. 基于 Toll 样受体信号介导炎症反应探讨温针灸对自发性高血压大鼠的抗炎机制[D]: [博士学位论文]. 沈阳: 辽宁中医药大学, 2020.
- [49] Toda, N., Kitamura, Y. and Okamura, T. (1993) Neural Mechanism of Hypertension by Nitric Oxide Synthase Inhibitor in Dogs. *Hypertension*, **21**, 3-8. <https://doi.org/10.1161/01.hyp.21.1.3>

- [50] 段留法, 郑秋甫, 杨彦平, 等. 一氧化氮对自发性高血压大鼠血管内皮功能的作用[J]. 中华老年心脑血管病杂志, 2000(1): 41-44.
- [51] 刘炜. 捻转补泻手法对应激性高血压大鼠 Ach-NO-cGMP 信号转导通路影响的机制研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京中医药大学, 2011.
- [52] Chen, C. and Hsieh, C. (2020) Effect of Acupuncture on Oxidative Stress Induced by Cerebral Ischemia-Reperfusion Injury. *Antioxidants*, **9**, Article No. 248. <https://doi.org/10.3390/antiox9030248>
- [53] Ma, S.M., Yang, J.W., Tu, J.F., *et al.* (2019) Gene-Level Regulation of Acupuncture Therapy in Spontaneously Hypertensive Rats: A Whole Transcriptome Analysis. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, **2019**, Article ID: 9541079. <https://doi.org/10.1155/2019/9541079>
- [54] Hochstrasser, R.J., Endler, P.C. and Klein, S.D. (2015) Perception of Therapeutic Qi, a Nonmechanical, Nonpsychological Factor in Acupuncture That Originates from the Therapist. *Journal of Acupuncture and Meridian Studies*, **8**, 203-208. <https://doi.org/10.1016/j.jams.2014.11.009>
- [55] 于丽. 96 例原发性高血压患者心率变异性分析[J]. 实用心电学杂志, 2008(2): 91-92.
- [56] 杨贵高峰. 针刺神门穴对原发性高血压患者心率变异性的影响[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东中医药大学, 2021.
- [57] 徐希法, 余亮, 张晓伟, 等. 基于数据挖掘学习探讨“司气海, 调血压”针刺技术研究[J]. 中国中医基础医学杂志, 2017, 23(6): 840-844+882.
- [58] 王紫娟, 纪智, 袁静云, 等. 电针“百会”“太冲”对自发性高血压大鼠主动脉 Ang II、Ang(1-7)蛋白表达的影响[J]. 中国中医急症, 2019, 28(3): 402-405.
- [59] 李志鹏, 曲姗姗, 张继苹, 等. 针刺太冲穴治疗高血压机制研究[J]. 辽宁中医药大学学报, 2013, 15(8): 77-79.
- [60] 魏肖禹, 王建波, 乔野, 等. 电针联合穴位贴敷对高血压前期大鼠肾脏 AQP1、AQP2 的影响[J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2021, 23(11): 4351-4358.
- [61] 方亚军. 基于 PPAR α 信号通路探讨针刺对自发性高血压大鼠的肾脏保护机制的研究[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 安徽中医药大学, 2020.
- [62] 宋洪泉. 针刺曲池单穴与针刺曲池、太冲双穴治疗原发性高血压的临床观察[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东中医药大学, 2006.
- [63] 张朝晖, 王强. 针刺对原发性高血压病的疗效及其对血浆内皮素的影响[J]. 中国针灸, 2002(3): 147-148.
- [64] 孙远征, 耿智馨. 针刺风池对高血压患者椎-基底动脉血流速度的影响[J]. 上海针灸杂志, 2013, 32(6): 459-460.
- [65] 王绍华, 邱模炎, 钱晋, 等. 耳穴贴压改善维持性血液透析患者高血压的临床观察[J]. 现代中西医结合杂志, 2016, 25(25): 2789-2791.
- [66] 冯曙霞. 穴位贴敷联合耳穴压豆对原发性高血压患者血压控制及睡眠质量的影响[J]. 临床研究, 2021, 29(8): 191-192.