

《心理科学进展》审稿意见与作者回应

题目：经颅聚焦超声刺激在心理学研究中的应用

作者：夏雪 程思 张丹丹

第一轮

审稿人 1 意见：

本文围绕“经颅聚焦超声刺激在心理学研究中的应用”展开，尝试从心理学视角整合在线与离线 TUS 两类研究范式，并讨论其在心理过程中的应用进展。文章选题新颖，结构主线清楚，有助于读者理解 TUS 在“即时因果检验”与“后效应调控”中的不同价值，这是本文的明显优点。不过仍需在以下几个方面进行完善：

意见 1：文章多处提及研究结果不一致（如离线 TUS 对杏仁核的情绪效应，Hoang-Dang et al., 2024；运动皮层 TUS 的兴奋/抑制双向效应，Bao et al., 2024），这是很好的科学问题切入点。但目前文章多将其归因于“参数差异”或“状态依赖”，流于表面。建议作者针对一两个核心矛盾（例如，为何相似的 tbTUS 参数在 M1 既可诱发 LTP 样增强又可诱发抑制，另外也有研究发现其没有诱发显著的兴奋或抑制变化 PMID: 41395365）进行深度分析，讨论其背后可能的机制，并提出解决这些矛盾的未来实验设计思路。

回应：感谢审稿专家的建议，我们非常赞同您的观点。确实目前研究发现了相同参数可诱发不同的调控效应，我们以初级运动皮层的 tbTUS 范式为例，进行了详细的阐述（447-461 行）。

意见 2：作者已明确指出在线 TUS 存在的听觉混杂问题，表中也报告了各研究的对照条件，但文中尚未形成系统性的方法学建议，到底在未来研究中应该采用怎样的对照方式？建议作者在现有基础上，进一步总结当前 TUS 研究中所采用的对照方式，并提出具体、可操作的方法学建议，有助于提升在线 TUS 研究的实验控制质量和结果可解释性。

回应：感谢审稿专家的重要建议。我们在修订稿中新增了关于在线 TUS 对照策略的系统性总结，并进一步提出了未来研究中可操作的实验控制建议（509-517 行）。

意见 3：在离线 TUS 与疼痛体验部分，建议补充 Legon 团队的两篇文章：PMID: 38314779, PMID: 38182418。

回应：感谢审稿专家的重要建议。我们认真阅读并核对了这两篇研究的实验范式和主要结果。需要说明的是，Legon et al. (2024) 和 Strohman et al. (2024) 均采用与接触性热痛刺激时间锁定的在线 TUS 范式：前者在每次热痛刺激前 200 ms 开始给予 1 s TUS，并比较前岛叶、后岛叶和对照条件下疼痛评分、接触性热痛诱发电位及心率变异性等指标；后者同样将 1 s TUS 时间锁定于热痛刺激，刺激从热痛刺激前 200 ms 开始至刺激后 800 ms 结束，用以考察背侧

前扣带皮层在急性疼痛感知、自主反应中的即时作用。基于上述范式特征，我们将这两篇文章归入在线 TUS 中“3.2.5 疼痛体验”（295-308 行）。

意见 4：“在线”与“离线”是贯穿全文的核心分类主线。为便于读者系统理解二者的差异，建议作者在总结与展望部分增加一个总结性表格，从技术和应用等方面对在线与离线 TUS 进行全面对比。

回应：我们已在“总结与展望”部分新增总结性表格，从基本定义、参数组织、效应时间、研究目的、对照条件和应用取向，对在线与离线 TUS 进行了综合比较，见表 3。

意见 5：表 1 和表 2 中列出了各研究采用的 TUS 强度指标（ISPPA、ISPTA），但不同研究报告这些参数时所依据的参考标准不一致，如“靶点处”“自由场”“衰减后”等。建议作者在表格注释或方法说明部分明确说明这些测量方式的具体含义。

回应：我们已在表 1 和表 2 的表注中增加说明，对“自由场”、“衰减后”和“靶点处”的测量方式进行了说明。

意见 6：建议在表格中增加“主要效应”列，提炼研究结果，如促进/抑制/无效应等，以便读者快速获取关键信息。

回应：我们在表 1 和表 2 中补充了“主要效应”列。

审稿人 2 意见：

该稿选题具有前沿性，结构完整，论述系统，围绕在线与离线 TUS 构建了较清晰的分析框架。当前修改主要集中在表达精炼、术语规范及论述语气的适度收敛。修改意见如下：

意见 1：在 3.2.3 运动控制 部分，作者将与 GABA 相关的皮层内抑制过程概括为更可能出现在“较长刺激时程和较低占空比”条件下。该表述建议进一步斟酌。根据表 1 所示，与 Legon et al., 2018 相比，相关研究之间更为显著的参数差异似乎主要体现在强度水平，如 ISPPA、ISPTA 的差别均较为突出。基于此，当前行文若仅强调刺激时程和占空比，可能会在一定程度上弱化强度参数在研究比较中的重要性。建议作者在该部分补充更全面的讨论，或对相关表述作适当限定，以使结论更加严谨。

回应：感谢审稿专家的建议。表 1 中我们呈现的 Legon et al., 2018 和 Fomenko et al., 2020 的 ISPPA、ISPTA 数据的来源不同。Legon et al., 2018 报告的是自由场水听器测量的强度；而 Fomenko et al., 2020 报告的则是基于自由场水听器测量后进一步结合颅骨衰减估计得到的颅内强度，无法直接进行比较。为了避免读者误解，我们已在表 1 和表 2 的表注中增加说明，对“自由场”、“衰减后”和“靶点处”的测量方式进行了界定。此外，在这个部分，我们原意是想说明在 Fomenko et al., 2020 研究中，当固定某些参数，只比较单一参数时，发现较长刺激时程和较低占空比下抑制效应更为显著。为避免误解，我们对这一表述进行了限定（275-278 行）。

意见 2: 在 4.2.1 情绪加工部分,“膝下扣带皮层靶点的刺激可使患者的抑郁症状……”以及“丘脑前核刺激则可能通过纠正默认模式网络过度连接……”等表述,建议进一步明确和规范。相较于前文如“靶向杏仁核的抑制性 TUS 可降低焦虑量表评分”这样的表达方式,上述句子在靶点、调控方式及效应结果之间的逻辑对应关系尚可进一步增强。建议作者在表述上尽量与前文保持一致,优先采用“靶向某脑区的兴奋性/抑制性 TUS 可……”这一结构;若原研究并未明确强调 TUS 的作用方向,则可考虑改为“通过 TUS 调控膝下扣带皮层/丘脑前核可……”,以提升表述的准确性和行文的一致性。

回应: 感谢审稿专家的建议。我们对该段整体句式进行了统一,使其更清楚地呈现“靶点—调控方式—神经/临床效应”的对应关系(369-372 行)。

意见 3: 作者已对 TUS 的相关刺激参数进行了较为详细的介绍,整体内容较为完整。为进一步提升本文的可读性,建议考虑增加一幅参数示意图,对基频、脉冲重复频率、占空比、单次刺激时长以及总刺激时长等关键概念及其相互关系进行更直观的展示。这样不仅有助于读者更清晰地理解各参数的定义及区别,也有助于增强方法学部分的整体呈现效果。

回应: 感谢审稿专家的重要建议,我们在技术参数部分增加了参数示意图,见图 2。对于总刺激时长,在文章中补充说明:“刺激时长则用于描述一次超声刺激单元持续多久,在不同研究中既可能报告脉冲序列刺激时长,也可能报告整个刺激方案的总时间(取决于脉冲序列重复次数和间隔时间)。”

意见 4: 关键技术参数部分建议补充为何不同参数可能对应兴奋/抑制效应。

回应: 我们已在 2.3 “关键技术参数”部分补充机制性说明(124-137 行)。

意见 5: 引言部分表述略显绝对,例如“TUS 在深部神经环路的因果探查方面显示出最为突出的应用优势”,建议适当弱化语气,如改为“显示出较为突出的优势”或“具有潜在优势”,以增强科学论述的审慎性。

回应: 感谢审稿专家的建议,已修改(34-35 行)。

意见 6: 引言部分的个别术语表达可进一步统一,例如“神经调控”“脑调控”“因果调控”等表述可适度规范化,以增强全文一致性。

回应: 感谢审稿专家的建议,已统一为“神经调控”。

第二轮

审稿人 2 意见:

感谢作者对上一轮审稿意见的认真回复和细致修改,文章整体质量已有明显提升。

目前仅有一个小的建议供参考。近期 A. Rezai 等(2025)报道了聚焦超声神经调控可

能导致脑损伤的情况。建议作者在文中对此项研究进行简要评述，并讨论其对超声刺激安全性的启示。

进一步地，建议作者在综述中补充总结当前超声刺激在人类研究中的安全参数范围（如声强、占空比、刺激时长等），以为后续研究提供更清晰的参考和指导。

Rezai, A., Ranjan, M., Bhagwat, A., Arsiwala, T., Carpenter, J., Schafer, M., ... & Finomore, V. (2025). Brain injury during focused ultrasound neuromodulation for substance use disorder. *Brain Stimulation*, 18(6), 2050-2053.

回复：感谢审稿人的重要建议。我们已在修订稿中补充讨论了 Rezai 等（2025）的文章；随后也补充了安全参数范围，需要说明的是目前的安全参数范围指标主要为机械指数、强度和温度等指标，因此我们在文章最后进行了总结（见行 502-519 行）。我们在 2.3 关键技术参数部分总结了占空比和刺激时长等时间结构参数常用的范围（见 138-151 行）。

编委 1 意见：已达到发表水平，建议将图一中 2026 年的数据点删除，更好体现研究量的变化。

回复：已删除 2026 年数据点，图已更新。

编委 2 意见：同意发表。

主编意见：同意发表。