

# 无创经颅电磁刺激及其联合应用的现状和未来

苏亦晗<sup>1</sup>, 林一聪<sup>1,2</sup>, 王玉平<sup>1,2</sup>

1. 首都医科大学宣武医院神经内科, 北京 100053; 2. 首都医科大学宣武医院河北医院神经治疗中心, 河北 石家庄 050030

**【摘要】** 无创经颅神经调控技术因具有无创及安全性较高的优势, 近年来在神经精神疾病治疗领域受到广泛关注。经颅磁刺激和经颅电刺激是应用最广泛的两类无创脑刺激技术, 分别可通过感应电场和外加电场调节皮层兴奋性、脑振荡节律及脑网络可塑性。随着研究深入, 单一刺激模式在疗效幅度、持续时间等方面的局限逐渐显现, 经颅电刺激与经颅磁刺激联合应用的“经颅电磁联合刺激”由此成为新的研究热点。本文总结了经颅电刺激和经颅磁刺激的基本原理与主要模式, 重点阐述经颅电磁联合刺激的技术要点、生理学研究进展及其在脑卒中、精神障碍、睡眠障碍和认知障碍等神经精神疾病领域的应用现状。现有证据提示, 经颅电磁联合刺激可通过跨半球协同、预调节易化、局部同向协同和相位耦合等机制增强神经调控效应, 显示出优于单一刺激模式的潜在治疗价值。未来仍需开展多中心、大样本、随机双盲对照研究, 并结合脑网络影像、个性化建模和脑机接口闭环调控等技术, 推动经颅电磁联合刺激向精准化、智能化和临床可推广方向发展。

**【关键词】** 无创神经调控; 经颅磁刺激; 经颅电刺激; 经颅电磁联合刺激; 神经精神疾病

**【中图分类号】** R714.14

**【文献标志码】** A

**【文章编号】** 1672-6170(2026)03-0007-05

**The current status and future of non-invasive transcranial electrical and magnetic stimulation and its combined application** SU Yi-han<sup>1</sup>, LIN Yi-cong<sup>1,2</sup>, WANG Yu-ping<sup>1,2</sup> 1. Department of Neurology, Xuanwu Hospital, Capital Medical University, Beijing 100053, China; 2. Neuropsychiatric Treatment Center, Hebei Hospital of Xuanwu Hospital, Capital Medical University, Shijiazhuang 050030, China

**【Corresponding author】** WANG Yu-ping

**【Abstract】** Non-invasive transcranial nerve regulation technology has advantages of non-invasiveness and high safety. In recent years, it has received widespread attention in the field of treating neurological and psychiatric disorders. Transcranial magnetic stimulation (TMS) and transcranial electrical stimulation (tES) are the two most prevalent non-invasive brain stimulation techniques. The techniques modulate cortical excitability, neural oscillations and brain network plasticity via induced and externally applied electric fields, respectively. As research deepens, limitations of a single stimulus mode in terms of therapeutic amplitude and duration gradually become apparent. Therefore, the combination of transcranial electrical stimulation and transcranial magnetic stimulation, known as transcranial electromagnetic stimulation, has become a new research hotspot. This article summarizes the basic principles and main modes of transcranial electrical stimulation and transcranial magnetic stimulation. The technical key points, physiological research progress and current application status of transcranial electromagnetic combined stimulation in the fields of neurological and psychiatric disorders such as stroke, mental disorders, sleep disorders and cognitive disorders are focused. Existing evidence suggests that combined TMS-tES can enhance neural regulatory effects through mechanisms such as interhemispheric synergy, priming, local synergy and phase-coupling, demonstrating potential therapeutic value superior to single stimulation modes. However, multicenter, large sample, randomized double-blind controlled studies are still needed in the future. Furthermore, by combination of brain network imaging, personalized modeling and brain computer interfaces to create a closed-loop control, it aims to promote the development of transcranial electromagnetic stimulation towards precision, intelligence and clinical applicability.

**【Key words】** Non-invasive neuromodulation; Transcranial magnetic stimulation; Transcranial electrical stimulation; Combined TMS-tES; Neurological and psychiatric disorders

2009年, Krames等将神经调控概括为电、化学或其他物理方式调节神经系统功能的一类技术体系, 其作用对象可涉及中枢神经系统、周围神经系统及自主神经系统<sup>[1]</sup>。按照是否需要植入电极或装置, 神经调控技术通常可分为有创性和无创性两

大类。无创性神经调控因具有操作相对简便、可重复实施和安全性较高等特点, 在神经精神疾病领域受到广泛关注。其中, 经颅电刺激(transcranial electrical stimulation, tES)和经颅磁刺激(transcranial magnetic stimulation, TMS)是当前研究和临床应用最为广泛的两类无创经颅神经调控技术<sup>[2]</sup>。

## 1 tES

**1.1 概念与原理** tES是指通过置于头皮表面的电极向颅脑施加一定强度的电流, 以调节脑内电场分布、神经元膜极化状态及脑网络活动的一类无创神经调控技术。与TMS不同, tES设备便携、成本较低、操作简便。其生理效应受电流类型、强度、波形、频率、电极面积与位置、刺激时长、个体头部解

**【基金项目】**北京市卫生健康委高创计划·青苗计划(编号:2-1-008-0255);北京市医管中心“培育”项目(编号:PX2023032);国家重点研发计划(编号:2022YFC2503806)

**【通讯作者简介】**王玉平,男,主任医师,教授,博士生导师。中华医学会心身医学分会主任委员,中华医学会神经病学分会常务委员兼睡眠障碍学组组长,中国抗癫痫协会癫痫中心规范化建设工作委员会主任委员等。主要研究方向:心身疾病、睡眠障碍、癫痫、认知障碍等脑功能性疾病的诊疗与机制研究。

剖结构以及刺激时脑状态等多重因素影响。常见的形式包括经颅直流电刺激(transcranial direct current stimulation, tDCS)、经颅交流电刺激(transcranial alternating current stimulation, tACS)、经颅直流振荡电刺激(transcranial oscillating direct current stimulation, otDCS)、经颅随机噪声刺激(transcranial random noise stimulation, tRNS)等。

**1.2 tDCS** tDCS 应用最为广泛,通常采用恒定低强度直流电(1.0~2.0 mA)通过头皮电极作用于脑组织,对神经元膜电位进行阈下调节,影响皮层兴奋性和突触可塑性。tDCS 由阴、阳两个表面电极构成,称为极性特征。阳极 tDCS 倾向于增加皮层兴奋性,阴极 tDCS 倾向于降低皮层兴奋性。但这一“阳极兴奋、阴极抑制”的模式,在不同脑区、任务态、刺激时长和不同疾病背景下并不总是稳定成立。tDCS 的作用不仅与局部膜电位极化有关,还可能涉及兴奋/抑制平衡调节、突触可塑性、脑血流与代谢变化以及脑网络功能连接重塑等多种机制<sup>[3]</sup>。

**1.3 tACS** tACS 是通过向头皮施加周期性交变电场,在脑内产生振荡性电场,调节神经元群体节律活动的一种无创电刺激技术。与 tDCS 主要调节膜极化偏置不同,tACS 的优势在于可通过外源性交变电场调节内源性脑振荡活动<sup>[4]</sup>,即“夹带”或“节律牵引”<sup>[5]</sup>。当外源刺激频率接近目标脑区的内源性振荡频率时,tACS 更容易产生夹带效应<sup>[6,7]</sup>。

**1.4 otDCS** otDCS 通常指在直流电基础上叠加周期性振荡成分的刺激范式。这类方法兼具直流偏置调节与节律性驱动的特征,可能同时影响神经元膜极化状态和节律相关网络活动。慢振荡经颅直流电刺激多用于慢波睡眠相关调控。在接近慢波睡眠内源性慢振荡频率(0.5~1.0 Hz)的条件下施加刺激,可能增强皮质慢振荡活动,并影响睡眠相关记忆巩固<sup>[8]</sup>。

## 2 TMS

**2.1 概念与原理** TMS 的基本原理是由线圈中快速变化的电流产生瞬变磁场,进而在脑组织内感应出电场,引起神经元跨膜电位变化,并在特定条件下诱发动作电位或调节神经活动。TMS 主要用于靠近颅骨的浅表皮层结构,其生理效应受到线圈类型、刺激强度、脉冲参数、靶点定位及个体脑解剖差异等多种因素影响。根据刺激模式,TMS 主要分为单脉冲 TMS、成对 TMS、重复 TMS(repetitive TMS, rTMS)和  $\theta$  爆发刺激(theta burst stimulation, TBS)模式。不同模式分别适用于皮层兴奋性测量、皮层内抑制/易化评估、神经调控治疗等。

**2.2 rTMS** rTMS 是指以连续重复的方<sup>[9]</sup>式输出磁脉冲的一类 TMS 刺激模式,通常通过改变脉冲频

率、强度、刺激总量、刺激间歇和疗程设置,对目标脑区及相关网络产生短时或持久的调节效应。传统上,低频 rTMS(通常 $\leq 1$  Hz)倾向于降低皮层兴奋性,而高频 rTMS(通常 $> 1$  Hz)倾向于增加皮层兴奋性<sup>[9]</sup>。在机制层面,rTMS 可通过调节突触可塑性、影响兴奋性/抑制性神经递质平衡、改变脑网络功能连接以及影响局部脑血流与代谢状态,发挥神经调控作用<sup>[10]</sup>。

**2.3 TBS** TBS 是 rTMS 的一种高效模式,其经典刺激结构是以 50 Hz 的脉冲簇形式发放 3 个脉冲,并以 5 Hz 的  $\theta$  节律重复输出,因而被认为在时间结构上更接近部分内源性脑节律活动。其突出特点是刺激时间短、总脉冲数相对集中,可在较短时间内诱导持续一段时间皮层兴奋性改变。TBS 依据刺激间隔时间不同可分为间歇性  $\theta$  爆发刺激(intermittent TBS, iTBS)和连续性  $\theta$  爆发刺激(continuous TBS, cTBS)。iTBS 通常可增加皮层兴奋性,而 cTBS 通常可降低皮层兴奋性<sup>[11]</sup>。

## 3 经颅电磁联合刺激

近年来,单一无创脑刺激技术在生理机制和临床应用方面已取得较大进展,但其疗效幅度、个体差异及作用持续时间仍存在一定局限性。因此,将 tES 与 TMS 进行联合的新策略成为神经调控领域的重要方向。“经颅电磁联合刺激”尚无公认的明确定义,本文泛指 tES 与 TMS 在时间、空间和功能机制上进行有目的联合的刺激模式,既包括不同靶点的同时刺激、同一靶点的序贯刺激,也包括严格意义上的同时同靶点刺激及在此基础上基于脑振荡相位的耦合刺激。已报道的联合模式主要包括:tDCS+rTMS、tACS+TBS、otDCS+cTBS、tACS+rTMS 等。研究对象既包括健康人群,也涉及脑卒中、抑郁症、失眠、阿尔茨海默病等疾病患者。总体而言,在部分参数组合和特定疾病场景中,联合刺激可能较单一刺激产生更强或更持久的调控效应。

**3.1 技术要点** 经颅电磁联合刺激的核心并不只是将电刺激和磁刺激简单叠加,而是在参数、时序与靶点等层面实现有机机制依据的协同设计。在参数层面,需综合考虑电刺激的极性、频率、相位、电流强度和刺激时长,以及磁刺激的脉冲模式、频率、刺激强度、串结构和总脉冲数,不同参数组合可能产生相加、协同或抵消等不同结果。在时序与靶点层面,联合刺激至少可分为四类:一是同时不同靶点刺激,即分别作用于位置不同但功能密切相关的脑区,用于跨半球或跨网络协同调控,例如在脑卒中患者采用患侧兴奋、健侧抑制的双靶点联合策略,以同时调节相互竞争的半球网络;二是同靶点序贯刺激,通常以前一刺激模式作为“预调节”以提供后续刺激的易化或抑制

窗口,例如利用 tDCS 产生的后效应窗口增强后续 rTMS 或 TBS 的可塑性诱导效应;三是同时同靶点刺激,即电、磁同时作用于同一皮层脑区,以增强局部调控效应,如阳极电刺激联合高频 rTMS 或 iTBS、阴极电刺激联合低频 rTMS 或 cTBS 等;四是在第三类基础上发展的特殊技术,同时同靶点且相位耦合刺激,即将磁脉冲锁定在电振荡的特定相位,以利用脑振荡状态依赖性提高刺激效应。

**3.2 生理学研究** 基于健康人群的生理学研究主要聚焦于联合刺激对皮层兴奋性、振荡同步性和可塑性诱导方向的影响,为后续临床转化提供了重要生理学依据。

首先,在同时不同靶点的联合刺激模式中,Wang 等在健康受试者中的交叉研究显示,与单独 rTMS 或单独 tDCS 相比,同时实施右侧初级运动皮层(primary motor cortex, M1) 阴极 tDCS 与左侧 M1 高频 rTMS 可更显著地增强皮层兴奋性。这提示,在双侧同源运动皮层靶点条件下,电刺激与磁刺激之间可能存在跨半球协同作用<sup>[12]</sup>。

其次,同靶点序贯刺激研究进一步表明,电、磁刺激并非简单线性叠加,而可能涉及状态依赖性和稳态可塑性调节的复杂机制。在健康人中,对 M1 先施加阴极或阳极 tDCS 进行预调节,15 min 后于同靶点施加 1 Hz rTMS,后续 rTMS 的效应可随预调节极性不同而发生增强、减弱甚至方向反转。提示前序刺激可通过改变皮层兴奋性状态,为后续刺激提供“易化”或“抑制”窗口<sup>[13]</sup>。联合刺激的生理学基础并非仅取决于单一技术本身,而更依赖于两种刺激在时间维度和脑状态维度上的相互作用。

此外,在同时同靶点的联合刺激中,Han 等<sup>[14]</sup>在健康人初级运动皮层(M1)同时施加阴极 tDCS 与 1 Hz rTMS 时,发现运动诱发电位振幅下降更显著,提示两种抑制性刺激在特定条件下可能产生同向增强作用。 $\gamma$  频段 tACS 与 TBS 同时、同靶点作用于 M1 时,可增强 iTBS 诱导的长时程增强样效应,减弱甚至阻断 cTBS 诱导的长时程抑制样效应,提示振荡电刺激可能通过调节神经元群体同步化状态,改变 TBS 后效应的方向和幅度<sup>[15]</sup>。阳极 otDCS 与 cTBS 同步作用于 M1 时,其抑制效应强于单独 cTBS,提示 otDCS 诱导的节律同步化可能增强了目标神经元群体的对磁刺激的反应一致性,从而产生更显著的大脑抑制效应<sup>[16]</sup>。

最后,相位耦合刺激是近年来颇具机制特色的新技术。该模式在同时同靶点电磁刺激模式基础上,精巧地将 rTMS 或 TBS 脉冲精确锁定于 tACS 振荡的特定相位,以利用脑振荡的状态依赖性提高刺激效应。例如,在健康人 M1 区,cTBS 耦合于  $\alpha$  频

段 tACS 波谷时可诱导更显著的皮层兴奋性抑制<sup>[17]</sup>;10 Hz rTMS 耦合于 10 Hz tACS 的波峰时可更显著提高额区 10 Hz 振荡功率<sup>[18]</sup>;iTBS 耦合于  $\theta$  频段 tACS 波峰时可持续增强任务态额叶  $\theta$  振荡<sup>[19]</sup>。上述结果提示,神经元群体在不同振荡相位下具有不同的瞬时兴奋性状态,而这种状态差异可能决定同步施加磁脉冲后效应的强弱和方向。

总之,健康人研究提示,经颅电磁联合刺激可通过跨半球协同、预调节易化、局部同向协同和相位耦合等机制增强神经调控效应。

**3.3 临床应用研究** 基于上述健康人研究所揭示的协同调控和状态依赖性机制,经颅电磁联合刺激逐渐被拓展至多种神经精神疾病的临床干预研究。

**3.3.1 脑卒中** 脑卒中是常见的脑血管疾病,具有高发病率、高致残率和高复发风险,患者常遗留运动障碍、失语等功能缺损,无创脑刺激已成为卒中后康复的重要补充策略<sup>[20]</sup>。在运动功能恢复方面,经颅电磁联合刺激主要基于脑卒中后双侧半球兴奋性失衡的理论框架,即通过抑制健侧半球过度兴奋并/或增强患侧半球兴奋性,促进双侧运动网络重新平衡。Takeuchi 等对 27 例脑卒中患者的随机对照研究显示,与单独接受健侧半球 1 Hz rTMS 或患侧半球阳极 tDCS 相比,同时实施两种刺激可使瘫痪侧手的握力和加速度改善更为明显,提示不同靶点的同时联合刺激可能较单一刺激更有利于短期运动功能恢复<sup>[21]</sup>。Cho 等在 30 例亚急性脑卒中患者中的研究进一步发现,与单独 rTMS 相比,同时给予患侧 M1 高频 rTMS 和健侧 M1 阴极 tDCS,在即时及随访期均可获得更显著的运动功能改善<sup>[22]</sup>。同一研究团队后续基于功能磁共振的结果显示,与单独 rTMS 相比,同时不同靶点的电磁联合刺激可更显著改善半球间联系并提高全脑网络效率,提示其临床获益可能与脑网络水平的重组和连接恢复有关<sup>[23]</sup>。

**3.3.2 精神障碍** 精神障碍患病率逐年上升,社会负担重。现有治疗主要包括药物治疗、心理治疗和电休克治疗,但部分患者存在起效延迟、疗效不足、不良反应或接受度受限等问题,无创神经调控技术已成为重要的补充干预手段。在该领域,经颅电磁联合刺激以同靶点序贯刺激为主要模式。一项纳入 240 例抑郁症患者的随机对照研究显示,与单独 rTMS、单独 tDCS 或双伪刺激相比,先对左侧背外侧前额叶皮层(dorsolateral prefrontal cortex, DLPFC)实施阳极 tDCS、30~60 min 后于同一靶点予以 10 Hz rTMS 的序贯联合方案在抑郁量表评分改善方面更为显著<sup>[24]</sup>。另一项纳入 350 例难治性抑郁症患者的研究显示,先对左侧 DLPFC 实施阴极 tDCS,并于 5 min 内在同一靶点实施 iTBS,可较伪刺激组获得

更显著的抑郁量表评分改善<sup>[25]</sup>。Zhou 等纳入 105 例双相障碍患者,对左侧顶枕皮层采用先阳极 tDCS、30 min 后 10 Hz rTMS 的方案,结果显示联合治疗组对比单一刺激模式组在抑郁症状及部分认知指标改善方面更为显著<sup>[26]</sup>。上述研究提示,序贯联合刺激的临床效应可能与预调节诱导的基线兴奋性状态改变密切相关,而电刺激极性、刺激间隔及后续磁刺激模式等因素,可能共同影响最终疗效。

**3.3.3 睡眠障碍** 失眠是临床中最常见的睡眠障碍,严重影响生活质量。当前主流治疗方案主要聚焦于药物治疗与认知心理治疗,但存在疗效个体差异显著、仅能改善患者表层症状等局限。在失眠领域,经颅电磁联合刺激的代表性研究主要采用同靶点序贯刺激模式。Zhou 等在慢性失眠患者中的随机对照研究显示,先对右侧 DLPFC 实施阴极 tDCS、间隔 30 min 后再对同一靶点实施 1 Hz rTMS 的联合方案,对比单独应用 tDCS 或 rTMS,在匹兹堡睡眠质量指数改善方面效果更显著且维持时间更长,并可同时改善抑郁症状。推测其机制可能与 tDCS 预调节后形成的皮层兴奋性“易化窗口”有关,从而增强后续 rTMS 的调控效应<sup>[27]</sup>。

**3.3.4 认知障碍** 随着人口老龄化加速,阿尔茨海默病、血管性认知障碍等患病人数持续增加,已成为重要的公共卫生问题。Hu 等在 84 例阿尔茨海默病患者中的随机对照研究中,将患者分为伪刺激、tDCS、rTMS 和 rTMS+tDCS 四组。tDCS 采用双侧顶叶阳极刺激,rTMS 采用 40 Hz 刺激方案,治疗持续 4 周。结果表明,单独应用 rTMS 或 tDCS 均可在一定程度上改善认知和相关临床指标,而两者同时应用时,简易精神状态检查量表(mini-mental state examination, MMSE)、阿尔茨海默病评估量表认知分量表(Alzheimer's disease assessment scale-cognitive subscale, ADAS-cog)等认知量表的改善幅度更为显著,提示同靶点电磁联合刺激可能较单一刺激产生更优的综合治疗效果<sup>[28]</sup>。

### 3.4 存在问题以及发展方向

**3.4.1 现存问题** 首先,研究基础仍较薄弱。与单一经颅电刺激或经颅磁刺激相比,经颅电磁联合刺激仍处于发展早期,现有研究数量有限,多为单中心、小样本探索性研究。不同研究在刺激模式、靶点选择、参数设置、疗程设计及结局指标等方面差异较大,导致结果可比性较差,也限制了证据整合与临床推广。其次,生理学机制及效应规律尚未明确。现有研究提示,经颅电磁联合刺激的效应并非两种刺激的简单叠加,可能受到刺激时序、相位关系、靶点空间关系及脑状态依赖性的共同影响。不同模式可表现为协同、抵消甚至作用方向反转,一

般规律仍缺乏系统阐明。此外,联合刺激在应用中还面临时序控制精度不足、空间定位不够精准、电磁参数匹配困难及个体差异等问题,长期安全性和可耐受性评估也需进一步跟进。

**3.4.2 发展方向** 未来应开展高质量临床研究,通过多中心、大样本、随机双盲、伪刺激对照研究,提高研究的可重复性和证据等级。发展基于脑网络的精准定位和个体化刺激,结合脑电、神经影像、导航及个体化电场/磁场建模等技术,实现靶点选择和参数设置的精准化。在此基础上,将脑机接口与闭环无创神经调控结合,通过无创实时采集和解码脑信号,并根据异常脑活动实施按需反馈刺激,有望推动经颅电磁联合刺激由开放环干预进一步发展为闭环、智能化和个体化调控。

综上,经颅电磁联合刺激为无创神经调控从单一技术走向多模态协同提供了新的发展方向。尽管其在脑卒中、精神障碍、睡眠障碍及认知障碍等领域已显示出一定潜力,但其作用机制、参数体系和临床证据仍有待进一步完善。未来仍需依托基础机制研究和高质量临床转化研究,推动其向更稳定、精准和可推广的临床应用发展。

### 【参考文献】

- [1] Krames ES, Rezaei AR, Peckham PH, et al. What is neuromodulation[M]. London:Elsevier-Academic Press,2009:3-8.
- [2] 张建国,解虎涛,杨岸超.神经调控技术临床应用进展与展望[J].中国现代神经疾病杂志,2025,25(1):1-10.
- [3] Yavari F, Jamil A, Mosayebi Samani M, et al. Basic and functional effects of transcranial Electrical Stimulation (tES)-An introduction[J]. Neurosci Biobehav Rev,2018,85:81-92.
- [4] Helfrich RF, Schneider TR, Rach S, et al. Entrainment of brain oscillations by transcranial alternating current stimulation[J]. Curr Biol,2014,24(3):333-339.
- [5] Antal A, Paulus W. Transcranial alternating current stimulation (tACS) [J]. Front Hum Neurosci,2013,7:317.
- [6] Ali MM, Sellers KK, Fröhlich F. Transcranial alternating current stimulation modulates large-scale cortical network activity by network resonance[J]. J Neurosci,2013,33(27):11262-11275.
- [7] Helfrich RF, Schneider TR, Rach S, et al. Entrainment of brain oscillations by transcranial alternating current stimulation[J]. Curr Biol,2014,24(3):333-339.
- [8] D'Atri A, De Simoni E, Gorgoni M, et al. Frequency-dependent effects of oscillatory-tDCS on EEG oscillations: a study with Better OSCillation detection method (BOSC) [J]. Arch Ital Biol,2015,153(2-3):124-134.
- [9] 窦祖林,廖家华,宋为群.经颅磁刺激技术基础和临床应用[M].北京:人民卫生出版社,2012:21-37.
- [10] Klomjai W, Katz R, Lackmy-Vallée A. Basic principles of transcranial magnetic stimulation (TMS) and repetitive TMS (rTMS) [J]. Ann Phys Rehabil Med,2015,58(4):208-213.
- [11] Huang YZ, Edwards MJ, Rounis E, et al. Theta burst stimulation

- of the human motor cortex[J]. *Neuron*,2005,45(2):201-206.
- [12] Wang H, Wang X, Jin J, et al. Simultaneous stimulation using rTMS and tDCS produces the most effective modulation of motor cortical excitability in healthy subjects: a pilot study[J]. *Neurosci Lett*,2019,694:46-50.
- [13] Moloney TM, Witney AG. Pressure pain thresholds increase after preconditioning 1 Hz repetitive transcranial magnetic stimulation with transcranial direct current stimulation[J]. *PLoS One*,2014,9(3):e92540.
- [14] Han T, Xu Z, Liu C, et al. Simultaneously applying cathodal tDCS with low frequency rTMS at the motor cortex boosts inhibitory aftereffects[J]. *J Neurosci Methods*,2019,324:108308.
- [15] Guerra A, Ascì F, Zampogna A, et al. Gamma-transcranial alternating current stimulation and theta-burst stimulation: inter-subject variability and the role of BDNF[J]. *Clin Neurophysiol*,2020,131(11):2691-2699.
- [16] Doeltgen SH, McAllister SM, Ridding MC. Simultaneous application of slow-oscillation transcranial direct current stimulation and theta burst stimulation prolongs continuous theta burst stimulation-induced suppression of corticomotor excitability in humans[J]. *Eur J Neurosci*,2012,36(5):2661-2668.
- [17] Goldworthy MR, Vallence AM, Yang R, et al Combined transcranial alternating current stimulation and continuous theta burst stimulation: a novel approach for neuroplasticity induction[J]. *Eur J Neurosci*,2016,43(4):572-579.
- [18] Hosseinian T, Yavari F, Biagi MC, et al. External induction and stabilization of brain oscillations in the human[J]. *Brain Stimul*,2021,14(3):579-587.
- [19] Jaggi A, Conole ELS, Raisi-Estabragh Z, et al. A structural heart-brain axis mediates the association between cardiovascular risk and cognitive function[J]. *Imaging Neurosci (Camb)*,2024,2:img-2-00063.
- [20] Brady MC, Mills C, Prag Øra H, et al. European Stroke Organisation (ESO) guideline on aphasia rehabilitation[J]. *Eur Stroke J*,2025,10(4):1189-1220.
- [21] Takeuchi N, Tada T, Matsuo Y, et al. Low-frequency repetitive TMS plus anodal transcranial DCS prevents transient decline in bi-manual movement induced by contralesional inhibitory rTMS after stroke[J]. *Neurorehabil Neural Repair*,2012,26(8):988-998.
- [22] Cho JY, Lee A, Kim MS, et al. Dual-mode noninvasive brain stimulation over the bilateral primary motor cortices in stroke patients[J]. *Restor Neurol Neurosci*,2017,35(1):105-114.
- [23] Lee J, Park E, Lee A, et al. Modulating brain connectivity by simultaneous dual-mode stimulation over bilateral primary motor cortices in subacute stroke patients [J]. *Neural Plast*,2018,2018:1458061.
- [24] Zhou D, Li X, Wei S, et al. Transcranial direct current stimulation combined with repetitive transcranial magnetic stimulation for depression: a randomized clinical trial [J]. *JAMA Netw Open*,2024,7(11):e2444306.
- [25] Sinha P, Shreekanth U, Goyal N, et al. Study protocol for evaluating the clinical efficacy and neurobiological correlates of sequential treatment with tDCS primed iTBS and ECT in treatment-resistant depression[J]. *Wellcome Open Res*,2022,7:242.
- [26] Zhou H, Wang M, Xu T, et al. Cognitive remediation in patients with bipolar disorder: a randomized trial by sequential tDCS and navigated rTMS targeting the primary visual cortex[J]. *CNS Neurosci Ther*,2024,30(12):e70179.
- [27] Zhou Q, Liu Z, Yu C, et al. Effect of combined treatment with transcranial direct current stimulation and repetitive transcranial magnetic stimulation compared to monotherapy for the treatment of chronic insomnia: a randomised, double-blind, parallel-group, controlled trial[J]. *BMC Med*,2024,22(1):538.
- [28] Hu Y, Jia Y, Sun Y, et al. Efficacy and safety of simultaneous rTMS-tDCS over bilateral angular gyrus on neuropsychiatric symptoms in patients with moderate Alzheimer's disease: a prospective, randomized, sham-controlled pilot study[J]. *Brain Stimul*,2022,15(6):1530-1537.

(收稿日期:2026-03-23;修回日期:2026-03-31)

(本文编辑:彭羽)

## 《实用医院临床杂志》征订启事

《实用医院临床杂志》(CN 51-1669/R,ISSN 1672-6170)是由国家新闻出版总署批准,四川省卫生健康委员会主管,四川省医学科学院·四川省人民医院主办的临床医学综合期刊,为中国科技论文统计源期刊(中国科技核心期刊),本刊以每期进行专题讨论为特色,主要栏目有专题讨论、专家论坛、基础研究、临床研究与实践、综述等。围绕医学领域内的热点、难点问题进行讨论,介绍各专业领域新理论、新观念、新知识、新技术、新名词,充分体现了临床实用性和多学科综合性的特点,对各级医务人员的临床实践具有较好的指导作用。希望广大读者一如既往的关心和支持本刊,积极订阅。

本刊为双月刊,大16开本,200页,每册20.00元,全年120元,全国各地邮局均可订阅(邮发代号:62-261)。地址:四川省成都市一环路西二段32号四川省医学科学院·四川省人民医院内《实用医院临床杂志》编辑部,邮编:610072。

官网:<http://syylczz.scsyxxx.com>:8907。电话:028-87394696,87394697,87714683。

Email:syylc@vip.sina.com。

本刊编辑部