

经颅直流电刺激改善卒中后共济失调型 吞咽障碍的疗效观察*

袁 英¹ 汪 洁¹ 吴东宇^{2,4} 宋为群¹ 张大华¹ 程亦男¹ 陈 滢³ 赵钰婷¹ 张甜甜¹

摘要

目的:研究经颅直流电刺激(tDCS)改善卒中后共济失调型吞咽障碍的疗效。

方法:采用随机对照设计,将30例卒中后共济失调型吞咽障碍患者随机分为tDCS组和对照组,各15例。在外周经皮电刺激治疗的基础上,tDCS组进行小脑tDCS治疗,而对照组进行小脑tDCS假刺激治疗。比较两组患者治疗前、后的改良吞咽障碍能力评价表和吞咽障碍严重程度的变化。

结果:治疗前,两组患者的改良Masa吞咽能力评价和吞咽障碍严重程度分级的差异无显著性($P>0.05$)。治疗后,tDCS组和对照组的改良吞咽障碍能力评价和吞咽障碍严重程度分级值均有显著改善($P<0.05$),而且tDCS组的改善程度明显优于对照组($P<0.05$)。

结论:小脑阳极tDCS配合外周经皮电刺激治疗,可以更为明显地改善卒中后共济失调型吞咽障碍患者的吞咽功能,为共济失调型吞咽障碍的治疗提供了新的手段。

关键词 经颅直流电刺激;卒中;共济失调;吞咽障碍

中图分类号:R454.1 R743.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-1242(2015)-08-0765-06

Effects of transcranial direct current stimulation on ataxic dysphagia after stroke/YUAN Ying, WANG Jie, WU Dongyu, et al./Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2015, 30(8): 765—770

Abstract

Objective: To investigate the effect of transcranial direct current stimulation (tDCS) on ataxic dysphagia after stroke.

Method: Thirty patients after stroke were randomly divided into tDCS group ($n=15$) and control group ($n=15$). The tDCS group received anodal tDCS over bilateral cerebellum combined with transcutaneous electrical stimulation therapy, while control group received sham tDCS combined with transcutaneous electrical stimulation therapy. Modified Mann assessment of swallowing ability (MMASA) and swallow severity scale (SSS) were compared between the two groups before and after treatment.

Result: Before treatment, there was no significant difference in scores of MMASA and SSS between the two groups ($P>0.05$). Compared with pre-treatment, scores of MMASA and SSS improved significantly for tDCS group and control group after treatment ($P<0.05$), and scores of MMASA and SSS in tDCS group were better than those in control group.

Conclusion: Combined with transcutaneous electrical stimulation therapy, anodal tDCS over bilateral cerebellum may improve ataxic dysphagia. tDCS may provide a new tool for ataxic dysphagia.

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2015.08.003

*基金项目:国家自然科学基金资助项目(81171011, 81272173);首都临床特色应用研究(Z121107001012144);国家科技支撑计划(2013BAH14F03);北京市海淀区支持核心区自主创新和产业发展专项资金支持海淀区社会事业研发专项项目(S2013013);首都医科大学宣武医院院级课题

1 首都医科大学宣武医院康复医学科,北京,100053; 2 中日友好医院康复医学科; 3 北京中关村医院康复医学科; 4 通讯作者
作者简介:袁英,女,在读博士,主治医师; 收稿日期:2014-10-09

Author's address Department of Rehabilitation Medicine, Xuanwu Hospital, Capital Medical University, Beijing, 100053

Key word transcranial direct current stimulation; stroke; ataxia; dysphagia

脑卒中的世界平均发病率约为200/10万人口·年,目前已经升为我国第一位死因;脑卒中还具有高致残率和高复发率的特点;共济失调是脑卒中,尤其是小脑卒中后最常见的症状和体征^[1-2]。由于小脑通过抑制大脑运动皮质活动(即小脑-大脑抑制)来调整随意运动的控制,小脑卒中后,可影响吞咽肌群、四肢和躯干运动的准确性、协调性,导致共济失调型吞咽障碍、构音障碍、步态异常等。个别患者的共济失调型吞咽障碍的表现比较隐匿,临床上容易被临床医生和治疗师忽略。共济失调型吞咽障碍的研究未见报道,缺乏针对性的有效治疗手段,这不仅影响患者的日常生存质量,还可能导致吸入性肺炎等严重并发症,使住院时间延长,甚至危及患者生命。早期发现共济失调型吞咽障碍,采取有效的治疗措施,不仅可以降低误吸的发生率,提高患者生存质量,更有助于减少患者的家庭及社会负担。

目前缺乏对卒中后共济失调型吞咽障碍的损伤机制研究。有限的研究集中于小脑卒中后肢体共济失调的损伤机制,发现小脑卒中后肢体共济失调出现与小脑对大脑初级运动皮质M1区的抑制作用的下降有关^[3],提示可以通过上调小脑-大脑抑制来改善共济失调。目前国际前沿的经颅直流电刺激(transcranial direct current stimulation, tDCS)利用微弱的直流电(1—2mA)来调节皮质神经元活动^[4],阳极小脑tDCS可以上调小脑-大脑抑制^[5],而我们前期研究发现阳极小脑tDCS治疗可以明显地改善小脑卒中后肢体和躯干的共济失调和平衡障碍^[6]。提示我们可以尝试利用阳极小脑tDCS来改善卒中后共济失调型吞咽障碍。因此,本研究将tDCS技术应用于小脑,研究其对卒中后共济失调型吞咽障碍的疗效。现将结果报道如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料

共选取2010年7月—2014年8月首都医科大学宣武医院康复科住院和门诊经头颅CT或MRI明确诊断伴有共济失调型吞咽障碍的脑卒中患者30

例。纳入标准:①所有患者均符合1995年第四届全国脑血管病学术会议的诊断标准^[7];②首次发病;③病变累及小脑,可累及桥臂,且无明显脑水肿;④病程:2周—3个月;⑤四肢肌力 ≥ 4 级;⑥均有不同程度的共济失调型吞咽障碍,伴姿势和步态异常、构音障碍等。排除标准:①多发脑卒中;②有明显意识障碍、认知障碍、失语症及严重并发症;③CT或MRI示脑水肿明显;④或有严重视力或矫正视力异常,或有眩晕发作、听力障碍、中耳炎病史。所有患者试验前均签署知情同意书。利用随机数字表将患者随机分为tDCS组和对照组,各15例。两组患者年龄、性别、病程、病变性质无显著性差异($P > 0.05$),具有可比性,见表1。

表1 两组患者一般资料

组别	例数	年龄 (岁)	性别(例)		病程 (d)	病变性质(例)	
			男	女		脑出血	脑梗死
tDCS组	15	60.7 $\pm$ 11.5	14	1	57.7 $\pm$ 25.8	3	12
对照组	15	57.4 $\pm$ 7.2	13	2	58.5 $\pm$ 28.5	0	15

注:tDCS组与对照组比较 $P > 0.05$

1.2 方法

在外周经皮电刺激的常规治疗基础上,tDCS组配合小脑tDCS治疗,而对照组配合小脑tDCS假刺激治疗。治疗前后,所有患者均进行改良吞咽障碍能力评价表、吞咽障碍严重程度分级评估。

1.2.1 临床评估:改良吞咽障碍能力评价表(modified Mann assessment of swallowing ability, MMASA):Antonios N等^[8]修订的MMASA量表内容包括警觉、合作、呼吸、表达性失语症、听理解、构音障碍、唾液、舌运动、舌力量、呕吐反射、咳嗽反射、软腭,共12项,满分100分,得分越低,提示吞咽障碍越重^[9]。为全面地反映吞咽障碍程度,我们在此基础上删除了警觉、合作、呼吸、表达性失语症、听理解、咳嗽反射5个项目,增加了唇闭合、张口运动、闭口运动、进食时间、饮水时间5个检查项目(每项10分)。所以,此量表总分是95分。

吞咽障碍严重程度分级(swallow severity scale, SSS):此评估量表将安全食物质地分为0—6共7个等级,损伤程度由高到低,分别为极重度(0

级)、重度(1级)、严重(2级)、中度(3级)、轻度(4级)、极轻度(5级)和正常(6级),分级越低,提示吞咽障碍越重^[10],已有文献使用此量表进行了治疗前后的吞咽严重程度评估^[11]。

1.2.2 常规治疗:外周经皮电刺激治疗:采用 VocaStim 吞咽言语治疗仪进行电刺激治疗。刺激部位:刺激电极位于下颌舌骨上肌群,阳极位于颈后;刺激波形为锯齿波,上升沿 1000ms,频率 0.25Hz。刺激时间为 20min/次,1次/d,共 20次^[11]。

1.2.3 经颅直流电刺激:刺激部位:左/右小脑半球的体表投影区。具体定位:枕骨粗隆是参考点,在枕骨粗隆下 1cm 向左/右旁开 3cm^[12-15],以此作为 tDCS 阳极刺激部位(刺激电极的中心覆盖该刺激点)。

小脑 tDCS 治疗:经颅直流电刺激器采用 IS200 型智能刺激器(四川省智能电子实业公司,成都)。刺激电极采用 5cm×5cm 等渗盐水明胶海绵电极,阳极电极置于 tDCS 刺激部位,参考电极置于对侧肩部。直流电强度为 1mA(即 40μA/cm²),20min/次,左右侧交替,间歇 30min,1次/d,共治疗 20次。而小脑 tDCS 假刺激只是在最初 30s 内给予 tDCS 刺激,随后即停止电流^[5,16]。

1.3 统计学分析

采用 SPSS17.0 统计软件包进行数据处理。改良吞咽障碍能力评价数值的组间比较采用独立样本 *t* 检验,组内比较采用配对 *t* 检验;吞咽障碍严重程度分级的组间比较和组内比较采用非参数检验。以 *P*<0.05 为具有显著性差异。

2 结果

治疗前,两组患者的改良吞咽能力评价和吞咽障碍严重程度分级的差异无显著性(*P*>0.05)。治疗后,tDCS 组和对照组的改良吞咽能力评价和吞咽障碍严重程度分级值均有显著改善(*P*<0.05),而且 tDCS 组的改善程度明显优于对照组(*P*<0.05),见表 2。

3 讨论

吞咽是人类不可或缺的基本生存功能,也是最复杂的躯体反射之一,需要一系列复杂的神经、肌肉的顺序活动,每天平均进行的有效吞咽约 600 余

表 2 两组治疗前后改良吞咽能力评价表、吞咽障碍严重程度分级值的比较

组别	改良吞咽能力评价 ($\bar{x}\pm s$)		吞咽障碍严重程度分级值 (M,范围)	
	治疗前	治疗后	治疗前	治疗后
tDCS 组	73.7±13.7	82.1±10.9 ^{①②}	2(0,5)	5(1,6) ^{①②}
对照组	70.2±9.3	73.6±9.8 ^①	1(0,3)	2(0,4) ^①

①治疗前、后组内比较 *P*<0.05;②治疗后与对照组比较 *P*<0.05

次。这一复杂动作的完成包括认知期、准备期、口腔期、咽期和食管期,各期的解剖结构协同运动才能够完成一个有效的吞咽。大量证据显示大脑皮质、脑干、多对脑神经、小脑等在正常吞咽维持中起着重要作用^[17-20]。

3.1 小脑与共济失调型吞咽障碍

3.1.1 小脑与吞咽障碍:已有研究利用先进技术的 PET、fMRI 等神经影像技术和 TMS 技术研究证实了小脑参与吞咽过程。如舌运动时小脑有激活^[20-22]。口腔内的感觉刺激可以激活小脑^[23]。喉上抬的病理性减退和延迟是误吸的最常见原因,在诱发喉上抬的任务中发现双侧小脑半球的激活^[24]。最近有学者利用经颅磁刺激研究小脑和咽运动皮质的相互作用,结果发现 TMS 刺激小脑中线或半球都可以诱发明显的咽肌电反应,从而证实了小脑可以影响吞咽运动环路^[25]。小脑受损可引起吞咽障碍,如 Steinhagen 等^[25]的研究显示小脑梗死后可以出现吞咽障碍。脊髓小脑性共济失调的退行性变也可引起吞咽障碍^[26],切除后颅凹肿瘤也可能增加术后吞咽障碍风险^[27]。以上证据提示,小脑参与吞咽过程,当小脑病变时可导致吞咽障碍。

3.1.2 小脑与共济失调:近年学者开始对卒中后共济失调的损伤机制进行研究。小脑通过抑制大脑运动皮质活动(即小脑-大脑抑制)来调整随意运动的控制。最近有学者通过观察双侧大脑皮质兴奋性的改变,间接证实了小脑卒中后共济失调的出现与小脑-大脑抑制的下降有关^[3]。此研究选取 10 例首次发病、急性期的单侧小脑梗死后共济失调患者进行观察,分别在发病 1 周内、3 个月后、6 个月后、12 个月后对研究对象进行共济失调评估以及大脑初级运动皮质 M1 区皮质内抑制(SICI)的检测,发现所有患者的病变对侧的 M1 区皮质内抑制都下降,但是只有功能严重受损的患者的病变同侧的初级运动皮

质内抑制下降,分析认为皮质内抑制的下降可能与小脑病变后导致的小脑-大脑抑制作用下降有关。虽然此研究只关注了拇展短肌M1区的皮质内抑制变化,并没有研究在吞咽任务时大脑皮质兴奋性的变化,但是考虑导致小脑卒中后共济失调的本质也是小脑受损,既然肢体共济失调与小脑-大脑抑制的下降有关,那么吞咽肌群的共济失调,即共济失调型吞咽障碍也可能与小脑-大脑抑制的下降有关。那么,我们是否可以通过上调小脑-大脑抑制来改善共济失调,尤其是共济失调型吞咽障碍?经颅直流电刺激(tDCS)正是一项能够上调小脑-大脑抑制的非侵入性脑刺激技术。

3.2 小脑tDCS的作用机制

tDCS技术是非侵入性皮质电刺激方法之一,安全性高、操作简便、设备相对廉价,在各级医院的临床实践中易于推广使用。tDCS利用弱电流(1—2mA)调节皮质神经元活动。它通过两个放在头皮的电极,以微弱的极化直流电作用于皮质^[4],当阳极靠近神经元胞体或树突时,神经元放电增加,而电场方向颠倒时,神经元放电减少,即阳极刺激可以引起兴奋性的增加,阴极刺激引起兴奋性的降低。Galea等^[5]研究阳极、阴极的小脑tDCS刺激以及假tDCS刺激对健康人的小脑-大脑抑制作用的影响,发现阳极小脑tDCS可以上调小脑-大脑抑制,而阴极的小脑tDCS可以下调小脑-大脑抑制。

此外,小脑tDCS是否可能影响颅骨后部的其他邻近结构,如脑干通路等?由于颅骨的高阻性,大部分直流电通过头皮时被分流^[28];随着远离电极刺激部位,电流强度快速衰减,不太可能有残留的电流作用于脑干。有研究显示,小脑tDCS刺激后相关反映脑干兴奋性的检测,如脑干运动诱发电位阈值和大小、瞬目反射、同侧躯体运动诱发电位未被改变^[5]。而且,近期利用计算电磁学技术研究小脑tDCS电场和电流强度的空间分布时,也发现小脑皮质的电流强度和电场更强,最多只有4%的电流扩散到枕叶,而扩散到脑干和心脏的电流更是微乎其微^[29]。这些研究都再次肯定了小脑tDCS的效应集中于小脑,对脑干影响不大,而且安全性很高。

3.3 小脑tDCS改善共济失调

Miall RC等^[30]研究发现低频rTMS作用于健康

人的右侧小脑5min后,受试者执行感觉-运动任务的时间明显延长,此效应大约持续了3min。与此相反,当具有兴奋作用的阳极tDCS作用于小脑后,受试者的运动功能有所改善。Jayaram等^[31]的研究发现,在健康受试者运动调整过程中进行阳极小脑tDCS可以提高他们的运动学习速率。在研究小脑和运动皮质M1区在适应性学习过程中的作用时,Galea等^[32]选取72例健康受试者进行视觉运动调整任务,发现阳极tDCS刺激小脑可以加快视觉运动的调整速率,更快地减少运动错误的出现。

我们曾用小脑tDCS来改善卒中患者的共济失调。此研究采用随机对照设计,在常规Frenkel共济失调康复训练的基础上,tDCS组配合小脑tDCS治疗,而对照组配合小脑tDCS假刺激治疗。比较两组患者治疗前、后世界神经病联合会国际合作共济失调量表(ICARS)、Berg平衡量表(BBS)和ADL能力评定量表Barthel指数(BI)的评定情况。结果:治疗前,两组患者的ICARS、BBS和BI值的差异无显著性。治疗后,tDCS组和对照组的ICARS、BBS和BI值均有显著改善,而且tDCS组的各指标评分明显优于对照组。此研究首次证实小脑阳极tDCS配合康复治疗,可以更为明显地改善卒中患者的共济失调,提高患者的ADL能力和自信心^[6]。此研究为小脑卒中后共济失调的治疗提供了新的手段,也提示阳极小脑tDCS改善卒中后共济失调型吞咽障碍的可能性。

近年Jayasekeran V等^[12]已经观察到经颅磁刺激作用于小脑,可以影响吞咽运动环路,此研究利用成对TMS提前预刺激正常人的小脑,发现可以最大程度地诱发大脑皮质反应,此成对TMS刺激的间隔时间是50—200ms,并由此推测小脑被5—20Hz高频rTMS兴奋后,可能有助于吞咽网络的激活。此研究也提示同样具有兴奋作用的阳极tDCS作用于小脑,也可能有助于吞咽网络的激活,进而改善吞咽功能。

3.4 小脑tDCS的疗效

治疗20次后,tDCS组和对照组的MMASA评分和吞咽障碍严重程度分级均有显著改善,但是tDCS组的吞咽障碍改善程度明显优于对照组,这肯定了小脑阳极tDCS的疗效,提示在外周经皮电刺激

治疗的基础上,配合阳极小脑 tDCS 可以更为明显地改善卒中后共济失调型吞咽障碍。

本研究的对照组是在外周经皮电刺激方法的基础上配合假 tDCS 刺激。目前认为外周经皮电刺激可能主要通过增强刺激局部及口咽部的感觉传入来改善吞咽障碍^[10-11,33-34]。虽然本试验中的对照组吞咽功能也显著改善,但是基于医学伦理学考虑,我们没有设定空白对照组,所以对照组的疗效并不能除外病情自然恢复的影响。

本试验的 tDCS 组是在外周经皮电刺激的基础上结合了小脑阳极 tDCS 治疗,研究结果显示 tDCS 组的疗效明显优于对照组。由于对照组进行了假 tDCS 刺激试验设计,使受试者难以区分 tDCS 的真和假^[16],从而有效地除外了 tDCS 安慰效应,目前许多 tDCS 相关的盲法、假刺激对照研究都采取此假刺激方法来证实 tDCS 的确切疗效^[5,35-36]。小脑阳极 tDCS 组疗效明显优于假刺激对照组的結果,客观证实了小脑阳极 tDCS 的疗效,提示我们:直接影响小脑而上调小脑-大脑抑制的小脑阳极 tDCS^[5]可以有效地改善共济失调型吞咽障碍。

本结果提示:将外周经皮电刺激与阳极小脑 tDCS 结合,从外周和中枢调节两条通路入手,可以更有利于卒中后共济失调型吞咽障碍的恢复。

3.5 局限性

首先每组的病例数目有限,仅 15 例;其次,患者的病变部位并不完全一致,如病变累及桥臂和小脑,桥臂受损可能更多的影响小脑相关的联系纤维,阳极 tDCS 对小脑病变或桥臂病变后的共济失调型吞咽障碍的疗效是否一致,尚待进一步证实。此研究中的阳极小脑 tDCS 作用于双侧小脑,那么刺激单侧小脑(健侧或患侧)是否也有疗效,患侧和健侧小脑 tDCS 的疗效是否相同?这都有待进一步严谨的试验设计、同时扩大样本量加以证实。

总之,小脑阳极 tDCS 配合外周经皮电刺激治疗,可以更为明显地改善卒中后共济失调型吞咽障碍患者的吞咽功能,为共济失调型吞咽障碍的治疗提供了新的手段。

参考文献

[1] 吴冰主编. 神经病学[M]. 北京:人民卫生出版社,2005:171.

- [2] 金波,姜智南. 小脑梗死的诊断和治疗[J]. 国际脑血管病杂志, 2006,14(11):847—849.
- [3] Huynh W, Krishnan AV, Vucic S, et al. Motor cortex excitability in acute cerebellar infarct[J]. Cerebellum,2013,12(6): 826—834.
- [4] Wagner T, Fregni F, Fecteau S, et al. Transcranial direct current stimulation: a computer-based human model study[J]. Neuroimage,2007,35(3):1113—1124.
- [5] Galea JM, Jayaram G, Ajagbe L, et al. Modulation of cerebellar excitability by polarity-specific noninvasive direct current stimulation[J]. Journal of Neuroscience,2009,29(28): 9115—9122.
- [6] 袁英,吴东宇,汪洁,等. 经颅直流电刺激改善小脑卒中后共济失调的疗效观察[J]. 中国康复医学杂志,2014,29(07):666—668.
- [7] 全国第四届脑血管病学术会议. 脑卒中患者临床神经功能缺损程度评分标准(1995)[J]. 中华神经科杂志,1996,29(6):381—383.
- [8] Antonios N, Carnaby-Mann G, Crary M, et al. Analysis of a physician tool for evaluating dysphagia on an inpatient stroke unit: the modified Mann Assessment of Swallowing Ability[J]. J Stroke Cerebrovasc Dis,2010,19(1):49—57.
- [9] Momosaki R, Abo M, Kakuda W. Bilateral repetitive transcranial magnetic stimulation combined with intensive swallowing rehabilitation for chronic stroke Dysphagia: a case series study[J]. Case Rep Neurol,2014,6(1):60—67.
- [10] Blumenfeld L, Hahn Y, Lepage A, et al. Transcutaneous electrical stimulation versus traditional dysphagia therapy: a nonconcurrent cohort study[J]. Otolaryngol Head Neck Surg, 2006,135(5):754—757.
- [11] 汪洁,吴东宇,宋为群,等. 表面电刺激治疗低位脑干梗死致严重吞咽困难及其机制[J]. 中国康复理论与实践,2009,15(1): 54—57.
- [12] Jayasekaran V, Rothwell J, Hamdy S. Non-invasive magnetic stimulation of the human cerebellum facilitates corticobulbar projections in the swallowing motor system[J]. Neurogastroenterology & Motility,2011,23(9):831—e341.
- [13] Del Olmo MF, Cheeran B, Koch G, et al. Role of the cerebellum in externally paced rhythmic finger movements[J]. Journal of Neurophysiology,2007,98(1):145—152.
- [14] Torriero S, Oliveri M, Koch G, et al. Interference of left and right cerebellar rTMS with procedural learning[J]. J Cogn Neurosci,2004,16(9):1605—1611.
- [15] Theoret H, Haque J, Pascual-Leone A. Increased variability of paced finger tapping accuracy following repetitive magnetic stimulation of the cerebellum in humans[J]. Neurosci Lett,2001,306(1-2):29—32.
- [16] Gandiga PC, Hummel FC, Cohen LG. Transcranial DC

- stimulation (tDCS): A tool for double-blind sham-controlled clinical studies in brain stimulation[J]. *Clinical Neurophysiology*,2006,117(4):845—850.
- [17] Teismann IK, Suntrup S, Warnecke T, et al. Cortical swallowing processing in early subacute stroke[J]. *BMC Neurol*, 2011,11:34.
- [18] Paine TL, Conway CA, Malandraki GA, et al. Simultaneous dynamic and functional MRI scanning (SimulScan) of natural swallows[J]. *Magn Reson Med*,2011,65(5):1247—1252.
- [19] Lowell SY, Reynolds RC, Chen G, et al. Functional connectivity and laterality of the motor and sensory components in the volitional swallowing network[J]. *Exp Brain Res*,2012,219(1):85—96.
- [20] Zald DH, Pardo JV. The functional neuroanatomy of voluntary swallowing[J]. *Ann Neurol*,1999,46(3):281—286.
- [21] Corfield DR, Murphy K, Josephs O, et al. Cortical and subcortical control of tongue movement in humans: a functional neuroimaging study using fMRI[J]. *Journal of Applied Physiology*,1999,86(5):1468—1477.
- [22] Watanabe J, Sugiura M, Miura N, et al. The human parietal cortex is involved in spatial processing of tongue movement—an fMRI study[J]. *NeuroImage*,2004,21(4):1289—1299.
- [23] Zald DH, Pardo JV. Cortical activation induced by intraloral stimulation with water in humans[J]. *Chem Senses*, 2000,25(3):267—275.
- [24] Malandraki GA, Sutton BP, Perlman AL, et al. Neural activation of swallowing and swallowing-related tasks in healthy young adults: an attempt to separate the components of deglutition[J]. *Human Brain Mapping*,2009,30(10):3209—3226.
- [25] Steinhagen V, Grossmann A, Benecke R, et al. Swallowing disturbance pattern relates to brain lesion location in acute stroke patients[J]. *Stroke*,2009,40(5):1903-1906.
- [26] D'Abreu A, França MC Jr, Paulson HL, et al. Caring for Machado-Joseph disease: Current understanding and how to help patients[J]. *Parkinsonism & Related Disorders*,2010,16(1):2—7.
- [27] Morgan AT, Sell D, Ryan M, et al. Pre and post-surgical dysphagia outcome associated with posterior fossa tumour in children[J]. *Journal of Neuro-Oncology*,2008,87(3):347—354.
- [28] Miranda PC, Lomarev M, Hallett M. Modeling the current distribution during transcranial direct current stimulation[J]. *Clin Neurophysiol*,2006,117(7):1623—1629.
- [29] Parazzini M, Rossi E, Ferrucci R, et al. Modelling the electric field and the current density generated by cerebellar transcranial DC stimulation in humans[J]. *Clinical Neurophysiology*,2014,125(3):577—584.
- [30] Miall RC, Christensen LO. The effect of rTMS over the cerebellum in normal human volunteers on peg-board movement performance[J]. *Neurosci Lett*,2004,371(2-3):185—189.
- [31] Jayaram G, Tang B, Pallegadda R, et al. Modulating locomotor adaptation with cerebellar stimulation[J]. *J Neurophysiol*,2012,107(11):2950—2957.
- [32] Galea JM, Vazquez A, Pasricha N, et al. Dissociating the roles of the cerebellum and motor cortex during adaptive learning: the motor cortex retains what the cerebellum learns[J]. *Cereb Cortex*,2011,21(8):1761—1770.
- [33] Freed ML, Freed L, Chatburn RL, et al. Electrical stimulation for swallowing disorders caused by stroke[J]. *Respir Care*,2001,46(5):466—474.
- [34] 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.
- [35] Block H, Celnik P. Stimulating the cerebellum affects visuomotor adaptation but not intermanual transfer of learning [J]. *The Cerebellum*,2013,12(6):781—793.
- [36] Hardwick RM, Celnik PA. Cerebellar direct current stimulation enhances motor learning in older adults[J]. *Neurobiology of Aging*,2014,35(10):2217—2221.