·探索脑机接口与神经调控技术的应用·

经颅超声刺激对脑卒中吞咽障碍患者的情绪状况疗效研究

王年　袁景　叶荣菊　刘智岚　李果　林桦*

（上海市第四康复医院老年康复科，上海 200040）

【摘要】 **目的**　探索经颅超声刺激（transcranial ultrasound stimulation, TUS）改善脑卒中吞咽障碍（post-stroke dysphagia, PSD）患者情绪状况的康复疗效。**方法**　选取2024年10月至2025年11月于我院住院治疗的PSD伴情绪障碍患者，按1∶1的比例电脑简单随机分组，对照组（TUS假刺激组）及观察组（TUS组）各35例。对照组实施常规康复训练方案；观察组则在常规康复训练的同时，联合每天1次时长20 min的TUS干预。两组患者每周训练6 d，治疗4周后采用洼田饮水试验（water swallowing test, WST）评估吞咽功能，采用汉密尔顿焦虑量表（Hamilton anxiety scale, HAMA）及汉密尔顿抑郁量表（Hamilton depression scale, HAMD）评估情绪状况，采用匹兹堡睡眠质量指数（Pittsburgh sleep quality index, PSQI）评估睡眠状况，并与治疗前比较。**结果**　治疗后，两组WST分级、HAMA评分、HAMD评分及PSQI评分均较治疗前下降（$P<0.05$）；治疗后两组间比较，观察组WST分级［2（2, 2）级 *vs.* 3（3, 3）级］、HAMA评分［（9.11 ± 3.45）分 *vs.*（16.26 ± 4.77）分］、HAMD评分［（8.29 ± 2.81）分 *vs.*（15.06 ± 2.54）分］、PSQI评分［（10.74 ± 1.93）分 *vs.*（13.09 ± 2.21）分］均显著低于对照组，差异有统计学意义（$P<0.05$）。**结论**　TUS联合常规康复训练能显著改善PSD患者的情绪状况，可为PSD合并情绪障碍患者的综合康复提供参考。

【关键词】 脑卒中；吞咽障碍；经颅超声刺激；情绪状况；康复训练

【中图分类号】 R743.3；R493　【文献标识码】 A　【DOI】 10.11876/mimt202604009

Efficacy of transcranial ultrasound stimulation on emotional status in patients with post-stroke dysphagia: a randomized controlled study

*Wang Nian, Yuan Jing, Ye Rongju, Liu Zhilan, Li Guo, Lin Hua**

(Department of Geriatric Rehabilitation, Shanghai Fourth Rehabilitation Hospital, Shanghai 200040, China)

【**Abstract**】 **Objective**　To explore the rehabilitative efficacy of transcranial ultrasound stimulation (TUS) in improving the emotional status of patients with post-stroke dysphagia (PSD). **Methods**　A total of 70 inpatients with poststroke dysphagia complicated by mood disorders admitted to our hospital were enrolled from October 2024 to November 2025. Patients were assigned to the control group (shamTUS group) and the observation group (TUS group) by computer-generated simple random sampling at a 1:1 ratio, with 35 patients in each group. The control group received conventional rehabilitation training plus shamTUS intervention, whereas the observation group received conventional rehabilitation training combined with 20-minute daily TUS intervention. Both groups received training 6 days per week. Swallowing function was assessed using the water swallowing test (WST), and emotional status was evaluated using the Hamilton anxiety scale (HAMA), Hamilton depression scale (HAMD), and Pittsburgh sleep quality index (PSQI) before and after 4 weeks of treatment. **Results**　After treatment, WST grade, HAMA, HAMD, and PSQI scores decreased significantly in both groups compared with baseline ($P<0.05$). Inter-group comparisons after treatment showed that the

收稿日期：2026-06-10

基金项目：上海市静安区卫生健康科研课题（面上2024MS17）；上海市静安区卫生健康“十百千”人才项目（2025SBX-YQ07）

第一作者：王年，男，硕士研究生，主治医师，研究方向：神经及老年康复

通信作者：林桦，女，硕士研究生，主任医师，研究方向：神经及老年康复

WST grade［2 (2, 2) *vs*. 3(3, 3)］, HAMA score［(9.11±3.45) *vs*. (16.26±4.77)］, HAMD score［(8.29±2.81) *vs*. (15.06±2.54)］, and PSQI score［(10.74±1.93) *vs*. (13.09±2.21)］in the observation group were significantly lower than those in the control group (P<0.05). **Conclusion** TUS combined with conventional rehabilitation training can significantly improve the emotional status of patients with PSD, providing a reference for the comprehensive rehabilitation of patients with PSD and emotional disorders.

【Key words】 Stroke; Dysphagia; Transcranial ultrasound stimulation; Emotional status; Rehabilitation training

脑卒中吞咽障碍（post-stroke dysphagia, PSD）是指因脑卒中导致的食物从口腔向胃运输过程中出现的功能性障碍，急性卒中患者吞咽障碍发生率可达55%[1]。吞咽障碍常诱发营养不良、吸入性肺炎等高危并发症，还通过进食愉悦感丧失等心理社会机制，独立加重焦虑、抑郁等负性情绪，形成“心理-生理”恶性循环，严重阻碍康复并降低生活质量[2]，现有研究[3]显示PSD患者焦虑和抑郁情绪的发生率为39.85%。经颅超声刺激（transcranial ultrasound stimulation, TUS）通过特定频率超声波穿透颅骨，利用空化效应产生的机械振动靶向作用于神经元细胞膜和机械敏感离子通道[4]，激活大脑功能区神经活动，促进脑源性神经营养因子、5-羟色胺及去甲肾上腺素等相关神经递质释放，进而调节情绪相关脑区功能。针对PSD患者的非药物干预手段主要包括重复经颅磁刺激、经颅直流电刺激及电针等，但多聚焦于吞咽功能恢复，较少同时兼顾患者并存的情绪障碍，TUS凭借调控深部脑区的技术优势，已在部分情绪障碍人群中显示出潜在价值，但针对PSD患者情绪状况治疗效果的报道甚少。本研究旨在观察TUS治疗对PSD患者情绪状况的影响，评估其临床疗效，以期为PSD伴情绪障碍的临床治疗提供新的非药物干预方案，丰富现有治疗手段。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取2024年10月至2025年11月于我院康复科住院治疗的PSD伴情绪障碍患者共70例。纳入标准：①经头颅CT或MRI确诊为脑卒中[5]；②病程<180 d，首次发病，洼田饮水试验（water swallowing test, WST）分级3～5级；③意识清楚，可完成相关指令或动作；④汉密尔顿焦虑量表（Hamilton anxiety scale, HAMA）评分≥7分、汉密尔顿抑郁量表（Hamilton depression scale, HAMD）评分≥8分。排除标准：①存在颅内金属植入物等禁忌证；②其他原因（脑干卒中、颅脑外伤）导致的吞咽障碍；③入组前曾接受抗精神病药物治疗者。全部患者均签署知情同意书，同意将其临床信息与影像资料用于本项研究。按1∶1的比例电脑简单随机分组，对照组（TUS假刺激组）及观察组（TUS组）各35例，研究期间无病例脱落。两组患者的性别构成、年龄分布、病程长短、卒中类型、病灶部位及美国国立卫生研究院卒中量表（National Institutes of Health stroke scale, NIHSS）评分比较，差异无统计学意义，见表1。本研究方案经医院伦理委员会审核批准（审批号：SP2024-01）。

1.2 治疗方法

两组患者均接受常规康复训练，对照组在常规康复训练基础上加用TUS假刺激，观察组在常规康复训练基础上加用TUS治疗。

1.2.1 常规康复训练

①吞咽器官感觉运动训练：闭唇及张口、咬合、舌运动肌肉训练及使用冰块或冰棒擦拭口腔黏膜、舌部、软腭等部位进行冰刺激等。②摄食训练：食物选择偏软型，控制进食一口量，鼓励口腔两侧交替咀嚼。③针刺治疗：穴位取“舌三针”，即上廉泉及左右夹廉泉穴。取坐位，身体放松状态，取上廉泉穴及其左右各2.6 cm处取穴针刺，以75%乙醇棉球消毒手部及针刺穴位皮肤，取0.25 mm×40 mm华佗牌一次性无菌毫针，向舌根方向斜刺入皮肤1.6～2.6 cm，平补平泻，得气后留针20 min。上述治疗总时长60 min/次，1次/d，6 d/周，连续治疗4周。

1.2.2 观察组

在常规康复基础上加用TUS治疗，TUS仪采用石家庄渡康医疗器械有限公司生产的DK-102TC型设备。1、2号探头左右对称放置于双侧颞窗，3号探头放置于枕骨窗，足量耦合剂涂在探头表面，用弹性头带固定贴紧皮肤，1、2、3号治疗探头循环

表1 两组患者一般资料比较

项目	对照组（n=35）	观察组（n=35）	$\chi^2/Z/t$值	P值
性别［n（%）］			0.560[a]	0.454
男	24（68.57）	21（60.00）		
女	11（31.43）	14（40.00）		
年龄［岁，M（Q_1, Q_3）］	71.0（68.0, 75.0）	70.0（66.0, 73.5）	1.327[b]	0.185
病程（d，M（Q_1, Q_3））	47.0（41.5, 51.0）	44.0（38.5, 50.5）	1.075[b]	0.282
卒中类型［n（%）］			0.635[a]	0.426
脑梗死	30（85.71）	33（94.29）		
脑出血	5（14.29）	2（5.71）		
病灶部位［n（%）］			0.229[a]	0.632
左	19（54.29）	17（48.57）		
右	16（45.71）	18（51.43）		
NIHSS评分（分，$\bar{x} \pm s$）	18.60 ± 2.19	19.03 ± 2.23	0.812[c]	0.420

注：[a]为χ^2值；[b]为Z值；[c]为t值；NIHSS为美国国立卫生研究院卒中量表。

输出，循环周期6 s，超声频率（800 ± 80）kHz，输出功率0.9 W/cm^2，治疗探头输出脉冲波，脉冲连续时间10 ms，脉冲重复周期60 ~ 150 ms，治疗时长20 min/次，1次/d，6 d/周，连续治疗4周。

1.2.3 对照组

在常规康复基础上加用TUS假刺激治疗，假刺激超声探头位置、参数同观察组，开始刺激后立即中断。

1.3 观察指标

采用WST评估吞咽功能，采用HAMA及HAMD评估情绪状况，采用匹兹堡睡眠质量指数（Pittsburgh sleep quality index, PSQI）评估睡眠状况。以上评估均由不知晓具体分组情况的专业评定人员完成。

1.3.1 洼田饮水试验（WST）

患者取坐位或半卧位，口服30 mL温水，观察其饮水过程中表现，并根据观察结果进行分级评估。1级：1次顺利咽下无呛咳；2级：分2次完成无呛咳；3级：1次咽下但伴呛咳；4级：分多次（≥2次）咽下且发生呛咳；5级：无法咽下且频繁呛咳。

1.3.2 汉密尔顿焦虑量表（HAMA）

量表共14个评估条目，采用0 ~ 4分5级评估法，总分范围0 ~ 56分。总分<7分为正常；7 ~ 13分提示轻度焦虑可能；14 ~ 20分明确提示焦虑症状；21 ~ 28分提示中重度焦虑；≥29分提示焦虑发作严重。

1.3.3 汉密尔顿抑郁量表（HAMD）

量表共24个评估条目，其中14个条目采用0 ~ 4分5级评估法，10个条目采用0 ~ 2分3级评估法，总分范围0 ~ 78分。总分<8分提示无抑郁；8 ~ 19分为轻度发作；20 ~ 35分为中度发作；>35分判定为重度发作。

1.3.4 匹兹堡睡眠质量指数（PSQI）

对患者近1个月的睡眠状况进行评估。量表包含19个自我评定项和5个他人评定项，总分范围0 ~ 21分。总分0 ~ 5分为睡眠状况优秀；6 ~ 10分为良好；11 ~ 15分为一般；16 ~ 21分为较差。

1.4 统计学方法

采用R 4.3.2软件对数据进行统计分析。正态性检验采用Shapiro–Wilk法，符合正态分布的计量资料以均数 ± 标准差（$\bar{x} \pm s$）表示，组内比较采用配对t检验，组间比较采用独立样本t检验；非正态分布的计量资料采用中位数（上四分位数，下四分位数）［M（Q_1, Q_3）］表示，组内比较采用Wilcoxon符号秩检验，组间比较采用Mann–Whitney U检验。计数资料以例数（n）和百分率（%）表示，组间比较行χ^2检验。以P<0.05为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 吞咽功能比较

治疗前两组WST分级比较，差异无统计学意义（P>0.05）。治疗后两组WST分级均较治疗前降低（P<0.05），且观察组WST分级低于对照组，差异有统计学意义（P<0.05）。见表2。

表2 两组患者治疗前后WST分级比较［级，$M(Q_1, Q_3)$］

组别	例数	治疗前	治疗后	Z值	P值
对照组	35	4（3, 4）	3（3, 3）	4.61	0.000
观察组	35	4（3, 4）	2（2, 2）	5.19	0.000
Z值		0.31	4.52		
P值		0.759	0.000		

注：WST为洼田饮水试验。

2.2 情绪状况比较

治疗前两组HAMA、HAMD评分比较，差异无统计学意义（$P>0.05$）。治疗后两组HAMA、HAMD评分均较治疗前下降，且观察组HAMA、HAMD评分均低于对照组，差异有统计学意义（$P<0.05$）。见表3。

表3 两组患者治疗前后情绪状况比较（分，$\bar{x}\pm s$）

组别	例数	HAMA评分		t值	P值	HAMD评分		t值	P值
		治疗前	治疗后			治疗前	治疗后		
对照组	35	19.97 ± 5.09	16.26 ± 4.77	17.30	0.000	20.34 ± 2.89	15.06 ± 2.54	18.13	0.000
观察组	35	21.66 ± 5.46	9.11 ± 3.45	26.90	0.000	21.09 ± 3.53	8.29 ± 2.81	42.57	0.000
t值		1.34	7.48			0.96	10.56		
P值		0.186	0.000			0.339	0.000		

注：HAMA为汉密尔顿焦虑量表；HAMD为汉密尔顿抑郁量表。

2.3 睡眠状况比较

治疗前两组PSQI评分比较，差异无统计学意义（$P>0.05$）。治疗后两组PSQI评分均较治疗前下降，且观察组PSQI评分低于对照组，差异有统计学意义（$P<0.05$）。见表4。

表4 两组患者治疗前后PSQI评分比较（分，$\bar{x}\pm s$）

组别	例数	治疗前	治疗后	t值	P值
对照组	35	15.46 ± 2.45	13.09 ± 2.21	18.21	0.000
观察组	35	15.91 ± 2.19	10.74 ± 1.93	16.22	0.000
t值		0.82	4.72		
P值		0.414	0.000		

注：PSQI为匹兹堡睡眠质量指数。

3 讨论

PSD患者因摄食功能受损，常伴进食及饮水量减少、摄食时间延长及流涎等问题，易加重疲乏无力感，并诱发厌食、拒食等不良进食行为，进而引发焦虑、抑郁等负性情绪[6]，而焦虑、抑郁与脑功能失调密切相关[7]，亦可降低睡眠质量，影响日常生活[8]。情绪障碍与吞咽功能康复呈负向交互作用：情绪症状影响中枢神经系统调控及行为参与度，延缓功能重塑；康复进程阻滞作为心理应激源，加重情绪障碍程度，形成病理循环[9]。

临床治疗情绪障碍多以药物干预、心理干预及重复经颅磁刺激、经颅直流电刺激等神经调控技术为手段，但存在药物及心理治疗起效慢且疗程长、重复经颅磁刺激对深部脑区刺激有限、经颅直流电刺激定位精度不足等缺陷[10]。TUS属于新兴非侵袭性神经调控范畴，调控原理与经颅磁/电刺激显著不同，凭借其高空间分辨率及深部脑刺激功能，为PSD伴情绪障碍提供新的治疗策略。

本研究运用常规康复改善吞咽相关肌肉协调性，可促进中枢神经系统传导重塑[11-12]，同时予中医针刺“舌三针”治疗平衡脏腑阴阳，调整虚实状态[13]。研究显示治疗后两组患者WST分级均得到改善，表明常规吞咽康复训练用于治疗PSD，能够有效改善患者吞咽功能，且观察组优于对照组（$P<0.05$），初步提示TUS结合常规吞咽功能训练的临床价值，本研究与田作丽等[14]的经颅超声联合电刺激研究在WST分级结果上相一致，进一步佐证TUS干预可协同提升PSD患者吞咽康复疗效。吞咽功能的改善有助于恢复患者经口进食的信心与独立性，减少误吸恐惧及营养摄入不足带来的负性情绪，中西医结合治疗使患者负性情绪得以有效宣泄，形成良性循环，促进机体康复[15]。研究显示两组患者HAMA、HAMD、PSQI评分较治疗前均好转，提示常规康复对患者情绪状况及睡眠状况有一定的治疗效果。

本研究观察组运用TUS联合常规康复训练治疗PSD患者的焦虑、抑郁负性情绪，结果显示治疗后HAMA、HAMD、PSQI评分均优于对照组，与

郭豪等[16]的TUS治疗情绪障碍研究结果相一致，体现TUS治疗在改善PSD患者焦虑、抑郁状态及睡眠障碍上的优势。TUS兼具调控患侧皮层兴奋性与优化双侧半球功能平衡的双重效应，借助空化效应产生的机械振动作用于神经元细胞膜和机械敏感离子通道并通过超声辐射产生的压力刺激神经组织，调节神经功能诱发神经可塑性[17]；另外，TUS治疗通过改善病变区域血液供应以提升脑细胞代谢水平[18]，并诱导血管内皮生长因子表达以协同改善微循环灌注[19]，同时上调内皮型一氧化氮合酶表达，增加一氧化氮生成介导血管舒张，加速侧支循环建立[20]。上述多通路协同作用可改善吞咽中枢与边缘系统灌注，兼顾吞咽功能与情绪障碍的同步恢复。TUS治疗通过调控神经递质、优化大脑功能网络及抑制神经炎症，改善PSD患者焦虑、抑郁状态，促进睡眠恢复的具体机制如下。①调控神经营养因子：TUS能刺激星形胶质细胞合成分泌脑源性神经营养因子（brain-derived neurotrophic factor, BDNF）[21]，作为关键神经营养因子，其水平与焦虑、抑郁等负面情绪密切相关，BDNF能维持神经元存活、促进轴突再生，改善抑郁、焦虑情绪[22]，同时提高脑内5-羟色胺（5-hydroxytryptamine, 5-HT）水平，发挥促进睡眠的生理效应[23]。②调节大脑功能连接网络：Sanguinetti等[24]对健康受试者右额下回施加TUS刺激后，功能磁共振显示右额下回与默认网络（前扣带回、眶额皮质等）的功能连接减弱，而与认知控制网络连接增强，提示情绪调节机制可能与增强情绪调节能力有关。Matt 等[25]采用TUS刺激阿尔兹海默病（Alzheimer’s disease, AD）患者抑郁相关脑区，结果显示患者抑郁症状显著改善，这可能与TUS增强抑郁状态相关显著网络及腹内侧网络间的功能连接有关。TUS通过双向调控特定脑网络的功能连接，打破病理性神经环路异常，达到抗焦虑、抑郁的治疗效果。（3）炎症调控机制：Yi等[26]证实，TUS显著改善抑郁模型小鼠的抑郁样表现，其机制可能与下调前额叶皮层白细胞介素-6（interleukin-6, IL-6）、白细胞介素-1β（interleukin-1 beta, IL-1β）及肿瘤坏死因子-α（tumor necrosis factor-alpha, TNF-α）等关键促炎因子的表达有关，通过抑制炎症反应改善情绪。

经颅脉冲超声的安全性已在Liu等[27]的研究中得到验证，该研究指出当频率为800 kHz、强度低于1.0 W/cm²时，其具有良好的安全性。既往研究[28]报告了部分受试者在TUS治疗期间出现头晕，但头颅MRI检查未见结构性异常，本研究干预过程中未观察到严重不良反应，仅2例患者治疗结束后出现头晕症状，经休息后自行缓解，未予特殊药物干预且无后遗症。

综上所述，本研究通过TUS联合常规康复训练治疗PSD患者，可显著改善患者的吞咽功能，同时缓解焦虑、抑郁情绪并改善睡眠状况。该联合干预方案安全易实施，便于临床开展，可为临床PSD合并情绪障碍患者的综合康复提供参考，具备一定的临床推广价值。但是本研究仍存在一定局限性：本研究为单中心小样本研究，样本量可能不足以检测组间细微差异；同时，随访周期较短，未能评估疗效持久性及复发情况；本研究未设置单纯TUS组、单纯康复组等亚组，因此难以区分TUS、常规康复及针刺各自的独立效应，无法精准阐明各干预措施之间的协同作用机制。后续可设计多分组析因试验，增设单一干预亚组，进一步厘清各疗法的单独效应与交互协同效应。同时需要开展多中心、大样本、长随访周期的随机对照试验以进一步验证本研究结论，优化TUS参数及疗程，深入探索联合疗法的长期效果。

利益冲突：作者声明没有利益冲突。

[参 考 文 献]

[1] Labeit B, Michou E, Trapl-Grundschober M, et al. Dysphagia after stroke: research advances in treatment interventions [J]. The Lancet Neurology, 2024, 23(4): 418-428.

[2] 范晓歌, 张敏, 王小亚. 加味柴胡桂枝汤联合氟哌噻吨美利曲辛对脑卒中伴抑郁-焦虑患者负性心理、睡眠及血清HDAC3、Beclin-1的影响 [J]. 广州中医药大学学报, 2026, 43(3): 589-595.

[3] 唐诗颖, 文晓宇, 李军文, 等. 脑卒中后吞咽障碍患者焦虑和抑郁情绪的影响因素：一项Meta分析及剂量-反应关系 [J]. 国际精神病学杂志, 2025, 52(3): 701-705.

［4］ Wang J, Wang Y, Qie S. Transcranial ultrasound stimulation in neuromodulation: a bibliometric analysis from 2004 to 2024［J］. Front Neurosci, 2025, 19: 1595061.
［5］ 中华医学会神经病学分会, 中华医学会神经病学分会脑血管病学组. 中国各类主要脑血管病诊断要点 2019［J］. 中华神经科杂志, 2019, 52(9): 710–715.
［6］ Karisik A, Dejakum B, Moelgg K, et al. Association between dysphagia and symptoms of depression and anxiety after ischemic stroke［J］. Eur J Neurol, 2024, 31(5): e16224.
［7］ 赵文利, 孙芳灿, 刘春娜, 等. 基于结构方程模型分析脑卒中后吞咽障碍患者营养状态、焦虑抑郁与生活质量的关系［J］. 中华保健医学杂志, 2025, 27(2): 222–226.
［8］ 王璐, 李利, 王国玉, 等. 老年急性脑卒中后焦虑抑郁共病状态与血清因子水平的关系［J］. 中国老年学杂志, 2021, 41(2): 240–244.
［9］ 陆妮妮, 王海芳, 张滢滢, 等. 脑卒中吞咽障碍患者嗓音功能及心理状态研究［J］. 护理学杂志, 2022, 37(17): 9–12.
［10］吕敏, 李雪冰. 脑卒中后焦虑障碍研究现状［J］. 中国康复医学杂志, 2021, 36(3): 353–359.
［11］Kao S H, Chen R, Su P Y, et al. A tongue resistance training program improves strength, endurance, and swallowing in frail older adults with mild cognitive impairment: a double–blind randomized controlled trial［J］. Geroscience, 2026, 48: 647–660.
［12］Banda K J, Chu H, Sung C M, et al. Cortical and peripheral neurostimulation to improve swallowing function, aspiration, and dysphagia severity in dysphagia management: a network meta–analysis of randomized controlled trials［J］. Clin Nutr, 2026, 57: 106567.
［13］张坤, 洪锋, 郑琦. 靳三针联合康复训练在脑卒中后假性球麻痹吞咽功能障碍中的应用价值研究［J］. 针灸临床杂志, 2024, 40(10): 22–26.
［14］田作丽, 薛晓琳. 经颅超声–神经肌肉电刺激治疗对脑卒中后吞咽障碍患者的疗效探讨［J］. 系统医学, 2024, 9(6): 88–91.
［15］朱冉冉, 王津翔, 潘蓓, 等. 脑卒中中西医结合康复临床循证实践指南［J］. 上海中医药杂志, 2024, 58(6): 1–11.
［16］郭豪, 常婷, 谢晓娟. 经颅超声–神经肌肉刺激治疗联合依达拉奉对急性脑梗死患者情绪障碍的影响［J］. 神经损伤与功能重建, 2020, 15(2): 116–117.
［17］林懿, 吴毅. 低强度经颅超声影响大脑可塑性的研究进展［J］. 中华物理医学与康复杂志, 2022, 44(6): 564–567.
［18］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.
［19］Crossman J, Alzaheri N, Abdallah M N, et al. Low intensity pulsed ultrasound increases mandibular height and Col–II and VEGF expression in arthritic mice［J］. Arch Oral Biol, 2019, 104: 112–118.
［20］Liu Z, Zhang H, Lu K, et al. Low–intensity pulsed ultrasound modulates disease progression in the SOD1^{G93A} mouse model of amyotrophic lateral sclerosis［J］. Cell Rep, 2024, 43(9): 114660.
［21］Osada T, Konishi S. Noninvasive intervention by transcranial ultrasound stimulation: modulation of neural circuits and its clinical perspectives［J］. Psychiatry Clin Neurosci, 2024, 78(5): 273–281.
［22］张绍华, 王玉龙, 章春霞, 等. 互动式头针对脑卒中后认知功能及抑郁、焦虑状态的临床研究［J］. 北京中医药大学学报, 2021, 44(7): 659–667.
［23］De Deurwaerdere P, Di Giovanni G. 5–HT interaction with other neurotransmitters: an overview［J］. Prog Brain Res, 2021, 259: 1–5.
［24］Sanguinetti J L, Hameroff S, Smith E E, et al. Transcranial focused ultrasound to the right prefrontal cortex improves mood and alters functional connectivity in humans［J］. Frontiers in Human Neuroscience, 2020, 14:52.
［25］Matt E, Dörl G, Beisteiner R. Transcranial pulse stimulation (TPS) improves depression in AD patients on state–of–the–art treatment［J］. Alzheimer’s & Dementia: Translational Research & Clinical Interventions, 2022, 8(1): e12245.
［26］Yi S S, Zou J J, Meng L, et al. Ultrasound stimulation of prefrontal cortex improves lipopolysaccharide–induced depressive–like behaviors in mice［J］. Front Psychiatry, 2022, 13: 864481.
［27］Liu J, Wang L Y, Liu Z B, et al. Transcranial ultrasound with electrical stimulation of the cerebello–parietal nucleus on cerebral blood flow and limb function in patients with stroke［J］. Neurol Sci, 2025, 46: 257–266 .
［28］Matt E, Kaindl L, Tenk S, et al. First evidence of long–term effects of transcranial pulse stimulation (TPS) on the human brain［J］. J Transl Med, 2022, 20: 26.