

# Research Progress of Magnetic Resonance Spectroscopy in Brain Effects of Acupuncture\*

SONG Wei, MA Zhen-xian<sup>\*</sup>, CHEN Chong, SHENG Zhi-rong.

Department of Radiology, Kunming Municipal Hospital of Traditional Chinese Medicine, KunMing 650500, Yunnan Province, China

综述

## 磁共振波谱成像在针灸脑效应中的研究进展\*

宋伟 马振贤<sup>\*</sup> 陈冲  
沈智蓉

昆明市中医医院影像科 (云南昆明 650500)

**【摘要】**目前, 针灸影像学的研究成为国内外中西医结合领域的热门话题。医学影像学为探索针灸对大脑效应的中枢机制提供了新的途径和技术手段。磁共振波谱成像(MRS)是一种无创性研究生物体内代谢、生化改变和成分定量分析的技术。广泛应用于各种疾病的诊疗、鉴别诊断以及预后评估。磁共振波谱成像技术在研究针刺脑效应的远景应用可观, 本文主要针对磁共振波谱成像在针灸脑效应中的应用进行综述、讨论。

**【关键词】**磁共振波谱成像; 针灸治疗; 脑效应; 针灸影像学; 神经细胞代谢

**【中图分类号】** R245

**【文献标识码】** A

**【基金项目】** 云南省科技厅中医联合专项-面上项目(202101AZ070001-097)

**DOI:**10.3969/j.issn.1672-5131.2025.11.056

### ABSTRACT

At present, the research of acupuncture imaging has become a hot topic in the field of integrated Chinese and Western medicine at home and abroad. Medical imaging provides a new approach and technical means to explore the central mechanism of acupuncture effect on the brain. Magnetic resonance spectroscopy (MRS) is a non-invasive technique for studying metabolism, biochemical changes, and quantitative analysis of components in organisms. It is widely used in the diagnosis and treatment, differential diagnosis, and prognosis evaluation of various diseases. The application of magnetic resonance spectroscopy in the study of acupuncture brain effects is promising. This paper mainly reviews and discusses the application of magnetic resonance spectroscopy in acupuncture brain effects.

**Keywords:** *Magnetic Resonance Spectral Imaging; Acupuncture Treatment; Brain Effect; Acupuncture Imaging; Nerve Cell Metabolism*

针灸为中国传统中医多元化疗法中的重要方式, 因其绿色治疗特性而备受欢迎和认可, 是中医临床医生常用的治疗手段<sup>[1]</sup>。大量国内外的神经生物学、神经解剖学和生理学实验研究表明, 针灸通过刺激穴位的神经末梢感受器, 外周神经传递信号至中枢神经系统, 并经过各级神经中枢的整合与协调, 通过神经或体液途径作用于内脏器官而起效<sup>[2]</sup>。针灸多靶点、多层次、多系统的作用机理十分复杂<sup>[3]</sup>, 因此, 结合现代科技手段开展深入研究, 对阐明针灸作用机理具有重要的理论和现实意义。

### 1 针灸影像的研究进展

许能贵与方继良两位教授合著的《针灸影像学》, 对针灸的基本理论与基础知识进行了较为全面的阐述<sup>[4]</sup>。针灸治疗脑病与神经系统有密切关联, 可通过刺激人体穴位和周围神经来获取大脑生物信息, 引起脑结构、功能、代谢及脑血流动力学的变化, 对脑病进行干预<sup>[5-8]</sup>。目前, 针灸的脑效应研究主要借助结合fMRI和PET影像学技术进行。fMRI技术直观显示了针灸对中枢神经系统的定位效应, 并实时研究了针刺过程中人体生理和病理的变化功能磁共振成像(fMRI)可视化地展示针刺对中枢的作用, 并可实时观察针刺对机体的生理、病理改变<sup>[2]</sup>。PET技术反映了针刺对中枢神经系统的多途径、多靶点、多层次的神经网络整体效应机制, 为针刺的效应提供了客观科学依据<sup>[9]</sup>。MRS主要应用在中枢神经系统的代谢性疾病、肿瘤以及痴呆等变性疾病的研究。针灸引起的代谢产物的变化很难为MRS所检测, 因此, 关于针灸和MRS的联合研究非常少见, 尽管已有一些学者对此进行了有益的探索, 但国内外对针灸大脑作用的磁共振波谱研究正受到国内外的广泛关注<sup>[10-11]</sup>。

### 2 磁共振波谱的应用

磁共振波谱成像(MRS)是一种无创的检测手段, 可对生物体内的代谢活性、生物化学变化及成分含量进行定量检测, 在各种疾病的诊断、鉴别诊断和预后评价等方面具有重要的应用价值。磁共振波谱成像技术在探索针刺对大脑影响的应用上非常普遍, 为研究针刺疗法对脑部活动的中枢作用机制提供了新的途径和技术。氢质子磁共振波谱(<sup>1</sup>H-MRS)已经被广泛用于检测多种神经系统疾病中的脑代谢物, 主要包括N-乙酰天冬氨酸(NAA)、肌酸(Cr)、胆碱类化合物(Cho)、肌醇(MI)、乳酸(Lac)、脂质(Lip)以及谷氨酸/谷氨酰胺(Glx)<sup>[12]</sup>等代谢物; MRS可以在不使用任何外源示踪剂的情况下进行组织和器官代谢物的动态和纵向研究<sup>[13]</sup>。NMR波谱可用于组织、体液、分泌物等生物活性分子的鉴别与定量分析<sup>[14-15]</sup>, 结果显示, NMR波谱的代谢组分析方法, 对癌症的临床诊断及鉴别诊断有很大潜力<sup>[16]</sup>。

### 3 MRS代谢物的价值及意义

神经元的指示物NAA是由神经元的线粒体生成的, 其浓度能直接反映神经元的数量, 以及其完好和成熟的程度<sup>[17]</sup>。Cho参与髓鞘的生成和磷脂的代谢, 存在于神经元和胶质细胞中, 但在胶质细胞中的含量较高, 其增加表明髓鞘磷脂的分解, 髓鞘的再生或存在炎症<sup>[18]</sup>。Cr是与能量代谢相关的物质, 包含肌酸和磷酸肌酸, 作为能量储存和利用的主要代谢物, 常用来比较变化较大的NAA和Cho值<sup>[19]</sup>。脂质(lipid, Lip)升高表明神经胶质的增生; 谷氨酸(glutamate, Glu)和谷氨酰胺(glutamine, Gln; 复合物为Glx)在脑内含量较少, 兴奋性氨基酸, 具有兴奋毒性。肌醇(myo-inositol, mi)被公认为神经胶

**【第一作者】** 宋伟, 男, 主治医师, 主要研究方向: 神经系统疾病的MRI诊断。E-mail: 344631924@qq.com

**【通讯作者】** 马振贤, 男, 副主任医师, 主要研究方向: 神经系统MRI诊断。E-mail: 824642139@qq.com

质细胞的标志物；乳酸(Lactate, Lac)是无氧糖酵解的终末代谢产物，是能量代谢不足的指标，正常情况下难以测出或仅检测到微量<sup>[20]</sup>。众多研究已经证明，神经纤维的周围损伤可能导致局部缺血，进而引发纤维溃变<sup>[21]</sup>。另外，局部神经缺血后，轴突突的转运受阻，导致细胞与靶器官间的信息、物质传输受阻，导致细胞逆向退化<sup>[22-23]</sup>。乙酰胆碱是一种广泛存在于哺乳动物脑内的神经递质，参与了运动神经元对神经信号的传递。CHAT是一种重要的乙酰胆碱生物合成酶，其在脑内的分布与乙酰胆碱的分布相吻合，因此，人们经常用它来研究胆碱能细胞，或者间接地测量乙酰胆碱的含量(释放)<sup>[24]</sup>。

#### 4 磁共振波谱在针灸脑效应的应用

俞聪、李振宇等<sup>[25]</sup>的研究结果显示，针灸对海马区的刺激能够改善神经代谢物如NAA和Cho的含量，抑制神经元的凋亡，并提升神经元突触的功能，有效改善血管性痴呆模型大鼠的认知功能障碍。有多模态磁MRI研究<sup>[26]</sup>表明，针刺治疗慢性失眠症合并胃肠功能障碍的脑机制中，通过核磁共振波谱(MRS)技术证实失眠患者存在脑代谢异常，通过针灸治疗可以改善神经元代谢物数量。在无先兆偏头痛患者中，经针刺治疗后，双侧丘脑N-乙酰天门冬氨酸和肌酸水平明显升高，与头痛强度评分显著相关，提示在偏头痛治疗中存在涉及到疼痛通路神经元线粒体功能的恢复<sup>[27]</sup>。王凡等<sup>[28]</sup>的研究表明，针刺单侧头部穴位能够改善急性脑出血患者的双侧脑组织局部脑血流量和神经物质代谢问题，并减轻脑出血引起的“抑制性泛化损伤”，显示出一定的空间效应特性。

MRS在脑梗死的针灸治疗中广泛应用。研究表明<sup>[29]</sup>，脑梗死后神经细胞中NAA含量降低，且NAA水平降低能反应组织的病理损害，是判断脑梗死预后的一个重要指标。多体素磁共振波谱(MRS)定量分析可直观、精确地显示梗死中心及缺血半影区内代谢产物的含量，并可精确监测病变周边正常及对侧镜像区代谢产物浓度的改变，为探讨脑梗的病理生理学，建立客观的脑梗治疗方法奠定了基础<sup>[30-31]</sup>。国内学者采用磁共振波谱成像(MRS)方法，对急性脑梗死(AMI)患者前后代谢产物进行了NIHSS评分、NAA/Cr及Cho/Cr(Cho/Cr)测定。发现治疗后脑梗死区域的代谢物发生显著变化，NAA/Cr比值增加，NIHSS评分和Cho/Cr比值减少，表明交叉电项针治疗对脑梗死患者具有积极作用<sup>[32]</sup>。多个研究表明，通过MRS对针灸治疗脑梗死早期疗效的评估显示，治疗后NAA/Cr比值明显升高，提示治疗后梗死区神经元细胞功能有一定程度的恢复，说明治疗有效；治疗后Cho/Cr比值降低，这种变化趋势可能反映治疗后梗死区脑细胞损害及坏死程度减少，提示治疗效果较好<sup>[33-34]</sup>。卢先东等<sup>[35]</sup>选择脑梗塞灶心区，内侧区，外侧区，侧镜像区，磁共振波谱成像技术，对脑梗塞患者的影像学特征进行了研究。结果显示，与健侧区相比，灶心区，内侧区，外侧区的NAA/Cr比值明显低于健侧区，提示病灶周围可能有血液供应不全的区域，并有一些神经细胞损伤，其中灶心区和内侧区损伤最大；针灸能改善局部血液供应，增加NAA/Cr比值；结果：①病变区内侧区乳酸(Lac)/肌酸(Cr)比率最高；②灶心区和外侧区的Lac/Cr比值较内侧区低；③病变区Lac/Cr比较术前明显提高，提示该疗法在改善脑组织血液供应、减轻酸中毒及改善脑代谢方面有显著效果。申云霞<sup>[36]</sup>通过功能磁共振成像在针灸治疗缺血性脑卒中导致的脑萎缩的研究发现，针灸能显著减少多发性梗死脑皮层、海马和纹状体中异常升高的天冬氨酸含量，以及海马区域的谷氨酸含量，有效降低皮层和纹状体中的天冬酰胺水平，并减少纹状体中的谷酰胺含量，有效减轻对大脑的损伤。苏猛润等人<sup>[37]</sup>前期研究表明，针灸对AMI后轻度认知功能损害(MCI)有确切疗效，并可从MRS上检测出不同代谢物的改变，从而为AD的早期干预、延迟乃至逆转疾病进程奠定这些结果提示，针刺可能通过调控大脑中神经元的代谢，促进神经元的活性基础。

闵婕<sup>[38]</sup>在头针为主治疗血管性痴呆的磁共振波谱成像分析中验证了针刺对病变侧神经元代谢物含量的增高趋势，表明针刺具有调节脑内神经细胞代谢的潜力，可以刺激脑内神经细胞功能的活跃。徐惠的研究通过应用3TMRI对食蟹猴进行磁共振波谱成像及针刺、嗅觉刺激的实验，发现非人长类动物的MRS检测能

够准确反映大脑组织的结构差异和含量变化，可作为研究生理和病理变化的重要依据<sup>[39]</sup>。陈媛媛和方继良<sup>[40-41]</sup>将BOLD和磁共振波谱成像两种技术结合应用于多模态fMRI研究，我们前期研究发现，针刺诱发BOLD负活化与GABA/谷氨酰胺-谷氨酸复合体(Glx)含量的改变密切相关，提示BOLD负活化与GABA/Glx密切相关；同时，针刺可通过改变前扣带回的功能，调控脑中GABA/Glx的含量，从而发挥对疼痛、情感等方面的调节作用。对纤维肌痛病人进行针刺疗法之后的研究结果显示<sup>[42]</sup>，脑内代谢产物(Glu/Cr)水平明显下降，且岛叶谷氨酸/肌酸(Glu/Cr)水平与疼痛阈值呈负相关，与疼痛积分成正比，提示脑内代谢产物有可能作为一种潜在的生物学标记及可供选择的生物学标记。另一位研究者的实验发现，手针针刺合谷穴会诱发边缘叶、旁边缘叶及新皮层网络的负激活效应，而手针和纤毛针刺刺激前后Glx+(谷氨酸谷氨酰胺复合体)浓度通常没有明显变化；BOLD信号的定量值与Glx+浓度没有显著相关性<sup>[43]</sup>。

Jin等<sup>[44]</sup>的研究指出，通过对大鼠神门穴进行手针刺刺激，可以明显降低可卡因引起的GABA释放，降低GABA能神经元放电频率。Tjen<sup>[45]</sup>研究证实，电针对大鼠的心脏起搏有逆转作用，且有超过半数的孤束核(NTS)神经元受到谷氨酸转(VGLUT3)或GABA受体(GABA)的双重标记，且电针可通过GABA能途径调控心、肺功能，且与谷氨酸突触有关。有研究表明，针灸治疗偏头痛的机制可能与其对左丘脑叶及前额叶皮层的抑制有关。针灸可通过对局部神经细胞的能量和代谢进行再分布与调节，从而发挥疗效<sup>[46-47]</sup>。国内外研究显示，针刺对正常人大脑神经元代谢的作用无显著性，但有增加的趋势。磁共振波谱成像(MRS)对针灸后脑内相关代谢物的实时动态监测具有重要意义。MRS也能检测到与大脑有关的代谢物的微小改变<sup>[48]</sup>。王芳通过观察卒中后轻度认知功能障碍患者的海马氢质子磁共振波谱成像，发现莫地非配合“醒脑开窍”针灸疗法可以改善大脑组织的代谢，对该类认知障碍具有一定的治疗效果<sup>[49]</sup>。

磁共振波谱在中药疗法中应用广泛，研究发现<sup>[50]</sup>应用丹栀逍遥散(疏肝清热健脾)可以调节大鼠GAD模型的脑代谢，提高右侧PFC的NAA和Cho降低的相对浓度，降低异常升高的Glu浓度，从而促进损伤的神经元修复，并调节氨基酸类神经递质的释放，发挥抗焦虑作用。吴明华<sup>[51]</sup>前期研究发现，“痰瘀阻络”中药能够改善脑梗死部位的酸性环境和能量代谢紊乱，能够显著改善脑梗死患者的神经功能，改善其日常生活。研究显示，卒中后精神障碍会导致脑代谢物N-乙酰天门冬氨酸(NAA)水平下降，而中药和针灸能够调节脑部代谢，帮助恢复NAA至正常水平，从而修复损伤的神经元<sup>[52]</sup>。

张宏和彭芸等<sup>[53]</sup>首次利用MRI和<sup>1</sup>H-MRS对比评估针灸治疗对肥胖儿童的腹腔内脂肪(VAT)、腹部总脂肪(TAT)体积及腹腔内脂肪与皮下脂肪的比值(V/S)的影响。结果证明针灸治疗能显著减少肥胖儿童的体重指数(BMI)和腹部脂肪体积，特别是腹腔内脂肪体积。该研究为针灸在影像学领域的应用开拓了新方向。

#### 5 MRS在针灸治疗急性面神经炎中的应用

针刺可以加快局部淋巴、血液循环，加快代谢，提高损伤面神经、面肌的营养状态，加快面神经炎、水肿的吸收，同时还能消除面神经髓鞘水肿<sup>[54]</sup>。作为传统中医疗法，针刺通过刺激特定穴位，调节人体气血运行，提高面部神经元功能，有效治疗急性面神经炎。例如，通过针刺调理面部气血，刺激神经元活性，可以减少面神经水肿，促进神经元代谢恢复。昆明市中医医院影像科团队通过磁共振波谱技术(MRS)在针灸治疗急性面神经炎的神经元细胞代谢研究中发现：针灸后，损伤后神经元功能提高，神经元损伤减少，面神经核中胆碱能、谷氨酸能神经元突触传入数目增加；内囊膝部神经纤维髓鞘磷脂分解受到控制，细胞膜稳定性增加，神经胶质增生；在此基础上，我们提出了一种新的治疗方法，即通过对面神经核团的活化，使其面神经运动功能得到有效的抑制。经针灸治疗，急性面神经炎患者的皮质核束组织代谢水平得到明显改善，受损神经元得到有效修复。

## 6 总结及展望

在研究针灸脑效应时，磁共振波谱成像(MRS)的应用经历了漫长的探索过程。由于针刺后脑神经元代谢产物不易测量，以及针灸治疗方案的时程、频率等设计和影像数据采集的时间点、数据分析的方法尚未标准化，因此需要进行大规模、多样化和规范化研究。近年来，精准针灸影像技术与方法发现了针刺治疗过程中大脑中枢的特殊影像标记，对治疗过程大脑中枢的影像监控、临床治疗效果的反馈、形成闭环神经调节、提高治疗有效率具有重要意义<sup>[55-56]</sup>。随着参与人员的增加，磁共振波谱成像技术在针灸脑效应研究中的应用将产生更多结果，并将在提高人类健康过程中产生更大的贡献。当前，人工智能结合神经影像已开始涉足针灸脑效应中，两者结合对预测针灸效应的个体化、智能化、精准化提供了新思路，进一步实现针灸效应差异性应答情况的智能分类，以及脑区激活模式的识别，这将为神经影像-针灸脑效应提供一个更大平台。

## 参考文献

[1] 刘佳惠, 王东岩. 静息态功能磁共振成像在针刺脑效应研究中的应用进展[J]. 上海针灸杂志, 2021, 40(11): 1390-1394.

[2] 陈凤英, 吴仁华. 针灸效应磁共振研究现状与前景[J]. 医学影像学杂志, 2006, 16(12): 1298-1301.

[3] 孙继飞, 刘斌, 詹松华, 等. 针灸脑效应的影像学研究现状、挑战与机遇[J]. 中国中西医结合影像学杂志, 2022, 20(1): 1-4.

[4] 许能贵, 方继良. 针灸影像学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2018: 3-15.

[5] Fang J, Rong P, Hong Y, et al. Transcutaneous Vagus nerve stimulation modulates default mode network in major depressive disorder[J]. Biol Psychiatry, 2016 Feb 15; 79(4): 266-73.

[6] Sun ZG, Pi YL, Zhang J, et al. Effect of acupuncture at ST36 on motor cortical excitation and inhibition[J]. Brain Behav, 2019, 9(9): e01370.

[7] Li NC, Li MY, Chen B, et al. A new perspective of acupuncture: the interaction among three networks leads to neutralization[J]. Evid Based Complement Alternat Med, 2019, 2019: 2326867.

[8] Mercante B, Ginatempo F, Manca A, et al. Anatomic-physiologic basis for auricular stimulation[J]. Med Acupunct, 2018, 30(3): 141-150.

[9] 郭秋蕾, 刘清国, 杨芳媛, 等. PET技术在针刺研究中的应用进展[J]. 中国针灸, 2019, 39(3): 337-341.

[10] Gao X, Wang Y, Meng H, et al. Acupuncture for brain diseases: Conception, application, and exploration[J]. Anat Rec (Hoboken), 2023, 306(12): 2958-2973.

[11] Bai L, Lao L. Neurobiological foundations of acupuncture: the relevance and future prospect based on neuroimaging evidence[J]. Evid Based Complement Alternat Med, 2013, 2013: 812568.

[12] Lally PJ, Montaldo P, Oliveira V, et al. Magnetic resonance spectroscopy assessment of brain injury after moderate hypothermia in neonatal encephalopathy: a prospective multicentre cohort study[J]. Lancet Neurol, 2019, 18(1): 35-45.

[13] Wijnen JP, Klomp DW. Advances in magnetic resonance spectroscopy[J]. PET Clin, 2013, 8(3): 237-244.

[14] Asampille G, Cheredath A, Joseph D, et al. The utility of nuclear magnetic resonance spectroscopy in assisted reproduction[J]. Open Biol, 2020, 10(11): 200092.

[15] Lin Y, Zeng Q, Lin L, et al. High resolution nuclear magnetic resonance spectroscopy on biological tissue and metabolomics[J]. Curr Med Chem, 2019, 26(12): 2190-2207.

[16] 李卓, 张娜, 徐璞, 等. 基于核磁共振波谱的代谢组学分析在肿瘤诊疗中的应用进展[J]. 中华检验医学杂志, 2022, 45(3): 305-309.

[17] 洪菲, 宋磊, 季菊花, 等. 磁共振波谱成像联合弥散加权成像在早产儿脑白质损伤诊断及预后评估中的应用[J]. 中国CT和MRI杂志, 2024, 22(2): 28-31.

[18] 王笑茹. 腮腺切除术前面神经所致面神经核超微结构的病理变化[J]. 实用口腔医学杂志, 2009, 25(5): 617-620.

[19] 程爱兰, 金彪. 1H-MRS在遗传性脑白质营养不良中的研究进展[J]. 国际医学放射学杂志, 2015, (1): 9-12.

[20] Cecil KM. Proton magnetic resonance spectroscopy: technique for the neuroradiologist[J]. Neuroimaging Clin N Am, 2013, 23: 381-392.

[21] Patrick Müller, Yves Duderstadt, Volkmar Lessmann, et al. Lactate and BDNF: key mediators of exercise induced neuroplasticity? [J]. Journal of Clinical Medicine, 2020, 9(4).

[22] Mercado Eduardo. Neural and cognitive plasticity: from maps to Insnds[J]. Psychological bulletin, 2008, 134(1).

[23] Dhuriya Yogesh Kumar, Sharma Divakar. Neuronal Plasticity: neuronal organization is associated with neurological disorders[J]. Journal of molecular neuroscience :MN, 2020.

[24] Amy C. Reichelt, Dolnsnic J. Hare, Timothy J. Bussey, et al. Perineuronal

nets: plasticity, protection, and therapeutic potential[J]. Trends in Neurosciences, 2019.

[25] 俞聪, 李震宇, 顾海明, 等. 电针百会、大椎对血管性痴呆模型大鼠海马区神经物质代谢及认知功能的影响[J]. 国际中医中药杂志, 2021, 43(3): 257-262.

[26] Peng W, Hong X, Huangfu Y, et al. The cerebral mechanism of acupuncture for chronic insomnia with gastrointestinal disorder: protocol for a randomized controlled trial[J]. Trials 2021, 22(1): 386.

[27] Gu T, Lin L, Jiang Y, et al. Acupuncture therapy in treating migraine: results of a magnetic resonance spectroscopy imaging study[J]. J Pain Res, 2018, 11: 889-900.

[28] 王凡, 雷慧妹, 鲍春龄, 等. 头针治疗急性脑出血免空间效应的PWI和MRS研究[J]. 中华中医药杂志, 2014, 29(5): 1595-1599.

[29] 章桃, 聂婷婷, 贾若龙, 等. 超急性性卒中血脑屏障和相关脑代谢物变化的研究[J]. 磁共振成像, 2014, 5(6): 473-478.

[30] 尚文文, 殷信周, 周俊山, 等. 多体素氢质子磁共振波谱成像(1H-MRS)在急性脑梗死中的应用研究[J]. 中国CT和MRI杂志, 2017, 15(5): 5-7.

[31] 戚婉, 张彩霞, 黄成华, 等. 磁共振波谱NAA与Lac在脑梗塞各时期的临床意义[J]. 中国CT和MRI杂志, 2011, 9(4): 14-16.

[32] 蔡国锋, 梁洪文, 孙波, 等. 交叉电项针对治疗急性脑梗死的磁共振波谱成像的影响[J]. 现代仪器与医疗, 2020, 26(2): 53-55.

[33] 林婉敏, 彭小文, 徐志锋. 脑梗塞针刺治疗早期疗效的MRS评估[J]. 功能与分子医学影像学杂志, 2018, 7(2): 1431-1434.

[34] 王芳, 刘建忠, 梁琛, 等. 早期针灸治疗急性脑梗死的磁共振波谱成像评价[J]. 中国中医急症, 2014, 23(1): 114-115.

[35] 卢先东, 张勇, 时国兵. 针刺治疗急性脑梗死的临床疗效观察及磁共振波谱分析[J]. 四川中医, 2018, 36(8): 201-203.

[36] 申云霞. 针刺治疗缺血性卒中引起华勒变性的功能磁共振成像研究[D]. 广州中医药大学, 2013.

[37] 苏猛润. 针刺联合尼莫地平治疗急性脑梗死后轻度认知功能障碍(痰瘀证型)的临床研究[D]. 福建中医药大学, 2016.

[38] 闵婕. 头针为主治疗血管性痴呆的磁共振波谱成像研究[D]. 南京中医药大学, 2014.

[39] 徐惠. 应用3T MR对食蟹猴行MRS及针刺、嗅觉刺激fMRI的研究[D]. 山东大学, 2010.

[40] 陈媛媛. 针刺激发的BOLD信号与GABA/Glx相关性的多模态fMRI研究[D]. 中国中医科学院, 2018.

[41] 陈媛媛, 赵彦萍, 方继良, 等. 建立BOLD及MRS多模态fMRI针刺脑效应试验方案及其可行性研究[J]. 中国医学影像技术, 2018, 34(1): 20-24.

[42] Harris R E, Sundgren P C, Craig A D, et al. Elevated insular glutamate in fibromyalgia is associated with experimental pain[J]. Arthritis Rheum, 2009, 60(10): 3146-3152.

[43] 赵彦萍, 陈媛媛, 方继良, 等. 针刺合谷穴后前额叶脑功能血氧水平依赖信号与神经递质谷氨酸及谷氨酰胺复合物的关系[J]. 中国医学影像技术, 2021, 37(4): 497-501.

[44] Jin W, Kim M S, Jang E Y, et al. Acupuncture reduces relapse to cocaine-seeking behavior via activation of GABA neurons in the ventral tegmental area[J]. Addict Biol, 2018, 23(1): 165-181.

[45] Tjen-A-Looi S C, Guo Z L, Longhurst J. GABA in nucleus tractus solitarius participates in electroacupuncture modulation of cardiopulmonary bradycardia reflex[J]. Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol, 2014, 307(11): R1313-R1323.

[46] 谷涛, 林磊, 焦晟, 等. 针刺预防性治疗偏头痛脑内代谢变化的磁共振波谱研究[J]. 医学影像学杂志, 2013, 23(3): 345-349.

[47] 林磊, 谷涛, 丁瑞庆. 针刺预防性治疗偏头痛患者左侧丘脑代谢变化的磁共振波谱研究[J]. 中国临床保健杂志, 2013, 16(2): 190-192.

[48] 范阮成功. 针刺干预下脑MRS研究及MRS在血管性痴呆中的应用初探[D]. 南京中医药大学, 2014.

[49] 王芳, 梁琛, 陈甦, 等. 针刺调控脑组织代谢治疗卒中后轻度认知障碍的磁共振波谱研究[J]. 中国中医急症, 2014, 23(10): 1928-1930.

[50] 宋昌玲. 疏肝清热健脾法对环境相关恐惧模型大鼠脑代谢的干预作用研究[D]. 北京中医药大学, 2014.

[51] 吴明华, 胡华白, 张秀胜, 等. 自拟痰瘀阻络方治疗急性脑梗死痰瘀阻络证的临床疗效观察和磁共振波谱分析[J]. 四川中医, 2012, 30(9): 60-63.

[52] 张媛, 赵瑞珍, 赵子璐, 等. 中医药治疗卒中后精神障碍的脑代谢磁共振波谱变化进展[J]. 现代中医临床, 2018, 25(5): 56-61.

[53] 张宏, 彭芸, 刘祖祥, 等. MRI及<sup>1</sup>H-MRS评估针灸治疗对肥胖儿童腹部脂肪和肝内脂质含量的影响[J]. 中国医学影像技术, 2010, 26(11): 2127-2130.

[54] 冯彬. 针灸治疗严重面神经炎的临床效果研究[J]. 中国现代药物应用, 2020, 14(1): 214-216.

[55] 杨万芳, 杨常青, 王旭红. 镇静安神法针刺联合经颅磁刺激对偏头痛的治疗作用的探讨[J]. 罕少疾病杂志, 2025, 09: 29-32.

[56] 李晓敏, 张清恒, 张海三. DCE-MRI和DWI检查在术前诊断脑胶质瘤病变恶性程度中的应用价值[J]. 罕少疾病杂志, 2024, 01: 16-18.

(收稿日期: 2024-04-25)

(校对编辑: 韩敏求)