

·专家共识·

Theta爆发式磁刺激应用于认知障碍的专家共识

白玉龙¹,狄海波²,侯文生³,胡昔权⁴,刘颖^{5*},李增勇⁵,吕泽平⁶,彭亮⁷,
孙俊峰⁸,唐敏⁹,王永慧¹⁰,谢海群¹¹,谢平¹²,许东升¹³,张丽君¹⁴

- 1 复旦大学附属华山医院,上海 200040;
 - 2 杭州师范大学,浙江 杭州 311121;
 - 3 重庆大学,重庆 400044;
 - 4 中山大学附属第三医院,广东 广州 510630;
 - 5 国家康复辅具研究中心,北京 100176;
 - 6 国家康复辅具研究中心附属康复医院,北京 100176;
 - 7 中国科学院自动化研究所多模态人工智能系统全国重点实验室,北京 100190;
 - 8 上海交通大学生物医学工程学院,上海 201100;
 - 9 宁波市康复医院,浙江 宁波 315040;
 - 10 山东大学齐鲁医院,山东 济南 250012;
 - 11 佛山市第一人民医院,广东 佛山 528000;
 - 12 燕山大学,河北 秦皇岛 066000;
 - 13 上海中医药大学康复医学院,上海 201203;
 - 14 上海市第二康复医院,上海 201900
- * 通信作者:刘颖,E-mail:729265383@qq.com

收稿日期:2025-07-15;接受日期:2025-07-29

基金项目:国家重点研发计划项目(2022YFC3601200)

DOI:10.3724/SP.J.1329.2026.01003

摘要 随着人口老龄化的进展,认知障碍受到越来越多的关注,认知障碍不仅降低了患者的整体生活质量及寿命,也对照护人员及社会经济造成巨大的困扰。重复经颅磁刺激(rTMS)是一种用于神经及精神疾病的神经电生理技术,研究证实其对多项认知功能具有改善作用。Theta爆发式磁刺激(TBS)作为一种新型的rTMS治疗方案,在认知障碍的治疗中应用得越来越多。TBS与传统rTMS相比,所需的刺激强度更低,脉冲数更少,应用时间更短,患者配合度更高。本专家共识通过对既往的研究结果及临床实践经验进行梳理和优化,深入分析TBS的起源及作用机制、有效性和安全性等方面的问题,制定适合临床使用的TBS干预方案及工作流程,有望为认知障碍患者提供更有效的治疗手段。

关键词 认知障碍;Theta爆发式磁刺激;重复经颅磁刺激;康复

随着人口老龄化进程的不断推进,认知障碍问题正受到越来越广泛的关注。认知是人类最基本的心理过程,是指人们获得应用知识、信息加工的过程,包括语言、感知觉以及记忆、思维、想象等心理过程。认知障碍是指各种原因导致的记忆障碍、执行/注意障碍、视空间障碍和语言障碍等,同时伴有失语或失用或失认或失行等改变的病理过程。导致认知

障碍的原因有很多种,包括所有能够使大脑皮层功能和结构异常的因素,如血管性(如脑梗死、脑出血)、神经变性(如阿尔茨海默病、路易体痴呆、帕金森病)、精神性疾病(如重度抑郁、精神分裂症)和感染性(如梅毒、人类免疫缺陷病毒)等。认知障碍不仅降低了患者的整体生活质量及寿命,也对照护人员及社会经济造成巨大的困扰。

引用格式:白玉龙,狄海波,侯文生,等.Theta爆发式磁刺激应用于认知障碍的专家共识[J].康复学报,2026,36(1):8-15.

BAI Y L, DI H B, HOU W S, et al. Expert consensus on the application of Theta burst stimulation for cognitive impairment [J]. Rehabil Med, 2026, 36(1): 8-15.

DOI: 10.3724/SP.J.1329.2026.01003

©《康复学报》编辑部,开放获取CC BY-NC-ND 4.0协议

© Rehabilitation Medicine, OA under the CC BY-NC-ND 4.0

经颅磁刺激(transcranial magnetic stimulation, TMS)是一种目前用于神经及精神疾病的神经电生理技术,其基本原理是电磁感应。TMS由治疗线圈产生磁场,磁场作用最强点可透过头皮软组织及颅骨等作用在大脑皮质神经元,通过产生感应电流来改变神经传导的动作电位,达到兴奋或抑制大脑皮质的治疗作用。重复经颅磁刺激(repetitive transcranial magnetic stimulation, rTMS)作为TMS模式的一种,主要原理是通过长期增强或长期抑制神经元的效应,促进突触的可塑性。2005年出现了一种新的rTMS方案,即Theta爆发式磁刺激(Theta burst stimulation, TBS),其作用原理是模拟中枢神经系统爆发式放电模式。TBS可根据是否持续输送脉冲进行分类,包括持续性TBS(continuous TBS, cTBS)和间歇性TBS(intermittent TBS, iTBS)、中间型TBS(intermediate TBS, imTBS)3种模式。有研究表明, iTBS模式可以改善患者的整体认知功能^[1-2]。rTMS对包括工作记忆、语言以及决策在内的多项认知功能具有改善作用^[3]。TBS与传统rTMS相比,所需的刺激强度更低,脉冲数更少,应用时间更短。因此,患者的配合度更高。

1 证据来源

本文通过检索中文数据库(中国学术期刊全文数据库、万方数据库、维普数据库)以及英文数据库(PubMed、Web of Science)纳入基于TBS应用于认知障碍的相关文献。检索从建库到2025年7月15日期间发表的将TBS模式用于认知障碍治疗的国内外文献,共纳入文献48篇。

2 TBS概述及治疗认知障碍的常用靶点

2.1 TBS的起源

TBS的原始概念来源于在探索大鼠行为期间从海马区记录到的4~7 Hz(脑电图-EEG术语中的 θ 范围)的突发放电^[4]。TBS常用于在动物实验脑切片中诱导突触可塑性,通过调整TMS参数以将这些模式应用于人类大脑^[5-7]。TBS中以50 Hz的频率提供3个刺激脉冲为1丛(burst)。其中, iTBS为每丛刺激2 s+8 s间歇,重复10次TBS序列,总共200 s(600个脉冲)。imTBS为每丛刺激5 s+15 s间隔,重复20次TBS序列,总共300 s(600个脉冲)。cTBS为连续输出10丛或20丛刺激,无间歇,给出20 s(300个总脉冲)或40 s(600个总脉冲)不间断的TBS

序列^[4,8]。首次应用于人类受试者的TBS方案是cTBS,即连续给予刺激20 s,没有间隔^[5]。研究发现, cTBS可降低运动诱发电位(motor evoked potentials, MEPs)的振幅,持续时间约20 min,因为动物实验中的TBS通常能够增强突触效能,导致长时程增强(long term potentiation, LTP)而不是长时程抑制(long term depression, LTD)。然而,通过总结可知,较长时间的刺激可能导致LTD^[9-11]。然后,将TBS方案调整为给予重复的短时刺激,模仿动物研究中常用于诱导LTP的刺激,发现这样的iTBS可增强MEPs^[5]。由此可得, iTBS通过促进产生运动诱发电位,增强皮质兴奋性,从而产生类似长时程增强作用的效应; cTBS则通过降低运动诱发电位幅度,以抑制大脑皮质兴奋性,产生类似长时程抑制的效应^[12]; imTBS常作为假刺激用于对照实验中^[13]。

2.2 TBS的作用机制

iTBS改善认知功能的作用机制包括:认知功能与背外侧前额叶皮层(dorsolateral prefrontal cortex, DLPFC)和尾状核的连接有关, iTBS通过减少视锥细胞的抑制性控制来增强兴奋性输出,促进大脑的神经可塑性和兴奋性,同时增加能引起刺激的神经递质的释放^[14]。海马体和前额叶皮层是记忆和执行功能的关键脑区。其中, DLPFC与尾状核之间的连接(即DLPFC-纹状体通路)具有重要作用,该通路可通过调节左侧DLPFC的多巴胺水平,进而介导相关认知功能^[15]。KO等^[16]对10名受试者分别在左侧DLPFC、右侧DLPFC和顶点(对照部位)进行cTBS干预,之后再进行^{[11]C} raclopride PET扫描,结果显示:与对照条件(顶点-cTBS)相比,左侧DLPFC在cTBS干预后可影响运动皮层刺激疗法(motor cortex stimulation therapy, MCST)诱导的纹状体多巴胺释放,导致纹状体中^{[11]C} raclopride结合潜能(binding potential, BP)的双侧增加,而在右侧DLPFC和顶点刺激中没有变化。这种rTMS诱导的区域前额叶抑制及其对额纹状体网络的调节对于理解半球偏侧性的贡献和执行功能(如计划和设置偏移)的神经基础可能很重要。即rTMS可能在参与处理任务相关信息时破坏左前额叶功能,从而间接影响任务诱导的纹状体多巴胺神经传递。它还可能有助于确定在与多巴胺功能障碍相关的神经系统疾病(如帕金森病)中观察到的认知功能缺陷的潜在神经化学底物。有研究发现对抑郁症患者应用rTMS治疗,能有效调控血清髓鞘碱性蛋白(myelin basic pro-

tein, MBP)、脑源性神经营养因子(brain-derived neurotrophic factor, BDNF)水平,可改善患者抑郁状况及自杀意念^[17]。

2.3 治疗认知障碍的常用靶点

DLPFC是大脑中功能和结构异质性较为显著的脑区域,是推理能力、情景记忆、执行功能的关键节点区。DLPFC内具有高度互联的神经节点,可使各脑网络间形成连接^[18]。刺激DLPFC区可以同时进行数个网络的连接和整合,从而观察到多个认知域的改善。既往研究表明,作为神经退行性过程的代偿,轻度认知障碍(mild cognitive impairment, MCI)患者左侧和右侧DLPFC之间协作增强^[19]。右侧DLPFC在大脑抑制功能^[20]、任务转换功能中发挥了重要作用^[21]。有研究发现,DLPFC主要参与视空间注意过程的发动和调控,是执行控制功能的关键脑区,左侧DLPFC主要作用在视空间注意活动的调节方面^[22]。顶叶、初级运动皮层(primary motor cortex, M1)等脑区也是rTMS治疗认知障碍的潜在靶点^[23]。

3 TBS的有效性与安全性

3.1 有效性

TBS是一类非侵入性脑刺激无创神经调控技术。研究发现iTBS可增强皮层兴奋性持续约20 min,而20 s的cTBS可抑制皮层兴奋性持续约20 min,40 s的cTBS可持续约60 min^[12]。5 Hz rTMS和iTBS在整体认知、注意力和记忆功能方面对中风后认知障碍均有效;注意力领域容易受到5 Hz调制的影响。用5 Hz rTMS治疗可能会减缓认知能力下降^[24]。10 Hz rTMS和iTBS在皮质兴奋性、运动表现或情绪状态方面的疗效没有具体差异^[25]。

3.2 安全性

TMS通常耐受性良好,偶有一些轻微的副作用,例如头痛和颈部疼痛。然而,仍存在癫痫发作的风险,并且已经建立了完善的TMS安全指南^[26]。TBS可能比rTMS有更高的诱发癫痫的风险,但因为它在更短的时间内使用更少的脉冲和更低的强度达到预期效果,也可以被视为一种更安全的方案。由于缺乏TBS的安全性研究,目前的TMS安全指南并没有将TBS的不利影响降至最低的推荐程序。然而,由于TBS在研究和临床领域的应用不断增加,最新的1篇综述对安全性进行了分析,迄今为止,该综述中所提及的TBS治疗中仅发生过1次癫痫发作,癫痫发作的风险粗略计算为0.02%。轻度不良事件

的总体粗略风险估计为1.1%,与高频rTMS方案的发生率相近^[27]。此外,对18岁以下儿童的TBS安全性研究显示没有严重的不良事件^[28],本文所收纳的治疗方案未提及严重并发症。

4 TBS的康复治疗流程

4.1 治疗前评估

治疗前需要评估的风险包括(但不一定限于)对大脑(例如癫痫发作或思维处理)、植入物体(例如心脏起搏器、脑植入物、助听器、手术夹)以及胎儿和操作者的影响。由于TMS最显著的已确定剂量相关风险是诱发癫痫发作,因此应权衡可能影响癫痫发作阈值的因素^[28]。

4.2 运动阈值的测定

运动阈值可分为活动运动阈值(active motor threshold, AMT)和静息运动阈值(resting motor threshold, RMT),AMT被定义为能够在间隔>5 s的连续10次试验中平均触发至少200 μ V的5个运动诱发电位(motor evoked potential, MEP)的最低刺激强度。要求患者睁开眼放松地坐在椅子上,肌电图系统从右第一背侧骨间肌记录运动诱发电位。记录电极放置在肌肉腹部上方,参考电极放置在食指掌指关节上方。线圈与头皮成45°与中央沟中线成45°放置,在大脑中诱导后-前电流流动。刺激左侧M1区的最佳位置是通过在假定的皮质区域周围小幅度移动线圈,同时观察右第一背侧骨间肌的激活水平进行定位。在计算机屏幕上提供肌电图活动的视觉反馈,并要求参与者轻轻收缩拇指和食指,以保持最大自主收缩的20%^[29]。RMT是指放松拇指和食指时测得的运动电位。

4.3 定位方法

TMS在临床治疗过程中,其作用效果与线圈的类型、刺激的部位、刺激的强度、刺激的模式和治疗频率等参数息息相关。确定rTMS治疗靶点的常规方法有以下4种。①标准5 cm法:5 cm法要求研究者在功能上定位运动皮层,然后沿矢状旁线将TMS线圈向前移动5 cm。此方法非常快速和简单,但没有考虑到每个人之间皮质解剖结构或颅骨大小的差异,定位模糊。②脑电10-20系统定位法:10-20系统电极放置法是国际脑电图学会规定的标准电极放置法。10-20系统将颅骨外部位置与下面的皮质区域相关联。该系统通过使用4个基本解剖标志之间的周长和距离的一定百分比来解释患者颅骨大小的变化,提高了准确性。③Beam-F3法:在

国际10-20系统的基础上,DLPFC与3-10系统给出的F20位置相对应。使用Beam-F3系统进行定位,只需使用3次颅骨测量即可找到F3位置。Beam-F3系统更为简单、有效且准确^[30]。④神经导航TMS系统可以在磁共振成像的辅助下对rTMS治疗靶点进行精准定位,以及通过fNIRS进行功能性定位。可为不同患者提供个体化治疗,使rTMS治疗更为精准,疗效更佳^[31]。

5 基于TBS的康复临床应用研究

5.1 脑血管相关性认知障碍

卒中后认知障碍(post-stroke cognitive impairment, PSCI)是卒中最常见的并发症之一,非常普遍且致残率高。5%~24%的卒中后患者出现持续的认知障碍^[32],严重者可恶化为血管性痴呆^[33]。运动

皮层兴奋性的显著半球间差异、皮层内神经化学回路不平衡和神经可塑性对神经调控受损,在血管性痴呆患者中可观察到运动皮层过度兴奋。阿尔茨海默病(Alzheimer's disease, AD)和皮质下缺血性血管痴呆(subcortical ischemic vascular disease, SIVD)可以共享一个共同的神经生理学平台,分别与运动区域内的进行性神经元丢失和缺血性断开有关^[34]。CHU等^[8]证明iTBS对视空间和思维操作等执行功能有显著影响,iTBS与认知训练相结合能更有效提高注意力。YU等^[14]研究发现,iTBS联合认知训练改善了认知障碍的程度、额叶功能以及上肢运动功能障碍。LI等^[35]证实iTBS可以有效安全地改善中风患者的整体认知障碍,包括语义理解和执行功能,并且对记忆功能也有积极影响。最终改善患者的生活质量。iTBS在PSCI中的应用研究见表1。

表1 iTBS在PSCI中的应用研究

Table 1 Application research of iTBS in PSCI

| 纳入研究 | 实验设计 | 样本量/n | 刺激部位 | 定位方法 | TMS参数 | | | | | 改善认知域 |
|-------------------------|------|-------|----------|---------------|-------|---------|-------|-----------|------------------|----------|
| | | | | | 频率 | 强度 | 线圈型号 | 方案 | 刺激疗程 | |
| CHU等2022 ^[8] | RCT | 66 | 左侧 DLPFC | 国际脑电10-20系统定位 | 50 Hz | 70% MT | 8字形线圈 | iTBS | 每周5次,持续刺激6周,共30次 | 执行功能 |
| YU等2024 ^[14] | RCT | 55 | 左侧 DLPFC | 国际脑电10-20系统定位 | 50 Hz | 80% MT | 8字形线圈 | 连续2组 iTBS | 每周5次,持续刺激4周,共20次 | 整体认知功能评分 |
| LI等2022 ^[35] | RCT | 58 | 左侧 DLPFC | 国际脑电10-20系统定位 | 50 Hz | 100% MT | 8字形线圈 | iTBS | 每周5次,持续刺激2周,共10次 | 执行功能 |

5.2 神经变性认知障碍

5.2.1 阿尔茨海默病 AD的特征是进行性认知障碍。约1/3的AD患者表现出快速认知能力下降(rapid cognition decline, RCD),预后差,对家庭的影响更大。最近的研究表明,学习和记忆过程中最重要生物机制是突触可塑性,与学习和记忆相关的神经生理学因素是神经LTP^[36]。LTP样皮质可塑性损伤是导致AD认知功能障碍的一个关键机制,可导致认知能力下降^[37]。王杰等^[38]对轻度认知障碍合并吞咽障碍患者给予右侧DLPFC进行iTBS干预2周,进行静息态fMRI分析发现,iTBS干预既能促进同侧半球的功能连接,又能促进双侧半球间的功能连接,刺激右侧DLPFC促进了脑功能重组,对脑皮质具有重塑作用。WU等^[39]通过对DLPFC进行iTBS长期干预治疗以及随访后得出,iTBS对皮质可塑性有直接和持久的影响,会减缓AD的进展和认知能力下降。在最新的1篇综述中可了解到对DLPFC进行iTBS,不仅治疗认知和日常生活独立性均有效,

还能缓解认知障碍个体的行为障碍,例如冷漠等^[40]。DLPFC进行的iTBS是一种可行且易于实施的非药物干预,可减缓AD患者整体认知和生活质量的进行性下降,提供一种新的AD中治疗选择。iTBS在AD的应用研究,见表2。

5.2.2 帕金森病 帕金森病(Parkinson's disease, PD)是常见的神经退行性疾病,患者在疾病的早期阶段已经出现认知障碍,并且PD患者的MCI已被证明会增加痴呆的发生率,PD中的认知障碍中执行障碍较为常见^[41],部分原因是多巴胺依赖性额纹状体网络的破坏。与健康人相比,PD患者皮质纹状体环的认知部分(涉及DLPFC和尾状核)的激活减少。TRUNG等^[15]研究证实,iTBS可使PD患者的整体认知、注意力和视觉空间功能显著改善,并猜测可能是由DLPFC与尾状核(DLPFC纹状体连接)的关联以及调节左侧DLPFC后多巴胺释放的增加所介导的。LANG等^[42]观察发现,干预结束1个月后iTBS可能导致额纹状体网络的持久或延迟变化,执行功能得到改善。iTBS在PD中的应用研究见表3。

表2 iTBS在AD中的应用研究
Table 2 Application research of iTBS in AD

| 纳入研究 | 实验设计 | 样本量/n | 刺激靶点 | 定位方法 | TMS参数 | | | | | 改善认知域 |
|-------------------------|------|-------|----------|-----------------|-------|-------|-------|------|-----------------------------------|--------|
| | | | | | 频率 | 强度 | 线圈型号 | 方案 | 刺激疗程 | |
| 王杰等2021 ^[38] | RCT | 27 | 右侧 DLPFC | AMI-Robot导航定位系统 | 50 Hz | 80%MT | 8字形线圈 | iTBS | 每周5次,持续刺激2周,共10次 | 执行功能 |
| WU等2024 ^[39] | RCT | 42 | 左侧 DLPFC | 神经导航系统 | 50 Hz | 70%MT | 8字形线圈 | iTBS | 3次/d,间隔15 min,持续刺激14 d,每3个月循环治疗1次 | 整体认知功能 |

表3 iTBS在PD中的应用研究
Table 3 Application research of iTBS in PD

| 纳入研究 | 实验设计 | 样本量/n | 刺激靶点 | 定位方法 | TMS参数 | | | | | 改善认知域 |
|----------------------------|------|-------|----------|--------|-------|-------|-------|------|---------------------|-------|
| | | | | | 频率 | 强度 | 线圈型号 | 方案 | 刺激疗程 | |
| TRUNG等2019 ^[15] | RCT | 28 | 左侧 DLPFC | 神经导航系统 | 50 Hz | 80%MT | 8字形线圈 | iTBS | 每天2次,每次间隔1 h,共刺激3 d | 视空间功能 |
| LANG等2020 ^[42] | RCT | 41 | 左侧 DLPFC | 神经导航系统 | 50 Hz | 80%MT | 8字形线圈 | iTBS | 1周内共刺激6次 | 执行功能 |

5.3 精神性认知障碍

TBS可以治疗精神分裂症(阴性症状)、抑郁症、强迫症、躁狂症、创伤后应激障碍等精神疾病,其中对抑郁症的治疗在美国已经通过美国食品药品监督管理局(food and drug administration, FDA)的认证。抑郁症是现代生活中最常见的致残性精神疾病,其常见症状为持续性的情绪低落、丧失兴趣等,还可能有焦虑、睡眠障碍,严重可导致认知损伤等多种认知功能障碍疾病。抑郁症患者可能存在前额叶胶质细胞代谢异常,其左侧前额叶皮质代谢物明显低于健康人群,有效的rTMS治疗可改善神经胶质细胞功能^[43]。舍曲林可通过调节神经递质的表达,

以增强海马神经功能。陈成等^[44]研究证实在舍曲林基础上联用TBS可有效改善青少年抑郁症患者认知功能。研究发现,精神分裂与抑郁症之间存在共通的病理大脑回路^[45]。武学庆等^[46]研究发现,rTMS能改善精神分裂症患者的阴性症状,其原理是rTMS能够通过刺激突触后膜N-甲基-D-天冬氨酸(NMDA)受体而调控突触可塑性,激发长时程效应。甘记兴等^[47]证实,TBS模式下rTMS治疗能够改善精神分裂症患者认知功能,安全性良好。赵婧等^[48]证实,TBS模式下rTMS可改善老年慢性精神分裂症患者的阴性症状及认知功能。iTBS在精神性认知障碍中的应用研究见表4。

表4 iTBS在精神性认知障碍中的应用研究
Table 4 Application research of iTBS in psychogenic cognitive impairment

| 纳入研究 | 实验设计 | 样本量/n | 刺激靶点 | TMS参数 | | | | | 改善认知域 |
|--------------------------|------|-------|----------|-------|---------|-------|---|-------------------------|--------|
| | | | | 频率 | 强度 | 线圈型号 | 脉冲数/次数 | 刺激疗程 | |
| 陈成等2023 ^[44] | RCT | 50 | 右侧 DLPFC | 1 Hz | 50% MT | 8字形线圈 | 间歇时间3个,50脉冲1丛,共10丛,共500个脉冲 | 每天1次,5次/周,共4周,共20次 | 执行功能 |
| 甘记兴等2023 ^[47] | RCT | 60 | 左侧 DLPFC | 50 Hz | 100% MT | 8字形线圈 | 3脉冲1丛,丛间频率5 Hz,刺激2 s,间歇18 s,重复10次,共100个脉冲,持续时间192 s | 每天1次,5次/周,5次/周,共4周,共20次 | 整体认知功能 |
| 赵婧等2021 ^[48] | RCT | 52 | 左侧 DLPFC | 50 Hz | 100% MT | 8字形线圈 | iTBS | 每天1次,5次/周,共4周,共20次 | 整体认知功能 |

6 基于TBS的认知障碍临床治疗方案及参数推荐

6.1 脑血管相关性认知障碍

6.1.1 刺激部位 左侧DLPFC。

6.1.2 刺激方案 iTBS。

6.1.3 刺激强度 80% MT(患侧无法测得MEP患者可参考健侧)。

6.1.4 疗程 每周5次,连续4周,共20次。

6.2 神经变性认知障碍

6.2.1 阿尔茨海默病认知障碍

6.2.1.1 刺激部位 左侧DLPFC。

6.2.1.2 刺激方案 iTBS。

6.2.1.3 刺激强度 80% MT(患侧无法测得MEP患者可参考健侧)。

6.2.1.4 疗程 每周5次,连续2周,共10次。

6.2.2 帕金森病认知障碍

6.2.2.1 刺激部位 左侧DLPFC。

6.2.2.2 刺激方案 iTBS。

6.2.2.3 刺激强度 80% MT(患侧无法测得MEP患者可参考健侧)。

6.2.2.4 疗程 1次/d,连续6d。

6.3 精神性认知障碍

6.3.1 刺激部位 左侧DLPFC。

6.3.2 刺激方案 iTBS。

6.3.3 刺激强度 100% MT(患侧无法测得MEP患者可参考健侧)。

6.3.4 疗程 每周5次,共4周,共20次。

7 总结

TBS能有效治疗各种认知障碍,并有可能产生长期疗效。由于影像学的发展日新月异,TMS的治疗中可通过磁共振功能成像的指导,在TMS治疗中对大脑功能分区进行精准定位,通过fNIRS进行功能性定位,或在弥散张量成像介入下观察脑网络连接变化完成个性化TBS治疗。未来有望借助以上手段使TBS治疗更为精确,疗效更佳。在临床试验中,iTBS的应用较cTBS更为广泛。TBS治疗认知障碍仍有许多不足:治疗靶点单一;目前尚无研究应用于脑瘫儿童;TBS长期治疗疗效尚缺。未来需要更多大样本量、长时间随访的研究。

参考文献

[1] HOY K E, BAILEY N, MICHAEL M, et al. Enhancement of working memory and task-related oscillatory activity following

intermittent Theta burst stimulation in healthy controls [J]. *Cereb Cortex*, 2016, 26(12):4563-4573.

[2] QUINN T J, RICHARD E, TEUSCHL Y, et al. European Stroke Organisation and European Academy of Neurology joint guidelines on post-stroke cognitive impairment [J]. *Eur J Neurol*, 2021, 28(12):3883-3920.

[3] 陈娟,何昊,杨丹丹,等.重复经颅磁刺激对轻度认知障碍的干预效果[J].*心理科学进展*, 2021, 29(11):2002-2012.

CHEN J, HE H, YANG D D, et al. Effects of repetitive transcranial magnetic stimulation on patients with mild cognitive impairment [J]. *Adv Psychol Sci*, 2021, 29(11):2002-2012.

[4] HUANG Y Z, EDWARDS M J, ROUNIS E, et al. Theta burst stimulation of the human motor cortex [J]. *Neuron*, 2005, 45(2):201-206.

[5] DIAMOND D M, DUNWIDDIE T V, ROSE G M. Characteristics of hippocampal primed burst potentiation *in vitro* and in the awake rat [J]. *J Neurosci*, 1988, 8(11):4079-4088.

[6] CAPOCCHI G, ZAMPOLINI M, LARSON J. Theta burst stimulation is optimal for induction of LTP at both apical and basal dendritic synapses on hippocampal CA1 neurons [J]. *Brain Res*, 1992, 591(2):332-336.

[7] LARSON J, LYNCH G. Induction of synaptic potentiation in hippocampus by patterned stimulation involves two events [J]. *Science*, 1986, 232(4753):985-988.

[8] CHU M M, ZHANG Y M, CHEN J E, et al. Efficacy of intermittent Theta-burst stimulation and transcranial direct current stimulation in treatment of post-stroke cognitive impairment [J]. *J Integr Neurosci*, 2022, 21(5):130.

[9] HEUSLER P, CEBULLA B, BOEHMER G, et al. A repetitive intracortical microstimulation pattern induces long-lasting synaptic depression in brain slices of the rat primary somatosensory cortex [J]. *Exp Brain Res*, 2000, 135(3):300-310.

[10] LARSON J, WONG D, LYNCH G. Patterned stimulation at the Theta frequency is optimal for the induction of hippocampal long-term potentiation [J]. *Brain Res*, 1986, 368(2):347-350.

[11] TAKITA M, IZAKI Y, JAY T M, et al. Induction of stable long-term depression *in vivo* in the hippocampal-prefrontal cortex pathway [J]. *Eur J Neurosci*, 1999, 11(11):4145-4148.

[12] SUPPA A, HUANG Y Z, FUNKE K, et al. Ten years of Theta burst stimulation in humans: established knowledge, unknowns and prospects [J]. *Brain Stimul*, 2016, 9(3):323-335.

[13] BAGALI K, SREERAJ V S, MEHTA U M, et al. Feasibility of intermediate Theta burst stimulation as sham control in therapeutic transcranial magnetic stimulation studies [J]. *Asian J Psychiatry*, 2023, 79:103390.

[14] YU H, SHU X X, ZHOU Y D, et al. Intermittent Theta burst stimulation combined with cognitive training improves cognitive dysfunction and physical dysfunction in patients with post-stroke cognitive impairment [J]. *Behav Brain Res*, 2024, 461:114809.

[15] TRUNG J, HANGANU A, JOBERT S, et al. Transcranial magnetic stimulation improves cognition over time in Parkinson's

- disease [J]. *Park Relat Disord*, 2019, 66: 3-8.
- [16] KO J H, MONCHI O, PTITO A, et al. Theta burst stimulation-induced inhibition of dorsolateral prefrontal cortex reveals hemispheric asymmetry in striatal dopamine release during a set-shifting task: a TMS-¹¹C] raclopride PET study [J]. *Eur J Neurosci*, 2008, 28(10): 2147-2155.
- [17] 付可登, 李松华, 胡媛媛. 重复经颅磁刺激对抑郁症患者 SSI 评分的影响及治疗效果研究 [J]. *中国医药导报*, 2020, 17(16): 97-100.
FU K D, LI S H, HU Y Y. Research on the effect of repetitive transcranial magnetic stimulation on SSI score of depression patients and its therapeutic effect [J]. *China Med Her*, 2020, 17(16): 97-100.
- [18] VAN DEN HEUVEL M P, SPORNS O. Rich-club organization of the human connectome [J]. *J Neurosci*, 2011, 31(44): 15775-15786.
- [19] YANG Y H, LIANG P P, LU S F, et al. The role of the DLPFC in inductive reasoning of MCI patients and normal agings: an fMRI study [J]. *Sci China Ser C Life Sci*, 2009, 52(8): 789-795.
- [20] FRIEHS M A, BRAUNER L, FRINGS C. Dual-tDCS over the right prefrontal cortex does not modulate stop-signal task performance [J]. *Exp Brain Res*, 2021, 239(3): 811-820.
- [21] 徐光青, 兰月, 赵江莉, 等. 持续短阵快速脉冲刺激前额叶皮质对视空间注意功能的调控机制 [J]. *中国康复医学杂志*, 2013, 28(9): 806-810.
XU G Q, LAN Y, ZHAO J L, et al. Modulatory effects of continuous Theta burst stimulation over dorsolateral prefrontal cortex on visuospatial attention [J]. *Chin J Rehabil Med*, 2013, 28(9): 806-810.
- [22] VANDERHASSELT M A, DE RAEDT R, BAEKEN C, et al. The influence of rTMS over the right dorsolateral prefrontal cortex on intentional set switching [J]. *Exp Brain Res*, 2006, 172(4): 561-565.
- [23] 吴毅. 无创性脑刺激技术改善认知功能障碍的研究进展 [J]. *中国康复医学杂志*, 2023, 38(7): 875-879.
WU Y. Research progress of non-invasive brain stimulation technology in improving cognitive dysfunction [J]. *Chin J Rehabil Med*, 2023, 38(7): 875-879.
- [24] TSAI P Y, LIN W S, TSAI K T, et al. High-frequency versus Theta burst transcranial magnetic stimulation for the treatment of poststroke cognitive impairment in humans [J]. *J Psychiatry Neurosci*, 2020, 45(4): 262-270.
- [25] BAKKER N, SHAHAB S, GIACOBBE P, et al. rTMS of the dorso-medial prefrontal cortex for major depression: safety, tolerability, effectiveness, and outcome predictors for 10 Hz versus intermittent Theta-burst stimulation [J]. *Brain Stimul*, 2015, 8(2): 208-215.
- [26] ROSSI S, ANTAL A, BESTMANN S, et al. Safety and recommendations for TMS use in healthy subjects and patient populations, with updates on training, ethical and regulatory issues: expert guidelines [J]. *Clin Neurophysiol*, 2021, 132(1): 269-306.
- [27] OBERMAN L, EDWARDS D, ELDAIEF M, et al. Safety of Theta burst transcranial magnetic stimulation: a systematic review of the literature [J]. *J Clin Neurophysiol*, 2011, 28(1): 67-74.
- [28] WU S W, SHAHANA N, HUDDLESTON D A, et al. Safety and tolerability of Theta-burst transcranial magnetic stimulation in children [J]. *Dev Med Child Neurol*, 2012, 54(7): 636-639.
- [29] ROSSINI P M, BURKE D, CHEN R, et al. Non-invasive electrical and magnetic stimulation of the brain, spinal cord, roots and peripheral nerves: basic principles and procedures for routine clinical and research application. An updated report from an I. F. C. N. Committee [J]. *Clin Neurophysiol*, 2015, 126(6): 1071-1107.
- [30] BEAM W, BORCKARDT J J, REEVES S T, et al. An efficient and accurate new method for locating the F3 position for prefrontal TMS applications [J]. *Brain Stimul*, 2009, 2(1): 50-54.
- [31] 明悦, 付诗琴, 陈紫琪, 等. 个体化影像定位的经颅磁刺激治疗重型抑郁障碍的研究进展 [J]. *中华放射学杂志*, 2023, 57(12): 1373-1377.
MING Y, FU S Q, CHEN Z Q, et al. Research progress of transcranial magnetic stimulation with individualized image localization in the treatment of major depressive disorder [J]. *Chin J Radiol*, 2023, 57(12): 1373-1377.
- [32] ABEN H P, REIJMER Y D, VISSER-MEILY J M, et al. A role for new brain magnetic resonance imaging modalities in daily clinical practice: protocol of the prediction of cognitive recovery after stroke (PROCRAS) study [J]. *JMIR Res Protoc*, 2018, 7(5): e127.
- [33] ANDERKOVA L, REKTOROVA I. Cognitive effects of repetitive transcranial magnetic stimulation in patients with neurodegenerative diseases: clinician's perspective [J]. *J Neurol Sci*, 2014, 339(1/2): 15-25.
- [34] PENNISI G, BELLA R, LANZA G. Motor cortex plasticity in subcortical ischemic vascular dementia: What can TMS say? [J]. *Clin Neurophysiol*, 2015, 126(5): 851-852.
- [35] LI W, WEN Q, XIE Y H, et al. Improvement of poststroke cognitive impairment by intermittent Theta bursts: a double-blind randomized controlled trial [J]. *Brain Behav*, 2022, 12(6): e2569.
- [36] DI LORENZO F, MOTTA C, BONNÌ S, et al. LTP-like cortical plasticity is associated with verbal memory impairment in Alzheimer's disease patients [J]. *Brain Stimul*, 2019, 12(1): 148-151.
- [37] DI LORENZO F, MOTTA C, CASULA E P, et al. LTP-like cortical plasticity predicts conversion to dementia in patients with memory impairment [J]. *Brain Stimul*, 2020, 13(5): 1175-1182.
- [38] 王杰, 杨诚, 卫小梅, 等. 间歇性 θ 短阵脉冲刺激对轻度认知障碍合并吞咽障碍患者认知及吞咽功能的影响及机制 [J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2021, 43(12): 1094-1099.
WANG J, YANG C, WEI X M, et al. Effect and mechanism of intermittent θ short pulse stimulation on cognition and swallowing function of patients with mild cognitive impairment and dysphagia [J]. *Chin J Phys Med Rehabil*, 2021, 43(12): 1094-1099.
- [39] WU X Q, YAN Y B, HU P P, et al. Effects of a periodic intermittent Theta burst stimulation in Alzheimer's disease [J]. *Gen Psych*, 2024, 37(1): e101106.

- [40] KOCH G, ALTOMARE D, BENUSSI A, et al. The emerging field of non-invasive brain stimulation in Alzheimer's disease [J]. *Brain*, 2024, 147(12):4003-4016.
- [41] ARMSTRONG M J, OKUN M S. Diagnosis and treatment of Parkinson disease: a review [J]. *Jama*, 2020, 323(6):548.
- [42] LANG S, GAN L S, YOON E J, et al. Theta-burst stimulation for cognitive enhancement in Parkinson's disease with mild cognitive impairment: a randomized, double-blind, sham-controlled trial [J]. *Front Neurol*, 2020, 11:584374.
- [43] 张荣旭, 黄东, 宋小东, 等. Theta脉冲刺激治疗难治性抑郁症的研究进展[J]. *中华精神科杂志*, 2024, 57(1):54-60.
- ZHANG R X, HUANG D, SONG X D, et al. Research progress of Theta pulse stimulation in the treatment of refractory depression [J]. *Chin J Psychiatry*, 2024, 57(1):54-60.
- [44] 陈成, 庄丽荣, 朱森. TBS模式rTMS联合舍曲林治疗对青少年抑郁症患者情绪和认知功能的影响[J]. *国际精神病学杂志*, 2023, 50(5):1012-1014, 1024.
- CHEN C, ZHUANG L R, ZHU M. Effects of TBS mode rTMS combined with sertraline on mood and cognitive function in adolescent patients with depression [J]. *J Int Psychiatry*, 2023, 50(5):1012-1014, 1024.
- [45] HUI J, ZOMORRODI R, LIOUMIS P, et al. Altered interhemispheric signal propagation in schizophrenia and depression [J]. *Clin Neurophysiol*, 2021, 132(7):1604-1611.
- [46] 武学庆, 居云悦, 苏杭, 等. 重复经颅磁刺激治疗神经精神疾病的分子生物机制[J]. *国际精神病学杂志*, 2018, 45(3):406-408.
- WU X Q, JU Y Y, SU H, et al. Molecular biological mechanism of repetitive transcranial magnetic stimulation in the treatment of neuropsychiatric diseases [J]. *J Int Psychiatry*, 2018, 45(3):406-408.
- [47] 甘记兴, 庞德兵, 姚光. TBS模式磁刺激对精神分裂症患者症状、认知和社会功能的影响[J]. *国际精神病学杂志*, 2023, 50(4):647-650.
- GAN J X, PANG D B, YAO G. The efficacy of TBS magnetic stimulation in the treatment of schizophrenia and its effects on cognitive function, social function [J]. *J Int Psychiatry*, 2023, 50(4):647-650.
- [48] 赵婧, 郭银森, 李梦楠, 等. θ 短阵快速脉冲重复经颅磁刺激对老年慢性精神分裂症阴性症状及认知功能的影响[J]. 2021(7):577-583.
- ZHAO J, GUO Y M, LI M N, et al. Effect of θ short burst repetitive transcranial magnetic stimulation on negative symptoms and cognitive function of elderly chronic schizophrenia [J]. *Chin J Behav Med Brain Sci*, 2021(7):577-583.

Expert Consensus on the Application of Theta Burst Stimulation for Cognitive Impairment

BAI Yulong¹, DI Haibo², HOU Wensheng³, HU Xiquan⁴, LIU Ying^{5*}, LI Zengyong⁵, LYU Zeping⁶, PENG Liang⁷, SUN Junfeng⁸, TANG Min⁹, WANG Yonghui¹⁰, XIE Haiqun¹¹, XIE Ping¹², XU Dongsheng¹³, ZHANG Lijun¹⁴

¹ Huashan Hospital, Fudan University, Shanghai 200040, China;

² Hangzhou Normal University, Hangzhou, Zhejiang 311121, China;

³ Chongqing University, Chongqing 400044, China;

⁴ The Third Affiliated Hospital, Sun Yat-sen University, Guangzhou, Guangdong 510630, China;

⁵ National Research Center for Rehabilitation Technical Aids, Beijing 100176, China;

⁶ Rehabilitation Hospital Affiliated to National Research Center for Rehabilitation Technical Aids, Beijing 100176, China;

⁷ State Key Laboratory of Multimodal Artificial Intelligence Systems, Institute of Automation Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;

⁸ School of Biomedical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 201100, China;

⁹ Ningbo Rehabilitation Hospital, Ningbo, Zhejiang 315040, China;

¹⁰ Qilu Hospital of Shandong University, Jinan, Shandong 250012, China;

¹¹ The First People's Hospital of Foshan, Guangdong 528000, China;

¹² Yanshan University, Qinhuangdao, Hebei 066000, China;

¹³ School of Rehabilitation Science, Shanghai University of Traditional Chinese Medicine, Shanghai 201203, China;

¹⁴ The Second Rehabilitation Hospital of Shanghai, Shanghai 201900, China

*Correspondence: LIU Ying, E-mail: 729265383@qq.com

ABSTRACT With the progression of population aging, cognitive impairment has garnered increasing attention. It not only reduces the overall quality of life and lifespan of patients, but also imposes tremendous burdens on caregivers and the social economy. Repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS) is a neuroelectrophysiological technique used for neurological and psychiatric disorders, which has been proven by studies to exert ameliorative effects on multiple cognitive functions. Theta burst stimulation (TBS), as a novel rTMS treatment protocol, has been increasingly applied in the treatment of cognitive impairment. Compared with conventional rTMS, TBS requires lower stimulation intensity, fewer pulses and shorter application time, leading to higher patient compliance. By reviewing and optimizing previous research findings and clinical practice experience, this expert consensus thoroughly analyzes issues pertaining to the origin, mechanism of action, efficacy and safety of TBS, and formulates clinically applicable TBS intervention protocols and workflows, which are expected to provide a more effective therapeutic approach for patients with cognitive impairment.

KEY WORDS cognitive impairment; Theta burst stimulation (TBS); repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS); rehabilitation

DOI:10.3724/SP.J.1329.2026.01003