

- study[J]. PM & R, 2017, 9(8):787—794.
- [32] Olma MC, Dargie RA, Behrens JR, et al. Long-term effects of serial anodal tDCS on motion perception in subjects with occipital stroke measured in the unaffected visual hemifield[J]. Frontiers in Human Neuroence, 2013, 7(7): 314.
- [33] Houston KE, Peli E, Goldstein RB, et al. Driving with hemianopia VI: peripheral prisms and perceptual-motor training improve detection in a driving simulator[J]. Translational Vision Science & Technology, 2018, 7(1):5.
- [34] Cook, Albert M, Polgar, et al. Cook and Hussey's Assistive Technologies[M]. Mosby/Elsevier, 2008.
- [35] Smallfield S, Clem K, Myers A. Occupational therapy interventions to improve the reading ability of older adults with low vision: a systematic review[J]. The American Journal of Occupational Therapy, 2013, 67(3):288—295.
- [36] Leitner MC, Hutzler F, Schuster S, et al. Eye-tracking-based visual field analysis (EFA): a reliable and precise perimetric methodology for the assessment of visual field defects[J]. BMJ Open Ophthalmology, 2021, 6(1):e429.
- [37] Aleman TS, Miller AJ, Maguire KH, et al. A Virtual reality orientation and mobility test for inherited retinal degenerations: testing a proof-of-concept after gene therapy[J]. Clinical Ophthalmology, 2021, 15:939—952.
- [38] Qian L, Song T, Unberath M, et al. AR-Loupe: magnified augmented reality by combining an optical see-through head-mounted display and a loupe[J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2020.
- [39] Moisseiev E, Mannis MJ. Evaluation of a portable artificial vision device among patients with low vision[J]. JAMA Ophthalmology, 2016, 134(7):748—752.
- [40] Preedy VR, Watson RR. Handbook of disease burdens and quality of life measures[J]. Springer Reference, 2010, 10.1007/978-0-387-78665-0(Chapter 37):647—659.
- [41] E JY, Li T, Mcinally L, et al. Environmental and behavioural interventions for reducing physical activity limitation and preventing falls in older people with visual impairment [J]. The Cochrane Database of Systematic Reviews, 2020, 9: D9233.
- [42] Stelmack JA, Tang XC, Wei Y, et al. The effectiveness of low-vision rehabilitation in 2 cohorts derived from the veterans affairs low-vision intervention trial[J]. Archives of Ophthalmology, 2012, 130(9):1162—1168.

· 综述 ·

Theta爆发式经颅磁刺激在脑卒中后康复中的应用进展

成家雯^{1,2} 吴霜^{1,2,3}

脑卒中作为一种高发病率、高致残率和高死亡率严重疾病,现已成为世界第二大致死和致残的主要原因之一,在中国每年新增病例超过200万例,是中国所有疾病中致残、致死率最高的疾病,对人类健康构成了巨大挑战,已经成为我国严重的健康问题^[1-2]。脑卒中后的传统康复治疗多需患者主动参与,需要耗费较大的人力及时间,同时,关于其疗效的证据尚不明确。而Theta爆发式经颅磁刺激(theta burst stimulation, TBS)是经颅磁刺激(transcranial magnetic stimulation, TMS)的一种特殊刺激范式,是在重复经颅磁刺激(repetitive transcranial magnetic stimulation, rTMS)的基础上加入了丛状节律式刺激,具有在较短刺激时间、较少脉冲数及较低治疗强度的情况下达到较好治疗疗效的优势,在2005年以后被广泛应用于脑卒中后神经系统疾病的康复治疗^[3]。近年来,虽然TMS在脑卒中及神经系统疾病的评估和治疗研究方面取得了一定成果,但关于TBS模式治疗卒中后功能障碍疗效及其作用机制的研究仍然缺乏,本文对TBS在

改善脑卒中后各种功能障碍中的应用方案及其疗效的研究进展进行综述,旨在为TBS在脑卒中的治疗作用机制提供理论依据。

1 TBS的治疗机制概述

目前,常见的TBS模式有连续性TBS(continuous TBS, cTBS)和间歇性TBS(intermittent TBS, iTBS),且普遍认为cTBS可对大脑皮层的兴奋性产生抑制效应,而iTBS则会产生兴奋性效应^[4-5]。虽然其具体的作用机制尚未完全阐明,但目前认为其可能的机制为:

1.1 TBS对突触上各受体的调节作用

既往有研究提出,谷氨酸受体(glutamate receptors, Glu-R)、N-甲基-D-天冬氨酸受体(N-methyl-D-aspartate receptor, NMDA-R)和 α -氨基-3-羟基-5-甲基-4-异恶唑丙酸受体(AMPA-R)等的活性调节与皮质神经元突触的兴奋性变化有关。Huang YZ等^[4,6-7]通过药理实验,即使用NMDA-R

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2023.11.026

1 贵州医科大学,贵州省贵阳市,550000; 2 贵州医科大学附属医院康复医学科; 3 通讯作者

第一作者简介:成家雯,女,硕士研究生; 收稿日期:2021-09-02

的拮抗剂美金刚,证明了iTBS和cTBS对突触兴奋性的后效应至少部分依赖于NMDA-R活性,从而诱发类似于长时程增强(long-term potentiation, LTP)和长时程抑制(long-term depression, LTD)改变的过程。Malenka RC等^[8-9]综述了LTP和LTD产生的离子机制为:当Glu与NMDA-R结合, mg^{2+} 门控离子通道打开,产生 Ca^{2+} 内流;而快速大量的 Ca^{2+} 内流增强了其与羧基的结合能力,而缓慢少量的内流则增强了与氨基的结合能力。如果 Ca^{2+} 与羧基结合,则引起钙-钙调蛋白激酶II的激活,使得AMPA-R磷酸化,而增加了 Na^+ 的通透性,并增加了突触后膜受体的数量,最终导致LTP;反之,如果 Ca^{2+} 与氨基结合,则引起蛋白磷酸酶的激活,从而使AMPA-R去磷酸化, Na^+ 通透性降低,并减少了突触后膜受体的数量,最终导致LTD。由上可知,TBS(即cTBS或iTBS)通过调节突触上各受体的活性,改变 Ca^{2+} 的内流,从而产生LTD或LTP,最终抑制或兴奋皮层。

1.2 TBS对基因及蛋白的调节作用

还有一种观点认为,基因表达和蛋白水平的改变影响着突触重塑。已有研究发现,TBS可能是通过改变钙结合蛋白、小白蛋白、谷氨酸脱羧酶(glutamic acid decarboxylase, GAD67)、即刻早期基因蛋白的表达水平,影响皮层突触连接的改变,以达到治疗作用^[10-12]。Aydin-Abidin S等^[13]研究了作用于大鼠数个皮质区的1Hz及10Hz rTMS和iTBS对即刻早期基因蛋白c-Fos和zif268的影响,发现iTBS可以增强几乎所有皮质区域zif286的表达,相反,10Hz rTMS仅在初级运动、感觉皮质区表达增强,1Hz rTMS对皮质区zif268表达无影响;而c-Fos和zif268都与早期LTP的诱发有关。iTBS通过减少快速放电中间神经元中小白蛋白的表达,降低对锥体细胞输出活动的抑制;而cTBS通过减少钙结合蛋白的表达,可能影响其他类抑制性中间神经元控制突触输入的树突整合,达到控制兴奋性的目的,即不同的TBS模式以不同的方式调节不同类别抑制性细胞的活性^[10]。因此,这些基因和蛋白水平的改变最终会促进大脑相关功能的恢复。

2 TBS在脑卒中康复治疗中的应用

2.1 TBS对脑卒中后运动功能障碍的康复治疗作用

脑卒中后会遗留有多种功能障碍,但约50%—67%的患者以运动功能障碍为主,如单瘫、偏瘫等,严重影响了患者的步行、转移和日常生活活动能力^[14],因此运动功能的恢复是脑卒中患者主要关注的问题。目前,较多的研究结果支持iTBS能够促进脑卒中后运动功能的恢复,如Chen YJ等^[15]报道了患侧半球M1区强度为80%活动运动阈值(active motor threshold, AMT)的iTBS有助于慢性脑卒中后患者上肢运动功能的恢复。Di Lazzaro V等^[16]报道急性缺血性脑卒中患者患侧M1区80% AMT的iTBS有助于患者握力的提

高和改善运动网络的功能连接性。Ackerley SJ等^[17]对比研究发现,患侧M1区90% AMT的iTBS可提升慢性卒中患者患侧上肢的运动功能,而健侧M1区的cTBS则抑制了偏瘫侧上肢的运动功能。相反,Khan F等^[18]一项综述发现,患侧cTBS和健侧iTBS的联合应用比单独应用任何一种技术都更有效。由此,关于cTBS对运动功能恢复的作用尚无统一认知,虽然有研究者^[19]的结果提示对慢性脑卒中患者患侧大脑半球运用cTBS,也可促进上肢功能的恢复,但现有研究数量不足且异质性大,并不能提供足够的证据支持cTBS对脑卒中后运动功能恢复的有效性^[9]。同时,既往相关研究TBS选择的刺激部位多为运动皮层的M1区,但近来有研究表明小脑也可作为一个潜在的干预部位去改善卒中后的运动功能。例如,Bonni S等^[14]对8例慢性大脑中动脉卒中患者的患侧小脑半球进行cTBS刺激,结果表明相较于假刺激组,患侧小脑cTBS后患者的运动学习能力得到持续改善,表明患侧小脑半球的cTBS也可做为治疗卒中后运动功能的一种潜在方案。那么相较于rTMS,TBS是否能更有效的改善患者运动功能?姜畅等^[20]对比了健侧M1区强度为90%静息运动阈值(rest motor threshold, RMT)的1Hz rTMS及强度为70%RMT的iTBS改善脑卒中后上肢功能障碍的能力,发现两者之间无明显疗效差异。因此,针对不同个体、不同受损部位及不同病程脑卒中后合并运动功能障碍患者的最佳治疗方案仍需进一步研究;且TBS是否能更有效改善卒中后运动功能,仍需进一步对比研究。另一方面,TBS对于下肢运动功能恢复的疗效尚未见相关临床研究发表,故尚不明确TBS对卒中后下肢运动功能障碍是否也具有治疗意义,仍有待于未来的探索及开发运用。

2.2 TBS对脑卒中后失语症的康复治疗作用

失语症是脑卒中后又一严重的并发症之一,有高达38%的脑卒中患者合并有失语症,对患者的社会参与及生活质量造成了很大限制^[21]。既往研究表明,rTMS对脑卒中后言语功能恢复的作用机制主要为通过下调右侧半球过度兴奋,恢复大脑半球间的兴奋性平衡,进而促进了言语网络功能的改善^[22],则TBS也可通过相关机制达到治疗脑卒中后失语症的作用。胡瑞萍等^[23]发现右侧Broca区70%RMT的cTBS通过恢复大脑半球间的平衡、重组语言网络,从而改善了不同病程患者的自发表达、听理解、复述和命名能力。Restle J等^[24]在健康人中的对比研究显示,左侧额下回后部(inferior frontal gyrus, pIFG)80% AMT的iTBS提高了听觉言语重复的准确率,因为左侧额下回在人类模仿动作中具有重要作用,故将重复言语刺激与pIFG的iTBS结合可能对失语症患者的恢复具有治疗潜力。同时,Vuksanović J等^[25]对一位脑卒中后慢性非流利性失语症患者的研究发现,右侧Broca区80% AMT的cTBS联合左侧Broca区80% AMT的iTBS似

乎可以更有效地改善患者命名能力、言语流畅度,同时患者对词汇的学习及短期记忆能力也得到了提升。另外, Versace V等^[26]认为激活受损半球中残存的神经通路有助于慢性失语症患者的恢复,他们对13例左侧大脑半球梗死的慢性流利性失语症患者的研究发现,左侧 Wernicke 区 80% AMT 的 iTBS 对患者的听理解能力有约 40min 的一过性促进作用,且是安全可行的,因此增加刺激疗程可能会产生持续效应。Nardone R等^[27]报道了患侧缘上回单次 80% AMT 的 iTBS 对脑卒中后单纯语音失写症患者的单词听写能力有短暂的促进,其可能机制为促进病灶周围组织的激活。综上所述,失语症的恢复有赖于半球间平衡的恢复、健侧同源功能区的代偿作用、病损周围神经组织的再激活,而不同的 TBS 模式对脑卒中后失语症的恢复均有不同疗效,但对于不同失语症的最优治疗参数方案仍需更多的研究探索。

2.3 TBS 对脑卒中后偏侧空间忽略症的康复治疗作用

偏侧空间忽略(hemispatial neglect, HSN)又称单侧空间忽略(unilateral spatial neglect, USN),是脑损伤(包括脑梗死、脑出血、颅脑外伤、脑肿瘤等)患者的一种视空间注意障碍及行为异常,约 25%—30% 的脑卒中患者会合并此病,其中超过 90% 的 HSN 患者有右侧大脑半球的病变,且约 1/3 患者发病 1 年后仍存在不同程度的忽略症状,严重影响患者的独立能力^[28—30]。杨雨洁等^[30]的一项 Meta 分析报道, cTBS 治疗可以改善卒中后 USN 患者的忽略程度。Nyffeler T 等^[31]对 11 例右侧脑卒中后左侧视觉忽略的患者进行了健侧顶叶的 cTBS 刺激,其刺激强度为 100% RMT、丛内频率为 30Hz、脉冲数为 801,结果表明其对视觉忽略的恢复有积极作用,且同一天内进行 4 次 cTBS 刺激后其治疗效果可持续约 32h。Fu W 等^[32]也报道了健侧后顶叶每天 4 次 cTBS(刺激强度为 80% RMT、丛内频率为 30Hz、丛间频率为 5Hz、脉冲数为 600)刺激,2 周后能够明显改善视觉忽略行为。另外, Fu W 等^[33]另一项研究对 10 例右侧半球卒中伴 USN 患者的健侧后顶叶皮质进行了 2 周 80% RMT 的 cTBS(丛内频率为 30Hz、丛间频率为 5Hz)刺激,发现刺激次数越多, USN 症状改善越明显。而 Yang W 等^[34]研究显示,后顶叶皮层 2 周强度均为 80% RMT 的 cTBS(丛内频率为 30Hz、丛间频率为 5Hz、总脉冲为 801)与 1Hz rTMS 或 10Hz rTMS 相比能够更有效地改善脑卒中后偏侧空间忽略症患者的症状。同时, Cao L 等^[35]报道了健侧背侧前额叶皮质强度为 80% RMT 的 iTBS 刺激也可促进卒中患者 USN 症状的恢复。目前,关于 TBS 在脑卒中后偏侧空间忽略症的研究相对较少,虽然现有研究表明不同模式的 TBS 对忽略症的治疗均有不错疗效,且似乎具有次数的累积效应,并优于 rTMS^[20, 22—23],但样本量仍较少,因此说服力仍不够。此外,刺激部位、刺激脉冲数、刺激强度等刺激参数的选择仍需大样本、多中心的研究。

2.4 TBS 对脑卒中后吞咽障碍的康复治疗作用

吞咽困难是脑卒中后的一种严重残疾,发病率在 30%—70% 之间,而吞咽困难所致的脱水、营养不良、吸入性肺炎和死亡率增加密不可分^[36—37]。为了探索 TBS 治疗吞咽障碍的巨大潜力,有学者在健康受试者中进行了研究。Mistry S 等^[38]在健康人中的对比研究发现, iTBS 能够诱导咽部运动皮层的兴奋性增加,且至少可持续 90min。Lin T 等^[39]报道了单侧舌骨上肌皮质代表区的 cTBS 可促进双侧舌骨上肌皮质的兴奋,而单侧舌骨上肌皮质代表区的 iTBS 仅可兴奋同侧皮质,这些兴奋性效应可至少持续 30min,同时作者发现, iTBS 能够消除 cTBS 在对侧舌骨上肌皮质代表区产生的抑制效应。Zhang G 等^[40—42]的 2 项功能磁共振(fMRI)研究均报道,单侧皮层的 cTBS 仅对同侧皮质有兴奋作用,而单侧的 iTBS 能够促进双侧皮质兴奋性增加,包括双侧感觉运动网络在内的多个脑区的连通性,同时, iTBS 可以逆转对侧 cTBS 引起的抑制性效应,提示其在吞咽障碍治疗中的治疗潜力。近期,逐渐有学者将其用于吞咽障碍患者中,证实了其确实可以改善吞咽功能。李坤彬等^[43]在 29 例小脑卒中后吞咽障碍患者的研究发现,健侧小脑 80% RMT 的 iTBS 治疗 4 周后确实可以改善患者吞咽功能及大脑皮质兴奋性。刘子财等^[44]运用 iTBS 交替刺激双侧小脑半球改善卒中后患者的吞咽障碍,2 周后发现,其可以取得与 10Hz rTMS 相似的疗效。王杰等^[45]的另一项研究发现,对于卒中后有轻度认知功能障碍合并吞咽障碍的患者,使用 80% RMT 的 iTBS 刺激右侧前额叶背外侧区,2 周后不仅可以改善患者的认知功能,同时也提升了患者口腔期吞咽功能。综上所述, TBS 对于卒中后吞咽障碍的恢复具有巨大的潜力,其可调节吞咽皮层的兴奋性,从而恢复吞咽皮层间的功能失调,最终达到治疗吞咽障碍的目的,但刺激部位、刺激疗程等参数的最优选择仍无定论。因此,可在今后的相关研究中进一步阐明。

2.5 TBS 对脑卒中其他并发症的康复治疗作用

除上述功能障碍,脑卒中后部分患者也会出现心理障碍(表现为焦虑、抑郁等)、认知功能障碍(表现为记忆力障碍、注意力障碍、思维能力障碍、失认等)、二便失禁、性功能障碍或疼痛等功能障碍,这些功能障碍也在不同方面影响着脑卒中后患者生活的各个方面,使得患者难以独立、难以回归家庭、回归社会,为家庭和社会带来沉重的经济负担。因此,促进上述功能障碍更快、更好地恢复也显得至关重要,但 TBS 对于这些功能障碍治疗疗效的研究相对较少。段强等^[46]将 18 例卒中后伴有神经病理性疼痛的患者随机分为 cTBS 组和假刺激组,刺激大脑 M1 区,治疗 2 周后结果表明, cTBS 可缓解患者中枢性卒中后疼痛(central post-stroke pain, CP-SP)。另一篇硕士学位论文报道,传统的康复训练加抗抑郁药物治疗联合左侧前额叶背外侧区 80% AMT 的 iTBS 刺激,

可改善脑卒中后抑郁伴认知功能障碍病人的抑郁情绪,促进认知功能恢复^[47]。而TBS运用于其他卒中后功能障碍恢复的临床研究则未见有相关学者发表。因此,需要更进一步、更深入的研究证实TBS对脑卒中后其他功能障碍的作用,并对其具体的作用机制进行相关阐述,或许在今后的研究中可逐步开展。

3 小结与展望

脑卒中后的一系列功能障碍给患者健康带来了严重危害,极大的影响了患者的日常生活活动能力及生存质量,使其难以回归家庭和社会,对家庭及社会带来了巨大负担。同时,临床上患者病情的多变性及患者间的个体差异性,使得不断追求更加有效且安全、适用于不同患者的个体化康复训练成为当务之急。TMS技术的发现及发展给脑卒中后功能障碍的康复治疗提供了新的灵感,而TBS技术的出现更是拓宽了康复治疗的方向,其不仅拥有rTMS技术的非侵入性、安全性、实用性的优势^[48],同时,相较于rTMS技术,TBS技术在20—190s内即可达到稳定且持久的效果,因此,引起了众多康复学者的兴趣,并为此做了许多的临床及基础研究,证实了cTBS、iTBS对脑卒中后各种功能障碍均具有较好的康复治疗效果,拓展了TBS在中枢神经系统疾病康复治疗的应用。同时,众多研究均表明,相较于单一的药物或传统康复治疗,联合运用TBS治疗可加速功能障碍恢复的疗程,使其在临床的应用有巨大的意义及潜力。但TBS作为新兴治疗手段,不可避免的是,其在研究和应用方面必然存在着众多问题,如:①相关实验设计和研究方案仍需进一步优化,例如研究中样本量较少,患者病变部位及功能障碍程度不同,治疗时间及间隔时间的区别,以及各评估指标的差异,均需进一步规范。②TBS治疗的刺激强度、脉冲数、频率、部位等参数的选择在各研究中尚不一致,且不同参数组合在各研究中似乎都有着积极作用,因此仍需进行更为全面、深入的研究,使TBS的临床应用更为安全、有效和规范。③虽有关研究已经证实TBS治疗脑卒中后多种功能障碍的有效性,但其针对各功能障碍的治疗机制尚不明确,依旧需要更深入的基础研究加以阐明。毋庸置疑,TBS在脑卒中后多种功能障碍的康复治疗方面依旧有巨大的研究空间,并且最终会有更为完善、全面、标准的治疗方案出现,使得更多的脑卒中患者从中受益。

参考文献

- [1] Wu S, Wu B, Liu M, et al. Stroke in China: advances and challenges in epidemiology, prevention, and management[J]. Lancet Neurol, 2019, 18(4): 394—405.
- [2] 《中国脑卒中防治报告2020》编写组,王陇德.《中国脑卒中防治报告2020》概要[J]. 中国脑血管病杂志, 2022, 19(2): 136—144.
- [3] 朱萍,钟燕彪,徐曙天,等.不同范式重复性经颅磁刺激的作用机制及改善脑卒中后运动功能的研究进展[J]. 中国康复, 2019, 34(11): 605—609.
- [4] Di Lazzaro V, Pilato F, Dileone M, et al. The physiological basis of the effects of intermittent theta burst stimulation of the human motor cortex[J]. J Physiol, 2008, 586(16): 3871—3879.
- [5] Perellón-Alfonso R, Kralik M, Pileckyte I, et al. Similar effect of intermittent theta burst and sham stimulation on corticospinal excitability: a 5-day repeated sessions study[J]. Eur J Neurosci, 2018, 48(4): 1990—2000.
- [6] Huang YZ, Chen RS, Rothwell JC, et al. The after-effect of human theta burst stimulation is NMDA receptor dependent[J]. Clin Neurophysiol, 2007, 118(5): 1028—1032.
- [7] Li CT, Huang YZ, Bai YM, et al. Critical role of glutamatergic and GABAergic neurotransmission in the central mechanisms of theta-burst stimulation[J]. Hum Brain Mapp, 2019, 40(6): 2001—2009.
- [8] Malenka RC, Bear MF. LTP and LTD: an embarrassment of riches[J]. Neuron, 2004, 44(1): 5—21.
- [9] 李甲笠,单春雷. Theta节律刺激的作用机制及其在脑卒中后运动功能康复中的应用[J]. 中国康复, 2019, 34(4): 218—222.
- [10] Benali A, Trippe J, Weiler E, et al. Theta-burst transcranial magnetic stimulation alters cortical inhibition[J]. J Neurosci, 2011, 31(4): 1193—1203.
- [11] Thimm A, Funke K. Multiple blocks of intermittent and continuous theta-burst stimulation applied via transcranial magnetic stimulation differently affect sensory responses in rat barrel cortex[J]. J Physiol, 2015, 593(4): 967—985.
- [12] Mix A, Benali A, Eysel U, et al. The effect of chronic transcranial magnetic theta burst stimulation on an associative tactile learning task in the rat[J]. Brain Stimulation, 2008, 1(3): 282.
- [13] Aydin-Abidin S, Trippe J, Funke K, et al. High- and low-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation differentially activates c-Fos and zif268 protein expression in the rat brain[J]. Exp Brain Res, 2008, 188(2): 249—261.
- [14] Bonni S, Motta C, Pellicciari MC, et al. Intermittent cerebellar theta burst stimulation improves visuomotor learning in stroke patients: a pilot study[J]. Cerebellum, 2020, 19(5): 739—743.
- [15] Chen YJ, Huang YZ, Chen CY, et al. Intermittent theta burst stimulation enhances upper limb motor function in patients with chronic stroke: a pilot randomized controlled trial[J]. BMC Neurol, 2019, 19(1): 69.
- [16] Di Lazzaro V, Pilato F, Dileone M, et al. Modulating cortical excitability in acute stroke: a repetitive TMS study[J]. Clin Neurophysiol, 2008, 119(3): 715—723.
- [17] Ackerley SJ, Stinear CM, Barber PA, et al. Combining theta burst stimulation with training after subcortical stroke[J]. Stroke, 2010, 41(7): 1568—1572.
- [18] Khan F, Chevidikunann F. Theta burst stimulation a new paradigm of non-invasive brain stimulation for post-stroke

- upper limb motor rehabilitation[J]. Turk J Phys Med Rehabil, 2017, 63(2): 193—196.
- [19] Di Lazzaro V, Rothwell JC, Talelli P, et al. Inhibitory theta burst stimulation of affected hemisphere in chronic stroke: a proof of principle, sham-controlled study[J]. Neurosci Lett, 2013(553): 148—152.
- [20] 姜畅, 吴建贤, 洪永锋, 等. iTBS 与 1Hz rTMS 对脑卒中患者上肢功能恢复的研究[J]. 安徽医科大学学报, 2018, 53(9): 1439—1443.
- [21] Yu ZZ, Jiang SJ, Jia ZS, et al. Study on language rehabilitation for aphasia[J]. Chin Med J (Engl), 2017, 130(12): 1491—1497.
- [22] 汪洁, 吴东宇. 经颅磁刺激与语法研究和语言治疗[J]. 中国康复医学杂志, 2008, 23(8): 760—763.
- [23] 胡瑞萍, 范顺娟, 俞岑妍, 等. cTBS 结合语言训练对脑卒中失语症患者语言功能的影响[J]. 老年医学与保健, 2018, 24(4): 401—403+419.
- [24] Restle J, Murakami T, Ziemann U. Facilitation of speech repetition accuracy by theta burst stimulation of the left posterior inferior frontal gyrus[J]. Neuropsychologia, 2012, 50(8): 2026—2031.
- [25] Vuksanović J, Jelić MB, Milanović SD, et al. Improvement of language functions in a chronic non-fluent post-stroke aphasic patient following bilateral sequential theta burst magnetic stimulation[J]. Neurocase, 2015, 21(2): 244—250.
- [26] Versace V, Schwenker K, Langthaler PB, et al. Facilitation of auditory comprehension after theta burst stimulation of Wernicke's area in stroke patients: a pilot study[J]. Front Neurol, 2020(10): 1319.
- [27] Nardone R, De Blasi P, Zuccoli G, et al. Transient beneficial effects of excitatory theta burst stimulation in a patient with phonological agraphia after left supramarginal gyrus infarction[J]. Brain Lang, 2012, 120(3): 422—426.
- [28] Gammeri R, Iacono C, Ricci R, et al. Unilateral spatial neglect after stroke: current insights[J]. Neuropsychiatr Dis Treat, 2020(16): 131—152.
- [29] 穆景颂, 倪朝民. 单侧空间忽略的神经机制及治疗研究进展[J]. 中国康复医学杂志, 2020, 35(8): 1000—1003.
- [30] 杨雨洁, 朱毅, 程洁, 等. 重复经颅磁刺激治疗卒中后单侧空间忽略的 Meta 分析[J]. 中国康复理论与实践, 2017, 23(3): 363—369.
- [31] Nyffeler T, Cazzoli D, Hess CW, et al. One session of repeated parietal theta burst stimulation trains induces long-lasting improvement of visual neglect[J]. Stroke, 2009, 40(8): 2791—2796.
- [32] Fu W, Cao L, Zhang Y, et al. Continuous theta-burst stimulation may improve visuospatial neglect via modulating the attention network: a randomized controlled study[J]. Top Stroke Rehabil, 2017, 24(4): 236—241.
- [33] Fu W, Song W, Zhang Y, et al. Long-term effects of continuous theta-burst stimulation in visuospatial neglect[J]. J Int Med Res, 2015, 43(2): 196—203.
- [34] Yang W, Liu TT, Song XB, et al. Comparison of different stimulation parameters of repetitive transcranial magnetic stimulation for unilateral spatial neglect in stroke patients[J]. J Neurol Sci, 2015, 359(1—2): 219—225.
- [35] Cao L, Fu W, Zhang Y, et al. Intermittent θ burst stimulation modulates resting-state functional connectivity in the attention network and promotes behavioral recovery in patients with visual spatial neglect[J]. Neuroreport, 2016, 27(17): 1261—1265.
- [36] Martino R, Foley N, Bhogal S, et al. Dysphagia after stroke: incidence, diagnosis, and pulmonary complications[J]. Stroke, 2005, 36(12): 2756—2763.
- [37] Cohen DL, Roffe C, Beavan J, et al. Post-stroke dysphagia: a review and design considerations for future trials[J]. Int J Stroke, 2016, 11(4): 399—411.
- [38] Mistry S, Michou E, Rothwell J, et al. Remote effects of intermittent theta burst stimulation of the human pharyngeal motor system[J]. Eur J Neurosci, 2012, 36(4): 2493—2499.
- [39] Lin T, Jiang L, Dou Z, et al. Effects of theta burst stimulation on suprahyoid motor cortex excitability in healthy subjects[J]. Brain Stimul, 2017, 10(1): 91—98.
- [40] Ruan X, Zhang G, Xu G, et al. The after-effects of theta burst stimulation over the cortex of the suprahyoid muscle on regional homogeneity in healthy subjects[J]. Front Behav Neurosci, 2019(13): 35.
- [41] Zhang G, Gao C, Ruan X, et al. Intermittent theta-burst stimulation over the suprahyoid muscles motor cortex facilitates increased degree centrality in healthy subjects[J]. Front Hum Neurosci, 2020(14): 200.
- [42] Zhang G, Ruan X, Li Y, et al. Intermittent theta-burst stimulation reverses the after-effects of contralateral virtual lesion on the suprahyoid muscle cortex: evidence from dynamic functional connectivity analysis[J]. Front Neurosci, 2019(13): 309.
- [43] 李坤彬, 吴志远, 温小鹏, 等. 小脑间歇性 θ 短阵脉冲刺激对小脑卒中吞咽障碍的影响及机制[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2021, 43(12): 1100—1104.
- [44] 刘子财, 温馨, 彭阳, 等. rTMS 与 iTBS 模式经颅磁刺激治疗脑卒中后吞咽障碍的疗效对比研究[J]. 兰州大学学报: 医学版, 2021, 47(5): 76—80.
- [45] 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.
- [46] 段强, 黄肖群, 肖斌, 等. 连续性 θ 节律性磁刺激对卒中后疼痛病人皮层诱发电位的影响[J]. 中国疼痛医学杂志, 2018, 24(10): 743—747.
- [47] 仪文斌. 间歇性 Theta 节律刺激对脑卒中后抑郁伴认知障碍患者的影响[D]. 青岛: 青岛大学, 2020.
- [48] 王奎, 邹礼梁, 陈健尔, 等. 重复经颅磁刺激在脑卒中康复治疗中的研究进展[J]. 中国康复, 2015, 30(3): 177—180.