

经颅超声刺激对卒中后抑郁患者的上肢运动功能及情绪的疗效观察

庄明谚, 陈 极, 王 开, 吴 极, 陈和木*

安徽医科大学第一附属医院康复医学科, 安徽 合肥

收稿日期: 2025年5月11日; 录用日期: 2025年6月4日; 发布日期: 2025年6月12日

摘 要

目的: 通过低强度经颅超声刺激是否可以改善卒中后抑郁, 探究其可能机制并以期为卒中后抑郁患者进一步治疗提供新的康复策略。方法: 选取卒中后抑郁患者30例为研究对象, 按照计算机随机分组分为假刺激对照组和联合治疗组, 每组15例, 干预组进行LITUS、常规药物和康复治疗, 对照组除外常规药物及康复治疗, 经颅超声刺激为假刺激治疗。结果: 两组在治疗前Wolf运动功能测试量表、PHQ-9、BI指数无显著差异($p > 0.05$), 在治疗后两组评估指标均较治疗前有所改善($p < 0.05$), 其中干预组的运动功能及情绪疗效评分在治疗前后两者评分改善相较于对照组具有显著差异($p < 0.05$)。结论: LITUS对于卒中后抑郁具有一定的治疗疗效, 有效地改善了卒中后抑郁患者的各项功能。

关键词

超声, 经颅超声刺激, 卒中后抑郁

Effects of Transcranial Ultrasound Stimulation on Upper Limb Motor Function and Emotional State in Patients with Post-Stroke Depression

Mingyan Zhuang, Ji Chen, Kai Wang, Ji Wu, Hemu Chen*

Department of Rehabilitation Medicine, The First Affiliated Hospital of Anhui Medical University, Hefei Anhui

Received: May 11th, 2025; accepted: Jun. 4th, 2025; published: Jun. 12th, 2025

*通讯作者。

文章引用: 庄明谚, 陈极, 王开, 吴极, 陈和木. 经颅超声刺激对卒中后抑郁患者的上肢运动功能及情绪的疗效观察[J]. 临床医学进展, 2025, 15(6): 765-772. DOI: 10.12677/acm.2025.1561787

Abstract

Objective: This study aims to determine whether low-intensity transcranial ultrasound stimulation (LITUS) can improve post-stroke depression (PSD), explore its potential mechanisms, and provide a novel rehabilitation strategy for further treatment of PSD patients. **Methods:** Thirty patients with post-stroke depression were selected and randomly divided into a sham stimulation control group and a combined treatment group, with 15 patients in each group. The intervention group received LITUS in combination with conventional pharmacological and rehabilitation treatments. The control group received only conventional pharmacological and rehabilitation treatments along with sham ultrasound stimulation. **Results:** There were no significant differences between the two groups in the Wolf Motor Function Test, Patient Health Questionnaire-9 (PHQ-9), and Barthel Index (BI) before treatment ($p > 0.05$). After treatment, all evaluation indicators improved in both groups compared to baseline ($p < 0.05$). However, the degree of improvement in the intervention group was significantly greater than that in the control group ($p < 0.05$). **Conclusion:** LITUS shows therapeutic efficacy in the treatment of post-stroke depression and effectively improves various functional outcomes in PSD patients.

Keywords

Ultrasound, Transcranial Ultrasound Stimulation, Post-Stroke Depression

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

中风, 又称为脑卒中(stroke), 分为出血性脑卒中及缺血性脑卒中, 在当今社会, 随着人类生活质量的提升, 高血压、高血脂等基础疾病发生率上升, 脑卒中已然成为中国主要的致残性疾病[1]。其中绝大多数患者会出现不同程度的情感低落、疲劳等心境障碍, 症状持续时间达数周及以上, 我们称此类症状为卒中后抑郁(post-stroke depression)。卒中后抑郁患者常常会出现情绪障碍如抑郁、焦虑、兴趣减退、记忆力下降、注意力减退, 失眠等躯体化症状, 并不主动叙述或掩饰自己情绪。据相关统计表明, 中风幸存者病患情绪障碍的风险多达 30% [2], 绝大多数因生活巨大转变而出现情绪及心理方面的影响, 降低了其在治疗过程的依从性、主动性和积极性, 极大地延误了康复进展及康复疗效, 错过了最佳治疗时间窗, 留下严重的运动功能障碍, 尤其是上肢精细运动最为影响日常生活[3]。严重者甚至出现自残自杀倾向, 并提高相关死亡率。

超声波作为一种频率高于人类听觉范围(>20 kHz)的机械波, 被广泛应用于军事、机械制造等相关领域, 医学领域上主要用于临床辅助诊断, 基于超声其良好的生物及物理学特性[4], 近十几年来逐渐被人们所知晓且演变为一种新型的无创脑刺激技术, 即经颅超声刺激(transcranial ultrasound stimulation, TUS)。相较于传统的脑刺激技术, 其优点在于对患者无创、反应小、易于接受, 且适用性较广, 可操作性高。经颅超声根据频率是否大于 1.0 MHz 可大致分为诊断性经颅超声和治疗性经颅聚集超声, 在后者中, 低强度经颅超声刺激(low intensity transcranial Ultrasound stimulation, LITUS)具有成本低、无创、时间和空间分辨率高及穿透性强等优点, 被广泛关注[5]。目前经颅超声刺激的研究较少, 主要为基础相关研究, 临床研究多集中于改善帕金森疾病[6]、儿童精神类疾病[7]等, 对于脑卒中并发症相关研究进展较少, 主要为早期急性脑卒中在溶栓药物下, 通过高强度经颅超声辅助血管内溶栓[8], 而对于脑卒中恢复期患者的相

关神经调控目前还处于空白阶段。

经颅超声刺激目前已经逐步运用于临床,但目前对于脑卒中后相关并发症尤其是卒中后抑郁的治疗有效性仍然不明确,基于上述卒中后抑郁治疗方法的局限性,本研究选择低强度经颅超声刺激,进行为期4周的干预治疗,通过干预组与假刺激组之间的运动功能及情绪指标进行观察评估,为临床实践提供治疗思路,探讨经颅超声刺激对于卒中后抑郁潜在的机制,并积极改善卒中后抑郁患者生活质量,促使其更好地融入社会生活。

2. 资料与方法

2.1. 病例一般情况

选取2023年10月至2024年10月在安徽医科大学第一附属医院康复医学科收治的卒中后抑郁患者,根据预实验及相应样本量估算确定30例卒中后抑郁患者为研究对象,按照计算机随机分组分为假刺激组和治疗组,每组15例,所有患者均顺利完成治疗。所有参与本次研究的受试人员均签署知情同意书,本研究经安徽医科大学第一附属医院伦理委员会批准(PJ2025-02-21)。

2.2. 纳入标准

(1) 首次脑卒中者,符合经CT或MRI等影像学诊断为缺血性脑卒中;(2) 病程15天~5月;病情且生命体征平稳;(3) 患者年龄为18~75岁;(4) 患者无严重智力、语言理解及行为障碍,能完成量表评估,MMSE评分大于等于24分;(5) 首次确诊卒中后抑郁并近一月未服用抗抑郁药物,PHQ-9评分大于10分者;(6) 患者知晓本研究的相关事项并签署知情同意书。

2.3. 排除标准

(1) 颅内植入金属植入物或心脏起搏器患者。(2) 病情不稳定患者,多发脑梗死,存在严重心脏病或其他器官严重病情及并发症者,肿瘤病史者。

2.4. 脱落标准

(1) 受试者不足4周主动退出临床试验或不配合治疗者。(2) 治疗过程中出现意外事件,或者严重不良反应,无法配合康复训练,患者需要终止实验。

2.5. 实验分组

参与者通过计算机随机分组为干预组和假刺激对照组。干预组进行经颅超声刺激治疗,假刺激对照组为空白对照。受试者、操作治疗者、数据分析者及研究设计者各个环节不进行互通,以达到双盲标准。

3. 干预方法

3.1. 常规治疗

常规治疗:包括常规康复治疗如偏瘫肢体综合训练、肌肉电刺激、作业治疗、针灸治疗、心理辅导治疗以及脑卒中二级预防药物、抗抑郁药物治疗,每项治疗一周5次,一次20分钟。

3.2. 干预治疗

低强度经颅超声治疗:使用北京儒奥医疗科技有限公司(RuAo)经颅超声神经肌肉刺激仪UE880C型,设置参数为:频率:800(1+10%)KHZ,脉冲重复周期:25ms,占空比:50%。在使用时,将患者置于安静房间内,将3个超声探头涂满耦合剂,放置于患者前额叶体表对应位置,正常工作后嘱患者闭目休息。

期间一共持续 20 分钟，避免外来刺激。假刺激得益于超声特性，人体无法进行感知。每周进行 5 次治疗。

4. 观察指标

4.1. 运动功能评估

Wolf 运动功能评分：Wolf 运动功能测试量表评分(Wolf Motor Function Test, WMFT)是国际上广泛应用于评估康复训练对改善上肢功能情况的首选量表。其一共包括 15 种测量项目，包括诸多日常生活涉及上肢运动的测量如前臂放到桌子上，握力，精细运动等等，评分根据患者的功能表现可分为 0~5 分，共 6 级，其每一项分数越高代表其功能越好，总分 75 分，该测评方法简单易操作，患者不易疲惫，较用于评估脑卒中患者手及上肢功能恢复情况。

4.2. 情绪功能评估

PHQ-9 (Patient Health Questionnaire-9)是一种常用的抑郁症筛查量表，基于 DSM-V (美国精神病学学会制定的《精神疾病的诊断和统计手册》)诊断标准的 9 个条目，用于评估个体是否患有抑郁症以及抑郁症的程度，具有良好的信度和效度，其评定简单，速度快，患者易于接受。共分为 27 分，分数越高说明其抑郁程度越高。

4.3. 日常生活能力评估

日常生活能力(Activity of Daily Living, ADL)是指一个人为了满足日常生活的需要每天所进行的必要活动，该评估使用 **Barthel 指数量表(The Barthel index, BI)**进行评定，内容包括进食、洗漱、洗澡、如厕、穿衣等基本生活自理能力，以及功能性移动能力如床椅转移、行走、上下楼梯等，该评估共 100 分，分数越高说明患者日常生活能力越好。

4.4. 统计学分析

所有数据均采用 SPSS Statistics23 软件进行统计分析，计量资料采用 $\bar{x} \pm s$ 表示，对计量资料组间比较采用 t 检验(正态分布)或秩和检验(非正态分布)，对计数资料采用卡方检验。其中 $p < 0.05$ 为显著水平，视为差异有统计学意义，见表 1、表 2。

Table 1. Comparison of general data between two groups

表 1. 两组受试者一般资料比较

项目	干预组(n = 15)	假刺激组(n = 15)	统计量	p 值
男/女(n)	10/5	11/4	0.159 ^a	0.690
年龄($\bar{x} \pm s$, 岁)	58.07 $\pm$ 9.11	60.73 $\pm$ 12.21	-0.678 ^a	0.503
病程[M (P25, P75), 天]	40 (30, 75)	48 (34, 59)	-0.125 ^b	0.901
病灶左/右(n)	10/5	11/4	0.159 ^a	0.690

注：a 为 t 值，b 为 Z 值。Note: a is the t-value, b is the Z-value. Compared with before treatment, * $p < 0.05$.

Table 2. Comparison of motor function, emotional status, and activities of daily living between the two groups of subjects

表 2. 两组受试者的运动、情绪及日常生活能力对比

项目	治疗前	治疗后	t 值	p 值
WFMT				
干预组(n = 15)	26.47 $\pm$ 4.55	54.00 $\pm$ 6.29	-13.74	<0.001

续表

假刺激组(n = 15)	28.40 ± 5.44	48.27 ± 5.69	-9.78	<0.001
t 值	-1.056	2.618		
P 值	0.30	0.014		
PHQ-9				
干预组(n = 15)	16.13 ± 2.20	4.67 ± 1.91	15.23	<0.001
假刺激组(n = 15)	16.53 ± 2.67	10.27 ± 2.81	6.257	<0.001
t 值	-0.448	-6.371		
P 值	0.658	<0.001		
BI				
干预组(n = 15)	45 (40, 45)	75 (70, 75)	-4.722*	<0.001
假刺激组(n = 15)	45 (40, 45)	70 (70, 75)	-4.747*	<0.001
Z 值	-0.131*	-0.926*		
P 值	0.896	0.354		

注：*代表 Z 值。Note: * indicates Z value.

5. 结果

5.1. 基线数据分析

本研究共纳入 30 例患者，两组各 15 例，两组间性别、年龄、病灶部位等经统计学检验后无显著差异(P > 0.05)，见表 1。

5.2. 运动功能指标

两组分别于治疗前，治疗后 28 天进行评估，治疗前，两组 Wolf 手功能评分比较无显著性差异(p > 0.05)。治疗后，两组 Wolf 手功能评分升高，差异具有统计学意义(p < 0.05)，且干预组显著优于对照组(p < 0.05)，见表 2。

5.3. 情绪及日常生活能力评估

两组分别于治疗前，治疗后 28 天进行评估，治疗前，两组 PHQ-9 自评量表及 BI 指数相比较无显著性差异(p > 0.05)。治疗后，两组 PHQ-9 自评量表及 BI 指数一定程度改善(p < 0.001)，且干预组 PHQ-9 指数显著低于对照组(p < 0.05)。见表 2。

6. 讨论

目前，绝大多数患者在脑卒中后会存在不同程度的情绪及情感障碍，因无法调动积极情绪，时常出现康复治疗时积极性差、执行力减退、缺少信心及目标，延缓了患者康复疗程并使得患者错过了最佳的康复治疗时间，最终导致患者致残率上升。相较于临床上直观的诸如运动功能、言语功能、吞咽功能等易于观察的障碍，卒中后抑郁不易被观测及察觉，常常容易造成忽视。因此，在康复治疗的过程中，针对这些问题选择有效的治疗方式变得至关重要，通过康复干预改善患者消极情绪，使得患者重拾信心以及自尊，为患者树立积极的康复目标，增强患者运动功能的恢复以促进其日常生活能力及生活质量的改善。

卒中后抑郁第一次被发现至今已经约百年之久,其开始研究始于 20 世纪 70 年代,目前公认的机制主要包括神经递质假说、下丘脑-垂体-肾上腺轴、炎症反应等,但目前机制仍有争论。部分机制如下展示:

(1) 神经递质假说:包含 2 种,即单胺神经递质假说(monoamine hypothesis)以及谷氨酸毒性假说(glutamate-mediated excitotoxicity hypothesis),前者认为卒中后脑内单胺神经递质水平异常,造成患者如抑郁、冷漠、焦虑等情绪障碍[9]。而后者主要认为在中风发生之后,脑脊液中过量地出现谷氨酸,通过谷氨酸受体大量激活使得非梗死部位的神经细胞肿胀,凋亡,进而出现神经功能减退,障碍,引出相应抑郁、焦虑等情绪障碍[10]。

(2) 下丘脑-垂体-肾上腺轴(hypothalamic-pituitary-adrenal axis, HPA):通过信号传递至下丘脑旁核(PVN),激活并释放促皮质素释放激素(CRH),刺激垂体释放促肾上腺皮质激素(ACTH)并作用于肾上腺皮质,合成和释放糖皮质激素(GC),糖皮质激素作为一种重要的调节代谢、应激、抗炎及情绪相关激素,广泛作用于身体各处糖皮质激素受体(GR)并负反馈调节于海马与 HPA 轴。当 HPA 轴调节失衡,过多地生成糖皮质激素,可影响海马等功能,造成相应情绪障碍[11]。

(3) 炎症反应:目前研究中,越来越多的证据表明,炎症反应在卒中后抑郁中的重要性。在炎症反应的过程中,促炎细胞因子(inflammatory cytokine)扮演了重要的角色。脑卒中作为一种严重的急性脑组织损伤疾病,会大量激活免疫细胞(如小胶质细胞等)释放大量的细胞因子,加重组织损伤及炎症反应。这其中主要有白细胞介素-1(IL-1)、白细胞介素-6(IL-6)[12],以及肿瘤坏死因子- α (TNF- α)构成。这些促炎因子除了通过炎症反应加剧组织损伤,还可以通过刺激 HPA 轴加重抑郁的发生。

目前,对于卒中后抑郁治疗,临床普遍使用抗抑郁药物治疗及脑刺激治疗。然而两者各有其缺点,药物治疗存在起效慢、副作用大、耐药性等缺点[13],脑刺激治疗中,有创脑刺激如深部脑刺激(deep brain stimulation, DBS),存在手术并发症风险、且需要术后维护,在临床上限制了其应用。无创脑刺激技术包括包括经颅磁刺激(transcranial magnetic stimulation, TMS)[14]及经颅直流电刺激(transcranial electrical stimulation, tES),相关研究表明经颅磁刺激特定靶区可以改善患者情绪[15]。但其作用浅表,靶点模糊,因其物理及生物特性无法准确定位刺激部位,且患者常常因治疗时候刺激(尤其是卒中后抑郁患者)而产生恐惧及畏惧心理,存在着诱发癫痫的可能[16]。

经颅超声刺激作为一种新型的无创脑刺激,因其良好的高空间分辨率、能够有效刺激深层脑组织,安全性良好等诸多优点而受欢迎和青睐,主要可大致地分为以下机制:(1) 热效应:超声作为一种机械波,在组织中传播时部分能量转化为热能,高频聚集超声刺激利用该机制可对病变组织产生消融等作用。在低强度超声刺激中,可使目标组织产生微小温度变化,介导离子通道开放并改变细胞膜内外电位变化[17],尚未有研究报道低强度经颅超声刺激对脑组织的热能损伤。(2) 非热效应:超声刺激对机体产生的非热量效应统称为非热效应,非热效应包括机械效应,空化效应等等,指超声通过高频振荡产生声强压力作用于目标神经组织,振动目标区域液体使得微气泡产生变化,促使神经组织细胞膜上的机械门控通道开放,影响膜电位差并促使神经细胞释放神经递质及激活表达,促进微小血流变化,从而达到调控神经的作用[18]。

TUS 作为一种新型技术,对于脑卒中及脑损伤的研究仍然在发展阶段。有相关研究者将 40 只创伤性脑损伤造模大鼠随机分为假手术组、模型组、电针组、低频经颅超声刺激组和联合组($n=8$),干预后发现联合治疗组的改良神经功能缺损评分明显优于其他组,提示经颅超声刺激的有效性[19]。经颅超声刺激对于情绪相关研究较少,可追溯的第一篇关于经颅超声刺激的临床研究为 2013 年的一项双盲实验,该实验探究了慢性疼痛患者在接受刺激后,观察到患者疼痛及情绪评分明显上升[20]。提示其可能是一种蕴含着巨大潜能的无创刺激。

在本研究中,我们发现两组在经过为期4周的经颅超声干预治疗后,两组在运动功能及情绪、日常生活能力评分中都有所改善($p < 0.05$),在治疗后两组上肢运动功能及情绪评分中,干预治疗组的 wolf 手功能评分及 PHQ-9 自评抑郁评分相较于假刺激组具有显著性($p < 0.05$),提示经颅超声可以有效地在常规治疗的基础上改善卒中后抑郁患者的相应功能。经颅超声刺激作为一种新型的无创脑刺激,具有巨大的潜力,本研究中,经颅超声刺激可能通过相应的机制(包括热效应及非热效应),有效地进行相应的神经调控,改善了上肢运动功能。运动功能对于脑卒中患者影响巨大,而卒中后患者常出现一侧上下肢运动障碍,造成患者生活及社会社交上的困难,如因肢体无力无法进行穿衣、洗漱,肌肉痉挛无法控制行走,与他人交流及工作上的障碍,这些极大地降低了患者的生活质量,而在这其中,上肢功能障碍对患者生活质量的影响尤为显著。上肢功能相较于下肢,其运动皮层占大脑运动区的60%以上。上肢尤其是手部的神经支配具有高度复杂性,这种复杂性使得上肢功能的恢复较下肢更为困难,精细动作的控制尤其具有挑战性,患者常常出现上肢肌肉无力、疼痛、软组织挛缩和运动控制问题。上肢功能的丧失或受限不仅影响患者的日常生活能力,还对其心理状态和社会参与产生深远影响,使得患者容易出现自卑、焦虑、抑郁等负面情绪。这些负面情绪对于卒中后抑郁患者又会加重其病情程度,卒中后抑郁患者常常因无法调动积极情绪配合,时常出现康复治疗时积极性差、执行力减退、缺少信心及目标,延缓了患者康复疗程并最终导致患者错过了最佳的康复治疗时间,并最终导致患者致残率上升,甚至影响到患者家庭、日常生活,更有甚者患者出现轻生、自杀的念头。通过经颅超声刺激的干预后,上肢精细运动功能及情绪皆有所改善,且两者互为影响,运动功能改善的同时增强了患者的信心及兴趣,情绪功能改善增强了患者的注意力及执行力,极大地正反馈促进了卒中后抑郁患者的功能恢复。考虑到此次研究为为期4周的干预治疗,虽然治疗前与治疗后的两者日常生活能力评分都具有显著性($p < 0.05$),但两组在治疗后的日常生活能力评分中未见明显显著性($p > 0.05$),可能与干预疗程较短存在一定的关系。

在本研究中,我们的研究存在一定的缺点,我们未对患者进行长期的随访及调查,没有对经颅超声刺激的不同参数如治疗频率、功率等对于卒中后抑郁患者的治疗效果进行研究,本研究中,我们的样本量只纳入了30例病例,存在一定局限性,需要更大样本研究验证数量。

针对本研究的不足,未来研究应围绕相关点进行探讨及分析,在双盲实验的基础上增加多中心交叉实验,在将来更多的探讨TUS不同功率及声强的研究,并联合多种被证明有效改善卒中后抑郁的治疗方法(如音乐、运动等),对脑卒中后更多相关并发症进行对照分析,引入更多客观化评估指标,增强实验可信度,进一步探讨经颅超声刺激在脑卒中并发症的临床应用,并分析其相关机制。

7. 总结

低强度经颅超声刺激对于卒中后抑郁患者的上肢运动及情绪功能具有显著的改善及疗效。

基金项目

安徽省教育厅资助项目基金(No.2022AH051160)。

参考文献

- [1] 宇传华, 罗丽莎, 李梅, 等. 从全球视角看中国脑卒中疾病负担的严峻性[J]. 公共卫生与预防医学, 2016, 27(1): 1-5.
- [2] Khedr, E.M., Abdelrahman, A.A., Desoky, T., Zaki, A.F. and Gamea, A. (2020) Post-stroke Depression: Frequency, Risk Factors, and Impact on Quality of Life among 103 Stroke Patients—Hospital-Based Study. *The Egyptian Journal of Neurology, Psychiatry and Neurosurgery*, **56**, Article No. 66. <https://doi.org/10.1186/s41983-020-00199-8>
- [3] 戴培, 于惠贤, 王赵霞, 等. 缺血性脑血管病认知功能损害及精神心理异常的分析研究[J]. 中国康复医学杂志, 2023, 38(6): 756-760.

-
- [4] 殷宇昕, 阎守国, 黄娟, 等. 经颅超声聚焦方法和声场特性研究[J]. 声学学报, 2023, 48(1): 162-172.
- [5] 吴毅. 经颅超声刺激在脑卒中后神经功能康复中的研究进展[J]. 中国康复医学杂志, 2024, 39(8): 1081-1083.
- [6] 李春婵, 杨佳佳, 刘近贞, 等. 经颅超声在帕金森病治疗中的应用[J]. 生物化学与生物物理进展, 2023, 50(1): 25-37.
- [7] 李泽钧, 黎峰铭, 陈镜宇. 低强度经颅超声刺激调控大脑神经研究进展[J]. 中国医学影像技术, 2021, 37(12): 1902-1905.
- [8] 朱晓霞, 周琛云, 周洁宏, 等. 经颅超声辅助溶栓技术在缺血性脑卒中动物模型中的应用[J]. 中国实验动物学报, 2018, 26(6): 809-814.
- [9] 陈晶, 刘瑾春, 张鹏杰, 等. 维生素 B12 对抑郁大鼠行为学和脑单胺类神经递质及脑源性神经营养因子的影响[J]. 四川大学学报(医学版), 2025, 56(1): 206-214.
- [10] Madeira, C., Vargas-Lopes, C., Brandão, C.O., Reis, T., Laks, J., Panizzutti, R., *et al.* (2018) Elevated Glutamate and Glutamine Levels in the Cerebrospinal Fluid of Patients with Probable Alzheimer's Disease and Depression. *Frontiers in Psychiatry*, **9**, Article 561. <https://doi.org/10.3389/fpsyt.2018.00561>
- [11] 李超, 李继安, 田朝阳, 等. 中医药调节 HPA-HPT-HPG 轴治疗抑郁症的研究进展[J]. 中国比较医学杂志, 2024, 34(12): 102-110.
- [12] 胡志林, 葛朝明. 白细胞介素-6 参与卒中后抑郁发病的机制探讨[J]. 神经疾病与精神卫生, 2024, 24(8): 533-538.
- [13] Villa, R.F., Ferrari, F. and Moretti, A. (2018) Post-Stroke Depression: Mechanisms and Pharmacological Treatment. *Pharmacology & Therapeutics*, **184**, 131-144. <https://doi.org/10.1016/j.pharmthera.2017.11.005>
- [14] 刘欣甜, 王甜甜, 吕亚婷, 等. 重复经颅磁刺激治疗脑卒中后抑郁的研究进展[J]. 中华老年心脑血管病杂志, 2024, 26(2): 238-240.
- [15] 胡晓丽, 李佳慧. 针刺联合重复经颅磁刺激治疗轻中度卒中后抑郁: 对照试验[J]. 中国针灸, 2024, 44(7): 765-769.
- [16] Lefaucheur, J.P., *et al.* (2014) Evidence-Based Guidelines on the Therapeutic Use of Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation (rTMS). *Clinical Neurophysiology*, **125**, 2150-2206.
- [17] Buzatu, S. (2009) The Temperature-Induced Changes in Membrane Potential. *Rivista di Biologia*, **102**, 199-217.
- [18] Wang, P., Zhang, J., Yu, J., Smith, C. and Feng, W. (2019) Brain Modulatory Effects by Low-Intensity Transcranial Ultrasound Stimulation (TUS): A Systematic Review on Both Animal and Human Studies. *Frontiers in Neuroscience*, **13**, Article 696. <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.00696>
- [19] 高思淼, 韩雪, 吴晓光, 等. 电针联合低频经颅超声刺激对创伤性脑损伤大鼠脑电信号的影响[J]. 中国组织工程研究, 2025, 29(2): 402-408.
- [20] Krasovitski, B., Frenkel, V., Shoham, S. and Kimmel, E. (2011) Intramembrane Cavitation as a Unifying Mechanism for Ultrasound-Induced Bioeffects. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **108**, 3258-3263. <https://doi.org/10.1073/pnas.1015771108>