

# 基于功能性近红外光谱技术的脑卒中患者 下肢功能康复研究进展

农礼华<sup>1,2</sup>, 黄国付<sup>1</sup>, 叶思静<sup>1</sup>, 杨唐柱<sup>1</sup>

【关键词】 功能性近红外光谱技术; 脑卒中康复; 下肢; 大脑皮质活动

【中图分类号】 R49; R743.3 【DOI】 10.3870/zgkf.2024.03.011

脑卒中是导致患者残疾和死亡的主要原因<sup>[1]</sup>。患者因残疾无法独立生活,给家庭和社会带来巨大负担<sup>[2-3]</sup>。脑功能检测技术可监测大脑活动期间的变化,为评估脑卒中康复治疗的效果提供帮助<sup>[1]</sup>。相关的脑功能检测技术有脑电图(electroencephalogram, EEG)、功能性磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)、正电子发射型计算机断层显像(positron emission computed tomography, PET)、功能性近红外光谱(functional near-infrared spectroscopy, fNIRS)等<sup>[4-5]</sup>。其中,EEG具有较高的时间分辨率,但空间分辨率较低,且易受伪迹干扰<sup>[5]</sup>;fMRI设备具有很强空间分辨率,但费用昂贵,不可移动,且使用禁忌证较多<sup>[6]</sup>;PET具有高特异性,但操作复杂并存在放射性<sup>[6]</sup>。近年来,fNIRS被应用于人脑的语言映射、神经重症监护、癫痫等多个研究领域中<sup>[7]</sup>。本文主要从fNIRS技术的原理特点、在脑卒中后下肢功能恢复研究实验设计及结果等方面进行综述,以期为进一步相关研究提供参考。

## 1 fNIRS技术的原理与特点

1.1 fNIRS的基本原理 fNIRS是一种无创性光学成像技术,可以在不受限制的环境中测量皮质血流动力学变化来推断潜在的大脑神经活动<sup>[8-9]</sup>。它基于600~900nm的近红外光传播和散射到组织中,并被大脑中的氧合血红蛋白(oxy-hemoglobin, HbO)与脱氧血红蛋白(deoxyhemoglobin, HbR)吸收,并根据光子的波长显示特定的吸收光谱<sup>[7,10]</sup>。fNIRS设备由光源、探测器、检测组件、数据处理系统等组成,光源通过发光二极管或激光管发射出近红外光(2个或多个不

同波长)照射至大脑,探测器在光散射通过组织后接收光<sup>[8]</sup>。基于神经血管耦合机制,神经活动的增加会导致大脑氧代谢的增加,在神经元的氧代谢过程中,氧被消耗以产生能量,导致HbO浓度降低,HbR浓度升高,神经活动触发脑血流动力学的局部变化,导致向激活脑区的血流增强,由于局部供氧大于耗氧,因此在激活的脑区,可观察到HbO浓度较高,HbR浓度较低<sup>[5]</sup>。基于修正的比尔-朗伯定律(Modified Beer-Lambert Law)来计算出大脑皮质血红蛋白浓度相对变化<sup>[9]</sup>。基于HbO与HbR等指标,fNIRS技术能有效检测与神经元活动、及血液动力学相关不同大脑区域的功能<sup>[8]</sup>。

1.2 fNIRS的测量方法 fNIRS主要有3种测量模式:连续波(continuous wave, CW)、时域(time-domain, TD)和频域(frequency domain, FD)<sup>[9]</sup>。CW是最常见和最简单的方法,可利用光源以恒定的频率和振幅向脑组织发射光来测量HbO和HbR相对浓度的变化<sup>[9]</sup>。TD可以用短脉冲激光来检测光子的飞行时间<sup>[9]</sup>,具有精度高、空间分辨率高等优点<sup>[11]</sup>,但受限于系统体积大、成本高<sup>[12]</sup>。FD可利用穿过组织层的光来测量振幅、平均强度和新兴波的相位<sup>[9]</sup>。CW光源与探测器较多且成本较低,相比于其他两种测量模式,是目前应用较为广泛的测量类型<sup>[13]</sup>。每种类型都有其优缺点,研究人员可根据系统特性来进行实验设计<sup>[9]</sup>。fNIRS光源与探测器放置最佳解决方案是使用神经导航办法,最常见和实用的策略是使用国际EEG10-20(10-10或10-5)系统,并以fMRI的定位点参考来放位置,成人中光源与探测器的最佳距离为3.0cm或4.0cm,短通道约为0.8<sup>[14]</sup>。

1.3 fNIRS的优点与不足 fNIRS的主要优点是:监测了HbO和HbR的浓度相对变化值,比只测量HbR的fMRI具有优势<sup>[9]</sup>;高时间分辨率:fNIRS的时间分辨率明显高于fMRI,并且能够完成动态实时监控,允许在运动过程中监测大脑的活动<sup>[15]</sup>;安全性高:使用PET测量时需注入放射性示踪剂限制重复测量次数<sup>[16]</sup>,而fNIRS为大脑皮质非侵入性成像,对人体无

基金项目:武汉科技大学附属武昌医院科研创新基金项目“一般项目”(WCY2022G03)

收稿日期:2023-02-15

作者单位:1. 武汉科技大学附属武昌医院康复医学科,武汉 430063; 2. 武汉科技大学医学院,武汉 430065

作者简介:农礼华(1996-),女,硕士研究生,主要从事神经康复方面的研究。

通讯作者:杨唐柱,258582639@qq.com

副作用<sup>[8]</sup>;便携式:通常 fMRI 和 PET 可为大脑状态检查提供良好的空间分辨率,但设备体积大或缺乏流动性,这些评估只能在有限的环境中进行<sup>[17]</sup>。fNIRS 设备体积相对较小并且可移动,无需占用很大的面积,并且采用光纤传输<sup>[7,8,18]</sup>,成本较低<sup>[19]</sup>。fNIRS 的不足有:浅层穿透,检测范围多局限于大脑皮质,较难测量大脑深层结构<sup>[9]</sup>;信号干扰,深色头发可能会阻挡光线,会影响进出颅骨的信号强度等<sup>[20]</sup>。

## 2 使用 fNIRS 技术进行下肢康复研究的实验设计

2.1 脑区选择 有证据表明,脑卒中后的功能恢复依赖于受损神经网络的重组<sup>[21]</sup>。皮质损伤后的运动恢复在很大程度上是通过行为代偿实现的,也有研究者认为在卒中患者中,由于调节脊髓上运动中枢的皮质脊髓运动通路被中断,邻近或远离受损区域的其他皮质可以接管受损区域发挥作用<sup>[22]</sup>。皮质脊髓束是运动控制的主要系统之一,起源于感觉运动皮质的一部分及其他皮质区,研究者发现有助于恢复卒中上肢运动活动的大脑结构分为 3 组:初级运动皮层完整病灶周围区域;紧邻执行控制结构的同侧和对侧辅助运动系统;以及对侧运动系统<sup>[22]</sup>。然而,脑卒中后下肢功能重组仍不清楚,步态的精细控制涉及多个脑区,包括感觉运动皮质(sensorimotor cortex, SMC)、辅助运动区(supplementary motor area, SMA)、小脑和脑干等<sup>[23]</sup>。此外,前运动皮质(premotor cortex, PMC)激活增强可能反映在步态中稳定近端肢体和躯干的需要,因为它参与了对侧近端和双侧轴性肌肉组织的控制<sup>[24-25]</sup>。前额叶皮质(prefrontal cortex, PFC)在使步态适应环境条件变化方面起着至关重要的作用,脑卒中患者前额叶病变时注意力降低<sup>[25]</sup>。先前一项单光子发射计算机断层成像技术研究表明,健康受试者步行与双侧 SMC、SMA 和 PMC 的激活相关<sup>[26]</sup>。Miyai 等<sup>[27]</sup>运用 fNIRS 技术比较健康受试者肢体运动时的脑激活模式,表明步行和单侧踝关节背屈也与双侧 SMC 和 SMA 的激活相关,这与先前研究结果类似。脑卒中下肢康复相关研究中使用 fNIRS 技术测量的大脑区域主要是 SMC、SMA、PMC、PFC 等<sup>[19,21,24,25,28-39]</sup>。

2.2 系统与参数选择 脑卒中下肢康复相关研究中所用 fNIRS 系统型号并不统一,相对使用较多的型号是 OMM-2001<sup>[21,24,25]</sup>、NIRO-200NX<sup>[37,40,41]</sup>、OXY-MON MkII<sup>[34,38,42]</sup>、BS-3000<sup>[43,44]</sup>、ISS Imagent<sup>[31]</sup>等。在这些的研究中,研究人员使用了 2~56 通道、2~16 个光源和 2~23 个探测器,光源与探测器的距离多为 3cm,所用的采样率为 0.76~30Hz。Lim 等<sup>[19]</sup>采用了

两种不同的间距,48 个长(3~3.5cm)通道和 8 个短(0.8cm)分离通道间隔。研究者在数据处理时常选择 HbO 均值作为下肢运动任务中皮质激活的标志,因为它在通过 fNIRS 评估局部脑血流时对运动较敏感<sup>[45]</sup>。2.3 范式选择 脑卒中下肢康复相关研究中大部分采用的是组块设计,包括休息和任务期。使用的范式有 3~8 个组块,包括 1~3 个运动任务期(20~60s)和 1~2 个休息期(15~60s)交替进行单任务或双重任务。这些范式是血氧水平依赖 fMRI 中常用的组块时间,并且与产生强大皮质激活图的周期(15s 或 30s)相一致<sup>[46]</sup>。单任务包括行走任务、踝关节背屈任务、骑行任务等。双重任务是指个体同时执行两项任务的行为过程,可涉及同时进行的感知、运动或认知任务,类似于日常生活中的活动,如做饭、购物或边走边说话等。何晓阔等<sup>[43]</sup>还增加采集患者治疗前后静息态。

## 3 fNIRS 技术在下肢康复研究中的应用

fNIRS 技术在监测运动功能恢复方面发挥着重要作用,类似于 fMRI<sup>[34,47]</sup>。脑卒中后下肢运动功能障碍包括步态及下肢痉挛等问题,fNIRS 具有多种优势,为持续运动任务过程中动态实时监测提供了巨大的价值。越来越多的证据表明,脑卒中的运动恢复涉及皮质活动的改变<sup>[34,47,48]</sup>。国内外研究者利用 fNIRS 技术监测运动任务期间皮质的局部血流动力学变化并对脑卒中患者步态与痉挛恢复的神经机制进行了相关研究。

3.1 步态障碍康复 研究者利用 fNIRS 技术发现正常步态和偏瘫步态之间皮层激活模式的主要差异是不对称的 SMC 激活,受损半球比未受损半球的激活少,其他与运动相关的区域激活以及通过治疗使不对称 SMC 激活得到改善可能在脑卒中后运动功能恢复中发挥重要作用,对研究卒中后的下肢运动系统重组机制有帮助<sup>[25,28]</sup>。Miyai 等<sup>[24]</sup>应用 fNIRS 技术观测了在部分体重支持下执行跑步机步行期间的皮质激活情况,发现增强下肢摆动干预比辅助行走对受损半球激活更大,并证明 PMC 和 SMC 激活可能在脑卒中患者步态恢复中发挥重要作用。随后,他们阐明了步态障碍恢复的更详细的机制<sup>[25]</sup>,采用类似的研究在对患者进行多学科康复治疗 2 个月前后分别监测步行任务脑激活变化,结果显示受损伤半球 PMC 激活的增强和 SMC 激活的不对称性改善起着代偿作用,提示其可能在运动恢复中发挥作用。随后他们还将其研究扩展到在部分减重支撑系统支持下,使用 fNIRS 技术监测脑卒中患者和健康受试者在跑步机上步行期间的皮质激活变化,结果发现 SMC 的活性与该系统调节步态性

能改善之间存在相关性<sup>[21]</sup>。Lee 等<sup>[28]</sup> 研究使用 fNIRS 技术监测脑卒中患者在可穿戴式髋部辅助机器人辅助下在跑步机上步行时受损半球的 SMC 激活更高,表现出更对称的大脑激活模式,有助于步态功能恢复。前额叶也参与了运动控制,Taguchi 等<sup>[29]</sup> 通过 fNIRS 技术监测脑卒中患者在虚拟现实训练过程中及结束后,在逆向步行任务后立即观察 PFC 显著激活,表明虚拟现实训练可能诱发了运动错觉。Lim 等<sup>[19]</sup> 通过 fNIRS 技术监测脑卒中患者在步行任务过程中发现在 PFC 也存在持续的激活,受损半球显示出更强的激活,SMC 在行走的早期加速阶段活跃,后顶叶皮质在后期稳态阶段激活且该区域与直立平衡和姿势控制有关,表明了 PFC、SMC 和后顶叶皮质在卒中后步态中的重要性。Kim 等<sup>[30]</sup> 通过 fNIRS 技术监测末端执行器机器人辅助步态训练或部分体重支撑下跑步机步态训练治疗 4 周前步行任务脑卒中患者大脑变化,结果显示仅在机器人辅助步态训练治疗后受损半球 SMA、SMC、PMC 的激活显著增加,提示机器人辅助可有效改善卒中患者的神经可塑性和临床结局。一项骑自行车运动的研究也提示卒中后下肢功能重组, Lin 等<sup>[31]</sup> 将 fNIRS 技术监测脑卒中患者在 3 种骑行任务条件下的皮质情况:有视觉速度反馈的主动骑行,无视觉速度反馈的主动骑行,以及机器驱动下的被动骑行,结果显示被动骑行和主动骑行对 SMC、SMA 和 PMC 产生了相似的皮质激活模式,这表明被动骑行也可能有利于促进卒中后的运动恢复,此外,被动比主动骑行时未受损半球 SMC 激活的减少,这可能与主动状态相比肌肉收缩需求减少。然而,功能重组的模式并不统一,可能因每个患者的病变类型或症状而异, Mi-hara 等<sup>[32]</sup> 使用 fNIRS 技术监测伴有共济失调的脑卒中患者和健康受试者在跑步机上步行任务下的大脑变化,结果显示患者在整个步行阶段 PFC 表现出持续激活,而健康受试者在加速阶段激活在稳定阶段减弱。在慢性退行性共济失调患者中也发现了 PFC 激活的增加, Caliandro 等<sup>[33]</sup> 使用 fNIRS 技术研究报道了 PFC 的皮质激活与步宽之间的显著正相关。上述研究表明 PFC 活性可能与共济失调步态的代偿机制相关。研究人员通过 fNIRS 技术监测脑卒中患者额外的认知或运动任务来研究复杂行走过程中的脑激活变化,能够在更接近真实生活条件的情况下评估注意力资源分配对行走影响<sup>[34-39]</sup>。与简单步行任务相比,脑卒中患者双任务步行时需要额外的注意力,可能促进 PFC 神经元活动<sup>[34,36,37,39]</sup>,也有研究人员持有相反结论,患者双任务行走时 PFC 激活没有变化<sup>[35,38]</sup>。Hermand 等<sup>[38]</sup> 研究显示脑卒中患者双任务行走时行

走速度显著降低,步态变异性增加,尽管 Mori 等<sup>[35]</sup> 也显示 PFC 活动无组间变化,但他们发现患者 PFC 激活越大,步态加速幅度变化越小。相反, Chatterjee 等<sup>[36]</sup> 研究表明 PFC 激活增加与行走速度和步幅的下降相关。Hawkins 等<sup>[37]</sup> 完成了一个亚组分析发现下肢运动功能障碍较严重的患者 PFC 激活程度高于较轻患者,这些亚组在步态速度上无差异。Liu 等<sup>[39]</sup> 也显示双侧 PMC 和未受累 SMA 在双任务行走时激活增加,与行走速度和节奏的降低,步幅增加和步频不对称相关。与年轻人相比,卒中组的 PFC 增加更多<sup>[37]</sup>。相比之下,与老年人的比较显示出更大的<sup>[37]</sup>,更少的<sup>[35]</sup> 和类似的 PFC 激活<sup>[34]</sup>。基于上述研究可开发并优化运动或认知双重任务训练方案,将其运用于脑卒中患者下肢运动功能恢复过程中。

3.2 下肢痉挛康复 此前 fMRI 研究也报道了痉挛状态的改善与感觉运动区、顶叶皮质等区域兴奋性相关,这有助于进一步研究痉挛的中枢机制<sup>[48]</sup>。Miyara 等<sup>[45]</sup> 通过 fNIRS 技术研究单次全身振动治疗卒中后下肢痉挛患者在治疗前后执行踝关节背屈任务期间脑激活情况,结果显示双侧 SMC 激活的急性增加,表明该疗法可能通过直接降低脊髓运动神经元的兴奋性来减轻卒中相关的下肢痉挛,还反映了抑制性回路的增强。

#### 4 小结

综上所述,大脑皮质在下肢功能康复中具有重要作用,脑卒中下肢功能的恢复与同侧、对侧半球运动系统的重组过程密切相关。fNIRS 技术作为一种无创便捷的神经成像工具,具有在日常生活环境下测量大脑多个皮质区激活而不受繁琐限制的优势,已发展为神经科学领域一项极具吸引力的技术。由于这些优势, fNIRS 将是研究动态运动任务的神经机制的合适工具。然而,在使用 fNIRS 技术研究双重任务训练中,大部分研究仅将 PFC 作为感兴趣的区域,在后续研究当中可扩展到多个脑区。同时,需要更多的研究来扩充样本量也可联合使用其他脑成像技术进行研究,来确定大脑激活可否成为脑卒中康复过程中有价值的生物标志物或神经可塑性指标。

fNIRS 可用于测量下肢康复皮质激活的变化。我们期待更多基于大脑的康复研究,使用定量 fNIRS 技术进行下肢干预,以获得有效的治疗性康复策略。

#### 【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):1-14.
- [2] Rajacic S, Gothe H, Borba H H, et al. Economic burden of stroke: a systematic review on post-stroke care[J]. *Eur J Health Econ*, 2019, 20(1): 107-134.
- [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] Herold F, Wiegel P, Scholkmann F, et al. Functional near-infrared spectroscopy in movement science: a systematic review on cortical activity in postural and walking tasks[J]. *Neurophotonics*, 2017, 4(4): 04140301-0414030125.
- [5] Bishnoi A, Holtzer R, Hernandez ME. Brain Activation Changes While Walking in Adults with and without Neurological Disease: Systematic Review and Meta-Analysis of Functional Near-Infrared Spectroscopy Studies[J]. *Brain Sci*, 2021, 11(3):291.
- [6] Saliba J, Bortfeld H, Levitin D J, et al. Functional near-infrared spectroscopy for neuroimaging in cochlear implant recipients[J]. *Hear Res*, 2016, 338: 64-75.
- [7] Chen W L, Wagner J, Heugel N, et al. Functional Near-Infrared Spectroscopy and Its Clinical Application in the Field of Neuroscience: Advances and Future Directions[J]. *Front Neurosci*, 2020, 14: 724.
- [8] Pinti P, Tachtsidis I, Hamilton A, et al. The present and future use of functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) for cognitive neuroscience[J]. *Ann N Y Acad Sci*, 2020, 1464(1): 5-29.
- [9] Almajidy R K, Mankodiya K, Abtahi M, et al. A Newcomer's Guide to Functional Near Infrared Spectroscopy Experiments[J]. *IEEE Rev Biomed Eng*, 2020, 13: 292-308.
- [10] Huppert T J, Hoge R D, Diamond S G, et al. A temporal comparison of BOLD, ASL, and NIRS hemodynamic responses to motor stimuli in adult humans[J]. *Neuroimage*, 2006, 29(2): 368-382.
- [11] Carp S A, Farzam P, Redes N, et al. Combined multi-distance frequency domain and diffuse correlation spectroscopy system with simultaneous data acquisition and real-time analysis[J]. *Biomed Opt Express*, 2017, 8(9): 3993-4006.
- [12] Kinoshita S, Tamashiro H, Okamoto T, et al. Association between imbalance of cortical brain activity and successful motor recovery in sub-acute stroke patients with upper limb hemiparesis: a functional near-infrared spectroscopy study [J]. *Neuroreport*, 2019, 30(12): 822-827.
- [13] Lee J H, Jung Y J. Functional Near-infrared Spectroscopy-based Upper Extremity Function Rehabilitation for Stroke Survivor: a Review [J]. *Journal of Mechanics in Medicine and Biology*, 2020, 20(2): 205000101-205000115.
- [14] Herold F, Wiegel P, Scholkmann F, et al. Applications of Functional Near-Infrared Spectroscopy (fNIRS) Neuroimaging in Exercise-Cognition Science: A Systematic, Methodology-Focused Review[J]. *J Clin Med*, 2018, 7(12):466.
- [15] 刘静娅, 黄富表, 张通. 功能性近红外光谱技术在脑梗死后患者躯体感觉评估中的应用[J]. *中国康复*, 2022, 37(6): 355-358.
- [16] Irani F, Platek S M, 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.
- [17] Hong K S, Yaqub M A. Application of functional near-infrared spectroscopy in the healthcare industry: A review[J]. *J Innov Opt Health Sci*, 2019, 12(6):91.
- [18] Zhang S, Peng C, Yang Y, et al. Resting-state brain networks in neonatal hypoxic-ischemic brain damage: a functional near-infrared spectroscopy study [J]. *Neurophotonics*, 2021, 8(2): 02500701-02500717.
- [19] Lim S B, Yang C L, Peters S, et al. Phase-dependent Brain Activation of the Frontal and Parietal Regions During Walking After Stroke - An fNIRS Study [J]. *Front Neurol*, 2022, 13: 90472201-90472214.
- [20] Strangman G, Boas D A, Sutton J P. Non-invasive neuroimaging using near-infrared light[J]. *Biol Psychiatry*, 2002, 52(7): 679-693.
- [21] Miyai I, Suzuki M, Hatakenaka M, et al. Effect of body weight support on cortical activation during gait in patients with stroke [J]. *Exp Brain Res*, 2006, 169(1): 85-91.
- [22] Fregni F, Pascual-Leone A. Hand motor recovery after stroke: tuning the orchestra to improve hand motor function[J]. *Cogn Behav Neurol*, 2006, 19(1): 21-33.
- [23] Chieffo R, Comi G, Leocani L. Noninvasive Neuromodulation in Poststroke Gait Disorders: Rationale, Feasibility, and State of the Art[J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2016, 30(1): 71-82.
- [24] Miyai I, Yagura H, Oda I, et al. Premotor cortex is involved in restoration of gait in stroke[J]. *Ann Neurol*, 2002, 52(2): 188-194.
- [25] Miyai I, Yagura H, Hatakenaka M, et al. Longitudinal optical imaging study for locomotor recovery after stroke[J]. *Stroke*, 2003, 34(12): 2866-2870.
- [26] Fukuyama H, Ouchi Y, Matsuzaki S, et al. Brain functional activity during gait in normal subjects: a SPECT study[J]. *Neurosci Lett*, 1997, 228(3): 183-186.
- [27] Miyai I, Tanabe H C, Sase I, et al. Cortical mapping of gait in humans: a near-infrared spectroscopic topography study[J]. *Neuroimage*, 2001, 14(5): 1186-1192.
- [28] Lee S H, Lee H J, Shim Y, et al. Wearable hip-assist robot modulates cortical activation during gait in stroke patients: a functional near-infrared spectroscopy study [J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2020, 17(1): 145.
- [29] Taguchi J, Takami A, Makino M. Changes in cerebral blood flow before, during, and after forward and backward walking in stroke patients trained using virtual reality walking videos with deliberately induced inaccuracies in walking speed estimations[J]. *J Phys Ther Sci*, 2022, 34(10): 668-672.
- [30] Kim H, Park G, Shin J H, et al. Neuroplastic effects of end-effector robotic gait training for hemiparetic stroke: a randomised controlled trial[J]. *Sci Rep*, 2020, 10(1): 1246101-1246109.
- [31] Lin P Y, Chen J J, Lin S I. The cortical control of cycling exercise in stroke patients: an fNIRS study[J]. *Hum Brain Mapp*, 2013, 34(10): 2381-2390.
- [32] Mihara M, Miyai I, Hatakenaka M, et al. Sustained prefrontal

- activation during ataxic gait; a compensatory mechanism for ataxic stroke? [J]. *Neuroimage*, 2007, 37(4): 1338-1345.
- [33] Caliendo P, Masciullo M, Padua L, et al. Prefrontal cortex controls human balance during overground ataxic gait [J]. *Restor Neurol Neurosci*, 2012, 30(5): 397-405.
- [34] Al-Yahya E, Johansen-Berg H, Kischka U, et al. Prefrontal Cortex Activation While Walking Under Dual-Task Conditions in Stroke: A Multimodal Imaging Study [J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2016, 30(6): 591-599.
- [35] Mori T, Takeuchi N, Izumi S I. Prefrontal cortex activation during a dual task in patients with stroke [J]. *Gait Posture*, 2018, 59: 193-198.
- [36] Chatterjee S A, Fox E J, Daly J J, et al. Interpreting Prefrontal Recruitment During Walking After Stroke: Influence of Individual Differences in Mobility and Cognitive Function [J]. *Front Hum Neurosci*, 2019, 13: 194.
- [37] Hawkins K A, Fox E J, Daly J J, et al. Prefrontal over-activation during walking in people with mobility deficits: Interpretation and functional implications [J]. *Hum Mov Sci*, 2018, 59: 46-55.
- [38] Hermand E, Tapie B, Dupuy O, et al. Prefrontal Cortex Activation During Dual Task With Increasing Cognitive Load in Subacute Stroke Patients: A Pilot Study [J]. *Front Aging Neurosci*, 2019, 11: 160.
- [39] Liu Y C, Yang Y R, Tsai Y A, et al. Brain Activation and Gait Alteration During Cognitive and Motor Dual Task Walking in Stroke-A Functional Near-Infrared Spectroscopy Study [J]. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*, 2018, 26(12): 2416-2423.
- [40] Caliendo P, Molteni F, Simbolotti C, et al. Exoskeleton-assisted gait in chronic stroke: An EMG and functional near-infrared spectroscopy study of muscle activation patterns and prefrontal cortex activity [J]. *Clin Neurophysiol*, 2020, 131(8): 1775-1781.
- [41] Clark D J, Rose D K, Butera K A, et al. Rehabilitation with accurate adaptability walking tasks or steady state walking: A randomized clinical trial in adults post-stroke [J]. *Clin Rehabil*, 2021, 35(8): 1196-1206.
- [42] 唐强, 王雪, 穆姿辰, 等. 针康法促进脑卒中后下肢运动功能重建的功能性近红外光谱研究 [J]. *中国康复理论与实践*, 2022, 28(1): 32-37.
- [43] 何晓阔, 刘慧华, 余果, 等. 经颅直流电刺激与功能性电刺激的不同时序组合对脑卒中偏瘫患者脑功能连接的即时影响 [J]. *中国康复医学杂志*, 2021, 36(10): 1213-1219.
- [44] 何晓阔, 雷蕾, 余果, 等. 功能性电刺激辅助步行时脑卒中偏瘫患者的脑激活模式 [J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2022, 44(9): 774-778.
- [45] Miyara K, Kawamura K, Matsumoto S, et al. Acute changes in cortical activation during active ankle movement after whole-body vibration for spasticity in hemiplegic legs of stroke patients: a functional near-infrared spectroscopy study [J]. *Top Stroke Rehabil*, 2020, 27(1): 67-74.
- [46] Jurkiewicz M T, Crawley A P, Mikulis D J. Is Rest Really Rest? Resting-State Functional Connectivity During Rest and Motor Task Paradigms [J]. *Brain Connect*, 2018, 8(5): 268-275.
- [47] Uga M, Dan I, Sano T, et al. Optimizing the general linear model for functional near-infrared spectroscopy: an adaptive hemodynamic response function approach [J]. *Neurophotonics*, 2014, 1(1): 01500401-01500410.
- [48] 陈茜茜, 徐曙天, 李源莉, 等. 脑卒中后痉挛的脑成像研究应用进展 [J]. *中国康复*, 2022, 37(2): 122-124.

## · 外刊拾粹 ·

### 耳迷走神经刺激治疗失眠

失眠(ID)主要是指睡眠质量差或睡眠不足。ID的病因通常与丘脑功能障碍有关。本研究使用静息态功能磁共振成像技术(fMRI)来研究双侧丘脑、前扣带回和双侧岛叶(显著网络)、岛叶和背侧扣带回(负面情绪网络)以及额顶叶网络(默认模式网络)之间的异常功能连接(FCs)。通过经皮耳迷走神经刺激(taVNS)来确定这些FCs是否易受调节。采用Hwato牌电子针灸仪来进行干预。20名患者的双侧taVNS的脉冲频率为20Hz,刺激持续30min。在taVNS治疗前后即刻收集功能磁共振影像数据。纳入20名年龄和性别相匹配的健康受试者作为对照组进行比较。在taVNS之前,功能磁共振影像显示失眠患者大脑葡萄糖代谢水平增加,表明静息态功能连接(RSFC)增强,ID患者的觉醒度较高。在接受taVNS治疗后,丘脑和右角回、前扣带回及楔前叶之间的RSFC降低,导致觉醒度的改善。结论:本研究发现丘脑与右角回、左前扣带回及楔前叶之间功能连接的变化似乎是taVNS治疗失眠的基础。

(戴洁译)

Zhao B, et al. Altered Functional Connectivity of the Thalamus in Patients with Insomnia Disorder after Transcutaneous Auricular Vagus Nerve Stimulation Therapy. *Front Neurol*. 2023, 14:1164869.

中文翻译由WHO康复培训与研究合作中心(武汉)组织  
本期由浙江大学医学院附属邵逸夫医院李建华教授主译