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

李坤彬¹ 吴志远¹ 温小鹏¹ 李小杏¹ 姚先丽¹ 孙平鸽¹ 窦祖林^{1,2}

¹郑州大学附属郑州中心医院, 郑州 450006; ²中山大学附属第三医院, 广州 510630

通信作者: 窦祖林, Email: douzul@163.com

【摘要】 **目的** 研究小脑间歇性 θ 短阵脉冲刺激 (iTBS) 对小脑卒中后吞咽功能障碍的影响及机制。**方法** 选取小脑卒中后合并吞咽障碍的患者 62 例, 采用随机数字表法将其分为观察组 (32 例) 和对照组 (30 例), 观察组和对照组分别剔除 3 例、1 例, 最终均纳入 29 例。2 组患者均予以常规吞咽康复训练, 观察组在此基础上给予 iTBS 治疗, 对照组给予假刺激。治疗前、治疗 4 周后, 记录 2 组患者双侧舌骨上肌群运动诱发电位 (MEP) 的潜伏期和波幅; 对反射性吞咽和自主性吞咽状态下, 2 组患者不同大脑部位的非线性指数近似熵 (ApEn) 进行比较; 采用渗透-误吸量表 (PAS) 对 2 组患者的吞咽功能进行评估。**结果** 观察组治疗 4 周后双侧舌骨上肌群 MEP 潜伏期下降 ($P < 0.05$)。2 组患者治疗 4 周后双侧舌骨上肌群 MEP 波幅较治疗前升高 ($P < 0.05$)。与对照组治疗 4 周后比较, 观察组双侧舌骨上肌群 MEP 潜伏期较低、波幅较高 ($P < 0.05$)。2 组患者治疗 4 周后反射性吞咽、自主性吞咽状态下 C3、C4、P3、P4、T5、T6 ApEn 升高 ($P < 0.05$)。观察组治疗 4 周后反射性吞咽、自主性吞咽状态下 C3、C4、P3、P4、T5、T6 ApEn 高于对照组 ($P < 0.05$)。治疗 4 周后, 2 组患者吞咽功能改善 ($P < 0.05$)。与对照组比较, 观察组治疗 4 周后 PAS 分级 [1.83 ± 0.72 级] 较为优异 ($P < 0.05$)。**结论** iTBS 治疗可改善小脑卒中后吞咽障碍患者的吞咽功能, 其机制可能是 iTBS 刺激提高了小脑卒中患者的大脑皮质兴奋性, 增加了吞咽肌群的运动控制能力。

【关键词】 小脑间歇性 θ 短阵脉冲刺激; 小脑卒中; 运动诱发电位; 大脑皮质兴奋性; 吞咽功能

基金项目: 国家自然科学基金 (81972159); 广东省自然科学基金 (2020A1515010881); 河南省医学科技攻关计划 (201702309)

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2021.12.010

The efficacy and mechanism of theta burst stimulation for the relief of dysphasia after a stroke

Li Kunbin¹, Wu Zhiyuan¹, Wen Xiaopeng¹, Li Xiaoxing¹, Yao Xianli¹, Sun Pingge¹, Dou Zulin^{1,2}

¹Department of Neurological Rehabilitation Medicine, Zhengzhou Central Hospital, Zhengzhou University, Zhengzhou 450006, China; ²Department of Rehabilitation Medicine, The Third Affiliated Hospital of Sun Yat-sen University, Guangzhou 510630, China

Corresponding author: Dou Zulin, Email: douzul@163.com

【Abstract】 Objective To observe any effect of intermittent theta burst stimulation (iTBS) of the cerebellum on swallowing dysfunction after cerebellar infarction, and to explore its mechanism. **Methods** Sixty-two cerebellar stroke survivors with dysphagia were randomly divided into an observation group and a control group, each of 29. In addition to the routine swallowing rehabilitation training, the observation group was treated with iTBS, while the control group was given sham iTBS. The incubation and amplitude of the bilateral suprahyoid muscle motor evoked potential (MEP) were recorded before and after 4 weeks of treatment. The exponential approximate entropy (ApEn) of different brain regions was compared between the two groups during reflex and autonomous swallowing. Swallowing function was evaluated using the penetration-aspiration scale (PAS). **Results** MEP incubation in the bilateral suprahyoid muscles had decreased significantly after 4 weeks of treatment in the observation group, and the MEP amplitude in the bilateral suprahyoid muscles of the two groups had increased significantly. The average improvement in the amplitude and incubation in the observation group was significantly greater than in the control group. The average ApEn at C3, C4, P3, P4, T5 and T6 had increased significantly in both groups during both reflex and spontaneous swallowing, with the improvement in the observation group significantly greater. Swallowing function had improved significantly in both groups, but the average PAS grade of the observation group was again significantly better. **Conclusions** iTBS can improve the swallowing function of dysphagic cerebellar stroke survivors. This may be due to iTBS improving the excitability of the cerebral cortex and improving motor control of the

swallowing muscles.

【Key words】 Theta burst stimulation; Cerebellar stroke; Motor evoked potentials; Cerebral cortex excitability; Swallowing

Funding: The National Natural Science Foundation of China (81972159); Guangdong Natural Science Foundation (2020A1515010881); Henan Medical Science and Technology Research Plan (201702309)

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2021.12.010

吞咽障碍是脑卒中后常见并发症之一^[1-2]。目前尚未完全明确吞咽障碍的发生机制。相关研究认为,吞咽障碍的发生与迷走神经、舌咽神经和舌下神经核下性或核性损害所致的真性延髓麻痹,及皮质与双侧大脑皮质脑干束损害所致的假性延髓麻痹相关^[3-4]。有学者指出,中枢神经系统可塑性是吞咽功能恢复的关键环节,而大脑皮质具有调节机体吞咽功能的作用^[5-6]。小脑与大脑皮质、脑干存在广泛连接,通过整合接收到的感觉与运动信息,调控与吞咽活动相关肌群的精确性和协调性。

θ 短阵脉冲刺激(θ burst stimulation, TBS)是一种新型模式化重复经颅磁刺激,具有耗时短、强度低、效应强等特点,引起兴奋效应的间歇性 TBS(intermittent theta burst stimulation, iTBS)是 TBS 的类型之一。研究认为, iTBS 能有效提高运动皮质兴奋性,但其在吞咽相关脑皮质中枢作用机制的报道较少^[7-8]。运动诱发电位(motor evoked potential, MEP)不仅可用于判断大脑运动皮质的兴奋性,还能反映中枢传导通路的功能变化^[9]。ApEn 可用于评估皮质活动兴奋性,动态呈现大脑功能活动的变化轨迹,为采用经颅直流电刺激、经颅磁刺激等方式治疗吞咽障碍提供客观依据^[10]。本研究尝试从大脑皮质兴奋性和吞咽肌群运动诱发电位两个方面,探讨小脑 iTBS 刺激对小脑卒中吞咽功能障碍患者的影响及机制。

资料和方法

一、研究对象

纳入标准:①符合脑卒中诊断标准,经头颅 CT 或磁共振成像等检查,诊断为首次小脑卒中;②通过临床症状、视频透视吞咽检查(videofluoroscopic swallowing study, VFSS)证实伴有吞咽障碍;③年龄 18~80 岁;④发病时间 14 d~3 个月;⑤签署知情同意书。

排除标准:①金属植入物或心脏装有起搏器者;②咽喉部器质性病变;③脑卒中发生前已存在吞咽

功能障碍;④合并心肝肺等其他重要脏器损害;⑤近 12 周内服用镇静剂、肌松剂等影响吞咽功能药物服用史;⑥存在血管性痴呆、阿尔茨海默病或抑郁症、躁狂症等精神疾病者。本研究通过院伦理委员会审核批准(201966)。

选取小脑卒中合并吞咽障碍的患者 62 例,采用随机数字表法将其分为观察组(32 例)和对照组(30 例)。观察组有 2 例患者因治疗过程中出现头痛、视物重影而脱落,1 例因康复依从性差被剔除。对照组 1 例患者因配合度不佳被剔除。2 组各有 29 例患者完成研究。2 组患者性别、年龄、病程、卒中类型等一般资料比较,差异无统计学意义($P>0.05$),具有可比性,详见表 1。

二、治疗方法

1. 常规吞咽功能训练:2 组患者均予以常规吞咽康复训练。①呼吸锻炼——通过手法介入加强呼气末腹部推压、吹水泡、缩口呼吸等训练,增强吞咽时的呼吸控制能力;②头颈部调控训练——进食前及锻炼前,最大限度放松头颈部,并按照患者耐受度,适度增大头颈部活动范围;③口腔运动训练——指导患者进行口唇闭锁、下颌开合、舌部移动等训练;④口腔感觉训练——吞咽前在腭舌弓给予冰、酸感觉刺激和口面部震动刺激,并进行喂水、空咽等吞咽动作锻炼,加强口腔知觉、唇部力量;⑤其他训练——进行咳嗽训练、声门收紧训练、软腭训练、进食训练。每次 30 min,每日 2 次,共进行 4 周。

2. iTBS 刺激:除进行上述常规吞咽康复训练外,观察组予以健侧小脑 iTBS 刺激。选用 CCY-IIN 型经颅磁刺激仪及“8”字形磁刺激线圈,刺激部位均为枕骨粗隆下 1 cm、旁开 3 cm。刺激强度控制在 80%静息运动阈值(10 次刺激中至少有 5 次能够产生 MEP),基本刺激频率为 5 Hz,每隔 200 ms 予以 1 个短阵刺激(含有 3 个 50 Hz 单脉冲),每 10 个短阵刺激间隔 8 s,共 600 个脉冲,刺激时间为 200 s。对照组予以假刺

表 1 2 组患者的一般临床资料

组别	例数	性别(例)		年龄(岁, $\bar{x}\pm s$)	病程(d, $\bar{x}\pm s$)	卒中类型(例)	
		男	女			脑出血	脑梗死
观察组	29	16	13	58.26±4.65	29.28±4.86	7	22
对照组	29	19	10	56.33±6.27	27.33±6.18	4	25

激,刺激部位、强度及参数与观察组相同,但线圈平面垂直于患者头部,边缘与头皮接触,治疗时患者仅听到“啪嗒”声,但无有效刺激。每日 1 次,每次 200 s,每周 5 d,共 4 周。

三、观察指标

1.舌骨上肌群 MEP 潜伏期和波幅:治疗前及治疗 4 周后,嘱患者自然放松,取端坐位,将磁刺激线圈置于一侧半球运动皮质的体表投影区,并与头皮相切,移动线圈,以 70% 输出强度予以单脉冲刺激,线圈每次移动 5~10 mm,持续 5 次刺激所诱发的 MEP 波幅最大位置,即为舌骨上肌群 MEP 最佳记录点。

2.大脑皮质兴奋性:治疗前及治疗 4 周后,采用 Nation9128W 数字化脑电图机,根据国际通用的 10/20 系统,于大脑左右双侧中央(C3、C4)、顶部(P3、P4)、后颞(T5、T6)6 个部位放置电极片,连接电极,叮嘱患者进食半固体硫酸钡调配食物(10 ml),观察反射性吞咽、自主性吞咽状态下 10 段无伪迹脑电信号,分析非线性指数近似熵(approximate entropy, ApEn),ApEn 值越大,表示大脑皮质兴奋性越高。

3.吞咽功能:采用渗漏-误吸量表(penetration-aspiration scale, PAS)^[11-13]对 2 组患者治疗前、治疗 4 周后的吞咽功能进行评估。PAS 分级将误吸程度分为 8 级,1 级代表食物未进入气道,8 级代表食物抵达气道声带以下且无法清除。

四、统计学方法

采用 SPSS 22.0 版统计学软件处理数据,计量资料以($\bar{x}\pm s$)形式表示,先对数据进行正态性检验,符合正态分布的数据采用 *t* 检验,不符合正态分布的数据

采用秩和检验。计数资料用[例(%)]形式表示,等级资料采用 χ^2 检验。 $P<0.05$ 表示差异有统计学意义。

结 果

一、2 组患者治疗前、治疗 4 周后双侧舌骨上肌群 MEP 潜伏期和波幅比较

治疗前,2 组患者双侧舌骨上肌群 MEP 潜伏期和波幅比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。与组内治疗前比较,观察组治疗 4 周后双侧舌骨上肌群 MEP 潜伏期下降($P<0.05$)。治疗 4 周后,2 组患者双侧舌骨上肌群 MEP 波幅较治疗前升高($P<0.05$);与对照组比较,观察组双侧舌骨上肌群 MEP 潜伏期较低、波幅较高($P<0.05$)。详见表 2。

二、2 组患者治疗前、治疗 4 周后的脑电活动 ApEn 比较

治疗前,2 组患者反射性吞咽、自主性吞咽状态下 C3、C4、P3、P4、T5、T6 ApEn 比较,差异均无统计学意义($P>0.05$)。与组内治疗前比较,2 组患者治疗 4 周后反射性吞咽、自主性吞咽状态下 C3、C4、P3、P4、T5、T6 ApEn 升高($P<0.05$)。观察组治疗 4 周后反射性吞咽、自主性吞咽状态下 C3、C4、P3、P4、T5、T6 ApEn 高于对照组($P<0.05$)。详见表 3、表 4。

三、2 组患者治疗前、治疗 4 周后吞咽功能 PAS 分级比较

治疗前,2 组患者 PAS 分级比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。治疗 4 周后,2 组患者吞咽功能改善($P<0.05$)。与对照组比较,观察组治疗 4 周后吞咽功能较为优异($P<0.05$)。详见表 5。

表 2 2 组患者治疗前、治疗 4 周后双侧舌骨上肌群 MEP 潜伏期和波幅比较($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	潜伏期(ms)		波幅(μV)	
		左侧	右侧	左侧	右侧
观察组					
治疗前	29	25.78 $\pm$ 1.85	25.59 $\pm$ 2.06	218.54 $\pm$ 83.61	229.72 $\pm$ 93.61
治疗 4 周后	29	23.41 $\pm$ 3.04 ^{ab}	23.28 $\pm$ 3.64 ^{ab}	342.76 $\pm$ 98.57 ^{ab}	367.49 $\pm$ 116.84 ^{ab}
对照组					
治疗前	29	24.92 $\pm$ 2.04	24.87 $\pm$ 3.05	225.83 $\pm$ 76.44	232.61 $\pm$ 86.47
治疗 4 周后	29	24.19 $\pm$ 2.05	24.07 $\pm$ 2.50	285.82 $\pm$ 90.62 ^a	305.76 $\pm$ 102.35 ^a

注:与组内治疗前比较,^a $P<0.05$;与对照组治疗 4 周后比较,^b $P<0.05$

表 3 2 组患者治疗前、治疗 4 周后反射性吞咽状态下脑电活动 ApEn 比较($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	反射性吞咽状态下 ApEn					
		C3	C4	P3	P4	T5	T6
观察组							
治疗前	29	0.72 $\pm$ 0.05	0.83 $\pm$ 0.04	0.80 $\pm$ 0.09	0.75 $\pm$ 0.04	0.82 $\pm$ 0.09	0.81 $\pm$ 0.08
治疗 4 周后	29	0.91 $\pm$ 0.10 ^{ab}	0.95 $\pm$ 0.08 ^{ab}	0.90 $\pm$ 0.07 ^{ab}	0.94 $\pm$ 0.12 ^{ab}	0.98 $\pm$ 0.11 ^{ab}	0.95 $\pm$ 0.10 ^{ab}
对照组							
治疗前	29	0.71 $\pm$ 0.06	0.84 $\pm$ 0.05	0.81 $\pm$ 0.10	0.76 $\pm$ 0.05	0.83 $\pm$ 0.08	0.82 $\pm$ 0.07
治疗 4 周后	29	0.82 $\pm$ 0.06 ^a	0.89 $\pm$ 0.04 ^a	0.86 $\pm$ 0.05 ^a	0.85 $\pm$ 0.09 ^a	0.90 $\pm$ 0.10 ^a	0.88 $\pm$ 0.05 ^a

注:与组内治疗前比较,^a $P<0.05$;与对照组治疗 4 周后比较,^b $P<0.05$

表 4 2 组患者治疗前、治疗 4 周后自主性吞咽状态下脑电活动 ApEn 比较 ($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	自主性吞咽状态下 ApEn					
		C3	C4	P3	P4	T5	T6
观察组							
治疗前	29	0.80±0.05	0.91±0.07	0.76±0.09	0.93±0.04	0.88±0.05	0.92±0.10
治疗 4 周后	29	0.98±0.12 ^{ab}	1.15±0.13 ^{ab}	1.01±0.10 ^{ab}	1.16±0.11 ^{ab}	1.08±0.09 ^{ab}	1.37±0.15 ^{ab}
对照组							
治疗前	29	0.81±0.05	0.92±0.10	0.77±0.08	0.94±0.05	0.89±0.06	0.93±0.08
治疗 4 周后	29	0.94±0.08 ^a	0.99±0.12 ^a	0.95±0.09 ^a	1.05±0.09 ^a	1.00±0.08 ^a	1.18±0.10 ^a

注:与组内治疗前比较,^a $P<0.05$;与对照组治疗 4 周后比较,^b $P<0.05$

表 5 2 组患者治疗前、治疗 4 周后吞咽功能 PAS 分级比较 (级, $\bar{x}\pm s$)

组别	例数	治疗前	治疗 4 周后
观察组	29	4.65±1.50	1.83±0.72 ^a
对照组	29	4.31±1.69	2.58±0.97 ^a

注:与对照组治疗 4 周后比较,^a $P<0.05$

讨 论

本研究结果显示,小脑 iTBS 治疗 4 周后,观察组患者双侧舌骨上肌群 MEP 波幅较对照组高,潜伏期较对照组低,反射性吞咽、自主性吞咽状态下 C3、C4、P3、P4、T5、T6 ApEn 均高于对照组。提示在常规吞咽训练基础上加用小脑 iTBS 刺激,对改善小脑卒中合并吞咽障碍患者的吞咽肌群 MEP、提高大脑皮质兴奋性有一定积极效应。

吞咽功能作为一项较为复杂的感觉运动活动,多依赖于大脑皮质、脑干吞咽中枢等的相互作用^[14]。大脑皮质在吞咽启动、规划、执行过程中起着重要作用^[15-16]。有研究指出,未受损半球咽肌吞咽运动皮质可能与脑卒中后吞咽障碍存在一定关系^[17]。小脑作为联络中枢,通过神经纤维束与初级运动皮质(M1)、补充运动区、扣带回皮质和基底节等部位产生联系,进而通过齿状核-丘脑投射,影响多种功能^[18]。有研究采用磁共振功能成像技术,观察到吞咽时小脑区被激活,小脑血流量明显增加^[19-20]。也有研究指出,增加感觉传入可修饰并改变吞咽运动皮质代表区,改善大脑皮质兴奋性,有助于促进小脑梗死合并吞咽障碍患者康复^[21]。因此,我们推测小脑参与了吞咽过程的神经生理调控。

在小脑经颅磁刺激的应用研究方面,Sasegbon 等^[22]研究证实,10 Hz 的小脑重复经颅磁刺激能够促进皮质损害恢复,改善神经生理及行为反应,表明其对脑卒中后吞咽障碍具有潜在的治疗作用。也有部分研究发现,将重复经颅磁刺激应用于小脑特定部位,可以诱发咽部运动诱发电位,其改善咽部运动功能的最佳刺激部位在枕骨粗隆下 2.5 cm 和外侧 4.3 cm^[23-24]。iTBS 通过特定频率的重复磁刺激,可能激发突触传递

功能长时程增强效应,迅速增强皮质兴奋性,且其效应可持续 1 h 左右^[25]。鉴于此,本研究认为采用 iTBS 刺激小脑,一方面可提高皮质兴奋性,促进健侧大脑半球吞咽代偿功能改善;另一方面小脑与低位脑干存在双向纤维联系,不仅可以与前庭核、红核等共同调控吞咽肌群活动,还能精确协调吞咽肌群活动,启动及调控吞咽动作。此外,采用 iTBS 刺激上述部位,可能在短期内激发长时程增强效应,控制脑内神经元活动,调节脑内葡萄糖代谢,降低皮质兴奋阈值,提高大脑皮质兴奋性,增强大脑可塑性,进而增强皮质对口腔、舌、咽部运动的支配,改善吞咽功能。PAS 分级结果也表明,经过 4 周的 iTBS 健侧小脑刺激,受试者的吞咽功能 PAS 分级较治疗前提高,且观察组优于对照组,提示 iTBS 通过神经调控使患者的吞咽功能得到了改善。

既往研究发现,小脑 iTBS 刺激在脑卒中功能恢复中有一定作用,但大多倾向于运动与认知功能方面^[26-27]。本研究结果显示,小脑 iTBS 刺激对小脑卒中合并吞咽障碍的患者具有积极作用,有助于减轻患者的吞咽功能障碍,提高生活质量,其机制可能与大脑皮质兴奋性提高、吞咽肌群运动控制能力改善有关。目前,对小脑刺激的研究尚处于初级阶段,较多理论机制并未完全阐明,如小脑刺激在脑功能重建中的作用、及小脑刺激增加大脑半球皮质间联系的具体机制等,还需进一步深入探讨。本研究样本量小,评估仅采用电生理指标,较为单一,今后需进行大样本多中心研究,并结合神经影像学手段揭示其神经调控机制。

参 考 文 献

- [1] 常娥. 神经肌肉电刺激联合摄食训练在脑卒中后吞咽障碍病人中的应用效果[J]. 中西医结合心脑血管病杂志, 2020, 18(2): 337-340. DOI: 10.12102/j.issn.1672-1349.2020.02.038.
- [2] Konecny P, Elfmark M. Electrical stimulation of hyoid muscles in post-stroke dysphagia[J]. Biomed Pap Med Fac Univ Palacky Olomouc Czech Repub, 2018, 162(1): 40-42. DOI: 10.5507/bp.2017.043.
- [3] 杨晨, 张俊, 孙菲, 等. 经颅直流电刺激治疗脑卒中后真假性球麻痹吞咽障碍的疗效观察[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2020, 42(3): 199-204. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2020.03.003.
- [4] 曹芳, 杨春林, 李妍怡, 等. 脑卒中后假性球麻痹致吞咽障碍治

- 疗进展[J]. 中医药临床杂志, 2020, 32(9): 1614-1618. DOI: 10.16448/j.cjcm.2020.0904.
- [5] 徐涵, 吴霜. 卒中后吞咽神经功能代偿与重塑的机制研究进展[J]. 中国康复, 2020, 35(4): 212-216. DOI: 10.3870/zgkf.2020.04.012.
- [6] 莫昊风, 冯毅刚, 管玉芳, 等. 吞咽中枢环路激活的时空特性研究[J]. 中华行为医学与脑科学杂志, 2020, 29(7): 648-652. DOI: 10.3760/cma.j.cn371468-20200423-01300.
- [7] 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. DOI: 10.1111/ejn.14077.
- [8] Tse NY. The effect of stimulation interval on plasticity following repeated blocks of intermittent theta burst stimulation [J]. *Sci Rep*, 2018, 8(1): 8526. DOI: 10.1038/s41598-018-26791-w.
- [9] Tang ZM, Xuan CY, Li X, et al. Effect of different pulse numbers of transcranial magnetic stimulation on motor cortex excitability: single-blind, randomized cross-over design [J]. *CNS Neurosci Ther*, 2019, 25(11): 1277-1281. DOI: 10.1111/cns.13248.
- [10] 金海鹏, 李相良, 叶清景, 等. 双侧头针电刺激对皮质型卒中后吞咽障碍患者吞咽造影时间学参数和皮质兴奋性的影响[J]. 针刺研究, 2020, 45(6): 473-479. DOI: 10.13702/j.1000-0607.190697.
- [11] 赵锦颖, 韩宇洲. 标准吞咽功能评估量表联合标准饮食护理在脑血管病吞咽障碍患者中的应用价值[J]. 河北医药, 2019, 41(13): 2066-2069. DOI: 10.3969/j.issn.1002-7386.2019.13.036.
- [12] Borders JC, Brates D. Use of the penetration-aspiration scale in dysphagia research: a systematic review [J]. *Dysphagia*, 2020, 35(4): 583-597. DOI: 10.1007/s00455-019-10064-3.
- [13] Kraus EM, Rommel N, Stoll LH, et al. Validation and psychometric properties of the german version of the SWAL-QOL [J]. *Dysphagia*, 2018, 33(4): 431-440. DOI: 10.1007/s00455-017-9872-5.
- [14] 吴昊月, 罗红玲, 祝乐群, 等. 吞咽功能磁共振成像的研究进展[J]. 中国康复, 2020, 35(6): 325-328. DOI: 10.3870/zgkf.2020.06.011.
- [15] Li M, Wang L, Xu N, et al. Effect of electro-acupuncture on lateralization of the human swallowing motor cortex excitability in healthy subjects: study protocol for a single-blind, randomized controlled trial [J]. *Trials*, 2019, 20(1): 180. DOI: 10.1186/s13063-019-3267-x.
- [16] Li Y, Feng H, Li J, et al. The effect of transcranial direct current stimulation of pharyngeal motor cortex on swallowing function in patients with chronic dysphagia after stroke: a retrospective cohort study [J]. *Medicine (Baltimore)*, 2020, 99(10): e19121. DOI: 10.1186/s13063-019-3267-x.
- [17] 欧阳瑶, 朱其秀, 阎文静, 等. 高频重复经颅磁刺激对单侧大脑半球卒中后患者吞咽障碍的影响[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2019, 41(4): 261-265. DOI: 10.1097/MD.00000000000019121.
- [18] Strick PL, Dum RP, Fiez JA. Cerebellum and nonmotor function [J]. *Annu Rev Neurosci*, 2009, 32(1): 413-434. DOI: 10.1146/annurev.neuro.31.060407.125606.
- [19] Toogood JA, Barr AM, Stevens TK, et al. Discrete functional contributions of cerebral cortical foci in voluntary swallowing: a functional magnetic resonance imaging (fMRI) "Go, No-Go" study [J]. *Exp Brain Res*, 2005, 161(1): 81-90. DOI: 10.1007/s00221-004-2048-1.
- [20] Reinges M, Krings T, Meyer PT, et al. Preoperative mapping of cortical motor function: prospective comparison of functional magnetic resonance imaging and [¹⁵O]-H₂O-positron emission tomography in the same co-ordinate system [J]. *Nucl Med Commun*, 2004, 25(10): 987. DOI: 10.1097/00006231-200410000-00002.
- [21] 蔡倩, 杨玺, 孙武东, 等. 双侧高频重复性经颅磁刺激治疗脑卒中后吞咽障碍的疗效观察[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2019, 41(12): 932-934. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2019.12.013.
- [22] Sasegbon A, Watanabe M, Simons A, et al. Cerebellar repetitive transcranial magnetic stimulation restores pharyngeal brain activity and swallowing behaviour after disruption by a cortical virtual lesion [J]. *J Physiol*, 2019, 597(9): 2533-2546. DOI: info: doi/10.1113/JP277545.
- [23] Jayasekeran V, Rothwell J, Hamdy S. Non-invasive magnetic stimulation of the human cerebellum facilitates cortico-bulbar projections in the swallowing motor system [J]. *Neurogastroenterol Motil*, 2011, 23(9): 831-841. DOI: 10.1111/j.1365-2982.2011.01747.x
- [24] Vasant DH, Michou E, Mistry S, et al. High-frequency focal repetitive cerebellar stimulation induces prolonged increases in human pharyngeal motor cortex excitability [J]. *J Physiol*, 2015, 593(22): 4963-4977. DOI: 10.1113/JP270817.
- [25] 殷稚飞, 詹玉明, 戴文骏, 等. 重复经颅磁刺激调控运动皮质兴奋性的影响因素分析[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2014, 36(2): 144-146. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2014.02.018.
- [26] Koch G, Bonni S, Casula EP, et al. Effect of cerebellar stimulation on gait and balance recovery in patients with hemiparetic stroke: a randomized clinical trial [J]. *JAMA Neurol*, 2019, 76(2): 170-178. DOI: 10.1001/jamaneurol.2018.3639.
- [27] 仪文斌, 朱其秀, 汤乃苏, 等. 间歇性 θ 短阵快速脉冲经颅磁刺激对脑卒中患者抑郁情绪及认知功能的影响[J]. 精准医学杂志, 2020, 35(4): 347-350. DOI: 10.13362/j.jpmed.202004016.

(修回日期: 2021-11-03)

(本文编辑: 凌琛)