

·综述·

基于功能性近红外光谱技术的脑感觉运动联合区网络研究进展*

王梦寰¹ 龚翔¹ 沈益苇¹ 花晗笑¹ 卞荣^{1,2,3}

功能性近红外光谱技术(functional near-infrared spectroscopy, fNIRS)是一种光学、无创的血流动力学神经成像技术,它可以通过将近红外光(650—950nm)照射入头部,测量出脑组织内氧合血红蛋白(oxygenated hemoglobin, HbO₂)和脱氧血红蛋白(deoxyhemoglobin, Hb)的浓度变化,进而间接地测量出脑区兴奋性^[1]。fNIRS具有抗身体运动干扰能力强、便携不受环境限制等特点,因此研究者可以较容易地调整实验控制条件,以选择性观察大脑皮质区的兴奋情况。目前, fNIRS已经被证明是一种可靠的神经科学研究手段,国外大多数fNIRS研究都集中在认知心理行为、语言处理功能、脑功能重塑与运动学习等领域^[2-4]。国内已有学者报道了fNIRS在社会认知神经科学以及语言言语科学中的应用^[5-6],但尚缺少fNIRS应用于皮质感觉运动区的介绍。因此本文旨在对国内外针对感觉运动区皮质的近红外线成像研究进行梳理,为临床和科研中fNIRS的应用提供依据。

1 功能性近红外光谱技术

1.1 fNIRS简介

fNIRS主要由三种装置组成:光源发射器、光电探测器及信号采集器。为了获得一个持续的吸收光谱,通常用宽带光源(broadband light sources)装配上合适的带通滤波器(band pass filter)构成光源发射器;而光电探测器则利用其内部的光电二极管(photodiode)产生的内部光电效应收集散射回来的光信号。光源发射器与探测器通常会与光纤相连以便在头皮上调整探头的排布。

目前已有研究证明了fNIRS与功能磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)及脑电图(electroencephalogram, EEG)测量的数据之间有较好的一致性,效度良好^[7]。fNIRS具有时间分辨率高的特点,这使得它可以有效测量fMRI无法记录的由心脏、呼吸等引起的血流变化,但fNIRS捕捉到的信号数小于fMRI,所以fNIRS的空间分辨率低于fMRI; fNIRS相较正电子发射计算机断层显像技术(positron emission computed tomography, PET)具有无创性的特点,从而可以支持多次较长时间的测量;而与电生理技术如

EEG相比, fNIRS对局部脑区有着更好的兴奋性定位能力^[8]。此外,由于fNIRS是利用近红外光获取信号,与电场、磁场不发生干扰,因而可与经颅磁刺激(transcranial magnetic stimulation, TMS)及经颅直流电刺激(transcranial direct-current stimulation, tDCS)联合使用进行研究。然而fNIRS相较于EEG,脑磁描记法(magnetoencephalography, MEG)的时间分辨率更低,此外还面临着难以收集解剖结构图像,设备配置需大量时间,数据分析缺乏标准化,对运动误差的高敏感度等问题。

1.2 fNIRS的基本原理

fNIRS发射近红外光线通过头皮、颅骨和脑脊液投射入大脑,并记录漫反射后的光学强度。人体组织内占比最高的水对近红外的吸收率最小,总血红蛋白(total hemoglobin, HbT)是近红外光线的主要生理吸收源。皮质激活时,局部氧合血红蛋白(HbO₂)浓度增加,脱氧血红蛋白(HbR)浓度下降,因此利用局部HbO₂和HbR浓度的变化可以测得近红外的光强变化,从而反映脑皮层的激活程度。这种血流动力学和神经活动间的耦合关系已由其他成像技术(即fMRI和PET)证明^[7]。

1.3 fNIRS脑区兴奋性的检查方法

fNIRS的脑区通道排布对应于国际10—20/10—10位点,并以fMRI的基准定位点和激活体素为参考。目前多使用广义线性模型(generalized linear models, GLM)来观察脑区的实时兴奋性, GLM中的状态变量(beta, β)值可以反映fNIRS通道在皮层上激活水平,被用于计算HbO₂信号的血流动力学响应函数(hemodynamic response function, HRF)。皮层感兴趣区(regions of interest, ROIs)的功能网络连接可以通过建立在多元自回归模型(multivariate autoregressive model, MVAR)基础上的条件Granger因果分析(Granger causality, GC)进行计算^[9];也有研究采用了混合设计的方差分析(analysis of variance, ANOVA)模型对数据进行组内和组间比较从而获得ROIs之间的关联^[10];还有学者指出,基于时间序列的动态因果模型(dynamic causal model, DCM)更为准确^[11],目前尚无统一标准。

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2022.05.027

*基金项目:江苏省南京医科大学大学生创新创业计划项目(202010312033Y)

1 南京医科大学康复医学院,江苏省南京市,210029; 2 南京医科大学第一附属医院康复医学中心; 3 通讯作者
第一作者简介:王梦寰,男,本科在读; 收稿日期:2020-08-17

2 皮质感觉运动网络

2.1 皮质感觉运动网络的组成与功能

皮质感觉运动网络狭义上是指由中央前回的Ⅰ躯体运动区(Ms1)、中央后回的Ⅰ躯体感觉区(Sm1)组成;广义上是指大脑运动皮层与感觉皮层所组成网络的统称,包括半球内侧面的Ⅱ躯体运动区(M2)、运动前区(pre-motor area, PMA)、辅助运动区(supplementary motor area, SMA)、顶叶上小叶(superior parietal lobe, SPL)、枕叶视区皮质以及颞叶听区皮质以及顶枕颞叶联合区等。初级运动皮质(Brodman4区)是在大脑中实现感觉运动整合的主要组成部分,具有控制自主运动的基本功能,包括运动指令与身体持续的感觉状态的整合^[12];PMA(Brodman 6、8区)位于运动区前方,利用来自其他皮层区域的信息来选择适合于行动背景的运动^[12-13];SMA位于半球内侧面的6区,对“编程”和流畅执行“投射”动作序列十分重要^[14]。而额叶、颞叶和顶叶联合区可进行多感觉统合,以对运动过程中的空间定位、视觉追踪进行调控^[15]。大脑皮层的运动区与感觉区之间广泛联络形成感觉运动网络,它们对人体的自主运动系统起着至关重要的作用。

2.2 皮质感觉运动网络的活动

大脑网络的活动是指来源于脑部场电位微小振荡的皮层与神经元信号间的传递,可以用皮层兴奋性及连接性进行描述。描述连接性的一种方法是功能连接(functional connectivity, FC),以所测得神经元之间的兴奋性进行相关性推断,即神经生理学事件间的统计依赖性;而另一种方法为有效连接(effective connectivity, EC),是指同一个神经系统在突触或集群水平上对另一个系统时间依赖性的影响,其特点是既能展现脑区间的连接强度,同时也可以揭示其信号的来源^[11]。FC和EC在神经影像学领域中起着不同的作用。

目前已发现人在静息状态时大脑Ms1、SMA、PMA间存在着双向连接^[9]。Solodkin A等^[16]的研究发现在执行手指精细运动时,PMA和SPL至Ms1区的有效连接最强;而在进行运动想象时,来自SMA和SPL至Ms1区的有效连接强于从PMA、Sm1至Ms1区的有效连接,说明了SMA与PMA在运动执行过程中起着不同的重要作用。此外,研究发现Brodman5区(顶叶皮层)与4区(初级运动区)能够启动运动指令^[17],Bullock D^[18]所提出的皮层网络模型也认为Brodman5、4、2区之间存在着相互联系,可以感知人体的运动位置并根据目标位置进行修正,以调整运动速度与姿势。

3 fNIRS在皮质感觉运动网络中的应用

3.1 不同运动模式对皮质感觉运动区的激活

精细运动是一种远端肌肉的运动控制,包括了手与手指的协调运动,目前对精细运动的fNIRS研究大多集中在手指

敲击、画圈与对指任务上。Matsuzaki等^[19]通过fNIRS发现皮质感觉运动区的兴奋性随着手指运动时间增长而下降;此外,敲击动作与画圈动作在ROIs间的联系不同,前者皮层HbO₂的降低在SMA、PMA和前额叶(prefrontal cortex, PFC)间显著相关,而后者ROIs的联系则出现在M1与PFC之间。Anwar AR等^[20]证实了该报道,他们利用fNIRS、fMRI、EEG等多种脑功能成像技术对受试者的手指敲击、对指运动进行了分析。上述三项技术均显示手指的运动任务与对侧感觉运动皮层(sensorimotor cortex, SMC)、PMA和背外侧前额叶(DLPFC)感兴趣区的活动增加有关,而且在ROIs的双向连接中,正向连接比反向连接的兴奋性要大,这提示手指自主精细运动受外周反馈的影响小于自上而下的神经支配。Kashou NH等^[21]描述了在运动皮层HbO₂曲线的双峰现象,并发现手掌抓握与手指对掌的动作在皮层血氧的反应水平上无显著性差异。Batula AM^[2]在一项实验中用fNIRS研究了左右手脚对ROIs不同的激活模式,并描述了在执行运动期间大脑空间的激活时序。结果表明皮层兴奋在左右手之间的区分度大于脚部;且皮层兴奋性在运动开始5s后从相对较低、弥散的兴奋性迅速转变为高度且集中的激活。

国外针对粗大运动在感觉运动皮层的研究比精细运动更早,Ikegami T等^[22]通过fNIRS证明了皮层激活的程度与运动水平呈正相关。值得注意的是,他们发现受试者进行上肢多关节运动学习时感觉运动皮层的激活显著减少,可能与重复抑制(repetitive suppression, RS)机制有关。Huo C等^[23]的研究与他们结论相反,该研究显示健康人群在进行持续四肢联动训练时HbO₂在运动末期的变化(后10min)大于运动初期(前10min)。Hatakenaka M^[24]和Morihiro M^[25]观察到皮层的激活随着任务重复在空间上后移,从前辅助运动区(pre-SMA)转移到SMA,表现为初级运动区的HbO₂下降,而SMA的HbO₂则相应上升。Ono Y等^[26]的实验结果也与之相似,这为临床的运动再学习训练提供了指导。

此外,国内有许多文章重点考察了人体在一定强度的运动负荷后产生的认知行为及心理情绪上的变化,它们表明了PFC不只是认知功能的中枢,还对感觉运动网络产生影响^[27-28]。

3.2 不同感觉刺激对皮质感觉运动区的激活

fNIRS在基于感觉输入的运动控制领域也有许多应用研究。Vitorio R等^[29]应用节奏听觉提示(rhythmic auditory cues, RAC)研究老年人在反复的步行试验中皮层对听觉刺激的影响。他们发现老年人相较于年轻人会激活更多的运动皮层区域(PMA、SMA和M1),认为这是由于大脑的结构、功能退化造成原脑网络出现损伤,使得老年人需要招募额外的皮层区维持原有的能力^[30]。SMA通过额斜束与Broca区相联

系,额斜束被认为是大脑后背侧听觉通路的一部分,参与感觉运动整合,因此老年人左侧SMA激活说明了听觉反馈调节运动的存在。Harrison SJ等^[31]在对指实验中也验证了听觉刺激对感觉运动区和运动皮质区的共同影响。

视觉反馈在两个方面对运动控制起着作用。从一方面来看,它与声音刺激类似,即对运动的执行进行指导^[21]。有学者将视觉和听觉的信号整合用于观察脑皮层的激活与运动功能的改善^[26,29,32],结果证明在多感觉输入下,大脑在运动皮层、前额叶、枕叶的兴奋性强于单一感觉刺激,更有利于皮层激活和认知控制,促进神经功能恢复。另一方面,视觉信息在“镜像错觉”(mirror illusion)的层面也对运动皮质起作用。Mehner J等^[33]将受试者的手置于黑箱中,并通过箱内的微型相机记录手的动作,同时投影到受试者对侧的屏幕上。他们的研究表明,镜像错觉会导致双侧楔前叶(PC)和M1出现分离性的侧化(lateralization)现象:运动手兴奋对侧半球的运动皮层;而镜像错觉兴奋运动手同侧半球的PC,同时对运动手对侧的PC产生抑制。这意味着镜像错觉的视觉策略可以改变半球间的相互抑制。该团队在后续的研究中进一步验证了这个结论^[34],并发现初始运动功能水平和对PC对镜像错觉的有效应答是镜像疗法(mirror therapy, MT)疗效最主要的决定因素。

目前运用fNIRS对躯体感觉的研究有限。Hong KS等^[35]分别研究了主动握手、抓球、针刺、温度对体感皮层的影响,并就四种感觉刺激的血流动力学反应进行分类。该研究成功建立了在四种不同感觉下的体感皮层激活模型,但并没有在血流动力学反应的时间与空间特征中找到联系。韩雅迪等^[36]利用fNIRS观察到针刺合谷穴对健康人前额叶皮层功能存在影响,研究没有对感觉皮层进行观察,因此忽略了针刺的感觉输入对皮层的激活作用,但间接表明了刺痛感以及软组织本体感觉的激活对皮层存在调节作用。

3.3 运动想象对皮质感觉运动区的激活

有很多学者运用fNIRS研究运动想象的脑激活情况^[2,37-39],发现运动执行和运动想象激活的神经机制部分相似,它们都激活了主运动皮层,以及SMA、PMA、体感联合平层等区域^[39]。但是运动想象对HbO₂的激活慢于运动执行过程,且两者ROIs激活的空间分布也有显著性差异:在运动执行时脑部是对侧激活;而运动想象时则更多的是双侧激活模式^[2],该结果提示人体在运动想象时的心理图式未必是准确地模仿单手执行任务,这有待于进一步的研究。

3.4 不同神经刺激方式对皮质感觉运动区的激活

有学者试图研究周围神经电刺激对运动控制造成的影响。Lee SH等^[40]对手部主动运动和由功能性电刺激(functional electrical stimulation, FES)作用的被动运动时皮层的兴奋状态进行了比较,发现主动运动时SMC、M1、S1之间都

存在功能连接;而FES介导的被动运动中存在M1与S1的连接。这说明FES可通过感觉和运动的联合刺激作用与大脑,其主要刺激途径是感觉输入,但无法兴奋涉及运动规划、协调的SMC。Huo C等^[41]找到了正中神经电刺激(neuromuscular electrical stimulation, NMES)对皮质的躯体感觉传导通路,他们的实验结果表明NMES可以促进脑卒中患者大脑皮层网络中枕叶(occipital lobe, OL)与PFC的调节功能。PFC在复杂行为中起整合各种信息的作用,而OL与感觉刺激期间对身体部位的感知有关。此外, NMES能改变脑卒中患者未受累侧大脑主导兴奋的现象,恢复了大脑半球的双向连接。

近年来还有许多研究开展了fNIRS与TMS的联合应用。Mochizuki H等^[42]的研究证明了TMS的阈下单脉冲刺激可以使M1的HbO₂的升高,但Aoyama Y^[43]发现阈下刺激对DLPFC并不敏感,而超阈值的持续TMS刺激则使背外侧前额叶皮层(dorsolateral prefrontal cortex, DLPFC)的HbO₂显著下降^[44]。此外,有研究发现1Hz的短序列脉冲刺激则会降低M1和DLPFC的HbO₂^[45]。fNIRS-TMS的联用同时也被广泛用于临床。有报道和实验通过fNIRS评估重复进行电磁刺激(repeated transcranial magnetic stimulation, rTMS)对脑卒中后双侧运动皮层间平衡性的影响,表明了rTMS能够很好地提高受损半球的侧化指数(lateralization index, LI)^[46-47];国内窦佳鸣等^[48]在fNIRS下监测到rTMS抑制性序列刺激可以降低脑卒中患者健侧半球SMA的兴奋性。

此外, Yan J的团队^[49]以5位健康人为被试者用fNIRS评估了tDCS的作用效果,其结果发现当tDCS刺激左侧运动皮质时,右侧皮质的兴奋性降低,进一步验证了正常大脑半球间抑制的存在,同时也说明了fNIRS对tDCS疗效研究的良好适用性。

但由于以上研究都属于探索应用的前瞻研究,它们在临床人群、任务设计、刺激条件和其他方法学上存在较多不一致,因此极大限制了这些观察结果的解释以及应用。

3.5 不同疾病对皮质运动感觉区的影响

作为一种新兴的神经成像学技术, fNIRS被广泛用于大脑皮层病变的研究中。研究最多的是脑卒中患者的皮质运动感觉区, Rea M等^[50]利用fNIRS观察了脑卒中患者下肢运动准备时的脑血流信号,发现脑卒中患者瘫痪侧下肢在运动准备时对侧运动前区和感觉运动区的总血红蛋白(HbT)显著改变,验证了偏瘫患者大脑皮层的健侧代偿机制。Su H等^[51]研究了大脑自动调节功能(cerebral autoregulation, CA),发现脑梗患者大脑HbO₂的变化值与人体平均动脉压(mean arterial pressure, MAP)之间的耦合强度在患侧显著增强,而健侧显著降低,说明脑卒中后患侧的自动调节功能受损。此外, Huo C^[23]发现在进行四肢联动的康复训练时运动皮质和

枕叶之间的联系显著增强,且对侧PFC的兴奋性增高,说明了对脑卒中患者的康复治疗中,感觉运动的统合以及运动程序的强化的必要性。Li Q等^[32]利用声音、视觉、触觉多感觉结合训练对脑卒中患者的治疗进一步证明了这一观点。

大多利用fNIRS对帕金森病进行的研究局限于双重任务对患者PFC兴奋性的影响,未见与感觉运动皮质活动性相关的研究,仅有少数文章从年龄增长与步行任务、姿势不平衡间的角度对感觉运动皮质进行了观察。如Wang B^[52]的研究表明体位和年龄变化与PFC、感觉运动皮质显著相关;Kim HY等^[53]研究了不同步行训练模式对比的效果,发现运动皮层在机器人辅助步行中的兴奋性高于跑步机与台阶步行训练,而且随着步速的增加,运动与体感输入会使SMA兴奋性进一步增强;Metzger FG^[54]则发现在步行时执行双任务模式时,Broca区及额颞顶区的皮层会发生激活。

同时,其他疾病也会对皮质运动感觉区产生影响。Gentile E等^[55]通过fNIRS发现纤维肌痛患者在运动过程中运动皮质激活水平的升高与激光诱发电位(laser evoked potentials, LEPs)的增强之间存在相关性,证实了疼痛传入系统和运动传出系统相互干扰的病理机制。

4 小结

感觉运动网络对人体的感觉统合、日常活动能力及运动功能康复的影响巨大,是脑功能成像领域的研究重点。传统感觉运动网络的神经功能成像面临的主要问题是:①由于设备的空间限制,在正常人体姿势下难以进行运动设计;②受试者为激活皮层而进行运动时存在伪影的干扰;③由于电、磁等物理特性难以与临床上的部分治疗设备联合使用。而本文介绍的fNIRS对受试者姿势限制较小,抗运动伪影干扰能力强,非常适合用于对人体感觉运动区的研究。目前国外对精细运动模式如手指拍打、视听觉刺激对脑功能的影响已经形成了部分共识,针对fNIRS与TMS、tDCS的联合应用正在成为新的热点;此外fNIRS也被用于脑卒中患者脑网络模型的研究以及人体平衡能力相关因素的分析。总之,fNIRS是一种可靠、实用的设备,为我们探求感觉运动皮质的脑功能提供了新的方法与工具。然而,以往fNIRS相关的研究文献大多只关注于不同生理、病理状态下局部脑区的活动,对感觉与运动区相互联系的研究较为匮乏,有待今后的学者进一步的研究。

参考文献

[1] 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.
[2] Batula AM, Mark JA, Kim YE, et al. Comparison of

brain activation during motor imagery and motor movement using fNIRS[J]. *Comput Intell Neurosci*, 2017, 2017:5491296.

- [3] Bu L, Huo C, Qin Y, et al. Effective connectivity in subjects with mild cognitive impairment as assessed using functional near-infrared spectroscopy[J]. *Am J Phys Med Rehabil*, 2019, 98(6):438—445.
[4] Soltanlou M, Sitnikova MA, Nuerk HC, et al. Applications of functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) in studying cognitive development: the case of mathematics and language[J]. *Front Psychol*, 2018, 9:277.
[5] 司娟宁, 张文玥, 李雅欣, 等. 功能性近红外光谱成像技术在脑认知功能中的应用[J]. *立体定向和功能性神经外科杂志*, 2018, 3(31):189—192.
[6] 叶佩霞, 朱睿达, 唐红红, 等. 近红外光学成像在社会认知神经科学中的应用[J]. *心理科学进展*, 2017, 5(25):731—741.
[7] Villringer A, Planck J, Hock C, et al. Near infrared spectroscopy (NIRS): a new tool to study hemodynamic changes during activation of brain function in human adults[J]. *Neurosci Lett*, 1993, 154(1—2):101—104.
[8] Wilcox T, Biondi M. fNIRS in the developmental sciences[J]. *Wiley Interdiscip Rev Cogn Sci*, 2015, 6(3):263—283.
[9] Bajaj S, Drake D, Butler AJ, et al. Oscillatory motor network activity during rest and movement: an fNIRS study[J]. *Front Syst Neurosci*, 2014, 8:13.
[10] Sarkheil P, Odysseos P, Bee I, et al. Functional connectivity of supplementary motor area during finger-tapping in major depression[J]. *Compr Psychiatry*, 2020, 99:152166.
[11] Friston KJ. Functional and effective connectivity: a review[J]. *Brain Connect*, 2011, 1(1):13—36.
[12] Sanes JN. (2010). Primary Motor Cortex. In *The Corsini Encyclopedia of Psychology* (eds I.B. Weiner and W.E. Craighead). <https://doi.org/10.1002/9780470479216.corpsy0707>
[13] Deuchars S, Deuchars J. Neuroscience—a novelty for the nervous: Neuroscience (1997). Purves D, Augustine GJ, Fitzpatrick D, Katz LC, LaMantia AS, McNamara JO (Eds). Sunderland, MA: Sinauer Associates, Inc. 562[J]. *Bioessays*, 1998, 20: 871—872.
[14] Goldberg G. Supplementary motor area structure and function: Review and hypotheses[J]. *Behavioral and Brain Sciences*, 1985, 8: 567—588.
[15] Moore BD 4th, Bartoli E, Karunakaran S, et al. Multisensory integration reveals temporal coding across a human sensorimotor network[J]. *J Neurosci*, 2015, 35(43): 14423—14425.
[16] Solodkin A, Hlustik P, Chen EE, et al. Fine modulation in network activation during motor execution and motor imagery[J]. *Cereb Cortex*, 2004, 14(11):1246—1255.
[17] Riehle A, MacKay WA, Requin J. Are extent and force independent movement parameters? preparation- and movement-related neuronal activity in the monkey cortex[J]. *Exp Brain Res*, 1994, 99(1):56—74.
[18] Bullock D, Cisek P, Grossberg S. Cortical networks for control of voluntary arm movements under variable force conditions[J]. *Cereb Cortex*, 1998, 8(1):48—62.

- [19] Shuichi Matsuzaki, Masamichi Morihoro, Tadashi Tsubone, et al. Task-related brain activation during finger tapping and circle drawing monitored by fNIRS[J]. BMC Neuroscience, 2010 11(Suppl 1): 87.
- [20] Anwar AR, Muthalib M, Perrey S, et al. Effective connectivity of cortical sensorimotor networks during finger movement tasks: a simultaneous fNIRS, fMRI, EEG study [J]. Brain Topogr, 2016, 29(5): 645—660.
- [21] Kashou NH, Giacherio BM, Nahhas RW, et al. Hand-grasping and finger tapping induced similar functional near-infrared spectroscopy cortical responses[J]. Neurophotonics, 2016, 3(2): 025006.
- [22] Ikegami T, Taga G. Decrease in cortical activation during learning of a multi-joint discrete motor task[J]. Exp Brain Res, 2008, 191(2): 221—236.
- [23] Huo C, Xu G, Li Z, et al. Limb linkage rehabilitation training-related changes in cortical activation and effective connectivity after stroke: a functional near-infrared spectroscopy study[J]. Sci Rep, 2019, 9(1): 6226.
- [24] Hatakenaka M, Miyai I, Mihara M, et al. Frontal regions involved in learning of motor skill—a functional NIRS study[J]. Neuroimage, 2007, 34(1): 109—116.
- [25] Morihoro M, Tsubone T, Wada Y. Relation between NIRS signal and motor capability[J]. Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc, 2009, 2009: 3991—3994.
- [26] Ono Y, Noah JA, Zhang X, et al. Motor learning and modulation of prefrontal cortex: an fNIRS assessment[J]. J Neural Eng, 2015, 12(6): 066004.
- [27] 李金, 陈丽珍, 王梓蓉, 等. 八段锦运动对大学生抑制控制的影响: 一项 fNIRS 研究[A]. 中国心理学会. 第二十二届全国心理学学术会议摘要集. 中国心理学会, 2019: 3.
- [28] Xie H, Zhang M, Huo C, et al. Tai Chi Chuan exercise related change in brain function as assessed by functional near-infrared spectroscopy[J]. Sci Rep, 2019, 9(1): 13198.
- [29] Vitorio R, Stuart S, Gobbi LT, et al. Reduced gait variability and enhanced brain activity in older adults with auditory cues: a functional near-infrared spectroscopy study [J]. Neurorehabil Neural Repair, 2018, 32(11): 976—987.
- [30] Cabeza R. Hemispheric asymmetry reduction in older adults: the HAROLD model[J]. Psychol Aging, 2002, 17(1): 85—100.
- [31] Harrison SJ, Hough M, Schmid K, et al. When coordinating finger tapping to a variable beat the variability scaling structure of the movement and the cortical BOLD signal are both entrained to the auditory stimuli[J]. Neuroscience, 2018, 392: 203—218.
- [32] Li Q, Feng J, Guo J, et al. Effects of the multisensory rehabilitation product for home-based hand training after stroke on cortical activation by using NIRS methods[J]. Neurosci Lett, 2020, 717: 134682.
- [33] Mehnert J, Brunetti M, Steinbrink J, et al. Effect of a mirror-like illusion on activation in the precuneus assessed with functional near-infrared spectroscopy[J]. J Biomed Opt, 2013, 18(6): 066001.
- [34] Brunetti M, Morkisch N, Fritsch C, et al. Potential determinants of efficacy of mirror therapy in stroke patients—a pilot study[J]. Restor Neurol Neurosci, 2015, 33(4): 421—434.
- [35] Hong KS, Bhutta MR, Liu X et al. Classification of somatosensory cortex activities using fNIRS[J]. Behav Brain Res, 2017, 333: 225—234.
- [36] 韩雅迪, 袁博, 张彦峰, 等. 应用 fNIRS 技术观察针刺合谷穴对健康人前额叶皮层功能影响的研究[J]. 针灸推拿医学(英文版), 2017, 15(2): 94—98.
- [37] Wriessnegger SC, Kurzmann J, Neuper C. Spatio-temporal differences in brain oxygenation between movement execution and imagery: a multichannel near-infrared spectroscopy study[J]. Int J Psychophysiol, 2008, 67(1): 54—63.
- [38] Sitaram R, Zhang H, Guan C, et al. Temporal classification of multichannel near-infrared spectroscopy signals of motor imagery for developing a brain-computer interface[J]. Neuroimage, 2007, 34(4): 1416—1427.
- [39] 白学军, 张琪涵, 章鹏, 等. 基于 fNIRS 的运动执行与运动想象脑激活模式比较[J]. 心理学报, 2016, 5(48): 495—508.
- [40] Lee SH, Jin SH, An J. Distinction of directional coupling in sensorimotor networks between active and passive finger movements using fNIRS[J]. Biomed Opt Express, 2018, 9(6): 2859—2870.
- [41] Huo C, Li X, Jing J, et al. Median nerve electrical stimulation-induced changes in effective connectivity in patients with stroke as assessed with functional near-infrared spectroscopy [J]. Neurorehabil Neural Repair, 2019, 33(12): 1008—1017.
- [42] Mochizuki H, Ugawa Y, Terao Y, et al. Cortical hemoglobin-concentration changes under the coil induced by single-pulse TMS in humans: a simultaneous recording with near-infrared spectroscopy[J]. Exp Brain Res, 2006, 169(3): 302—310.
- [43] Aoyama Y, Hanaoka N, Kameyama M, et al. Stimulus intensity dependence of cerebral blood volume changes in left frontal lobe by low-frequency rTMS to right frontal lobe: a near-infrared spectroscopy study[J]. Neurosci Res, 2009, 63(1): 47—51.
- [44] Thomson RH, Maller JJ, Daskalakis ZJ, et al. Blood oxygenation changes resulting from suprathreshold transcranial magnetic stimulation[J]. Brain Stimul, 2011, 4(3): 165—168.
- [45] Kozel FA, Tian F, Dhamne S, et al. Using simultaneous repetitive transcranial magnetic stimulation/functional near infrared spectroscopy (rTMS/fNIRS) to measure brain activation and connectivity[J]. Neuroimage, 2009, 47(4): 1177—1184.
- [46] Urushidani N, Kinoshita S, Okamoto T, et al. Low-frequency rTMS and intensive occupational therapy improve upper limb motor function and cortical reorganization assessed by functional near-infrared spectroscopy in a subacute stroke patient[J]. Case Rep Neurol, 2018, 10(2): 223—231.
- [47] Tamashiro H, Kinoshita S, Okamoto T, et al. Effect of baseline brain activity on response to low-frequency rTMS/intensive occupational therapy in poststroke patients with upper limb hemiparesis: a near-infrared spectroscopy study [J]. Int J Neurosci, 2019, 129(4): 337—343.
- [48] 窦佳鸣, 李春光, 睦演祥, 等. 重复经颅磁刺激对脑卒中后上肢

- 功能影响的近红外脑功能成像研究[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2019, 41(6): 418—423.
- [49] Yan J, Wei Y, Wang Y, et al. Use of functional near-infrared spectroscopy to evaluate the effects of anodal transcranial direct current stimulation on brain connectivity in motor-related cortex[J]. J Biomed Opt, 2015, 20(4): 46007.
- [50] 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.
- [51] Su H, Huo C, Wang B, et al. Alterations in the coupling functions between cerebral oxyhaemoglobin and arterial blood pressure signals in post-stroke subjects[J]. PLoS One, 2018, 13(4): e0195936.
- [52] Wang B, Zhang M, Bu L, et al. Posture-related changes in brain functional connectivity as assessed by wavelet phase coherence of NIRS signals in elderly subjects[J]. Behav Brain Res, 2016, 312: 238—245.
- [53] Kim HY, Yang SP, Park GL, et al. Best facilitated cortical activation during different stepping, treadmill, and robot-assisted walking training paradigms and speeds: a functional near-infrared spectroscopy neuroimaging study[J]. NeuroRehabilitation, 2016, 38(2): 171—178.
- [54] Metzger FG, Ehlis A, Haeussinger FB, et al. Functional brain imaging of walking while talking - an fNIRS study [J]. Neuroscience, 2017, 343: 85—93.
- [55] Gentile E, Ricci K, Delussi M, et al. Motor cortex function in fibromyalgia: a pilot study involving near-infrared spectroscopy and co-recording of laser-evoked potentials[J]. Funct Neurol, 2019, 34(2): 107—118.

国家卫健委住院医师规范化培训规划教材 《康复医学(第2版)》出版

近日,国家卫生健康委员会住院医师规范化培训规划教材《康复医学(第2版)》由人民卫生出版社出版发行。本教材由南京医科大学第一附属医院励建安教授主审,山东大学齐鲁医院康复科主任岳寿伟教授、华中科技大学同济医学院附属同济医院黄晓琳教授主编,四川大学华西医院何成奇教授、复旦大学附属华山医院吴毅教授、首都医科大学宣武医院宋为群教授、浙江大学医学院附属第一医院陈作兵教授任副主编,山东大学齐鲁医院康复科副主任医师怀娟任本书编写秘书。

住院医师规范化培训是医学生毕业后教育的重要组成部分,帮助医学毕业生尽快完成向合格临床医生的转变,在医学终身教育中起着承前启后的重要作用。住院医师规范化培训规划教材,在建立院校教育、毕业后教育、继续教育三阶段有机衔接的具有中国特色的标准化、规范化临床医学人才培养体系中起到了重要作用。《康复医学》住培规划教材是我国康复医学住院医师规范化培训的重要用书,第2版继续紧扣住院医师规范化培训大纲和培训要求,延续基于问题的学习(PBL)和基于案例的学习(CBL)模式,注重对住院医师临床实践、临床思维、临床技能的培养,体现住培教育特色。教材分总论、技能与操作、疾病临床康复三篇,疾病临床康复篇以病例为导向,引出临床问题,如康复评定、康复诊断、康复目标、康复方案及知识点等,且每章节后附诊疗流程图,更契合临床实际。同时根据本套教材第二轮修订的总体要求,增加了数字内容,包括常用临床技能与操作视频等,在书中以二维码形式呈现。

全体编委以高度的责任心,为提升本书的质量付出了辛勤的劳动。本教材的出版,将进一步推动我国康复医学专业住院医师规范化培训水平的提升,为全面提高康复专业住院医师的“六大核心能力”做出贡献。

