

· 综述 ·

抗阻训练治疗轻度认知障碍的作用机制和疗效

陈瑶鑫¹ 郭琪² 王红³¹上海中医药大学, 上海 200032; ²天津医科大学, 天津 300070; ³上海健康医学院, 上海 201318

通信作者: 王红, Email: wanghongplus@163.com

【摘要】 近年来,运动锻炼作为认知衰退的主要行为干预策略而备受关注。一些大型前瞻性队列研究指出,定期的体力活动对降低认知障碍风险具有保护作用。目前,对运动和认知的大多数前瞻性干预研究往往集中在有氧训练上,然而,有学者认为,其他类型的运动训练,如抗阻训练,也可能有益于认知功能,特别是在轻度认知障碍(MCI)阶段。MCI是认知障碍的早期,经常与正常的衰老混淆,从而被忽视。其实MCI阶段是干预的重要机会,如果能进行有效地干预,则可能逆转其病理进程。本综述的目的是探讨抗阻训练对MCI可能的作用机制,并进一步从训练方式、训练强度、训练时间、训练频度和注意事项等五个方面讨论其疗效。

【关键词】 抗阻训练; 认知障碍; 运动处方**基金项目:**国家自然科学基金(81601962)**Funding:** National Natural Science Foundation of China(81601962)

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2020.05.023

轻度认知障碍(mild cognitive impairment, MCI)是正常老化和痴呆之间的一种临床状态,往往伴随海马体积减小、颞叶、颞叶和顶叶区皮质变薄等神经结构退化^[1]。这些变化对记忆、注意力、行动力、执行能力、运动能力和总体认知能力都有极大负面影响^[2]。有研究报道,患有MCI的个体更容易患痴呆症,在2年至3年内有一半的人会发展至痴呆^[3]。由于痴呆的高发病率和沉重的经济负担^[4],有效的干预策略变得越来越重要。

由于药物的研发目前没有显著进展,因此在早期寻求有效的非药物疗法是现阶段研究的重点。一些大型前瞻性队列研究指出,定期的体力活动对降低认知障碍风险具有保护作用^[5-7]。近年来,运动锻炼作为认知衰退的行为干预手段越来越受到重视,具有多重效益且成本低的优点^[8]。以往对运动和认知功能的前瞻性干预研究往往都集中在有氧训练上,这些研究强调有氧训练可以改善大脑结构和功能^[9-10]。有Meta分析表明,抗阻训练比有氧训练对MCI的作用可能更大,但如何制定有益并且适量的抗阻训练方案值得思考^[11]。因此分析抗阻训练对认知功能的影响,为MCI患者制定合适的运动处方提供合理依据显得尤为重要。本综述的目的是探讨抗阻训练对MCI可能的作用机制,并进一步从训练方式、训练强度、训练时间、训练频度和注意事项等五个方面讨论其疗效。

抗阻训练治疗 MCI 的作用机制

引发MCI机制的假说复杂多样,目前主要的假说之一是血管因素假说。该假说认识到血管功能障碍与神经功能障碍之间的密切联系,并强调了循环系统对大脑功能的重要性^[7]。具有高血压、高血脂、动脉粥样硬化、脑卒中、糖尿病等血管疾病史的个体被认为是晚年发生认知障碍的高风险人群^[12-13]。有研究表明,抗阻训练是上述心血管疾病值得推荐的运动方式,其不仅可以有效地降低高血压、高血脂、动脉粥样硬化、脑卒中、糖尿病等疾病的风险^[14],还可改善MCI患者的认知功

能^[15]。该研究结果说明,抗阻训练的干预作用在血管功能和神经功能的联系之间具有重要作用。从血管因素出发,可以将抗阻训练对MCI的作用机制分为减轻炎症和改善缺氧、缺血两方面。

一、抗阻训练减轻炎症的作用

炎性衰老是老年人的一种长期轻微的慢性炎症反应状态,在血液检查中表现为经常有炎症标志物水平的升高^[16],长此以往可导致严重的脑部组织损伤^[17]。脑部的炎症反应往往表现为神经炎症和氧化亚硝化应激^[18],可导致内皮功能障碍^[19]和血脑屏障破坏^[20],损坏中枢神经细胞,包括与学习、记忆功能相关的脑域^[21]。而抗阻训练可以促进肌肉重建的增加,提高白细胞介素-6、白细胞介素-15肌肉分泌因子的水平^[22],减轻炎症,改善血管内皮功能^[23],同时还可促进脑源性神经营养因子的分泌来保护神经细胞^[24]。

二、抗阻训练改善缺氧、缺血的作用

影像学研究已将选择性神经区域的脑灌注不足确定为阿尔茨海默病(Alzheimer disease, AD)最早的指标之一,特别是在额叶、颞叶及深部白质这些区域^[25]。从本质上讲,灌注不足会使大脑脱离其两个最重要的物质,即氧气和血液中的营养物质。有证据表明,颈动脉弹性的改变和血管收缩舒张功能的失衡可加剧认知障碍的严重程度。这些改变将显著影响机体对脑部组织供血供氧的能力,导致氧自由基大量堆积,对脑组织造成损伤^[26]。因此,如果MCI的神经退行性过程是被血管因素加剧,那么及时干预这些风险因素并恢复向大脑输送富含营养的氧气和血液可以延缓或逆转神经退行性过程和疾病轨迹。抗阻训练可以通过外周血管的加压,增加肌肉泵的作用,提高每搏心输出量从而增加脑灌注^[27]。另一方面,抗阻训练大多是在无氧状态下进行,由于机体的应激反应,自由基的氧化损伤标志物8-羟基脱氧鸟苷(8-OH-DG)和丙二醛的含量均明显的下降,超氧化物歧化酶的活性则显著升高,明显增加了氧自由

基的清除率^[28]。

抗阻训练的运动处方

一、抗阻训练的运动类型

抗阻训练的常见运动类型包括固定器械和自由重量训练。固定器械训练是指按照组装好的器械路线进行运动,大多是有针对性地对单一肌肉训练;自由重量训练是指是没有机械固定的运动轨迹,而是靠哑铃、杆铃、弹力带等运动器材就可以独立完成的活动,有利于调动多关节、多肌肉参与运动。两种类型各有利弊,前者可以针对薄弱肌肉重点加强锻炼且规范统一,后者则更加灵活多变且因人制宜。因此抗阻训练的研究中既有单选其一观察其作用,也有两者并行互相补充。

(一)单一方式

Juliano 等^[29]采用 Stroop 测试 (Stroop test) 和注意矩阵测试 (attentive matrices test, AMT) 评估了等张器械锻炼对老年 MCI 患者的疗效,结果显示,抗阻训练对其执行能力和注意力无明显改善。另外有 2 项研究检验了弹力带训练对认知功能的影响。Chupel 等^[30]对老年女性中轻度认知障碍患者进行了座椅弹性带力量训练,主要完成推胸二头肌屈曲、三头肌前屈、前蹲、侧边椅上髋关节屈曲、俯身划船、站姿反向飞鸟、展臂旋转脊椎等动作,结果发现,抗阻训练不仅可以显著改善患者的总体认知功能,还可减轻炎症反应。Hong 等^[15]的研究则发现,弹力带训练可延缓工作记忆能力的衰退进程。两项研究的差异可能与其选用评估量表和观察的认知功能领域不同有关。

(二)固定器械和自由重量训练相结合

Mavros 等^[31]对老年 MCI 患者 100 例进行渐进性抗阻训练,即采用自由重量哑铃完成上肢训练,同时结合 Keiser 气阻系统进行下肢的器械锻炼。结果显示,干预后,入选患者的阿尔兹海默症评分量表评分显著优于干预前,差异有统计学意义 ($P < 0.05$),该结果表明,抗阻训练对总体认知功能有积极的影响,并有改善执行功能的趋势。Brinke 等^[9]用 Keiser 气阻系统对老年女性 MCI 患者进行了为期 26 周的由上而下的全身负重力量训练、下肢肌力和稳定性的自由重量训练,结果显示,干预后,患者的瑞氏听觉性言语学习测验评分显著提高,差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。Nagamatsu 等^[32]采用了与 Brinke 等^[9]相同的训练方法观察了肌力训练对老年 MCI 患者记忆功能的影响,结果发现,干预 6 个月后,患者的记忆功能显著改善,Stroop 测试显示,患者的选择性注意和冲突解决能力也显著改善。Davis 等^[33]的研究则发现,抗阻训练干预后 6 个月, MCI 患者的记忆功能干预前、后无显著变化,但其执行功能显著改善。比起单一的运动类型,多种运动方式的结合不仅可以显著改善 MCI 患者的总体认知功能,其在执行能力、记忆力和注意力方面也有积极的作用。

二、抗阻训练运动强度的选择

运动强度是一个运动处方安全有效的重要保障。抗阻训练的强度一般用最多重复 1 次 (repetition maximum, RM) 的百分比来最表示。Yoon 等^[34]对比了老年 MCI 女性患者接受中等强度力量训练 (62.5% ~ 70% 1RM) 与高强度力量训练 (75% ~ 80% 1RM) 的结果,结果发现,干预 12 周后,中等强度力量训练患者的总体认知功能优于高强度力量训练的患者。Juliano 等^[29]的研究发现,对老年 MCI 患者进行渐进的抗阻训练

(第 1~2 周训练强度为 60% ~ 70% 1RM,第 3~4 周训练强度为 70~80% 1RM,第 5~6 周训练强度为 80~85% 1RM) 6 周后,患者的 Stroop 和连线试验 (trail making test, TMT) 结果显示,其执行能力和注意力均无显著改善。有两项研究^[31-32]分别进行了强度为 80% ~ 85% 1RM 和 80~92% 1RM 的抗阻训练训练,前者的结果显示,老年 MCI 患者记忆功能得到改善,而后者的研究结果显示,干预前、后,患者的记忆功能无明显改善。Hong 等^[15]的研究也显示,65% 1RM 的抗阻训练虽然对 MCI 患者的记忆功能无显著影响,但有延缓认知衰退的趋势。这可能是由于运动强度与记忆功能的相关性不大。比起高强度的抗阻训练,中强度的抗阻训练对总体认知功能的改善作用更佳,但是对于执行能力、注意力以及记忆功能的改善效果不明显。

三、抗阻训练的运动时间和频率

适宜的抗阻训练时间和频率也是运动处方的重要因素,过高的运动频率可能影响机体机能的恢复,导致疲劳损伤,过低的运动频率,可能会影响抗阻训练的效果。Juliano 等^[29]对 MCI 患者 20 例仅进行了 30 min 的抗阻训练,结果发现,干预后, MCI 患者的临摹画图试验 (drawing copy test, DCT) 评分显著改善,提示其实践能力有所提高,但执行能力和注意力均无明显变化。Liu 等^[35]将 35 例老年女性受试者根据抗阻训练运动频率的不同分为每周 1 次组 (15 例) 和每周 2 次组 (20 例),结果发现,每周 2 次组的抑制任务表现突出,证明其冲突适应能力提升。Nagamatsu 等^[32]和 Davis 等^[33]的研究均表明,1 周 2 次的抗阻训练对 MCI 患者的执行能力有显著的改善作用。Hong 等^[15]的研究则发现,1 周 2 次的抗阻训练后, MCI 患者的注意力和记忆力无明显变化。但也有研究发现,1 周 2 次的抗阻训练可以改善空间意识和反应速度^[36]。Smolarek 等^[37]和 Coetsee 等^[38]都进行了 1 周 3 次的抗阻训练,分别发现, MCI 患者的总体认知功能和执行能力显著改善。以上研究表明,1 周 3 次和 1 周 2 次的抗阻训练频率对认知功能具有积极的作用,但没有直接证据比较两者的优势,且鲜见 1 周 4 次或以上训练频率对 MCI 患者影响的研究。

联合运动

一、有氧训练联合抗阻训练

近年来,有研究认为,有氧训练联合抗阻训练比单一的有氧训练或者抗阻训练对认知功能的作用更为显著,并观察到认知的变化与气体交换无氧阈和去脂体重呈正相关^[39-41]。有氧训练过程中产生剧烈的心血管活动和氧气交换,可以提升心肺功能从而使气体交换无氧域值上升,而抗阻训练过程中最大耗氧量和心率基本保持不变,增加肌肉重量,增加去脂体重。两种运动方式都和认知有着一定的相关性,有氧训练主要表现在注意力和任务分析能力方面,抗阻训练则可有效地改善实践执行能力^[29]。这说明两种方式可能是通过不同的途径来影响认知功能不同领域,需要进一步研究和评估两种运动类型的组合,以确定是否有 1+1 大于 2 的效果。

二、脑力抗阻训练

脑力抗阻训练 (study of mental and resistance training, SMART) 是由 Gates 等^[42]提出通过结合计算机认知训练 (computer cognitive training, CCT) 和全身高强度的持续性抗阻训练 (progressive resistance training, PRT) 来改善认知功能减退的状

态,是探究脑力和体力影响认知的联系的新方案。Suo 等^[43]的研究发现,CCT 可显著改善受试者的总体记忆能力,而 PRT 逆转了几个大脑区域白质高信号的增加趋势,可显著改善受试者的全局认知能力和扩大后扣带回的灰质,且这些变化彼此相关($r=0.25, P=0.03$)。Mavros 等^[31]的研究结果显示,受试者接受 6 个月的 PRT 后,其力量供氧能力和认知功能均显著改善,相关性分析发现,肌力的改变可能是认知功能改善的中间因素。

注意事项

在抗阻训练过程中,血压会有一定幅度的上升,特别是老年高血压患者的血压调节能力下降,很可能在运动过程中引发呼吸短促、摔倒,甚至晕厥的危险情况。另外,在运动过程中应该提醒老年人不要憋气,正常吸吐,可帮助其调节血压,防止 Valsalva 效应的出现。在每组训练结束之后应该有适当的休息时间,否则可能导致肌肉疲劳损伤,从而无法完成训练。

结论

对不同运动方案的分析发现,抗阻训练对认知功能有着积极的作用,特别是对总体认知功能和执行能力方面,但对记忆力的作用不是很明显。只有少量研究关注抗阻训练对注意力方面的作用,且仅有一项研究观察到选择性注意力的明显改善。因此,抗阻训练与注意力之间是否有联系还需要更多的研究来支持。

对于老年人或老年 MCI 患者,抗阻训练都是预防认知减退的可行手段,但执行起来需要足够坚实的理论基础给与患者执行的动力。本课题组认为需要注意的有以下几点:①是否有结合有氧训练的必要——比起有氧训练,抗阻训练一般不会引起心率的剧烈变化,禁忌证更少,但是抗阻训练的认知益处是否局限于某些特定的认知领域是需要更深入的研究;②适宜的运动方案——个性化的运动处方制定应该要有一个标准,这是临床实践过程中至关重要的;③远期疗效——抗阻训练对认知的改善功能可以持续多久,这也对运动处方的制定有重大意义。

运动处方不应该是一成不变的,应该随着肌力和适应性循序渐进。运动疲劳会导致学习记忆能力的下降,这种变化是短期存在的,要避免运动完立刻进行认知测试。每组抗阻训练间歇时间的长短对运动效果也会有即刻和长效的不同影响,但是现在大多研究没有考虑这一因素。

参 考 文 献

- [1] Prieto Del Val L, Cantero JL, Baena D, et al. Damage of the temporal lobe and APOE status determine neural compensation in mild cognitive impairment[J]. *Cortex*, 2018, 101(4): 136-153. DOI: 10.1016/j.cortex.2018.01.018.
- [2] Ikram MA, Vrooman HA, Vernooij MW, et al. Brain tissue volumes in relation to cognitive function and risk of dementia[J]. *Neurobiol Aging*, 2010, 31(3): 378-386. DOI: 10.1016/j.neurobiolaging.2008.04.008.
- [3] Lopez OL, Becker JT, Chang YF, et al. Incidence of mild cognitive impairment in the Pittsburgh Cardiovascular Health Study-Cognition Study[J]. *Neurology*, 2012, 79(15): 1599-1606. DOI: 10.1212/WNL.0b013e31826e25f0.
- [4] Lin PJ, Zhong Y, Fillit HM, et al. Medicare expenditures of individuals with Alzheimer's disease and related dementias or mild cognitive impairment before and after diagnosis[J]. *J Am Geriatr Soc*, 2016, 64(8): 1549-1557. DOI: 10.1111/jgs.14227.
- [5] Sabia S, Dugravot A, Dartigues JF, et al. Physical activity, cognitive decline, and risk of dementia: 28 year follow-up of Whitehall II cohort study[J]. *Bmj*, 2017, 357(6): j2709. DOI: 10.1136/bmj.j2709.
- [6] Pettersson AF, Wahlund LO, Bronge L, et al. Physical activity level in people with age related white matter changes correlates to better motor performance, lower comorbidity and higher cognitive level[J]. *BMC Geriatr*, 2017, 17(1): 142. DOI: 10.1186/s12877-017-0535-z.
- [7] Halloway S, Wilbur J, Schoeny ME, et al. The relation between physical activity and cognitive change in older latinos[J]. *Biol Res Nurs*, 2017, 19(5): 538-548. DOI: 10.1177/1099800417715115.
- [8] Davis JC, Hsiung GR, Bryan S, et al. Economic evaluation of aerobic exercise training in older adults with vascular cognitive impairment: PROMote trial[J]. *BMJ Open*, 2017, 7(3): e014387. DOI: 10.1136/bmjopen-2016-014387.
- [9] ten Brinke LF, Bolandzadeh N, Nagamatsu LS, et al. Aerobic exercise increases hippocampal volume in older women with probable mild cognitive impairment: a 6-month randomised controlled trial[J]. *Br J Sports Med*, 2015, 49(4): 248-254. DOI: 10.1136/bjsports-2013-093184.
- [10] Williams VJ, Hayes JP, Forman DE, et al. Cardiorespiratory fitness is differentially associated with cortical thickness in young and older adults[J]. *Neuroimage*, 2017, 146(2): 1084-1092. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2016.10.033.
- [11] Wang S, Yin H, Wang X, et al. Efficacy of different types of exercises on global cognition in adults with mild cognitive impairment: a network meta-analysis[J]. *Aging Clin Exp Res*, 2019, 31(10): 1391-1400. DOI: 10.1007/s40520-019-01142-5.
- [12] Dearborn JL, Zhang Y, Qiao Y, et al. Intracranial atherosclerosis and dementia: the Atherosclerosis Risk in Communities (ARIC) study[J]. *Neurology*, 2017, 88(16): 1556-1563. DOI: 10.1212/wnl.0000000000003837.
- [13] Rist PM, Chalmers J, Arima H, et al. Baseline cognitive function, recurrent stroke, and risk of dementia in patients with stroke[J]. *Stroke*, 2013, 44(7): 1790-1795. DOI: 10.1161/strokeaha.111.680728.
- [14] 王久亮, 郝丽霞. 有氧运动和抗阻运动对原发性高血压患者自主神经功能干预效果对比研究[J]. *神经损伤与功能重建*, 2016, 11(6): 560-61. DOI: 10.16780/j.cnki.sjssgncj.2016.06.033.
- [15] Hong SG, Kim JH, Jun TW. Effects of 12-week resistance exercise on electroencephalogram patterns and cognitive function in the elderly with mild cognitive impairment: a randomized controlled trial[J]. *Clin J Sport Med*, 2018, 28(6): 500-508. DOI: 10.1097/jsm.0000000000000476.
- [16] Franceschi C. Inflammaging as a major characteristic of old people: can it be prevented or cured? [J]. *Nutr Rev*, 2007, 65(12 Pt 2): S173-S176. DOI: 10.1111/j.1753-4887.2007.tb00358.x.
- [17] Janowitz D, Habes M, Toledo JB, et al. Inflammatory markers and imaging patterns of advanced brain aging in the general population[J]. *Brain Imaging Behav*, 2019(3). DOI: 10.1007/s11682-019-00058-y.
- [18] Daulatzai MA. Fundamental role of pan-inflammation and oxidative-ni-

- trosative pathways in neuropathogenesis of Alzheimer's disease in focal cerebral ischemic rats[J]. *Am J Neurodegener Dis*, 2016, 5(2): 102-130. DOI: none.
- [19] Liu X, Zhang R, Hou J, et al. Interleukin-35 promotes early endothelialization after stent implantation by regulating macrophage activation [J]. *Clin Sci*, 2019, 133(7): 869-884. DOI: 10.1042/cs20180879.
 - [20] Nathoo N, Jalal H, Natah SS, et al. Hypoxia and inflammation-induced disruptions of the blood-brain and blood-berebrospinal fluid barriers assessed using a novel T1-based MRI method[J]. *Acta Neurochir Suppl*, 2016, 121: 23-28. DOI: 10.1007/978-3-319-18497-5_5.
 - [21] Choudhary R, Malairaman U, Katyal A. Inhibition of 12/15 LOX ameliorates cognitive and cholinergic dysfunction in mouse model of hypobaric hypoxia via. attenuation of oxidative/nitrosative stress [J]. *Neuroscience*, 2017, 359(9): 308-324. DOI: 10.1016/j.neuroscience.2017.07.015.
 - [22] Silva BSA, Lira FS, Rossi FE, et al. Inflammatory and metabolic responses to different resistance training on chronic obstructive pulmonary disease: a randomized control trial[J]. *Front Physiol*, 2018, 9(3): 262 DOI: 10.3389/fphys.2018.00262.
 - [23] 任可欣. 抗阻运动对老年男性血管功能的影响[J]. 吉林师范大学学报(自然科学版), 2016, 37(4): 153-56. DOI: 10.16862/j.cnki.issn1674-3873.2016.04.027.
 - [24] 徐唯. 炎性衰老、肌肉丢失与抗阻运动[J]. 中国老年学杂志, 2016, 36(23): 6035-37. DOI: 10.3969/j.issn.1005-9202.2016.23.115.
 - [25] 吕翠, 高波, 姜鸿萍, 等. 慢性脑供血不足患者认知功能障碍与脑血流的相关性分析 [J] 中国实用神经疾病杂志, 2012, 15(3): 1-3. DOI: 10.3969/j.issn.1673-5110.2012.03.001.
 - [26] Olver TD, Klakotskaia D, Ferguson BS, et al. Carotid artery vascular mechanics serve as biomarkers of cognitive dysfunction in aortic - banded miniature swine that can be treated with an exercise intervention[J]. *J Am Heart Assoc*, 2016, 5(5): e003248. DOI: 10.1161/jaha.116.003248.
 - [27] Cordina RL, O'Meagher S, Karmali A, et al. Resistance training improves cardiac output, exercise capacity and tolerance to positive airway pressure in Fontan physiology[J]. *Int J Cardiol*, 2013, 168(2): 780-788. DOI: 10.1016/j.ijcard.2012.10.012.
 - [28] 王立丰, 李海鹏, 王静, 等. 抗阻训练对小鼠骨骼肌 DNA 损伤、脂质过氧化及抗氧化能力的影响[J]. 体育学刊, 2010, 17(8): 107-111. DOI: 10.3969/j.issn.1006-7116.2010.08.025.
 - [29] Iuliano E, di Cagno A, Aquino G, et al. Effects of different types of physical activity on the cognitive functions and attention in older people: a randomized controlled study[J]. *Exp Gerontol*, 2015, 70(10): 105-110. DOI: 10.1016/j.exger.2015.07.008.
 - [30] Chupel MU, Direito F, Furtado GE, et al. Strength training decreases inflammation and increases cognition and physical fitness in older women with cognitive impairment[J]. *Front Physiol*, 2017, 8(6): 377. DOI: 10.3389/fphys.2017.00377.
 - [31] Mavros Y, Gates N, Wilson GC, et al. Mediation of cognitive function improvements by strength gains after resistance training in older adults with mild cognitive impairment: outcomes of the study of mental and resistance training[J]. *J Am Geriatr Soc*, 2017, 65(3): 550-559. DOI: 10.1111/jgs.14542.
 - [32] Nagamatsu LS, Handy TC, Hsu CL, et al. Resistance training promotes cognitive and functional brain plasticity in seniors with probable mild cognitive impairment[J]. *Arch Intern Med*, 2012, 172(8): 666-668. DOI: 10.1001/archinternmed.2012.379.
 - [33] Davis JC, Bryan S, Marra CA, et al. An economic evaluation of resistance training and aerobic training versus balance and toning exercises in older adults with mild cognitive impairment[J]. *PLoS One*, 2013, 8(5): e63031. DOI: 10.1371/journal.pone.0063031.
 - [34] Yoon DH, Kang D, Kim HJ, et al. Effect of elastic band-based high-speed power training on cognitive function, physical performance and muscle strength in older women with mild cognitive impairment[J]. *Geriatr Gerontol Int*, 2017, 17(5): 765-772. DOI: 10.1111/ggi.12784.
 - [35] Liu-Ambrose T, Nagamatsu LS, Voss MW, et al. Resistance training and functional plasticity of the aging brain: a 12-month randomized controlled trial[J]. *Neurobiol Aging*, 2012, 33(8): 1690-1698. DOI: 10.1016/j.neurobiolaging.2011.05.010.
 - [36] Fragala MS, Beyer KS, Jajtner AR, et al. Resistance exercise may improve spatial awareness and visual reaction in older adults [J]. *J Strength Cond Res*, 2014, 28(8): 2079-2087. DOI: 10.1519/jsc.0000000000000520.
 - [37] Smolarek Ade C, Ferreira LH, Mascarenhas LP, et al. The effects of strength training on cognitive performance in elderly women[J]. *Clin Interv Aging*, 2016, 11(6): 749-754. DOI: 10.2147/cia.S102126.
 - [38] Coetsee C, Terblanche E. The effect of three different exercise training modalities on cognitive and physical function in a healthy older population[J]. *Eur Rev Aging Phys Act*, 2017, 14(8): 13. DOI: 10.1186/s11556-017-0183-5.
 - [39] Marzolini S, Oh P, McIlroy W, et al. The effects of an aerobic and resistance exercise training program on cognition following stroke[J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2013, 27(5): 392-402. DOI: 10.1177/1545968312465192.
 - [40] Langoni CDS, Resende TL, Barcellos AB, et al. Effect of exercise on cognition, conditioning, muscle endurance, and balance in older adults with mild cognitive impairment: a randomized controlled trial [J]. *J Geriatr Phys Ther*, 2019, 42(2): E15-e22. DOI: 10.1519/jpt.0000000000000191.
 - [41] Montero-Odasso M, Almeida QJ, Burhan AM, et al. SYNERGIC TRIAL (SYNchronizing Exercises, Remedies in Gait and Cognition) a multi-centre randomized controlled double blind trial to improve gait and cognition in mild cognitive impairment[J]. *BMC Geriatr*, 2018, 18(1): 93. DOI: 10.1186/s12877-018-0782-7.
 - [42] Gates NJ, Valenzuela M, Sachdev PS, et al. Study of Mental Activity and Regular Training (SMART) in at risk individuals: a randomised double blind, sham controlled, longitudinal trial[J]. *BMC Geriatr*, 2011, 11(4): 19. DOI: 10.1186/1471-2318-11-19.
 - [43] Suo C, Singh MF, Gates N, et al. Therapeutically relevant structural and functional mechanisms triggered by physical and cognitive exercise [J]. *Mol Psychiatry*, 2016, 21(11): 1633-1642. DOI: 10.1038/mp.2016.19.

(修回日期: 2020-04-22)

(本文编辑: 阮仕衡)