

- [10] Hernández ED, Galeano CP, Barbosa NE, et al. Intra- and inter-rater reliability of Fugl-Meyer assessment of upper extremity in stroke [J]. J Rehabil Med, 2019, 51(9): 652-659. DOI: 10.2340/16501977-2590.
- [11] 张妍昭, 黄琴, 王刚, 等. 香港版偏瘫上肢功能测试评定脑卒中患者上肢功能的效度和信度研究[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2016, 38(11): 826-829. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2016.11.007.
- [12] Tekgul H, Saz U, Yilmaz S, et al. A transcranial magnetic stimulation study for the investigation of corticospinal motor pathways in children with cerebral palsy [J]. J Clin Neurosci, 2020, 78: 153-158. DOI: 10.1016/j.jocn.2020.04.087.
- [13] Ruffino C, Papaxanthis C, Lebon F. Neural plasticity during motor learning with motor imagery practice: review and perspectives [J]. Neuroscience, 2017, 341: 61-78. DOI: 10.1016/j.neuroscience.2016.11.023.
- [14] Hoonhorst MH, Nijland RH, Emmelot CH, et al. TMS-induced central motor conduction time at the non-infarcted hemisphere is associated with spontaneous motor recovery of the paretic upper limb after severe stroke [J]. Brain Sci, 2021, 11(5): 648. DOI: 10.3390/brainsci11050648.
- [15] Macintyre TE, Madan CR, Moran AP, et al. Motor imagery, performance and motor rehabilitation [J]. Prog Brain Res, 2018, 240: 141-159. DOI: 10.1016/bs.pbr.2018.09.010.
- [16] 王鹤玮, 贾杰, 孙莉敏. 运动想象疗法在脑卒中患者上肢康复中的应用及其神经作用机制研究进展[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2019, 41(6): 473-476. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2019.06.019.
- [17] Irie S, Nakajima T, Suzuki S, et al. Motor imagery enhances corticospinal transmission mediated by cervical premotoneurons in humans [J]. J Neurophysiol, 2020, 124(1): 86-101. DOI: 10.1152/jn.00574.2019.
- [18] Foysal KM, Baker S N. Induction of plasticity in the human motor system by motor imagery and transcranial magnetic stimulation [J]. J Physiol, 2020, 598(12): 2385-2396. DOI: 10.1113/JP279794.
- [19] Du J, Yang F, Hu J, et al. Effects of high- and low-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation on motor recovery in early stroke patients: evidence from a randomized controlled trial with clinical, neurophysiological and functional imaging assessments [J]. Neuroimage Clin, 2019, 21: 101620. DOI: 10.1016/j.nicl.2018.101620.
- [20] Sun Y, Wei W, Luo Z, et al. Improving motor imagery practice with synchronous action observation in stroke patients [J]. Top Stroke Rehabil, 2016, 23(4): 245-253. DOI: 10.1080/10749357.2016.1141472.
- [21] Grabherr L, Jola C, Berra G, et al. Motor imagery training improves precision of an upper limb movement in patients with hemiparesis [J]. NeuroRehabilitation, 2015, 36(2): 157-166. DOI: 10.3233/NRE-151203.
- [22] Bashir S, Vernet M, Najib U, et al. Enhanced motor function and its neurophysiological correlates after navigated low-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation over the contralesional motor cortex in stroke [J]. Restor Neurol Neurosci, 2016, 34(4): 677-689. DOI: 10.3233/RNN-140460.
- [23] Guggenberger R, Kraus D, Naros G, et al. Extended enhancement of corticospinal connectivity with concurrent cortical and peripheral stimulation controlled by sensorimotor desynchronization [J]. Brain Stimul, 2018, 11(6): 1331-1335. DOI: 10.1016/j.brs.2018.08.012.

(修回日期: 2022-05-26)

(本文编辑: 凌琛)

## 重复经颅磁刺激联合表面肌电生物反馈对脑卒中后 吞咽障碍患者吞咽功能的影响

杨奎 蔡倩 徐亮 刘进 马明

东南大学附属中大医院康复医学科, 南京 210009

通信作者: 马明, Email: nj9868@163.com

**【摘要】** 目的 观察重复经颅磁刺激(rTMS)联合表面肌电生物反馈(sEMG-BF)治疗脑卒中后吞咽障碍的疗效。方法 选取脑卒中后吞咽障碍患者60例,按随机数字表分为sEMG-BF组、rTMS组和联合治疗组,每组20例。3组患者均常规吞咽障碍治疗方法,sEMG-BF组在此基础上增加sEMG-BF治疗,rTMS组增加rTMS治疗,联合组则增加sEMG-BF与rTMS的联合治疗。rTMS和sEMG-BF治疗均每日1次,每次15min,每周治疗5d,连续治疗4周。于治疗前和治疗4周后(治疗后),对3组患者行吞咽造影检查(VFSS),并采用渗透-误吸量表(PAS)、功能性经口摄食量表(FOIS)进行疗效评估。结果 治疗后,3组患者的PAS评分和FOIS评分较组内治疗前均显著改善,差异均有统计学意义( $P<0.05$ ),且联合组治疗后的PAS评分和FOIS评分分别为(2.29±1.17)分和(4.95±1.15)分,显著优于sEMG-BF组和rTMS组治疗后( $P<0.05$ )。结论 在常规吞咽功能训练的基础上增加rTMS和sEMG-BF联合干预,可显著改善脑卒中后吞咽障碍患者的吞咽功能。

**【关键词】** 脑卒中; 吞咽障碍; 重复经颅磁刺激; 表面肌电生物反馈**基金项目:**南京市体育局科研项目(NJTY2018-202);南京市卫生科技发展专项资金项目(YKK19163)

**Funding:** Scientific Research Project of Nanjing Sports Bureau (NJTY2018-202); Nanjing Health Science and Technology Development Foundation (YKK19163)

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2022.07.006

吞咽障碍是脑卒中后常见的并发症之一。据报道,急性脑卒中患者吞咽障碍的发生率为 37%~78%<sup>[1]</sup>。研究证实,吞咽障碍不仅会导致脑卒中患者出现营养不良、脱水、吸入性肺炎或窒息等不良状况,影响其生活质量和功能恢复<sup>[2]</sup>,还是脑卒中患者并发症发生率和死亡率增加的独立危险因素之一<sup>[3]</sup>。

最为常见的吞咽障碍阶段是咽期吞咽障碍,通常由于喉上抬和舌骨前移不充分导致会厌翻转不完全、食管上括约肌打开空间不够或时间不足,造成吞咽过程中食物在咽部残留甚至误吸入气道。目前,针对咽期吞咽障碍的治疗方法多需要患者的主动参与,如表面肌电生物反馈疗法(surface electromyographic biofeedback, sEMG-BF),该疗法可利用视觉、听觉反馈信号引导患者进行自我训练,促进脑卒中后神经功能的重组和重塑<sup>[4]</sup>。多项研究发现,sEMG-BF 可改善脑卒中后吞咽障碍患者的吞咽功能<sup>[5-6]</sup>。

非优势半球的损伤对患者吞咽功能的影响相对小,一般可自然恢复,而优势半球病变患者可能遗留长时间的吞咽障碍<sup>[7]</sup>。有研究表明,脑卒中后吞咽功能的恢复是由未受损的运动(吞咽)皮质半球代偿性神经元可塑性活动的增加所致<sup>[7]</sup>。因此,将高频重复经颅磁刺激(repetitive transcranial magnetic stimulation, rTMS)作用于健侧大脑半球的皮质,可通过调节其兴奋性来改善脑卒中后吞咽功能<sup>[8]</sup>。

本研究采用 rTMS 联合 sEMG-BF 对脑卒中后吞咽障碍患者进行了干预,取得了满意疗效。报道如下。

## 资料与方法

### 一、研究对象

纳入标准:①符合全国第四届脑血管疾病会议制订的脑卒中诊断标准<sup>[9]</sup>,并经头颅 CT 或 MRI 检查证实;②单侧脑卒中,首次发病;③病程 3 周至 3 个月;④吞咽障碍持续 2 周以上;⑤洼田饮水试验阳性,经吞咽造影检查(videofluoroscopic swallowing study, VFSS)存在包括咽期障碍的吞咽困难表现。

排除标准:①既往有吞咽障碍病史;②既往有癫痫病史;③颅内金属植入物或植入心脏起搏器;④存在颅内出血倾向、恶性肿瘤等;⑤严重听理解障碍。

选取 2020 年 2 月至 2021 年 1 月在东南大学附属中大医院康复医学科住院治疗且符合上述标准的脑卒中后吞咽障碍患者 60 例,按随机数字表法分为 sEMG-BF 组、rTMS 组和联合组,每组患者 20 例。3 组患者的性别、平均年龄、平均病程、偏瘫侧别、病变性质等一般资料组间比较,差异均无统计学意义( $P > 0.05$ ),具有可比性,详见表 1。本研究经东南大学附属中大医

院伦理委员会审查批准,批件号:2020ZDSYLL212-P01。

### 二、治疗方法

3 组患者均采用常规吞咽障碍治疗方法,sEMG-BF 组在此基础上增加 sEMG-BF 治疗,rTMS 组增加 rTMS 治疗,联合组则增加 sEMG-BF 与 rTMS 的联合治疗。

1. 常规吞咽障碍治疗方法:包括口腔感觉训练、口腔运动训练、气道保护手法、吞咽技巧训练等。以上治疗方案每日 2 次,每次共 30 min,每周治疗 5 d,连续治疗 4 周。

2. sEMG-BF 治疗:选用南京产 MLD-B4S 型生物刺激反馈仪。首先测试患者吞咽阈值,患者取坐位,使用酒精擦拭颈前皮肤,降低电阻,两个记录电极放置在两侧舌骨上肌群处,参考电极放置于下颌角处。嘱患者自然空吞咽(吞咽唾液)5 次,仪器软件记录患者的吞咽峰值,取平均值,然后设定 110% 吞咽峰值作为训练阈值。治疗开始后,用注射器向口腔中注入 0.2 ml~0.5 ml 的清水,要求患者用力吞咽,当肌肉收缩产生的电信号达到或超过训练阈值时,会奖励性给予 1 次持续 5 s 的低频电刺激,然后提示患者放松 10 s,重复以上治疗<sup>[10]</sup>。sEMG-BF 每日治疗 1 次,每次共 15 min,每周治疗 5 d,连续治疗 4 周。

3. rTMS 方法:选用河南产 YD-MT500 经颅磁刺激治疗仪,选择“8”型线圈。将记录电极置于下颌与舌骨中部连线中点偏健侧 2 cm 处,参考电极置于下颌角,地线置于前臂远端,给予健侧大脑半球舌骨上肌群运动皮质代表区 70% 最大强度单脉冲刺激,寻找可以诱发最大运动诱发电位(motor evoked potential, MEP)波幅的部位,即为最佳刺激热点,并在颅骨上标记,在此热点处逐渐减少刺激强度,直至 10 次连续刺激中至少 5 次 MEP 波幅  $> 50 \mu\text{V}$ ,此最小刺激强度即为患者的静息运动阈值(resting motor threshold, RMT)<sup>[11]</sup>。治疗时,患者取舒适坐位,将线圈中心置于舌骨上肌群运动皮质热点处,参数选择为,刺激频率 5 Hz,刺激强度 120% RMT,刺激 2 s,间歇 10 s,共 800 个脉冲。rTMS 治疗每日 1 次,每次 15 min,每周治疗 5 d,连续治疗 4 周。

### 三、疗效评定方法

治疗前和治疗 4 周后,采用渗透-误吸量表(penetration-aspiration scale, PAS)和功能性经口摄食量表(functional oral intake scale, FOIS)评估 3 组患者的吞咽功能。

1. PAS 评分<sup>[12]</sup>:采用德国西门子公司生产 800 mA 型的 X 线摄影机对患者进行 VFSS 检查。嘱患者饮下 5 ml 由 60% 浓度硫酸钡调制的蜂蜜状造影剂,在 X 线透视下于侧坐位和前、后坐位观察患者吞咽过程。根据 VFSS 下观察到的吞咽情况,由

表 1 3 组患者一般资料

组别	例数	性别(例)		平均年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$ )	平均病程 (d, $\bar{x} \pm s$ )	偏瘫侧别(例)		病变性质(例)	
		男	女			左侧	右侧	脑梗死	脑出血
sEMG-BF 组	20	12	8	61.2 $\pm$ 14.3	31.2 $\pm$ 11.9	13	7	13	7
rTMS 组	20	15	5	60.8 $\pm$ 12.7	32.9 $\pm$ 11.4	12	8	11	9
联合组	20	14	6	61.9 $\pm$ 15.4	30.8 $\pm$ 10.7	14	6	11	9

一名影像科医师和一名专业言语治疗师采用 PAS 量表对患者渗透和误吸情况进行评分(PAS 量表将渗透定义为造影剂进入喉前庭但未进入真声带以下,误吸定义为造影剂进入真声带以下)。PAS 量表按照严重程度分成 8 个等级,1 级为食物未进入气道;2 级为食物进入气道,存留在声带以上,并被清除出气道;3 级为食物进入气道,存留在声带以上,未被清除出气道;4 级为食物进入气道,附着在声带,并被清除出气道;5 级为食物进入气道,附着在声带,未被清除出气道;6 级为食物进入气道,进入声带以下,但可被清除出气道或清除入喉部;7 级为食物进入气道,进入声带以下,虽用力亦不能清除出气管;8 级为食物进入入气道声带以下,无用力清除表现。本研究将上述 8 个等级分别对应 1~8 分,PAS 评分越高表明误吸越严重,即吞咽障碍越重。

2. FOIS 评分<sup>[13]</sup>:FOIS 量表分 7 个等级,1 级为不能经口进食;2 级为依赖鼻饲管进食,进食极少量的食物或液体;3 级为需要依赖鼻饲管进食,经口进食单一质地的食物或液体;4 级为完全经口进食单一质地的食物或液体;5 级为完全经口进食多种质地的食物,但需要一些特殊的准备或代偿;6 级为完全经口进食多种质地的食物,不需要特殊的准备,但对特殊食物有限制;7 级为完全经口进食,无任何限制。本研究将上述 7 个等级分别对应 1~7 分,FOIS 评分越高则表明吞咽功能越好。

#### 四、统计学分析

采用 SPSS 20.0 版统计学软件对本研究所得数据进行分析,计量资料用( $\bar{x}\pm s$ )表示,组间比较用  $t$  检验,计数资料用  $\chi^2$  检验,以  $P<0.05$  为差异有统计学意义。

## 结 果

治疗前,3 组患者的 PAS 评分和 FOIS 评分组间比较,差异均无统计学意义( $P>0.05$ )。治疗后,3 组患者的 PAS 评分和 FOIS 评分较组内治疗前均显著改善,差异均有统计学意义( $P<0.05$ ),且联合组治疗后的 PAS 评分和 FOIS 评分显著优于 sEMG-BF 组和 rTMS 组治疗后, ( $P<0.05$ ),具体数据见表 2。

## 讨 论

本研究结果显示,sEMG-BF 联合 rTMS 可显著改善脑卒中后吞咽障碍患者的 PAS 评分和 FOIS 评分。该结果提示,直接作用于大脑中枢的高频 rTMS 联合外周信息输入的 sEMG-BF,对脑卒中后吞咽障碍的疗效显著,且疗效优于单纯的 rTMS 或 sEMG-BF 治疗。

喉上抬和舌骨前移是吞咽过程中及其重要的生理成分之一。喉部上抬可帮助会厌翻转,协助杓状软骨向下、向内和向前移动与会厌软骨底部碰触,挡住喉部入口,避免食物在通过

咽部时掉入喉部。舌骨前移牵引会厌软骨完全向下弯折,并帮助打开食管上括约肌。从解剖学上来看,舌骨和甲状软骨紧密相连,因此常被视为一整个功能性部位,为舌骨喉复合体。

舌骨喉复合体活动度的异常会造成咽期吞咽障碍,其根本原因在于参与咽期吞咽的相关肌群肌力减弱、吞咽启动延迟或不能、吞咽协同肌群节律性及时序性紊乱<sup>[14]</sup>,导致舌骨喉复合体活动度减少,食管上括约肌打开不充分,引起误吸等不良事件。有研究发现,sEMG-BF 可以提高舌骨喉复合体运动速率、延长食管上括约肌松弛持续时间和咽部收缩持续时间<sup>[10]</sup>。本研究中,sEMG-BF 组患者经舌骨上肌群 sEMG-BF 治疗 4 周后,其 PAS 评分和 FOIS 评分均较组内治疗前明显改善,结果表明,sEMG-BF 可减少脑卒中后吞咽障碍患者的误吸,改善其摄食功能。本课题组认为,sEMG-BF 的治疗机制可能包括:①肌电生物反馈可通过声音刺激、波形反馈、电刺激等形式促进患者吞咽肌群肌力和协调性的提高,帮助患者学习正确的吞咽收缩动作,建立正确的吞咽模式,加速吞咽运动反馈环路恢复<sup>[15-16]</sup>;②整个治疗过程患者积极主动参与,具有互动性、趣味性,可以提高患者的专注力和信心<sup>[17]</sup>,且通过设定目标值可以激发患者的训练动力,增强治疗效果<sup>[18]</sup>。

吞咽功能受双侧大脑皮质活动的调控,且存在吞咽优势半球,单侧半球卒中后的吞咽障碍可能是损伤了优势半球<sup>[19-20]</sup>。由于损伤侧半球吞咽通路被阻断,所以在实际操作中通常难以诱发出运动电位,无法找到准确的刺激点,影响治疗效果。有研究认为,脑卒中后吞咽功能的恢复在很大程度上与非受累侧半球皮质功能的重建有关<sup>[21]</sup>,兴奋未受累侧吞咽皮质可以改善吞咽功能,且兴奋性 rTMS 刺激健侧半球很少诱发癫痫<sup>[22]</sup>。基于以上原因,本研究采用 5 Hz 的 rTMS 作用于健侧大脑半球下颌舌骨肌皮质代表区,结果显示,患者的吞咽功能明显改善。该方案既可准确找到刺激点,且 5 Hz 的 rTMS 可更好地增加舌骨上肌群皮质兴奋性,抑制咽肌对应皮质中  $\gamma$ -氨基丁酸( $\gamma$ -aminobutyric acid, GABA)回路,促进长时程增强效应和谷氨酸增多<sup>[23-24]</sup>,加强健侧半球吞咽代偿功能,从而改善脑卒中后吞咽障碍患者的吞咽功能。

rTMS 对皮质兴奋性的调控需要联合反复的行为学训练才能诱导出明显的行为学效应<sup>[25]</sup>。在脑区激活的状态下,合理地运用针对性的功能训练方法,将起到事半功倍的效果。因此本实验将 5 Hz 的 rTMS 与 sEMG-BF 联合使用,其机制在于,高频 rTMS 可通过刺激大脑皮质调节上运动神经元兴奋性,激活相关功能脑区,提高可塑性;反复的 sEMG-BF 则可直接刺激周围神经系统和相关肌群,增强下运动神经元兴奋性,提高患者的运动控制,从而发挥对整个神经传导通路的兴奋性调节作用;同时通过外周的感觉和运动输入,可在大脑皮质相应部位形成兴奋灶,有助于大脑功能的重组或再塑<sup>[26]</sup>。这两种治疗方式相

表 2 3 组患者治疗前、后 PAS 评分和 FOIS 评分比较(分,  $\bar{x}\pm s$ )

组别	例数	PAS 评分		FOIS 评分	
		治疗前	治疗后	治疗前	治疗后
sEMG-BF 组	20	6.32±1.08	3.51±1.46 <sup>a</sup>	2.25±0.91	3.30±1.17 <sup>a</sup>
rTMS 组	20	6.09±1.41	4.85±1.72 <sup>a</sup>	2.40±0.82	4.15±1.35 <sup>a</sup>
联合组	20	6.30±1.25	2.29±1.17 <sup>ab</sup>	2.36±0.93	4.95±1.15 <sup>ab</sup>

注:与组内治疗前比较,<sup>a</sup> $P<0.05$ ;与 sEMG-BF 组和 rTMS 组治疗后比较,<sup>b</sup> $P<0.05$

辅相成,中枢干预和外周干预统筹,符合“中枢-外周-中枢”闭环康复理论,有助于增强康复效果<sup>[27]</sup>。

综上所述,在常规吞咽功能训练的基础上,增加 rTMS 与 sEMG-BF 联合治疗,可显著改善脑卒中后吞咽障碍患者的咽期吞咽功能,该方法安全有效,值得在临床上推广应用。

### 参 考 文 献

- [1] Martino R, Foley N, Bhogal S, et al. Dysphagia after stroke: incidence, diagnosis, and pulmonary complications [J]. *Stroke*, 2005, 36 ( 12 ): 2756-2763. DOI: 10.1161/01.STR.0000190056.76543.eb.
- [2] Suntrup-Krueger S, Kemmling A, Warnecke T, et al. The impact of lesion location on dysphagia incidence, pattern and complications in acute stroke [J]. *Eur J Neurol*, 2015, 22 ( 5 ): 832-838. DOI: 10.1111/ene.12670.
- [3] Ho CH, Lin WC, Hsu YF, et al. One-year risk of pneumonia and mortality in patients with poststroke dysphagia: a nationwide population-based study [J]. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 2018, 27 ( 5 ): 1311-1317. DOI: 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2017.12.017.
- [4] Rayegani SM, Raeissadat SA, Sedighipour L, et al. Effect of neurofeedback and electromyographic-biofeedback therapy on improving hand function in stroke patients. [J]. *Top Stroke Rehabil*, 2014, 21 ( 2 ): 137-151. DOI: 10.1310/tsr2102-137.
- [5] 闵瑜, 颜海霞, 黄志锐, 等. 肌电生物反馈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*, 2014, 36 ( 8 ): 583-586. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2014.08.003.
- [6] 王传杰. 肌电生物反馈治疗早期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 ( 4 ): 266-268. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2019.04.006.
- [7] Hamdy S, Aziz Q, Rothwell JC, et al. Recovery of swallowing after dysphagic stroke relate to functional reorganization in the intact motor cortex [J]. *Gastroenterology*, 1998, 115 ( 5 ): 1104-1112. DOI: 10.1016/s0016-5085(98)70081-2.
- [8] 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: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2019.04.005.
- [9] 中华神经科学会, 中华神经外科学会. 各类脑血管病诊断要点. *中华神经科杂志*, 1996, 29 ( 6 ): 379-380. DOI: 10.3760/j.issn:1006-7876.1996.06.006.
- [10] 杜新新, 王强, 孟萍萍, 等. 肌电生物反馈强化训练对脑卒中后吞咽障碍患者吞咽功能的影响 [J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2019, 41 ( 6 ): 411-415. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2019.06.003.
- [11] 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.
- [12] 赵殿兰, 王强, 孟萍萍, 等. 强化神经肌肉电刺激对脑卒中吞咽障碍患者吞咽功能及舌咽喉复合体运动速度的影响 [J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2017, 39 ( 6 ): 427-432. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2017.06.006.
- [13] Crary MA, Mann GD, Groher ME. Initial psychometric assessment of a functional oral intake scale for dysphagia in stroke patients. [J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2005, 86 ( 8 ): 1516-1520. DOI: 10.1016/j.apmr.2004.11.049.
- [14] Lee HY, Hong JS, Lee KC, et al. Changes in hyolaryngeal movement and swallowing function after neuromuscular electrical stimulation in patients with Dysphagia [J]. *Ann Rehabil Med*, 2015, 39 ( 2 ): 199-209. DOI: 10.5535/arm.2015.39.2.199.
- [15] Ludlow CL, Humbert I, Saxon K, et al. Effects of surface electrical stimulation both at rest and during swallowing in chronic pharyngeal Dysphagia [J]. *Dysphagia*, 2007, 22 ( 1 ): 1-10. DOI: 10.1007/s00455-006-9029-4.
- [16] 周士枋. 脑卒中后大脑可塑性研究及康复进展 [J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2002, 24 ( 7 ): 437-439. DOI: 10.3760/j.issn:0254-1424.2002.07.023.
- [17] 李志明, 黄茂雄, 李建廷, 等. 生物反馈治疗理论与吞咽障碍生物反馈治疗的现状与进展 [J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2009, 31 ( 12 ): 796-798. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2009.12.003.
- [18] Crary MA, Carnaby GD, Groher ME, et al. Functional benefits of dysphagia therapy using adjunctive sEMG biofeedback [J]. *Dysphagia*, 2004, 19 ( 3 ): 160-164. DOI: 10.1007/s00455-004-0003-8.
- [19] Koyama Y, Kodama M, Shimoda N, et al. Suprahyoid muscles motor evoked potentials in response to transcranial magnetic stimulation [J]. *Tokai J Exp Clin Med*, 2010, 35 ( 2 ): 70-77.
- [20] Hamdy S, Aziz Q, Rothwell JC, et al. The cortical topography of human swallowing musculature in health and disease [J]. *Nat Med*, 1996, 2 ( 11 ): 1217-1224. DOI: 10.1038/nm1196-1217.
- [21] Jefferson S, Mistry S, Michou E, et al. Reversal of a virtual lesion in human pharyngeal motor cortex by high frequency contralesional brain stimulation. [J]. *Gastroenterology*, 2009, 137 ( 3 ): 841-849. DOI: 10.1053/j.gastro.2009.04.056.
- [22] Hamdy S, Aziz Q, Rothwell JC, et al. Explaining oropharyngeal dysphagia after unilateral hemispheric stroke [J]. *Lancet*, 1997, 350 ( 9079 ): 682-692. DOI: 10.1016/S0140-6736(97)02068-0.
- [23] Park JW, Oh JC, Lee JW, et al. The effect of 5Hz high-frequency rTMS over contralesional pharyngeal motor cortex in post-stroke oropharyngeal dysphagia: a randomized controlled study. [J]. *Neurogastroenterol Motil*, 2013, 25 ( 4 ): 324-e250. DOI: 10.1111/nmo.12063.
- [24] Gow DW, Rothwell JC, Hobson A, et al. Induction of long-term plasticity in human swallowing motor cortex following repetitive cortical stimulation [J]. *Clin Neurophysiol*, 2004, 115 ( 5 ): 1044-1051. DOI: 10.1016/j.clinph.2003.12.001.
- [25] Sung WH, Wang CP, Chou CL, et al. Efficacy of coupling inhibitory and facilitatory repetitive transcranial magnetic stimulation to enhance motor recovery in hemiplegic stroke patients [J]. *Stroke*, 2013, 44 ( 5 ): 1375-1382. DOI: 10.1161/STROKEAHA.111.000522.
- [26] Coulas VL, Smith RC, Qadr SS, et al. Differentiating effortful and non-effortful swallowing with a neck force transducer: implications for the development of a clinical feedback system [J]. *Dysphagia*, 2009, 24 ( 1 ): 7-12. DOI: 10.1007/s00455-008-9157-0.
- [27] 张蓉, 金俏, 张俊霞, 等. 重复经颅磁刺激与对侧控制型功能性电刺激不同方式联用对脑梗死患者上肢功能的影响 [J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2019, 41 ( 8 ): 595-597. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2019.08.010.

(修回日期: 2022-05-30)

(本文编辑: 阮仕衡)