

双重任务训练改善脑卒中后步行能力的应用进展

赵依双

首都医科大学附属北京天坛医院, 北京 100050

通信作者: 张玉梅, Email: zhangyumei95@aliyun.com

【摘要】 脑卒中后幸存者回归家庭和社会生活, 进行功能性步行时常需同时执行运动和认知双重任务。通常情况下, 其中一项或两项任务的执行能力会下降, 造成双重任务间的干扰, 其相关机制尚不明确。目前, 关于双重任务训练对改善脑卒中后步行和认知功能的相关研究较多。通过功能性磁共振成像 (fMRI) 和近红外脑功能成像技术 (fNIRS) 等神经影像学方法来探索双重任务的相关机制是研究热点之一。

【关键词】 双重任务; 双重任务干扰; 双重任务成本; 步态; 认知; 近红外光谱成像

基金项目: 国家重点研发项目 (2018YFC2002302); 北京市医院管理重点医学专业发展项目 (ZYLX201836); 国家自然科学基金面上项目 (81972144)

Funding: National Key Technology Research and Development Program of China (2018YFC2002302); Development Project for Key Medical Specialties of Beijing Municipal Hospitals Administration (ZYLX201836); The National Natural Science Foundation of China (81972144)

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2020.08.021

脑卒中发病率、致残率和死亡率较高。62% 的脑卒中幸存者会遗留不同程度的残疾^[1], 其中 15% 的患者日常生活不能自理。在脑卒中后的多种功能障碍中, 步行能力和日常生活能力的康复往往是患者关注的重点。传统的康复训练有助于改善脑卒中后患者的运动功能^[2], 但往往仅关注了患者的部分功能恢复, 不能满足其出院后的社区活动需要。在日常生活活动中, 通常需要同时执行两个或两个以上任务的能力。因此, 越来越多的研究将重点转移至双重任务训练对脑卒中患者的治疗上。有研究证实, 双重任务训练可以有效改善脑卒中患者的步态、平衡能力和双重任务表现^[3-4]。本文就双重任务训练改善脑卒中后步行能力的应用进展做一综述。

概念和相关理论

一、双重任务定义

大多数日常生活活动都涉及同时执行两项或两项以上的任务, 如走路和说话, 或者一边走路、一边拿口袋里的东西, 被称为双重任务^[5]。

二、双重任务成本 (dual-task cost, DTC)

当同时执行两项任务时, 由于认知系统的局限性, 相对于单任务, 双重任务会导致主要任务的执行结果发生变化, 这种变化对应于同时执行第 2 个任务的成本, 称为“DTC”, 或者称为“双重任务效应” (dual-task effect, DTE)^[6]。例如, 脑卒中后, 患者在步行时同时进行认知任务的能力受损。这种现象被认为是中央处理能力有限造成的, 当注意力需求超过容量限制时, 无法保持最佳的性能。此类 DTC 主要表现为反应时间 (response times, RTS) 的增加, 或与单任务相比, 双重任务的错误率增加。一般情况下, 当双重任务开始执行时, 就会出现任务间的干扰, 造成 DTC 较高。

三、双重任务干扰 (dual-task interference, DTI)

当一项运动任务与一项认知任务同时执行时, 与单独执行

每一项任务相比, 其中一项或两项任务的表现可能会恶化, 这种与双重任务相关的变化被称为 DTI^[3]。脑卒中后, 肢体功能障碍导致患者的步行能力下降。患者在执行双重任务行走时, 为了避免跌倒, 所需的步行注意力增加, 从而使处理次要任务的注意资源减少。一般认为, 这种干扰会随着实践而减少^[6]。Kang 等^[7]研究发现, 在每个任务的处理过程中, 基于不同的任务负荷, 可能存在不同的相关因素模式。因此, 在制订日常生活活动能力训练时, 应该对不同难度和类型的双重任务进行调查, 以确立 DTI 的模式和水平。

对于双重任务间的相互干扰, 目前有不同的解释, 有研究者论述了 3 种模型理论: ①容量共享理论^[8]——假设认知运动干扰是由一个有限容量的并行处理器引起的, 该处理器将资源分配给需执行的任务, 导致执行每个单独任务的能力降低, 至少一个任务的性能将受到损害。分配可以是自愿的, 也可以受任务特点的影响。如果两个任务需要共同的有限资源, 则相互干扰; ②瓶颈理论^[9]——当两个任务需要相同的神经处理器或网络时, 或者当所需的网络重叠时, 串行处理会导致一个或两个任务的性能下降。即某些处理器单次只处理一项输入/任务。这将导致在处理与两个任务相关的信息时出现瓶颈, 并最终导致两个任务之一的延迟或损坏; ③串扰模型^[10]——如果两个任务来自一个相似的领域并且使用相同的神经群, 使用相同的路径就会利用较少的注意力资源来提高处理效率, 那么这两个任务就不会相互干扰, 且会出现促进作用。

Ohzuno 等^[11]研究发现, DTI 的程度和模式, 与运动能力和认知任务的困难程度密切相关, 随着任务难度和复杂性的增加, 参与者可能在执行障碍任务上投入了更多的注意力。Yang 等^[12]研究报道, 由于双重任务中向前走属于相对较低的运动难度, 需要注意力资源较少, 可以有更多的注意力资源去处理认知任务。Timmermans 等^[13]研究表明, 任务优先级在两个具有挑战性的环境中明显存在差异, 单任务和双重任务条件下的步行速

度、步行评分和认知评分的差异呈现出交互模式。当注意力资源存在竞争时,对两项任务给予优先级排序是必要的^[14]。目前,有关减少认知运动干扰或优化任务优先级的相关研究较少。

四、双重任务的分类框架

Plummer 等^[3]提出了认知运动干扰的 9 种潜在模式:无干扰、认知促进、运动相关认知干扰、运动促进、相互促进、运动优先取舍、认知相关运动干扰、认知优先取舍、相互干扰。Yang 等^[12]研究发现,与单任务组相比,双重任务组在执行序列减法的同时正向行走,其步行时间显著增加。随着运动难度增加,其反应时间缩短,伴随着步行时间增加,体现出相互干扰这一现象。Mcisaac 等^[5]对 DTI 的分类进行了补充,依赖于任务和执行者的特征,分类考虑了每个任务的复杂性和新颖性。

研究现状

Plummer 等^[14]用双重任务效应评估 DTI 的变化。通常,双重任务训练需要同时执行两项任务,包括主要任务(如步行或平衡任务)和同时进行的次要注意力任务(如认知或运动),基本上有 4 种不同的双重任务组合:步行+运动、步行+认知、平衡+运动、平衡+认知^[15]。

一、步行与运动、认知

Liu 等^[16]研究表明,双重任务训练后,疗效不能很好地转移到未经训练的任务中。这与 Plummer 等^[17]的研究发现一致。Kim 等^[18]研究表明,采用渐进式跑步机联合认知双重任务步态训练对提高慢性脑卒中患者的步态是有效的。Tisserand 等^[19]探讨了不同步行环境对脑卒中患者双重任务步行中 DTI 和任务优先级的影响,结果表明脑卒中患者在双重任务步行过程中,步行环境对 DTI 和任务优先级的影响较大。Wollesen 等^[20]研究证实,双重任务训练可以改善有跌倒风险的老年人的步行能力。Park 等^[21]研究发现,不同认知任务的双重任务训练可以作为一种有效手段,进而改善脑卒中患者的认知和运动功能。Wang 等^[4]对脑卒中双重任务训练的有效性进行了综述,认为认知+运动双重任务训练可以改善脑卒中患者的步态和平衡能力。Tait 等^[22]研究认为,认知运动双重任务训练干预可以改善认知受损老年人的认知功能。有研究报道,双重任务下的步态速度较单任务下的步态速度能更好地预测社区脑卒中患者的步行能力^[23-25]。

二、平衡与认知、运动

Choi 等^[26]认为双重任务与常规训练相比,在改善平衡和认知方面具有同等的效果。Park^[27]对 21 例慢性脑卒中偏瘫患者进行 3 周双重任务训练,每次 30 min,每周 5 d。采用盒子与积木测试(box and block test, BBT)作为评估工具,测量上肢功能的变化,使用改良 Barthel 指数(modified Barthel index, MBI)来衡量患者日常活动能力的变化。双重任务训练的内容是在不稳定的气垫上用勺子移动豆子、根据颜色对木块进行分类、打开瓶盖等。结果表明,双重任务训练不仅能有效改善慢性脑卒中患者的上肢功能,还能提高患者的日常生活能力,但缺乏对照组的研究。

神经机制的影像学研究

一、功能性磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)

有研究者利用 fMRI 观察在双重任务期间大脑的活动模式,关注点主要是与手部运动和认知任务相关的大脑行为^[28-29]。

Watanake 等^[30]研究认为,右外侧前额叶(lateral prefrontal cortex, LPFC)参与了双重任务中主任务和次任务信息的并行处理。在双重任务处理不同任务模块时,额前皮质(prefrontal cortex, PFC)的不同区域被选择性地激活。Peters 等^[29]研究发现,与运动表现和学习(尾状核)、运动规划(BA6)、躯体感觉和冲突信息处理相关的大脑区域激活增强。与单一任务比较,执行双重任务期间,脑卒中患者额下回、额上回、两侧扣带回和右侧中央前回等区域的活动增强^[31]。有研究报道,进行双重任务时 LPFC 激活增加^[32]。也有研究发现,脑岛皮质在执行双重任务时并未出现特异性激活^[33]。

实验心理学现有的行为证据表明,两个相似的任务所激活的重叠区域越大,其两项任务间的资源竞争越激烈,神经影像学的研究结果^[30]也支持此种观点。在 Crockett 等^[34]的研究中,强调了默认网络(default mode network, DMN)的潜在影响,即额顶叶网络(frontoparietal network, FPN)和辅助运动区(supplementary motor area, SMA)对双重任务的影响。其中,DMN 内、DMN-FPN 和 DMN-SMA 的功能连接越强,其与任务相关区域之间的资源竞争越激烈。因此,更多的静息态 DMN 功能连接可能是影响双重任务性能的一个潜在神经机制。

二、功能性近红外脑成像技术(functional near infrared spectroscopy, fNIRS)

与 fMRI 比较, fNIRS 具有较低的空间分辨率^[35]。有研究采用 fNIRS 研究发现,执行双重任务时,额叶皮质的活动增强与行走能力的提高有关。Wagshul 等^[36]通过结构 MRI 与 fNIRS 成像,发现双侧额叶上皮质和中额叶皮质的体积减少,与整个额叶前部的过度激活有密切关系。

结语

双重任务训练可以显著改善脑卒中患者的步行与认知能力。在双重任务条件下,如何减少 DTI 或优化任务优先级,尚需更多的高质量随机对照研究进行佐证,旨在为脑卒中后双重任务训练方案的制订提供依据。

参考文献

- [1] 江滨. 现阶段我国脑卒中流行特征及防治现状对全科医疗服务的启示和建议[J]. 中国全科医学, 2019, 22(30): 3653-3661. DOI: 10.12114/j.issn.1007-9572.2019.00.445.
- [2] 谢青, 宋小慧. 脑卒中康复治疗技术发展史[J]. 中国现代神经疾病杂志, 2015, 15(3): 177-181. DOI: 10.3969/j.issn.1672-6731.2015.03.002.
- [3] Plummer P, Eskes G, Wallace S, et al. Cognitive-motor interference during functional mobility after stroke: state of the science and implications for future research[J]. Arch Phys Med Rehabil, 2013, 94(12): 2565-2574. DOI: 10.1016/j.apmr.2013.08.002.
- [4] Wang XQ, Pi YL, Chen BL, et al. Cognitive motor interference for gait and balance in stroke: a systematic review and meta-analysis[J]. Eur J Neurol, 2015, 22(3): 537-555. DOI: 10.1111/ene.12616.
- [5] Meisaac TL, Lamberg EM, Muratori LM. Building a framework for a dual task taxonomy[J]. Biomed Res Int, 2015, 2015(1): 591475. DOI: 10.1155/2015/591475.

- [6] Strobach T. The dual-task practice advantage: empirical evidence and cognitive mechanisms [J]. *Psychon Bull Rev*, 2020, 27 (1) : 3-14. DOI:10.3758/s13423-019-01619-4.
- [7] Kang EK, Shin D, Yun JY, et al. Investigating the interference pattern of dual tasks using serial decomposition[J]. *Restor Neurol Neurosci*, 2018, 36(5) : 639-646. DOI:10.3233/RNN-180825.
- [8] Ghai S, Ghai I, Effenberg AO. Effects of dual tasks and dual-task training on postural stability: a systematic review and meta-analysis [J]. *Clin Interv Aging*, 2017, 12 (1) : 557-577. DOI: 10.2147/CIA.S125201.
- [9] Fujita H, Kasubuchi K, Wakata S, et al. Role of the frontal cortex in standing postural sway tasks while dual-tasking: a functional near-infrared spectroscopy study examining working memory capacity[J]. *Biomed Res Int*, 2016, 2016 (1) : 7053867. DOI: 10.1155/2016/7053867.
- [10] Bayot M, Dujardin K, Tard C, et al. The interaction between cognition and motor control: a theoretical framework for dual-task interference effects on posture, gait initiation, gait and turning[J]. *Neurophysiol Clin*, 2018, 48 (6) : 361-375. DOI: 10.1016/j.neucli.2018.10.003.
- [11] Ohzuno T, Usuda S. Cognitive-motor interference in post-stroke individuals and healthy adults under different cognitive load and task prioritization conditions[J]. *J Phys Ther Sci*, 2019, 31 (3) : 255-260. DOI:10.1589/jpts.31.255.
- [12] Yang L, Lam FM, Huang M, et al. Dual-task mobility among individuals with chronic stroke: changes in cognitive-motor interference patterns and relationship to difficulty level of mobility and cognitive tasks [J]. *Eur J Phys Rehabil Med*, 2018, 54(4) : 526-535. DOI:10.23736/S1973-9087.17.04773-6.
- [13] Timmermans C, Roerdink M, Janssen T, et al. Dual-task walking in challenging environments in people with stroke: cognitive-motor interference and task prioritization[J]. *Stroke Res Treat*, 2018, 2018(1) : 7928597. DOI:10.1155/2018/7928597.
- [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(1) : 225. DOI:10.3389/fnhum.2015.00225.
- [15] He Y, Yang L, Zhou J, et al. Dual-task training effects on motor and cognitive functional abilities in individuals with stroke: a systematic review [J]. *Clin Rehabil*, 2018, 32 (7) : 865-877. DOI: 10.1177/0269215518758482.
- [16] Liu YC, Yang YR, Tsai YA, et al. Cognitive and motor dual task gait training improve dual task gait performance after stroke - a randomized controlled pilot trial[J]. *Sci Rep*, 2017, 7 (1) : 4070. DOI: 10.1038/s41598-017-04165-y.
- [17] Plummer P, Villalobos RM, Vayda MS, et al. Feasibility of dual-task gait training for community-dwelling adults after stroke: a case series [J]. *Stroke Res Treat*, 2014, 2014(1) : 538602. DOI: 10.1155/2014/538602.
- [18] Kim KJ, Kim KH. Progressive treadmill cognitive dual-task gait training on the gait ability in patients with chronic stroke[J]. *J Exerc Rehabil*, 2018, 14(5) : 821-828. DOI:10.12965/jer.1836370.185.
- [19] Tisserand R, Armand S, Allali G, et al. Cognitive-motor dual-task interference modulates mediolateral dynamic stability during gait in post-stroke individuals [J]. *Hum Mov Sci*, 2018, 58: 175-184. DOI: 10.1016/j.humov.2018.01.012.
- [20] Wollesen B, Schulz S, Seydell L, et al. Does dual task training improve walking performance of older adults with concern of falling[J]. *BMC Geriatr*, 2017, 17(1) : 213. DOI:10.1186/s12877-017-0610-5.
- [21] Park MO, Lee SH. Effect of a dual-task program with different cognitive tasks applied to stroke patients: a pilot randomized controlled trial [J]. *NeuroRehabilitation*, 2019, 44(2) : 239-249. DOI:10.3233/NRE-182563.
- [22] Tait JL, Duckham RL, Milte CM, et al. Influence of sequential vs. simultaneous dual-task exercise training on cognitive function in older adults[J]. *Front Aging Neurosci*, 2017, 9(1) : 368. DOI:10.3389/fnagi.2017.00368.
- [23] Tsang C, Chong D, Pang M. 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. DOI: 10.1177/0269215519828146.
- [24] Feld JA, Zukowski LA, Howard AG, et al. Relationship between dual-task gait speed and walking activity poststroke[J]. *Stroke*, 2018, 49 (5) : 1296-1298. DOI:10.1161/STROKEAHA.117.019694.
- [25] Plummer P, Iyigun G. Effects of physical exercise interventions on dual-task gait speed following stroke: a systematic review and meta-analysis[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2018, 99(12) : 2548-2560. DOI:10.1016/j.apmr.2018.04.009.
- [26] Choi JH, Kim BR, Han EY, et al. The effect of dual-task training on balance and cognition in patients with subacute post-stroke[J]. *Ann Rehabil Med*, 2015, 39(1) : 81-90. DOI:10.5535/arm.2015.39.1.81.
- [27] Park J. Dual task training effects on upper extremity functions and performance of daily activities of chronic stroke patients[J]. *Osong Public Health Res Perspect*, 2019, 10(1) : 2-5. DOI: 10.24171/j.phrp.2019.10.1.02.
- [28] Leone C, Feys P, Moundjian L, et al. Cognitive-motor dual-task interference: a systematic review of neural correlates [J]. *Neurosci Biobehav Rev*, 2017, 75 (1) : 348-360. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2017.01.010.
- [29] Peters S, Eng J, Liu-Ambrose T, et al. Brain activity associated with Dual-task performance of Ankle motor control during cognitive challenge[J]. *Brain Behav*, 2019, 9(8) : 1349. DOI:10.1002/brb3.1349.
- [30] 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(1) : 12-28. DOI:10.1016/j.neubiorev.2017.08.008.
- [31] 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. DOI:10.1177/1545968315613864.
- [32] Stelzel C, Bohle H, Schauenburg G, et al. Contribution of the lateral prefrontal cortex to cognitive-postural multitasking[J]. *Front Psychol*, 2018, 9(1) : 1075. DOI:10.3389/fpsyg.2018.01075.
- [33] Papegaaij S, Hortobagyi T, Godde B, et al. Neural correlates of motor-cognitive dual-tasking in young and old adults [J]. *PLoS One*, 2017, 12(12) : 189025. DOI:10.1371/journal.pone.0189025.
- [34] Crockett RA, Hsu CL, Best JR, et al. Resting state default mode network connectivity, dual task performance, gait speed, and postural sway in older adults with mild cognitive impairment[J]. *Front Aging Neurosci*, 2017, 9(1) : 423. DOI:10.3389/fnagi.2017.00423.
- [35] 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*, 2018, 1464(1) : 5-29. DOI:10.1111/nyas.13948.
- [36] Wagshul ME, Lucas M, Ye K, et al. Multi-modal neuroimaging of dual-task walking: Structural MRI and fNIRS analysis reveals prefrontal grey matter volume moderation of brain activation in older adults[J]. *Neuroimage*, 2019, 189 (1) : 745-754. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2019.01.045.

(修回日期:2020-07-30)

(本文编辑:凌 琛)