·综述·

功能性近红外光谱成像技术在脑卒中后非运动功能障碍康复中的应用研究进展

苗国富　王丝蕊　廖维靖
武汉大学中南医院神经康复科,武汉　430071
通信作者:廖维靖,Email:weijingliao@ sina.com

【摘要】 功能性近红外光谱成像技术(fNIRS)可作为脑卒中患者治疗过程中的神经反馈工具、辅助诊断和疗效评估工具,本文旨在通过总结 fNIRS 在脑卒中后伴有抑郁、认知障碍、吞咽障碍和失语症的相关研究,以期为脑卒中后非运动障碍的康复提供借鉴和参考。

【关键词】 功能性近红外光谱成像技术; 脑卒中; 非运动障碍; 研究进展; 综述
DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2022.06.022

脑卒中(stroke)是一种由于脑部血管阻塞或者破裂而导致的脑组织损伤的脑血管疾病,是全球死亡和残疾的主要因素之一[1]。脑卒中幸存者的治疗费用较高,会造成严重的家庭经济负担,尤其是在农村地区[2]。对于患者来说,脑卒中会导致不同程度的运动、言语、吞咽、认知和抑郁等一系列的功能障碍,影响患者日常生活活动和生活质量。研究证实,评估和监测脑部血液循环和血红蛋白氧合的变化可及时反映脑卒中患者的治疗情况和康复效果[1]。

功能性近红外光谱成像(functional near-infrared spectroscopy,fNIRS)是一种非侵入性的脑功能成像检测技术,其可采集大脑氧合血红蛋白(oxygenated-hemoglobin,Oxy-Hb)、脱氧血红蛋白(deoxygenated hemoglobin, Deoxy-Hb)和总氧合血红蛋白(total oxygenated hemoglobin, tHb)的浓度变化,从而反映大脑血流动力学变化。研究发现,fNIRS 与无创性脑刺激技术[如经颅直流电刺激(transcranial direct current stimulation, tDCS)或经颅磁刺激(transcranial magnetic stimulation, TMS)]联合使用,可为脑卒中患者选择更优化的治疗方案,并判断该治疗方案的安全性和有效性[3-4]。目前,fNIRS 在脑卒中的应用多集中在运动功能障碍方面,主要用于监测脑损伤后上肢功能恢复过程中的脑功能重组情况[1,5]。还有研究将 fNIRS 用于观察和分析正常人与脑卒中患者步态和姿势控制的大脑激活模式的异同[1,6-8]。除此之外,fNIRS 还可作为执行运动任务时的神经反馈工具[6]和基于 fNIRS 脑机接口的治疗工具[9]。目前,关于 fNIRS 在脑卒中后非运动功能障碍中的应用研究相对较少。本综述旨在总结 fNIRS 在脑卒中后非运动功能障碍的临床应用进展,包括脑卒中后抑郁(post-stroke depression, PSD)、认知功能障碍、失语症和吞咽功能障碍等四个方面,以期为脑卒中后非运动障碍的康复提供借鉴和参考。

fNIRS 概述

fNIRS 是一种基于近红外光检测大脑皮质血红蛋白浓度变化的技术,具有无创性、时间响应快的特点,可进行实时监测,并且仪器设备占地面积小,可以移动。吸收和散射是光在物质中传播最主要的两个特征[10],而在人体组织中,重要的组成成分是水和血液,血液中又包含氧合血红蛋白和脱氧血红蛋白。在近红外光谱 650 nm~950 nm 的波长范围内,光在氧合血红蛋白、脱氧血红蛋白和水的吸收系数都比较小,称之为“光学窗”[10]。研究表明,发射器发射的光子可穿过头皮表面和颅骨到达大脑,由于氧合血红蛋白、脱氧血红蛋白和水均具有不同的吸收系数,光子经过不断散射后,接收器所接收到的大脑皮质氧合血红蛋白和脱氧血红蛋白浓度变化的光强值也不同,从而可以实现对大脑皮质血氧浓度变化的监测[3-4]。大脑的神经活动、有氧代谢活动以及血流动力学间存在密切的关联,大脑活动的增加可导致毛细血管床葡萄糖和氧气消耗的增加,随后大脑局部葡萄糖和氧气的减少会使大脑局部动脉血管增加舒张(自发性功能充血),从而使得局部脑血流量和脑血容量增加,这就是神经血管耦合(neurovascular coupling, NCV)机制[11]。fNIRS 正是利用 NCV 机制,将近红外光强值的改变与大脑神经活动和大脑血氧浓度的变化联系起来。

fNIRS 在 PSD 中的应用

PSD 是脑卒中后常见的一种精神心理疾病,主要症状有忧郁、烦躁不安、睡眠障碍和日常活动水平下降等[3]。研究发现,约 30%的脑卒中后幸存者患有 PSD,其主要的预测因素是运动障碍、认知障碍、脑卒中严重程度和焦虑情绪,且 PSD 对脑卒中的恢复、认知功能和社会交往均有负面影响,也与脑卒中患者的死亡率呈显著相关性[3, 12]。因此,对 PSD 患者的早期诊断和早期干预是十分必要的。目前,PSD 的评估量表主要采用汉密尔顿抑郁量表(Hamilton depression rating scale, HDRS)、流行病学中心研究抑郁量表(center for epidemiologic studies depression scale, CES-D)和 Zung 抑郁自评量表(self-rating depression scale, SDS)等,存在缺乏客观性、评估时间较长等缺点,fNIRS 可作为一种客观辅助诊断方法,弥补临床评估的缺点。fNIRS 可实时监测大脑血氧变化,通过获取的客观数据指标,不仅可以进行 PSD 的早期辅助诊断,还可以与无创性脑刺激技术联用来判断其治疗 PSD 的效果。

一、基于 fNIRS 辅助诊断 PSD

最近的研究表明,fNIRS 可作为重度抑郁症的辅助诊断和

预测治疗反应的工具,主要采用言语流畅性任务(verbal fluency task, VFT)作为任务范式[13-14]。杨智权等[15]将言语流畅性测验作为认知激活任务,采用 fNIRS 检测来完成 PSD 的辅助诊断和早期识别。该研究在完成言语流畅性任务时,测量了受试者前额叶氧合血红蛋白的峰值浓度和达到峰值的时间,结果发现,对照组和 PSD 组的氧合血红蛋白的浓度没有显著性差异,但是氧合血红蛋白浓度达到峰值的时间有差异,该研究认为,这可能是由于 PSD 患者抑郁程度的不同所致。为进一步探讨不同程度的 PSD 的情况,杨智权等[16]采用 Zung 抑郁自评量表将 PSD 患者分为轻度、中度和重度,结果发现,中度和重度 PSD 患者的氧合血红蛋白的峰值浓度明显低于轻度 PSD 患者,而重度患者氧合血红蛋白浓度达到峰值的时间明显晚于轻度 PSD 患者。以上研究显示,前额叶氧合血红蛋白峰值浓度是一个辨别 PSD 患者抑郁程度的较为敏感的生物学指标,但用于辅助诊断 PSD 仍然需要扩大样本量的进一步研究,并且需要与“金标准”进行对比研究,以确定其特异性和灵敏度。

二、tDCS 治疗 PSD 的机制

Valiengo 等[17]通过一项双盲随机对照试验证实了 tDCS 治疗 PSD 的有效性和安全性,即在治疗过程中不会引起认知障碍和躁狂等症状,但是 tDCS 治疗 PSD 的神经机制尚无定论。Li 等[3]在 PSD 患者执行情绪面孔性别辨别任务(emotional face sex judgment task)和‘1-back’工作记忆任务时,用 fNIRS 监测了 tDCS 治疗前、后的左、右背外侧前额叶皮质的反应时间和氧合血红蛋白的浓度变化情况,结果发现,tDCS 治疗后,PSD 患者在面对负性情绪时,其左、右侧前额叶皮质的氧合血红蛋白浓度有显著上升;而工作记忆任务中,PSD 患者的反应时间显著缩短,左、右侧的前额叶皮质的氧合血红蛋白浓度显著上升。由此本课题组认为,tDCS 可通过增加 PSD 患者左、右前额叶皮质的有氧代谢来改善其对负面情绪的处理和工作记忆,从而改善患者的抑郁状态。目前,无创性脑刺激治疗 PSD 的神经机制尚不完善,fNIRS 可作为神经调控技术治疗效果的评估工具,并且可用于分析和研究其相关的神经机制,为 PSD 的治疗提供理论基础。

fNIRS 在脑卒中后认知障碍中的应用

脑卒中后认知障碍(post-stroke cognitive impairment, PSCI)是脑卒中后常见的功能障碍之一,约 30%的缺血性脑卒中患者会伴有不同程度的认知障碍,但其患病率因地域、种族和诊断标准间的差异而有所不同[18]。PSCI 会影响患者的生活质量,增加治疗护理费用,增加家庭经济负担,因而早期、准确地发现认知障碍十分重要。认知障碍的评估主要采用蒙特利尔认知评估量表(Montreal cognitive assessment scale, MoCA)、简易精神评估量表(mini-mental state examination, MMSE)等,这也是目前评估认知障碍使用最广泛的量表。但是量表评估缺乏一定的客观性,需寻找客观的辅助评估方法。目前,已有研究将 fNIRS 用于脑外伤和阿尔茨海默病引起的轻度认知障碍的辅助诊断[19-20],但将 fNIRS 用于评估 PSCI 的相关研究相对较少。

Obayashi 等[21]采用 fNIRS 观察了轻度 PSCI 患者的前额叶活动,结果发现,轻度 PSCI 患者前额叶血红蛋白的浓度随着 MMSE 评分的增加而增加,且轻度 PSCI 患者的 MMSE 评分的改善与前额叶氧合血红蛋白浓度的升高成正相关。该研究表明,前额叶活动的增加可能与认知功能的恢复有关。张颖彬等[22]将采用 fNIRS 监测了重复经颅磁刺激(repetitive transcranial magnetic stimulation, rTMS)治疗轻度 PSCI 的疗效,结果发现,rTMS 组的 MoCA、MMSE 的评分和氧合血红蛋白浓度较组内治疗前和假刺激组均显著增高,且氧合血红蛋白浓度与 MoCA 和 MMSE 评分呈正相关。该研究结果表明,rTMS 治疗认知障碍的可能机制是神经元活动可增加大脑血流量,引起前额叶的氧合血红蛋白浓度升高。荆静等[23]采用 fNIRS 监测到,正中神经电刺激治疗认知障碍时,左、右前额叶的氧合血红蛋白浓度升高。

fNIRS 在脑卒中后失语症中的应用

脑卒中后失语症是脑损伤导致的语言理解和语言表达障碍,是脑卒中后最常见的障碍之一,约有 30%的脑卒中患者有失语症[24]。脑卒中后失语患者缺乏沟通能力,社会参与度降低,这会严重影响患者的功能预后和生活质量[25]。有研究显示,相较于非失语患者,失语患者出现心理问题的风险会增高,失语症是 PSD 的危险因素[26]。言语和语言训练是脑卒中后失语症最常用的、经典的治疗方法,非侵入性的神经调控技术也逐渐成为其常规治疗方法,但应用于失语症治疗的有效性和最佳治疗方案的确定还有待进一步的研究。

一、fNIRS 观察脑卒中后失语症的恢复机制

Obayashi 等[27]采用 fNIRS 观察了丘脑卒中后语言功能受影响的机制,结果发现,急性丘脑卒中患者的词汇提取能力较健康受试者明显下降,且词汇提取与辅助运动区显著相关,fNIRS 显示,双侧辅助运动区反应与词汇提取能力提高有关。该研究表明,丘脑卒中后的语言功能障碍与辅助运动区、额下回和语言相关脑区显著相关,辅助运动区与丘脑卒中后词汇提取困难和失语症的恢复有关[27]。

二、fNIRS 在 rTMS 治疗失语症方案选择中的应用

研究表明,rTMS 有助于失语症患者言语功能的改善,但最佳的治疗方案还尚未确定[28]。以往的研究认为,对右侧半球进行低频 TMS 可促进左侧半球残存语言区及其周围组织的代偿,从而改善脑卒中后失语患者的语言能力[29]。但是这种基于大脑半球竞争性抑制的理论并不能完全解释语言功能的恢复,因为语言功能的偏侧化更加明显。有研究认为,右侧额下回三角区的低频 rTMS 并非对所有的脑卒中后失语患者有效,甚至可能对右侧半球激活较强的患者有害,因为在执行语言任务时,右侧半球激活较强说明右侧半球已经进行了语言功能的代偿,低频 rTMS 刺激右侧大脑半球可能会对语言功能产生不利影响[30]。Hara 等[31]使用 fNIRS 定位了大脑语言功能的激活侧,并以此对 8 例脑卒中后慢性期失语患者进行了分组,对左侧大脑半球语言激活能力较强的患者进行右侧大脑半球 1 Hz 的 rTMS(低频 rTMS 组),而对右侧大脑半球语言激活较强的患者进行右侧大脑半球 10 Hz 的 rTMS(高频 rTMS 组),结果发现,2 组患者的语言功能较组内治疗前均显著改善,且 2 组疗效相近。该研究结果提示,对于右侧半球语言功能激活较强的患者,使用右侧额下回的高频 rTMS 刺激同样能改善其语言功能。本课题组认为,fNIRS 可快速且方便地检测出大脑激活区域,针对患者的大脑激活情况制定个体化的 TMS 治疗方案将有助于失语症患者语言功能的改善。

fNIRS 在脑卒中后吞咽障碍中的应用

脑卒中吞咽障碍是脑卒中后最常见的并发症之一,约 50% 的脑卒中后患者伴有不同程度的吞咽困难障碍[32]。吞咽困难与脑卒中相关肺炎的风险增加、死亡风险增加、残疾率更高、住院时间更长显著相关[32]。吞咽困难的治疗可加速恢复吞咽功能并减少相关肺炎的发生以及降低住院时间和死亡的风险。目前,吞咽障碍的治疗包括药物治疗、行为干预、针灸、物理治疗和神经调控技术等,其它的辅助治疗手段还在不断地探索[33]。fNIRS 的出现可为脑卒中后吞咽障碍治疗方式的选择和治疗的有效性提供依据,也成为探索新型治疗方法的手段之一。目前尚未有 fNIRS 联用非侵入性神经调控技术治疗吞咽障碍,这可能也是未来一个研究方向。

一、fNIRS 对吞咽障碍治疗方式的影响

Kober 等[34]应用 fNIRS 观察了吞咽运动执行和吞咽运动想象对人体大脑血流动力学的影响,结果发现,吞咽运动执行和吞咽运动想象时,健康志愿者额下回的氧合血红蛋白和脱氧血红蛋白的浓度变化最为明显,且两种运动方式的脱氧血红蛋白的反应相似,提示吞咽运动想象可能有助于吞咽功能的改善。Kober 等[35]进一步采用 fNIRS 观察到,吞咽障碍患者和健康受试者在吞咽运动执行和吞咽运动想象时,都以额下回激活最明显,但右半球大脑病变的吞咽困难患者在吞咽时表现出更多的单侧激活模式,且其在吞咽运动执行和吞咽运动想象的血流动力学反应时间较健康受试者延长。总体来说,吞咽运动执行和吞咽运动想象相关的脑激活模式相似,特别是脱氧血红蛋白的改变,而以上研究结果也提示了,吞咽运动想象可能成为未来吞咽困难治疗手段之一。

二、基于 fNIRS 的神经反馈训练

神经反馈训练可让受试者自我调节大脑活动并最终改变其行为[36]。研究表明,基于 fNIRS 的神经反馈可以增强运动想象相关的皮质激活[37]。Kober 等[38]基于 fNIRS 进行了吞咽运动执行和吞咽运动想象的实时图像反馈研究,一组受试者以额下回脱氧血红蛋白相对浓度变化作为视觉反馈指标(脱氧血红蛋白组),另一组受试者以氧合血红蛋白相对浓度变化作为视觉反馈指标(氧合血红蛋白组),结果发现,2 组受试者吞咽相关的皮质激活模式较组内干预前均显著改变(提示神经反馈训练对大脑皮质重组有积极影响);且脱氧血红蛋白组能够根据额下回脱氧血红蛋白的变化自主进行吞咽想象的调节,而氧合血红蛋白组则不能。该研究表明,基于 fNIRS 的脱氧血红蛋白的相对浓度变化进行吞咽运动想象实时反馈是可行的,可能有助于吞咽障碍的治疗,但仍需要大样本量的研究来证实。

未来进展

fNIRS 可用于脑卒中后非运动功能障碍的辅助诊断和疗效评估,可以补充量表评估的缺陷。从目前的研究中可以看出,fNIRS 在脑卒中的研究中具有很大潜力,可为脑卒中非运动功能障碍的评估提供更加准确的辅助诊断方法,但是关于 fNIRS 在脑卒中后非运动功能障碍应用的相关研究较少,还需要通过与“金标准”相比较,建立多中心,大样本研究,获得灵敏度和特异度较高的客观指标,如氧合血红蛋白和脱氧血红蛋白的浓度变化。

非侵入性的神经调控技术的应用已经十分广泛,但是刺激区域选择和神经恢复机制的研究仍然不明确,fNIRS 可以与 tDCS 和 TMS 联用,为患者选择最优治疗方案。在非侵入性脑刺激治疗 PSD、脑卒中后失语症和认知障碍过程中,fNIRS 可以检测不同部位的脑区激活状态,寻找最佳的刺激部位、刺激参数等,但是相关研究数量较少,尚未达成共识。fNIRS 的发展可以推动脑卒中后非运动障碍的诊断和治疗的进步,未来对 fNIRS 的深入研究可以促进脑卒中后非运动障碍康复的发展。

参 考 文 献

[1] Yang M, Yang Z, Yuan T, et al. A systemic review of functional near-infrared spectroscopy for stroke: current application and future directions[J]. Front Neurol, 2019, 10: 58. DOI: 10.3389/fneur.2019.00058.

[2] Zhou B, Zhang J, Zhao Y, et al. Caregiver-delivered stroke rehabilitation in rural China[J]. Stroke, 2019, 50(7): 1825-1830. DOI: 10.1161/STROKEAHA.118.021558.

[3] Li H, Zhu N, Klomparens EA, et al. Application of functional near-infrared spectroscopy to explore the neural mechanism of transcranial direct current stimulation for post-stroke depression[J]. Neurol Res, 2019, 41(8): 714-721. DOI: 10.1080/01616412.2019.1612539.

[4] Sun X, Long H, Zhao C, et al. Analgesia-enhancing effects of repetitive transcranial magnetic stimulation on neuropathic pain after spinal cord injury: an fNIRS study[J]. Restor Neurol Neurosci, 2019, 37(5): 497-507. DOI: 10.3233/RNN-190934.

[5] Leff DR, Orihuela-Espina F, Elwell CE, et al. Assessment of the cerebral cortex during motor task behaviours in adults: a systematic review of functional near infrared spectroscopy (fNIRS) studies[J]. Neuroimage, 2011, 54(4): 2922-2936. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2010.10.058.

[6] Mihara M, Miyai I. Review of functional near-infrared spectroscopy in neurorehabilitation[J]. Neurophotonics, 2016, 3(3): 31414. DOI: 10.1117/1.NPh.3.3.031414.

[7] Gramigna V, Pellegrino G, Cerasa A, et al. Near-infrared spectroscopy in gait disorders: is it time to begin [J]? Neurorehabil Neural Repair, 2017, 31(5): 402-412. DOI: 10.1177/1545968317693304.

[8] Menant JC, Maidan I, Alcock L, et al. A consensus guide to using functional near-infrared spectroscopy in posture and gait research[J]. Gait Posture, 2020, 82: 254-265. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2020.09.012.

[9] Rea M, Rana M, Lugato N, et al. Lower limb movement preparation in chronic stroke: a pilot study toward an fnirs-bci for gait rehabilitation[J]. Neurorehabil Neural Repair, 2014, 28(6): 564-575. DOI: 10.1177/1545968313520410.

[10] Pellicer A, Bravo MDC. Near-infrared spectroscopy: a methodology-focused review[J]. Semin Fetal Neonatal Med, 2011, 16(1): 42-49. DOI: 10.1016/j.siny.2010.05.003.

[11] Irani F, Platek SM, Bunce S, et al. Functional near infrared spectroscopy (fNIRS): an emerging neuroimaging technology with important applications for the study of brain disorders[J]. Clin Neuropsychol, 2007, 21(1): 9-37. DOI: 10.1080/13854040600910018.

[12] Das J, G K R. Post stroke depression: the sequelae of cerebral stroke[J]. Neurosci Biobehav Rev, 2018, 90: 104-114. DOI: 10.1016/j.neu-

biorev.2018.04.005.

[13] Ho CSH, Lim LJH, Lim AQ, et al. Diagnostic and predictive applications of functional near-infrared spectroscopy for major depressive disorder: a systematic review[J]. Front Psychiatry, 2020, 11: 378. DOI:10.3389/fpsyt.2020.00378.

[14] Nishida M, Kikuchi S, Matsumoto K, et al. Sleep complaints are associated with reduced left prefrontal activation during a verbal fluency task in patients with major depression: a multi-channel near-infrared spectroscopy study[J]. J Affect Disord, 2017, 207: 102-109. DOI: 10.1016/j.jad.2016.09.028.

[15] 杨智权,米立新,汪杰,等. 脑卒中后抑郁状态患者近红外光脑成像观察[J]. 中国康复医学杂志,2016,31(10):1139-1141. DOI: 10.3969/j.issn.1006-7795.2017.01.020.

[16] 杨智权,刘爱贤,聂忆秋. 前额叶 Oxy-Hb 峰值浓度与达峰时间在不同程度脑卒中后抑郁状态病人中的变化 (1)[J]. 首都医科大学学报,2017,1(38):97-102. DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2016.10.018.

[17] Valiengo LC, Goulart AC, de Oliveira JF, et al. Transcranial direct current stimulation for the treatment of post-stroke depression: results from a randomised, sham-controlled, double-blinded trial[J]. J Neurol Neurosurg Psychiatry, 2017, 88(2): 170-175. DOI: 10.1136/jnnp-2016-314075.

[18] Sun J, Tan L, Yu J. Post-stroke cognitive impairment: epidemiology, mechanisms and management[J]. Ann Transl Med, 2014, 2(8): 80. DOI:10.3978/j.issn.2305-5839.2014.08.05.

[19] 昌凡,李豪喆,张盛宇,等. 基于 fNIRS 技术检测脑外伤所致轻度认知功能障碍者工作记忆[J]. 法医学杂志,2020,36(01):52-60. DOI:10.12116/j.issn.1004-5619.2020.01.011.

[20] Yang D, Huang R, Yoo S, et al. Detection of mild cognitive impairment using convolutional neural network: temporal-feature maps of functional near-infrared spectroscopy[J]. Front Aging Neurosci, 2020, 12: 141. DOI: 10.3389/fnagi.2020.00141.

[21] Obayashi S. Frontal dynamic activity as a predictor of cognitive dysfunction after pontine ischemia[J]. Neurorehabilitation, 2019, 44(2): 251-261. DOI: 10.3233/NRE-182566.

[22] 张颖彬,莫林宏,聂忆秋,等. 近红外脑功能成像在重复经颅磁刺激治疗脑卒中后轻度认知功能障碍的应用[J]. 首都医科大学学报,2020(06):965-969. DOI: 10.3969/j.issn.1006-7795.2020.06.016.

[23] 荆静,马艳平,刘万林,等. 正中神经电刺激治疗脑卒中后认知障碍的康复疗效及机制探讨[J]. 中华物理医学与康复杂志,2020,42(3):215-220. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2020.03.006.

[24] Flowers HL, Skoretz SA, Silver FL, et al. Poststroke aphasia frequency, recovery, and outcomes: a systematic review and meta-analysis[J]. Arch Phys Med Rehabil, 2016, 97(12): 2188-2201. DOI: 10.1016/j.apmr.2016.03.006.

[25] Koleck M, Gana K, Lucot C, et al. Quality of life in aphasic patients 1 year after a first stroke[J]. Qual Life Res, 2017, 26(1): 45-54. DOI: 10.1007/s11136-016-1361-z.

[26] Mitchell AJ, Sheth B, Gill J, et al. Prevalence and predictors of post-stroke mood disorders: a meta-analysis and meta-regression of depression, anxiety and adjustment disorder[J]. Gen Hosp Psychiatry, 2017, 47: 48-60. DOI: 10.1016/j.genhosppsych.2017.04.001.

[27] Obayashi S. The supplementary motor area responsible for word retrieval decline after acute thalamic stroke revealed by coupled SPECT and near-infrared spectroscopy[J]. Brain Sci, 2020, 10(4): 247. DOI: 10.3390/brainsci10040247.

[28] Kim W, Rosselin C, Amatya B, et al. Repetitive transcranial magnetic stimulation for management of post-stroke impairments: an overview of systematic reviews[J]. J Rehabil Med, 2020, 52(2): jrm00015. DOI: 10.2340/16501977-2637.

[29] Thiel A, Hartmann A, Rubi-Fessen I, et al. Effects of noninvasive brain stimulation on language networks and recovery in early poststroke aphasia[J]. Stroke, 2013, 44(8): 2240-2246. DOI: 10.1161/STROKEAHA.111.000574.

[30] Waldowski K, Seniów J, Leśniak M, et al. Effect of low-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation on naming abilities in early-stroke aphasic patients: a prospective, randomized, double-blind sham-controlled study[J]. ScientificWorldJournal, 2012, 2012: 1-8. DOI: 10.1100/2012/518568.

[31] Hara T, Abo M, Kakita K, et al. The effect of selective transcranial magnetic stimulation with functional near-infrared spectroscopy and intensive speech therapy on individuals with post-stroke aphasia[J]. Eur Neurol, 2017, 77(3-4): 186-194. DOI: 10.1159/000457901.

[32] Arnold M, Liesirova K, Broeg-Morvay A, et al. Dysphagia in acute stroke: incidence, burden and impact on clinical outcome[J]. PLoS One, 2016, 11(2): e148424. DOI: 10.1371/journal.pone.0148424.

[33] Bath PM, Lee HS, Everton LF. Swallowing therapy for dysphagia in acute and subacute stroke[J]. Cochrane Database Syst Rev, 2018, 10: D323. DOI: 10.1002/14651858.CD000323.pub3.

[34] Kober SE, Wood G. Changes in hemodynamic signals accompanying motor imagery and motor execution of swallowing: a near-infrared spectroscopy study[J]. Neuroimage, 2014, 93: 1-10. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2014.02.019.

[35] Kober SE, Bauernfeind G, Woller C, et al. Hemodynamic signal changes accompanying execution and imagery of swallowing in patients with dysphagia: a multiple single-case near-infrared spectroscopy study[J]. Front Neurol, 2015, 6. DOI: 10.3389/fneur.2015.00151.

[36] Kohl SH, Mehler D, Luhrs M, et al. The potential of functional near-infrared spectroscopy-based neurofeedback-a systematic review and recommendations for best practice[J]. Front Neurosci, 2020, 14: 594. DOI: 10.3389/fnins.2020.00594.

[37] Kober SE, Wood G, Kurzmann J, et al. Near-infrared spectroscopy based neurofeedback training increases specific motor imagery related cortical activation compared to sham feedback[J]. Biol Psychol, 2014, 95: 21-30. DOI: 10.1016/j.biopsycho.2013.05.005.

[38] Kober SE, Gressenberger B, Kurzmann J, et al. Voluntary modulation of hemodynamic responses in swallowing related motor areas: a near-infrared spectroscopy-based neurofeedback study[J]. PLoS One, 2015, 10(11): e143314. DOI: 10.1371/journal.pone.0143314.

(修回日期:2022-05-02)

(本文编辑:阮仕衡)