

·综述·

双任务范式在中枢神经疾病中的应用及研究

李沁议^{1,2,3}, 罗思仪², 蒋咏春^{1,4}, 陈德龙², 赵碧仪², 林强^{1,4},
陈泓鑫^{1,4}, 许方道⁵, 唐贵兵^{1,4}, 郑煜欣^{1,4*}

1 广州医科大学附属第五医院, 广东 广州 510700;

2 广州医科大学第五临床学院, 广东 广州 511436;

3 湛江中心人民医院, 广东 湛江 524045;

4 广东高校生物靶向诊治与康复重点实验室, 广东 广州 510700;

5 广州医科大学第一临床学院, 广东 广州 511436

*通信作者: 郑煜欣, E-mail: zhengyx@gzhmu.edu.cn

收稿日期: 2022-05-21; 接受日期: 2022-08-08

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目(81902281); 广州市临床特色技术建设项目[2023—2025(No.19)]; 国家级大学生创新创业计划项目(202110570018); 广州医科大学2020—2021大学生创新创业计划(2020A053); 广州市卫计委一般引导项目(20211A011106); 2022年度广州医科大学学生创新能力提升计划项目(PX-66221494/02-408-2203-2062); 科技部国家级重点研发项目(2018YFC2002500)

DOI: 10.3724/SP.J.1329.2022.05012

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



摘要 在日常生活活动中具备同时完成2个任务或多个任务的能力至关重要。认知-运动双任务范式是指同时执行一个认知任务与一个运动任务, 其中的认知任务可根据患者功能缺陷或个体化的康复目标关联不同认知域, 运动任务也多选用步行、姿势控制等基础功能性活动。容量有限模型理论是最常见的双任务干扰机制, 认知-运动双任务在执行过程中因认知资源有限而产生认知-运动干扰, 同时认知-运动干扰受任务难度、任务优先级与自身因素影响, 可通过双任务效应量化客观反映双任务有效性。介于双任务训练更接近日常生活活动, 目前已被用于中枢神经系统疾病的康复治疗, 在改善患者的认知与运动能力方面具有优势, 相关临床应用及机制研究的总结具有重要意义。功能性近红外光谱成像技术(fNIRS)作为高时空分辨率、便携无创的脑功能成像技术, 突破了对运动环境的限制, 满足了双任务模拟日常运动的设备需求, 有利于实时测评认知-运动双任务范式下的脑皮质血流动力学变化, 被认为是“双任务”研究的重要方法。从双任务干扰机制、认知-运动双任务的常见范式以及fNIRS监测下中枢神经系统疾病的双任务临床应用3个方面作一综述, 为双任务范式在中枢神经疾病中的应用及研究提供理论依据。

关键词 认知-运动双任务; 功能性近红外光谱成像技术; 中枢神经系统疾病; 认知-运动干扰; 双任务范式

日常生活活动多为双任务或多任务的整合, 如一边行走一边与朋友交谈, 在驾驶的同时规划线路等。然而, 目前针对中枢神经系统疾病的常规康复训练多注重单任务条件下的功能恢复, 存在治疗效果难以迁移至日常生活活动的问题。所以, 双任务范式的机制研究有利于在评估及训练中应用。其中, 最为常见的是认知任务与运动任务的结合, 即认知-运动双任务^[1], 以下简称“双任务”。

当处理双任务的脑资源超出中枢加工能力范围时, 双任务执行过程会出现2个任务间相互影响的现象, 这在认知-运动领域内被称为认知-运动干扰(cognitive-motor interference, CMI)。CMI可通过公式量化, 具有客观衡量双任务难度、评估双任务有效性的作用。双任务不仅可作为一种评估方法, 还可以作为一种训练方法应用于临床康复治疗。既往研究表明, 双任务训练设置更贴合患者的功能

引用格式: 李沁议, 罗思仪, 蒋咏春, 等. 双任务范式在中枢神经疾病中的应用及研究[J]. 康复学报, 2022, 32(5): 462-470.

LI Q Y, LUO S Y, JIANG Y C, et al. Application and research of dual-task paradigms in central nervous system diseases [J]. Rehabilitation Medicine, 2022, 32(5): 462-470.

DOI: 10.3724/SP.J.1329.2022.05012

缺陷,可根据患者的个体情况施加不同类型及负荷的双任务^[2];且其训练效果并不仅限于任务本身,同时易于迁移至日常生活中^[3]。

功能性近红外光谱成像技术(functional near infrared spectroscopy, fNIRS)兼备便携性与无创性的优点,有利于实时监测真实环境下任务执行的脑血氧信号变化,较脑电图(electroencephalogram, EEG)和功能性磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)突破了任务实施的环境限制,丰富了双任务范式的选择,为深入研究双任务的机制提供了技术保障,并有效判断了双任务的任务效能。所以,本文从双任务干扰机制、双任务的常见范式以及基于fNIRS的双任务范式在常见中枢神经系统疾病临床应用3个方面作一综述,目的是梳理双任务的机制假说,总结与中枢神经疾病相对应的双任务范式,为双任务临床应用提供更多参考。

1 双任务干扰机制

1.1 双任务干扰的理论模型

双任务干扰机制中应用最广泛的为容量有限模型,该模型认为任务处理统一经过一个处理系统,即“中央执行系统”。由于任务执行过程中竞相争夺注意资源,如2个任务处在同一个处理阶段或难度过高时,“中央执行系统”的处理容量趋向饱和,无论是主动执行的双任务还是被动触发的双任务,2个任务的处理速度都会下降^[4]。FARGIER和LAGANARO^[5]对健康成人的主动命名与被动听觉刺激的双任务研究支持了这一机制,研究结果显示命名和听力之间的相互干扰与争夺注意需求相关。

即使容量有限模型解释了双任务性能上限,但仍有学者认为此模型集中于应用同一资源的双任务,难以代表其他运用不同资源执行的双任务。所以,在容量有限模型的基础上发展出了“多任务模型”,扩充了其应用范围。多任务模型假设不同类型的任务对应使用相关脑资源,不同脑资源经过不同执行系统,比如知觉和认知活动与大脑中央沟后方的神经活动有关,而运动的执行活动则归属中央沟前回统管。同时,资源重叠的双任务会导致更差的任务表现,例如2个听觉任务同时执行将阻碍处理时间的分配,导致完成2个任务的时长更长^[6]。相关神经影像学与动物实验证据支持多任务处理模型,认同每个脑区负责相应功能及其处理资源,双任务处理时调动任务需求的功能脑区,协调完成任务时长与认知资源的分配^[7]。

1.2 双任务干扰的影响因素

CMI产生的最主要机制源于有限的认知资源,同时执行2个任务的认知资源需求超过了中枢加工能力范围,导致任务间产生竞争。CMI主要受任务难度、任务优先级及自身因素影响。

任务难度取决于任务本身的新奇度与复杂度,其中新奇度代表受试者对该任务的熟悉程度;复杂度代表任务需要的注意资源。任务的整体难度可通过新奇度与复杂度简单归类为高、中、低难度。如平地步行新奇度与复杂度均低,属于“低难度”;若步行的同时需要手持水杯,则增加了任务的复杂度,升级为“中难度”。在冰面上行走非日常任务,对于缺乏冰面行走经验的受试者是高新奇度的体现;若同时需要手持水杯,则整体的任务难度升至“高难度”。此难度分级可泛化至双任务领域,对双任务进行简便的难度划分^[8]。

任务优先级与执行者的功能状态、任务的类型或难度设置等条件均相关,影响注意力分配的比例和方向。如老年人、脑卒中患者、无认知障碍的帕金森病(Parkinson's disease, PD)患者均倾向于优先保障运动表现^[9-11];而健康年轻人在双任务执行过程中可随意切换“运动优先”或是“认知优先”^[12]。

受试者的自身因素对CMI的影响也不容忽视,尤其是受试者的认知功能水平。TRAMONTANO等^[13]对不同认知状态受试者的单、双任务执行过程中的步速与躯干加速度进行比较,在双任务负荷下,健康老年人降低步速和躯干加速度用以维持步态稳定性,而脑卒中后认知功能障碍患者仍维持高步速与高躯干加速度,可能导致跌倒风险增加。

1.3 双任务效应

双任务效应(dual task effect, DTE)是通过计算特定参数在双任务(dual task)与单任务(single task)表现间的差异百分比来反映量化CMI的重要指标^[14]。其中与任务表现呈正相关的参数(如步频、步速、步幅等),DTE的计算选用公式①;与任务表现呈负相关的参数(反应时、步态变异性等),DTE计算则选用公式②。公式如下:

$$DTE = \frac{(\text{dual task [参数]} - \text{single task [参数]})}{\text{single task [参数]}} \times 100\% \quad ①$$

$$DTE = \frac{-(\text{dual task [参数]} - \text{single task [参数]})}{\text{single task [参数]}} \times 100\% \quad ②$$

DTE值的正负可进一步分析双任务干扰造成的影响。负值代表双任务表现相对于单任务下降;正值代表双任务表现相对于单任务的增益。如

BAEK等^[15]对脑卒中人群进行了一组为期6周的随机对照试验,试验组是步行训练同步认知训练,对照组则在步行训练后进行坐位的认知训练。终末评估结果发现,试验组干预后的步速较干预前提升了0.09 m/s, DTE_{步速}从21.85%下降至10.75%;且与对照组相比,步速与DTE_{步速}的比较差异有统计学意义($P<0.01$);在认知方面,试验组干预后正确率提升10.12%, DTE_{正确率}下降13.08%。该研究中运动和认知表现的DTE均下降,提示了双任务步态训练可以用于改善双任务步行的CMI,从而提高卒中患者的双任务执行能力。由此可见, DTE不仅有助于理解任务优先级和整体任务难度的变化,进而完善CMI模型;还可以用于对比双任务训练的治疗效果,在临床实践中建立一致的双任务训练指标。

2 双任务的常见范式

通过双任务的灵活设置以较好模拟日常生活活动,对于中枢神经系统疾病的评估和治疗具有重要意义。既往研究常见的任务范式设置经验包括:①运动任务多选用步行、平衡等较多涉及躯干及下肢运动的任务,偶见上肢运动任务;②认知任务的选择常与拟评估的认知域相关联,可分为反应时任务、辨别与决策任务、工作记忆任务、心理跟踪任务、语言流畅性任务5类^[16]。也可以根据拟康复的认知域设置不同双任务训练范式,针对性地提高其听觉注意、认知抑制与控制、平衡等能力。

2.1 常见的运动任务范式

2.1.1 步行任务 步行是人类进行社会参与的最基本运动功能之一,也是中枢神经系统疾病患者康复训练的主要目标。在双任务范式中,步行任务可有多种变体和难度的设置:平地步行常作为基线出现;而跑步机步行、在不同平面步行、起立行走测试(timed up and go test, TUGT)等方式,则满足了进行不同任务复杂性的双任务步行训练的需求。有多项研究证实,中枢神经系统疾患可通过步速、步幅、步频等参数评估患者的步态表现,进而分析双任务训练的治疗效果和跌倒风险^[12,17]。

2.1.2 姿势控制任务 姿势控制是人体在静态和动态活动中维持平衡的过程^[18],涉及认知资源的占用。所以,认知-姿势控制双任务对评价老年人和中枢神经系统疾病的跌倒风险具有重要意义^[19-20]。静态姿势控制多用直立,可视难度需求改变承重平面(如软垫、不平路面等)或足部姿势(双脚并拢、足跟接足尖站、单足站等)。动态姿势控制测试以直

立位为主,可通过支撑面的各角度的倾斜变化来评估被试者的姿势控制能力。常通过压力中心(center of pressure, COP)的摆动范围或极限稳定参数以体现被试者的姿势控制任务表现^[21]。

2.1.3 上肢运动任务 上肢的运动范式常见的为抓握杯子等作业活动^[22]。近年来,随着体感游戏^[23]、上肢机器人^[24]等技术的引入,实现了视觉认知或词语联想任务等认知任务的融入,极大地增加了认知-运动双任务的多样性。例如,通过屏幕上的移动光标给予视觉反馈,引导被试循圆形或十字形运动^[25],测量以腕部为中心的水平及垂直移动距离,及完成运动的时长。

2.2 常见的认知任务范式

2.2.1 Stroop 范式 Stroop 范式是检测注意资源分配与抑制干扰的经典范式。即命名某个字词的颜色时,书写目标字(颜色词)的颜色与目标字的语义之间产生干扰作用。当Stroop 范式被用于双任务时,可通过正确率及反应时反映认知表现,常成为执行功能测试的首选。既往研究表明,Stroop 双任务中的测试结果或平衡DTE改变,对脑卒中后认知障碍、多发性硬化(multiple sclerosis, MS)等人群早期筛查有提示意义^[26-27]。

2.2.2 N-back 范式 N-back 是工作记忆研究范式中最常选用的一种,被试通过记忆刺激序列,来确认当前刺激是否与当前倒数第N个刺激相同。在双任务中, N-back 可通过调整N的个数,达到施加不同认知负荷的效果^[28]。CHATAIN等^[29]在试验中纳入18名青年人,分别进行股四头肌收缩同步1-back任务和2-back任务。试验结果显示,2-back任务比1-back任务耐力时长下降,证明了双任务期间运动表现下降与认知负荷有关。N-back结合fNIRS可评估认知负荷与大脑激活水平的关联,HERMAND等^[30]发现亚急性卒中患者边步行边执行N-back任务时,前额叶氧合水平达到上限,验证了双任务情境下,亚急性脑卒中的患者认知能力随认知负荷的增加而下降。

2.2.3 减法序列与词义联想 减法序列是最常见的心理跟踪任务,常从随机数开始运算减7序列、减3序列、减1序列,其中减1序列对脑卒中患者的步速产生了最大的CMI^[31]。词义联想是常用的语言流畅性任务,常与连续减法组合测试,此组合结合步行任务被证实对轻度认知功能障碍(mild cognitive impairment, MCI)预测有较高的敏感度^[32]。TSANG等^[31]的研究显示,心理跟踪任务与语言流畅性任务

比其他认知任务带来更大的认知负荷。

3 基于fNIRS的双任务范式在神经系统疾病中的应用

3.1 功能性近红外光谱成像技术

既往fNIRS、fMRI、EEG等非侵入性检测技术均有用于双任务的相关研究。EEG通过神经元的神经电信号可直接、无创地检测大脑激活情况,具有较高的时间分辨率,但空间分辨率相对较弱^[33]。fMRI可以在亚毫米水平上以高空间分辨率监测全脑功能变化,但其易受运动伪影影响,且测试费用高、仪器噪音较大、封闭性较强、时间分辨率相对较低^[34]。fNIRS利用近红外光对人体组织的通透性,探测散射后的光源强度,通过监测皮层区域血流动力学反应,计算含氧血红蛋白和脱氧血红蛋白的浓度变化来反映组织血流动力学变化,从而推断大脑神经活动^[35]。fNIRS能在厘米水平内实时监测大脑激活情况,相比EEG和fMRI,具有较高的时间分辨率和空间分辨率。且fNIRS对于测试环境要求低,可在更少的限制和更自然的环境中评估动态运动过程中的大脑活动情况,如在自然环境下行走、在外骨骼辅助下行走、在平衡仪上维持平衡等,非常有利于双任务范式的评估^[10,36-38]。

3.2 双任务范式在脑卒中的应用

脑卒中是由于脑血管破裂或堵塞导致的脑血管疾病,50%以上的患者会遗留不同程度的运动功能障碍和认知功能障碍^[39]。双任务范式下的功能评估和康复训练在脑卒中康复领域中具有优势。

在康复评估方面,TSANG等^[40]将2项步行任务(常规步行和跨障碍步行)和8项认知任务随机组合为不同认知-运动双任务,评估其相关性,以检验结构效度,并在7~14 d内对同一双任务分别进行2次评估,以检验重测信度,结果显示双任务对于评估社区脑卒中患者的功能状态是可靠、有效的。且DTE_{行走时间}可作为认知-跨越障碍步行双任务下有效的跌倒预测因子,用以识别脑卒中后跌倒风险的高危人群^[41]。另外,HERMAND等^[30]发现早期亚急性脑卒中患者在认知-步行双任务中,前额叶皮层(prefrontal cortex, PFC)氧合水平不随行走条件或认知负荷的改变而增加,已达到上限,提示患者的步行表现与认知负荷无显著相关,但患者的认知表现会因认知负荷增加而受到负面影响,提示脑卒中后早期阶段可能需要大部分注意力资源维持患者运动表现,因而没有足够的资源用于维持同时进行的

认知任务表现。CHATTERJEE等^[42]的试验进一步验证了HERMAND等^[30]的结论,他们将33名慢性脑卒中患者根据简易精神状态量表(mini-mental state examination, MMSE)评分的中位数分为2个亚组,发现低认知功能组患者($21 \leq \text{MMSE} \leq 27$)在认知单任务和双任务条件下没有表现出PFC招募的显著变化,表明2项任务的执行都达到或接近PFC资源招募上限,即认知功能缺陷会降低PFC资源招募的上限;而高认知功能组($\text{MMSE} > 27$)在双任务中比认知单任务表现出更多的PFC招募,但从单任务到双任务的认知表现显著下降,反映了脑卒中患者PFC资源利用率低。所以,脑卒中后患者双任务能力缺陷可能与其自身认知容量下降有关。脑卒中患者的双任务训练方案可依据增加PFC资源容量为目标或优化PFC资源利用率为目标调整。相关研究需要进一步完善。

在康复训练方面,不同类型的双任务训练已被证实可提高患者的认知表现和运动性能^[43-44]。BAEK等^[15]研究发现,慢性脑卒中患者结合认知任务(包括工作记忆任务、语言流畅性任务和Stroop范式)的跑步机双任务训练在提高步行速度和认知功能方面比跑步机单任务训练更有效。王金芝等^[45]研究发现,连续减3运算结合步行的双任务训练能有效改善脑卒中患者的步行功能和执行能力。同时,双任务训练已被证实具有双任务迁移效应(dual task practice advantage, DTPA)^[3]。如被试通过双任务训练重获或习得注意力分配技巧,从而提高双任务执行能力表现,且训练效果还可迁移至其他同类型的任务场景。但DTPA的相关脑功能机制尚不明确,仍需继续研究。当前有fMRI研究发现脑卒中患者功能的恢复与大脑皮层的可塑性相关,通过大量重复性针对性的双任务训练,可以促进脑的功能性重组,改善患者的认知功能和运动功能^[46]。

3.3 双任务范式在帕金森病中的应用

PD是常见的神经退行性疾病,主要症状为运动迟缓及震颤,其中步态冻结(81%)、姿势不稳和跌倒风险增加(87%)等运动症状是导致PD患者进行性残疾的主要因素^[47]。此外,认知功能障碍、睡眠障碍等非运动症状加剧了PD的残疾。

RANCHET等^[48]通过fNIRS监测发现PD患者相比健康人在连续减7运算的双任务行走过程中背外侧前额叶(dorsolateral prefrontal cortex, DLPFC)的活动增加。连续减法是心理追踪任务,而DLPCF在心理追踪所属的执行功能中发挥重要作用,故推测PD

患者的执行功能缺陷需要DLPFC激活补偿。BEL-LUSCIO等^[49]使用fNIRS监测PD患者和健康对照组在环型步道步行任务,发现PD患者在转向过程中的PFC激活较正常人增加,且与较差的转向表现相关联。PD可导致广泛的皮质功能障碍,其中姿势不稳型PD患者因皮质通路的受损较为严重,导致注意代偿难以支撑双任务行走的需求,需通过提高PFC激活程度完成任务^[50]。VITORIO等^[51]的研究也证实在监控PD患者人群的步行控制能力降低方面,双任务下PFC激活比双任务步态测量更敏感。据此提示,PFC的激活增高可能用于作为PD运动控制较差的生物标记物。

运动训练已被证明可以有效改善PD患者的运动障碍^[52]。进而,MAIDAN等^[53]应用fNIRS研究健康老年人和PD患者中在不同双任务(倒数-步行双任务、跨越障碍步行任务)下PFC的激活情况,发现在PD患者中跨越障碍任务会显著增加PFC激活,认知任务却未见PFC激活增加,与健康老年人的PFC反应相反。研究结果提示,双任务类型可能影响额叶反应在步行中的作用。其后,MAIDAN等^[54]还发现对PD患者实施6个月的不同运动任务训练(跑步机训练、跑步机训练结合虚拟现实技术)后不仅能改善患者运动表现、降低跌倒风险,还能降低步行过程中的PFC激活,其中双任务训练下降幅度大于单任务训练。

此外,基于fNIRS的双任务在PD药物治疗效果及机制研究方面具有良好的前景。“左旋多巴过量假说”指左旋多巴可改善帕金森病的运动症状,但它在大脑不同区域的药物浓度不一致,导致PFC等区域可能吸收过高的药量,从而有降低执行功能与注意力的可能。DAGAN等^[55]则通过进一步研究患有冻结步态的PD受试者的双任务步态表现和PFC激活情况来验证“左旋多巴过量假说”;fNIRS双任务步行研究下发现多巴胺类药物改善纹状体和皮质区之间的功能连接,但过度激活了PFC,会加剧PD步行对多巴胺类药物的依赖。ORCIOLI-SILVA等^[56]通过fNIRS研究了多巴胺对PD患者双任务行走时PFC激活和步态参数的影响,发现未服药PD患者在单双任务条件下的左侧PFC激活未见明显差异,服药后PD患者在双任务条件中的PFC激活程度高于单任务,且单双任务中,服药后PD患者较未服药的步行表现更好,提示多巴胺类药物不仅可以改善步态表现,还有促进左侧PFC激活的作用。由此可见,双任务范式对于指导PD用药具有重要意义,

需要未来深入研究。

3.4 双任务范式在多发硬化中的应用

MS是一种慢性中枢神经系统脱髓鞘疾病,50%~80%的MS患者有平衡和步态障碍,且超过一半MS患者每年至少跌倒1次^[57]。在生活中,MS患者的功能性平衡易受到CMI的负面影响。有研究发现MS患者的双任务表现与残疾和认知障碍程度呈负相关^[58]。fNIRS在MS患者执行双任务过程中可检测功能活动对应的活跃脑区,有助于增加对MS相关功能缺陷的大脑机制研究。

CAMERON等^[57]研究发现,MS的日常运动缺陷主要体现在步速降低、步行失稳及躯体摆动减少,并与以下3个问题相关联:①保持姿势的能力下降;②向稳定极限方向的运动受限;③对姿势位移和扰动的反应延迟。故当前研究多选用姿势维持任务作为MS患者双任务应用的运动任务。HERNANDEZ等^[59]使用fNIRS研究在中老年MS患者中执行步行单任务和背诵-步行双任务时的PFC状态,发现老年MS患者执行双任务时,通过增强PFC激活来弥补因注意力分散导致的步行表现下降。CHAPARRO等^[60]通过fNIRS监测MS老年人和健康老年人在使用减重支持系统(partial body weight support, PBWS)时的双任务(对比步行单任务与步行-言语双任务)的表现,发现MS患者可通过提高PFC激活水平弥补低下的神经效率,保持双任务表现。综合以上试验,可发现姿势维持任务可有效提高MS患者的步行控制能力,具备降低跌倒风险的潜力。除了PFC,辅助运动区(supplementary motor area, SMA)和运动前皮层(premotor cortex, PMC)也在执行功能和工作记忆中发挥重要作用^[61]。SALEH等^[62]应用fNIRS测量出MS患者的双任务认知表现下降与不同的皮质激活模式有关。左侧PMC仅在MS组执行认知单任务时活跃;而右侧SMA则在双任务期间呈现较高激活,且与较差的运动和认知表现相关。

3.5 双任务范式在轻度认知功能障碍中的应用

MCI是正常认知衰退和痴呆的过渡阶段,每年有10%~15% MCI患者进展为痴呆^[63]。一方面,双任务范式可用于MCI的早期诊断及识别,已被广泛研究并应用于临床。MCI患者除了认知缺陷,在运动控制方面也有相应的改变,有学者发现MCI患者跌倒风险与依赖高水平大脑控制的步态参数的下降相关^[64]。因此,早期识别与MCI相关的步态平衡的损伤对于个体化的精准康复具有重要意义。有

研究报道^[65],步行速度的CMI是双任务步态评估的重要参数,有望成为MCI的潜在筛查工具。BAHUREKSA等^[66]发现双任务步态评估比单任务评估更有助于检测与认知相关的步态变化,同时,双任务步态评估的敏感性因所结合的认知任务而异,其中具有高认知需求的算术任务(连续减7)有较高的敏感性。WANG等^[67]基于fNIRS的分析发现,相比健康人群,仅有MCI患者的双任务步态成本与脑功能连接相关,且与高敏感性的认知任务(1 000减7)产生较高的相关性,证明fNIRS结合双任务范式可作为认知障碍的早期筛查工具,并可通过设计更敏感的任务范式来区分认知障碍人群。

另一方面,双任务范式还可作为MCI患者的干预手段。朱玲玲等^[68]将MCI患者分为2组,仅对试验组进行3个月的双任务训练,发现双任务训练能有效改善MCI患者的认知功能,并降低跌倒风险。但HOLTZER等^[69]发现MCI患者进行单次重复的双任务练习后,患者的任务表现没有明显改善,这可能与训练时间短有关。因此,为了体现双任务的显著效果,有必要保证训练的频率与时长对MCI患者任务表现的影响。

4 小结与展望

综上所述,双任务范式具有形式多样、可有效模拟日常生活活动、更全面评估患者认知和运动功能表现等优势;且双任务还可作为训练策略,有效改善中枢神经疾病患者的功能及促发大脑可塑性,有利于患者回归日常生活。fNIRS作为脑功能实时动态监测的非侵入成像技术,其安全、便携、较高时空分辨率的优点适宜双任务范式的相关研究。然而,基于fNIRS双任务范式研究仍局限于小样本、横断面研究。未来的探究需要着重扩大样本量及扩展中枢神经疾病病种,从而进一步完善双任务范式的脑功能机制研究,为临床应用提供可靠的理论依据,提高康复效力。

参考文献

- [1] RAMIREZ F, GUTIERREZ M. Dual-task gait as a predictive tool for cognitive impairment in older adults: a systematic review [J]. *Front Aging Neurosci*, 2021, 13: 769462.
- [2] FALLAHTAFTI F, BORON J B, VENEMA D M, et al. Task specificity impacts dual-task interference in older adults [J]. *Aging Clin Exp Res*, 2021, 33(3): 581-587.
- [3] STROBACH T. The dual-task practice advantage: empirical evidence and cognitive mechanisms [J]. *Psychon Bull Rev*, 2020, 27(1): 3-14.
- [4] TOMBU M, JOLICOEUR P. A central capacity sharing model of dual-task performance [J]. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 2003, 29(1): 3-18.
- [5] FARGIER R, LAGANARO M. Interference in speaking while hearing and vice versa [J]. *Sci Rep*, 2019, 9(1): 5375.
- [6] WICKENS C D. Multiple resources and mental workload [J]. *Hum Factors*, 2008, 50(3): 449-455.
- [7] WATANABE K, FUNAHASHI S. Toward an understanding of the neural mechanisms underlying dual-task performance: Contribution of comparative approaches using animal models [J]. *Neurosci Biobehav Rev*, 2018, 84: 12-28.
- [8] MCISAAC T L, LAMBERG E M, MURATORI L M. Building a framework for a dual task taxonomy [J]. *Biomed Res Int*, 2015, 2015: 591475.
- [9] DOUMAS M, KRAMPE R T. Ecological relevance determines task priority in older adults' multitasking [J]. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci*, 2015, 70(3): 377-385.
- [10] 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.
- [11] JOHANSSON H, EKMAN U, RENNIE L, et al. Dual-task effects during a motor-cognitive task in Parkinson's disease: patterns of prioritization and the influence of cognitive status [J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2021, 35(4): 356-366.
- [12] SMALL G H, NEPTUNE R R. Task-prioritization and balance recovery strategies used by young healthy adults during dual-task walking [J]. *Gait Posture*, 2022, 95: 115-120.
- [13] TRAMONTANO M, MORONE G, CURCIO A, et al. Maintaining gait stability during dual walking task: effects of age and neurological disorders [J]. *Eur J Phys Rehabil Med*, 2017, 53(1): 7-13.
- [14] PLUMMER P, ESKES G. Measuring treatment effects on dual-task performance: a framework for research and clinical practice [J]. *Front Hum Neurosci*, 2015, 9: 225.
- [15] BAEK C Y, CHANG W N, PARK B Y, et al. Effects of dual-task gait treadmill training on gait ability, dual-task interference, and fall efficacy in people with stroke: a randomized controlled trial [J]. *Phys Ther*, 2021, 101(6): pzab067.
- [16] AL-YAHYA E, DAWES H, SMITH L, et al. Cognitive motor interference while walking: a systematic review and meta-analysis [J]. *Neurosci Biobehav Rev*, 2011, 35(3): 715-728.
- [17] GALLOU-GUYOT M, MANDIGOUT S, COMBOURIEU-DONNEZAN L, et al. Cognitive and physical impact of cognitive-motor dual-task training in cognitively impaired older adults: an overview [J]. *Neurophysiol Clin*, 2020, 50(6): 441-453.
- [18] SPARTO P J, ROSSO A L, DIVECHA A A, et al. Shared neural substrates of cognitive function and postural control in older adults [J]. *Alzheimers Dement*, 2020, 16(4): 621-629.
- [19] MONTERO-ODASSO M, SPEECHLEY M. Falls in cognitively impaired older adults: implications for risk assessment and prevention [J]. *J Am Geriatr Soc*, 2018, 66(2): 367-375.

- [20] KANNAN L, VORA J, BHATT T, et al. Cognitive-motor exergaming for reducing fall risk in people with chronic stroke: a randomized controlled trial [J]. *NeuroRehabilitation*, 2019, 44(4): 493-510.
- [21] 林强, 郑煜欣, 廖婉晨, 等. 脑卒中患者静态平衡的足底压力分析[J]. *中国康复理论与实践*, 2021, 27(3): 290-296.
LIN Q, ZHENG Y X, LIAO W C, et al. Static balance function in stroke patients: a plantar pressure analysis [J]. *Chin J Rehabil Theory Pract*, 2021, 27(3): 290-296.
- [22] HEJAZI-SHIRMARD M, LAJEVARDI L, RASSAFIANI M, et al. The effects of anxiety and dual-task on upper limb motor control of chronic stroke survivors [J]. *Sci Rep*, 2020, 10(1): 15085.
- [23] BANK P J M, MARINUS J, VAN TOL R M, et al. Cognitive-motor interference during goal-directed upper-limb movements [J]. *Eur J Neurosci*, 2018, 48(10): 3146-3158.
- [24] BUI K D, JOHNSON M J. Robot-based measures of upper limb cognitive-motor interference across the HIV-stroke spectrum [J]. *IEEE Int Conf Rehabil Robot*, 2019, 2019: 530-535.
- [25] KIM H, KIM H K, KIM N, et al. Dual task effects on speed and accuracy during cognitive and upper limb motor tasks in adults with stroke hemiparesis [J]. *Front Hum Neurosci*, 2021, 15: 671541.
- [26] 张君芳, 姜帅, 赵晓玲, 等. Stroop 色词测验在早期识别卒中后认知障碍中的作用研究[J]. *中国全科医学*, 2021, 24(15): 1896-1902.
ZHANG J F, JIANG S, ZHAO X L, et al. Early detection of post-stroke cognitive impairment by Stroop color word test [J]. *Chin Gen Pract*, 2021, 24(15): 1896-1902.
- [27] RUGGIERI S, FANELLI F, CASTELLI L, et al. Lesion symptom map of cognitive-postural interference in multiple sclerosis [J]. *Mult Scler*, 2018, 24(5): 653-662.
- [28] SHALCHY M A, PERGHER V, PAHOR A, et al. N-back related ERPs depend on stimulus type, task structure, pre-processing, and lab factors [J]. *Front Hum Neurosci*, 2020, 14: 549966.
- [29] CHATAIN C, RADEL R, VERCRUYSEN F, et al. Influence of cognitive load on the dynamics of neurophysiological adjustments during fatiguing exercise [J]. *Psychophysiology*, 2019, 56(6): e13343.
- [30] 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.
- [31] TSANG C S, WANG S, MILLER T, et al. Degree and pattern of dual-task interference during walking vary with component tasks in people after stroke: a systematic review [J]. *J Physiother*, 2022, 68(1): 26-36.
- [32] BISHNOI A, HERNANDEZ M E. Dual task walking costs in older adults with mild cognitive impairment: a systematic review and meta-analysis [J]. *Aging Ment Health*, 2021, 25(9): 1618-1629.
- [33] 朱志中, 于洋, 于宁波, 等. 脑功能成像技术在帕金森病步态障碍中的应用进展[J]. *中国现代神经疾病杂志*, 2020, 20(12): 1104-1108.
ZHU Z Z, YU Y, YU N B, et al. Research progress of functional brain-neuroimaging technology in Parkinson's disease with gait disorder [J]. *Chin J Contemp Neurol Neurosurg*, 2020, 20(12): 1104-1108.
- [34] 田娟秀, 刘国才, 谷珊珊, 等. 医学图像分析深度学习方法研究与挑战[J]. *自动化学报*, 2018, 44(3): 401-424.
TIAN J X, LIU G C, GU S S, et al. Deep learning in medical image analysis and its challenges [J]. *Acta Autom Sin*, 2018, 44(3): 401-424.
- [35] RAHMAN M A, SIDDIK A B, GHOSH T K, et al. A narrative review on clinical applications of fNIRS [J]. *J Digit Imaging*, 2020, 33(5): 1167-1184.
- [36] 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.
- [37] CALIANDRO 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.
- [38] TEO W P, GOODWILL A M, HENDY A M, et al. Sensory manipulation results in increased dorsolateral prefrontal cortex activation during static postural balance in sedentary older adults: an fNIRS study [J]. *Brain Behav*, 2018, 8(10): e01109.
- [39] KATAN M, LUFT A. Global burden of stroke [J]. *Semin Neurol*, 2018, 38(2): 208-211.
- [40] TSANG C S L, CHONG D Y K, PANG M Y C. Cognitive-motor interference in walking after stroke: test-retest reliability and validity of dual-task walking assessments [J]. *Clin Rehabil*, 2019, 33(6): 1066-1078.
- [41] TSANG C S L, PANG M Y C. Association of subsequent falls with evidence of dual-task interference while walking in community-dwelling individuals after stroke [J]. *Clin Rehabil*, 2020, 34(7): 971-980.
- [42] 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.
- [43] 黄彩平, 谢欲晓, 王思远, 等. 步行-执行功能双任务训练对慢性脑卒中患者康复的研究进展[J]. *中国康复医学杂志*, 2018, 33(8): 988-992.
HUANG C P, XIE Y X, WANG S Y, et al. Advances in the study of walking-executive function dual-task training for the rehabilitation of chronic stroke patients [J]. *Chin J Rehabil Med*, 2018, 33(8): 988-992.
- [44] KAYABINAR B, ALEMDAROGLU-GURBUZ I, YILMAZ O. The effects of virtual reality augmented robot-assisted gait training on dual-task performance and functional measures in chronic stroke: a randomized controlled single-blind trial [J]. *Eur J Phys Rehabil Med*, 2021, 57(2): 227-237.
- [45] 王金芝, 梁超, 褚文静, 等. 认知-步行双任务训练对脑卒中患

- 者执行及步行功能的影响[J]. 中国综合临床, 2021, 37(3): 237-242.
- WANG J Z, LIANG C, CHU W J, et al. Effects of cognitive-walking dual-task training on executive and walking function in patients with stroke [J]. Clin Med China, 2021, 37(3): 237-242.
- [46] YEH T T, CHANG K C, WU C Y, et al. Effects and mechanism of the HECT study (hybrid exercise-cognitive trainings) in mild ischemic stroke with cognitive decline: fMRI for brain plasticity, biomarker and behavioral analysis [J]. Contemp Clin Trials Commun, 2018, 9: 164-171.
- [47] POEWE W, SEPPI K, TANNER C M, et al. Parkinson disease [J]. Nat Rev Dis Primers, 2017, 3: 17013.
- [48] RANCHET M, HOANG I, CHEMINON M, et al. Changes in prefrontal cortical activity during walking and cognitive functions among patients with Parkinson's disease [J]. Front Neurol, 2020, 11: 601686.
- [49] BELLUSCIO V, STUART S, BERGAMINI E, et al. The association between prefrontal cortex activity and turning behavior in people with and without freezing of gait [J]. Neuroscience, 2019, 416: 168-176.
- [50] ORCIOLI-SILVA D, VITORIO R, BERETTA V S, et al. Is cortical activation during walking different between Parkinson's disease motor subtypes? [J]. J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 2021, 76(4): 561-567.
- [51] VITORIO R, STUART S, MANCINI M. Executive control of walking in people with Parkinson's disease with freezing of gait [J]. Neurorehabil Neural Repair, 2020, 34(12): 1138-1149.
- [52] FENG Y S, YANG S D, TAN Z X, et al. The benefits and mechanisms of exercise training for Parkinson's disease [J]. Life Sci, 2020, 245: 117345.
- [53] MAIDAN I, NIEUWHOF F, BERNAD-ELAZARI H, et al. The role of the frontal lobe in complex walking among patients with Parkinson's disease and healthy older adults: an fNIRS study [J]. Neurorehabil Neural Repair, 2016, 30(10): 963-971.
- [54] MAIDAN I, NIEUWHOF F, BERNAD-ELAZARI H, et al. Evidence for differential effects of 2 forms of exercise on prefrontal plasticity during walking in Parkinson's disease [J]. Neurorehabil Neural Repair, 2018, 32(3): 200-208.
- [55] DAGAN M, HERMAN T, BERNAD-ELAZARI H, et al. Dopaminergic therapy and prefrontal activation during walking in individuals with Parkinson's disease: Does the levodopa overdose hypothesis extend to gait? [J]. J Neurol, 2021, 268(2): 658-668.
- [56] ORCIOLI-SILVA D, VITORIO R, NOBREGA-SOUSA P, et al. Levodopa facilitates prefrontal cortex activation during dual task walking in Parkinson disease [J]. Neurorehabil Neural Repair, 2020, 34(7): 589-599.
- [57] CAMERON M H, NILSAGARD Y. Balance, gait, and falls in multiple sclerosis [J]. Handb Clin Neurol, 2018, 159: 237-250.
- [58] ROONEY S, OZKUL C, PAUL L. Correlates of dual-task performance in people with multiple sclerosis: a systematic review [J]. Gait Posture, 2020, 81: 172-182.
- [59] HERNANDEZ M E, HOLTZER R, CHAPARRO G, et al. Brain activation changes during locomotion in middle-aged to older adults with multiple sclerosis [J]. J Neurol Sci, 2016, 370: 277-283.
- [60] CHAPARRO G, BALTO J M, SANDROFF B M, et al. Frontal brain activation changes due to dual-tasking under partial body weight support conditions in older adults with multiple sclerosis [J]. J Neuroeng Rehabil, 2017, 14(1): 65.
- [61] PTAK R, SCHNIDER A, FELLRATH J. The dorsal frontoparietal network: a core system for emulated action [J]. Trends Cogn Sci, 2017, 21(8): 589-599.
- [62] SALEH S, SANDROFF B M, VITIELLO T, et al. The role of premotor areas in dual tasking in healthy controls and persons with multiple sclerosis: an fNIRS imaging study [J]. Front Behav Neurosci, 2018, 12: 296.
- [63] ANDERSON N D. State of the science on mild cognitive impairment [J]. J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci, 2020, 75(7): 1359-1360.
- [64] PIERUCCINI-FARIA F, SARQUIS-ADAMSON Y, ANTON-RODRIGO I, et al. Mapping associations between gait decline and fall risk in mild cognitive impairment [J]. J Am Geriatr Soc, 2020, 68(3): 576-584.
- [65] YANG Q, TIAN C, TSENG B, et al. Gait change in dual task as a behavioral marker to detect mild cognitive impairment in elderly persons: a systematic review and Meta-analysis [J]. Arch Phys Med Rehabil, 2020, 101(10): 1813-1821.
- [66] BAHUREKSA L, NAJAFI B, SALEH A, et al. The impact of mild cognitive impairment on gait and balance: a systematic review and meta-analysis of studies using instrumented assessment [J]. Gerontology, 2017, 63(1): 67-83.
- [67] WANG Z, REN K, LI D, et al. Assessment of brain function in patients with cognitive impairment based on fNIRS and gait analysis [J]. Front Aging Neurosci, 2022, 14: 799732.
- [68] 朱玲玲, 常红, 蔡卫新, 等. 认知-运动双重任务训练对血管性轻度认知障碍老年患者的效果[J]. 中国康复理论与实践, 2021, 27(1): 37-42.
- ZHU L L, CHANG H, CAI W X, et al. Effects of cognitive-motor dual task training on vascular mild cognitive impairment for old patients [J]. Chin J Rehabil Theory Pract, 2021, 27(1): 37-42.
- [69] HOLTZER R, IZZETOGLU M. Mild cognitive impairments attenuate prefrontal cortex activations during walking in older adults [J]. Brain Sci, 2020, 10(7): 415.

Application and Research of Dual-Task Paradigms in Central Nervous System Diseases

LI Qinyi^{1,2,3}, LUO Siyi², JIANG Yongchun^{1,4}, CHEN Delong², ZHAO Biyi², LIN Qiang^{1,4},
CHEN Hongxin^{1,4}, XU Fangqiu⁵, TANG Guibing^{1,4}, ZHENG Yuxin^{1,4*}

¹ The Fifth Affiliated Hospital of Guangzhou Medical University, Guangzhou, Guangdong 510700, China;

² The Fifth Clinical College, Guangzhou Medical University, Guangzhou, Guangdong 511436, China;

³ Central People's Hospital of Zhanjiang, Zhanjiang, Guangdong 524045, China;

⁴ Key Laboratory of Biological Targeting Diagnosis, Therapy and Rehabilitation of Guangdong Higher Education Institutes, Guangzhou, Guangdong 510700, China;

⁵ The First Clinical College, Guangzhou Medical University, Guangzhou, Guangdong 511436, China

*Correspondence: ZHENG Yuxin, E-mail:zhengyx@gzhmu.edu.cn

ABSTRACT The ability to perform two or more tasks simultaneously in activities of daily living is essential. The cognitive-motor dual-task paradigm refers to the simultaneous performance of a cognitive task and a motor task, where the cognitive task can be associated with different cognitive domains depending on the patient's functional deficits or individualized rehabilitation goals, and the motor task is mostly selected from basic functional activities such as walking and postural control. The limited capacity model is the most common dual-task mechanism, in which cognitive-motor dual-tasks produce cognitive-motor interference during execution due to limited cognitive resources, while cognitive-motor interference is influenced by task difficulty, task priority, and individual factors, which can be quantified by dual task effect to objectively reflect dual-task effectiveness. Since dual-task training is similar to activities of daily living, it has been used in the rehabilitation of central nervous system (CNS) diseases and has advantages in improving patients' cognitive and motor abilities, and it is important to summarize the relevant clinical applications and mechanism studies. Functional near infrared spectroscopy (fNIRS), as a high spatial-temporal resolution, portable, and non-invasive functional brain imaging technique, breaks through the restrictions on the motor environment, meets the equipment requirements of simulating daily activities with dual tasks, and facilitates real-time measurement of cerebral cortical hemodynamic changes in the cognitive-motor dual-task paradigm, which is regarded as an important method for "dual-task" studies. Therefore, this paper presents a review of dual-task interference mechanisms, common paradigms of cognitive-motor dual-tasking, and clinical applications of dual-tasking in CNS diseases under fNIRS monitoring, so as to provide a theoretical basis for the application and research of dual-tasking paradigms in CNS diseases.

KEY WORDS cognitive-motor dual task; functional near infrared spectroscopy; central nervous system diseases; cognitive-motor interference; dual task paradigms

DOI:10.3724/SP.J.1329.2022.05012

第三届《国际功能、残疾和健康分类(ICF)》临床应用与研究 优秀论文评选征文通知(第一轮)

由中国康复医学会主办,中国康复医学会标准委员会和厦门市第五医院联合承办的“第三届ICF临床应用与研究优秀论文评选交流会议”定于2022年11月12日在福建省福州市中国康复医学会2022年综合年会期间召开。本次活动属于2022年中国科学技术协会团体标准示范与应用专项(推广应用类):康复医学团体标准《功能、残疾与健康分类康复组合(ICF-RS)》的推广应用。现将征文事宜通知如下,欢迎广大学者、临床医务工作者、医学院校师生踊跃投稿。

凡是在2021年12月1日以来有关ICF的论文(不论是否发表,是否参加过各级会议交流)均在本次征文范围。

投稿邮箱:biaozhun@carm.org.cn,注明“第三届ICF优秀论文评选”。

投稿截止日期:2022年10月15日。

联系方式:谢老师 18170089285(微信同号)。

中国康复医学会

海峡两岸暨港澳ICF应用与研究联盟

第三届ICF临床应用与研究优秀论文交流会组委会

2022年8月11日